



ระบบสมองกลฝังตัวสำหรับตรวจจับการล้มขณะอาบน้ำ
ด้วยกล้องที่รักษาความเป็นส่วนตัว
**An Embedded System for Fall Detection While Showering
by a Privacy Camera**

ธีรศักดิ์ โชติกวณิชย์
Teerasak Chotikawanid

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of
Master of Engineering in Electrical Engineering
Prince of Songkla University**

2555

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชื่อวิทยานิพนธ์ ระบบสมองกลฝังตัวสำหรับตรวจจับการล้นขณะอาบน้ำด้วยกล้องที่รักษาความ

เป็นส่วนตัว

ผู้เขียน นายธีรศักดิ์ โชติกวนิชย์

สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

คณะกรรมการสอบ

.....

.....ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐฐา จินดาเพ็ชร)

(รองศาสตราจารย์ บุญเจริญ วงศ์กิตติศึกษา)

.....กรรมการ

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(รองศาสตราจารย์ ดร.วัฒนพงษ์ เกิดทองมี)

.....

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พรชัย พฤกษ์ภัทรานนท์) (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐฐา จินดาเพ็ชร)

.....

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรรณรัช สันติอมรทัต) (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พรชัย พฤกษ์ภัทรานนท์)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชา
วิศวกรรมไฟฟ้า

.....

(ศาสตราจารย์ ดร.อมรรัตน์ พงศ์ดารา)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ชื่อวิทยานิพนธ์ ระบบสมองกลฝังตัวสำหรับตรวจจับการลัดขณะอาบน้ำด้วยกล้องที่รักษาความ
เป็นส่วนตัว
ผู้เขียน นายธีรศักดิ์ โชติกวณิชย์
สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
ปีการศึกษา 2554

บทคัดย่อ

ระบบตรวจจับการลัดในผู้สูงอายุเป็นระบบที่มีความจำเป็นในสถานะสังคมที่มี
แนวโน้มการเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากรผู้สูงอายุ แต่หลายๆระบบที่มีการนำเสนอก็ไม่สามารถใช้
งานได้ในทุกๆพื้นที่ โดยเฉพาะพื้นที่ที่ต้องการความเป็นส่วนตัว เช่น ห้องอาบน้ำ เป็นต้น งานวิจัยนี้
จึงได้นำเสนออีกทางหนึ่งที่จะแก้ไขปัญหาดังกล่าวโดยใช้หลักการของการประมวลผลภาพบน
ระบบสมองกลฝังตัวที่จะรวมการประมวลผลทั้งหมดไว้ภายในห้องน้ำ และส่งข้อมูลรายงานเพียง
ผลของการลัดออกมาเท่านั้น เพื่อเป็นการรับรองว่าข้อมูลภาพจะไม่ถูกเผยแพร่ หรือถูกจารกรรม
ขณะทำการรับ-ส่งภาพจากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่ง แต่เนื่องจากใช้ระบบสมองกลฝังตัวในการ
ประมวลผลอัลกอริธึมที่ใช้จึงเป็นปัจจัยหลักในการออกแบบระบบดังกล่าวเพื่อให้ระบบสมองกลฝัง
ตัวมีประสิทธิภาพสูงพอที่จะรายงานผลได้แบบทันที โดยอัลกอริธึมในการออกแบบนี้ใช้หลักการ
เปรียบเทียบเฟรมภาพที่อยู่ติดกันแล้วนำผลต่างที่ได้ไปใช้ในการวิเคราะห์จำแนกเหตุการณ์ ทั้งนี้
การทดสอบได้ทำการศึกษาถึงผลกระทบของแสงสว่าง มุมมองในการติดตั้งกล้องหรือแม้กระทั่ง
ผลกระทบของน้ำขณะกำลังอาบน้ำ จากผลสรุปของการออกแบบการทดลองดังกล่าว สามารถ
จำแนกพฤติกรรมการลัดออกจากพฤติกรรมอื่น ที่ระดับความสูง 1.10 เมตร 1.90 เมตร และ 2.10
เมตรได้ โดยผลที่ได้สามารถสรุปเป็นความสามารถในการตรวจจับว่าเกิดการลัดจริงคือ 100%
98.53% และ 98.97% ตามลำดับ และได้ค่าความสามารถในการตรวจจับว่าไม่เกิดการลัดจริงคือ
99.92% 98.0% และ 97.0% ตามลำดับ ทั้งนี้การนำเสนอวิธีการวิเคราะห์ดังกล่าวแสดงให้เห็นได้ว่า
การประมวลผลจะไม่มี ความซับซ้อนอีกทั้งยังมีความสามารถในการประมวลผลในสถานะที่
หลากหลายได้อีกด้วย

คำสำคัญ: ตรวจจับการลัด, เปรียบเทียบเฟรมภาพ, จำแนกเหตุการณ์, ระบบสมองกลฝังตัว, ความ
เป็นส่วนตัว

Thesis Title An Embedded System for Fall Detection While Showering by a Privacy
 Camera

Author Mr. Teerasak Chotikawanid

Major Program Electrical Engineering

Academic Year 2011

ABSTRACT

Fall detection systems in the elderly are needful in the social environment that has highly growth in the elderly population. However, many presented systems cannot be applied in every situation, such as showers. This research offers another way to solve this problem by using the principles of image processing on an embedded system to include all processing inside the bathroom and report the result of fall down only. This ensures that picture information will not be published or hacked during transfer from one place to another. However, the compact algorithm is the main factor in the embedded system to allow real-time reporting. The algorithm in this work used the frame difference of two consecutive frames in the analysis of the events. Moreover, the experiments were to study the effects of lighting, perspective on how to install a camera or even the effect of water during a shower. The results of these experiments can be used to separate the behavior of falling out of normal behaviors at the height of 1.10 meters, 1.90 meters and 2.10 meters. The results can be summarized as the sensitivity of 100%, 98.53% and 98.97%, respectively, and the specificity of 99.92%, 98.0% and 97.0% respectively. Moreover, the analysis presented above shows that the process is not complicated, and then this method has the ability to process in various environments as well.

Keywords: Fall detection, frame difference, event classification, embedded systems, privacy.

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐภา จินดาเพ็ชร ประธานกรรมการที่ปรึกษางานวิจัย ที่ได้กรุณาให้การสนับสนุนการทำวิจัย กรุณาอุทิศเวลาให้คำปรึกษาแนะนำความรู้ รวมทั้งแนวความคิดในด้านการทำวิจัย เอกสาร ข้อมูลต่างๆเป็นอย่างดี อีกทั้งยังเป็นกำลังใจในการแก้ปัญหาต่างๆเรื่อง ตลอดจนตรวจทาน และแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้ดำเนินลุล่วงไปอย่างสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พรชัย พฤษภักทรานนต์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรรณรัช สันติอมรทัต กรรมการที่ปรึกษางานวิจัยที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา คำแนะนำ และให้ความช่วยเหลือในงานวิจัย อีกทั้งยังเป็นกำลังใจในการแก้ปัญหา ตลอดจนช่วยตรวจทานแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้ดำเนินไปอย่างสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ บุญเจริญ วงศ์กิตติศึกษา ที่ได้กรุณาอุทิศเวลา มาเป็นประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และตรวจทานแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้มีความสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.วัฒนพงษ์ เกิดทองมี ที่กรุณาอุทิศเวลา เดินทางมาเป็นกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิในการสอบวิทยานิพนธ์ อีกทั้งตรวจทานและแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ เลียง คุรุรัตน์ กรรมการสอบโครงร่าง และกรรมการสอบความก้าวหน้างานวิจัยที่ได้กรุณาให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์แก่งานวิจัยนี้

ขอขอบพระคุณ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ ที่ให้การสนับสนุนทุนในการทำวิจัยและให้ความช่วยเหลือด้านการประสานงานต่างๆ

ขอขอบพระคุณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่กรุณาให้ทุนบัณฑิตวิศวกรรมแก่ข้าพเจ้า

ขอขอบพระคุณ คณาจารย์ และเจ้าหน้าที่ในภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าทุกท่าน ที่ได้ให้คำปรึกษา และให้การช่วยเหลือในด้านต่างๆมาโดยตลอด จนกระทั่งงานสำเร็จลุล่วง

ขอขอบคุณ พี่ๆ และเพื่อนๆ รวมทั้งน้องๆ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ทุกท่าน ที่ได้ให้คำปรึกษา รวมทั้งเป็นกำลังใจในการทำงานเป็นอย่างดีเสมอมา

และสุดท้าย ข้าพเจ้าขอโน้มรำลึกถึงพระคุณของบิดามารดา และครอบครัว ทุกคน ที่ส่งเสริม สนับสนุน ให้คำปรึกษา ให้กำลังใจแก่ข้าพเจ้าในทุกๆเรื่องตลอดมาจนประสบความสำเร็จ

ธีรศักดิ์ โชติกวนิชย์

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ.....	6
รายการตาราง.....	10
รายการภาพประกอบ.....	11
สัญลักษณ์คำย่อและตัวย่อ.....	14
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย.....	1
1.2 การตรวจเอกสาร บทความ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	2
1.3 วัตถุประสงค์.....	10
1.4 ขอบเขตของการวิจัย.....	10
1.5 ขั้นตอนและวิธีดำเนินงานวิจัย.....	11
1.5.1. ขั้นตอนการดำเนินงาน.....	11
1.5.2. ระเบียบวิธีวิจัย.....	12
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	13
1.7 ทรัพยากรที่ใช้ในการพัฒนาระบบ.....	13
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ.....	14
2.1 การล้มนในลักษณะต่างๆกัน และปัจจัยเสี่ยงของการล้มน.....	14
2.1.1 การล้มนในลักษณะต่างๆ.....	14
2.1.1.1 การล้มนในกลุ่มของวัยทำงาน.....	14
2.1.1.2 การล้มนในกลุ่มของผู้สูงอายุ.....	14
2.1.2 ปัจจัยเสี่ยงของการล้มน.....	15
2.2 กระบวนการทางด้านการประมวลผลภาพด้วยคอมพิวเตอร์.....	17
2.2.1 การได้มาของข้อมูลภาพ.....	18

2.2.2	การประมวลผลภาพเบื้องต้น	19
2.2.3	การแบ่งแยกข้อมูลภาพ.....	19
2.2.4	การแสดงตัวแทนและอธิบายข้อมูล.....	19
2.2.5	การรู้จำและการแปลความหมาย.....	19
2.3	การแสดงผลภาพวัตถุ.....	20
2.4	การกำหนดจุดที่ทำงานเพื่อจำแนกพฤติกรรมการล้ม.....	21
2.5	นวัตกรรมที่ทำการพัฒนาในการวิจัยในงานเกี่ยวกับการตรวจจับการล้ม	22
2.5.1.	กลุ่มงานวิจัยระบบตรวจจับการล้มที่ใช้อุปกรณ์เซ็นเซอร์ที่ติดบนร่างกาย	22
2.5.2.	กลุ่มงานวิจัยระบบตรวจจับการล้มที่ไม่ได้ติดอุปกรณ์เซ็นเซอร์ที่บนร่างกาย	23
2.5.2.1	เซ็นเซอร์วัดเสียง	23
2.5.2.2	เซ็นเซอร์อินฟราเรด	24
2.5.2.3	เซ็นเซอร์ที่ใช้การประมวลผลด้วยภาพ.....	25
2.6	เทคนิคการประมวลผลภาพเพื่อวิเคราะห์การล้ม	25
2.6.1	อัลกอริธึมการเปรียบเทียบความต่างของภาพ	25
2.6.2	อัลกอริธึมการพิจารณาค่าจุดศูนย์กลาง.....	27
2.6.3	อัลกอริธึมการพิจารณาลักษณะของประวัติการเคลื่อนที่.....	28
2.6.4	อัลกอริธึมการพิจารณาการเปลี่ยนแปลงระหว่างความกว้างและความสูงของภาพ..	30
2.6.5	อัลกอริธึมการพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของมุมลัพท์ในภาพ.....	34
2.6.6	อัลกอริธึมการพิจารณาการเปลี่ยนแปลงความเร็วของวัตถุในภาพ	36
2.6.7	อัลกอริธึมการนับจุดภาพที่มีการเปลี่ยนแปลง.....	38
2.7	ระบบสมองกลฝังตัว.....	39
2.7.1.	ความหมายของระบบสมองกลฝังตัว.....	39
2.7.2.	องค์ประกอบของระบบสมองกลฝังตัว.....	40

	หน้า
2.7.2.1 ไมโครโพรเซสเซอร์.....	40
2.7.2.2 หน่วยความจำ.....	41
2.7.2.3 ส่วนอุปกรณ์เชื่อมต่อ.....	42
2.7.2.4 ซอฟต์แวร์.....	42
2.8 การทำงานแบบทันที	42
2.8.1. ระบบฮาร์ดเรียลไทม์	43
2.8.2. ระบบซอฟต์แวร์เรียลไทม์	44
2.8.3. ลักษณะงานของระบบทันที.....	45
2.8.4. องค์ประกอบของระบบทันที.....	48
บทที่ 3 การออกแบบและวิธีทดสอบระบบ	49
3.1 แนวคิดในการออกแบบระบบ	49
3.2 ภาพรวมการออกแบบระบบ	50
3.3 ภาพรวมการออกแบบอัลกอริทึม	51
3.3.1. ส่วนก่อนการจำแนกพฤติกรรม.....	53
3.3.2. ส่วนการจำแนกพฤติกรรม	53
3.3.3. ส่วนการยืนยันการล้ม และส่งสัญญาณเพื่อขอความช่วยเหลือ	54
3.4 การประเมินผลการทดสอบที่ได้.....	54
3.5 การเก็บข้อมูล และออกแบบการทดลอง.....	56
3.5.1. ช่วงการทดสอบอัลกอริทึมการเปรียบเทียบผลต่างของเฟรม.....	56
3.5.2. ช่วงการทดสอบความน่าเชื่อถือของอัลกอริทึม การเปรียบเทียบผลต่างของเฟรม	57
3.5.3. การออกแบบและทดลองจริงบน ARM9.....	60
บทที่ 4 ผลการดำเนินงานและวิเคราะห์ผล	61

4.1 ผลของการทดลองในส่วนของการทดสอบอัลกอริธึมการเปรียบเทียบผลต่างของเฟรม	61
4.2 ผลของการทดลองในส่วนของการทดสอบความน่าเชื่อถือของ	
อัลกอริธึมการเปรียบเทียบผลต่างของเฟรม	64
4.3 วิเคราะห์ผลการทดสอบตลอดการวิจัย	81
4.3.1. การวิเคราะห์ผลในส่วนของผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลอง	81
4.3.2. การวิเคราะห์ผลในส่วนของผลลัพธ์ที่เกิดการผิดพลาดจากการทดลอง.....	84
4.3.3. การวิเคราะห์ผลในส่วนของคุณภาพ และการใช้ทรัพยากร	86
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	89
5.1 สรุปผล	89
5.1.1. ทดสอบอัลกอริธึมการเปรียบเทียบผลต่างของเฟรม.....	90
5.1.2. ทดสอบความน่าเชื่อถือของอัลกอริธึมการเปรียบเทียบผลต่างของเฟรม	90
5.2 ปัญหาและอุปสรรคของการทำวิทยานิพนธ์	90
5.3 ข้อเสนอแนะ.....	91
เอกสารอ้างอิง	94
ภาคผนวก	96
ภาคผนวก ก บทความทางวิชาการที่นำเสนอในงานประชุมวิชาการ ICESIT2011.....	97
ภาคผนวก ข การติดตั้งระบบ.....	105
ประวัติผู้เขียน	109

รายการตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2-1 รูปแบบกิจกรรมพื้นฐานที่เกิดขึ้นได้ในห้องส้วม.....	16
ตารางที่ 3-1 การจัดสภาวะแวดล้อมต่างๆรวมถึงจำนวนครั้งที่ทำการทดสอบ	58
ตารางที่ 4-1 ตารางสรุปผลการทดลองการเก็บข้อมูลในส่วนของ การทดสอบอัลกอริทึมการเปรียบเทียบผลต่างของเฟรม	64
ตารางที่ 4-2 ตารางสรุปผลการทดลองจากการติดตั้งที่ความสูง 1.10 เมตร.....	68
ตารางที่ 4-3 ตารางสรุปผลการทดลองจากการติดตั้งที่ความสูง 1.10 เมตร (ตรวจสอบแบบเฟรมต่อเฟรม)	70
ตารางที่ 4-4 ตารางสรุปผลการทดลองจากการติดตั้งที่ความสูง 1.90 เมตร.....	74
ตารางที่ 4-5 ตารางสรุปผลการทดลองจากการติดตั้งที่ความสูง 1.90 เมตร (ตรวจสอบแบบเฟรมต่อเฟรม)	75
ตารางที่ 4-6 ตารางสรุปผลการทดลองจากการติดตั้งที่ความสูง 2.10 เมตร.....	79
ตารางที่ 4-7 ตารางสรุปผลการทดลองจากการติดตั้งที่ความสูง 2.10 เมตร (ตรวจสอบแบบเฟรมต่อเฟรม)	80
ตารางที่ 4-8 ตารางสรุปรวมการทดสอบการจำแนกพฤติกรรม	81
ตารางที่ 4-9 การเปรียบเทียบผลการทดลองในแต่ละกลุ่มงานวิจัยที่เกี่ยวกับการประมวลผลภาพ	822

ภาพประกอบ 2-17 ผลลัพธ์ที่พิจารณาการลึ้กับพฤติกรรมอื่นด้วยวิธีการหามุมลึ้	34
ภาพประกอบ 2-18 ฝ้งการทำงานอย่างง่ายของการตรวจจับการลึ้ด้วย	35
ภาพประกอบ 2-19 ผลการเปรียบเทียบระหว่างความเร็วกับเวลา	36
ภาพประกอบ 2-20 ภาพแสดงการจำแนกพฤติกรรมและแยกการเคลื่อนไหวของคนกับสัตว์เลี้ยง	37
ภาพประกอบ 2-21 ฝ้งการทำงานของการตรวจจับการลึ้ด้วย วิธีพิจารณาการเปลี่ยนแปลงความเร็ว	38
ภาพประกอบ 2-22 ฝ้งการทำงานของการตรวจจับการลึ้ ด้วยวิธีการนับจุดภาพที่มีการเปลี่ยนแปลง	39
ภาพประกอบ 2-23 องค์ประกอบของระบบสมองกลฝ้งตัว	40
ภาพประกอบ 2-24 องค์ประกอบของระบบสมองกลฝ้งตัวแบบฮาร์ดเรียลไทม์	44
ภาพประกอบ 2-25 การเปรียบเทียบการทำงานระหว่าง ฮาร์ดเรียลไทม์ และซอฟต์แวร์เรียลไทม์	45
ภาพประกอบ 2-26 ฝ้งการทำงานการตรวจสอบการกดปุ่มขอความช่วยเหลือ	45
ภาพประกอบ 2-27 ฝ้งการทำงานการคำนวณความเสี่ยงของการลึ้จากการประมวลผลภาพ	46
ภาพประกอบ 2-28 ฝ้งการทำงานการคำนวณความเสี่ยงของการลึ้จากการประมวลผลภาพ	47
ภาพประกอบ 2-29 องค์ประกอบในการพัฒนาระบบทันที	48
ภาพประกอบ 3-1 ภาพรวมของการออกแบบระบบ	50
ภาพประกอบ 3-2 ภาพรวมของการออกแบบอัลกอริธึม	52
ภาพประกอบ 3-3 ท่าทางต่างๆที่อาจเกิดขึ้นภายในห้องน้ำ	56
ภาพประกอบ 3-4 กระบวนการทำการทดลองเปรียบเทียบผลต่างของเฟรม	57
ภาพประกอบ 3-5 ตำแหน่งการติดตั้งกล้องที่มุมมองต่างกัน 3 ตำแหน่ง	59
ภาพประกอบ 4-1 กระบวนการทดลองเปรียบเทียบผลต่างของเฟรม	62
ภาพประกอบ 4-2 การเคลื่อนไหวปกติความเร็วในการเคลื่อนไหวไม่สูงมาก	63
ภาพประกอบ 4-3 การเคลื่อนไหวปกติความเร็วใกล้เคียงการลึ้	63
ภาพประกอบ 4-4 การลึ้โดยอิสระ	63
ภาพประกอบ 4-5 ผลจากการติดตั้งที่ความสูง 1.10 เมตร และปิดไฟ บันทึกรั้งที่ 1	65
ภาพประกอบ 4-6 ผลจากการติดตั้งที่ความสูง 1.10 เมตร และปิดไฟ บันทึกรั้งที่ 2	66
ภาพประกอบ 4-7 ผลจากการติดตั้งที่ความสูง 1.10 เมตร และปิดไฟ บันทึกรั้งที่ 3	66
ภาพประกอบ 4-8 ผลจากการติดตั้งที่ความสูง 1.10 เมตร และเปิดไฟ บันทึกรั้งที่ 1	66
ภาพประกอบ 4-9 ผลจากการติดตั้งที่ความสูง 1.10 เมตร และเปิดไฟ บันทึกรั้งที่ 2	67

ภาพประกอบ 4-10 ผลจากการติดตั้งที่ความสูง 1.10 เมตร และเปิดไฟ บันทึกครั้งที่ 3	67
ภาพประกอบ 4-11 ผลจากการติดตั้งที่ความสูง 1.10 เมตร แบบพิเศษ บันทึกครั้งที่ 1	67
ภาพประกอบ 4-12 ผลจากการติดตั้งที่ความสูง 1.10 เมตร แบบพิเศษ บันทึกครั้งที่ 2	68
ภาพประกอบ 4-13 ผลจากการติดตั้งที่ความสูง 1.90 เมตร และปิดไฟ บันทึกครั้งที่ 1	71
ภาพประกอบ 4-14 ผลจากการติดตั้งที่ความสูง 1.90 เมตร และปิดไฟ บันทึกครั้งที่ 2	71
ภาพประกอบ 4-15 ผลจากการติดตั้งที่ความสูง 1.90 เมตร และปิดไฟ บันทึกครั้งที่ 3	71
ภาพประกอบ 4-16 ผลจากการติดตั้งที่ความสูง 1.90 เมตร และเปิดไฟ บันทึกครั้งที่ 1	72
ภาพประกอบ 4-17 ผลจากการติดตั้งที่ความสูง 1.90 เมตร และเปิดไฟ บันทึกครั้งที่ 2	72
ภาพประกอบ 4-18 ผลจากการติดตั้งที่ความสูง 1.90 เมตร และเปิดไฟ บันทึกครั้งที่ 3	72
ภาพประกอบ 4-19 ผลจากการติดตั้งที่ความสูง 1.90 เมตร แบบพิเศษ บันทึกครั้งที่ 1	73
ภาพประกอบ 4-20 ผลจากการติดตั้งที่ความสูง 1.90 เมตร แบบพิเศษ บันทึกครั้งที่ 2	73
ภาพประกอบ 4-21 ผลจากการติดตั้งที่ความสูง 2.10 เมตร และปิดไฟ บันทึกครั้งที่ 1	76
ภาพประกอบ 4-22 ผลจากการติดตั้งที่ความสูง 2.10 เมตร และปิดไฟ บันทึกครั้งที่ 2	76
ภาพประกอบ 4-23 ผลจากการติดตั้งที่ความสูง 2.10 เมตร และปิดไฟ บันทึกครั้งที่ 3	76
ภาพประกอบ 4-24 ผลจากการติดตั้งที่ความสูง 2.10 เมตร และเปิดไฟ บันทึกครั้งที่ 1	77
ภาพประกอบ 4-25 ผลจากการติดตั้งที่ความสูง 2.10 เมตร และเปิดไฟ บันทึกครั้งที่ 2	77
ภาพประกอบ 4-26 ผลจากการติดตั้งที่ความสูง 2.10 เมตร และเปิดไฟ บันทึกครั้งที่ 3	77
ภาพประกอบ 4-27 ผลจากการติดตั้งที่ความสูง 2.10 เมตร แบบพิเศษ บันทึกครั้งที่ 1	78
ภาพประกอบ 4-28 ผลจากการติดตั้งที่ความสูง 2.10 เมตร แบบพิเศษ บันทึกครั้งที่ 2	78
ภาพประกอบ 4-29 แสงสะท้อนระหว่างน้ำบนตัวกับแสงจากหลอดไฟ	85
ภาพประกอบ 4-30 ลักษณะการติดตั้งหลอดไฟภายในห้องน้ำ	85
ภาพประกอบ 4-31 ความผิดพลาดจากการติดตั้งกล้องในมุมมองที่ไม่ได้อยู่ในระดับเดียวกับวัตถุ	86
ภาพประกอบ 4-31 การเปรียบเทียบราคาของอุปกรณ์ 2 ชนิดเมื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการพัฒนา	87
ภาพประกอบ 5-1 แบ่งช่วงในการพิจารณาเป็น 2 ขอบเขต	92
ภาพประกอบ 5-2 ผลจากการใช้อัลกอริทึมเปรียบเทียบผลต่างวิเคราะห์	93

สัญลักษณ์คำย่อและตัวย่อ

TP (True Positive)	เกิดการล้มจริง และ เซ็นเซอร์ ตรวจจับว่าล้มจริง
FP (False Positive)	ไม่เกิดการล้ม แต่ เซ็นเซอร์ ตรวจจับว่าล้ม
TN (True Negative)	ไม่เกิดการล้มจริง และ เซ็นเซอร์ ตรวจจับว่าไม่ล้ม
FN (False Negative)	เกิดการล้มจริง แต่ เซ็นเซอร์ไม่ ตรวจจับว่ามีการล้ม
Sen (Sensitivity)	ส่วนที่พิจารณาว่าเกิดเหตุการณ์ล้มจริง และการประมวลผลด้วยอัลกอริทึมบอกว่าล้มจริงๆ
Spc (Specificity)	ส่วนที่พิจารณาว่าไม่ใช่เหตุการณ์การล้ม และการประมวลผลด้วยอัลกอริทึมบอกว่าไม่ได้ล้ม
Acc (Accuracy)	ค่าความถูกต้องที่บอกว่าล้มหรือไม่ล้ม
NA (Not Applicable)	ไม่มี, ไม่มีการนำเสนอข้อมูล, ไม่สามารถระบุได้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย

จากการประมาณการแนวโน้มของจำนวนประชากร [1] ของประเทศไทยในระยะเวลา 20 ปี (2543-2563) พบว่าประชากรที่เป็นผู้สูงอายุ (อายุมากกว่า 60 ปี) จะมีจำนวนที่เพิ่มขึ้นสูงกว่าเท่าตัวจากประมาณร้อยละ 8 ในปี 2543 เป็นร้อยละ 16 ในปี 2563 และมีแนวโน้มว่าประชากรผู้สูงอายุอาจเพิ่มขึ้นอีกอย่างต่อเนื่องต่อไปในอนาคต ปัญหาหลักที่ตามมาอย่างเห็นได้ชัดคือกลุ่มผู้สูงอายุดังกล่าวเป็นกลุ่มที่ไม่สามารถดูแลตัวเองได้และจำเป็นที่จะต้องได้รับการดูแลอย่างใกล้ชิดจากลูกหลานหรือ บุคลากรทางการแพทย์ แต่จากผลกระทบของปัญหาของการขาดแคลนบุคลากรทางการแพทย์ที่มีอยู่อย่างจำกัดอยู่ก่อนแล้วทำให้บุคลากรทางการแพทย์ไม่เพียงพอต่อการรองรับกับความต้องการในการดูแลอย่างใกล้ชิดในส่วนนี้ได้

ปัญหาการล้มของผู้สูงอายุ ก็เป็นปัญหาหนึ่ง ที่มักจะเป็นสาเหตุที่จะทำให้เกิดการสูญเสียเกิดขึ้นได้ ซึ่งปัญหาการล้ม [2] อาจเกิดจากสาเหตุการป่วย แล้วเกิดอุบัติเหตุเป็นลมแล้วล้ม หรืออาจเกิดจากอุบัติเหตุลื่นล้ม หรือสะดุดล้ม ปัญหานี้จึงเป็นปัญหาหนึ่งที่เกี่ยวข้องโดยตรงกับเรื่องสุขภาพของกลุ่มผู้สูงอายุ โดยกลุ่มคนดังกล่าวมีความเสี่ยงที่จะเกิดอันตรายจากการสูญเสียหรือเป็นอัมพาตหลังจากที่ล้มแล้วได้สูงกว่ากลุ่มวัยอื่นๆ อุบัติเหตุเกี่ยวกับการล้มมักจะเกิดในบริเวณที่ผู้สูงอายุอยู่เพียงคนเดียวซึ่งแม้ว่าจะมีผู้ที่คอยดูแลอย่างใกล้ชิดแต่ก็ไม่สามารถดูแลได้ตลอดเวลา และหากเกิดการล้มขึ้นแล้วปัญหาใหญ่ที่ตามมาคือการไม่ได้รับการช่วยเหลือได้อย่างทันท่วงที

ปัจจุบันได้มีนวัตกรรมมากมายที่มีการคิดค้นเพื่อสร้างความปลอดภัยในระดับหนึ่งที่จากเดิมซึ่งอาจใช้การทำงานของกล้องวงจรปิดที่จะทำได้เพียงแต่การบันทึกภาพเหตุการณ์ต่างๆ เอาไว้เท่านั้น แต่ตัวกล้องจะไม่สามารถแจ้งสัญญาณเตือนได้ เปลี่ยนมาเป็นการใช้เทคโนโลยีการตรวจจับเหตุการณ์หกล้มด้วยการประมวลผลภาพบนคอมพิวเตอร์ หรือการติดอุปกรณ์เซ็นเซอร์ที่ตัวผู้ถูกเฝ้าติดตามเพื่อให้อุปกรณ์ที่ทำการติดตั้งสามารถวิเคราะห์ข้อมูลและรายงานผลได้ด้วยตัวเอง ซึ่งจากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมาทั้งในประเทศและต่างประเทศ สามารถจัดกลุ่มงานที่ทำการศึกษานวัตกรรมการตรวจจับการล้มได้ 2 กลุ่มใหญ่ๆคือ กลุ่มที่ใช้เซ็นเซอร์ในการตรวจจับการล้ม และกลุ่มที่ใช้การประมวลผลภาพในการตรวจจับการล้ม

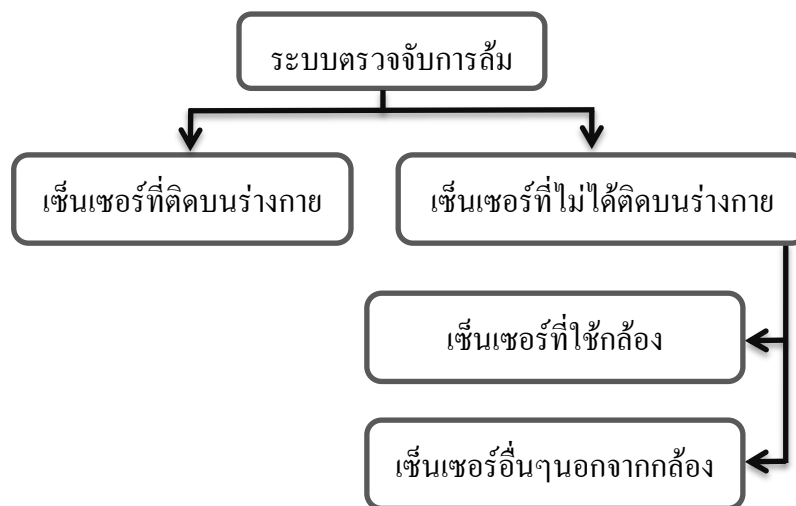
จากการศึกษางานวิจัยทั้งหมด พบว่าในหลายๆงานวิจัยถึงแม้จะมีประสิทธิภาพในการตรวจจับการล้มได้ดีในระดับหนึ่งแต่ก็ไม่สามารถใช้งานได้ในทุกสภาวะพื้นที่ โดยจุดหนึ่งที่ทำการศึกษาวิจัยมีความสนใจในการพิจารณา คือ บริเวณห้องอาบน้ำ ซึ่งบริเวณดังกล่าวเป็นพื้นที่เปียก

ยากแก่การติดอุปกรณ์ตรวจจับตามร่างกาย หรือยากแก่การนำภาพออกไปทำการวิเคราะห์ซึ่งบริเวณภายนอกได้เพราะถือเป็นพื้นที่ส่วนตัว อีกทั้งพื้นดังกล่าวยังเป็นพื้นที่เปียกก่อให้เกิดการลื่นล้มได้ง่ายกว่าบริเวณอื่น นอกจากนี้หากเกิดการลื่นขึ้นจริงบริเวณดังกล่าวก็ยังคงเป็นพื้นที่ปกปิดปราศจากการรู้เห็นของผู้ช่วยเหลือ ซึ่งหากไม่ได้รับการช่วยเหลืออย่างถูกต้องและทันท่วงทีอาจส่งผลให้เสียชีวิตได้ ดังนั้นตำแหน่งการตรวจจับการลื่นภายในห้องน้ำจึงถือว่าการพัฒนาที่น่าสนใจและมีความท้าทาย ในการพัฒนาอย่างยิ่ง

งานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้นำข้อดีของการประมวลผลด้วยภาพมาประยุกต์ใช้บนระบบสมองกลฝังตัวที่จะรวมการประมวลผลทั้งหมดไว้ภายในห้องน้ำ และส่งข้อมูลรายงานเพียงผลของการลื่นออกมาเท่านั้น เพื่อเป็นการรับรองว่าข้อมูลภาพจะไม่ถูกเผยแพร่ หรือถูกจารกรรมขณะทำการรับส่งภาพจากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่ง

1.2 การตรวจเอกสาร บทความ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมาทั้งในประเทศและต่างประเทศ ทางผู้วิจัยได้จัดกลุ่มงานที่ทำการศึกษานวัตกรรมการตรวจจับการลื่นไว้ 2 กลุ่มใหญ่ๆคือ เซ็นเซอร์ที่ติดบนร่างกาย และ เซ็นเซอร์ที่ไม่ได้ติดบนร่างกายแสดงได้ตามแผนผังภาพที่ 1-1



ภาพประกอบ 1-1 การจำแนกพฤติกรรมกรรมการลื่นตามวิธีการต่างๆ

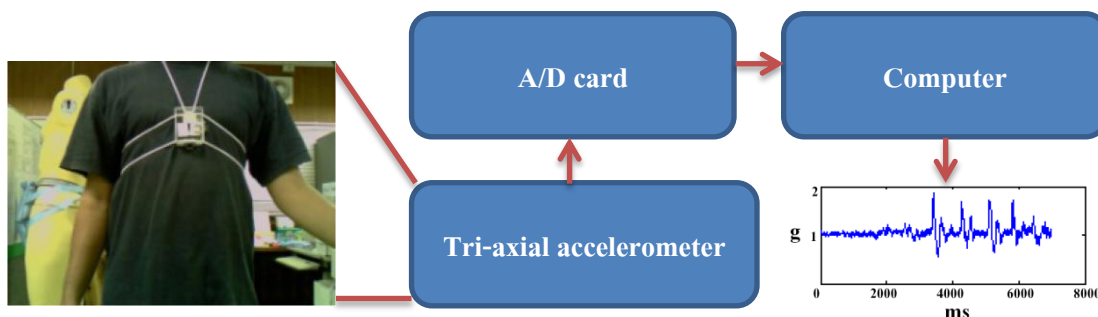
(1) กลุ่มที่ใช้เซ็นเซอร์ติดที่ตัวผู้สูงอายุในการตรวจจับ การใช้เซ็นเซอร์ในกลุ่มงานชนิดนี้เป็นงานที่นิยมทำการวิจัยเป็นอย่างมาก เนื่องจากเป็นอุปกรณ์ที่ทำการทดสอบแล้วสามารถให้ค่าการประเมินผลที่มีความแม่นยำค่อนข้างสูง อุปกรณ์ในกลุ่มนี้เช่น เซ็นเซอร์วัดความเร่ง เป็นต้น แต่ปัญหาที่พบได้ของการใช้อุปกรณ์ในกลุ่มนี้คือ เนื่องจากเป็นอุปกรณ์ที่ติดตั้งที่ตัวผู้สูงอายุทำให้

กลายเป็นอุปสรรคต่อการเคลื่อนไหว ไม่มีความคล่องตัวในการใช้ชีวิตปกติประจำวัน และนอกจากนี้ยังยากในการใช้งานบางขณะเช่น ขณะกำลังอาบน้ำ ขณะทำธุระส่วนตัวต่างๆ เป็นต้น

(2) กลุ่มเซ็นเซอร์ที่ไม่ได้ติดบนร่างกาย การใช้เซ็นเซอร์ในกลุ่มงานชนิดนี้จะสามารถช่วยในการลดปัญหาของความคล่องตัวในการใช้เซ็นเซอร์ในกลุ่มแรกได้ โดยเซ็นเซอร์ในกลุ่มนี้ได้แก่ เซ็นเซอร์อินฟราเรด (infrared) เซ็นเซอร์เสียง เซ็นเซอร์วัดแรงสั่นสะเทือน หรือรวมไปถึงเซ็นเซอร์ภาพ เป็นต้น อุปกรณ์ในกลุ่มนี้เป็นอีกกลุ่มหนึ่งที่ได้รับการนิยมนิยมพอสมควร แต่อาจพบปัญหาบ้างในการใช้งานอุปกรณ์บางตัวซึ่งอาจไม่เหมาะสมในการตรวจจับการล้ม เช่น เซ็นเซอร์อินฟราเรด ปัญหาที่เห็นได้ชัดคือ ลักษณะการทำงานเหมาะแก่การใช้งานเพื่อตรวจจับการเคลื่อนไหวมากกว่า เพราะการล้มเราจะไม่สามารถกำหนดพื้นที่หรือทิศทางในการล้มได้ การใช้อุปกรณ์ชนิดนี้จึงอาจไม่เหมาะสม หรือหากใช้เซ็นเซอร์ภาพในการประมวลผลก็อาจทำให้มีปัญหามาจาก ความเป็นส่วนตัวที่จะลดลง หรือหากมองในส่วนของการรับส่งข้อมูลภาพจากที่หนึ่ง ไปยังอีกที่หนึ่งอาจก่อให้เกิดปัญหาของความเสียหายจากการถูกรบกวนข้อมูลภาพออกไปเผยแพร่ได้อีกด้วย ทั้งนี้งานวิจัยทั้งหมดอาจยกตัวอย่างในบางส่วนที่ต่างกันไปมาแสดงได้ดังนี้

1.2.1. A preliminary study of fall detection for Thai elderly [3]

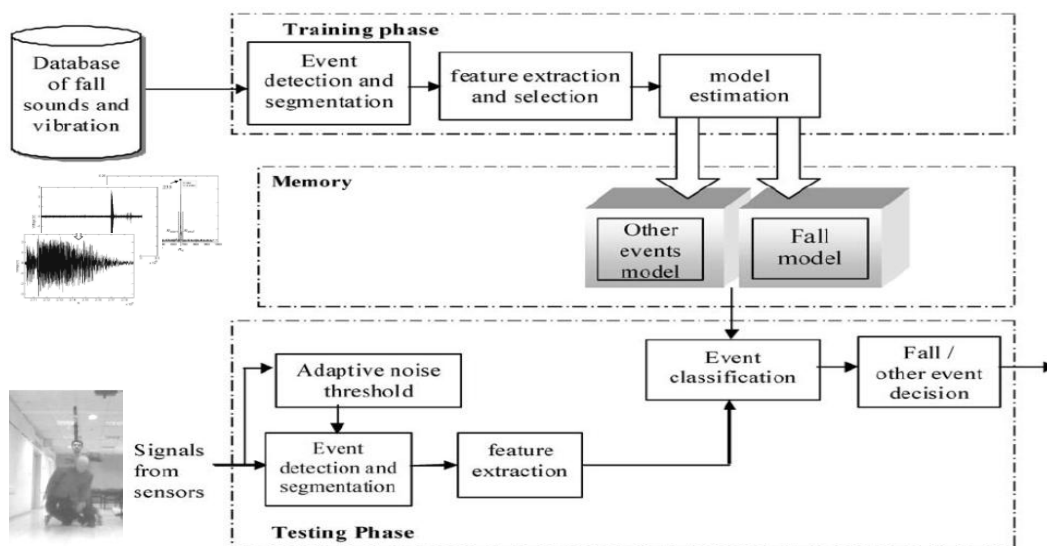
บทความนี้ได้นำเสนอการศึกษาการตรวจจับการล้มในผู้สูงอายุ โดยติดเซ็นเซอร์ความเร่ง 2 ตัวในลักษณะที่ตั้งฉากกับบริเวณลำตัวระหว่างอกกับเอวด้วยภาพประกอบที่ 1-2 แล้วทำการส่งผลผ่านอุปกรณ์แปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล เพื่อทำการประมวลผลในการจำแนกพฤติกรรมต่อไป ในส่วนของการออกแบบการทดลองได้แบ่งออกเป็น 2 ชุดดังนี้ โดยชุดแรกจะทดลองในส่วนของการทำทางพฤติกรรมปกติ จำนวน 6 ท่า คือ นั่ง-ยืน, ยืน-นั่ง, นั่ง-นอน, นอน-นั่ง, ก้ม-เก็บของ และเดินทางราบเป็นระยะทาง 2 เมตร ส่วนชุดที่สองจะทดลองในส่วนของการทำล้ม จำนวน 4 ท่าคือ ล้มไปข้างหน้า, ล้มไปข้างหลัง, ล้มด้านข้างทางซ้าย และล้มด้านข้างทางขวา โดยการประเมินผลลัพธ์การแยกการล้มออกจากพฤติกรรมปกติ (รายละเอียดสามารถศึกษาเพิ่มเติมได้ในตอนที่ 3.4)



ภาพประกอบ 1-2 ลักษณะการทำงานของงานวิจัยจาก [3]

1.2.2. A Method for Automatic Fall Detection of Elderly People Using Floor Vibrations and Sound—Proof of Concept on Human Mimicking Doll Falls [4]

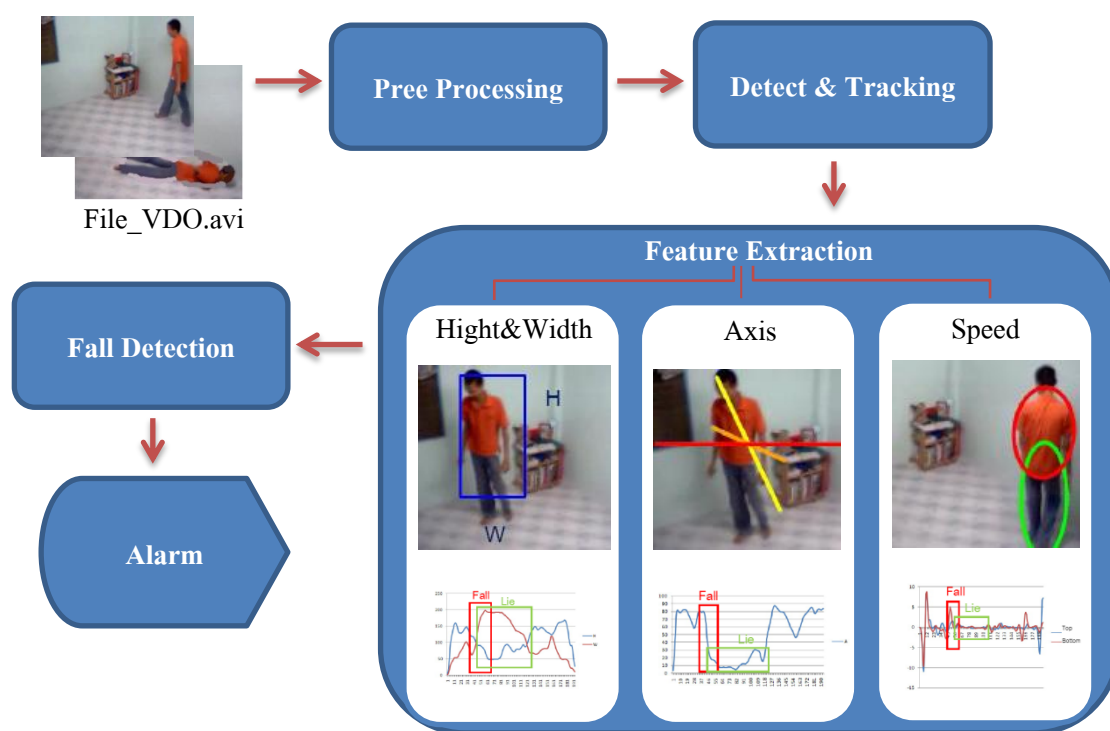
บทความนี้ได้นำเสนอระบบตรวจสอบการล้มอัตโนมัติสำหรับผู้สูงอายุ ด้วยวิธีการอ่านค่าการสั่นสะเทือนและตรวจวัดเสียง การออกแบบการทดลองจัดทำโดยเก็บฐานข้อมูลเสียงและค่าการสั่นสะเทือนดังภาพประกอบที่ 1-3 ค่าที่ได้จะทำการคัดแยกสัญญาณ โดยผ่านการประมวลผลสัญญาณเพื่อแยกพฤติกรรมเฉพาะตัวของแต่ละรูปแบบไว้เป็นข้อมูลในการเปรียบเทียบเหตุการณ์ที่จะเกิดขึ้น ขั้นตอนการจดจำรูปแบบเพื่อแยกพฤติกรรมนี้จะใช้คุณสมบัติพิเศษเฉพาะด้านที่ได้จากการวัดได้แก่ สเปกตรัมการตอบสนองแรงกระแทก และการประมวลผลการจำแนกความถี่เสียงด้วยวิธีการใช้ค่าของเซปสตรัมที่คำนวณบนความถี่แบบเมล [5] (Mel-Frequency Cepstral Coefficients: MFCCs) ซึ่งเป็นลักษณะการแบ่งช่วงค่าความถี่ออกตามความสามารถในการได้ยินของมนุษย์เพื่อง่ายแก่การจำแนกต่อไป การทดสอบระบบการตรวจจับทางผู้วิจัยได้ใช้หุ่นจำลองขนาดเท่ามนุษย์จริงมาใช้เพื่อปล่อยให้หุ่นล้มลงอย่างอิสระแล้วใช้เซ็นเซอร์เก็บสัญญาณมาผ่านกระบวนการกำจัดสัญญาณรบกวน แล้วทำการแยกพฤติกรรมเพื่อไปเปรียบเทียบกับฐานข้อมูลในการจำแนกพฤติกรรมอีกครั้งหนึ่ง ซึ่งจากการจำแนกหากข้อมูลที่คัดแยกมาไปตรงกับพฤติกรรมการล้มอุปกรณ์ก็จะส่งผลลัพธ์เพื่อแจ้งเตือนและขอความช่วยเหลือต่อไป



ภาพประกอบ 1-3 ลักษณะการทำงานของงานวิจัยจาก [4]

1.2.3. Fall Detection for Elderly using Image Processing [6]

บทความนี้ได้นำเสนอการตรวจจับการล้มของผู้สูงอายุโดยใช้กล้องวิดีโอวงจรปิด แล้วเก็บภาพมาวิเคราะห์จำแนกเหตุการณ์หกล้มออกจากเหตุการณ์ปกติ การทำงานของอัลกอริทึมสามารถแบ่งได้เป็น 4 ส่วนหลักๆคือ การเตรียม และปรับปรุงคุณภาพของภาพ (Pre-Processing) การตรวจจับวัตถุที่กำลังเคลื่อนที่ และติดตามความเคลื่อนไหวของวัตถุนั้น (Motion Detection & Tracking) การดึงคุณสมบัติเด่นเฉพาะตัวที่เกิดขึ้นจากการเกิดเหตุการณ์หกล้ม (Feature Extraction) และส่วนของกาวิเคราะห์เหตุการณ์หกล้ม (Fall Detection) ซึ่งกระบวนการทั้งหมดได้แสดงให้เห็นได้ดังภาพประกอบที่ 1-4



ภาพประกอบ 1-4 ภาพรวมการทำงานของงานวิจัยจาก [6]

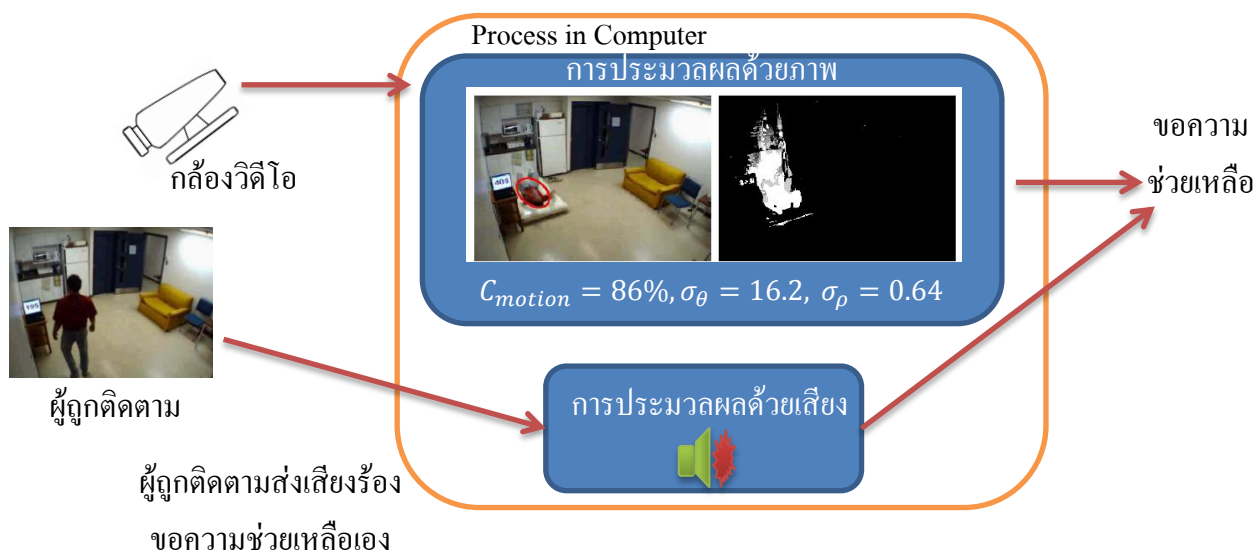
ทั้งนี้ในส่วนที่น่าสนใจที่สุดจากกระบวนการทั้งหมดที่ได้กล่าวไปแล้ว คือส่วนของ การดึงคุณสมบัติเด่นเฉพาะตัวที่เกิดขึ้นจากการเกิดเหตุการณ์หกล้มซึ่งนับว่าเป็นเป้าหมายหลักในการตรวจจับการล้ม ซึ่งในงานวิจัยนี้ผู้นำเสนอบทความได้ดึงเอาคุณสมบัติเด่นหลายๆวิธี มาช่วยในการแยกพฤติกรรมการล้มออกจากพฤติกรรมต่างๆไปเพื่อให้ข้อมูลที่ได้นี้มีความน่าเชื่อถือ และมีประสิทธิภาพสูงสุด ได้แก่ การพิจารณาความต่างระหว่างข้อมูลของความกว้าง-ความยาว หรืออัตรา การเปลี่ยนแปลงขนาดของความสูงต่อความกว้าง (อัตราการเปลี่ยนแปลงขนาดของความสูงต่อ

ความกว้าง เรียกได้อีกอย่างว่า Aspect ratio ซึ่งจะให้ค่าเป็นผลลัพท์ของ $\left(\frac{Height}{width}\right)$ การเปลี่ยนแปลงของมุมลัพท์ในภาพ และการเปลี่ยนแปลงความเร็วของวัตถุในแนวตั้ง การทดลองทั้งหมดผู้นำเสนอ บทความนี้ได้จำลองเหตุการณ์หกล้มภายในห้องปิดที่มีสภาพการรบกวนน้อย โดยแสดงท่าทางการล้มด้วยการพุ่งตัวไปด้านหลัง และใช้หัวเข่ารับน้ำหนักก่อนลงไปนอนบนพื้น การทำการศึกษาทั้งหมดใช้ ไฟล์วิดีโอจากการบันทึกมาประมวลผลบนคอมพิวเตอร์ ปัญหาใหญ่ที่พบได้จากการประมวลผลด้วยวิธีนี้คือ การประมวลผลสี่เหลี่ยมที่สวมใส่ขณะทำการทดสอบทำให้เกิดปัญหาจากการแยกตัวบุคคลที่กำลังเคลื่อนไหวออกจากภาพพื้นหลังส่งผลให้ไม่สามารถตรวจจับบุคคลที่กำลังเคลื่อนไหวได้

1.2.4. Fall Detection from Human Shape and Motion History Using Video Surveillance [7]

บทความนี้ได้แสดงให้เห็นถึงวิธีพื้นฐานของการเคลื่อนไหวของมนุษย์และการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของมนุษย์ ซึ่งพบว่าส่วนมากเมื่อมนุษย์เคลื่อนไหวธรรมดา เช่นการเดินหรือนั่ง จะพบว่าส่วนเบี่ยงเบนจะมีค่าเพียงเล็กน้อย ในขณะที่ถ้าพบการเบี่ยงเบนขนาดใหญ่ก็จะสามารถบอกได้ว่าพบการเคลื่อนไหวที่ผิดปกติ หรืออาจประมาณการได้ว่าเกิดการล้ม ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมของร่างกายของมนุษย์ดังกล่าวอาจสามารถช่วยในการแบ่งแยกการล้มออกจากพฤติกรรมปกติได้ ลักษณะการเบี่ยงเบนดังกล่าวสามารถพิสูจน์โดยใช้วิธีการทำภาพประวัติการเคลื่อนที่ (Motion history image) [8] ซึ่งลักษณะการประมวลผลจะกล่าวอีกครั้งในหัวข้อที่ 2.6.3 เรื่อง อัลกอริธึมการพิจารณาลักษณะของประวัติการเคลื่อนที่

งานวิจัยนี้ได้แบ่งการทำงานในส่วนของการจำแนกพฤติกรรมออกเป็น 2 ส่วน ดังภาพประกอบที่ 1-5 เพื่อช่วยในการยืนยันการจำแนกพฤติกรรมต่างๆออกไป โดยส่วนแรกคือส่วนของการประมวลผลภาพซึ่งในส่วนนี้จะใช้อัลกอริธึมทั้งหมด 3 วิธี ได้แก่วิธีการทำภาพประวัติการเคลื่อนที่ ค่าความเอียงของวงรีที่สร้างขึ้น(ลักษณะเดียวกับการประมวลผลด้วยวิธีการหามุมลัพท์ของภาพ) และสุดท้ายคืออัตราส่วนความกว้างความยาวของวงรี(ลักษณะเดียวกับการประมวลผลด้วยวิธีการหาอัตราส่วนการหาความกว้างยาวของภาพ) ส่วนที่สองที่ใช้ในการช่วยในการวิเคราะห์ คือ การวิเคราะห์เสียงการร้องขอความช่วยเหลือเพื่อแก้ปัญหาในกรณีที่ไม่มีกรเคลื่อนไหวใดๆให้สามารถวิเคราะห์ด้วยภาพได้ โดยระบบจะใช้ไมโครโฟนจากเว็บแคมเพื่อเก็บเสียงร้องขอความช่วยเหลือไปแยกเสียงและทำการพิจารณาอีกครั้งหนึ่ง



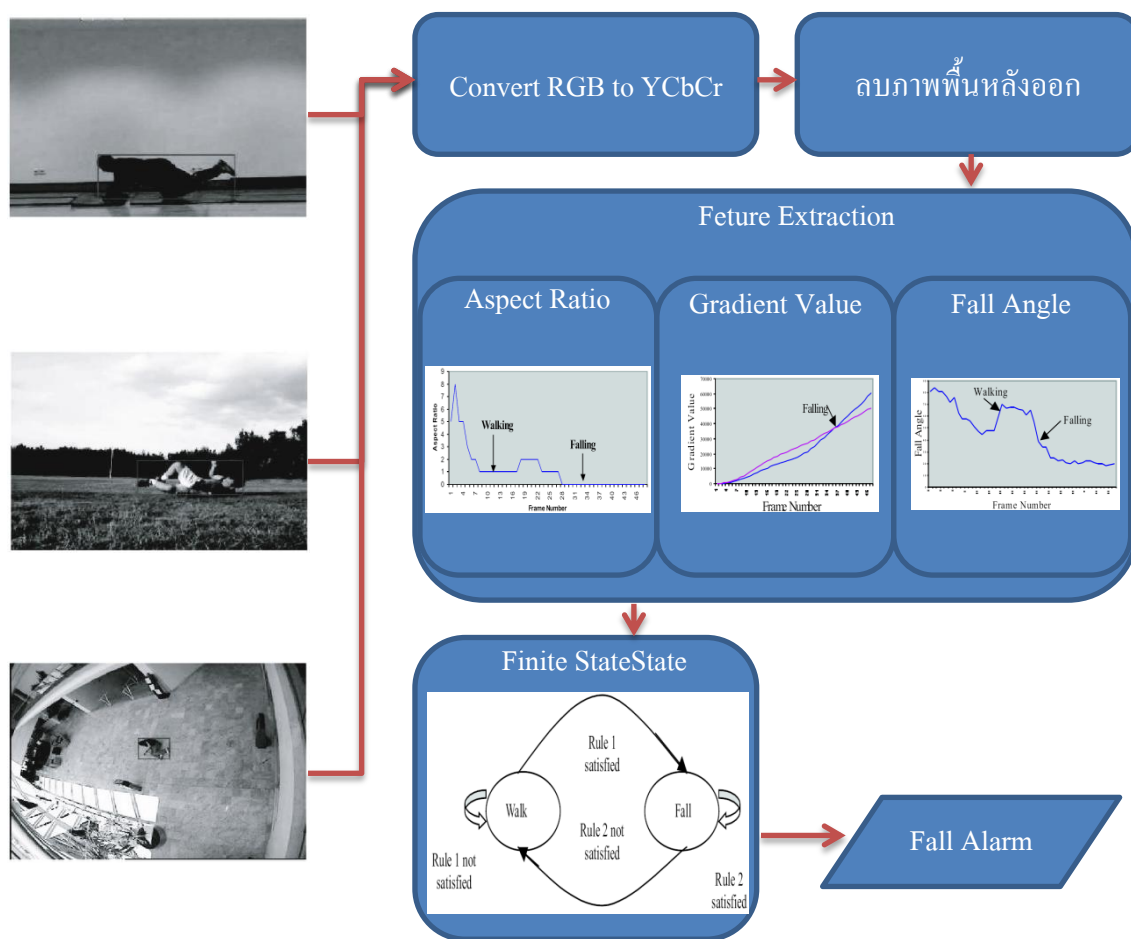
ภาพประกอบ 1-5 ภาพรวมการทำงานของงานวิจัยจาก [7]

1.2.5. Automatic detection of human fall in video [9]

งานวิจัยนี้เป็นการนำเสนอวิธีการตรวจจับการล้มด้วยกล้องวิดีโอที่คอยตรวจตราดูแล การตรวจจับคน การออกแบบทางคณะผู้วิจัยได้ใช้ไฟลวิดีโอจาก 3 แหล่งคือ ภายในอาคาร ภายนอกอาคาร และใช้ omni-video นอกจากนี้ผู้วิจัยยังทำการทดลองเพิ่มเติมในส่วนของการตรวจจับการล้ม ขณะมีคนเดินอยู่ในภาพมากกว่า 1 คนอีกด้วย

ในส่วนอัลกอริธึม ผู้วิจัยทำการแปลงภาพจาก RGB ให้เป็นสีระบบ YCbCr เพื่อช่วยให้ง่ายในการใช้วิธี Gaussian Mixture Mode (GMM) เพื่อลบภาพพื้นหลังออก ในส่วนของการดึงคุณสมบัติเด่นเฉพาะตัวที่เกิดขึ้นจากการเกิดเหตุการณ์หกล้มในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ใช้วิธีการจำแนกพฤติกรรม 3 วิธีได้แก่ อัตราการเปลี่ยนแปลงขนาดของความสูงต่อความกว้าง, ทิศทางการเปลี่ยนแปลงของภาพทั้งแนวตั้งและแนวนอน และการหามุมลัพท์ที่อาจบอกได้ว่าล้ม ดังที่แสดงขั้นตอนการทำงานตามภาพประกอบที่ 1-6 นอกจากนี้งานวิจัยนี้ยังประยุกต์ใช้ Finite State Machine (FSM) เพื่อช่วยในการวิเคราะห์คุณสมบัติการล้มที่หามาได้อีกด้วย

ปัญหาที่พบในงานวิจัยนี้คือ มีการวิเคราะห์ผิดพลาดในสภาวะแวดล้อมที่มีการเปลี่ยนแปลงภายนอกอาคาร และพบเพิ่มมากขึ้นหากต้องตรวจจับในกรณีที่มีมากกว่า 1 คน ข้อสังเกตจากงานวิจัยนี้คือ การใช้กล้องธรรมดาในการวิเคราะห์ภาพจะให้ผลดีกว่าใช้การวิเคราะห์ด้วยกล้อง omni

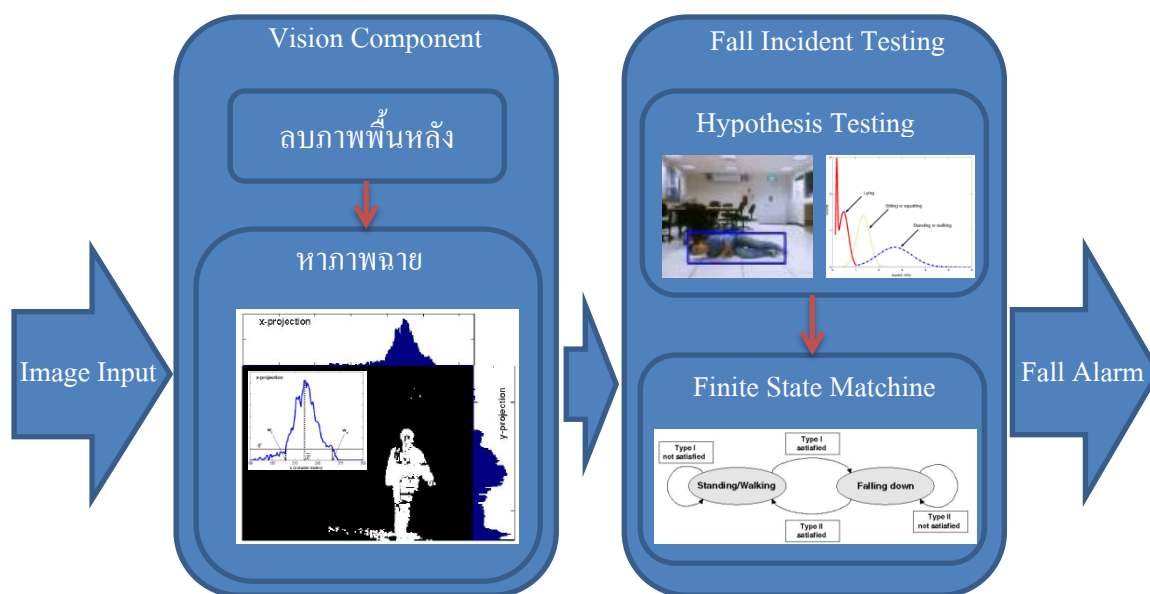


ภาพประกอบ 1-6 ภาพรวมการทำงานของงานวิจัยจาก [9]

1.2.6. Fall Incidents Detection for Intelligent Video Surveillance [10]

งานวิจัยนี้เป็นการนำเสนอระบบการตรวจจับคนล้ม โดยลักษณะการทำงานจะแบ่งการประมวลผลได้แบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลักๆ ดังภาพประกอบที่ 1-7 โดยส่วนแรกคือส่วนการจัดการข้อมูลภาพซึ่งในงานวิจัยนี้จะเรียกว่า Vision Component ซึ่งเป็นส่วนที่ทำการตัดภาพพื้นหลังออกเพื่อหาวัตถุที่ต้องการติดตาม และใช้การนับผลลัพธ์ความต่างของภาพตามแนวแกน x และแกน y เพื่อหาค่าของ ภาพฉายในแนวแกน x และภาพฉายในแนวแกน y (x projection และ y projection) โดยผลลัพธ์ที่ได้จะช่วยในการหาอัตราการเปลี่ยนแปลงขนาดของความสูงต่อความกว้างของภาพ ส่วนที่ 2 คือส่วนการจำแนกซึ่งในงานวิจัยนี้จะเรียกว่า Fall Incident Testing ประกอบด้วย การทดสอบสมมุติฐานการล้ม (Hypothesis Testing) และใช้ผลจากการอ่านค่ามุมที่เปลี่ยนแปลงไปเพื่อช่วยในการยืนยันการล้มซึ่งจะให้ผลที่ชัดเจนเช่น เมื่อคนกำลังจะล้มค่ามุมที่อ่านได้จะต้องน้อยกว่า 45 องศา เป็นต้น นอกจากนี้ยังใช้ Finite State Machine เพื่อช่วยในการวิเคราะห์คุณสมบัติการล้มที่

หามาได้อีกทางหนึ่งด้วย ข้อจำกัดของระบบคือ เนื่องจากระบบจะอ่านค่ามุม และหาค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงขนาดของความสูงต่อความกว้างของภาพ ทำให้การติดตั้งกล้องจะต้องวางอยู่ในระดับสายตา (ในการทดลองวางไว้บนโต๊ะ) เท่านั้นจึงจะให้ผลลัพธ์ที่ถูกต้อง ในขณะที่เมื่อทำการทดลองโดยติดไว้บนเพดานจะไม่สามารถระบุแยกเหตุการณ์การล้มได้

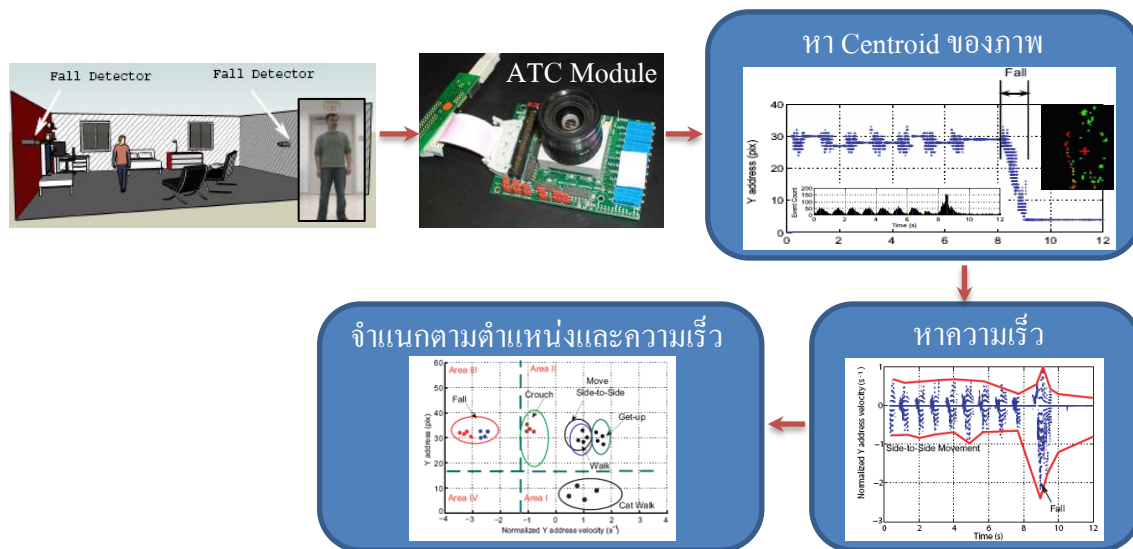


ภาพประกอบ 1-7 ภาพรวมการทำงานของงานวิจัยจาก [10]

1.2.7. An address-event fall detector for assisted living applications [11]

งานวิจัยนี้เป็นการนำเอาวิธีการประมวลผลโดย นำเอาภาพจากกล้องออกมาประมวลผลด้วยโปรแกรม MATLAB ซึ่งข้อมูลภาพที่ได้มาผู้ทำวิจัยได้ใช้วิธีการทำการหาความต่างของภาพผลลัพธ์ที่ได้จะนำมาเก็บค่าตำแหน่งแล้วหาค่าเฉลี่ยตำแหน่งทั้งแกน x และแกน y เพื่อจะทำการหาค่าจุดศูนย์กลางถ่วง แต่ข้อสำคัญคือการหาค่าจุดศูนย์กลางถ่วงนี้จำเป็นต้องทำการเฉลี่ยภาพอย่างน้อย 10 เฟรมเพื่อให้ได้ค่าจุดศูนย์กลางถ่วงที่ถูกต้องและไม่ให้เกิดข้อผิดพลาดเมื่อนำไปใช้ในการคำนวณหาความเร็วในขั้นตอนการวิเคราะห์จะเอาผลลัพธ์ของตำแหน่งของจุดศูนย์กลางถ่วงมาเพื่อยืนยันและบอกว่าสิ่งที่จับอยู่เป็นคนหรือสัตว์เลี้ยงกล่าวคือถ้าตำแหน่งของจุดศูนย์กลางถ่วงอยู่ต่ำเกินไปการจำแนกก็จะบอกเป็นสัตว์เลี้ยง ส่วนความเร็วที่ได้จากการคำนวณการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งจุดศูนย์กลางถ่วงต่อเวลาจะนำมาใช้ในการบ่งบอกว่าเกิดการล้มหรือไม่ ข้อสังเกตที่น่าสนใจในงานวิจัยนี้คือ จากการทดลองจะเห็นว่า การล้มจะมีปริมาณของอัตราส่วนของจำนวน ผลลัพธ์ของจำนวนจุดภาพที่มีการเปลี่ยนแปลง (event) อยู่ที่ ประมาณ 5120 event/s ในขณะที่พฤติกรรมที่ดูแล้วใกล้เคียงกับการล้มมากที่สุดคือการ

กัม-เงย ซึ่งจะมีปริมาณ อยู่ที่ประมาณ 3500 event/s กระบวนการในการประมวลผลสามารถแสดง ให้ดูเป็นกระบวนการอย่างง่ายได้ดังภาพประกอบที่ 1-8



ภาพประกอบ 1-8 ภาพรวมการทำงานของงานวิจัยจาก [11]

1.2.8. Design of Embedded Video Capture System Based on ARM9 [12]

งานวิจัยนี้เป็นการนำเสนอต้นแบบการเอา กล้อง USB มาบันทึกภาพและส่งสัญญาณภาพ ไปประมวลผลบนอุปกรณ์ ARM9 สัญญาณภาพที่ได้มาจะมีการเข้ารหัสให้เป็นภาพชนิด MPEG-4 ทั้งนี้ทางผู้วิจัยได้เพิ่มการประยุกต์ใช้งานในส่วนของการส่งข้อมูลภาพผ่านระบบเครือข่ายร่วมด้วย โดยการใช้ชุดอุปกรณ์มากกว่า 1 ชุดที่จะทำการรับภาพและส่งข้อมูลภาพวิดีโอผ่านระบบเครือข่าย ไปแสดงผลบนคอมพิวเตอร์ การออกแบบและการใช้งานอุปกรณ์จะทำการออกแบบด้วยลินุกซ์

1.3 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาและพัฒนาระบบตรวจจับการล้มของผู้สูงอายุโดยใช้คุณสมบัติของการประมวลผลภาพ
2. เพื่อพัฒนาระบบต้นแบบที่มีการรักษาความเป็นส่วนตัวสูง โดยใช้หลักการวิเคราะห์และประมวลผลภาพด้วยวิธีเปรียบเทียบผลต่างของเฟรมภาพ (Frame difference)

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

1. พัฒนาระบบต้นแบบที่ทำการตรวจจับการล้มของผู้สูงอายุโดยใช้คุณสมบัติของการประมวลผลภาพ

2. ระบบที่ทำการพัฒนาจะมีการรักษาความเป็นส่วนตัวของผู้ถูกเฝ้าติดตาม โดยข้อมูลสุดท้ายที่จะทำการส่งออกจากระบบจะเป็นเพียงผลลัพธ์ของการลี้มเท่านั้น
3. อัลกอริทึมที่ใช้ในการวิเคราะห์จะใช้หลักการเปรียบเทียบผลต่างของเฟรมภาพเพื่อลดขั้นตอนและความซับซ้อนในการประมวลผล
4. สถานที่ที่จะทำการทดสอบการตรวจจับจะเป็นบริเวณห้องน้ำขนาดไม่เกิน 2 ตารางเมตร
5. ระบบใช้ติดตามบุคคลคนเดียวภายในห้องน้ำ ไม่มีการจดจำรายละเอียดคุณลักษณะของบุคคล

1.5 ขั้นตอนและวิธีดำเนินงานวิจัย

1.5.1. ขั้นตอนการดำเนินงาน

ขั้นที่ 1: รวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับการตรวจจับการเคลื่อนไหวของวัตถุ

ขั้นที่ 2: ศึกษาเกี่ยวกับเทคโนโลยีที่ใช้ในการพัฒนาโปรแกรม

- การใช้งาน โปรแกรม OpenCV
- อัลกอริทึมของการตรวจจับการเคลื่อนไหว และการลี้ม

ขั้นที่ 3: จัดซื้ออุปกรณ์ ที่ใช้ประกอบงานวิจัย

ขั้นที่ 4: ทดสอบขั้นตอนการประมวลผลภาพ

- ทำการบันทึกภาพเคลื่อนไหวตัวอย่างการทดสอบในรูปแบบต่างๆ
- ทดสอบการตรวจภาพเคลื่อนไหว (Motion detection)
- ทดสอบการลบพื้นหลังที่ไม่เกี่ยวข้องออก (Background subtraction)
- ทดสอบการตีความหมายของลักษณะของวัตถุที่พิจารณา

ขั้นที่ 5: ทดลองการใช้งาน และทดลองการจัดการระบบของ ARM9 และ Module กล้อง

- การใช้งานกล้อง และการรับภาพบน ARM9
- การใช้งาน Linux บน ARM9
- การใช้งาน OpenCV บน ARM9

ขั้นที่ 6: พัฒนาอัลกอริทึม ที่ใช้ในการวิเคราะห์การลี้มให้มีความเหมาะสมบน ARM9และ เหมาะกับการรับภาพจาก Module กล้องแบบ Real-time

ขั้นที่ 7: ข้อมูลผลลัพธ์ ที่ได้จากอัลกอริทึมการวิเคราะห์การลี้ม สามารถส่งผ่านค่าไปบน server ได้

ขั้นที่ 8: ทดสอบการใช้งานจริงในบ้านอัจฉริยะ

ขั้นที่ 9: ปรับปรุงแก้ไขระบบให้เสร็จสมบูรณ์

ขั้นที่ 10: สรุป วิเคราะห์ผลงาน และจัดทำรายงานฉบับสมบูรณ์

1.5.2. ระเบียบวิธีวิจัย

จากการเห็นปัญหาที่พบในบริเวณห้องอาบน้ำซึ่งนับว่าเป็นพื้นที่เปราะบางมีความอันตรายเสี่ยงต่อการเกิดการหกล้มได้ง่าย แต่จากหลายๆ วัฏกรรมที่มีการนำเสนอไม่สามารถตอบสนองตามความต้องการในจุดนี้ได้ การประยุกต์ใช้กล้องในการตรวจจับการล้มก็เป็นวัฏกรรมหนึ่งที่ทางผู้วิจัยมีความสนใจในการนำมาใช้งานในการตรวจจับการล้ม เนื่องจากมีราคาถูกใช้งานได้ง่าย หลักการทำงานเป็นการนำมุมมองของภาพซึ่งเปรียบเสมือนการมองด้วยตามาใช้ในการประมวลผลทำให้ไม่จำเป็นต้องติดตั้งอุปกรณ์ที่ตัวของผู้ที่จะทำการตรวจจับ แต่ในขณะเดียวกันข้อดีดังกล่าวก็ยังมีอุปสรรคหนึ่งซึ่งนับว่าเป็นปัญหาสำคัญมากกล่าวคือ เนื่องจากสถานที่ที่ต้องการทำการตรวจจับเป็นพื้นที่ที่มีความเป็นส่วนตัวสูงหากมีการส่งภาพออกไปประมวลผลอาจมีปัญหาในส่วนของข้อมูลภาพที่อาจโดนจารกรรมระหว่างการส่งข้อมูลได้ หรือการเอาภาพไปจัดเก็บเพื่อทำการประมวลผลในอีกที่หนึ่งอาจส่งผลให้ข้อมูลดังกล่าวถูกจับตามองโดยผู้เฝ้าสังเกตได้

จากที่กล่าวมาการแก้ไขปัญหาดังกล่าวผู้วิจัยจึงนำเสนอวิธีการตรวจจับการล้มด้วยวิธีการใช้การประมวลผลภาพ แต่การพัฒนาจะทำบนระบบสมองกลฝังตัวที่จะติดตั้งไว้ภายในบริเวณพื้นที่ที่จะทำการตรวจจับการล้ม ซึ่งในงานวิจัยนี้จะทำการทดลองและติดตั้งภายในบริเวณห้องน้ำ แต่เมื่อพัฒนาบนระบบสมองกลฝังตัวปัญหาหนึ่งที่จะตามมาและต้องพัฒนาควบคู่ไปด้วยคือ อัลกอริทึมที่ใช้ในการประมวลผล ซึ่งอัลกอริทึมนี้จะเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญเป็นอย่างมากที่จะต้องเหมาะสม และสามารถประมวลผลได้แบบทันที (Real-time Processing)

อัลกอริทึมที่จะใช้ในการวิเคราะห์นี้จะใช้หลักการของการเปรียบเทียบเฟรมภาพ 2 ภาพที่อยู่ติดกันแล้วทำการนับจุดภาพที่มีความต่างกันดังภาพประกอบที่ 1-9 ซึ่งจากสมมติฐานคือหากวัตถุในภาพเคลื่อนไหวช้า (เช่น การเดิน, ขยับซ้าย-ขวา, การก้ม-เงย) จะให้ผลลัพธ์ของความต่างของภาพน้อยกว่าวัตถุที่เคลื่อนไหวเร็วกว่า (เช่น การล้ม)



ภาพประกอบ 1-9 ตัวอย่างผลจากการเปรียบเทียบความต่างของภาพ

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้เทคนิคการประมวลผลภาพด้วยวิธีเปรียบเทียบผลต่างของเฟรมภาพ สำหรับระบบสมองกลฝังตัว
2. ได้ระบบเฝ้าระวังการล้มของผู้สูงอายุ และระบบต้นแบบที่มีความเป็นส่วนตัวสูง
3. ลดอัตราความเสี่ยงที่จะเกิดจากช่วยเหลือที่มีความล่าช้าเมื่อเกิดการล้ม
4. เป็นทางเลือกหนึ่งที่จะเสริมความเชื่อมั่น ลดภาระงานของบุคลากรทางการแพทย์และสามารถใช้ติดตามสุขภาพของผู้สูงอายุเพื่อช่วยเหลือหากเกิดการล้มในพื้นที่ที่มีการปกปิด

1.7 ทรัพยากรที่ใช้ในการพัฒนาระบบ

ในการวิจัยนี้เป็นการพัฒนาระบบตรวจจับการล้มซึ่งมีซอฟต์แวร์และอุปกรณ์ที่ใช้ในการออกแบบและทดสอบดังนี้

- (1) คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล (Personal Computer) มีหน่วยประมวลผลกลาง Core2 Duo อัตราเร็ว 2.21 GHz และหน่วยความจำชั่วคราว(RAM) 3 GB
- (2) FriendlyARM mini 2440 หน่วยประมวลผลกลาง Samsung S3C2440A ARM920T อัตราเร็ว : 400 MHz หน่วยความจำชั่วคราว 64 MB และหน่วยความจำหลัก(Flash Memory) 256 MB
- (3) กล้อง Panasonic รุ่น SV-AS10 Frame rate : 25 fps
- (4) กล้อง WEBCAM ICON IC-338 Resolution : 16 M pixels Frame rate : 30 fps
- (5) โปรแกรม Microsoft Visual C++ 6.0 และคลังโปรแกรม OpenCV สำหรับใช้ในการออกแบบและพัฒนาอัลกอริทึมเบื้องต้น
- (6) Embedded Linux สำหรับใช้งานบน ARM

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

เนื้อหาบทนี้กล่าวถึงความรู้พื้นฐานและทฤษฎีต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์ ได้แก่ การล้มในลักษณะต่างๆกัน ซึ่งจะช่วยให้รู้ถึงพฤติกรรมที่ล้มในผู้สูงอายุ รวมถึงปัจจัยเสี่ยงที่ส่งผลให้เกิดการล้ม ทำให้เห็นถึงความคุ้มค่าในการทำการพัฒนาต่อ นอกจากนี้ยังมีการนำเสนอในส่วนของนวัตกรรมที่มีการวิจัยที่เกี่ยวกับการล้ม มีการนำเสนอในส่วนของกระบวนการประมวลผลภาพด้วยคอมพิวเตอร์ในหลายๆเทคนิคหลายๆรูปแบบของอัลกอริทึม และสุดท้ายเป็นการนำเสนอลักษณะของรูปแบบต่างๆของระบบสมองกลฝังตัว ตลอดจนแนะนำพร้อมทั้งอธิบายการทำงานแบบระบบทันที (Real-time system)

2.1 การล้มในลักษณะต่างๆกัน และปัจจัยเสี่ยงของการล้ม

2.1.1 การล้มในลักษณะต่างๆ

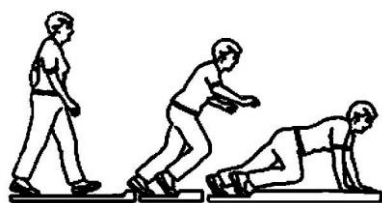
การล้มพบประมาณ 1 ใน 3 ของผู้สูงอายุ(ผู้ที่มีอายุ 60 ปีขึ้นไป) [2] แต่การเกิดอุบัติเหตุที่รุนแรงถึงขั้นทำให้เกิดกระดูกหักจะพบเพียง ร้อยละ 3-5 ของการล้มทั้งหมด แต่อย่างไรก็ตามเมื่อเกิดการล้มขึ้นผลที่ตามมาก็คือ ตัวของผู้สูงอายุจะกลัวการล้มครั้งต่อไป ทำให้ไม่ยอมเดินหรือเดินน้อยลง ปัญหาที่ตามมาจึงเกิดความเสื่อมของข้อกระดูก ฯลฯ จากการไม่ใช้งานได้เช่นกัน จากงานวิจัยทางการแพทย์พบว่าตำแหน่งที่พบกระดูกหักจากการล้มได้บ่อย สามารถแบ่งได้ 2 กลุ่มตามลักษณะการล้มซึ่งเป็นปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับอายุได้แก่

2.1.1.1 การล้มในกลุ่มของวัยทำงาน

กลุ่มนี้เป็นกลุ่มที่สามารถเดินได้คล่องแคล่ว มักจะพบว่าล้มไปข้างหน้าพร้อมกับใช้มือยันพื้นดังภาพประกอบที่ 2-1 (ก) คนในกลุ่มนี้จะพบว่าชิ้นส่วนของกระดูกที่หักจะเป็นบริเวณกระดูกปลายแขน กระดูกต้นแขน กระดูกข้อมือ เป็นต้น

2.1.1.2 การล้มในกลุ่มของผู้สูงอายุ

กลุ่มนี้จะเป็นกลุ่มที่เดินช้า การล้มมักเกิดจากการเสียทรงตัวทำให้พบว่าท่าล้มที่เกิดมักพบว่าล้มมาทางด้านหลังดังภาพประกอบที่ 2-1 (ข) คนในกลุ่มนี้จะพบว่าชิ้นส่วนของกระดูกที่หักจะเป็นบริเวณ ข้อสะโพก กระดูกเชิงกราน และกระดูกซี่โครง ทั้งนี้ในการวิจัยยังพบอีกว่า ในรายที่เกิดกระดูกหัก โดยเฉพาะข้อสะโพกหัก จะมีความทุพพลภาพ และอัตราการตายค่อนข้างสูงอีกด้วย



(ก) ลักษณะการล้มของกลุ่มวัยทำงาน



(ข) ลักษณะการล้มของผู้สูงอายุ

ภาพประกอบ 2-1 ลักษณะท่าทางการล้มที่พบบ่อยโดยแบ่งตามกลุ่มวัย[2]

2.1.2 ปัจจัยเสี่ยงของการล้ม

ปัจจัยเสี่ยงต่อการล้มสามารถเกิดได้หลายปัจจัย แต่เราสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ปัจจัยหลักๆได้แก่

2.1.2.1 ปัจจัยจากตัวมนุษย์เอง

- (1) การมองเห็นไม่ชัด
- (2) ระบบไหลเวียนโลหิตและหัวใจ
- (3) ปัญหาของขา เช่น ข้ออักเสบ กล้ามเนื้ออ่อนแรง
- (4) ท่าเดินและการทรงตัวผิดปกติ เช่น ในผู้ป่วยหลอดเลือดสมอง โรคของไขสันหลัง ความผิดปกติ หรือความเสื่อมของสมอง
- (5) กระเพาะปัสสาวะทำงานผิดปกติ ทำให้ผู้สูงอายุต้องเร่งรีบที่จะไปเข้าห้องน้ำ
- (6) ความบกพร่องของสติปัญญา การรับรู้ สมองเสื่อม ซึมเศร้า หรือวิตกกังวล
- (7) ผลข้างเคียงจากการรับยาประเภทต่างๆ

2.1.2.2 ปัจจัยภายนอกจากสิ่งแวดล้อม

ปัจจัยจากภายนอกเกิดได้จากสาเหตุหลายกรณี เช่น แสงสว่างไม่เพียงพอ หรือสว่างมากจนเกินไป พื้นลื่นหรือพื้นต่างระดับ ปัญหาภายในห้องน้ำ ปัญหาของอุปกรณ์ตกแต่งบ้าน และเครื่องใช้ที่ไม่เหมาะสมในส่วนของขนาด หรือความสูง เป็นต้น

นอกจากนี้ในงานวิจัยในต่างประเทศมีการทำสำรวจลักษณะการล้มที่เกิดขึ้นในห้องส้วม[13] โดยความน่าสนใจและความสอดคล้องกันของงานนี้กับการตรวจจับการล้มในห้องส้วมคือ ลักษณะท่าทางอิริยาบถที่มีความเสี่ยงต่อการเกิดการล้ม โดยสามารถพิจารณาได้ดังตารางที่ 2-1 ข้อสังเกตจากตารางพบว่า แม้เป้าหมายของงานวิจัยจะมุ่งไปที่การเข้าใช้ห้องน้ำห้องส้วม แต่เมื่อพิจารณาโดยภาพรวมจะพบว่าในหลายๆพฤติกรรมจะสามารถพบได้ในการอาบน้ำเช่นกันเช่น การยืนนิ่งๆ และการเอื้อมเก็บของ ซึ่งทั้งสองอิริยาบถ เป็นกริยาอาการที่พบบ่อยขณะ อาบน้ำและจากตารางที่ 2-1 พบว่าอิริยาบถดังกล่าวเป็นท่าทางที่เสี่ยงต่อการเกิดเหตุการณ์หกล้มได้ง่าย

ตารางที่ 2-1 รูปแบบกิจกรรมพื้นฐานที่เกิดขึ้นได้ในห้องส้วม [13]

	Movments													
	Walking	Standing still	Blancing on one leg/foot	Turning around	Moving arm	Moving hand(s)/finger(s)	Pushing/puling	Reaching	Stooping	Lifting	Sitting down	Sitting	Standing up	Moving hand down
Walk to toilet environment	X													
Open door	X	X			0	0	0	X						
Switch on light	X				0	0		X						
Close door	X	X		X	0	0	0	X						
Lock door	X				0	0		X						
Go to toilet bowl	X	X		X										
Hold still in front of toilet bowl		X												
Lift toilet lid	X				0	0		X	X	0				X
Lower/lift toilet seat	X				0	0		X	X	0				X
Clean toilet seat	X				0	0		X	X					X
Remain standing	X													
Urinate standing	X													
Turn in front of toilet bowl	X	X	X											
Undress	X	X			0	0								X
Sit down	X		X							X				X
Urinate/defecate seated											0			
Grasp toilet paper					0	0		X			0			X
Tear toilet paper					0	0	0	X			0			
Wet toilet paper					0	0		X			0			
Wipe with toilet paper		X			0	0		X	X		0			X
Dispose of toilet paper					0	0		X			0			X
Get sanitary/incontinence towel					0	0		X	X		0			X
Apply sanitary/incontinence towel					0	0					0			X
Stand up	X												X	X
Dress	X	X			0	0								X
Check clothing	X	X			0	0								X
Turn in front of toilet bowl	X	X	X											
Inspect faeces	X		X						X					X
Flush toilet	X				0	0	0	X						
Grasp toilet brush	X				0	0		X	X	0				X
Apply toilet brush	X				0	0		X	X	0				X
Place toilet brush back	X				0	0		X	X	0				X
Lower toilet seat	X				0	0		X	X	0				X
Lower toilet lid	X				0	0		X	X	0				X
Go to washbasin	X		X											
Open faucet	X				0	0		X						
Wash hands	X				0	0								
Close faucet	X				0	0		X						
Dry hands	X				0	0								
Look in mirror	X													X
Go to door	X		X											
Unlock door	X				0	0		X						
Open door	X	X			0	0	0	X						
Switch off light	X				0	0		X						
Close door	X	X		0	0		0	X						
Walk away from toilet environment	X		X											

Activities

Basic toilet activity
 Activity including movment 0
 Activity including movment with an increased fall risk X

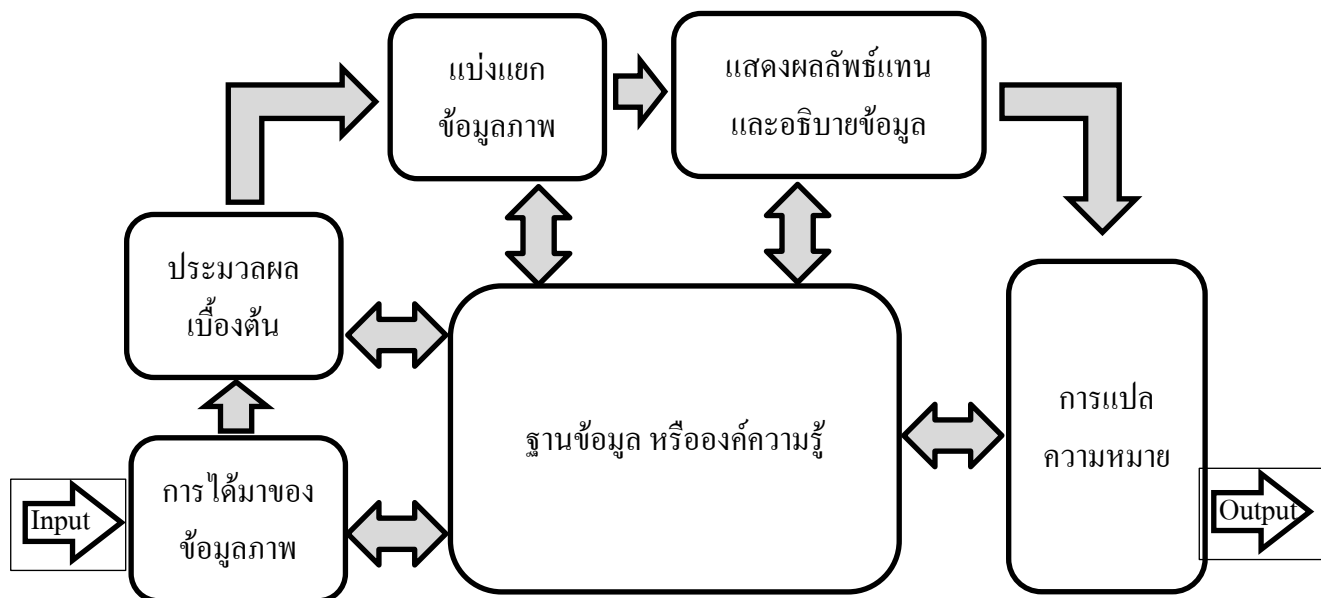
ดังนั้นข้อมูลทั้งหมดจึงสอดคล้องและสนับสนุนกับงานวิจัยชิ้นนี้ที่ต้องการจะพัฒนาเพื่อทำการตรวจจับการล้มภายในพื้นที่บริเวณห้องน้ำ ซึ่งเป็นพื้นที่เปียกอยู่ตลอดเวลา มีความลื่น เสี่ยงต่อการเสียการทรงตัว ทั้งนี้บางส่วนจากผลงานวิจัยทางการแพทย์ที่ได้มาแล้วนี้ นำมาซึ่งการออกแบบท่าทาง การทดสอบการล้ม ได้อีกด้วย

2.2 กระบวนการทางด้านการประมวลผลภาพด้วยคอมพิวเตอร์

การประมวลผลของภาพ เป็นเทคนิคการทำให้คอมพิวเตอร์ หรือหน่วยประมวลผลมีความเข้าใจในข้อมูลของภาพนิ่ง หรือภาพเคลื่อนไหวที่รับเข้ามา โดยภาพที่ได้จะเก็บอยู่ในรูปแบบของข้อมูลดิจิทัลซึ่งเป็นการเรียงตัวกันของกลุ่มของจุดสีเหลี่ยมขนาดเล็กที่เรียกว่า จุดภาพ (Pixel) ตามแนวตั้งและแนวนอนในลักษณะของสี่เหลี่ยมมุมฉาก โดยจะมีระดับค่าสีต่างๆกันในแต่ละจุดภาพทำให้เกิดเป็นภาพขึ้น ความละเอียดของภาพก็เป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อคุณภาพของภาพ การใช้รูปภาพในแต่ละงานจึงใช้ความละเอียดของภาพแตกต่างกันไปแล้วแต่ความเหมาะสม ค่าความละเอียดภาพ คือ จำนวนจุดภาพต่อนิ้ว (Pixel per inch (ppi)) หรือ จำนวนจุดภาพในความกว้าง 1 นิ้ว (Dot per inch (dpi)) นอกจากนี้ยังมีความหมายอีกนัยหนึ่งคือ จำนวนจุดภาพทั้งหมด (กว้าง x ยาว) ต่อ 1 ภาพ เช่น ถ้าภาพมีจำนวนจุดแนวนอน 640 จุด แนวตั้ง 480 จุด ความละเอียดภาพก็สามารถเขียนได้เป็น 640x480 ได้เช่นกัน

ภาพที่เรามองเห็นด้วยสายตาทั่วไปนั้นเป็นภาพในลักษณะสามมิติ คือ มีมิติของความกว้าง ความยาว และความลึกหรือความสูง ส่วนภาพถ่ายที่เห็นกันอยู่ในโทรทัศน์หรือเครื่องคอมพิวเตอร์นั้นเป็นการแปลงภาพจากสามมิติ มาเป็นสองมิติ โดยการแปลงสัญญาณไฟฟ้าในรูปแบบอนาล็อก ยกตัวอย่างเช่น ในกล้องวิดีโอ เช่นเซอร์ที่อยู่ในกล้องจะทำการสแกนหรือวัดผลรวมความเข้มแสงที่จุดต่างๆไปตามแนวสแกน (Raster scan) การสแกนแบบนี้จะมีทิศทางจากบนลงล่าง และจากซ้ายไปขวา ภาพที่ได้จากการสแกนนั้นจะเป็นภาพแบบต่อเนื่อง (Continuous image) ด้วยความเร็วทั่วไปที่ 24 ภาพต่อวินาที (แต่ทั้งนี้อาจมีการเปลี่ยนแปลงแล้วแต่ประสิทธิภาพของกล้องแต่ละรุ่น) เช่นเดียวกันนี้ในเครื่องรับภาพวิดีโอก็จะรับภาพที่ได้มาจากเครื่องถ่ายวิดีโอ และแสดงผลโดยเริ่มจากบนลงล่างและจากซ้ายไปขวาเช่นเดียวกันแต่ภาพที่ได้มาจากระบบอนาล็อกนั้นยังเป็นภาพแบบต่อเนื่อง ที่ยังไม่สามารถนำมาใช้ในการประมวลผลได้ ต้องมาทำการแปลงให้เป็นภาพเชิงตัวเลข(Digitization)เสียก่อน ซึ่งเป็นการแปลงฟังก์ชันต่อเนื่อง $f(x, y)$ ให้เป็นฟังก์ชันไม่ต่อเนื่อง $g(x, y)$ เพื่อให้นำมาประมวลผลด้วยคอมพิวเตอร์ได้

การประมวลผลภาพดิจิทัลเป็นหลักการทำงานร่วมกันของฮาร์ดแวร์ ซอฟต์แวร์ และหลักทฤษฎีการประมวลผลภาพ โดยมีการทำงานตามขั้นตอนอย่างเหมาะสมและเป็นไปตามเทคนิคทางด้าน การประมวลผลภาพ ดังภาพประกอบที่ 2-2

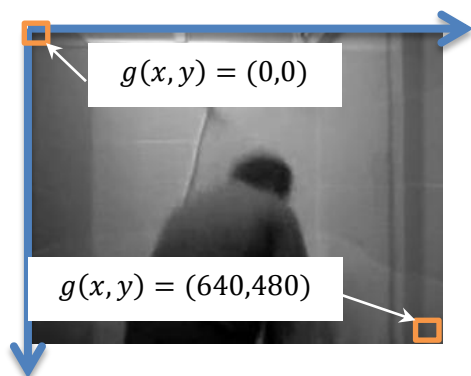


ภาพประกอบ 2-2 ขั้นตอนพื้นฐานของการประมวลผลภาพดิจิทัล

2.2.1 การได้มาของข้อมูลภาพ (Image acquisition)

การนำข้อมูลภาพเข้าสู่คอมพิวเตอร์ [14] อาศัยตัวรับรู้สัญญาณภาพและสามารถแปลงให้เป็นสัญญาณระบบดิจิทัลด้วยตัวรับรู้ เช่น กล้องถ่ายภาพดิจิทัล กล้องวิดีโอ กล้องเว็บแคม เครื่องสแกน หรืออุปกรณ์รับสัญญาณภาพอื่นๆ ที่เหมาะสมกับระบบงานแต่ละระบบ แต่อย่างไรก็ตามรูปแบบของข้อมูลจะถูกจัดเก็บให้อยู่ในลักษณะของภาพ 2 มิติ ($g(x, y)$) ที่มีความสว่างของแสง (Intensity) หรือความคมชัดแตกต่างกันของแต่ละจุดภาพในตำแหน่งต่างๆ ดังภาพที่

2-3



ภาพประกอบ 2-3 ภาพระบบดิจิทัลขนาด 640x480 พิกเซล

โดยภาพที่ 2-3 แสดงให้เห็นถึงการพิจารณาตำแหน่งของภาพ ซึ่งโดยทั่วไปจะกำหนดให้จุดกำเนิด (Origin) อยู่ที่ด้านมุมซ้ายบนซึ่งจะมีค่าเป็น (0,0) ส่วนที่มุมขวาล่าง จะเป็นตำแหน่งสุดท้ายของภาพซึ่งจะมีค่าตามขนาดของภาพ โดยจากภาพที่ 2-3 มีขนาดภาพ 640x480 พิกเซล ตำแหน่งสุดท้ายจึงเป็นตำแหน่งค่า (640,480)

2.2.2 การประมวลผลภาพเบื้องต้น (Image preprocessing)

เป็นเทคนิควิธีการของการปรับปรุงคุณภาพของข้อมูลภาพดิจิทัลที่ได้จากขั้นตอนการนำเข้าภาพ เพื่อให้ข้อมูลภาพมีความถูกต้องสมบูรณ์ตามความเป็นจริงก่อนนำไปประมวลผล โดยปกติแล้วการปรับปรุงคุณภาพของข้อมูลภาพดิจิทัลมีหลากหลายเทคนิค เช่น การปรับความคมชัด การปรับความสว่าง การกำจัดสัญญาณรบกวน การหมุนและการกรองช่วงความถี่ของภาพ เป็นต้น

2.2.3 การแบ่งแยกข้อมูลภาพ (Image segmentation)

เป็นวิธีการที่จะทำให้สามารถแบ่งแยกข้อมูลภาพออกเป็นส่วนๆ หรือวัตถุ เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ต้องการออกจากพื้นหลัง โดยทั่วไปผลลัพธ์ของการแบ่งแยกข้อมูลภาพจะได้เป็นข้อมูลดิบของจุดภาพที่ประกอบด้วยขอบภาพของแต่ละบริเวณหรือจุดภาพภายในบริเวณนั้น ในแต่ละกรณีจะต้องทำการแปลงข้อมูลให้มีรูปแบบที่เหมาะสมสำหรับการประมวลผลที่บังคับไว้ จะทำให้การตัดสินใจข้อมูลมีการแสดงตัวแทนของขอบภาพหรือบริเวณนั้นๆ อย่างสมบูรณ์

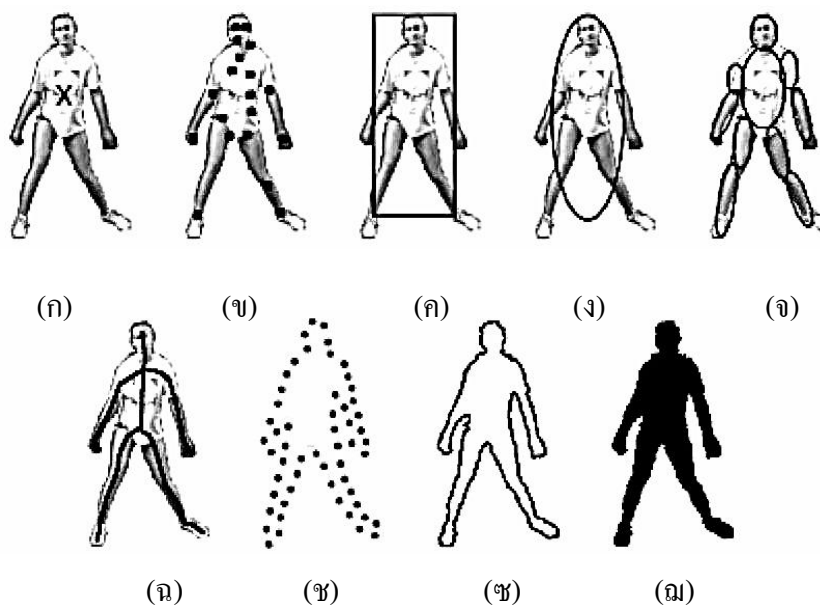
2.2.4 การแสดงตัวแทนและอธิบายข้อมูล (Representation and description)

สำหรับการแสดงภาพหลังจากการแบ่งแยกข้อมูลภาพแล้ว เพื่อให้เห็นถึงลักษณะเด่นและอธิบายข้อมูลภาพของบริเวณต่างๆ ของภาพนำเข้า การเลือกตัวแทนสำหรับแสดงข้อมูลเป็นส่วนเดียวของการแก้ปัญหาสำหรับการแปลงข้อมูลดิบเป็นรูปแบบที่เหมาะสมสำหรับการประมวลผลของคอมพิวเตอร์ต่อไป วิธีการที่จะอธิบายลักษณะเด่นของข้อมูลที่สนใจถือเป็นสิ่งสำคัญ ซึ่งเรียกว่า การเลือกลักษณะเด่น (Feature extraction) ผลลัพธ์ที่ได้จากการแยกลักษณะเด่นหรือความแตกต่างของข้อมูลที่สนใจออกจากข้อมูลอื่นๆ ก็คือ กลุ่มของวัตถุ (Class of object) ที่ต้องการนั่นเอง

2.2.5 การรู้จำและการแปลความหมาย (Recognition and Interpretation)

เป็นขั้นตอนสุดท้ายของการประมวลผลภาพดิจิทัลหลังจากขั้นตอนการแสดงตัวแทนและอธิบายข้อมูล ก็คือ การรู้จำภาพ (Image recognition) ซึ่งเป็นแขนงหนึ่งของการรู้จำแบบรูป (Pattern recognition) โดยการรู้จำภาพจะต้องรู้จำแบบรูปของแต่ละภาพเป้าหมายเพื่อให้คำตอบว่าแบบรูปของภาพนำเข้ามีความคล้ายกับแบบรูปของภาพอ้างอิงภาพใดมากที่สุด และการแปลความหมายนำไปสู่การกำหนดความหมายของชุดข้อมูลรู้จำวัตถุ การได้มาของแบบรูปอ้างอิงนั้นสามารถทำได้หลายวิธี เช่น แบบรูปอ้างอิงอาจอยู่ในรูปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ซึ่งจะต้องมี

วิธีเฉพาะในการเปรียบเทียบ การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สามารถทำได้จากขั้นตอนการฝึกฝน (Training phase) ซึ่งโดยทั่วไปแล้วจะต้องมีตัวอย่างภาพที่มีลักษณะเดียวกันหลายๆภาพ จากนั้นจะทำการคำนวณหาค่าลักษณะเด่นของแต่ละภาพ ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้ก็คือ แบบรูปของภาพเหล่านั้นนั่นเอง แบบจำลองของภาพในแต่ละกลุ่มสามารถคำนวณได้จากค่าสถิติต่างๆ ของแบบรูปของภาพในกลุ่มเดียวกัน บางครั้งอาจอยู่ในรูปของฐานความรู้ (Knowledge base) จำนวนมากจนมีกลุ่มข้อมูลที่เก็บไว้เป็นฐานความรู้ในรูปแบบของฐานข้อมูลความรู้ (Knowledge database)



ภาพประกอบ 2-4 การแสดงวัตถุในรูปแบบต่างๆ [15]

2.3 การแสดงภาพวัตถุ

การแสดงภาพของวัตถุ(Object representation) [15] ในรูปแบบต่าง ๆ โดยสามารถจัดเป็นกลุ่มได้เป็น 5 แบบ ตามรูปแบบของการแสดงค่าแทนภาพของวัตถุ

2.3.1 แบบจุด (Point) เป็นการแสดงภาพวัตถุเป้าหมายโดยการใช้จุด เช่น การใช้ Centroid หรือจุดกึ่งกลาง โดยการใช้กลุ่มของจุด โดยสังเกตได้ว่าจุดจะเหมาะสำหรับการติดตามพื้นที่ขนาดเล็ก แสดงได้ดังภาพที่ 2-4 (ก) จุดศูนย์กลาง (ข)กลุ่มของจุด และ (ช)กลุ่มจุดแสดงรูปร่าง

2.3.2 แบบรูปทรงเรขาคณิต (Primitive geometric shapes) เป็นการแสดงวัตถุโดยแสดงเป็นรูปทรงทางเรขาคณิต เช่น วงรี สี่เหลี่ยม การแสดงภาพวัตถุแบบนี้เหมาะสำหรับภาพทั่วไป แสดงได้ดังภาพที่ 2-4 (ค)สี่เหลี่ยมผืนผ้า และ (ง)วงรี

2.3.3 แบบอาศัยเส้นโครงร่างของวัตถุ (Object silhouette and contour) เป็นการแสดงวัตถุโดยอาศัยเส้นโครงร่างของวัตถุแสดงได้ดังภาพที่ 2-4 (ข)กลุ่มจุดแสดงรูปร่าง และ (ช)แสดงโดยใช้เส้นรูปร่าง เหมาะสำหรับวัตถุที่มีรูปร่างที่ไม่เป็นทรงตัน

2.3.4 แบบใช้องค์ประกอบหลายส่วน (Articulated shape model) เป็นการแสดงวัตถุโดยแสดงองค์ประกอบแต่ละส่วนของภาพเป้าหมายแสดงได้ดังภาพที่ 2-4 (จ) องค์ประกอบหลายส่วน

2.3.5 แบบใช้เส้นแกนกลาง (Skeletal models) เป็นการแสดงวัตถุในรูปแบบแกนกลางของภาพวัตถุ แสดงได้ดังภาพที่ 2-4 (ฉ) ใช้เส้นแกนกลาง

2.4 การกำหนดจุดที่ทำงานเพื่อจำแนกพฤติกรรมการล้ม

การกำหนดจุดที่ทำงาน (Threshold) [16] คือการทำการจำแนกเหตุการณ์ชนิดหนึ่งซึ่งค่าจุดที่ทำงานที่ได้นี้จะใช้ในการกำหนดขอบเขตที่ใช้ในการแบ่งช่วงข้อมูลในการวิเคราะห์ผลการทดลอง ซึ่งในทางการประมวลผลภาพมักใช้ในการกำหนดขอบเขตเพื่อสร้างภาพขาวดำ(Binary image) จากภาพระดับสีเทา (Gray scale) เช่น ภาพของตัวอักษรที่มีความความเข้มของตัวอักษรเป็น 0 (สีดำ) และมีความเข้มของพื้นหลังเป็น 255 (สีขาว) ดังนั้นค่าจุดที่ทำงานจึงควรมีค่าเท่ากับ 128 เพื่อที่จะให้สามารถแยกวัตถุออกจากพื้นหลังได้ โดยปกติแล้วการเลือกจุดที่ทำงานอาจพิจารณาจากกราฟแสดงค่าของสถิติความถี่ของภาพ (Histogram) แต่สำหรับบางงานอาจใช้การพิจารณาจากการแบ่งช่วงจุดทำงานโดยการทำการทดลองซ้ำๆ ได้เช่นกัน การกำหนดจุดทำงานสามารถแสดงได้ดังสมการที่ (2-1)

$$g(x, y) = \begin{cases} 1 & \text{if } (x, y) > \tau \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2-1)$$

เมื่อ $g(x, y)$ เป็นข้อมูลภาพ ณ ตำแหน่งที่ (x, y)
 τ เป็นค่าของจุดทำงาน

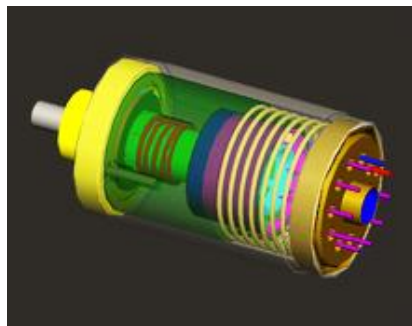
การกำหนดสถานะของการจำแนกพฤติกรรมก็สามารถใช้วิธีการกำหนดจุดทำงานได้เช่นเดียวกัน โดยค่าจุดทำงานจะใช้เกณฑ์จากการพิจารณาเปรียบเทียบจากผลการทดลองจริงที่ได้ซึ่งค่านี้มีที่มาจากการทำงานทดลองแบบเดิมซ้ำๆ เพื่อให้ได้ค่าจุดทำงานที่สามารถครอบคลุมการแบ่งแยกช่วงที่เกิดการล้ม แต่อย่างไรก็ดีค่าของจุดทำงานการกำหนดสถานะแวดล้อมของแต่ละพื้นที่

จะมีลักษณะที่แตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับขนาดของห้อง แสง มุมมอง ระยะที่ใช้ในการตรวจจับวัตถุ เป็นต้น จึงจำเป็นต้องมีการปรับปรุงค่าทุกครั้งหากมีการปรับเปลี่ยนพื้นที่การใช้งาน

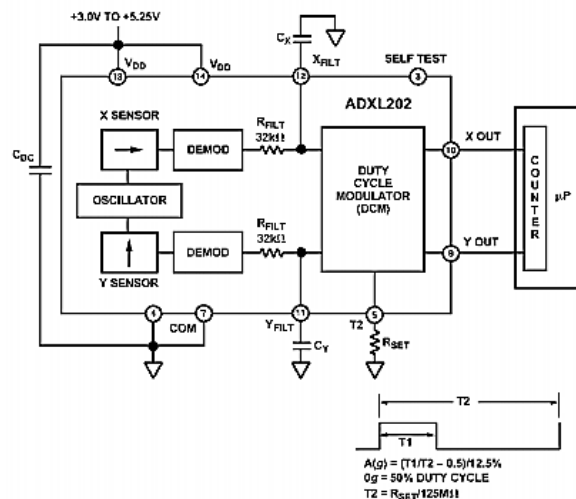
2.5 นวัตกรรมที่ทำการพัฒนาในการวิจัยในงานเกี่ยวกับการตรวจจับการล้ม

ปัญหาของการไม่สมดุลระหว่างการจำนวนของผู้สูงอายุ และจำนวนของผู้ดูแล ส่งผลให้เกิดการออกแบบนวัตกรรมต่างๆออกมามากมาย เพื่อแบ่งเบาภาระในการดูแล และเป็นการเตรียมการเพื่อตอบสนองแนวโน้มของประชากรกลุ่มผู้สูงอายุที่จะเพิ่มขึ้นกว่าเท่าตัวอีกด้วย จากการศึกษางานวิจัยในกลุ่มนี้พบว่าได้มีบทความที่พยายามที่จะนำเสนอการจับกลุ่มงานวิจัยเรื่องการตรวจจับการล้มออกมาหลากหลายรูปแบบ[17] แต่ในงานวิจัยฉบับนี้ผู้วิจัยขอแบ่งกลุ่มของงานวิจัยออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆคือ เซ็นเซอร์ที่ติดบนร่างกาย และเซ็นเซอร์ที่ไม่ได้ติดบนร่างกายซึ่งได้แสดงไว้แล้วตามภาพแผนผังที่ 1-1 (หน้า 2)ทั้งนี้ในกลุ่มของการประมวลผลด้วยภาพทางผู้วิจัยได้แยกย่อยออกตามกลุ่มของอัลกอริทึมที่ใช้ในการประมวล เพื่อง่ายแก่การศึกษาและทำความเข้าใจต่อไป

2.5.1. กลุ่มงานวิจัยระบบตรวจจับการล้มที่ใช้อุปกรณ์เซ็นเซอร์ที่ติดบนร่างกาย



(ก)



(ข)

ภาพประกอบ 2-5 ลักษณะเซ็นเซอร์วัดความเร่งรูปแบบต่างๆ

(ก) ชนิดเชิงกล [18]

(ข) ชนิดอิเล็กทรอนิกส์ (ADXL202) [19]

การจำแนกงานในกลุ่มนี้ เราจะพิจารณาจากที่มาของข้อมูลที่จะนำมาวิเคราะห์ เหตุการณ์การล้ม ซึ่งงานในกลุ่มนี้สัญญาณที่ได้จะได้อาจมาจากอุปกรณ์ประเภทเซ็นเซอร์ที่ติดตั้งที่ตัวของ ผู้ป่วยหรือผู้สูงอายุ โดยอุปกรณ์ที่นิยมใช้งาน คือ เซ็นเซอร์วัดความเร่ง (Accelerometer)

เซ็นเซอร์วัดความเร่ง[18] พบการใช้งานอย่างแพร่หลาย โดยเฉพาะอุปกรณ์ โทรศัพท์ประเภทสมาร์ทโฟน เช่น Iphone, Samsung galaxy เป็นต้น ทั้งนี้อุปกรณ์ดังกล่าวนอกจากเป็นอุปกรณ์ที่ใช้วัดความเร่งแล้วยังสามารถประยุกต์ใช้ในการวัดผลการสิ้นสะท้อนได้อีกด้วย หลักการทำงานของอุปกรณ์ประเภทนี้มี 2 ชนิด คือชนิดเชิงกลดังตัวอย่างภาพประกอบที่ 2-5 (ก) และใช้อิเล็กทรอนิกส์ ดังตัวอย่างภาพประกอบที่ 2-5 (ข)

เซ็นเซอร์วัดความเร่งชนิดเชิงกลจะประกอบด้วยสปริงและลูกตุ้มน้ำหนัก เมื่อการเคลื่อนไหวด้วยความเร่งที่เปลี่ยนไปลูกตุ้มน้ำหนักจะถูกกดไปยังทิศทางด้านตรงข้ามกับทิศทางการเคลื่อนที่ หลังจากนั้นสปริงก็ทำหน้าที่ดึงกลับเข้าที่อีกครั้งเมื่อหยุดการเคลื่อนที่ หากเกิดการเคลื่อนที่ด้วยความเร็วที่คงที่ (ความเร่งเท่ากับศูนย์) ค่าที่วัดได้ก็จะไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง ส่วนชนิดที่เป็นชนิดอิเล็กทรอนิกส์ [19] จะใช้อุปกรณ์ไอซีเฉพาะด้าน ที่ทำหน้าที่ตรวจวัดและส่งผลลัพธ์กลับมาเป็นสัญญาณ ซึ่งมีทั้งในรูปแบบของอนาล็อก และรูปแบบของดิจิทัล

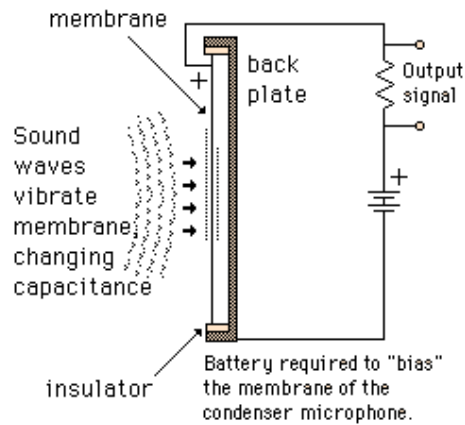
2.5.2. กลุ่มงานวิจัยระบบตรวจจับการล้มที่ไม่ได้ติดอุปกรณ์เซ็นเซอร์ที่บนร่างกาย

การจำแนกงานในกลุ่มนี้ เราจะพิจารณาจากตำแหน่งที่ใช้งานอุปกรณ์ซึ่งงานในกลุ่มนี้ จะมีข้อดีคือสามารถลดความไม่สะดวกในการใช้งานเนื่องจากไม่มีความยุ่งยากในการติดตั้งหรือใช้งานอุปกรณ์บนตัวผู้ป่วย แต่อย่างไรก็ตามการใช้งานอุปกรณ์ในกลุ่มนี้อาจมีข้อจำกัดบางประการที่อาจทำให้ผลจากการตรวจจับเกิดความผิดพลาดได้ หรือไม่สามารถใช้งานได้เลยในบางกรณี อุปกรณ์ในกลุ่มนี้ได้แก่

2.5.2.1 เซ็นเซอร์วัดเสียง

มีบางงานวิจัยนำเซ็นเซอร์วัดเสียงมาประยุกต์ใช้ในการตรวจจับการล้มโดยการรับค่าเสียงที่ได้มาวิเคราะห์สัญญาณ หรือที่ง่ายกว่านั้นคือ อาจติดตั้งเพื่อรับฟังเสียงร้อง ขอความช่วยเหลือแล้วนำเสียงนั้นไปผ่านการตรวจสอบการจำแนกเสียงแล้ว ส่งสัญญาณไปแจ้งเหตุอีกครั้งหนึ่ง ตัวเซ็นเซอร์ที่นิยมใช้งานและเป็นที่รู้จักอย่างแพร่หลายคือ Condenser microphone [20] หลักการทำงานของเซ็นเซอร์ชนิดนี้คือเมื่อมีการเคลื่อนไหวเข้าใกล้และห่างออกจากกันระหว่างไดอะแฟรมกับแผ่นเพลตด้านหลัง (Back plate) ดังภาพประกอบที่ 2-6 โดยไดอะแฟรมจะเคลื่อนไหวตามเสียงที่เข้ามา

การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าขึ้น แต่กระแสไฟฟ้าดังกล่าวจะมีขนาดเล็กมากจำเป็นที่จะต้องนำไปผ่านภาคขยายสัญญาณก่อนการทำการประมวลผล

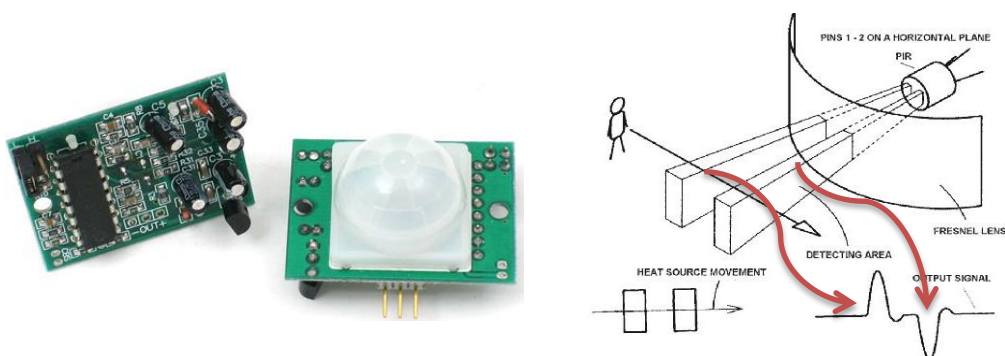


ภาพประกอบ 2-6 ลักษณะการทำงานของเซ็นเซอร์วัดเสียงชนิด Condenser microphone [20]

อัลกอริทึมที่น่าสนใจของอุปกรณ์เซ็นเซอร์เสียงเช่น ค่าของเซปสตรัมที่คำนวณบนความถี่แบบเมล[5] โดย Mel Scale จะเป็นการจัดการกับความถี่ ซึ่งจะทำการตัดแยกเฉพาะช่วงความถี่ที่มนุษย์ได้ยินเท่านั้น หากช่วงไหนที่คนไม่ได้ยินก็จะถูกรองทิ้ง โดยความถี่แบบเมล $Mel(f)$ สามารถแสดงได้ดังสมการที่ (2-2)

$$Mel(f) = 2595 \log_{10} \left(1 + \frac{f}{700} \right) \quad (2-2)$$

2.5.2.2 เซ็นเซอร์อินฟราเรด



ภาพประกอบ 2-7 ตัวอย่างเซ็นเซอร์ประเภท PIR และลักษณะการได้มาของสัญญาณ [21]

เซ็นเซอร์ประเภทอินฟราเรด [21] ประเภทที่นิยมใช้ในการตรวจจับการเคลื่อนไหวคือเซ็นเซอร์ ประเภท PIR หรือ Passive infrared ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ตรวจจับคลื่นรังสีอินฟราเรดจากวัตถุที่เคลื่อนไหวผ่านอุปกรณ์รวมแสง มายังตัวจับสัญญาณ ดังภาพประกอบที่ 2-7 ซึ่งเป็นสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความไวต่อรังสีอินฟราเรด (Pyro electric) ซึ่งจะเปลี่ยนพลังงานความร้อนที่ได้จากรังสีอินฟราเรดมาเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้า นิยมใช้มากในงานที่ใช้ในการเปิด-ปิดอุปกรณ์ หรือตรวจจับการบุกรุก

2.5.2.3 เซ็นเซอร์ที่ใช้การประมวลผลด้วยภาพ

การประมวลผลด้วยภาพที่เกี่ยวกับการตรวจจับการล้ม ที่ใช้งานกันอย่างแพร่หลาย มีการออกแบบไว้หลากหลายวิธี มีความยากง่าย หรือความซับซ้อนในการประมวลผลที่ต่างกันออกไป ขึ้นอยู่กับทรัพยากรที่ใช้งาน หรือวัตถุประสงค์และสถานะแวดล้อมที่ทำการบันทึกภาพ

สำหรับงานวิจัยนี้ได้กล่าวไปแล้วถึงความสำคัญของการออกแบบอัลกอริธึม การนำเสนอในส่วนนี้จึงมีการรวมเอาอัลกอริธึมชนิดต่างๆที่ทั้งเคยมีการใช้งาน และนำเสนอที่จะนำมาประยุกต์ใช้งานสำหรับงานวิจัยนี้

2.6 เทคนิคการประมวลผลภาพเพื่อวิเคราะห์การล้ม

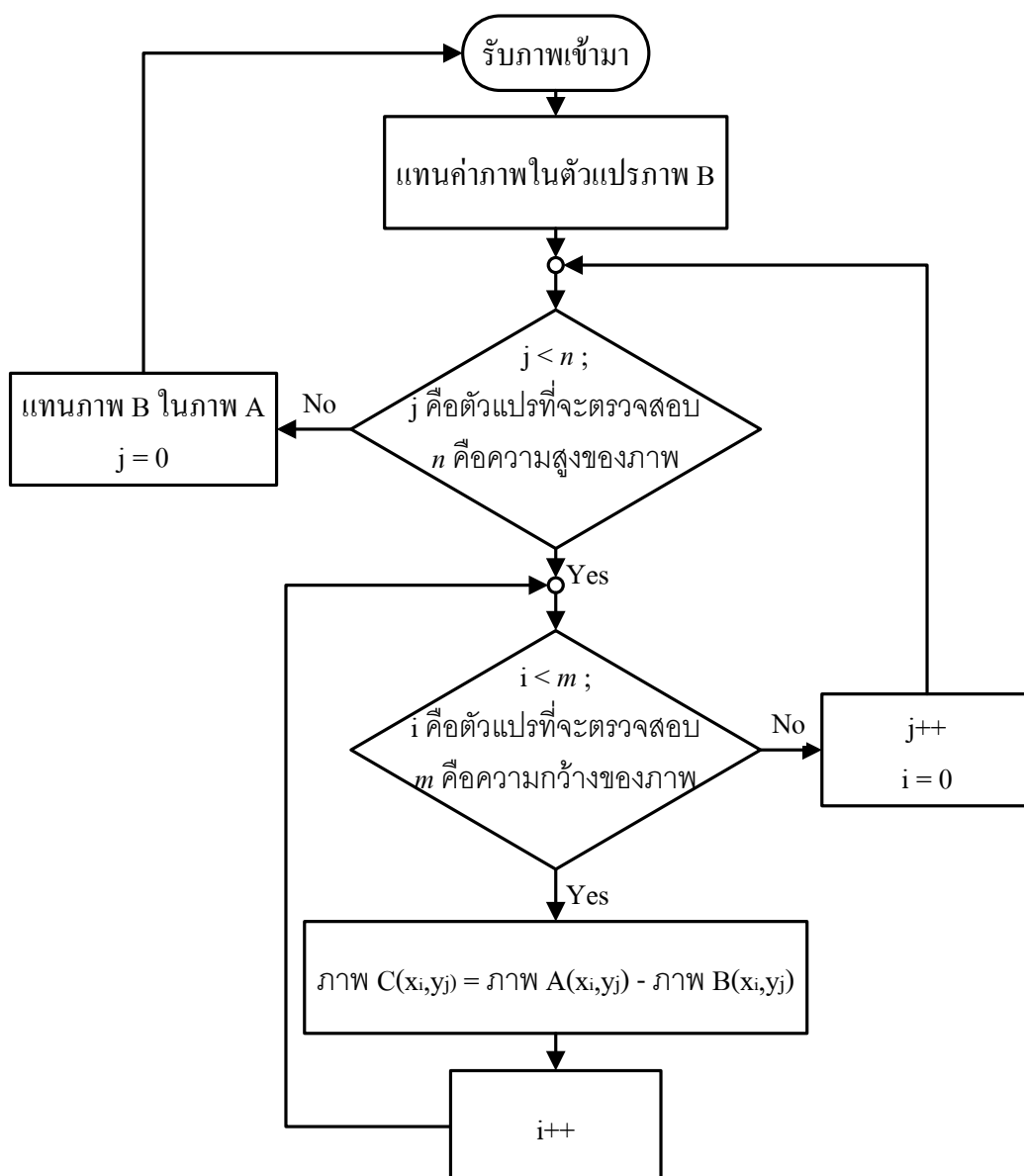
2.6.1 อัลกอริธึมการเปรียบเทียบความต่างของภาพ

เทคนิคการประมวลผลด้วยภาพแทบจะทุกวิธีจำเป็นที่จะต้องมีการประมวลผลในส่วนของการเปรียบเทียบความต่างภาพ เพราะการประมวลผลภาพเบื้องต้นก็ต้องทำการหาวัตถุที่กำลังเคลื่อนไหวก่อนเป็นครั้งแรกแล้วการวิเคราะห์พฤติกรรมจึงจะตามมาแต่ผลที่ได้จากการเปรียบเทียบความต่างของภาพเองจะไม่สามารถช่วยในการจำแนกพฤติกรรมได้ การเปรียบเทียบความต่างของภาพมักจะทำในภาพที่เป็นระบบสีเทา(Grayscale) เนื่องจากค่าของภาพในจุดสีหนึ่งๆ จะมีเพียงมิติเดียวคือ 0-255 ทำให้ง่ายต่อการประมวลผล การเปรียบเทียบความต่างภาพอาจมองได้ 2 แบบคือ

การเปรียบเทียบความต่างของภาพ 2 ภาพ และการลบภาพพื้นหลัง (Background subtraction) ซึ่งทั้งสองแบบจะมีขั้นตอนในการประมวลเหมือนกันต่างกันเพียงข้อมูลของภาพที่จะทำการประมวลผลเท่านั้น วิธีการในการประมวลผลจะทำได้โดย เปรียบเทียบค่าของสีภาพ 2 ภาพ ในตำแหน่งเดียวกัน โดยจะมีการกำหนดค่าเบี่ยงเบนมากน้อยขึ้นอยู่กับความต้องการของผู้ใช้งาน วิธีการนี้สามารถแสดงได้ดังสมการที่ (2-3) และภาพตัวอย่างที่ 2-8



ภาพประกอบ 2-8 ตัวอย่างผลจากการเปรียบเทียบความต่างของภาพ



ภาพประกอบ 2-9 ฟังก์ชันการทำงานของอัลกอริทึมการเปรียบเทียบความต่างของภาพ

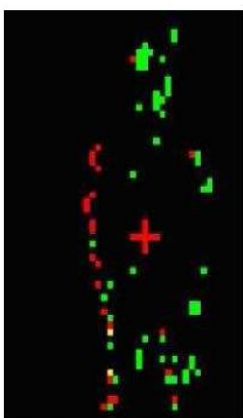
$$C = \begin{bmatrix} B(x_1, y_1) - A(x_1, y_1) & B(x_1, y_2) - A(x_1, y_2) & \cdots & B(x_1, y_m) - A(x_1, y_m) \\ B(x_2, y_1) - A(x_2, y_1) & B(x_2, y_2) - A(x_2, y_2) & \cdots & B(x_2, y_m) - A(x_2, y_m) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ B(x_n, y_1) - A(x_n, y_1) & B(x_n, y_2) - A(x_n, y_2) & \cdots & B(x_n, y_m) - A(x_n, y_m) \end{bmatrix} \quad (2-3)$$

โดยที่ A คือ ภาพที่ช่วงเวลา $t - 1$ B คือ ภาพที่ช่วงเวลา t
 m คือ ความกว้างของภาพ n คือ ความสูงของภาพ
 (x, y) คือ พิกัดของจุดภาพ C คือ ภาพที่ได้จากการเปรียบเทียบ

อัลกอริทึมการประมวลผลด้วยการเปรียบเทียบความต่างภาพสามารถแสดงเป็นแผนผังการทำงาน (Flowchart) ของโปรแกรมอย่างง่ายได้ดังภาพประกอบที่ 2-9 โดยค่าของตัวแปรภาพ A คือ เฟรมภาพก่อนหน้า, ภาพ B คือ เฟรมภาพปัจจุบันที่เพิ่งรับเข้ามา, ภาพ C คือ ภาพที่จะเก็บผลลัพธ์ภาพที่ต่างกัน ส่วน i และ j เป็นเพียงตัวแปรที่ใช้ในการวนรอบการทำงาน

2.6.2 อัลกอริทึมการพิจารณาค่าจุดศูนย์กลางถ่วง

การหาจุดศูนย์กลางถ่วง (Centroid) และหาความเร่งลัพธ์ [11] [15] การทำงานของอัลกอริทึมในส่วนนี้เป็นวิธีการย่อยก่อนวิธีการหาความเร็วของวัตถุ แต่จุดที่น่าสนใจของวิธีการนี้คือ การทำการจัดกลุ่มของภาพ และคำนวณเพื่อหาจุดแทนตำแหน่งของภาพ โดยผู้ที่วิจัยด้วยวิธีนี้จะเก็บข้อมูลพิกัดของจุดภาพควบคู่กับการนับจุดพิกเซลที่มีการเปลี่ยนแปลงพร้อมกันไปด้วย เมื่อนับครบทั้งภาพก็จะทำการคำนวณพิกัดของจุดภาพเพื่อสร้างให้เป็นตัวแทนของวัตถุ โดยหาดำแหน่งพิกัดทั้งแกน x และ y ที่มีจำนวนจุดภาพมากที่สุดดังภาพประกอบที่ 2-10 (ก) จะเห็นว่าจุดศูนย์กลางถ่วงของภาพจะอยู่ที่ตำแหน่งเครื่องหมายบวกสีแดง

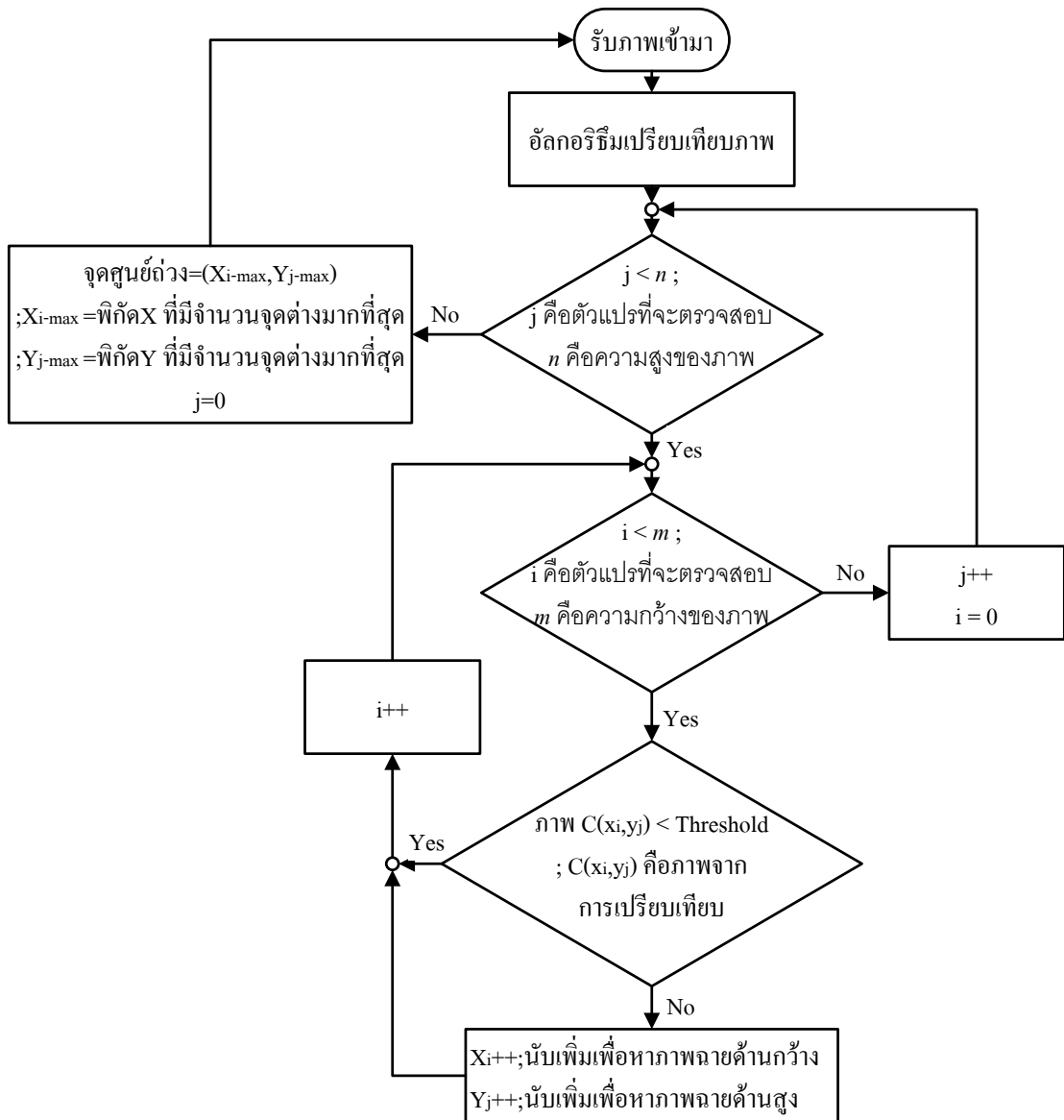


(ก)



(ข)

ภาพประกอบ 2-10 ผลจากการหาดำแหน่งของจุดศูนย์กลางถ่วงของภาพ [11]
 (ก) ผลลัพธ์จากการทำการหาค่าของจุดศูนย์กลางถ่วงของภาพ
 (ข) ภาพสีต้นฉบับก่อนการหาค่าของจุดศูนย์กลางถ่วงของภาพ



ภาพประกอบ 2-11 ฟังก์ชันการทำงานของอัลกอริทึมการเปรียบเทียบความต่างของภาพ

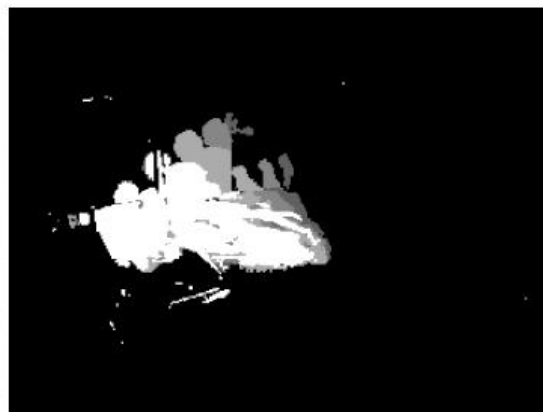
2.6.3 อัลกอริทึมการพิจารณาลักษณะของประวัติการเคลื่อนที่

การหาค่าของประวัติการเคลื่อนที่ (Motion history) [7][8] เป็นวิธีการทำการคัดลอกภาพเคลื่อนไหวล่าสุดไว้ในเลเยอร์ประวัติ (Layer history) แล้วทำการปรับปรุงค่าของภาพเคลื่อนไหวที่มีการเปลี่ยนแปลงไว้ในเลเยอร์ประวัติอีกชั้นหนึ่ง ต่อไปเรื่อยๆ แต่ในขณะเดียวกันจะมีการปรับปรุงค่าความเข้มสีของภาพในเลเยอร์ประวัติที่ผ่านมาด้วย ทำให้ได้ผลลัพธ์ของชั้นเลเยอร์ประวัติล่าสุดจะมีค่าสูงที่สุดในขณะที่ ค่าของเลเยอร์ประวัติก่อนหน้าจะมีค่าน้อยลงไปเรื่อยๆ จนหยุดบันทึกที่ค่าการสลายตัว (Decay value) ตัวอย่างของการแสดงผลการหาค่า

ของประวัติการเคลื่อนที่แสดงได้ดังภาพประกอบที่ 2-12 (ข) วิธีการในการจำแนกเหตุการณ์ด้วยวิธีนี้ อาจใช้การหาค่าเปอร์เซ็นต์การเคลื่อนไหวจากค่าของประวัติการเคลื่อนที่ได้โดยพิจารณาจากภาพที่เหลือจาก แต่ที่นิยมใช้งานมักจะต้องใช้วิธีการหาทิศทางารเคลื่อนที่ (Motion gradient vector flow) และหาความเร็วที่เคลื่อนที่เพื่อช่วยในการพิจารณาด้วย



(ก)



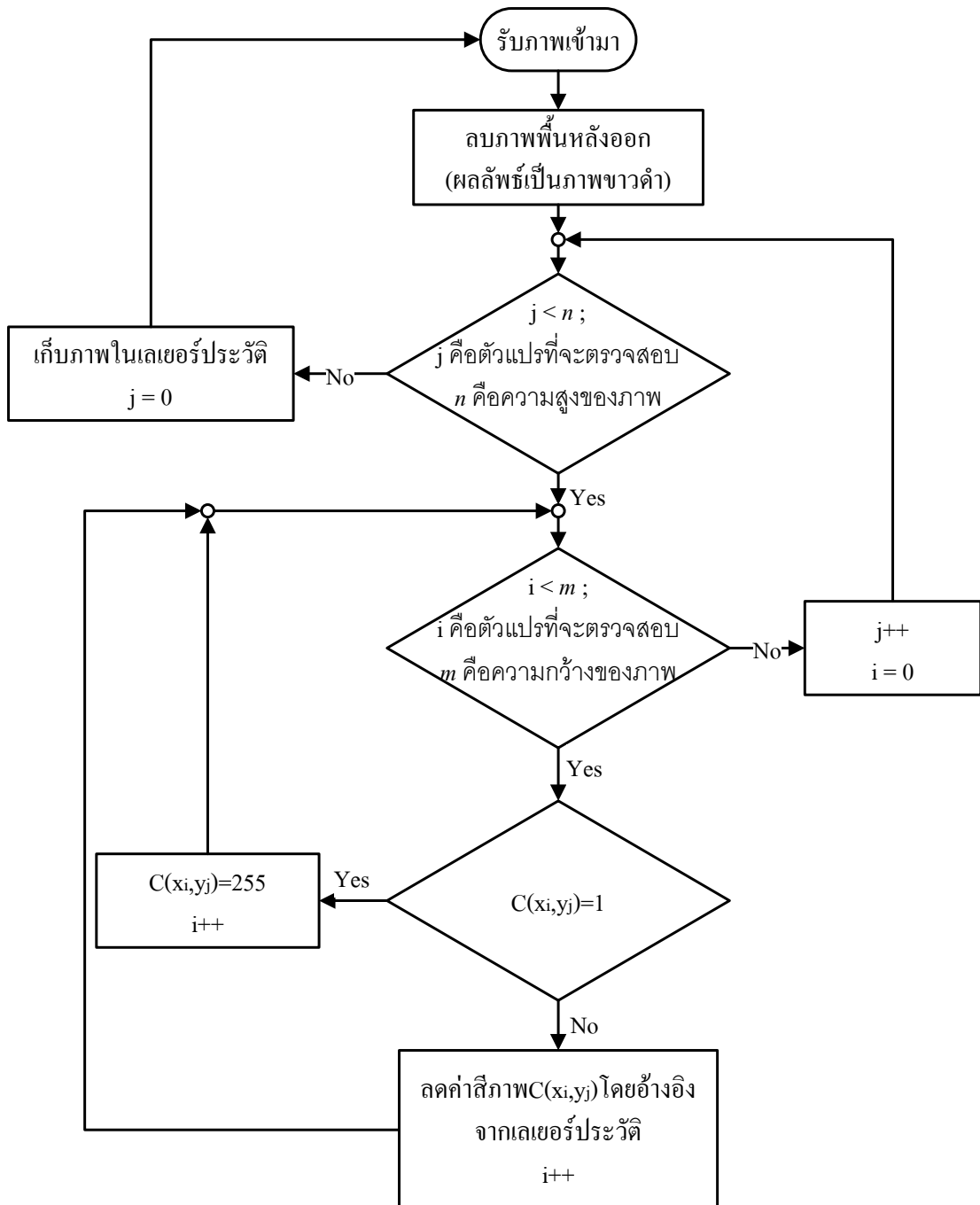
(ข)

ภาพประกอบ 2-12 ผลจากการทำการประมวลผลการลึ้มด้วยวิธีประวัติการเคลื่อนที่ [7]

(ก) เป็นภาพการเคลื่อนไหวที่ได้จากการบันทึกภาพ

(ข) เป็นภาพการแสดงผลของภาพจากการทำประวัติการเคลื่อนที่

โดยฝั่งการทำงานอย่างง่ายในการตรวจจับการลึ้มด้วยวิธีนี้สามารถแสดงให้เห็นได้ดังภาพประกอบที่ 2-13 โดยค่าของตัวแปรภาพ C คือตัวแปรที่เก็บค่าของภาพของผลลัพธ์ จากการพิจารณาภาพที่ต่างกันซึ่งได้มาจากอัลกอริธึมการเปรียบเทียบความต่างของภาพ (ในงานวิจัยนี้ใช้เป็นการเปรียบเทียบเพื่อลบภาพพื้นหลัง)

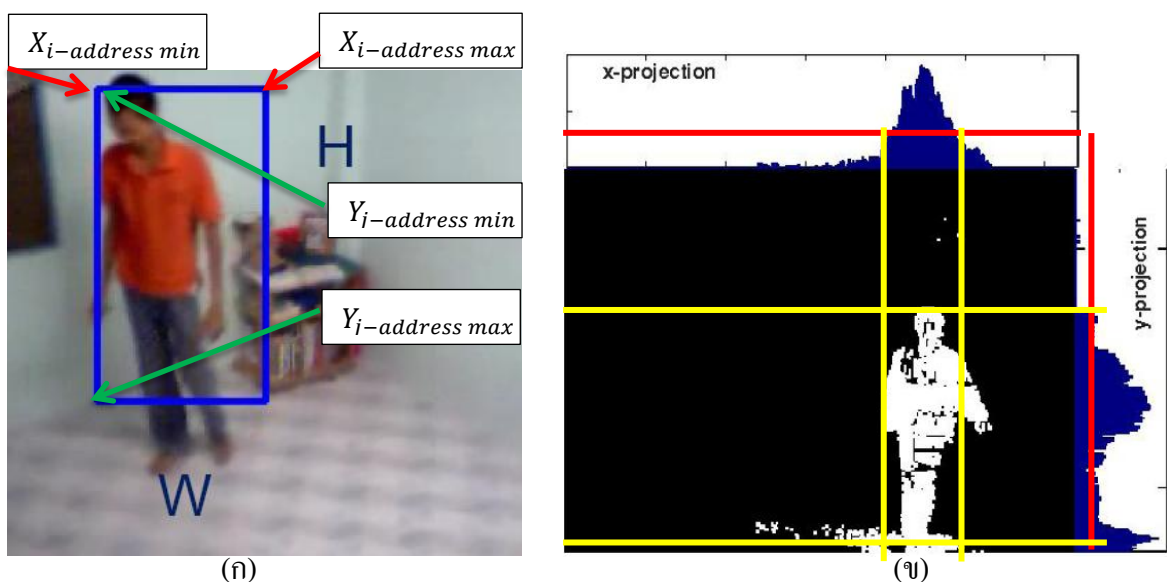


ภาพประกอบ 2-13 ฟังก์ชันการทำงานของการตรวจจับการล้มด้วยวิธีประวัติการเคลื่อนที่

2.6.4 อัลกอริธึมการพิจารณาการเปลี่ยนแปลงระหว่างความกว้างและความสูงของภาพ

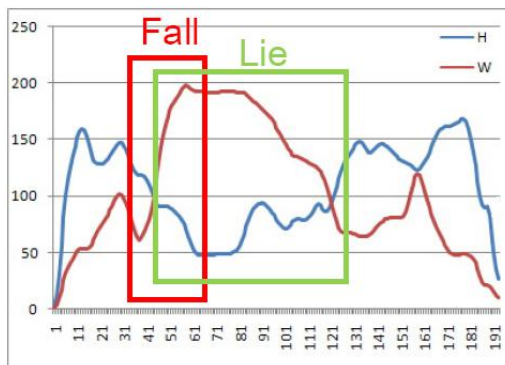
การพิจารณาการเปลี่ยนแปลงระหว่างขนาดความกว้างและความสูงของภาพ [6][7][9][10] หรือ ค่าอัตราส่วนระหว่างความสูงต่อความกว้าง (Aspect ratio) การออกแบบ

อัลกอริทึมด้วยวิธีการนี้อาจมีมาได้จากหลายวิธี และอาจมีการทำการปรับปรุงภาพก่อนการประมวลผล(Pre-processing) หรือปรับปรุงภาพหลังจากผ่านการประมวลผลแล้ว(Post-processing) แต่เป้าหมายมีในทิศทางเดียวกันคือการสร้างกรอบสี่เหลี่ยม(นิยมสร้างเป็นรูปแบบสี่เหลี่ยมมากกว่ารูปแบบอื่น สำหรับการพิจารณาด้วยวิธีการนี้) เพื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมของความกว้างและความสูงของภาพซึ่งจะสามารถนำมาช่วยในการวิเคราะห์ได้ ดังภาพประกอบที่ 2-14(ก) ถ้าบุคคลในภาพกำลังยืนอยู่ค่าของความสูงด้านH จะมีมากกว่าค่าของความกว้างด้านW แต่ในขณะเดียวกันหากเปลี่ยนเป็นการนอน จะพบว่าอัตราส่วนระหว่างความสูงจะน้อยกว่าอัตราส่วนของความกว้าง ส่วนวิธีในการหาขนาดของด้านทั้งสอง แสดงได้ดังภาพประกอบที่ 2-14(ข) โดยการหาค่าโปรเจกชัน (Projection)ของแกน x และ y หลังจากนั้นจึงสร้างเส้นค่าแห่งงาน (Threshold)โดยจากภาพจะเห็นเป็นเส้นสีแดง เพื่อที่จะสร้างจุดตัดเพื่อสร้างกรอบสี่เหลี่ยมต่อไป

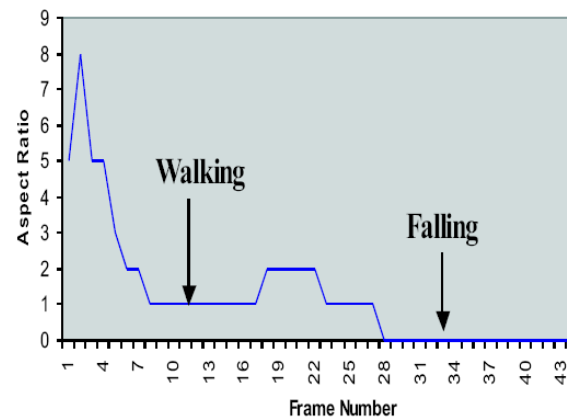


- ภาพประกอบ 2-14 ผลการพิจารณาระหว่างขนาดความกว้างและความสูงของภาพ
- (ก) เป็นตัวอย่างการสร้างกรอบสี่เหลี่ยมเพื่อพิจารณาด้าน W และ H [6]
- (ข) เป็นตัวอย่างการใช้วิธีหา x และ y โปรเจกชันเพื่อนำมาหาค่าที่จะสร้างจุดตัดเพื่อสร้างกรอบสี่เหลี่ยม [10]

การจำแนกเหตุการณ์การล้มด้วยวิธี การพิจารณาการเปลี่ยนแปลงระหว่างขนาดความกว้างและความสูงของภาพอาจสามารถทำได้โดย พิจารณาพฤติกรรมของค่าความกว้าง และความสูง ดังภาพประกอบที่ 2-15(ก) หรือไม่ก็ใช้วิธีคำนวณค่าอัตราส่วนระหว่างความสูงต่อความกว้างดังภาพประกอบที่ 2-15(ข)



(ก)



(ข)

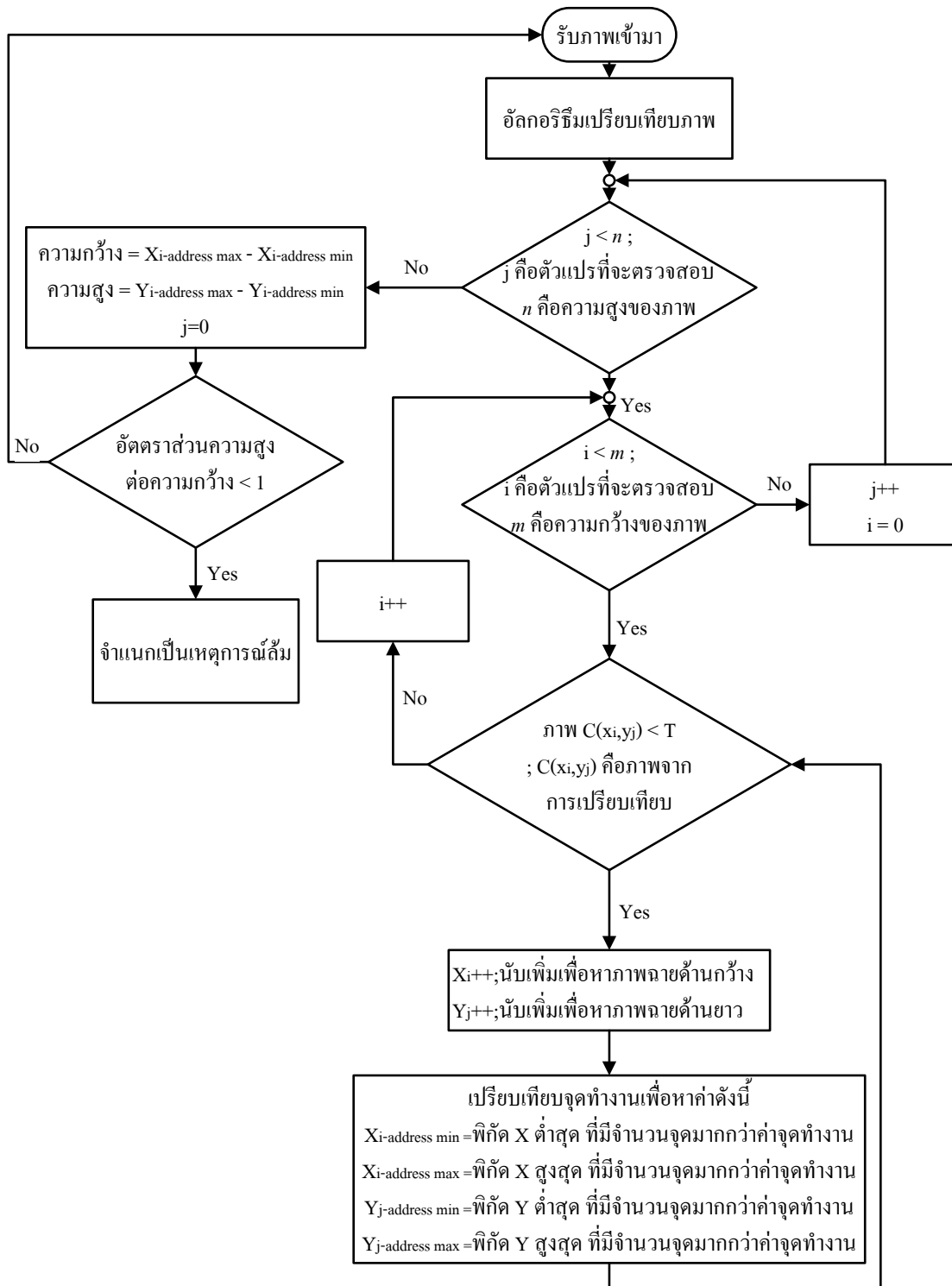
ภาพประกอบ 2-15 ผลลัพธ์ที่พิจารณาร่วมกับพฤติกรรมอื่นด้วยวิธีพิจารณาอัตราส่วนระหว่าง
ความสูงต่อความกว้าง

- (ก) กราฟที่พิจารณาพฤติกรรมของค่าขนาดของความกว้าง (เส้นสีน้ำเงิน) และความสูง (เส้นสีน้ำเงิน) เทียบกับตำแหน่งของเฟรม โดยแกนตั้งแสดงขนาดของภาพ ส่วนแกนนอนแสดงตำแหน่งของเฟรม [6]
- (ข) กราฟที่พิจารณาค่าของอัตราส่วนระหว่างความสูงต่อความกว้าง $\left(\frac{Height}{Width}\right)$ ดังนั้นจะเห็นว่าเมื่อค่าของความสูงน้อยกว่าความกว้างมากๆ ในกรณีที่ล้มลงไปแล้ว ผลการคำนวณอัตราส่วนระหว่างความสูงต่อความกว้าง จึงน้อยกว่า 1 (เฉลี่ยแล้วจึงประมาณเป็น 0) โดยจากกราฟแกนตั้งจะแสดงค่าของอัตราส่วนระหว่างความสูงต่อความกว้าง ส่วนแกนนอนจะแสดงตำแหน่งของเฟรม [9]

ผังการทำงานในการตรวจจับการล้มด้วยวิธีนี้สามารถแสดงให้เห็นได้ดังภาพประกอบที่ 2-16 โดยผังการทำงานจะแสดงกระบวนการทำงานอย่างง่ายตั้งแต่รับภาพจนถึงการจำแนกเหตุการณ์ ซึ่งจากแผนผัง ความกว้างคำนวณได้ดังสมการที่ (2-4) ส่วนความสูงคำนวณได้ดังสมการที่ (2-5)

$$\text{ความกว้าง} = X_{i-\text{address max}} - X_{i-\text{address min}} \quad (2-4)$$

$$\text{ความสูง} = Y_{j-\text{address max}} - Y_{j-\text{address min}} \quad (2-5)$$



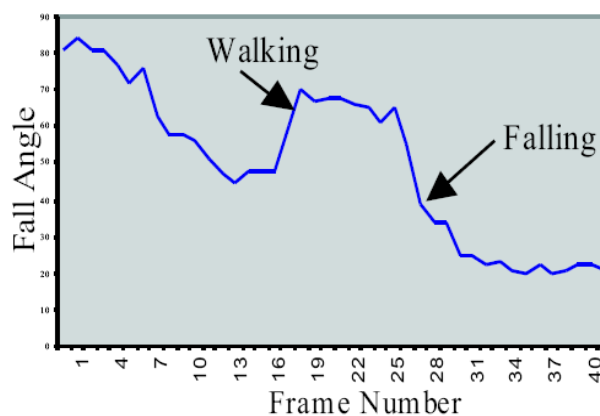
ภาพประกอบ 2-16 ฟังก์ชันการทำงานของกรตรวจจับการล้มด้วยวิธีพิจารณาการเปลี่ยนแปลงระหว่างขนาดความกว้างและความสูงของภาพ

2.6.5 อัลกอริทึมการพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของมุมลัพท์ในภาพ

การพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของมุมลัพท์ในภาพ[6][9][10] วิธีการนี้เริ่มจากสร้างเส้นสมมุติขึ้นมาในลักษณะที่ขนานกันไปกับแนวนอนของภาพและสร้างเส้นจากจุดใดๆของวัตถุที่เคลื่อนไหวยูมาทำจุดตัดกับเส้นขนานดังกล่าว ผลของมุมที่เปลี่ยนไปจะช่วยในการวิเคราะห์การล้มได้ โดยจากการวิจัยพบว่าหากเปลี่ยนจากท่าทางการยืนเป็นท่าทางการนอนแนว ผลของมุมลัพท์ที่ได้จะให้ค่าเปลี่ยนแปลงจากมาก เป็นน้อยตามลำดับ ซึ่งผลลัพท์ที่พิจารณาให้เห็นความต่างของการล้มกับพฤติกรรมอื่นด้วยวิธีการหามุมลัพท์สามารถแสดงได้ดังภาพประกอบที่ 2-17 โดยภาพ (ก) แสดงเส้นสมมุติขึ้น(เส้นสีแดง) แล้วพิจารณาค่าของมุมภาพโดยลากเส้นจากวัตถุที่เคลื่อนไหวมารัดกับเส้นสมมุติ ส่วนภาพ (ข) แสดงค่ามุมของภาพที่เกิดการเปลี่ยนแปลงเมื่อมีพฤติกรรมแตกต่างกัน



(ก)



(ข)

ภาพประกอบ 2-17 ผลลัพท์ที่พิจารณาการล้มกับพฤติกรรมอื่นด้วยวิธีการหามุมลัพท์

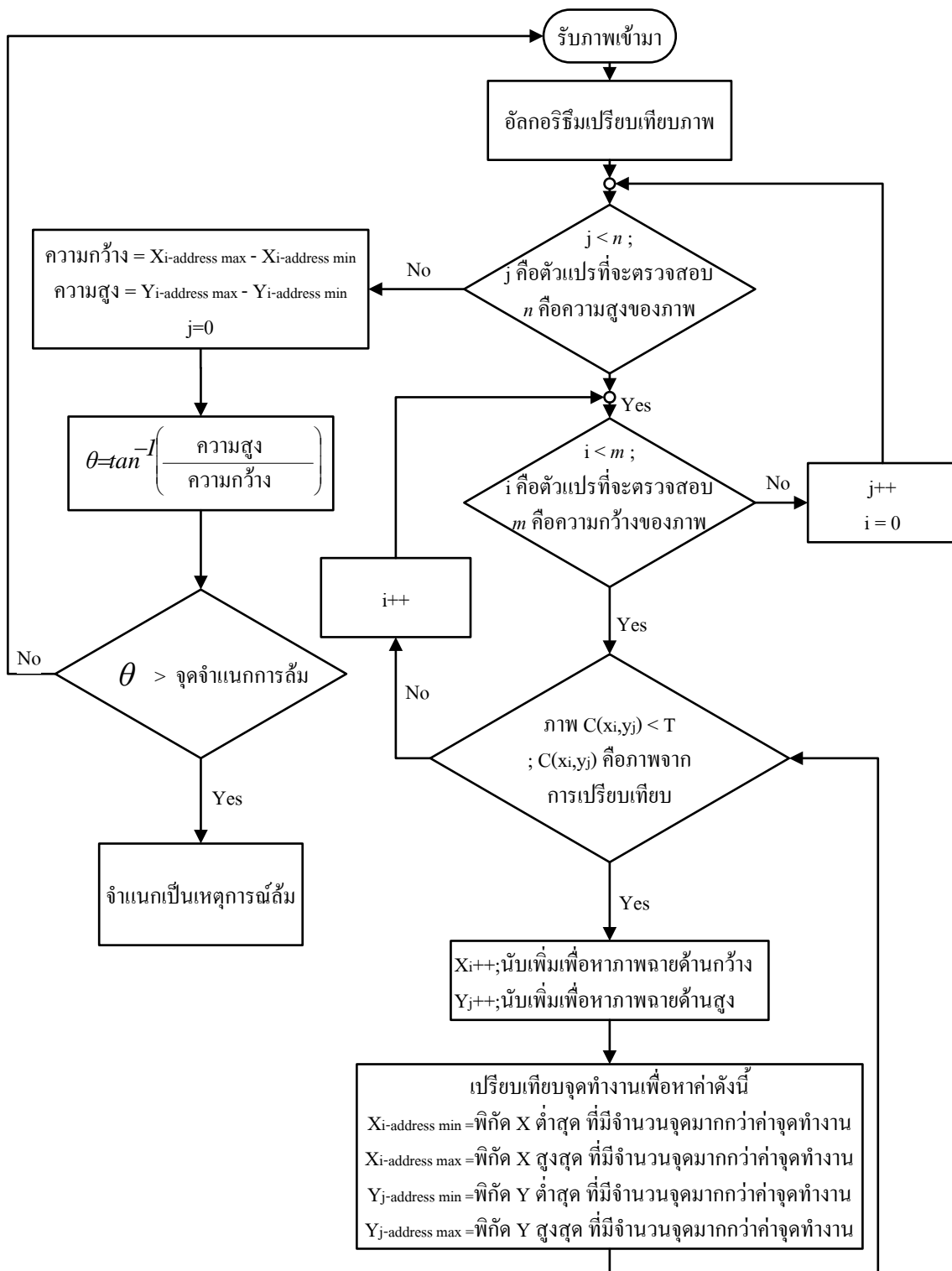
(ก) ผลลัพท์การสร้างเส้นสมมุติขึ้นเพื่อพิจารณาค่าของมุมภาพ [6]

(ข) กราฟที่พิจารณาค่าของมุมของภาพที่เปลี่ยนแปลงเทียบกับตำแหน่งของเฟรม [9]

นอกจากวิธีการหามุมจากวิธีการที่นำเสนอซึ่งภาพประกอบที่ 2-17(ก) แล้วการหามุมยังสามารถหาได้จากการพิจารณาการเปลี่ยนแปลงระหว่างความกว้างและความสูงของภาพได้อีกด้วย โดยหามุมที่กระทำระหว่างจุด $(X_{i-address\ min}, Y_{j-address\ min})$ กับ จุดกึ่งกลางของกรอบสี่เหลี่ยม ดังสมการที่ (2-6)

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{X_{i-address\ max} - X_{i-address\ min}}{Y_{j-address\ max} - Y_{j-address\ min}} \right) \quad (2-6)$$

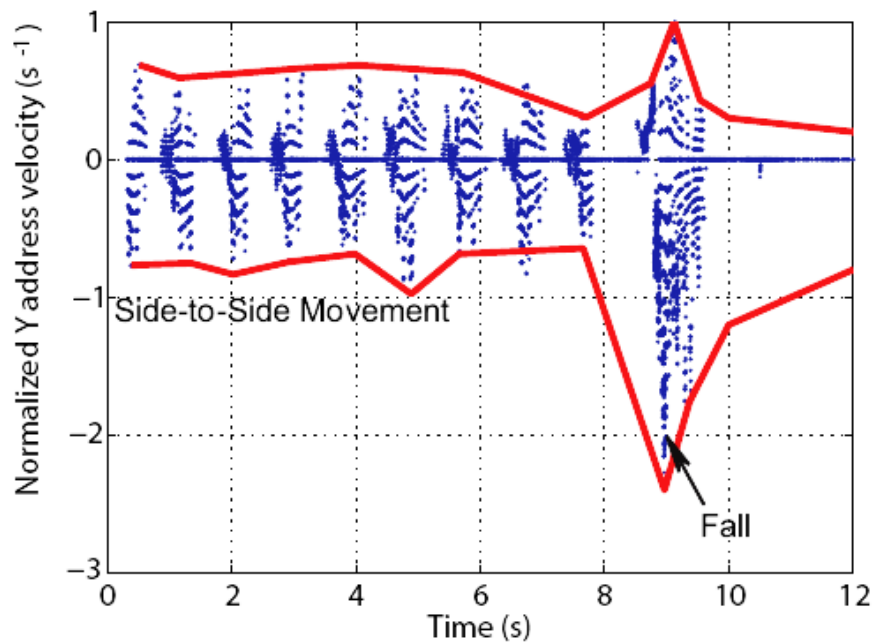
ทั้งนี้ฝั่งการทำงานในการตรวจจับการล้มด้วยวิธีนี้สามารถแสดงให้เห็นได้ดังภาพประกอบที่ 2-18 โดยฝั่งการทำงานจะแสดงกระบวนการอย่างง่ายตั้งแต่รับภาพจนถึงการจำแนกเหตุการณ์



ภาพประกอบ 2-18 ฟังก์ชันการทำงานอย่างง่ายของการตรวจจับการล้มด้วยวิธีหาพฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงของมุมลัพท์ในภาพ

2.6.6 อัลกอริทึมการพิจารณาการเปลี่ยนแปลงความเร็วของวัตถุในภาพ

การหาความเร็วของวัตถุที่เคลื่อนไหว[6][11] วิธีการนี้ผู้วิจัยได้สร้างจุดสมมุติแทนวัตถุ(Object Representation)[15] เช่นสร้างเป็น จุด (Point) รูปทรงเรขาคณิต (Primitive geometric shapes) แล้วหาความเร็วที่เปลี่ยนไปโดยแยกความเร็วลัพธ์ที่ได้จากการเคลื่อนไหวปกติออกจากการล้ม ซึ่งสิ่งที่เห็นได้ชัดคือ การล้มจะมีความเร็วลัพธ์ที่มากกว่าการเคลื่อนไหวทั่วไปอย่างเห็นได้ชัด ทั้งนี้หากเพิ่มการพิจารณาในทิศทางของเวกเตอร์ที่เปลี่ยนแปลงไปจะสามารถเพิ่มความน่าเชื่อถือและช่วยในการวิจัยในรูปแบบนี้ได้อีกชั้นหนึ่ง กล่าวคือหากเกิดการล้มขึ้นผลลัพธ์ของความเร็วก็จะเพิ่มขึ้นในทิศทางลงนั่นเอง โดยภาพที่ 2-19 แสดงให้เห็นแสดงผลการเปรียบเทียบระหว่างความเร็วกับเวลาโดยภาพได้แสดงผลของความต่างอย่างเห็นได้ชัดระหว่างการเคลื่อนไหวปกติกับการล้ม



ภาพประกอบ 2-19 ผลการเปรียบเทียบระหว่างความเร็วกับเวลา
ในขณะแสดงพฤติกรรมการขยับซ้ายขวา และการล้ม[11]

ส่วนภาพประกอบที่ 2-20 แสดงการจำแนกพฤติกรรมการล้มกับพฤติกรรมอื่นด้วยวิธีการหาความเร็ว และการเคลื่อนไหวของสัตว์ด้วยตำแหน่งของจุดศูนย์กลาง การอธิบายกราฟจะใช้วิธีการแบ่งพื้นที่ออกเป็น 3 ส่วนโดย

Area I เป็นตำแหน่งการเดินของสัตว์ ซึ่งจะมีความเร็วระหว่าง $0-2 \text{ s}^{-1}$

แต่สูงน้อยกว่า 15 pix

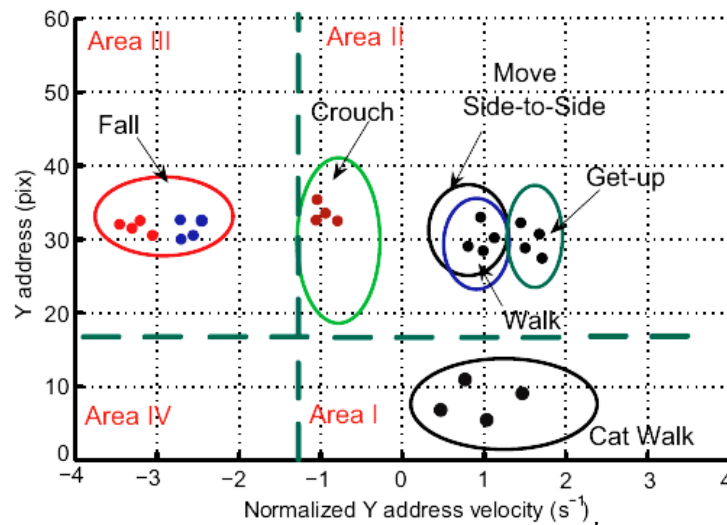
Area II เป็นตำแหน่งการเคลื่อนไหวทั่วไป ซึ่งจะมีความเร็วระหว่าง $0-2 \text{ s}^{-1}$

แต่สูงมากกว่า 20 pix

Area III เป็นตำแหน่งการล้ม ซึ่งจะมีความเร็วน้อยกว่า -2 s^{-1}

และจะสูงมากกว่า 20 pix

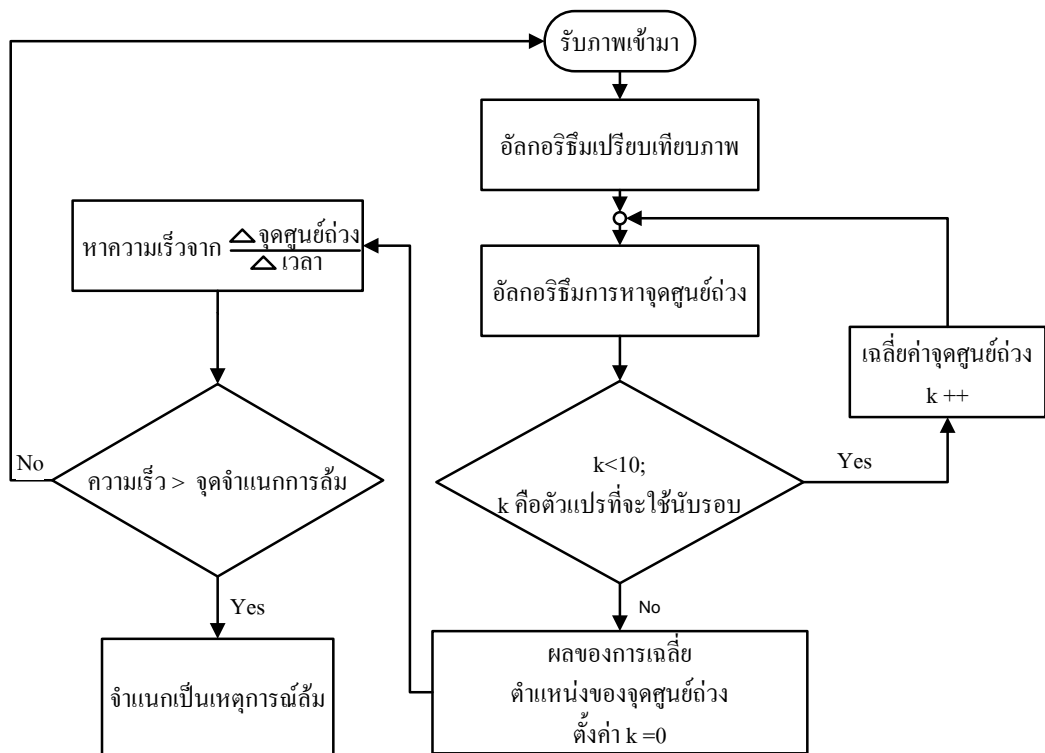
กระบวนการหนึ่งที่นับว่าสำคัญมาก และได้กล่าวไปแล้วในตอนต้นในการตรวจจับการล้มด้วยวิธีการหาค่าว่าเร็วคือการหาจุดสมมุติแทนวัตถุ ยกตัวอย่างเช่น การหาจุดศูนย์กลางถ่วงเป็นต้น ซึ่งข้อจำกัดที่จำเป็นต้องทำหากจะเอาค่าจุดศูนย์กลางถ่วงมาคำนวณความเร็วคือ ต้องเก็บค่าจุดศูนย์กลางถ่วงอย่างน้อย 10 ค่ามาทำการเฉลี่ยตำแหน่งก่อนเพื่อป้องกันความผิดพลาดจากการคำนวณความเร็วที่ผิดพลาดเนื่องจากการขยับของการหาจุดศูนย์กลางถ่วงแบบครั้งต่อครั้ง



ภาพประกอบ 2-20 ภาพแสดงการจำแนกพฤติกรรม และแยกการเคลื่อนไหวของคนกับสัตว์เลี้ยง

โดยแกน y แสดงตำแหน่งของภาพ ส่วนแกน x แสดงค่าของความเร่ง[11]

ผังการทำงานในการตรวจจับการล้มด้วยวิธีนี้สามารถแสดงให้เห็นได้ดังภาพประกอบที่ 2-21 โดยผังการทำงานจะแสดงกระบวนการอย่างง่ายตั้งแต่รับภาพจนถึงการจำแนกเหตุการณ์



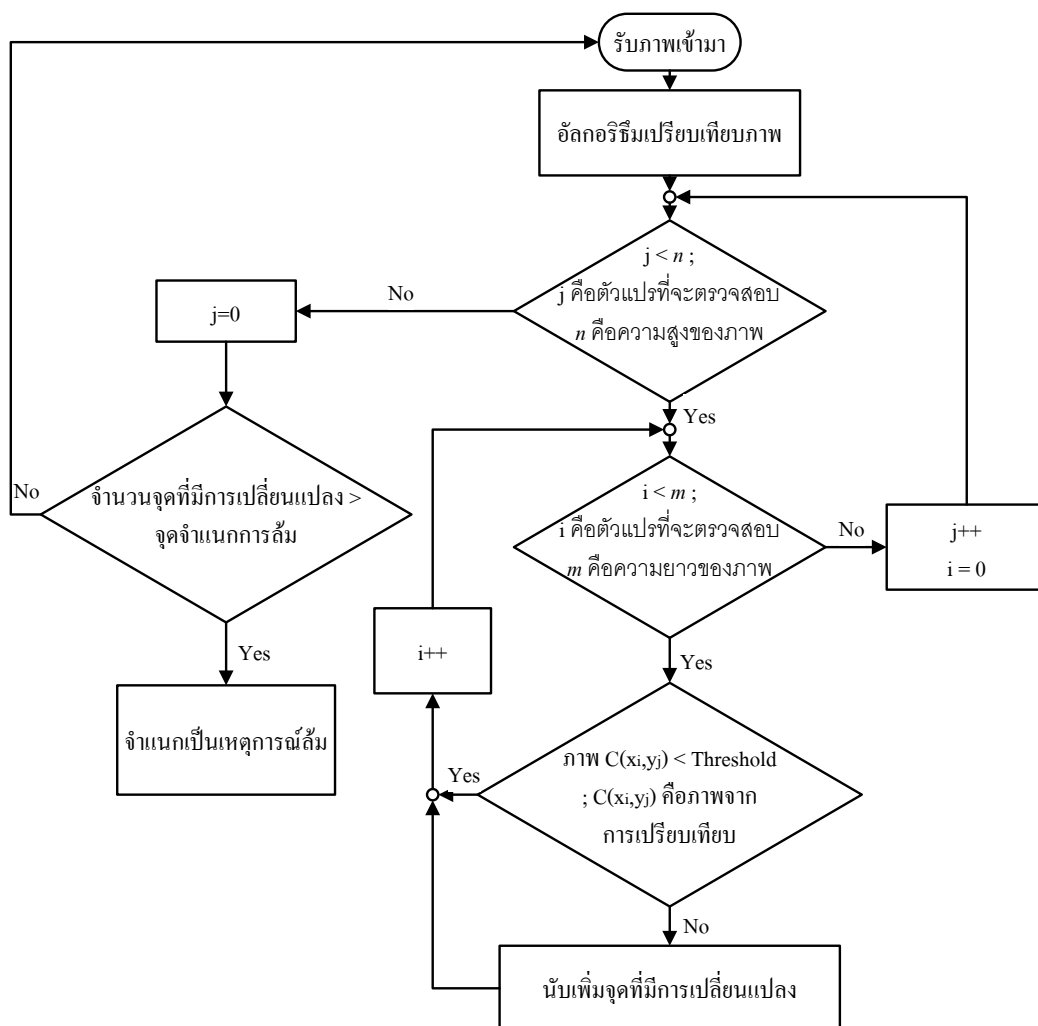
ภาพประกอบ 2-21 ผังการทำงานของ การตรวจจับการล้มด้วยวิธีพิจารณาการเปลี่ยนแปลงความเร็ว

2.6.7 อัลกอริทึมการนับจุดภาพที่มีการเปลี่ยนแปลง

อัลกอริทึมนี้เป็นอัลกอริทึมที่ทำการนำเสนอในงานวิจัยนี้ซึ่งหลักการการทำงานคือ หลังจากรับภาพมาแล้ว ก็ทำการแปลงภาพให้อยู่ในระบบสีเทา(0-255) แล้วทำการเปรียบเทียบเฟรมภาพหากจุดภาพใดมีความต่างน้อยกว่าค่าที่กำหนด(ในการทำงานด้วยอัลกอริทึมนี้ ใช้ค่าที่ 50 หรือ 20%) ให้เปลี่ยนค่าที่จุดนั้นให้เป็น 0 (ความหมายของ 0 คือถือว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลง) หากมากกว่า ก็ให้เปลี่ยนค่าที่จุดนั้นให้เป็น 1(ถือว่ามีเปลี่ยนแปลง) หลังจากนั้นจึงทำการนับเฉพาะจุดภาพที่มีการเปลี่ยนแปลง ผลที่ได้นำไปเปรียบเทียบกับค่า ตำแหน่งทำงานเพื่อจำแนกการล้มต่อไป ซึ่งผังการทำงานในการตรวจจับการล้มด้วยวิธีนี้สามารถแสดงให้เห็นได้ดังภาพประกอบที่ 2-22 โดยผังการทำงานจะแสดงกระบวนการอย่างง่ายตั้งแต่รับภาพจนถึงการจำแนกเหตุการณ์

ซึ่งจากการทำการทดลองได้กำหนดค่าการเปรียบเทียบนี้ไว้ที่ 50 หรือ 20% โดยค่าดังกล่าวได้มาจากทดลองสุ่มปรับค่าการพิจารณาความต่างนี้หลายๆค่า โดยการปรับปรุ่ค่านี้กระทำ ขึ้นบนสมมุติฐานที่ว่าหากกำหนดให้ค่าการเปลี่ยนแปลงมีค่าที่เหมาะสม ความสามารถในการจำแนกระหว่างการล้มกับเหตุการณ์อื่นๆก็จะสามารถพิจารณาได้ง่ายขึ้น ในขณะที่เดียวกันหากกำหนดให้ค่าดังกล่าวมีค่ามากเกินไป เช่น 40% ขึ้นไปความสามารถในการจำแนกระหว่างการล้มกับเหตุการณ์อื่นๆก็จะลดลง โดยเมื่อเกิดเหตุการณ์การล้มระบบก็จะมองว่าท่าทางดังกล่าวไม่ได้

แตกต่างกับการเคลื่อนไหวปกติ หรือหากจะพิจารณาให้ค่าการเปรียบเทียบนี้น้อยกว่า 20% ปัญหาที่จะตามมาคือระบบจะตอบสนองได้ง่ายเกินไป กล่าวคือเพียงเกิดการเคลื่อนไหวเพียงเล็กน้อยระบบก็จะมองว่าเกิดการล้มแล้ว ดังนั้นจากที่พิจารณาและทดสอบทั้งหมดก็จะพบว่าค่าการเปรียบเทียบความต่างนี้จะให้ผลลัพธ์ที่ต่ำกว่า 50 หรือประมาณ 20% ของจำนวนจุดภาพทั้งหมด ดังที่เลือกใช้ตามการทดลอง



ภาพประกอบ 2-22 ฟังก์ชันการทำงานของการทำงานของการตรวจจับการล้มด้วยวิธีการนับจุดภาพที่มีการเปลี่ยนแปลง

2.7 ระบบสมองกลฝังตัว

2.7.1. ความหมายของระบบสมองกลฝังตัว

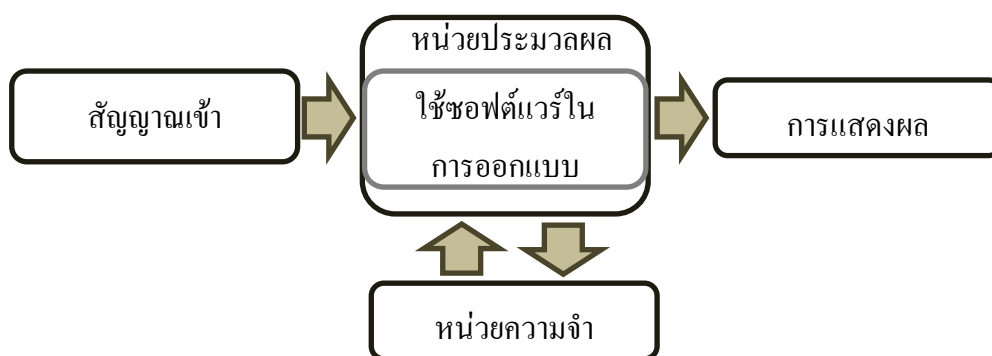
ระบบสมองกลฝังตัว (Embedded system) [22] คืออุปกรณ์ใดๆก็ตามที่มีไมโครชิปฝังอยู่เพื่อใช้ในการทำงานเป็นอุปกรณ์สำหรับงานควบคุมรวมถึงการแสดงผลการทำงานต่างๆ

ระบบสมองกลฝังตัวจะถูกใช้เป็นส่วนหนึ่งของระบบและอุปกรณ์เพื่อใช้สำหรับควบคุม เครื่องมือ เครื่องใช้หรือเครื่องจักรต่างๆ เนื่องจากระบบสมองกลฝังตัวจะถูกรวมเป็นส่วนหนึ่งของระบบ ใหญ่ๆจึงมักจะพบเห็นและใช้งานอุปกรณ์ที่เป็นระบบสมองกลฝังตัวมากมายในชีวิตประจำวัน ตั้งแต่เครื่องใช้ธรรมดาในชีวิตประจำวัน เช่น เครื่องซักผ้า เตอบนไมโครเวฟ โทรศัพท์มือถือ หรือ รวมไปถึงอุปกรณ์ที่ติดตั้งภายในรถยนต์

ลักษณะของระบบสมองกลฝังตัว หรือ Embedded system อาจเป็นเพียงชิป ธรรมดา หรือไมโครโพรเซสเซอร์ที่ประกอบไปด้วยชิปที่มีวงจรสลับซับซ้อนรวมอยู่มากมาย ขึ้นอยู่กับความต้องการหรือฟังก์ชันจำเป็นที่อาจต้องใช้งานสำหรับแต่ละระบบ

2.7.2. องค์ประกอบของระบบสมองกลฝังตัว

ระบบสมองกลฝังตัวนี้มักจะมีหน้าที่คอยควบคุมการทำงานของอุปกรณ์เครื่องใช้ ต่างๆให้สามารถทำงานได้ตามฟังก์ชันการทำงานต่างๆ อย่างถูกต้อง โดยเป็นระบบที่มีคอมพิวเตอร์ ขนาดเล็กฝังตัวอยู่ใน องค์ประกอบแบ่งได้เป็น 4 ส่วนหลักๆ และมีความเกี่ยวเนื่องกันดัง ภาพประกอบที่ 2-23 โดยทั้ง 4 ส่วนนี้ประกอบไปด้วย ข้อมูลสัญญาณเข้าและการแสดงผลลัพธ์ ส่วนของการประมวลผล และส่วนของหน่วยความจำ และส่วนของซอฟต์แวร์



ภาพประกอบ 2-23 องค์ประกอบของระบบสมองกลฝังตัว

2.7.2.1 ไมโครโพรเซสเซอร์

ไมโครโพรเซสเซอร์ [22] นับเป็นหัวใจหลักที่สำคัญของระบบสมองกลฝังตัว เพราะต้องทำหน้าที่ประมวลผลข้อมูลและควบคุมการทำงานของระบบทั้งหมด โดยไมโครโพรเซสเซอร์ของระบบสมองกลฝังตัวนี้มีมากมายหลากหลายประสิทธิภาพการทำงาน สำหรับการนำไปใช้งานในด้านต่างๆตามความต้องการ ตามความสามารถในการประมวลผลข้อมูลในการทำงานนับตั้งแต่ไมโครโพรเซสเซอร์ขนาด 4 บิตที่ใช้ในระบบสมองกลฝังตัวทั่วไปในยุคแรกๆ เช่น

ในวงจรรีโมตคอนโทรล เป็นต้นเรื่อยมาจนกระทั่งไมโครโพรเซสเซอร์ 32 หรือ 64 บิต ในยุคปัจจุบันที่ต้องการความสามารถในการประมวลผลที่สูงเป็นพิเศษ เช่นในกรณีของโทรศัพท์มือถือ เป็นต้น ซึ่งสามารถจัดแบ่งระดับของระบบสมองกลฝังตัวตามระดับของประสิทธิภาพการทำงานของไมโครโพรเซสเซอร์ในระบบสมองกลฝังตัวได้เป็นสามระดับดังนี้คือ

1) ระบบสมองกลฝังตัวขนาดเล็ก (Low-end embedded system) [22] เป็นระบบสมองกลฝังตัวที่มีขนาดเล็ก จะใช้อุปกรณ์ไมโครโพรเซสเซอร์หรือไมโครคอนโทรลเลอร์ขนาด 4 หรือ 8 บิต เป็นตัวควบคุมการทำงานมักใช้งานในงานที่มีฟังก์ชันการทำงานง่ายไม่ซับซ้อน ตัวอย่างไมโครคอนโทรลเลอร์ เหล่านี้ได้แก่ MCS-51 หรือ PIC เป็นต้น

2) ระบบสมองกลฝังตัวขนาดกลาง (Mid-end embedded system) [22] เป็นระบบสมองกลฝังตัวที่มีขนาดใหญ่ขึ้นมาอีกระดับมีความสามารถในการประมวลผลสูงขึ้นมา ส่วนใหญ่จะถูกนำไปใช้ในงานที่ต้องการคุณสมบัติพิเศษที่ไมโครคอนโทรลเลอร์หรือไมโครโพรเซสเซอร์ขนาดเล็กไม่สามารถให้ได้ เช่น งานที่ต้องการจำนวนหน่วยความจำที่มีขนาดมากขึ้น เป็นต้น ไมโครโพรเซสเซอร์หรือไมโครคอนโทรลเลอร์เหล่านี้มักมีขนาด 16 หรือ 32 บิต เช่น ไมโครโพรเซสเซอร์ตระกูล x86 ของบริษัท Intel AMD ตระกูล ARM7 และ ตระกูล TMS320 เป็นต้น

3) ระบบสมองกลฝังตัวขนาดใหญ่ (High-end embedded system) [22] เป็นระบบสมองกลฝังตัวขนาดใหญ่ที่มีความสามารถในการประมวลผลมากเป็นพิเศษ ส่วนใหญ่จะใช้ไมโครโพรเซสเซอร์ที่ได้รับการออกแบบสำหรับการประมวลผลเป็นหลัก มักจะอยู่ในรูปของระบบสมองกลฝังตัวที่ใช้เครื่องคอมพิวเตอร์เป็นพื้นฐาน (PC-base) ใช้ฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์สำหรับเครื่องคอมพิวเตอร์ทั่วไปเช่น ระบบปฏิบัติการ Windows DOS หรือ Linux เป็นต้น ในการประมวลผลงานทางด้านใดด้านหนึ่งโดยเฉพาะอยู่ตลอดเวลา จึงสามารถเรียกระบบสมองกลฝังตัวประเภทนี้ได้อีกแบบว่า Application specific PC ไมโครโพรเซสเซอร์ที่ใช้งานก็จะ เป็น 32 หรือ 64 บิต ของคอมพิวเตอร์ที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน เช่น เพนเทียม หรือ เพนเทียมทู เป็นต้น

2.7.2.2 หน่วยความจำ

หน่วยความจำเป็นส่วนที่สำคัญส่วนหนึ่งในระบบสมองกลฝังตัว เพราะจะเป็นส่วนที่กำหนดถึงความซับซ้อนของโปรแกรมที่ใช้ในการทำงานในระบบสมองกลฝังตัว และเป็นตัวกำหนดถึงวิธีการออกแบบและพัฒนาโปรแกรมสำหรับควบคุมการทำงานของระบบขึ้นมา ซึ่งหน่วยความจำที่ใช้ในระบบสมองกลฝังตัวนี้มีหลายประเภท เช่น DRAM SRAM EPROM และ EEPROM หรือหน่วยความจำแฟลช (Flash memory) เป็นต้น ซึ่งมีขนาดและรูปแบบแตกต่างกัน

ตั้งแต่ขนาดเล็กมืออยู่ในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ จนถึงแบบที่เป็นแผงหน่วยความจำแบบเดียวกับที่ใช้ในระบบคอมพิวเตอร์แบบตั้งโต๊ะในปัจจุบัน ซึ่งเลือกใช้ได้ตามความต้องการในการทำงานของแต่ละงาน

2.7.2.3 ส่วนอุปกรณ์เชื่อมต่อ

ส่วนอุปกรณ์เชื่อมต่อ (Interface) เป็นส่วนที่ใช้ในการติดต่อสื่อสารระหว่างระบบสมองกลฝังตัวกับโลกภายนอก ซึ่งเห็นได้ในรูปแบบต่างกันไปตามลักษณะของงานต่างๆ ในส่วนของสัญญาณเข้าของระบบ ส่วนนี้มักเป็นอุปกรณ์ตรวจวัด (Sensor) ชนิดต่างๆ เช่น อุปกรณ์ตรวจจับความร้อน อุปกรณ์ตรวจจับความชื้น หรือเป็นแป้นควบคุมการทำงานต่างๆ เช่น ปุ่มควบคุมตั้งเวลาและอุณหภูมิของเตาอบไมโครเวฟ หรือปุ่มกดหมายเลข และฟังก์ชันการทำงานต่างๆ ของโทรศัพท์มือถือ เป็นต้น นอกจากนี้อาจอยู่ในรูปของโมดูลการสื่อสารต่างๆ กับระบบอื่นๆ ภายนอก เช่น โมดูลการเชื่อมต่อแบบ USB PCMCIA และ RS-232 หรือ RS-485 เป็นต้น ในส่วนของสัญญาณออกของระบบจะเป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เป็นส่วนติดต่อสื่อสารกับผู้ใช้งาน หรือระบบอื่นๆ ภายนอก เช่น หน้าจอแอลซีดีสำหรับแสดงผลของโทรศัพท์มือถือ เป็นต้น

2.7.2.4 ซอฟต์แวร์

ซอฟต์แวร์เป็นองค์ประกอบส่วนหนึ่งที่สำคัญในระบบสมองกลฝังตัว ซึ่งเป็นตัวควบคุมกำหนดหน้าที่ฟังก์ชันการทำงานของระบบ ซึ่งภายในอาจประกอบด้วยส่วนที่เป็นตัวเริ่มต้นการทำงานและปรับแต่งระบบ (Initialization and configuration) ส่วนของระบบปฏิบัติการ หรือส่วนจัดการสภาพแวดล้อมขณะทำงาน (Run-time environment) ส่วนของแอปพลิเคชัน และส่วนจัดการความผิดพลาด ซึ่งในแต่ละระบบนั้น ซอฟต์แวร์ภายในก็จะประกอบด้วยส่วนต่างๆ แตกต่างกันไปตามความจำเป็นของแต่ละชนิด

2.8 การทำงานแบบทันที

ระบบการทำงานแบบทันที [23] โดยจากทั่วๆ ไปอาจมีความเข้าใจว่าระบบการทำงานแบบทันทีหมายถึงการทำงานที่ระบบสามารถทำงานได้อย่างรวดเร็ว ซึ่งความเข้าใจดังกล่าว นับว่ายังมีความคลาดเคลื่อนอยู่มากหรือถูกเพียงส่วนเดียว ซึ่งในความเป็นจริงระบบการทำงานแบบทันทีนี้จะต้องสามารถให้ผลตอบสนองตามเงื่อนไขเวลาที่กำหนด ตัวอย่างเช่นหากต้องการออกแบบระบบควบคุมที่ความถี่การสุ่ม 10 kHz ระบบก็ต้องทำให้ได้ 10 kHz ระบบถึงจะถือว่าทำงานถูกต้อง ถ้าตอบสนองเร็วกว่ากำหนดหรือช้ากว่ากำหนดก็สามารถทำให้เกิดความผิดพลาด

หรือเสียความมีเสถียรภาพได้เช่นกัน ดังนั้นนิยามที่เราจะใช้สำหรับระบบควบคุมฝังตัวจะต้องประกอบไปด้วยข้อมูลพื้นฐาน 3 อย่างดังนี้

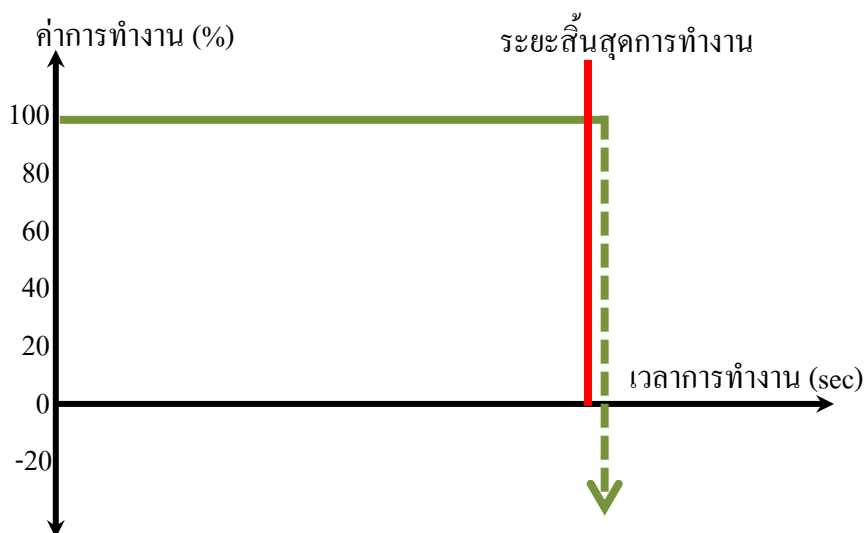
- ระบบการทำงานจะต้องมีความน่าเชื่อถือ (Reliability) คือ ระบบการทำงานจะต้องมีผลลัพธ์ที่ถูกต้องแม่นยำ แข็งแรงคงทนต่อสภาวะแวดล้อมในขณะทำงาน รวมถึงมีความยืดหยุ่นสามารถรองรับความผิดพลาดจากผู้ใช้งานได้
- ระบบการทำงานจะต้องทำงานในช่วงเวลาที่กำหนด (Timing constraints) คือ ระบบที่จะทำงานในแต่ละระบบจะต้องมีการกำหนดระยะเวลาอย่างชัดเจน ว่างานที่ได้ต้องเสร็จภายในเวลาเท่าไรหรือตามที่กำหนดไว้ตอนต้น
- ระบบการทำงานสามารถระบุเวลาได้ (Determinism) คือระบบการทำงานจะต้องมีการกำหนดเวลาเริ่มต้น จนถึงเวลาสิ้นสุดในแต่ละงานได้ นั่นคืองานจะต้องคำนวณหรือคาดการณ์การทำงานของระบบได้

ความเร็วของการทำงานขึ้นอยู่กับลักษณะของงานเป็นสิ่งสำคัญ ดังนั้นการทำงานแบบทันทีจึงได้ชื่อว่าเป็นระบบที่ต้องการการควบคุมความถูกต้องของผลลัพธ์ เพื่อให้งานมีความคงเส้นคงวา และให้งานเสร็จตามเวลาที่กำหนด ระบบทันทีสามารถแบ่งเป็น 2 ประเภทหลัก[23] คือ ฮาร์ด เรียลไทม์ (Hard real-time) และ ซอฟท์เรียลไทม์ (Soft real-time) ความแตกต่างอยู่ที่การยอมให้มีการผิดเวลาได้มากน้อยเพียงใด

2.8.1. ระบบฮาร์ดเรียลไทม์

ระบบฮาร์ดเรียลไทม์ คือระบบทำงานที่มีการกำหนดระยะสิ้นสุดการทำงาน (Deadline) ที่แน่นอนและตายตัว ระบบจำเป็นจะต้องทำงานให้เสร็จเรียบร้อยภายในเวลาที่กำหนด การผิดต่อเงื่อนไขเวลาสามารถส่งผลเสียหายอย่างร้ายแรงให้กับระบบได้ ดังนั้นสมองกลฝังตัวที่ใช้ในเครื่องมือ อุปกรณ์ หรือผลิตภัณฑ์ประเภทที่ความล้มเหลวก่อให้เกิดอันตรายได้ จำเป็นต้องใช้ฮาร์ดเรียลไทม์ ตัวอย่างเช่นอุปกรณ์ที่ใช้ใน เครื่องบินกริฟเฟ่น เครื่องมือแพทย์ เครื่องจักรกลอุตสาหกรรมที่เป็นในลักษณะของการเดินทางบนสายพานอย่างต่อเนื่อง เป็นต้น กล่าวโดยสรุปคือระบบฮาร์ดเรียลไทม์คือระบบที่ การผิดต่อเงื่อนไขที่กำหนดเป็นสิ่งที่ยอมรับไม่ได้ ดังภาพตัวอย่างที่ 24 การทำงานของระบบฮาร์ดเรียลไทม์ จุดเริ่มต้นคือ เวลาที่การบริการนั้นถูกปล่อย (Released) และพร้อมที่จะทำงาน โดยส่วนใหญ่จะเกิดจากการร้องขอโดยอินเตอร์รัพท์ และเงื่อนไขเวลาถูกกำหนดโดยระยะสิ้นสุดการทำงานดังแสดงด้วยเส้นสีแดงดังในภาพตัวอย่างที่ 2-24 ถ้าหากว่าระบบสามารถให้บริการ คือตอบสนองต่อการร้องขอนี้ในช่วงเวลาใดๆ ก่อนถึงระยะสิ้นสุดการทำงาน ถือว่าระบบนี้มีค่าการใช้งาน 100% ความหมายคือระบบสามารถใช้งานได้ดีมาก แต่ถ้าหากถึงเส้นตาย

แล้วยังมีการทำงานต่อไปค่าการใช้งานจะตกเป็นลบโดยทันที สาเหตุที่ตกเป็นลบแทนที่จะเป็นศูนย์ เพื่อเป็นการแสดงว่า การตอบสนองหลังจากกระยะสิ้นสุดการทำงานมีไว้แต่เพียงไว้ประโยชน์เท่านั้น แต่สามารถก่อให้เกิดความเสียหายได้ด้วย

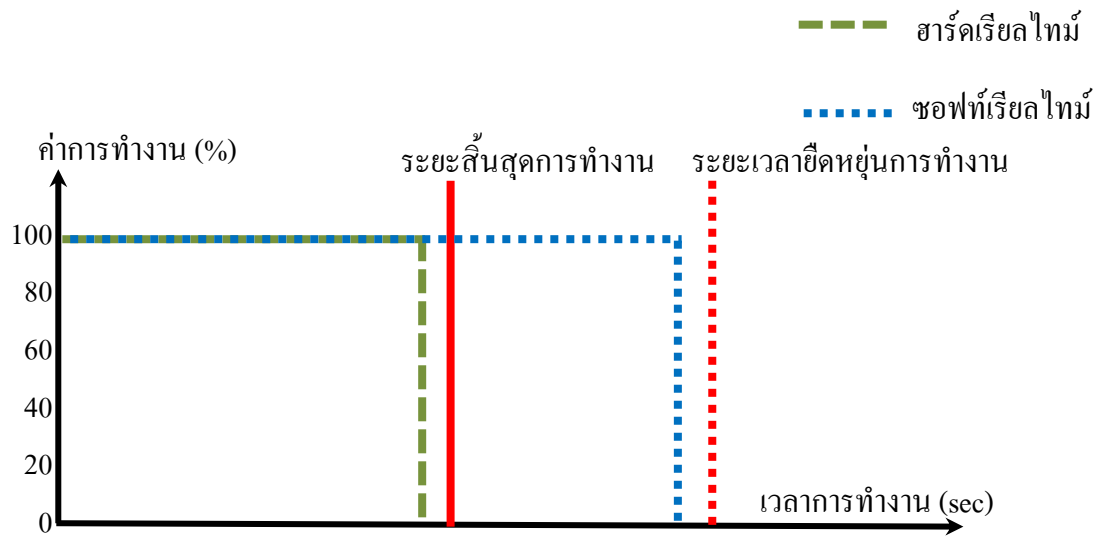


ภาพประกอบ 2-24 องค์ประกอบของระบบสมองกลฝังตัวแบบฮาร์ดเรียลไทม์

2.8.2. ระบบซอฟต์แวร์เรียลไทม์

ระบบซอฟต์แวร์เรียลไทม์ คือ ระบบการทำงานที่มีการกำหนดระยะเวลาสิ้นสุดทำงานที่แน่นอนและตายตัวเช่นเดียวกับแบบฮาร์ดเรียลไทม์ แต่ระบบซอฟต์แวร์เรียลไทม์ จะมีเวลาที่ยอมให้มีการประมวลผลต่อไปอีกระยะหนึ่งจนกว่าระบบจะให้คำตอบของการประมวลผลได้ โดยช่วงเวลาที่มีการยอมรับให้ยืดออกไปอีกเรียกว่า ช่วงเวลายืดหยุ่นการทำงาน ดังนั้นระบบการใช้งานแบบซอฟต์แวร์เรียลไทม์ จึงใช้งานในระบบที่สามารถยืดหยุ่นได้ไม่มีผลกระทบร้ายแรงเกิดขึ้น

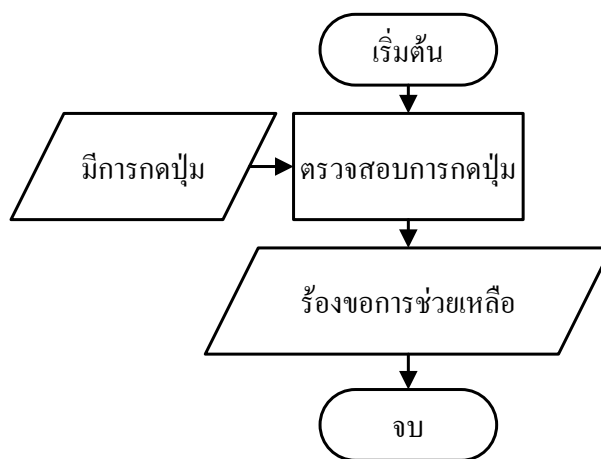
การเปรียบเทียบระบบการทำงานระหว่างฮาร์ดเรียลไทม์ และซอฟต์แวร์เรียลไทม์ [24] สามารถดูได้ดังภาพประกอบที่ 2-25 โดยจะเห็นว่า ระยะสิ้นสุดการทำงานจะถึงก่อนระยะเวลายืดหยุ่นการทำงาน ส่วนอีกจุดหนึ่งที่น่าสนใจของกราฟนี้คือ ฮาร์ดเรียลไทม์จะทำงานเสร็จก่อนเส้นระยะเวลาสิ้นสุดทำงาน แต่ในขณะที่ซอฟต์แวร์เรียลไทม์จะสามารถทำงานต่อไปได้อีกระยะหนึ่ง แต่ถึงอย่างไรก็ต้องเสร็จก่อนถึงเส้นช่วงเวลายืดหยุ่นการทำงาน ซึ่งอาจเรียกได้ว่าเวลาดังกล่าวเป็นช่วงเวลาที่แย่ที่สุดในการทำงาน (Worst case) โดยเวลานี้ยังถือว่ายังสามารถยอมรับได้และยังไม่เกิดความเสียหายต่อระบบ



ภาพประกอบ 2-25 การเปรียบเทียบการทำงานระหว่าง ฮาร์ดเรลไทย และซอฟท์เรลไทย

2.8.3. ลักษณะงานของระบบทันที

ปกติการทำงานของระบบทันทีถูกออกแบบขึ้นเพื่อแก้ปัญหาการทำงานของระบบการทำงานหลักคือ การตอบสนองเหตุการณ์ต่างๆที่เกิดขึ้น การควบคุมงานแบบระบบปิด หรือการควบคุมงานหลายๆงานที่มีส่วนเกี่ยวเนื่องสัมพันธ์ต่อกัน ซึ่งแต่ละงานสามารถชี้แจงเป็นหัวข้อย่อยๆ ได้ดังนี้

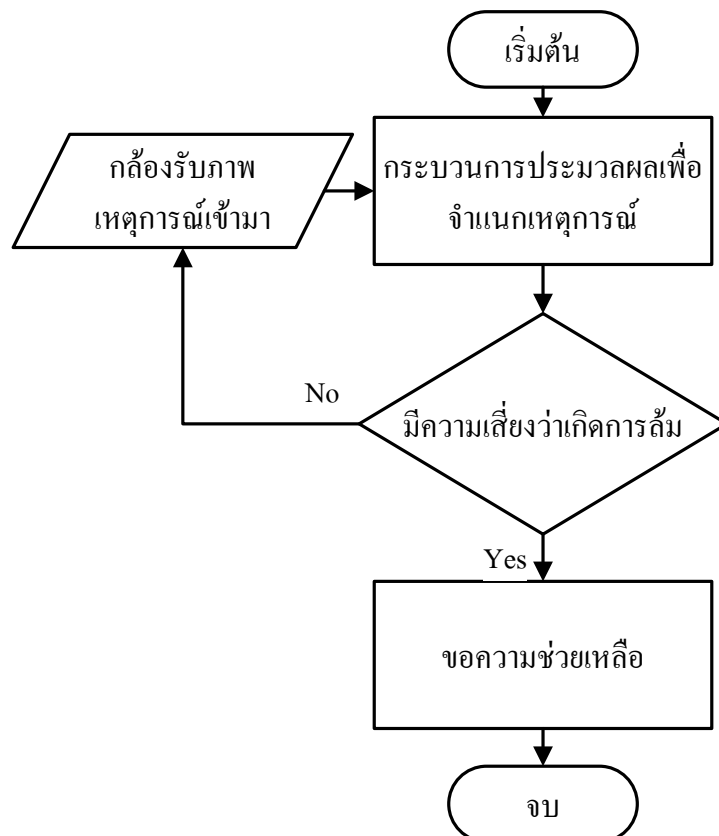


ภาพประกอบ 2-26 ฟังก์ชันการทำงานการตรวจสอบการกดปุ่มขอความช่วยเหลือ

- การตอบสนองเหตุการณ์ต่างๆที่เกิดขึ้น ระบบนี้จำเป็นที่จะต้องมีการตอบสนองต่อการกระตุ้นได้ในเวลาที่สามารถคำนวณได้ระดับหนึ่ง เช่นการตรวจสอบเหตุการณ์

การกดปุ่มขอความช่วยเหลือ โดยจากภาพประกอบที่ 2-26 แสดงผังการทำงานอย่างง่ายโดย หากผู้ปวยรู้สึกหน้ามืด ผู้ป่วยจึงกดปุ่มขอความช่วยเหลือระบบก็ต้องร้องขอการช่วยเหลือโดยทันที

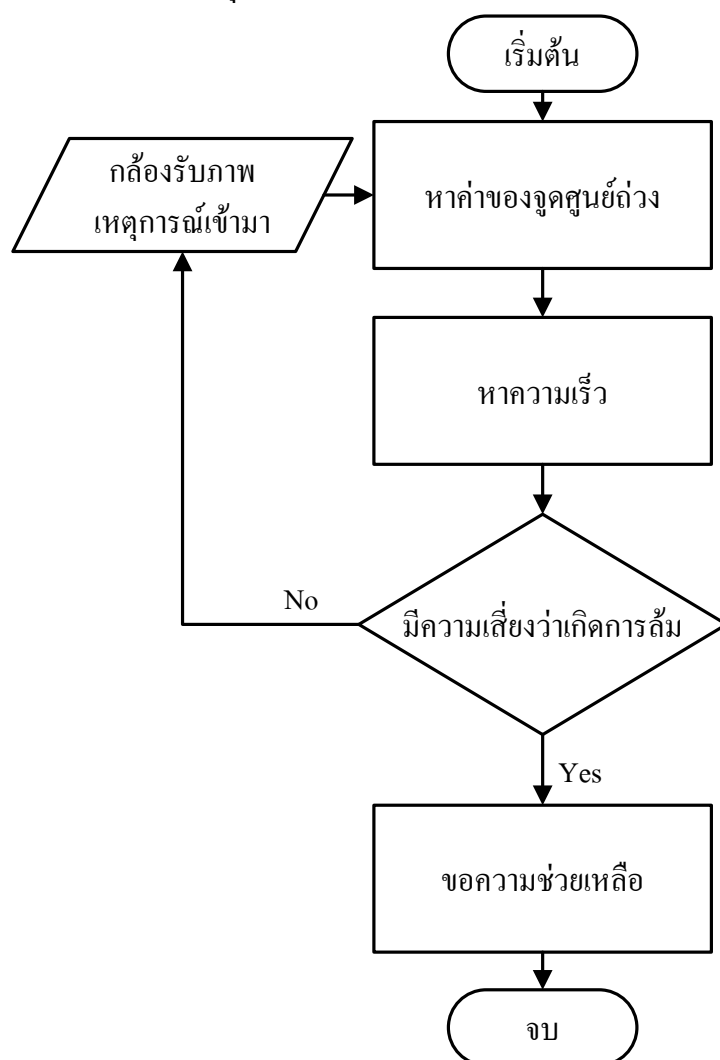
- การควบคุมงานแบบระบบปิด เป็นระบบที่มีความต้องการร้องขอการตรวจสอบการทำงานอยู่ตลอดเวลาหรือมีการตรวจสอบสถานะอยู่ตลอดเวลาจนกว่าจะมีการเปลี่ยนแปลงหรือมีสัญญาณอื่นๆสั่งให้หยุด ตัวอย่างเช่น ในระบบตรวจจับการล้มจะมีการตรวจสอบค่าของจำนวนจุดภาพที่มีการเปลี่ยนแปลงเทียบกับค่าของจุดทำงานอยู่ตลอดเวลาทุกๆเฟรมภาพ เพราะหากระบบเกิดหยุดทำงาน ณ เวลาหนึ่งเวลาใด ระบบอาจพลาดช่วงเวลาในการตรวจสอบได้ ทำให้เกิดเหตุการณ์คนล้มโดยที่ระบบมองไม่เห็นได้ ผังการทำงานอย่างง่ายในการช่วยในการทำความเข้าใจในส่วนนี้สามารถแสดงได้ดัง ภาพประกอบที่ 2-27



ภาพประกอบ 2-27 ผังการทำงานการคำนวณความเสี่ยงของการล้มจากการประมวลผลภาพ

- การทำงานร่วมกันหลายงาน โดยแต่ละงานมีความเกี่ยวเนื่องกัน เป็นระบบที่ต้องการความถูกต้องสูงขึ้นไปอีก สามารถทำงานให้เสร็จภายในกำหนดและสามารถหาค่าได้ เนื่องจากข้อมูลที่ได้จากระบบแรกจะถูกป้อนให้ทำการประมวลผลต่อด้วยระบบที่สอง และข้อมูลที่ได้จากระบบที่สองจะถูกป้อนให้ทำการประมวลผลต่อด้วยระบบที่สาม ลี ต่อไปเรื่อยๆตามลำดับ และตาม

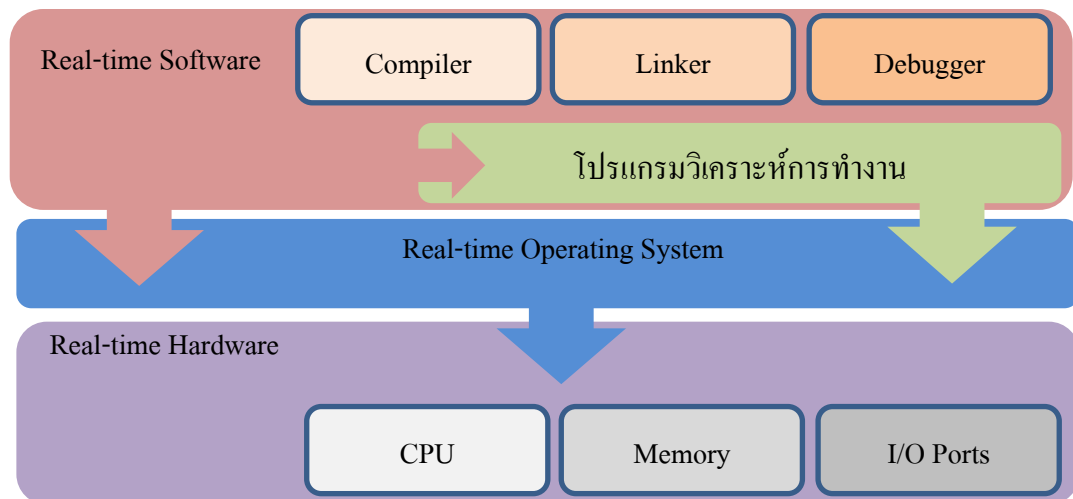
จำนวนของระบบที่มีดังนั้นทุกระบบจะต้องไม่เกิดการผิดพลาด เพราะหากระบบหนึ่งระบบใดผิดพลาดก็จะส่งผลให้ระบบอื่นๆมีปัญหาตามมาด้วยทั้งหมด ตัวอย่างการทำงานในส่วนนี้ เช่น การตรวจจับการลัดด้วยวิธีการหาค่าจุดศูนย์ถ่วง หาความเร็วที่เปลี่ยนแปลง และประเมินการลัดตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่ามิระบบถึง 3 ระบบหากส่วนหนึ่งส่วนใดมีความผิดพลาดก็จะส่งผลต่อระบบอื่นๆต่อไป ยังมีหลายระบบ ความเสี่ยงในการประมวลผลผิดพลาดก็จะยิ่งมีมากตามขึ้นไปด้วย โดยตัวอย่างการประมวลผลชนิดนี้สามารถแสดงเป็นผังการทำงานอย่างง่ายได้ดังภาพที่ 2-28 ซึ่งในกรณีนี้การประมวลผลในบางกรณีอาจมีความจำเป็นที่จะต้องทำซ้ำๆเพื่อหาค่าเฉลี่ยและให้ค่าการประมวลผลที่มีความผิดพลาดน้อยที่สุด



ภาพประกอบ 2-28 ผังการทำงานการคำนวณความเสี่ยงของการลัดจากการประมวลผลภาพ

2.8.4. องค์ประกอบของระบบทันที

การประมวลผลให้สำเร็จและถูกต้องและเป็นไปตามแนวทางของระบบทันที ประกอบด้วย [24] ส่วนสำคัญที่จะช่วยในการพัฒนา ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็นส่วนๆ ดังภาพประกอบที่ 2-29 โดยองค์ประกอบทั้งหมดแบ่งได้เป็น 3 ชั้น ซึ่งแต่ละชั้นสามารถอธิบายได้ดังนี้



ภาพประกอบ 2-29 องค์ประกอบในการพัฒนาระบบทันที

- **โปรแกรมแบบทันที (Real-time software)**

เป็นส่วนที่รองรับการพัฒนาด้วยการเขียนโปรแกรมจากผู้ใช้งานโดยตรง ซึ่งในการทำงานจริง ก็จะประกอบไปด้วยเครื่องมือในการพัฒนา เช่น ตัวแปลภาษา (Compiler) ตัวเชื่อมโยงโปรแกรม (Linker) และตัวตรวจสอบโปรแกรม (Debugger) ส่วนในตัวโปรแกรม วิเคราะห์การทำงานจะช่วยวิเคราะห์ความถูกต้องและเวลาทั้งหมดที่ใช้ในการทำงาน ซึ่งในงานวิจัยนี้จะใช้ uboot และ gcc สำหรับ ARM9 ในการออกแบบและพัฒนา

- **ระบบปฏิบัติการแบบทันที (Real-time operating system)**

เป็นตัวกลางในการติดต่อระหว่างโปรแกรมแบบทันที และอุปกรณ์แบบทันทีที่มีหน้าที่ในการจัดสรรทรัพยากรที่ใช้งานเพื่อให้การจัดเก็บ รับ-ส่ง ทั้งหมดเป็นไปได้อย่างสะดวกและง่ายที่สุด ระบบปฏิบัติการที่นิยมใช้งานมีหลากหลาย เลือกใช้ได้ต่างกันไปตามโปรแกรมและอุปกรณ์ โดยในงานวิจัยนี้จะใช้งานด้วยระบบปฏิบัติการของ Linux 2.6

- **อุปกรณ์แบบทันที (Real-time hardware)**

คือ อุปกรณ์ที่ทำงานเชื่อมโยงกันภายใต้ระบบปฏิบัติการแบบทันที เช่น หน่วยประมวลผล หน่วยความจำ และช่องติดต่อสื่อสาร เป็นต้น

บทที่ 3

การออกแบบและวิธีทดสอบระบบ

เนื้อหาบทนี้กล่าวถึง แนวคิดและการออกแบบการพัฒนาระบบ ทั้งยังแสดงให้เห็นถึงปัญหาข้อดี-ข้อเสีย จากงานวิจัยนี้ และงานวิจัยอื่นๆ โดยแสดงให้เห็นในมุมมองของความซับซ้อนของอัลกอริทึมต่างๆ เพื่อดูถึงความเหมาะสมในการที่จะนำไปประยุกต์ใช้บนระบบสมองกลฝังตัว และเหตุผลที่สมควรใช้ ARM9 ซึ่งเป็นระบบสมองกลฝังตัวขนาดใหญ่ในการพัฒนาทั้งที่สามารถพัฒนาบนระบบสมองกลฝังตัวขนาดเล็กถึงขนาดกลางได้

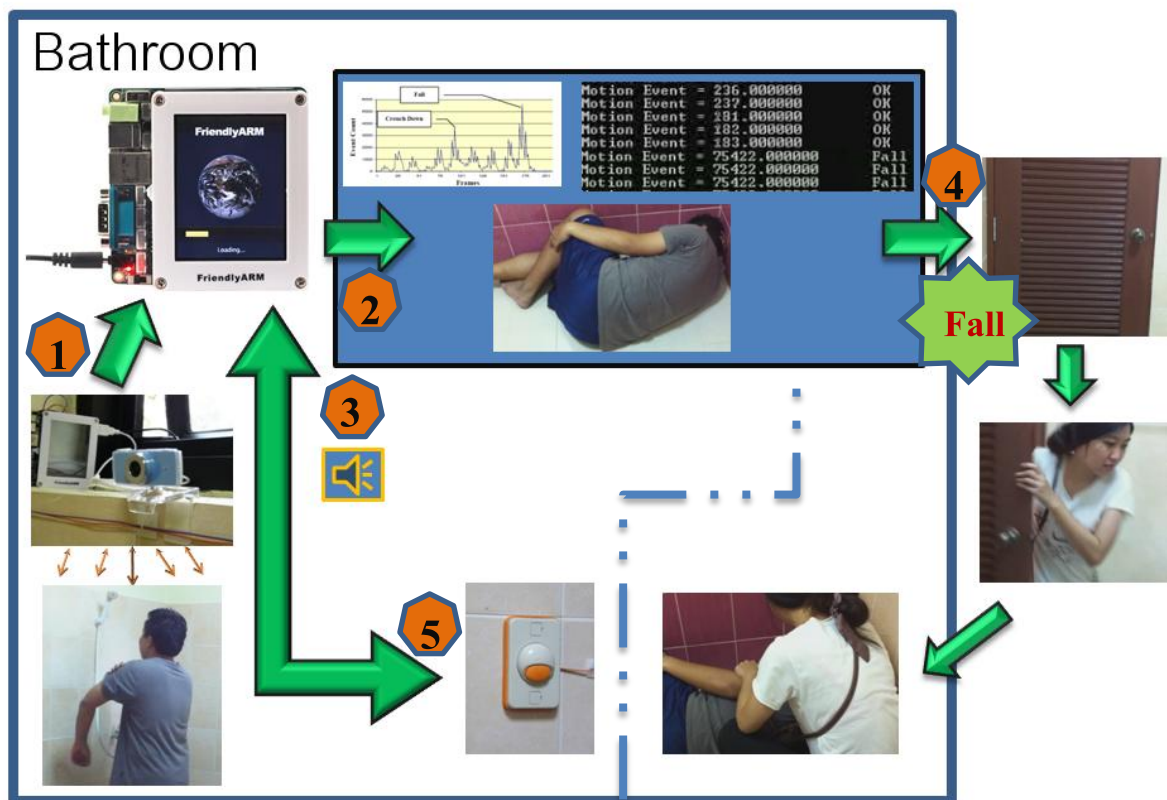
3.1 แนวคิดในการออกแบบระบบ

จากการเห็นปัญหาที่พบในบริเวณห้องอาบน้ำซึ่งนับว่าเป็นพื้นที่เปราะบางมีความอันตรายเสี่ยงต่อการเกิดการหกล้มได้ง่าย แต่จากหลายๆ วัตกรรมที่มีการนำเสนอไม่สามารถตอบสนองตามความต้องการในจุดนี้ได้ การประยุกต์ใช้กล้องในการตรวจจับการล้มก็เป็นนวัตกรรมหนึ่งที่ทางผู้วิจัยมีความสนใจในการนำมาใช้งานในการตรวจจับการล้ม เนื่องจากมีราคาถูกใช้งานได้ง่าย หลักการทำงานเป็นการนำมุมมองของภาพซึ่งเปรียบเสมือนการมองด้วยตามาใช้ในการประมวลผลทำให้ไม่จำเป็นต้องติดตั้งอุปกรณ์ที่ตัวของผู้ที่จะทำการตรวจจับ แต่ในขณะเดียวกันข้อดีดังกล่าวก็ยังมีอุปสรรคหนึ่งซึ่งนับว่าเป็นปัญหาสำคัญมากกล่าวคือ เนื่องจากสถานที่ที่ต้องการทำการตรวจจับเป็นพื้นที่ที่มีความเป็นส่วนตัวสูงหากมีการส่งภาพออกไปประมวลผลอาจมีปัญหาในส่วนของคุณภาพที่อาจโดนการกั้นระหว่างการส่งข้อมูลได้ หรือการเอาภาพไปจัดเก็บเพื่อทำการประมวลผลในอีกที่หนึ่งอาจส่งผลให้ข้อมูลดังกล่าวถูกจับตามองโดยผู้เฝ้าสังเกตได้

จากที่กล่าวมาการแก้ไขปัญหาดังกล่าวผู้วิจัยจึงนำเสนอวิธีการตรวจจับการล้มด้วยวิธีการใช้การประมวลผลภาพ แต่การพัฒนาจะทำบนระบบสมองกลฝังตัวที่จะติดตั้งไว้ภายในบริเวณพื้นที่ที่จะทำการตรวจจับการล้ม ซึ่งในงานวิจัยนี้จะทำการทดลองและติดตั้งภายในบริเวณห้องน้ำ แต่เมื่อพัฒนาบนระบบสมองกลฝังตัวปัญหาหนึ่งที่จะตามมาและต้องพัฒนาควบคู่ไปด้วยคือ อัลกอริทึมที่ใช้ในการประมวลผล ซึ่งอัลกอริทึมนี้จะเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญเป็นอย่างมากที่จะต้องเหมาะสม และทำให้การประมวลผลสามารถประมวลผลได้แบบทันที งานวิจัยนี้จึงมีการวิเคราะห์ในส่วนนี้ควบคู่ไปด้วย ซึ่งจะพบจุดที่น่าสนใจในหลายๆ ด้าน ทั้งนี้จะมีการนำเสนอเปรียบเทียบให้เห็นผลอย่างชัดเจนอีกครั้งในบทที่ 4 ในส่วนของผลการทดสอบ

3.2 ภาพรวมการออกแบบระบบ

ภาพรวมทั้งหมดของการออกแบบระบบ สามารถแสดงได้ดังภาพประกอบที่ 3-1 ซึ่งจากภาพแสดงให้เห็นได้ชัดว่าการประมวลผลทั้งหมดจะเกิดขึ้นภายในห้องน้ำ การรายงานผลที่ได้จากการประมวลผลที่ส่งออกไปใช้งานจะเป็นเพียงผลลัพธ์ของการล้มออกมาเท่านั้น ดังนั้นจึงสามารถยืนยันได้ว่าการประมวลผลนี้จะสามารถรักษาความเป็นส่วนตัวได้ ลำดับการทำงานทั้งหมดที่ได้ออกแบบไว้สามารถอธิบายได้ดังนี้



ภาพประกอบ 3-1 ภาพรวมของการออกแบบระบบ

(1) กล้อง VDO จะทำการบันทึกภาพขณะกำลังทำการระกกิจส่วนตัวภายในห้องน้ำ แล้วส่งผลลัพธ์ของภาพที่ได้จากการบันทึกไปยังหน่วยประมวลผล

(2) การประมวลผลก็จะทำการจำแนกพฤติกรรมความเสี่ยงของการล้มออกจากพฤติกรรมทั่วไป ซึ่งอัลกอริทึมที่ใช้ในการประมวลผลจะอธิบายอีกครั้งในส่วนของการออกแบบอัลกอริทึม

(3) ในกรณีที่หน่วยประมวลผลพบพฤติกรรมที่บอถึงความเสี่ยงว่าเกิดการล้มเกิดขึ้น หน่วยประมวลผลจะส่งเสียงเตือนไปยังผู้ที่กำลังถูกเฝ้าติดตามอีกครั้งหนึ่ง และจะรอก่อนส่งสัญญาณออกไปแจ้งการพบการล้มเป็นเวลา 30 วินาที ทั้งนี้เพื่อป้องกันการเข้าใจผิดในกรณีที่หน่วย

ประมวลผลพบพฤติกรรมที่บ่งชี้ถึงความเสี่ยงว่าเกิดการลี้ภัยแต่ ไม่ได้เกิดการลี้ภัยจริง ซึ่งหากพบเป็นกรณีดังกล่าวตัวผู้ถูกเฝ้าติดตามเอง สามารถกดปุ่มเพื่อยกเลิกการตรวจจับการลี้ภัยได้

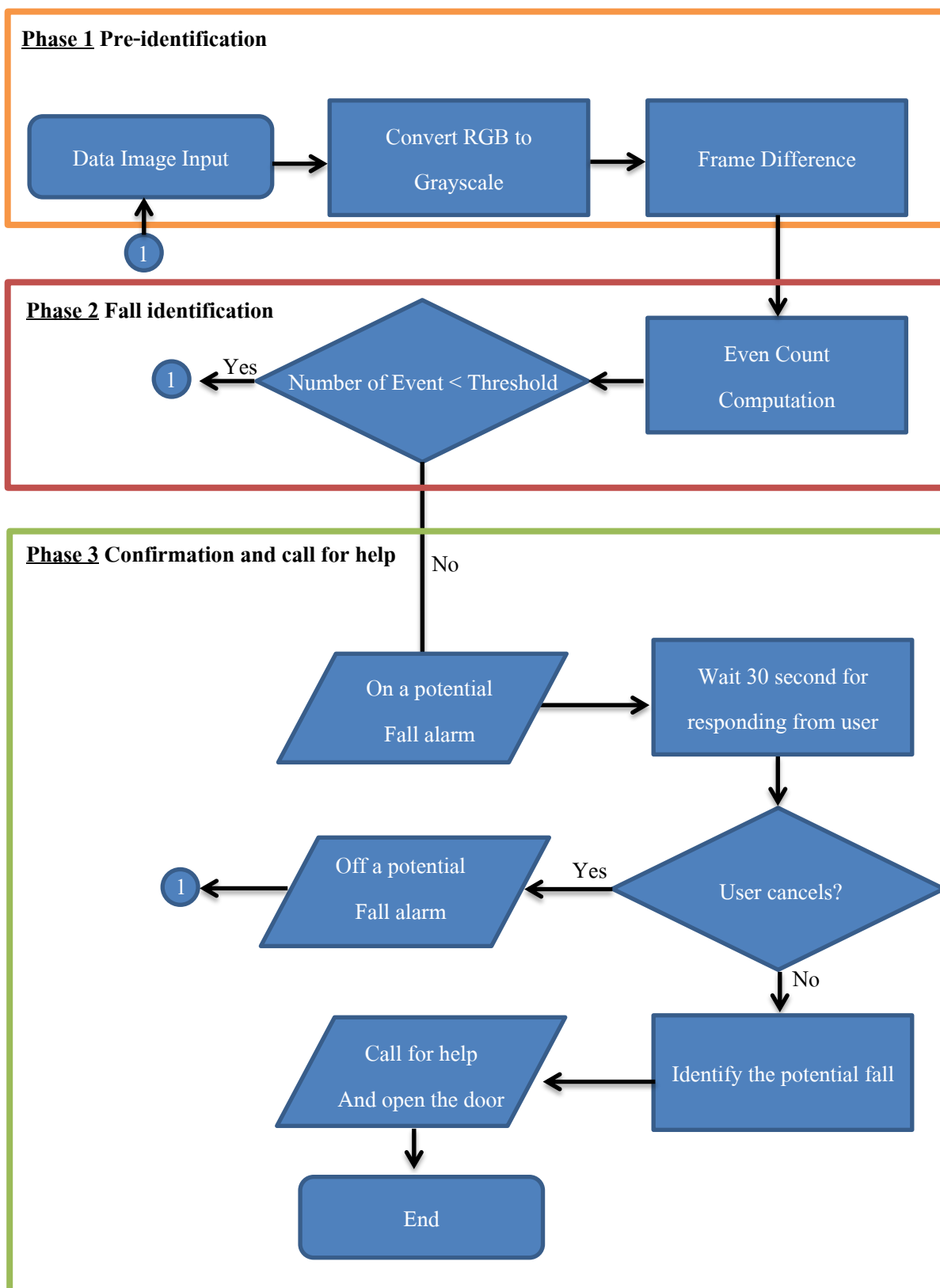
(4) เมื่อหน่วยประมวลผลพบพฤติกรรมที่สามารถบอกได้ว่าเกิดการลี้ภัยเกิดขึ้น หน่วยประมวลผลก็จะทำการรายงานผลการลี้ภัยออกไป เพื่อสั่งการเปิดประตูและแจ้งไปยังผู้ดูแลให้เข้ามาช่วยเหลือ และให้การพยาบาลต่อไป

(5) ในขณะเดียวกัน หากตัวถูกเฝ้าติดตามรู้สึกมีอาการไม่ปกติในขณะที่ยังไม่ได้ลี้ภัย ก็สามารถกดปุ่มเพื่อขอขัดจังหวะ (Interrupt Service Routine) ได้ตลอดเวลา เพื่อส่งสัญญาณออกไปขอความช่วยเหลือได้เช่นกัน

3.3 ภาพรวมการออกแบบอัลกอริทึม

จากแนวคิดในการออกแบบระบบตามข้างต้นได้กล่าวสรุปไว้แล้วว่า อัลกอริทึมจะเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญเป็นอย่างมากที่จะต้องเหมาะสม เพราะหากแม้ว่าการออกแบบอัลกอริทึมที่ได้มีความแม่นยำสูงมาก แต่เมื่อพัฒนาบนระบบสมองกลฝังตัวแล้วพบว่า ทำให้การประมวลผลไม่สามารถเร่งเตือนได้แบบทันที อาจก่อให้เกิดการช่วยเหลือที่ล่าช้าส่งผลให้อาการบาดเจ็บมีความรุนแรง หรืออาจถึงขั้นเสียชีวิตได้

การออกแบบอัลกอริทึมสำหรับงานวิจัยนี้ ทางผู้วิจัยได้แบ่งเป็น 3 ส่วนดังภาพประกอบที่ 3-2 ซึ่งแต่ละส่วนประกอบไปด้วย ส่วนก่อนการประมวลผล ส่วนจำแนกพฤติกรรม ส่วนการยืนยันการลี้ภัยและส่งสัญญาณเพื่อขอความช่วยเหลือ แม้ในส่วนแรกจะมีการประมวลผลในส่วนของการแปลงภาพสีเป็นภาพสีเทา หรือการทำการเปรียบเทียบความต่างของภาพด้วย แต่สาเหตุที่จำแนกในส่วนนี้ไว้เป็นส่วนก่อนการประมวลผลสาเหตุเนื่องจากหลายๆงานวิจัยในกลุ่มที่ใช้การประมวลผลภาพ มักจะมีการเริ่มการทำงานในลักษณะที่คล้ายๆกัน แต่เมื่อพิจารณาต่อในส่วนที่ 2 หรือส่วนจำแนกพฤติกรรมเป็นส่วนของงานวิจัยที่มีความน่าสนใจมากที่สุดเพราะเป็นส่วนที่จะนำมาวิเคราะห์ให้เห็นได้อย่างชัดเจนถึงความซับซ้อนของการประมวลผล โดยหลายๆงานวิจัยจะใช้หลายๆเทคนิคมาเพิ่มในส่วนนี้เพื่อเพิ่มความน่าเชื่อถือ และช่วยให้ได้ผลลัพธ์ในการวิเคราะห์ที่ถูกต้องที่สุด ส่วนสุดท้ายเป็นส่วนรายงานผลเพื่อขอความช่วยเหลือ โดยส่วนนี้มีความน่าสนใจตรงที่เพิ่มความน่าเชื่อถือในด้านความสามารถในการตรวจสอบในกรณีไม่ได้ลี้ภัยแต่ระบบตรวจพบว่าลี้ภัย และในกรณีที่ตัวผู้สูงอายุเองรู้สึกว่าจะเกิดอาการผิดปกติของร่างกายในขณะที่ยังไม่ได้ลี้ภัยจริง



ภาพประกอบ 3-2 ภาพรวมของการออกแบบอัลกอริทึม

จากภาพประกอบที่ 3-2 สามารถอธิบายเพิ่มเติมในแต่ละส่วนเพื่อความเข้าใจในการพิจารณาได้ดังนี้

3.3.1. ส่วนก่อนการจำแนกพฤติกรรม (Pre - identification)

ส่วนนี้จะพิจารณาตั้งแต่รับสัญญาณภาพจากกล้องวิดีโอเข้ามาประมวลผล โดยในส่วนนี้จะมีการจัดการเตรียมภาพรวมอยู่ด้วย เพื่อให้ง่ายในการพิจารณา และง่ายในการวิเคราะห์เพื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่นๆ

1) **Data Image Input** ในส่วนนี้จะทำการรับสัญญาณภาพของผู้ที่ถูกติดตามแล้ว นำข้อมูลไปประมวลผลต่อยังระบบ โดยกิจกรรมทดลองที่จะแสดงจะทำการสุ่มลักษณะท่าทางจนครบตามที่กำหนดไว้ และจบด้วยการล้ม โดยรายละเอียดท่าทางการแสดง และสภาพแวดล้อมที่ออกแบบจะกล่าวอีกครั้งใน ตอนที่ 3.5 (3.5 การเก็บข้อมูล และออกแบบการทดลอง)

2) **Convert RGB to Grayscale** ในส่วนนี้จะมีการคำนวณเพื่อจัดการกับความซับซ้อนของสีจาก 1 จุดสีจะมี 3 ชั้นคือ สีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน ($2^8 \times 3$)แปลงให้เหลือเพียง 1 จุดสีมีชั้นเดียว คือสีเทาซึ่งไล่ระดับตามความเข้มของแสง (Intensity มีขนาด 2^8 หรือ 0-255) โดยอีกข้อดีหนึ่งของการจัดการในส่วนนี้เพื่อให้ง่ายในการพิจารณาการผ่านจุดทำงาน ของขั้นตอนการทำการเปรียบเทียบภาพ

3) **Frame Difference** ในส่วนนี้จะทำการเปรียบเทียบความต่างของเฟรมภาพ 2 ภาพที่อยู่ติดกัน (อัลกอริธึมนำเสนอในตอนที่ 2.6.1 หน้า 24 เรื่อง อัลกอริธึมการเปรียบเทียบความต่างของภาพ)โดยหากภาพมีความต่างกันมากกว่า 20% จะกำหนดค่าสีที่พิกัดนั้นให้เป็น 1 นอกจากนั้นก็ให้เป็น 0 ทั้งหมด ข้อมูลที่ได้จะนำเข้าสู่กระบวนการนับจุดภาพที่มีความต่าง เพื่อจำแนกพฤติกรรมต่อไป

3.3.2. ส่วนการจำแนกพฤติกรรม (Fall identification)

1) **Event Count Computation** ในส่วนนี้จะเป็นการนับเฉพาะจำนวนจุดที่มีการรายงานผลว่าความต่างกัน ซึ่งเป็นการทำงานที่เกี่ยวข้องต่อเนื่องต่อกันจากการทำงานในส่วนที่ผ่านมา ซึ่งจะเห็นว่าจุดที่มีการรายงานผลว่าความต่างกันคือจุดที่มีค่าเท่ากับ 1 นั่นเอง

2) **Compare Number of Event with Threshold** หลังจากทราบผลว่าใน 1 ภาพสามารถนับจำนวนของจุดภาพที่มีการเปลี่ยนแปลงก็จุดในส่วนนี้ก็จะทำการพิจารณาต่อว่าค่าดังกล่าวมีค่าสูงกว่าค่าของจุดทำงาน (Threshold) หรือไม่ หากค่าที่ได้ต่ำกว่าจุดทำงานก็จะกลับไปทำการรับภาพใหม่เพื่อพิจารณาในเฟรมภาพอื่นๆต่อไป แต่หากพบว่าค่าสูงกว่าก็จะหมายถึงพบความเสี่ยงว่าจะเกิดการล้ม และเข้าสู่กระบวนการยืนยันการล้มต่อไป

3.3.3. ส่วนการยืนยันการล้ม และส่งสัญญาณเพื่อขอความช่วยเหลือ (Confirmation and call for help)

1) **Wait responding from user** เมื่อเข้าสู่กระบวนการนี้ แสดงว่าระบบตรวจจับพบความเสี่ยงที่อาจเกิดการล้มได้ ซึ่งในกระบวนการนี้ จะมีการส่งเสียงเพื่อเตือน (เสียงจะดังเฉพาะในห้องน้ำเท่านั้น) ให้ผู้ที่ถูกติดตามทราบว่าจะระบบตรวจพบว่าการล้มเกิดขึ้น แล้วระบบจะรอการกดปุ่มยกเลิกภายในเวลา 30 วินาที ซึ่งหากระบบตรวจสอบผิดพลาดซึ่งหมายถึงไม่มีการล้มจริง ผู้ถูกติดตามก็สามารถกดปุ่มยกเลิกเพื่อสั่งงานว่าไม่เกิดการล้มเกิดขึ้น ระบบก็จะทำการปิดสัญญาณเตือน และกลับไปเริ่มกระบวนการแรกใหม่ แต่ในขณะที่เดียวกันหากไม่มีการยกเลิกภายในเวลาที่กำหนด ก็จะเข้าสู่กระบวนการขอความช่วยเหลือต่อไป

2) **Identify the potential fall and call for help** ในกระบวนการนี้ระบบจะถือว่าผู้ที่กำลังถูกติดตามเกิดการล้ม 100% ซึ่งกระบวนการนี้ระบบจะส่งข้อมูลเฉพาะการล้มออกไปดำเนินการขอความช่วยเหลือต่อไป เช่น แจ้งผู้ดูแลระบบ หรือสั่งงานเปิดประตู ในกระบวนการนี้ นอกจากจะเป็นกระบวนการที่ดำเนินการโดยอัตโนมัติแล้ว ยังมีการรับรองการทำงานจากผู้ติดตามด้วยมือ (Manual) ได้อีกด้วย กล่าวคือหากผู้ถูกติดตามรู้สึกผิดปกติ ก็สามารถกดปุ่มเพื่อขอความช่วยเหลือก่อนได้ในกรณีที่ยังไม่เกิดการล้มเกิดขึ้น ได้อีกด้วย

3.4 การประเมินผลการทดสอบที่ได้

การประเมินประสิทธิภาพส่วนใหญ่มีลักษณะปัญหาเฉพาะตัว [25] กล่าวคือการเลือกตัววัด ภาระงาน และเทคนิคการประเมินสามารถใช้เฉพาะปัญหานั้นเท่านั้น อย่างไรก็ตามขั้นตอนวิธีการ การประเมินประสิทธิภาพโดยทั่วไปสามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

- 1) ระบุเป้าหมาย และนิยามระบบ
- 2) แจกแจงบริการ และผลลัพธ์
- 3) เลือกตัววัดประสิทธิภาพ
- 4) แจกแจงพารามิเตอร์ (Parameter)
- 5) เลือกเฟลคเตอร์ในการศึกษา
- 6) การเลือกเทคนิคการประเมิน
- 7) การเลือกภาระงาน
- 8) การออกแบบการทดลอง
- 9) การวิเคราะห์และตีความผลการทดลอง
- 10) การนำเสนอผลการประเมิน

ในส่วนของการประเมินผลที่ได้จากการตรวจจับการล้มนี่จะดูจากค่า ความไว (Sensitivity) และความจำเพาะ (Specificity) [25][26] แทนการประเมินผลจากค่าความถูกต้อง (Accuracy) เพราะระบบจะมองในสองส่วนแรกว่ามีความยืดหยุ่นในการประสิทธิภาพได้ดีกว่า คือ ล้มและเซ็นเซอร์บอกได้ว่าล้มจริงกับ ไม่ได้ล้ม และเซ็นเซอร์ไม่ตรวจจับว่าล้ม ซึ่งทั้งสองเหตุการณ์ ถือว่าการทำงานทำได้ถูกต้องเช่นเดียวกัน ซึ่งการคำนวณสามารถหาได้จากความสอดคล้องระหว่าง เหตุการณ์จริงและ การวิเคราะห์ผลด้วยการประมวลผลภาพดังนี้

- 1) *TP* (True Positive) เกิดการล้มจริง และ เซ็นเซอร์ ตรวจจับว่าล้มจริง
- 2) *FP* (False Positive) ไม่เกิดการล้ม แต่ เซ็นเซอร์ ตรวจจับว่าล้ม
- 3) *TN* (True Negative) ไม่เกิดการล้มจริง และ เซ็นเซอร์ ตรวจจับว่าไม่ล้ม
- 4) *FN* (False Negative) เกิดการล้มจริง แต่ เซ็นเซอร์ไม่ ตรวจจับว่ามีการล้ม

ความไว (Sensitivity) [26] เป็นคุณลักษณะของการตรวจวินิจฉัยที่บอกถึงสัดส่วนของผลบวกของการตรวจในผู้ป่วยที่เป็นโรค หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือ ถ้าผู้ป่วยมีโรคจริงโอกาสที่ ผลการตรวจจะให้ผลบวกก็เปอร์เซ็นต์ หรือหากพิจารณาในงานวิจัยนี้คือ ความสามารถในการ ตรวจจับว่าจากการทดสอบนั้นเกิดการล้มจริง ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (3-1) และ (3-2)

$$Sensitivity = \frac{TP}{TP+FN} \quad (3-1)$$

$$\text{หรือ } \%Sen = \%Sensitivity = \left(\frac{TP}{TP+FN} \right) \times 100\% \quad (3-2)$$

ความจำเพาะ(Specificity) [26] เป็นคุณลักษณะของการตรวจวินิจฉัยที่บอกถึง สัดส่วนของผลลบของการตรวจในคนปกติ หรือในผู้ป่วยที่เป็นโรคอย่างอื่นหรือกล่าวอีกแบบหนึ่ง คือ ถ้าคนที่ไม่ใช่โรคหรือคนปกติ มีโอกาสที่ผลการตรวจจะให้ผลลบเป็นก็เปอร์เซ็นต์ หรือหาก พิจารณาในงานวิจัยนี้คือ ความสามารถในการตรวจจับว่าไม่เกิดการล้ม ซึ่งสามารถคำนวณได้จาก สมการที่ (3-3) และ (3-4)

$$Specificity = \frac{TN}{TN+FP} \quad (3-3)$$

$$\text{หรือ } \%Spc = \%Specificity = \left(\frac{TN}{TN+FP} \right) \times 100\% \quad (3-4)$$

ความถูกต้อง (Accuracy) [26] คือระดับความเที่ยงตรงว่าใกล้เคียงกับเป้าหมาย เพียงใด การคำนวณสามารถหาได้ จากสมการที่ (3-5) และ (3-6)

$$Accuracy = \frac{TP+TN}{TP+FN+TN+FP} \quad (3-5)$$

$$\text{หรือ } \%Acc = \%Accuracy = \left(\frac{TP+TN}{TP+FN+TN+FP} \right) \times 100\% \quad (3-6)$$

3.5 การเก็บข้อมูล และออกแบบการทดลอง

การทดลองได้เริ่มขึ้นจากสมมุติฐานที่ว่า ความเร็วของการเคลื่อนไหวในภาพวิดีโอจะส่งผลถึงความต่างของภาพเฟรมที่อยู่ใกล้กันกล่าวคือ หากภาพมีการเคลื่อนไหวช้าผลของความแตกต่างกันของภาพเฟรมที่อยู่ใกล้กันจะมีความต่างกันน้อยมาก แต่ในขณะเดียวกันหากมีการเคลื่อนไหวที่เร็วผลของความแตกต่างกันของภาพเฟรมที่อยู่ใกล้กันจะมีความต่างกันมากกว่า ตัวอย่างแสดงได้ดังภาพประกอบที่ 2-8 (หน้าที่ 25) จากสมมุติฐานดังกล่าวทำให้ได้มาซึ่งการออกแบบการทดลองที่ใช้ในงานวิจัยนี้ โดยการทดลองทั้งหมดตลอดการวิจัยได้แบ่งออกเป็น 3 ช่วงดังนี้

3.5.1. ช่วงการทดสอบอัลกอริธึมการเปรียบเทียบผลต่างของเฟรม

จากสมมุติฐานแรกทีกล่าวไว้แล้วข้างต้นทำให้เกิดการออกแบบการทดลองขึ้นโดยเริ่มจากศึกษาท่าทางที่จะเกิดขึ้นภายในห้องน้ำ ซึ่งสามารถแบ่งได้ 3 กลุ่มตามความต่างกันของความเร็วในการเคลื่อนไหวลักษณะท่าทางต่างๆ ได้แก่

- 1) การเคลื่อนไหวปกติความเร็วในการเคลื่อนไหวไม่สูงมาก เช่น ทำธุสุมู, ทำอาบน้้า, ทำสระผม, ทำขยับร่างกายไปมา ซ้าย-ขวา ดังภาพประกอบที่ 3-3 (ก)
- 2) การเคลื่อนไหวมีความเร็วซึ่งใกล้เคียงการล้ม เช่น การก้มเก็บของ, การก้ม-เงย, การขยับร่างกายเร็วๆ ดังภาพประกอบที่ 3-3 (ข)
- 3) การล้ม ซึ่งการทำท่าล้มนี้จะเป็นการแสดงท่าทางการล้มที่ตกโดยอิสระ ดังภาพประกอบที่ 3-3 (ค)



(ก)



(ข)

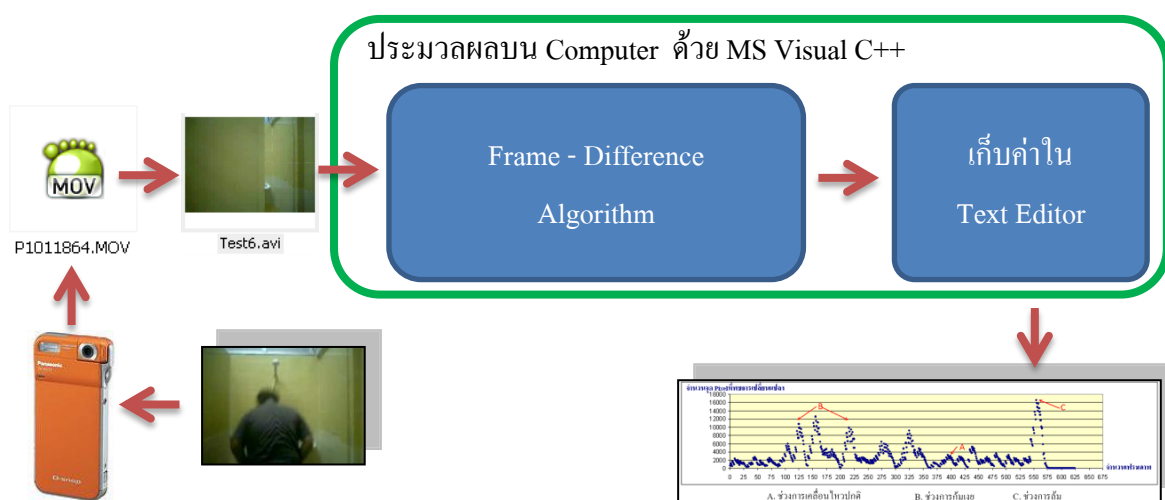


(ค)

ภาพประกอบ 3-3 ท่าทางต่างๆที่อาจเกิดขึ้นภายในห้องน้ำ

(ก) คือ ทำการเคลื่อนไหวปกติ (ข) คือ ทำการก้ม-เงย (ค) คือ ทำล้มโดยอิสระ

การทดลองเริ่มจาก แสดงท่าทางต่างๆที่เกิดขึ้นภายในห้องอาบน้ำ โดยสวมท่าทางต่างๆ และจับที่ท่าล้ม (ซึ่งถือว่าล้มแล้วไม่สามารถเคลื่อนไหวเพื่อช่วยเหลือตัวเองได้อีกเลย) การแสดงตลอดการทดลองจะถูกบันทึกด้วยกล้องวิดีโอ และนำภาพที่ได้ไปประมวลผลบนคอมพิวเตอร์ด้วย Microsoft Visual C++ แล้วทำการเก็บค่าที่ได้ไว้ใน โปรแกรม Text Editor ค่าตัวเลขที่ได้นำไปสร้างเป็นกราฟเพื่อดูแนวโน้ม และนัยสำคัญที่ได้จากการประมวลผลดังกล่าว ซึ่งกระบวนการทั้งหมดแสดงได้ดังภาพประกอบที่ 3-4 ส่วนข้อมูลของผลการทดลองจะทำการนำเสนอในบทถัดไป (บทที่ 4 ผลการดำเนินงานและการวิเคราะห์ผล)



ภาพประกอบ 3-4 กระบวนการทำการทดลองเปรียบเทียบผลต่างของเฟรม

3.5.2. ช่วงการทดสอบความน่าเชื่อถือของอัลกอริทึมการเปรียบเทียบผลต่างของเฟรม

เนื่องจากการทดลองในช่วงแรกให้ผลลัพธ์ที่มีนัยที่น่าสนใจ ผลที่ได้มีแนวโน้มที่สามารถตอบสนองสมมุติฐาน และสามารถปรับปรุงให้สามารถใช้ในการตรวจจับการล้มได้ การทดสอบในช่วงที่สองนี้จึงมีการปรับปรุงในหลายๆด้านได้แก่

1) สภาวะแวดล้อมของแสง ในที่นี้ไม่ได้รวมไปถึงสภาวะห้องมืด หรือแสงสว่างน้อยมากๆ เนื่องจากในความเป็นจริงคงแทบจะเป็นไปได้ยากที่ผู้ป่วยหรือผู้สูงอายุจะอาบน้ำในห้องมืดหรือห้องที่แสงไม่เพียงพอ แต่สภาวะแสงในที่นี้เราจะคำนึงถึงที่มาของแสง หรือตำแหน่งติดตั้งแสงส่องสว่าง ซึ่งมีสองลักษณะ คือ การใช้แสงจากภายนอกห้องอาบน้ำ และการใช้แสงจากหลอดไฟที่เปิดบริเวณด้านบนของห้องอาบน้ำ (ซึ่งเป็นลักษณะมาตรฐานทั่วไปของการติดตั้งแสงส่องสว่าง)

2) ผลกระทบของละอองน้ำจากฝักบัว เนื่องจากงานวิจัยนี้ต้องการใช้ประโยชน์จากการตรวจจับการล้มน้ำในห้องน้ำ ดังนั้นสิ่งที่หลีกเลี่ยงไม่ได้เลยคือการอาบน้ำ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงทำการทดลองเปิดน้ำจากฝักบัวและทำการแสดงท่าทางเสมือนกำลังอาบน้ำจริง เพื่อดูผลกระทบที่อาจส่งผลต่อการตรวจจับการล้มน้ำจากสายน้ำจากฝักบัวด้วย

3) ผลกระทบจากเสื้อผ้า หลังจากจัดสภาวะแวดล้อมอื่นๆแล้ว อีกส่วนหนึ่งที่น่าจะมีความสำคัญ และอาจส่งผลต่อการตรวจจับคือเสื้อผ้าที่สวมใส่ เพราะจากหลายๆงานวิจัยจะพบว่าสีของเสื้อผ้าจะส่งผลกระทบอย่างมากต่อการแยกภาพเคลื่อนไหว ดังนั้นทุกๆการทดลอง ผู้ที่ทำการทดสอบจะสวมใส่เสื้อฝ้าน้อยชิ้นที่สุด โดยการทดลองเกือบทั้งหมดผู้ทดสอบจะสวมใส่กางเกงขาสั้นเพียงตัวเดียว และจะมีบางการทดลองที่ผู้ทดลองถอดเสื้อผ้าออกหมด

4) ตำแหน่งที่ติดตั้งกล้อง เนื่องจากต้องการทดสอบเพื่อหาตำแหน่งที่ดีที่สุดในการตรวจจับ และต้องการทดสอบความสามารถในการตรวจจับในมุมมองที่ต่างกันว่าจะได้ผลดีอยู่หรือไม่ เนื่องจากมีบางงานวิจัยทดลองในรูปแบบเดียวกันและพบว่าการติดตั้งกล้องในมุมเงยที่สูงขึ้น จะไม่สามารถบอกถึงความแตกต่างได้ การทดลองนี้จึงต้องการพิสูจน์ในปัญหาดังกล่าวด้วย โดยการสุ่มติดตั้งกล้องในตำแหน่งที่ต่างกัน 3 ตำแหน่งซึ่งตำแหน่งในการติดตั้งกล้องแสดงได้ดังภาพประกอบที่ 3-5

ตารางที่ 3-1 การจัดสภาวะแวดล้อมต่างๆรวมถึงจำนวนครั้ง(จำนวนไฟล์วิดีโอ)ที่ทำการทดสอบ

สภาวะแวดล้อมที่สร้างขึ้นในการทดสอบ			จำนวนครั้งที่ทำการทดลอง(ครั้ง)		
			ตำแหน่งความสูงที่ติดตั้งกล้อง		
การเปิดไฟส่องสว่าง	สวมกางเกงขาสั้น	เปิดน้ำฝักบัว	1.10 เมตร	1.90 เมตร	2.10 เมตร
O	O	O	3	3	3
O	X*	O	2	2	2
X	O	O	3	3	3

หมายเหตุ X* = ผู้ทดสอบไม่สวมใส่เสื้อผ้า

X = สภาวะแวดล้อมที่ไม่เกิดขึ้น เช่น ไม่เปิดไฟส่องสว่างเหนือศรีษะ

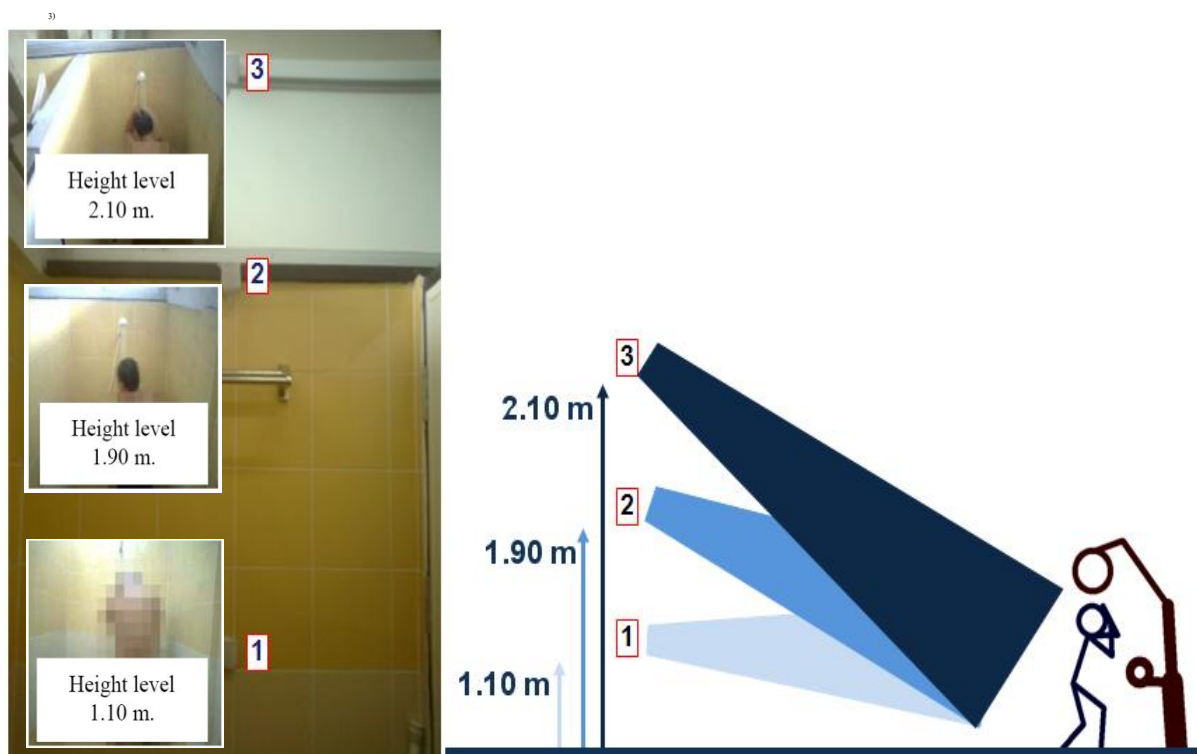
O = สภาวะแวดล้อมที่เกิดขึ้น เช่น เปิดไฟส่องสว่างเหนือศรีษะ

ทั้งนี้ข้อมูลของการจัดสภาวะแวดล้อมต่างๆ แสดงได้ดังตารางที่ 3-1 ซึ่งนอกจากตารางดังกล่าวจะจำแนกสภาวะแวดล้อมไว้แล้ว ตารางยังบอกถึงจำนวนไฟล์ทดสอบที่ทำการทดลองในสภาวะแวดล้อมที่ต่างๆ กันไปอีกด้วยซึ่งภายในไฟล์ทุกๆ ไฟล์จะสุ่มทำทางและผ่านกระบวนการประมวลผลเหมือนกันกับการทดลองที่นำเสนอไปแล้วในตอนที 3.5.1 ส่วนข้อมูลของผลการทดลองจะทำการนำเสนอในบทถัดไป(บทที่ 4 ผลการดำเนินงานและการวิเคราะห์ผล)

ในส่วนของการวิเคราะห์ผลที่ได้จะ แบ่งเป็น 2 ส่วนคือ

1) วิเคราะห์จากแนวโน้มของการล้มโดยเปรียบเทียบจากไฟล์วิดีโอทั้งไฟล์ กล่าวคือใน 1 ไฟล์จะสามารถมีเหตุการณ์ที่วิเคราะห์ห้มาได้เพียง 2 เหตุการณ์ เท่านั้น โดยแบ่งเป็นใน ส่วนของความสามารถในการตรวจสอบว่าล้มได้ กับในส่วนที่สามารถบอกว่าไม่ได้เกิดการล้มได้ ซึ่งในการตรวจสอบจะบอกด้วย การเปรียบเทียบเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นจริงกับผลที่ได้จากการผ่านเส้น กำหนดจุดทำงาน ทั้งนี้จากการตรวจสอบนี้จะใช้ วิดีโอจำนวน 24 ไฟล์โดยแบ่งตามสภาพแวดล้อม ดังตารางที่ 3-1

2) วิเคราะห์จากผลของการเปรียบเทียบทุกๆ เฟรมที่ได้กับค่าของจุดทำงาน ซึ่งค่าของจุดทำงานที่จะใช้งานจริงเอามาจากโมเดลที่ได้จากการวิเคราะห์แนวโน้มในการวิเคราะห์ ผลในส่วนแรก



ภาพประกอบ 3-5 ตำแหน่งการติดตั้งกล้องที่มุมมองต่างกัน 3 ตำแหน่ง

3.5.3. การออกแบบและทดลองจริงบน ARM9

หลังจากทำการทดลองในสองส่วนที่ผ่านมาสามารถพิสูจน์ให้เห็นถึงความสามารถของอัลกอริทึมที่จะใช้ในการประมวลผลว่ามีความสามารถในการจำแนกพฤติกรรมได้ อีกทั้งยังมีความยืดหยุ่นพอที่จะทำการประมวลผลได้จริง ภายในสภาวะแวดล้อมที่เกิดขึ้นได้ภายในห้องอาบน้ำ ซึ่งสถานที่ที่จะทำการทดลองในส่วนนี้จะใช้เป็นบริเวณห้องน้ำ ภายในโครงการบ้านอัจฉริยะ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ ซึ่งมีขนาดประมาณ 2 ตารางเมตร โดยอุปกรณ์ที่ใช้ในการประมวลผลจะเป็น ระบบสมองกลฝังตัวขนาดใหญ่ ตระกูล ARM9 เนื่องจากเป็นระบบสมองกลฝังตัวที่ออกแบบขึ้นเพื่อให้ทำงานสนองความต้องการได้อย่างหลากหลาย และที่สำคัญคือสามารถใช้งานระบบปฏิบัติการได้ ซึ่งระบบปฏิบัติการที่ใช้ในงานวิจัยนี้คือระบบปฏิบัติการลินุกซ์ 2.6 เนื่องจากเป็นระบบปฏิบัติการที่มีการนิยมใช้อย่างแพร่หลาย และสามารถพัฒนาได้ฟรีเนื่องจากเป็นระบบปฏิบัติการที่เป็นโอเพนซอร์ส

นอกจากนี้การใช้งานระบบปฏิบัติการ ยังทำให้สามารถใช้งาน โปรแกรมต้นแบบที่ทำการพัฒนาออกแบบบนคอมพิวเตอร์ได้ทันทีโดยไม่ต้องออกแบบซอฟต์แวร์ใหม่เฉพาะอุปกรณ์ อีกทั้ง ป้องกันปัญหาที่ผิดพลาดจากการดัดแปลงข้อมูล โปรแกรม ทั้งนี้การพัฒนาในอนาคตยังสามารถพัฒนาให้ติดตั้งกล้องเพื่อช่วยในการตรวจสอบการล้มได้สูงสุดถึง 4 ชุด เนื่องจากมีพอร์тыเอสบี ที่สามารถใช้งานได้ทันทีถึง 4 พอร์ต นอกจากนี้การติดต่อสื่อสารในการส่งข้อมูลยังสามารถเชื่อมต่ออุปกรณ์ระบบเครือข่ายไร้สายได้ โดยที่ตัวคอนโทรลเลอร์ เองจะสามารถกำหนดที่อยู่อินเทอร์เน็ตโปรโตคอล(Internet protocol address หรือ IP address) ของตัวเองได้อีกด้วย (วิธีการติดตั้งและการพัฒนาในส่วนนี้จะกล่าวอย่างละเอียดอีกครั้งในภาคผนวก)

บทที่ 4

ผลการดำเนินงานและวิเคราะห์ผล

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลการดำเนินงานและวิเคราะห์ผลการทำงานของระบบทั้งหมด ตามแผนและรูปแบบ ที่ได้นำเสนอไว้ในบทที่ 3 เรื่องการออกแบบและวิธีการทดสอบระบบ ซึ่งจากผลการทดลองทำให้ทราบว่า การเปรียบเทียบเฟรมภาพแล้วนับผลต่างของจุดภาพ จะให้ผลลัพธ์ของจำนวนจุดที่ต่างกัน ไปขึ้นอยู่กับ ความเร็วที่ทำการเคลื่อน ไหวของวัตถุ หรือบุคคลในภาพได้ แต่เมื่อทดลองปรับสถานะแวดล้อมให้มีความต่างกัน โดยอิงจากปัญหาที่พบของงานวิจัยอื่นพบว่า ระบบการตรวจจับการล้มด้วยวิธีเปรียบเทียบเฟรมภาพนี้สามารถลดความผิดพลาดจากปัญหาดังกล่าวได้ เช่น สีของเสื้อผ้า มุมมองของการติดตั้งกล้อง เป็นต้น

4.1 ผลของการทดลองในส่วนของการทดสอบอัลกอริธึมการเปรียบเทียบผลต่างของเฟรม

จากการศึกษาในส่วนของหลักการเปรียบเทียบเฟรมภาพแล้วทำการนับจุดต่าง จะส่งผลให้ผลลัพธ์ของจำนวนจุดที่ต่างกัน ไปขึ้นอยู่กับ ความเร็วที่ทำการเคลื่อน ไหวของวัตถุ หรือบุคคลในภาพได้ ซึ่งสามารถออกแบบด้วย OpenCV โดยจะมี 2 ฟังก์ชันที่น่าสนใจคือ AbsDiff และ CountNonZero

AbsDiff [27] หน้าที่ฟังก์ชันนี้คือ จะทำการเปรียบเทียบภาพ 2 ภาพ แล้วรายงานผลออกมาเป็น ค่าสัมบูรณ์ (Absolute value) โดยภายในฟังก์ชันจะถูกออกแบบด้วย ภาษาซีดังนี้

```
void cvAbsDiff( IplImage* srcA, IplImage* srcB, IplImage* dst );
```

โดย srcA คือภาพแรกที่จะเอามาเปรียบเทียบ

srcB คือภาพที่สองที่จะเอามาเปรียบเทียบ

dst คือผลลัพธ์ของภาพจากการเปรียบเทียบกัน

ซึ่งสามารถเขียนสมการได้ ดังสมการที่ (4-1)

$$dst(x, y) = abs(srcA(x, y) - srcB(x, y)) \quad (4-1)$$

CountNonZero [27] หน้าที่ฟังก์ชันนี้คือ จะนับจุดภาพทั้งภาพที่มีค่าที่ไม่ใช่ 0 ซึ่ง จะรายงานผลออกมาในรูปแบบของตัวเลขจำนวนเลย โดยภายในฟังก์ชันจะถูกออกแบบด้วย ภาษาซีดังนี้

```
int cvCountNonZero (IplImage* image );
```

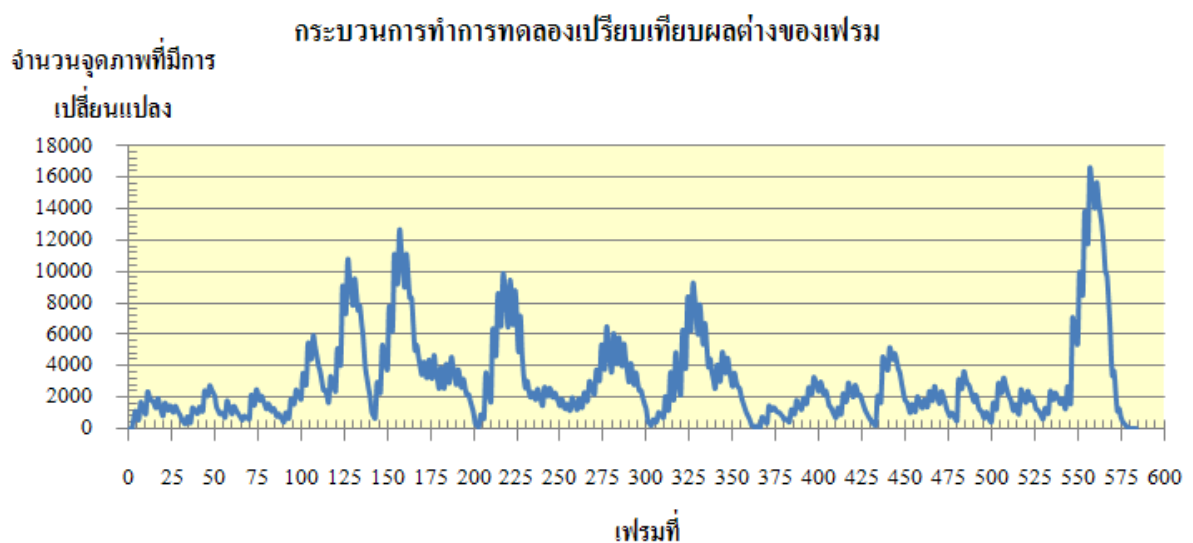
โดย image จะเป็นตัวชี้ไปยังที่มาของภาพ

สมมุติฐาน ของการทดลองนี้คือ การเปรียบเทียบเฟรมภาพแล้วทำการนับจุดต่าง จะส่งผลให้ผลลัพธ์ของจำนวนจุดที่ต่างกัน ไปขึ้นอยู่กับ ความเร็วที่ทำการเคลื่อนไหวของวัตถุ หรือ บุคคลในภาพได้

ตัวแปรต้น ของการทดลองนี้ได้แก่ การแสดงท่าทางต่างกัน 3 ลักษณะ คือการ เคลื่อนไหวที่ความเร็วปกติ, การเคลื่อนไหวที่ความเร็วใกล้เคียงกับการล้ม, การล้ม โดยจะสุ่ม ลักษณะท่าทาง ตลอดไฟล์การแสดง เนื่องจากไม่ต้องการให้มีรูปแบบที่แน่นอน แต่สุดท้ายแล้วการ แสดงต้องจบที่การล้ม

ตัวแปรตาม ของการทดลองนี้ได้แก่ จำนวนจุดภาพความต่างของภาพจะขึ้นอยู่กับ ความเร็วของวัตถุในภาพ โดยถ้าวัตถุเคลื่อนไหวที่ความเร็วปกติ จำนวนจุดจะต้องน้อยมาก และจะ สามารถนับจำนวนจุดที่มีความต่าง ได้มากที่สุดที่การล้ม

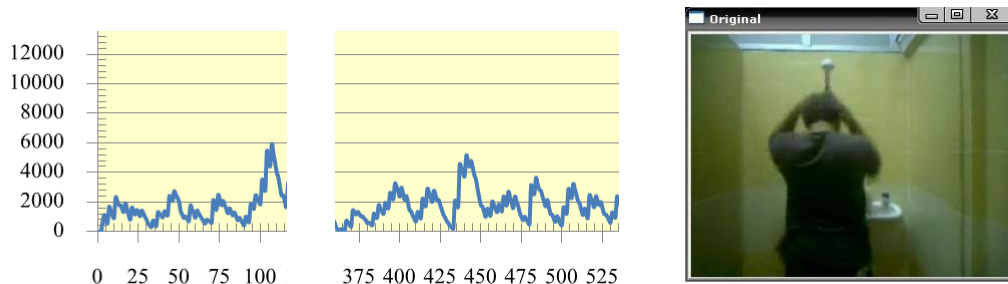
ตัวแปรควบคุม ของการทดลองนี้ได้แก่ กล้องวิดีโอ เฟรมเรตที่ 25 เฟรมต่อวินาที



ภาพประกอบ 4-1 กระบวนการทดลองเปรียบเทียบผลต่างของเฟรม

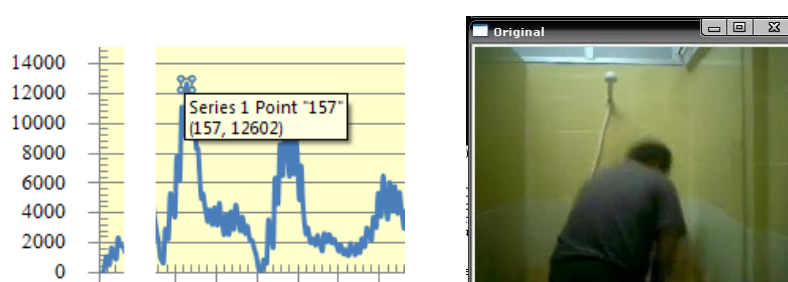
การทดลองหลังจากได้ค่าผลลัพธ์การเปรียบเทียบมาแล้วสามารถแสดงได้ดัง ภาพประกอบที่ 4-1 โดยจากผลการทดลองในส่วนนี้ สามารถวิเคราะห์ห้ออกได้ เป็น 3 ส่วนดังนี้

1) การเคลื่อนไหวปกติความเร็วในการเคลื่อนไหวไม่สูงมาก เช่น ท่าอุสบู, ท่าอาบน้ำ, ท่าสระผม, ท่าขยับร่างกายไปมา ซ้าย-ขวา ดังภาพประกอบที่ 4-2 ซึ่งในส่วนนี้สามารถ อ่านค่าจำนวนผลลัพธ์ความต่างได้คือ ไม่เกิน 6,000 จุด หรือประมาณ 1.95% ของจำนวนจุดภาพ ทั้งหมด (ภาพขนาด 640x480)



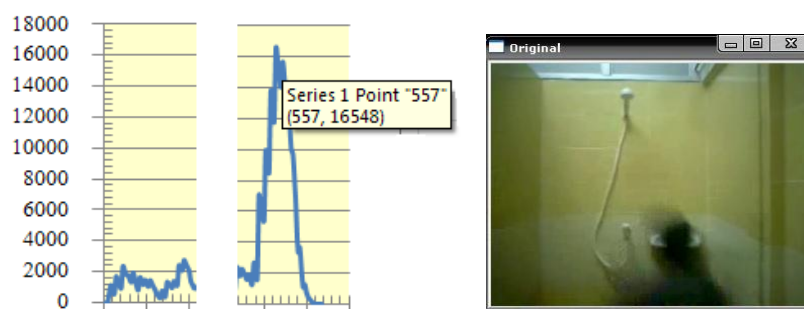
ภาพประกอบ 4-2 การเคลื่อนไหวปกติความเร็วในการเคลื่อนไหวไม่สูงมาก

2) การเคลื่อนไหวมีความเร็วใกล้เคียงการล้ม เช่น การก้มเก็บของ, การก้ม-เงย, การขยับร่างกายเร็วๆ ดังภาพประกอบที่ 4-3 ซึ่งในส่วนนี้สามารถอ่านค่าจำนวนผลลัพธ์ความต่างได้คือ ไม่เกิน 13,000 จุด หรือประมาณ 4.23% ของจำนวนจุดภาพทั้งหมด (ภาพขนาด 640x480)



ภาพประกอบ 4-3 การเคลื่อนไหวปกติความเร็วใกล้เคียงการล้ม

3) การล้ม ซึ่งการทำท่าล้มนี้จะเป็นการแสดงท่าทางการล้มที่ตกโดยอิสระ ดังภาพประกอบที่ 4-4 ซึ่งในส่วนนี้สามารถอ่านค่าจำนวนผลลัพธ์ความต่างได้คือ 16,548 จุด หรือประมาณ 5.38% ของของจำนวนจุดภาพทั้งหมด (ภาพขนาด 640x480)



ภาพประกอบ 4-4 การล้ม โดยอิสระ

ตารางที่ 4-1 ตารางสรุปผลการทดลองการเก็บข้อมูลในส่วนของการทดสอบอัลกอริธึมการเปรียบเทียบผลต่างของเฟรม

กิจกรรมที่ปฏิบัติ	จำนวนความต่าง ของจุดภาพสูงสุดที่ นับได้	จำนวนความต่าง จุดภาพต่อจำนวน จุดภาพทั้งหมด	อัตราความต่าง จุดภาพต่อจำนวน จุดภาพของการลี้ม
การเคลื่อนไหวที่ความเร็วปกติ	6,000	1.95%	36.26%
การเคลื่อนไหวที่ความเร็ว ใกล้เคียงกับการลี้ม	13,000	4.23%	78.56%
การลี้ม	16,548	5.38%	100%

ข้อสังเกตที่ได้จากการทดลองในส่วนนี้คือ การทดสอบในส่วนของการแสดงท่าทาง ก้ม-เงย หรือที่เรียกว่าการเคลื่อนไหวที่ความเร็วใกล้เคียงกับการลี้มให้ผลลัพธ์ที่มีความต่างกับการลี้มอย่างชัดเจน กล่าวคือมีจำนวนจุดภาพสูงสุดที่นับได้ต่างจากจำนวนจุดภาพของการลี้ม 78.56% ซึ่งความต่างในส่วนนี้มีมากพอที่จะสามารถจำแนกพฤติกรรมได้

4.2 ผลของการทดลองในส่วนของการทดสอบความน่าเชื่อถือของอัลกอริธึมการเปรียบเทียบผลต่างของเฟรม

หลังจากพิสูจน์ได้ว่าการเปรียบเทียบผลต่างของเฟรมภาพ สามารถให้ข้อมูลที่ สามารถวิเคราะห์ความต่างของพฤติกรรมได้ การทดลองในส่วนนี้จึงเพิ่มในส่วนของตัวเองที่ อาจไม่สามารถควบคุมได้ในสภาวะการใช้งานจริง โดยการออกแบบจะอ้างอิงจากปัญหาหรือ ข้อผิดพลาดที่เกิดจากการทดลองของงานวิจัยอื่นๆ เพื่อดูว่านอกจากการนำเสนอวิธีการประมวลผล ด้วยวิธีการเปรียบเทียบผลต่างของเฟรมภาพนี้ จะมีความซับซ้อนของอัลกอริธึมที่น้อยแล้วยัง สามารถลดความผิดพลาดจากงานวิจัยอื่นได้หรือไม่ (การออกแบบและคำอธิบายการออกแบบ สามารถดูเพิ่มเติมได้ในบทที่ 3 ตอนที่ 3.5.2 หน้า 56-57)

สมมุติฐาน ของการทดลองนี้คือ การเปรียบเทียบเฟรมภาพแล้วทำการนับจุดต่าง ของภาพจะสามารถลดความผิดพลาดจากปัญหาของงานวิจัยอื่นๆ ในกลุ่มของการตรวจจับการลี้ม ด้วยวิธีการประมวลผลภาพในบางประการได้ กล่าวคือยังสามารถประมวลผลและจำแนกพฤติกรรม ได้แม้จะมีผลกระทบจาก สภาพแวดล้อมหรือมุมมองของการติดตั้งกล้อง

ตัวแปรต้น ของการทดลองนี้ได้แก่

- 1) การแสดงท่าทางต่างกัน 3 ลักษณะ คือการเคลื่อนไหวที่ความเร็วปกติ, การเคลื่อนไหวที่ความเร็วใกล้เคียงกับการล้ม, การล้ม โดยจะสุ่มลักษณะท่าทาง ตลอดไฟล์การแสดง เนื่องจากไม่ต้องการให้มีรูปแบบที่แน่นอน แต่สุดท้ายแล้วการแสดงต้องจบที่การล้ม
- 2) เปิด-ปิดไฟส่องสว่างบริเวณเหนือศีรษะของผู้ที่จะทำการตรวจจับการล้ม (กรณีปิดไฟ จะเป็นการใช้แสงสว่างจากภายนอกอาคาร หรือแสงสว่างจากภายนอกห้องอาบน้ำที่สามารถส่องแสงลอดผ่านเข้ามาได้)
- 3) สวมเสื้อฝ้ายน้อยชิ้น (กางเกงขาสั้นตัวเดียว) และกรณีจริงที่ไม่สวมเสื้อผ้า
- 4) จัดการติดตั้งกล้องที่ความสูงต่างกัน ไป 3 ระดับ

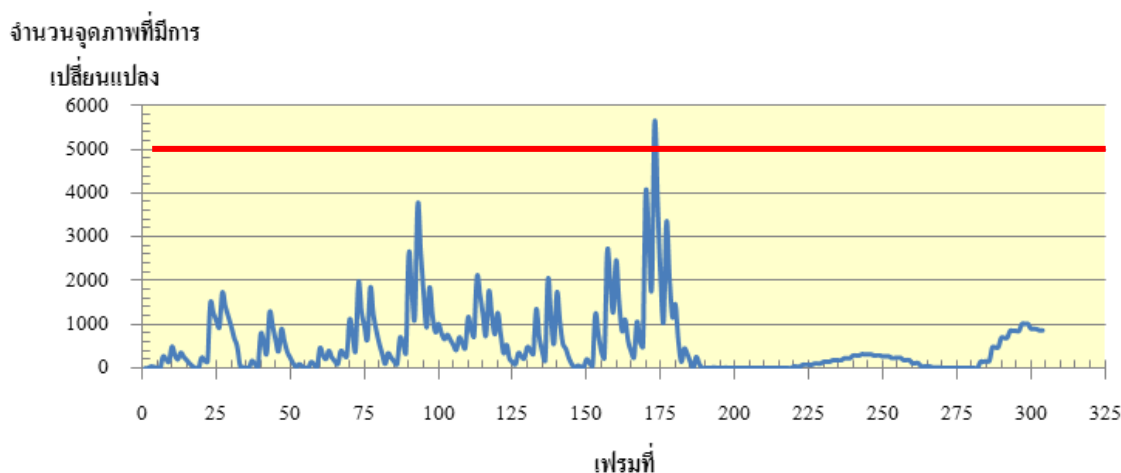
ตัวแปรตาม ของการทดลองนี้ได้แก่ จำนวนจุดภาพความต่างของภาพจะขึ้นอยู่กับความเร็วของวัตถุในภาพซึ่งสามารถตรวจจับการล้มได้ แม้ในสภาวะสภาพแวดล้อมที่อาจต่างกันไป

ตัวแปรควบคุม ของการทดลองนี้ได้แก่

- 1) กล้องวิดีโอ เฟรมเรตที่ 25 เฟรมต่อวินาที
- 2) ตลอดการบันทึกข้อมูลการทดลองจะมีการ ปิด-เปิดน้ำจากฝักบัวจริงด้วย

4.2.1. ผลที่ได้จากการติดตั้งกล้องที่ความสูง 1.10 เมตร

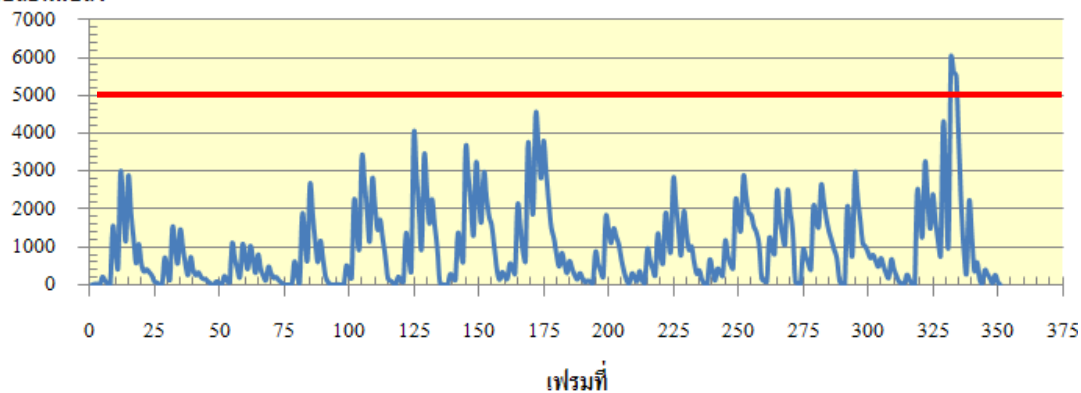
4.2.1.1. ปิดไฟส่องสว่าง และกางเกงขาสั้นเพียงตัวเดียว



ภาพประกอบ 4-5 ผลจากการติดตั้งที่ความสูง 1.10 เมตร และปิดไฟ บันทึกครั้งที่ 1

จำนวนจุดภาพที่มีการ

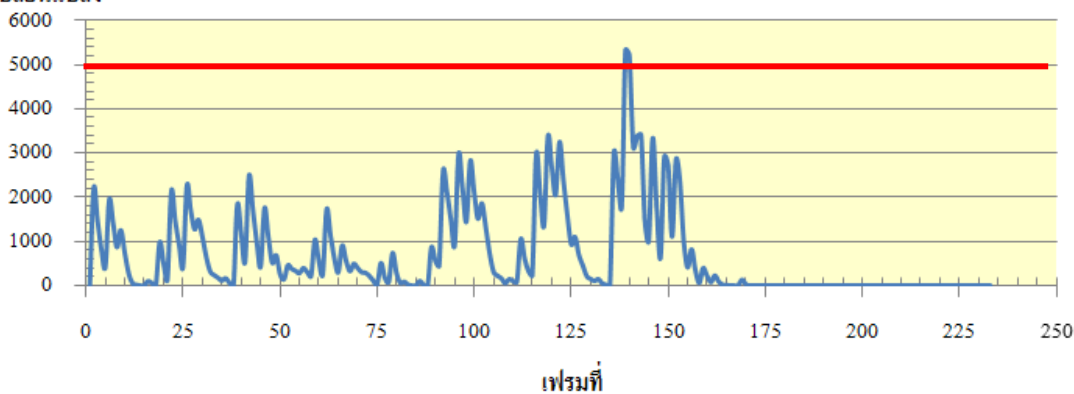
เปลี่ยนแปลง



ภาพประกอบ 4-6 ผลจากการติดตั้งที่ความสูง 1.10 เมตร และปิดไฟ บันทึกครั้งที่ 2

จำนวนจุดภาพที่มีการ

เปลี่ยนแปลง

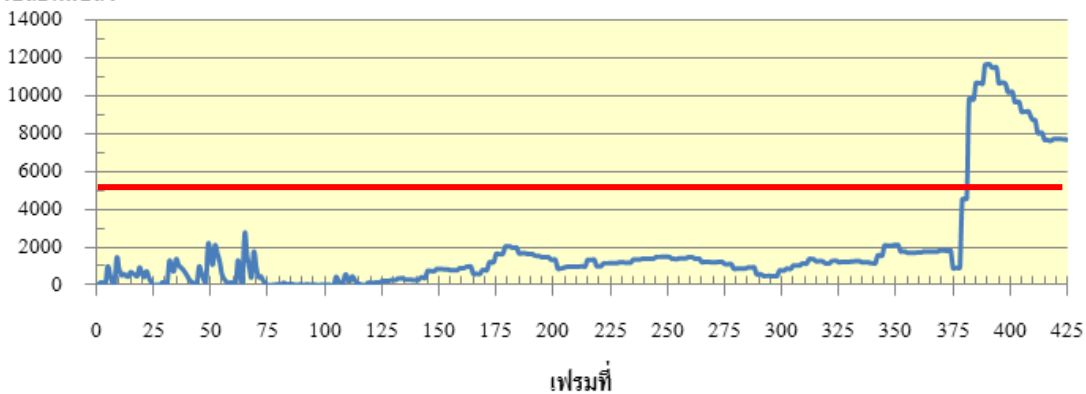


ภาพประกอบ 4-7 ผลจากการติดตั้งที่ความสูง 1.10 เมตร และปิดไฟ บันทึกครั้งที่ 3

4.2.1.2. เปิดไฟส่องสว่าง และกางเกงขาสั้นเพียงตัวเดียว

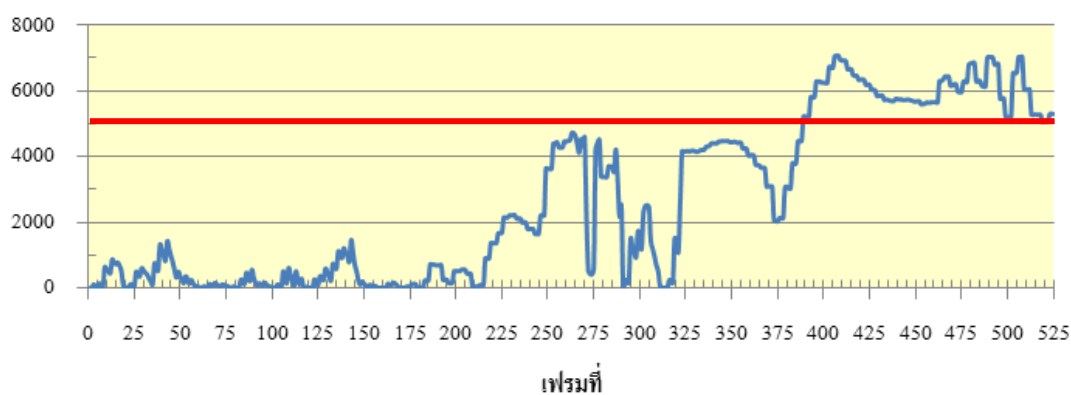
จำนวนจุดภาพที่มีการ

เปลี่ยนแปลง



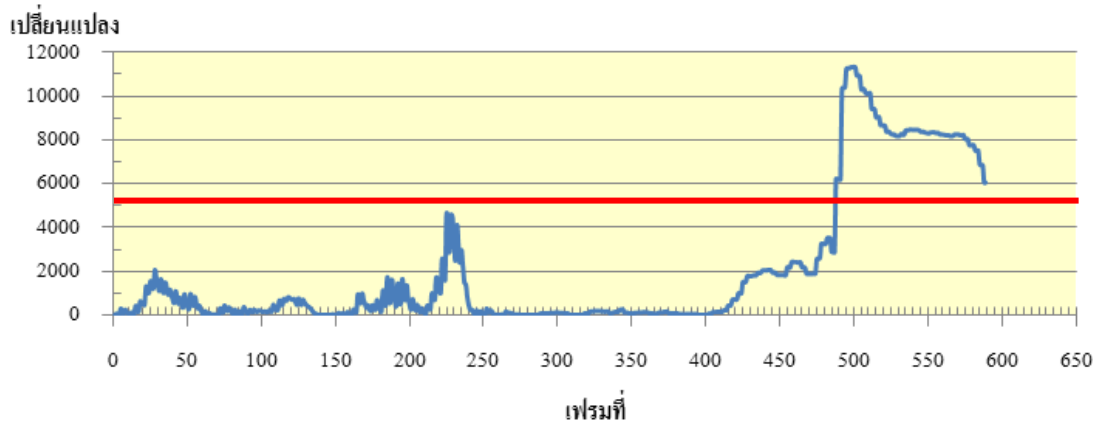
ภาพประกอบ 4-8 ผลจากการติดตั้งที่ความสูง 1.10 เมตร และเปิดไฟ บันทึกครั้งที่ 1

จำนวนจุดภาพที่มีการ
เปลี่ยนแปลง



ภาพประกอบ 4-9 ผลจากการติดตั้งที่ความสูง 1.10 เมตร และเปิดไฟ บันทึกครั้งที่ 2

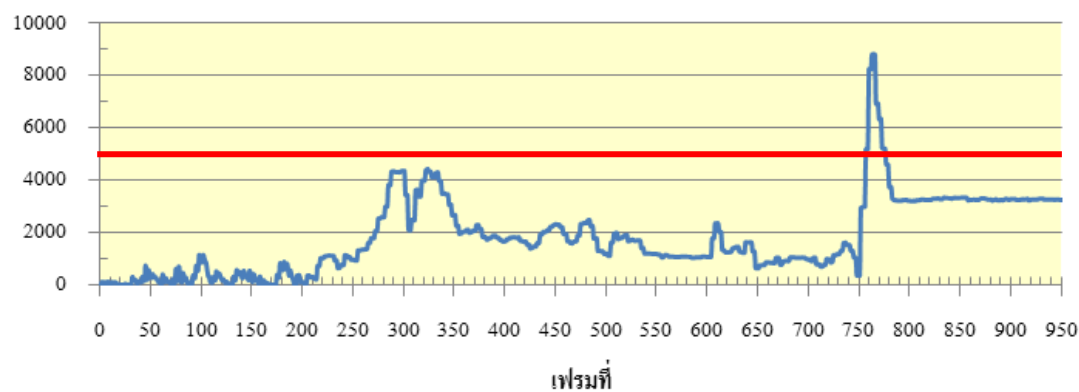
จำนวนจุดภาพที่มีการ
เปลี่ยนแปลง



ภาพประกอบ 4-10 ผลจากการติดตั้งที่ความสูง 1.10 เมตร และเปิดไฟ บันทึกครั้งที่ 3

4.2.1.3. เปิดไฟส่องสว่าง และถอดเสื้อผ้าออกหมด

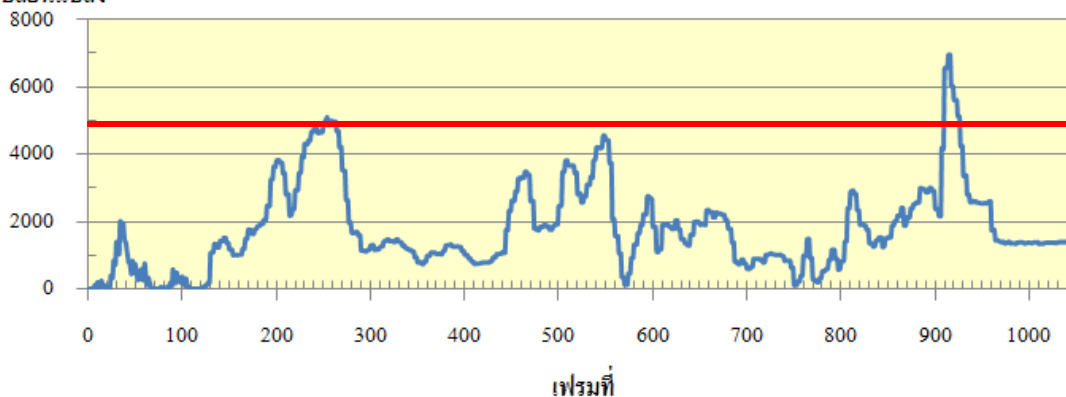
จำนวนจุดภาพที่มีการ
เปลี่ยนแปลง



ภาพประกอบ 4-11 ผลจากการติดตั้งที่ความสูง 1.10 เมตร และเปิดไฟ (แบบพิเศษ) บันทึกครั้งที่ 1

จำนวนจุดภาพที่มีการ

เปลี่ยนแปลง



ภาพประกอบ 4-12 ผลจากการติดตั้งที่ความสูง 1.10 เมตร และเปิดไฟ (แบบพิเศษ) บันทึกครั้งที่ 2

จากการทดลองที่ความสูง 1.10 เมตร โดยกำหนดสถานะแวดล้อมต่างๆกันไป สิ่งที่จะเห็นเหมือนกันในทุกๆผลของการทดลองคือ ความเร็วที่ต่างกันยังส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงแม้จะมีการจำกัดของสถานะสิ่งแวดล้อมที่ซับซ้อนแล้วก็ตาม นอกจากนี้จะเห็นว่า ตั้งแต่ภาพประกอบที่ 4-5 ถึงภาพประกอบที่ 4-12 จะมีการขีดเส้นสีแดงไว้ ซึ่งเส้นแดงที่เพิ่มขึ้น จะใช้เป็นเส้นที่กำหนดจุดทำงาน เพื่อใช้ในการแยกพฤติกรรมการล้ม ออกจากพฤติกรรมอื่นๆ ซึ่งหากค่าที่ได้สูงกว่าเส้นดังกล่าว การอ่านค่า ณ ตำแหน่งนั้นจะหมายความว่าเกิดการล้มเกิดขึ้น หากต่ำกว่าเส้นดังกล่าวจะอ่านได้ว่าไม่เกิดการล้ม ซึ่งในส่วนที่ความสูงที่ 1.10 เมตร จะกำหนดค่าของจุดทำงาน อยู่ที่จำนวนจุดภาพ 5,000 จุด (5,000 จุดนี้หมายถึง หากนับเฉพาะจุดภาพที่หาความต่างมาแล้วพบว่าจำนวนมากกว่า 5,000 จุด จะนิยามว่าระบบตรวจจับว่าเกิดการล้มเกิดขึ้น) ทั้งนี้ผลการวิเคราะห์ในส่วนนี้สามารถสรุปรวมได้ดังตารางที่ 4-2

ตารางที่ 4-2 ตารางสรุปผลการทดลองจากการติดตั้งที่ความสูง 1.10 เมตร

เหตุการณ์จริง / ผลที่ได้ จากจุดทำงาน ไฟล์ทดสอบ	หน่วยวัดเป็นเหตุการณ์/ไฟล์			
	ไม่ล้ม/ไม่ล้ม (TN)	ไม่ล้ม/ล้ม (FP)	ล้ม/ล้ม (TP)	ล้ม/ไม่ล้ม (FN)
ปิดไฟ บันทึกครั้งที่ 1	1	0	1	0
ปิดไฟ บันทึกครั้งที่ 2	1	0	1	0
ปิดไฟ บันทึกครั้งที่ 3	1	0	1	0
เปิดไฟ บันทึกครั้งที่ 1	1	0	1	0

หมายเหตุ *กำหนดจุดทำงานที่ 5,000 จุด, กรณีบันทึกแบบ(พิเศษ) ผู้ทดสอบถอดเสื้อผ้าออกหมด

ตารางที่ 4-2 (ต่อ) ตารางสรุปผลการทดลองจากการติดตั้งที่ความสูง 1.10 เมตร

เหตุการณ์จริง / ผลที่ได้ จากจุดทำงาน ไฟลต์ทดสอบ	หน่วยวัดเป็นเหตุการณ์/ไฟลต์			
	ไม่ลัม/ไม่ลัม (TN)	ไม่ลัม/ลัม (FP)	ลัม/ลัม (TP)	ลัม/ไม่ลัม (FN)
เปิดไฟ บันทึกรั้งที่ 2	1	0	1	0
เปิดไฟ บันทึกรั้งที่ 3	1	0	1	0
เปิดไฟ(พิเศษ) บันทึกรั้งที่ 1	1	0	1	0
เปิดไฟ(พิเศษ) บันทึกรั้งที่ 2	0	1	1	0
รวม	7	1	8	0

หมายเหตุ *กำหนดจุดทำงานที่ 5,000 จุด, กรณีสันทึกรั้งแบบ(พิเศษ) ผู้ทดสอบถอดเสื้อผ้าออกหมด

ซึ่งการทดสอบในส่วนนี้ให้ค่าของผลในการทดสอบดังนี้

$$Sensitivity = \frac{TP}{TP+FN} = \frac{8}{8+0} = 1$$

$$\therefore \% Sensitivity = 100\%$$

$$Specificity = \frac{TN}{TN+FP} = \frac{7}{7+1} = 0.875$$

$$\therefore \% Specificity = 87.5\%$$

$$Accuracy = \frac{TP+TN}{TP+FN+TN+FP} = \frac{8+7}{8+0+7+1} = 0.9375$$

$$\therefore \% Accuracy = 93.75\%$$

แต่เพื่อต้องการให้ผลที่ได้มีความสอดคล้องกับการทดลองของงานวิจัยอื่นๆ จึงต้องเอาโมเดลที่ได้จากการทดสอบในส่วนนี้ไปทำการเปรียบเทียบแบบเฟรมต่อเฟรมทำให้ผลที่ได้สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 4-3

ตารางที่ 4-3 ตารางสรุปผลการทดลองจากการติดตั้งที่ความสูง 1.10 เมตร(ตรวจสอบแบบเฟรมต่อเฟรม)

เหตุการณ์จริง / ผลที่ได้ จากจุดทำงาน ไฟล์ทดสอบ	หน่วยวัดเป็น เฟรม/เฟรม			
	ไม่ล้ม/ไม่ล้ม (TN)	ไม่ล้ม/ล้ม (FP)	ล้ม/ล้ม (TP)	ล้ม/ไม่ล้ม (FN)
ปิดไฟ บันทึกรั้งที่ 1	172	0	1	0
ปิดไฟ บันทึกรั้งที่ 2	331	0	1	0
ปิดไฟ บันทึกรั้งที่ 3	138	0	1	0
เปิดไฟ บันทึกรั้งที่ 1	381	0	1	0
เปิดไฟ บันทึกรั้งที่ 2	388	0	1	0
เปิดไฟ บันทึกรั้งที่ 3	487	0	1	0
เปิดไฟ(พิเศษ) บันทึกรั้งที่ 1	756	0	1	0
เปิดไฟ(พิเศษ) บันทึกรั้งที่ 2	906	3	1	0
รวม	3559	3	8	0

หมายเหตุ *กำหนดจุดทำงานที่ 5,000 จุด, กรณีบันทึกแบบ(พิเศษ) ผู้ทดสอบถอดเสื้อผ้าออกหมด

ซึ่งการทดสอบในส่วนนี้ให้ค่าของผลในการทดสอบดังนี้

$$Sensitivity = \frac{TP}{TP+FN} = \frac{8}{8+0} = 1$$

$$\therefore \% Sensitivity = 100\%$$

$$Specificity = \frac{TN}{TN+FP} = \frac{3559}{3559+3} = 0.9991$$

$$\therefore \% Specificity = 99.91\%$$

$$Accuracy = \frac{TP+TN}{TP+FN+TN+FP} = \frac{62+3559}{62+0+3559+3} = 0.9992$$

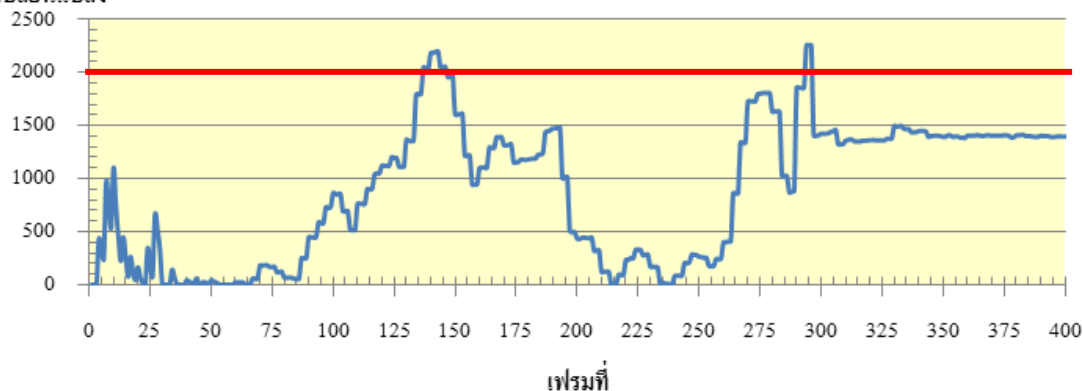
$$\therefore \% Accuracy = 99.92\%$$

4.2.2. ผลที่ได้จากการติดตั้งกล้องที่ความสูง 1.90 เมตร

4.2.2.1. ปิดไฟส่องสว่าง และกางเกงขาสั้นเพียงตัวเดียว

จำนวนจุดภาพที่มีการ

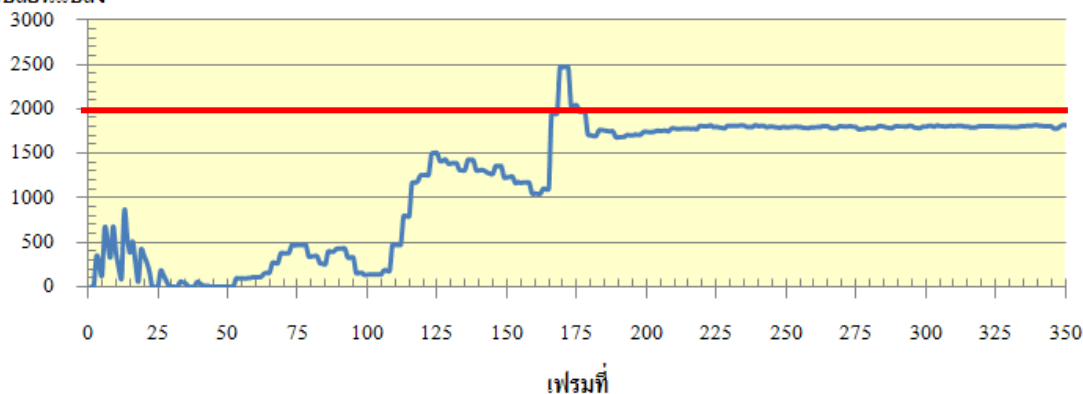
เปลี่ยนแปลง



ภาพประกอบ 4-13 ผลจากการติดตั้งที่ความสูง 1.90 เมตร และปิดไฟ บันทึกครั้งที่ 1

จำนวนจุดภาพที่มีการ

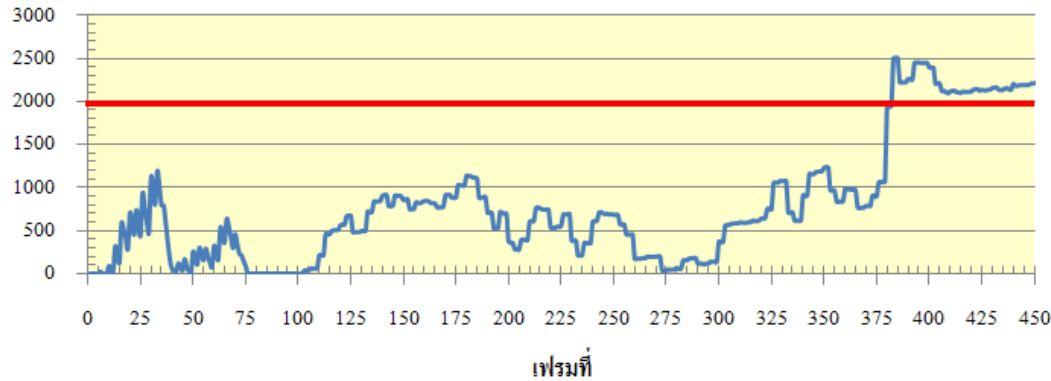
เปลี่ยนแปลง



ภาพประกอบ 4-14 ผลจากการติดตั้งที่ความสูง 1.90 เมตร และปิดไฟ บันทึกครั้งที่ 2

จำนวนจุดภาพที่มีการ

เปลี่ยนแปลง

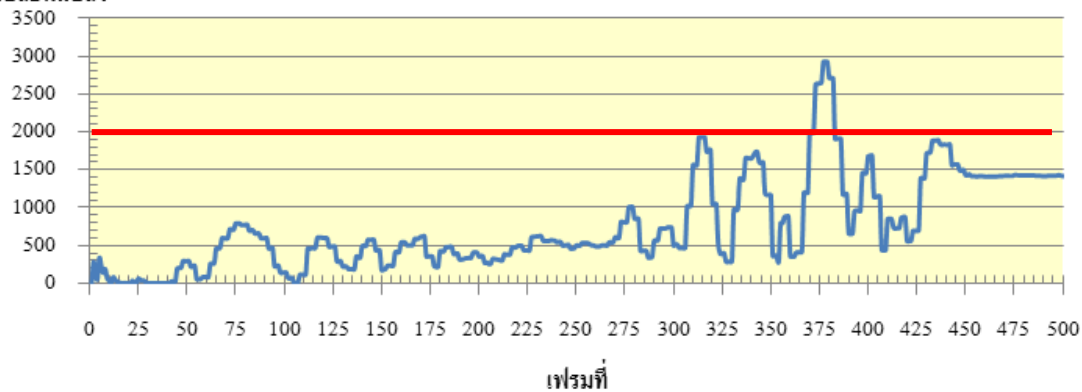


ภาพประกอบ 4-15 ผลจากการติดตั้งที่ความสูง 1.90 เมตร และปิดไฟ บันทึกครั้งที่ 3

4.2.2.2. เปิดไฟส่องสว่าง และกางเกงขาสั้นเพียงตัวเดียว

จำนวนจุดภาพที่มีการ

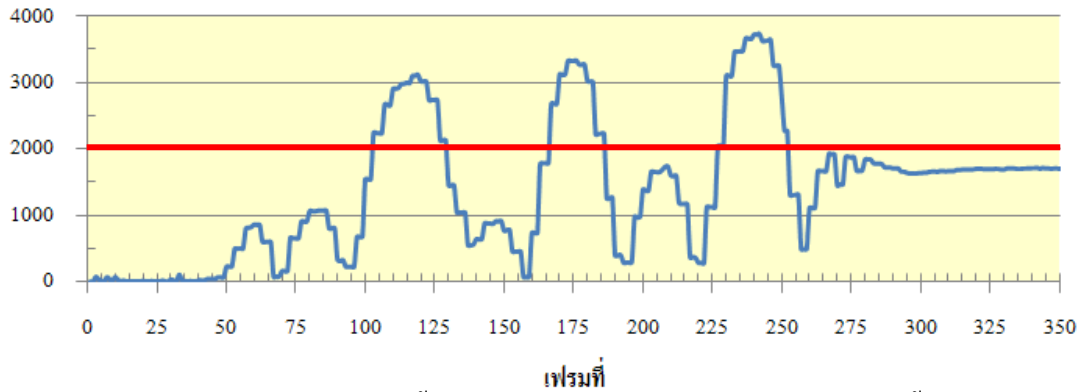
เปลี่ยนแปลง



ภาพประกอบ 4-16 ผลจากการติดตั้งที่ความสูง 1.90 เมตร และเปิดไฟ บันทึกครั้งที่ 1

จำนวนจุดภาพที่มีการ

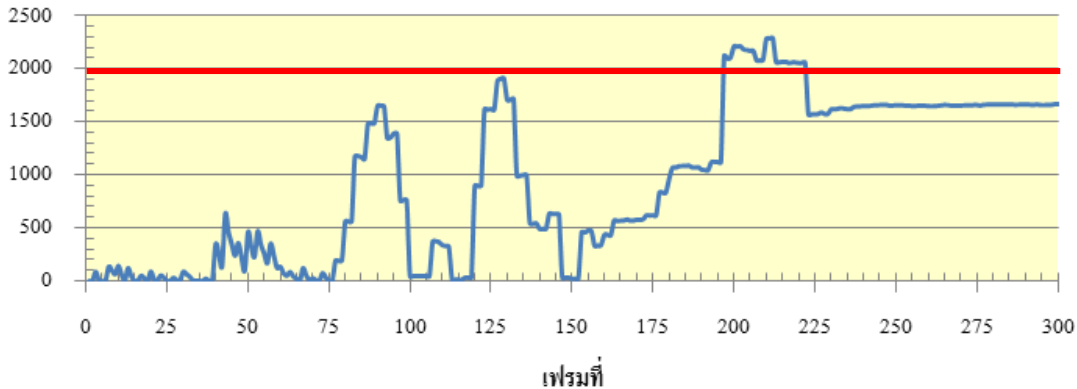
เปลี่ยนแปลง



ภาพประกอบ 4-17 ผลจากการติดตั้งที่ความสูง 1.90 เมตร และเปิดไฟ บันทึกครั้งที่ 2

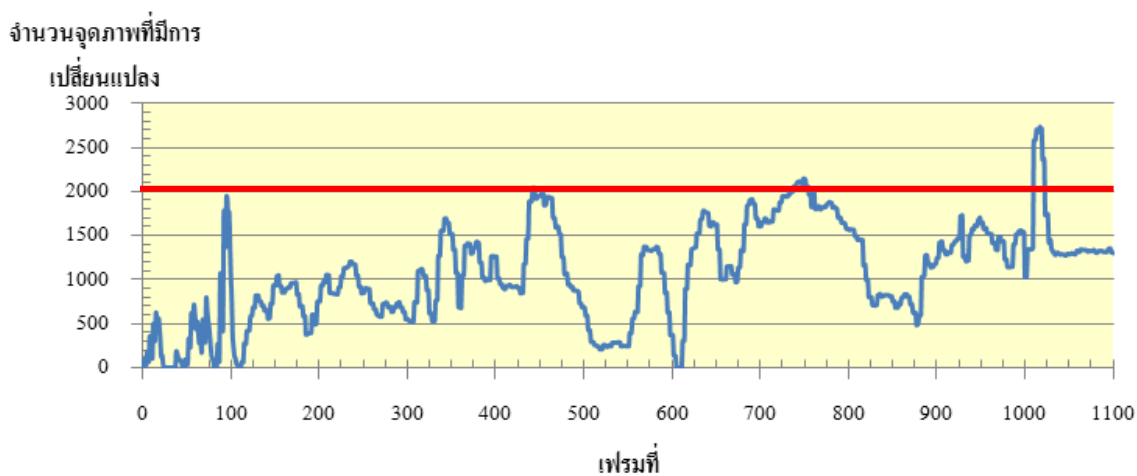
จำนวนจุดภาพที่มีการ

เปลี่ยนแปลง

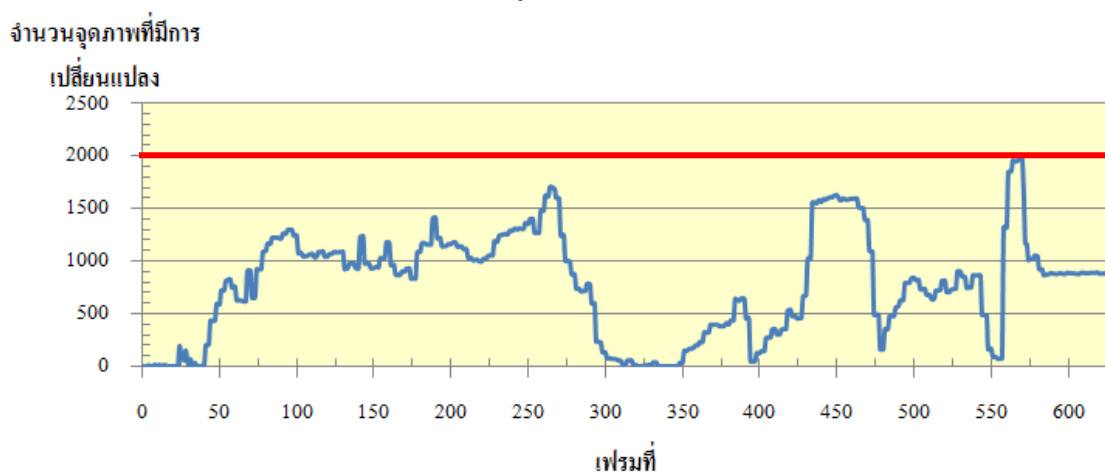


ภาพประกอบ 4-18 ผลจากการติดตั้งที่ความสูง 1.90 เมตร และเปิดไฟ บันทึกครั้งที่ 3

4.2.2.3. เปิดไฟส่องสว่าง และถอดเสื้อผ้าออกหมด



ภาพประกอบ 4-19 ผลจากการติดตั้งที่ความสูง 1.90 เมตร และเปิดไฟ (แบบพิเศษ) บันทึกครั้งที่ 1



ภาพประกอบ 4-20 ผลจากการติดตั้งที่ความสูง 1.90 เมตร และเปิดไฟ (แบบพิเศษ) บันทึกครั้งที่ 2

ซึ่งในส่วนที่ความสูงที่ 1.90 เมตร จะกำหนดค่าของจุดทำงาน อยู่ที่จำนวนจุดภาพ 2,000 จุด (2,000 จุดนี้หมายถึง หากนับเฉพาะจุดภาพที่หาความต่างมาแล้วพบว่าจำนวนมากกว่า 2,000 จุด จะนิยามว่าระบบตรวจจับว่าเกิดการล้มเกิดขึ้น) ทั้งนี้ผลการวิเคราะห์ในส่วนนี้สามารถสรุปรวมได้ดังตารางที่ 4-4

ตารางที่ 4-4 ตารางสรุปผลการทดลองจากการติดตั้งที่ความสูง 1.90 เมตร

เหตุการณ์จริง / ผลที่ได้ จากจุดทำงาน ไฟล้ทดสอบ	หน่วยวัดเป็นเหตุการณ์/ไฟล้			
	ไม่ล้/ไม่ล้ (TN)	ไม่ล้/ล้ (FP)	ล้/ล้ (TP)	ล้/ไม่ล้ (FN)
ปิดไฟ บันทีกครั้งที่ 1	0	1	1	0
ปิดไฟ บันทีกครั้งที่ 2	1	0	1	0
ปิดไฟ บันทีกครั้งที่ 3	1	0	1	0
เปิดไฟ บันทีกครั้งที่ 1	1	0	1	0
เปิดไฟ บันทีกครั้งที่ 2	0	1	1	0
เปิดไฟ บันทีกครั้งที่ 3	1	0	1	0
เปิดไฟ(พิเศษ) บันทีกครั้งที่ 1	0	1	1	0
เปิดไฟ(พิเศษ) บันทีกครั้งที่ 2	1	0	0	1
รวม	5	3	7	1

หมายเหตุ *กำหนดจุดทำงานที่ 2,000 จุด, กรณิบันทีกแบบ(พิเศษ) ผู้ทดสอบถอดเสื้อผ้าออกหมด

ซึ่งการทดสอบในส่วนนี้ให้ค่าของผลในการทดสอบดังนี้

$$Sensitivity = \frac{TP}{TP+FN} = \frac{7}{7+1} = 0.875$$

$$\therefore \% Sensitivity = 87.5\%$$

$$Specificity = \frac{TN}{TN+FP} = \frac{5}{5+3} = 0.625$$

$$\therefore \% Specificity = 62.5\%$$

$$Accuracy = \frac{TP+TN}{TP+FN+TN+FP} = \frac{7+5}{7+1+5+3} = 0.75$$

$$\therefore \% Accuracy = 75.0\%$$

แต่เพื่อต้องการให้ผลที่ได้มีความสอดคล้องกับการทดลองของงานวิจัยอื่นๆ จึงต้องเอาโมเดลที่ได้จากการทดสอบในส่วนนี้ไปทำการเปรียบเทียบแบบเฟรมต่อเฟรมทำให้ผลที่ได้สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 4-5

ตารางที่ 4-5 ตารางสรุปผลการทดลองจากการติดตั้งที่ความสูง 1.90 เมตร(ตรวจสอบแบบเฟรมต่อเฟรม)

เหตุการณ์จริง / ผลที่ได้ จากจุดทำงาน ไฟล์ทดสอบ	หน่วยวัดเป็น เฟรม/เฟรม			
	ไม่ล้ม/ไม่ล้ม (TN)	ไม่ล้ม/ล้ม (FP)	ล้ม/ล้ม (TP)	ล้ม/ไม่ล้ม (FN)
ปิดไฟ บันทึกรั้งที่ 1	294	10	11	0
ปิดไฟ บันทึกรั้งที่ 2	169	0	1	0
ปิดไฟ บันทึกรั้งที่ 3	383	0	1	0
เปิดไฟ บันทึกรั้งที่ 1	373	0	1	0
เปิดไฟ บันทึกรั้งที่ 2	227	47	48	0
เปิดไฟ บันทึกรั้งที่ 3	197	0	1	0
เปิดไฟ(พิเศษ) บันทึกรั้งที่ 1	735	3	4	0
เปิดไฟ(พิเศษ) บันทึกรั้งที่ 2	568	0	0	1
รวม	2946	60	67	1

หมายเหตุ *กำหนดจุดทำงานที่ 2,000 จุด, กรณีบันทึกแบบ(พิเศษ) ผู้ทดสอบถอดเสื้อผ้าออกหมด

ซึ่งการทดสอบในส่วนนี้ให้ค่าของผลในการทดสอบดังนี้

$$Sensitivity = \frac{TP}{TP+FN} = \frac{67}{67+1} = 0.9853$$

$$\therefore \% Sensitivity = 98.53\%$$

$$Specificity = \frac{TN}{TN+FP} = \frac{2946}{2946+60} = 0.9800$$

$$\therefore \% Specificity = 98.0\%$$

$$Accuracy = \frac{TP+TN}{TP+FN+TN+FP} = \frac{67+2946}{67+1+2946+60} = 0.9802$$

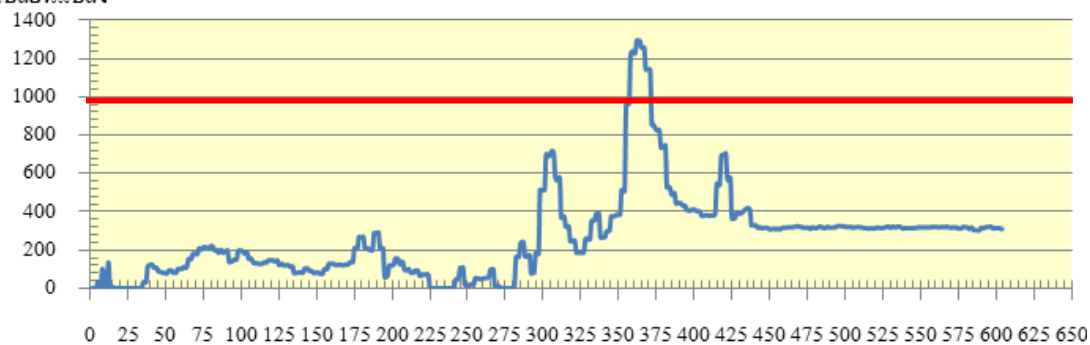
$$\therefore \% Accuracy = 98.02\%$$

4.2.3. ผลที่ได้จากการติดตั้งกล้องที่ความสูง 2.10 เมตร

4.2.3.1. ปิดไฟส่องสว่าง และกางเกงขาสั้นเพียงตัวเดียว

จำนวนจุดภาพที่มีการ

เปลี่ยนแปลง

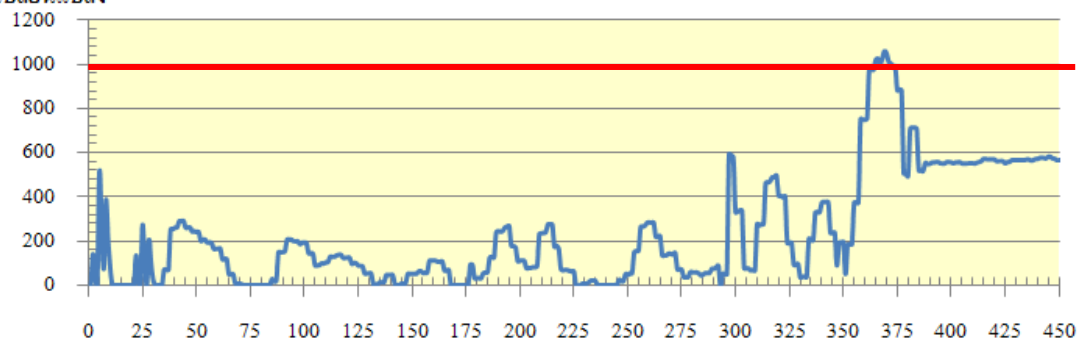


เฟรมที่

ภาพประกอบ 4-21 ผลจากการติดตั้งที่ความสูง 2.10 เมตร และปิดไฟ บันทึกครั้งที่ 1

จำนวนจุดภาพที่มีการ

เปลี่ยนแปลง

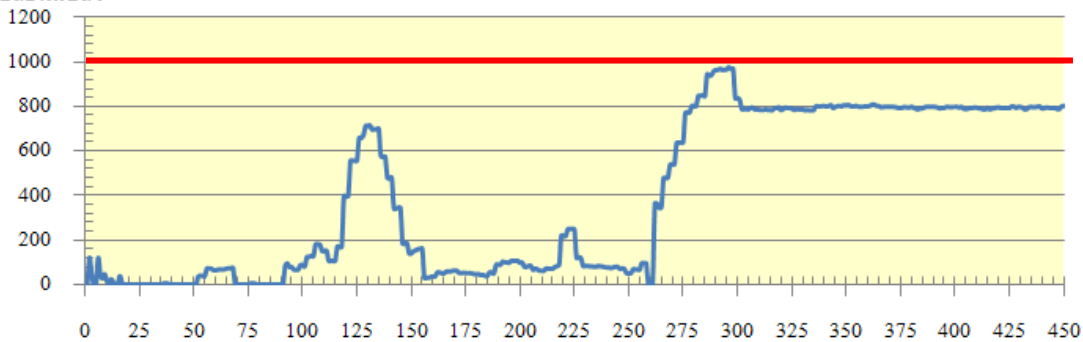


เฟรมที่

ภาพประกอบ 4-22 ผลจากการติดตั้งที่ความสูง 2.10 เมตร และปิดไฟ บันทึกครั้งที่ 2

จำนวนจุดภาพที่มีการ

เปลี่ยนแปลง



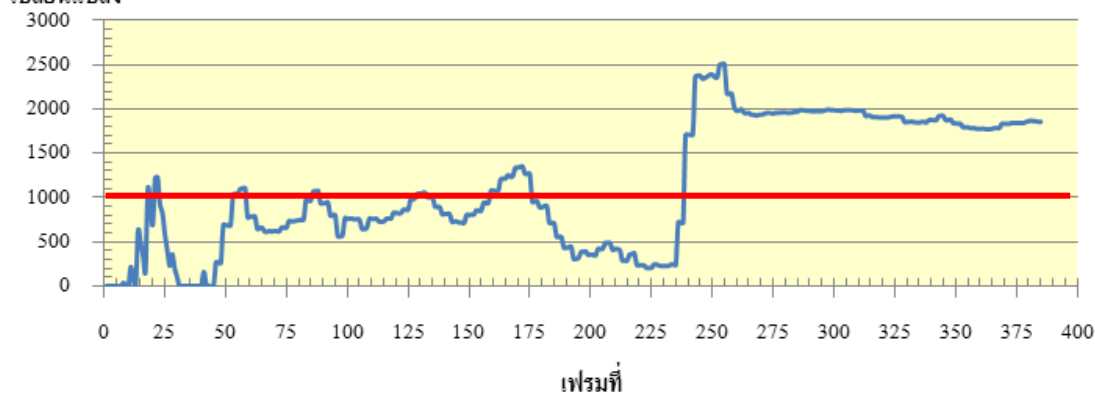
เฟรมที่

ภาพประกอบ 4-23 ผลจากการติดตั้งที่ความสูง 2.10 เมตร และปิดไฟ บันทึกครั้งที่ 3

4.2.3.2. เปิดไฟส่องสว่าง และกางเกงขาสั้นเพียงตัวเดียว

จำนวนจุดภาพที่มีการ

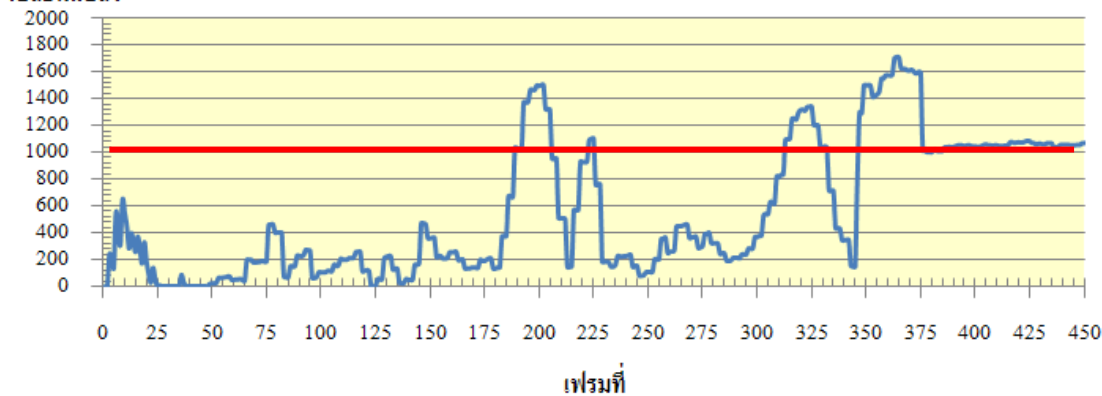
เปลี่ยนแปลง



ภาพประกอบ 4-24 ผลจากการติดตั้งที่ความสูง 2.10 เมตร และเปิดไฟ บันทึกครั้งที่ 1

จำนวนจุดภาพที่มีการ

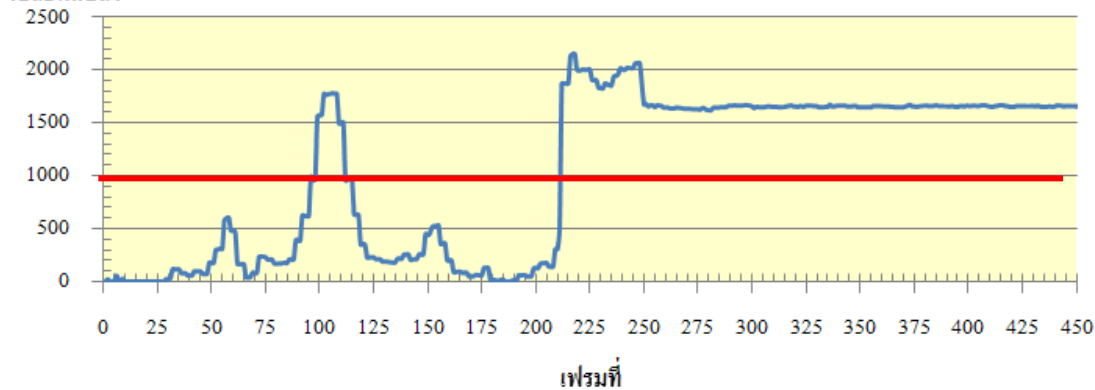
เปลี่ยนแปลง



ภาพประกอบ 4-25 ผลจากการติดตั้งที่ความสูง 2.10 เมตร และเปิดไฟ บันทึกครั้งที่ 2

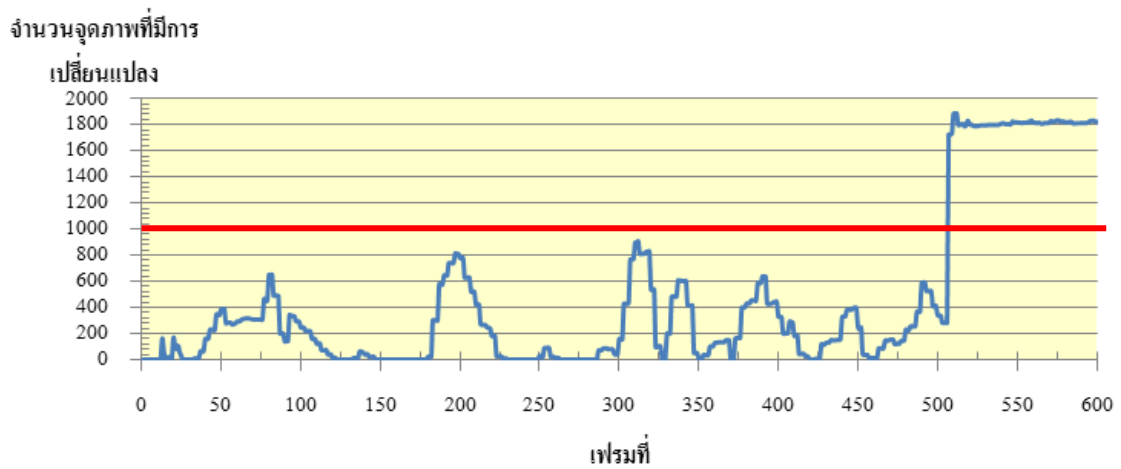
จำนวนจุดภาพที่มีการ

เปลี่ยนแปลง

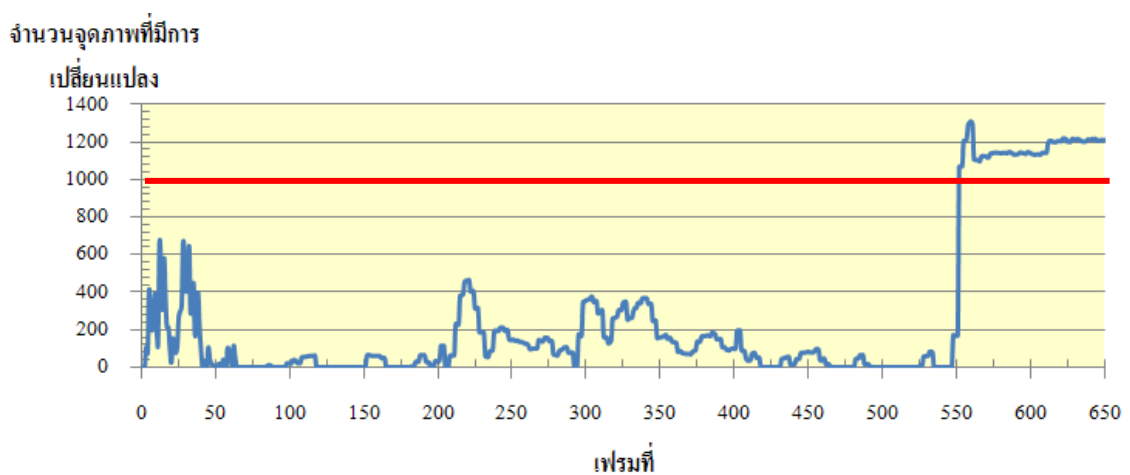


ภาพประกอบ 4-26 ผลจากการติดตั้งที่ความสูง 2.10 เมตร และเปิดไฟ บันทึกครั้งที่ 3

4.2.3.3. เปิดไฟส่องสว่าง และถอดเสื้อผ้าออกหมด



ภาพประกอบ 4-27 ผลจากการติดตั้งที่ความสูง 2.10 เมตร และเปิดไฟ (แบบพิเศษ) บันทึกครั้งที่ 1



ภาพประกอบ 4-28 ผลจากการติดตั้งที่ความสูง 2.10 เมตร และเปิดไฟ (แบบพิเศษ) บันทึกครั้งที่ 2

ซึ่งในส่วนที่ความสูงที่ 2.10 เมตร จะกำหนดค่าของจุดทำงาน อยู่ที่จำนวนจุดภาพ 1,000 จุด (1,000 จุดนี้หมายถึง หากนับเฉพาะจุดภาพที่หาความต่างมาแล้วพบว่า มีจำนวนมากกว่า 1,000 จุด จะนิยามว่าระบบตรวจจับว่าเกิดการล้มเกิดขึ้น) ทั้งนี้ผลการวิเคราะห์ในส่วนนี้สามารถสรุปรวมได้ดังตารางที่ 4-6

ตารางที่ 4-6 ตารางสรุปผลการทดลองจากการติดตั้งที่ความสูง 2.10 เมตร

เหตุการณ์จริง / ผลที่ได้ จากจุดทำงาน ไฟล้ทดสอบ	หน่วยวัดเป็นเหตุการณ์/ไฟล้			
	ไม่ล้/ไม่ล้ (TN)	ไม่ล้/ล้ (FP)	ล้/ล้ (TP)	ล้/ไม่ล้ (FN)
ปิดไฟ บันทีกครั้งที่ 1	1	0	1	0
ปิดไฟ บันทีกครั้งที่ 2	1	0	1	0
ปิดไฟ บันทีกครั้งที่ 3	1	0	0	1
เปิดไฟ บันทีกครั้งที่ 1	0	1	1	0
เปิดไฟ บันทีกครั้งที่ 2	0	1	1	0
เปิดไฟ บันทีกครั้งที่ 3	0	1	1	0
เปิดไฟ(พิเศษ) บันทีกครั้งที่ 1	1	0	1	0
เปิดไฟ(พิเศษ) บันทีกครั้งที่ 2	1	0	1	0
รวม	5	3	7	1

หมายเหตุ *กำหนดจุดทำงานที่ 1,000 จุด, กรณีบันทีกแบบ(พิเศษ) ผู้ทดสอบถอดเสื้อฟ้าออกหมด

ซึ่งการทดสอบในส่วนนี้ให้ค่าของผลในการทดสอบดังนี้

$$Sensitivity = \frac{TP}{TP+FN} = \frac{7}{7+1} = 0.875$$

$$\therefore \% Sensitivity = 87.5\%$$

$$Specificity = \frac{TN}{TN+FP} = \frac{5}{5+3} = 0.625$$

$$\therefore \% Specificity = 62.5\%$$

$$Accuracy = \frac{TP+TN}{TP+FN+TN+FP} = \frac{7+5}{7+1+5+3} = 0.75$$

$$\therefore \% Accuracy = 75.0\%$$

แต่เพื่อต้องการให้ผลที่ได้มีความสอดคล้องกับการทดลองของงานวิจัยอื่นๆ จึงต้องเอาโมเดลที่ได้จากการทดสอบในส่วนนี้ไปทำการเปรียบเทียบแบบเฟรมต่อเฟรมทำให้ผลที่ได้สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 4-7

ตารางที่ 4-7 ตารางสรุปผลการทดลองจากการติดตั้งที่ความสูง 2.10 เมตร(ตรวจสอบแบบเฟรมต่อเฟรม)

เหตุการณ์จริง / ผลที่ได้ จากจุดทำงาน ไฟลต์ทดสอบ	หน่วยวัดเป็น เฟรม/เฟรม			
	ไม่ลัม/ไม่ลัม (TN)	ไม่ลัม/ลัม (FP)	ลัม/ลัม (TP)	ลัม/ไม่ลัม (FN)
ปิดไฟ บันทึกรั้งที่ 1	358	0	1	0
ปิดไฟ บันทึกรั้งที่ 2	365	0	1	0
ปิดไฟ บันทึกรั้งที่ 3	296	0	0	1
เปิดไฟ บันทึกรั้งที่ 1	239	36	37	0
เปิดไฟ บันทึกรั้งที่ 2	347	40	41	0
เปิดไฟ บันทึกรั้งที่ 3	212	13	14	0
เปิดไฟ(พิเศษ) บันทึกรั้งที่ 1	507	0	1	0
เปิดไฟ(พิเศษ) บันทึกรั้งที่ 2	552	0	1	0
รวม	2876	89	96	1

หมายเหตุ *กำหนดจุดทำงานที่ 1,000 จุด, กรณีสันทึกรั้งแบบ(พิเศษ) ผู้ทดสอบถอดเสื้อผ้าออกหมด

ซึ่งการทดสอบในส่วนนี้ให้ค่าของผลในการทดสอบดังนี้

$$Sensitivity = \frac{TP}{TP+FN} = \frac{96}{96+1} = 0.9897$$

$$\therefore \% Sensitivity = 98.97\%$$

$$Specificity = \frac{TN}{TN+FP} = \frac{2876}{2876+89} = 0.97$$

$$\therefore \% Specificity = 97.0\%$$

$$Accuracy = \frac{TP+TN}{TP+FN+TN+FP} = \frac{56+2652}{56+1+2652+50} = 0.9706$$

$$\therefore \% Accuracy = 97.06\%$$

4.3 วิเคราะห์ผลการทดสอบตลอดการวิจัย

4.3.1. การวิเคราะห์ผลในส่วนของผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลอง

จากการทดลองในส่วนการทดสอบความน่าเชื่อถือของอัลกอริทึมในการจำแนกพฤติกรรม สามารถแสดงผลได้ดังตารางที่ 4-8 โดยจากตารางดังกล่าว จะเห็นว่า การทดสอบทั้งหมด สามารถแยกการล้มนอกจากพฤติกรรมอื่นๆ ทั่วไปได้ โดยไม่ขึ้นกับสถานะแวดล้อมแบบใด ทำให้เห็นได้ชัดว่า นอกจากการประมวลผลโดยใช้อัลกอริทึมนี้ จะใช้การประมวลผลที่ไม่มีความซับซ้อนแล้ว ยังสามารถลดปัญหาบางประการซึ่งพบในหลายๆงานวิจัยเช่น สีของเสื้อผ้า ระดับมุมมองของการติดตั้งกล้อง เป็นต้น ซึ่งข้อมูลการเปรียบเทียบผลการทดลองทั้งในส่วนของจำนวนอัลกอริทึมที่ใช้งาน และผลที่ได้จากการทดลองสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 4-9

ตารางที่ 4-8 ตารางสรุปรวมการทดสอบการจำแนกพฤติกรรม

สถานะแวดล้อมสถานที่ติดตั้ง		การประเมินผล แบบเฟรม/เฟรม (ครั้ง)				%Sen (%)	%SpC (%)	%Acc (%)
		TP	FP	TN	FN			
ระดับความสูง 1.10 เมตร	ใช้แสงไฟจากภายนอกห้องน้ำ	641	0	3	0	100	99.92	99.92
	ใช้แสงไฟที่ติดตั้งในห้องน้ำ	1256	0	3	0			
	การทดสอบแบบพิเศษ*	1662	3	2	0			
	รวมผลการทดสอบ	3559	3	8	0			
ระดับความสูง 1.90 เมตร	ใช้แสงไฟจากภายนอกห้องน้ำ	846	10	13	0	98.53	98.0	98.01
	ใช้แสงไฟที่ติดตั้งในห้องน้ำ	797	47	50	0			
	การทดสอบแบบพิเศษ*	1303	3	4	1			
	รวมผลการทดสอบ	2946	60	67	1			
ระดับความสูง 2.10 เมตร	ใช้แสงไฟจากภายนอกห้องน้ำ	1019	0	2	1	98.97	97.0	97.10
	ใช้แสงไฟที่ติดตั้งในห้องน้ำ	798	89	92	0			
	การทดสอบแบบพิเศษ*	1059	0	2	0			
	รวมผลการทดสอบ	2876	89	96	1			

การทดสอบแบบพิเศษ* จะทดสอบขณะที่ ใช้แสงไฟที่ติดตั้งในห้องน้ำและผู้ทดสอบถอดเสื้อผ้าออกหมดเพียงวิธีเดียว นอกนั้นผู้ทดสอบจะนุ่งกางขาขึ้นเพียงตัวเดียว

ตารางที่ 4-9 การเปรียบเทียบผลการทดลองในแต่ละกลุ่มงานวิจัยที่เกี่ยวกับการประมวลผลภาพ

งานวิจัย	ออกแบบด้วยอัลกอริธึม							ผลที่ได้ (%)			หมายเหตุ
	1	2	3	4*	5	6**	7	Sen.	Spc.	Acc.	
Fall Detection for Elderly using Image Processing [6]	/	/		/	/	/	/	NA	NA	40-80	เสื้อผ้าที่ใส่มีผลกระทบต่อการประมวลผล
Fall Detection from Human Shape and Motion History Using Video Surveillance [7]	/		/	/			/	88	87.5	87.75	
Automatic detection of human fall in video [9]	/			/	/		/	36-100	83-100	51-100	การเคลื่อนไหวของสภาวะแวดล้อมนอกอาคารมีผลกระทบต่อผลการประมวลผล
Fall Incidents Detection for Intelligent Video Surveillance [10]	/			/	/		/	NA	NA	0-96	ไม่สามารถตรวจจับได้ในกรณีที่กล้องไม่ได้อยู่ในระดับสายตา
An address-event fall detector for assisted living applications [11]	/	/				/	/	NA	NA	NA	
An Embedded System for Fall Detection While Showering by a Privacy Camera (งานวิจัยนี้)	/						/	98.53-100	97-99.92	97-99.92	-สภาวะแวดล้อมในห้องน้ำมีผลกระทบต่อผลการประมวลผลน้อยมาก เสื้อผ้าส่งผลน้อย -มุมมองของกล้องมีผลกระทบต่อผลการประมวลผลน้อยมาก

จากตารางที่ 4-9 เป็นการเปรียบเทียบผลการทดลองในแต่ละกลุ่มงานวิจัยที่เกี่ยวกับการประมวลผลภาพตามที่ได้นำเสนอไว้ในบทที่ 1 เรื่องการตรวจเอกสาร บทความ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (หน้า 2) ทั้งนี้ได้แยกออกเป็นส่วนๆว่างานวิจัยใดน่าจะใช้อัลกอริทึมใดในการวิเคราะห์(ทั้งนี้อาจมีการใช้อัลกอริทึมในส่วนอื่นที่มีความซับซ้อนมากกว่านี้ แต่ที่ยกมาคือส่วนที่สามารถแยกออกเป็นอัลกอริทึมการประมวลผลภาพส่วนใหญ่ที่ได้กล่าวไว้ในบทความ) ซึ่งจะเห็นได้ชัดว่าหลายๆงานวิจัยจะใช้หลายๆอัลกอริทึมในการวิเคราะห์เพื่อให้ได้ผลที่มีความแม่นยำมากที่สุด โดยส่วนใหญ่จะไม่คำนึงถึงทรัพยากรที่สูญเสียไปในการประมวลผลเนื่องจากงานทั้งหมดจะใช้คอมพิวเตอร์ในการประมวลผลซึ่งทำให้สามารถใช้ทรัพยากรได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ โดยอัลกอริทึมที่ยกมาได้จัดเรียงตามหมายเลขได้แก่

1) อัลกอริทึมการเปรียบเทียบความต่างของภาพ (รายละเอียดการทำงานอธิบายไว้ในบทที่ 2.6 เรื่องเทคนิคการประมวลผลภาพเพื่อวิเคราะห์การล้ม ตอนที่ 2.6.1 หน้า 24)

2) อัลกอริทึมการพิจารณาค่าจุดศูนย์กลาง (รายละเอียดการทำงานอธิบายไว้ในบทที่ 2.6 เรื่องเทคนิคการประมวลผลภาพเพื่อวิเคราะห์การล้ม ตอนที่ 2.6.2 หน้า 26)

3) อัลกอริทึมการพิจารณาลักษณะของประวัติการเคลื่อนที่ (รายละเอียดการทำงานอธิบายไว้ในบทที่ 2.6 เรื่องเทคนิคการประมวลผลภาพเพื่อวิเคราะห์การล้ม ตอนที่ 2.6.3 หน้า 27)

4) อัลกอริทึมการพิจารณาการเปลี่ยนแปลงระหว่างความกว้างและความสูงของภาพ (รายละเอียดการทำงานอธิบายไว้ในบทที่ 2.6 เรื่องเทคนิคการประมวลผลภาพเพื่อวิเคราะห์การล้ม ตอนที่ 2.6.4 หน้า 29)

5) อัลกอริทึมการพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของมุมลัพธ์ในภาพ (รายละเอียดการทำงานอธิบายไว้ในบทที่ 2.6 เรื่องเทคนิคการประมวลผลภาพเพื่อวิเคราะห์การล้ม ตอนที่ 2.6.5 หน้า 33)

6) อัลกอริทึมการพิจารณาการเปลี่ยนแปลงความเร็วของวัตถุในภาพ (รายละเอียดการทำงานอธิบายไว้ในบทที่ 2.6 เรื่องเทคนิคการประมวลผลภาพเพื่อวิเคราะห์การล้ม ตอนที่ 2.6.6 หน้า 35)

7) อัลกอริทึมการนับจุดภาพที่มีการเปลี่ยนแปลง (รายละเอียดการทำงานอธิบายไว้ในบทที่ 2.6 เรื่องเทคนิคการประมวลผลภาพเพื่อวิเคราะห์การล้ม ตอนที่ 2.6.7 หน้า 37)

ผลที่ได้จากการทดลองของแต่ละงานวิจัย ได้แสดงไว้ 3 ส่วนคือ

1) Sen(Sensitivity) หรือ ส่วนที่พิจารณาว่าเกิดเหตุการณ์ล้มจริงและการประมวลผลด้วยอัลกอริทึมบอกว่าล้มจริงๆ

2) Spc (Specificity) หรือ ส่วนที่พิจารณาว่าไม่ใช่เหตุการณ์การล้มและการประมวลผลด้วยอัลกอริธึมบอกว่าไม่ได้ล้ม

3) Acc (Accuracy) หรือค่าความถูกต้องที่บอกว่าล้มหรือไม่ล้ม

4.3.2. การวิเคราะห์ผลในส่วนของผลลัพธ์ที่เกิดการผิดพลาดจากการทดลอง

ซึ่งจากผลในตารางที่ 4-9 จะเห็นว่าในบางงานวิจัยจะให้ค่าจากการประมวลผลน้อยมากจนแทบจะไม่เหมาะในการตรวจจับ ซึ่งสามารถแยกตามเหตุผลของความผิดพลาดที่เกิดขึ้นได้ดังนี้

4.3.2.1. ความผิดพลาดจากสีเสื้อที่สวมใส่ ซึ่งจะเห็นได้จากงานวิจัยเรื่อง Fall Detection for Elderly using Image Processing [6] โดยพบว่าผู้ทดสอบใส่เสื้อสีขาวซึ่งใกล้เคียงกับสีของพื้นหลัง ปัญหานี้เป็นผลสืบเนื่องมาจากความผิดพลาดของการเปรียบเทียบสีของวัตถุเคลื่อนไหวกับสีของภาพพื้นหลัง หากผู้ทดลองใส่เสื้อสีใกล้เคียงกับภาพพื้นหลัง จะทำให้ไม่สามารถแยกวัตถุออกจากพื้นหลังได้

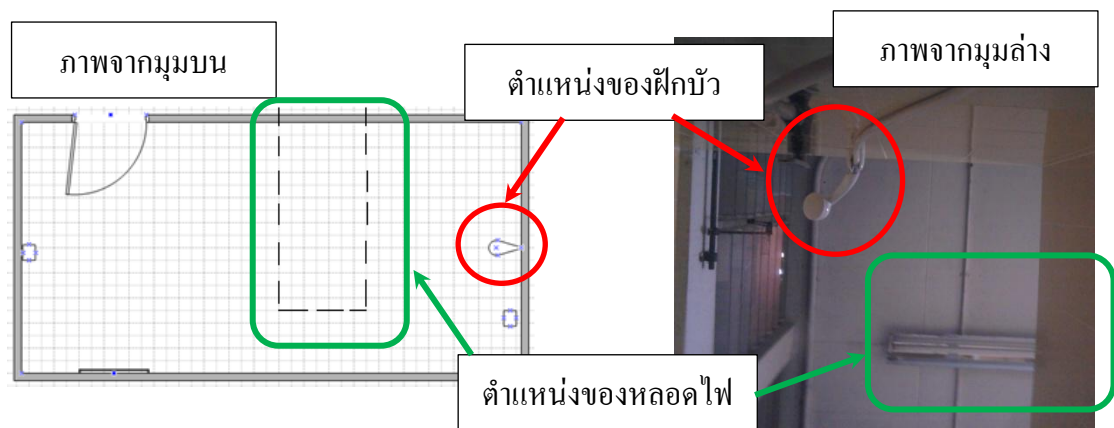
ซึ่งในงานวิจัยเรื่อง An Embedded System for Fall Detection While Showering by a Privacy Camera (งานวิจัยนี้) ไม่พบปัญหาจากเรื่องนี้ หรือพบปัญหานี้ได้น้อยกว่า เนื่องจากการพิจารณาจากความต่างของเฟรมภาพแบบเฟรมต่อเฟรมเป็นหลักไม่ได้พิจารณาจากการมีอยู่ของวัตถุ โดยพิจารณาภาพที่เข้ามาทับภาพพื้นหลังซึ่งหากภาพที่เข้ามาสีเหมือนกับภาพพื้นหลังการประมวลผลก็จะตัดว่าเป็นภาพพื้นหลังไปเลย แต่สำหรับวิธีการเปรียบเทียบภาพจากเฟรมต่อเฟรมที่อยู่ตำแหน่งติดกันนี้จะไม่ได้สนใจค่าสีของพื้นหลัง ไม่สนใจลักษณะ ขนาด และรูปร่างของวัตถุ โดยพิจารณาเพียงสีของภาพ ณ จุดสีใดๆต่างกัน 20% ก็ทำการตัดสินใจว่าต่างในจุดสีนั้นๆได้เลยส่วนการพิจารณาการล้มจะใช้นับจำนวนความต่างเพื่อช่วยในการจำแนกพฤติกรรมเองอีกครั้งหนึ่ง

4.3.2.2. ความผิดพลาดจากการเคลื่อนไหวของสภาวะแวดล้อมภายนอกอาคาร ซึ่งจะเห็นได้จากงานวิจัยเรื่อง Automatic detection of human fall in video [9] โดยพบว่าเมื่อทำการทดลอง ณ ภายนอกอาคารที่มีการเคลื่อนไหวของต้นไม้ ก็จะทำให้ผลที่ได้จากการตรวจจับมีความผิดพลาด

ซึ่งในงานวิจัยเรื่อง An Embedded System for Fall Detection While Showering by a Privacy Camera (งานวิจัยนี้) ทำการประมวลผลในห้องน้ำ ปัจจัยที่อาจมีผลจึงมีเพียงละอองน้ำจากฝักบัว แสงภายในห้อง เท่านั้น โดยงานวิจัยนี้จะพบปัญหาเล็กน้อยจาก แสงสะท้อนของไฟกับน้ำ ดังที่แสดงได้ดังภาพประกอบที่ 4-29 ขณะใช้แสงไฟที่ติดตั้งในห้องน้ำ ซึ่งลักษณะการติดตั้งของหลอดไฟสามารถแสดงได้ดังภาพประกอบที่ 4-30

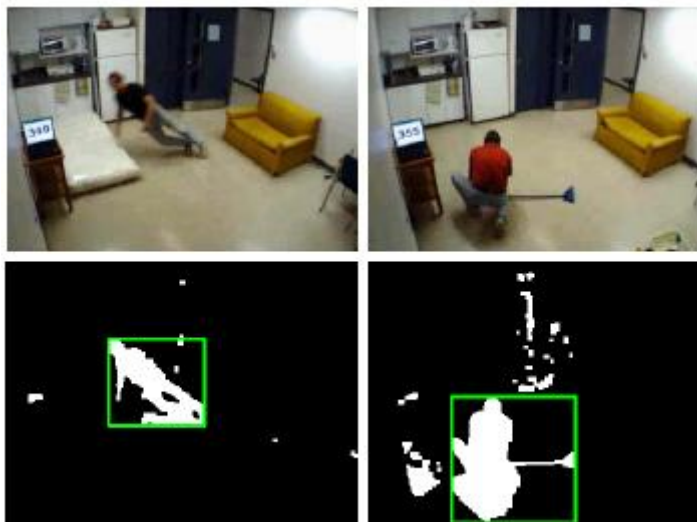


ภาพประกอบ 4-29 แสงสะท้อนระหว่างน้ำบนตัวกับแสงจากหลอดไฟ



ภาพประกอบ 4-30 ลักษณะการติดตั้งหลอดไฟภายในห้องน้ำ

4.3.2.3. ความผิดพลาดจากการติดตั้งกล้องในมุมมองที่ไม่ได้อยู่ในระดับเดียวกับวัตถุที่เคลื่อนไหว ซึ่งจะเห็นได้จากงานวิจัยเรื่อง Fall Incidents Detection for Intelligent Video Surveillance [10] โดยพบว่าเมื่อทดลองตรวจจับการล้มในมุมมองที่สูงขึ้นจากระดับเดียวกับวัตถุ งานวิจัยนี้จะไม่สามารถจำแนกพฤติกรรมออกได้ ปัญหานี้เป็นผลสืบเนื่องมาจากการใช้อัลกอริทึมการเปลี่ยนแปลงระหว่างความกว้างและความสูงของภาพ ที่เห็นว่าการล้มและเหตุการณ์บางเหตุการณ์ให้ผลลัพธ์เหมือนกันดังภาพประกอบที่ 4-31



ภาพประกอบ 4-31 ความผิดพลาดจากการติดตั้งกล้องในมุมมองที่ไม่ได้อยู่ในระดับเดียวกับวัตถุ[7]

ซึ่งในงานวิจัยเรื่อง An Embedded System for Fall Detection While Showering by a Privacy Camera (งานวิจัยนี้) ไม่พบปัญหาจากเรื่องนี้มีเพียงปัญหาจากแสงสะท้อนที่ได้กล่าวไปแล้ว โดยมุมมองที่สูงขึ้นจะส่งผลให้แสงสะท้อนมีมากขึ้น แต่ทั้งนี้ทั้งนั้นปัญหานี้ก็ยังส่งผลกระทบต่อเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

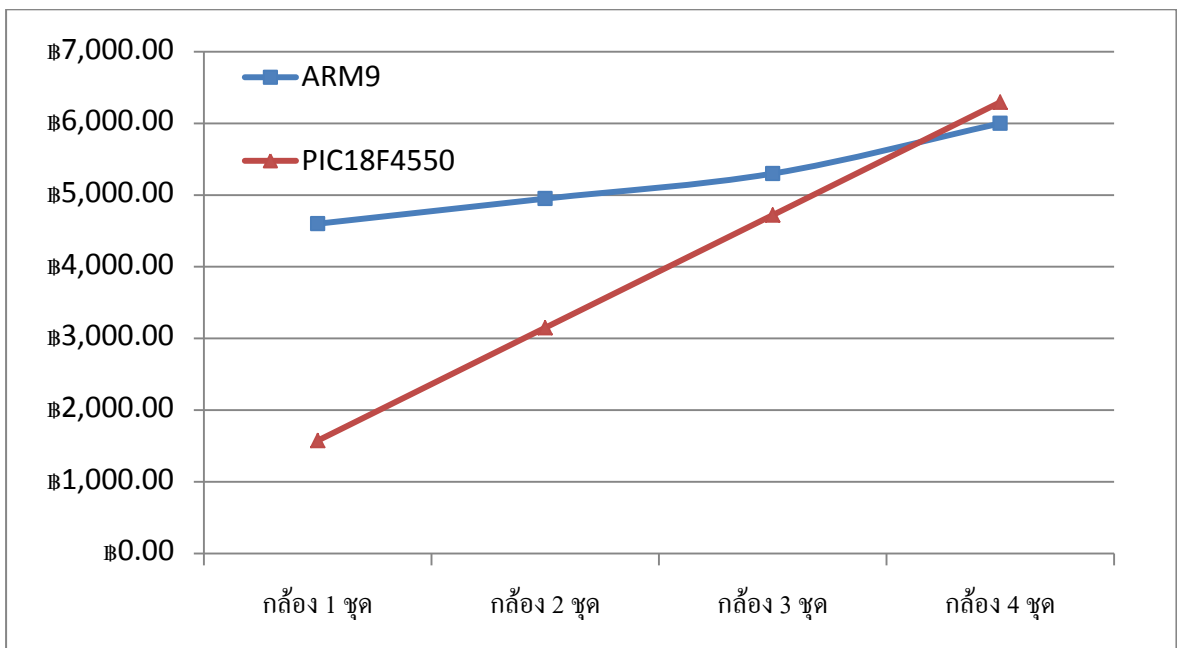
4.3.3. การวิเคราะห์ผลในส่วนของคุณภาพ และการใช้ทรัพยากร

การวิเคราะห์ในส่วนของคุณภาพ และการใช้ทรัพยากรทั้งหมดที่เกี่ยวข้องตลอดการทดลองตั้งแต่การออกแบบการทดลอง จนกระทั่งถึงการนำเอาผลจากการวิเคราะห์ไปประยุกต์และใช้งานบนอุปกรณ์ระบบสมองกลฝังตัว พบว่าสามารถสรุปได้เป็น 2 ส่วนคือส่วนที่เป็นทรัพยากรที่ถูกใช้ไป ตั้งแต่หน่วยความจำที่ถูกใช้จนรวมไปถึงต้นทุนในการออกแบบอุปกรณ์ต้นแบบ และอีกส่วนคือ ประสิทธิภาพของการใช้งาน โดยดูจากประสิทธิภาพที่ได้ภายหลังจากผ่านการประมวลผลว่ามีการสูญเสียไปมากน้อยเพียงใด

4.3.3.1. ส่วนของทรัพยากรที่ใช้งาน และต้นทุนในการพัฒนา

ทรัพยากรที่ต้องใช้ในการออกแบบระบบต้นแบบ เนื่องจากเป็นระบบสมองกลฝังตัวขนาดใหญ่ทรัพยากรที่ต้องใช้ในการพัฒนาจึงจำเป็นต้องมี ถึง 2 ส่วนคือ ส่วนที่เป็นระบบปฏิบัติการซึ่งในการออกแบบระบบปฏิบัติการที่ใช้ถูกใช้ไปเป็นขนาด 132 เมกะไบต์ และส่วนที่เป็นโปรแกรมการทำงานที่ถูกใช้ในการออกแบบเป็นขนาด 30.9 กิโลไบต์ ซึ่งความต่างกันของระบบปฏิบัติการ และโปรแกรมการทำงานได้ถูกนำเสนอไว้แล้วในส่วนประกอบของระบบสมองกลฝังตัวในบทที่ 2

นอกจากนี้เมื่อมองไปในส่วนของต้นทุนที่ต้องใช้ไปในการพัฒนาระบบต้นแบบ โดยพิจารณาเฉพาะในส่วนอุปกรณ์ที่จำเป็นในการประมวลผลหลักพบว่า เป็นเงิน 4,200 บาท โดยแบ่งเป็นในส่วนของ หน่วยประมวลผล 4,250 บาท (หากลดในส่วนของจอแสดงผลสามารถ ลดได้อีกประมาณ 750 บาท) มูลค่าในส่วนของกล้องยูเอสบี 350 บาท ซึ่งเมื่อมองถึงระดับของความคุ้มค่าในการพัฒนาจะพบว่าการลงทุนพัฒนาด้วย ระบบสมองกลฝังตัวขนาดใหญ่ที่ใช้อยู่มีความคุ้มค่ากว่าทั้งในส่วนประสิทธิภาพในการทำงาน และความคุ้มค่าในการพัฒนาต่อขยายเพิ่มเติมในอนาคต โดยแสดงได้ดังกราฟในภาพที่ 4-32 โดยเมื่อเพิ่มจำนวนของกล้องยูเอสบีกราฟมูลค่าของราคาอุปกรณ์ที่ใช้อยู่ (ARM9) เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น โดยเป็นเพียงราคาของกล้องยูเอสบีที่ต้องซื้อเพิ่มอยู่แล้ว ในขณะที่หากใช้อุปกรณ์ตัวอื่น ซึ่งในที่นี้ยกตัวอย่างเป็น PIC18F4550 ซึ่งมีพอร์ตยูเอสบีเพียง 1 พอร์ต ราคาต่อชิ้นมูลค่า 1,224 บาทเมื่อมีการพัฒนาเพิ่มขึ้นก็จำเป็นต้องซื้ออุปกรณ์อีก เป็นราคาเท่าตัวตามจำนวนที่พัฒนาเพิ่มขึ้น โดยที่กล่าวมานี้ยังไม่นับรวมถึงความยุ่งยากในการพัฒนาอัลกอริธึมให้อุปกรณ์สองตัวมีความสอดคล้องไปด้วยกัน (Synchronization) และแนวโน้มของการพัฒนาระบบสมองกลฝังตัวในอนาคตที่ราคาจะถูกกลงแต่ในขณะที่จะเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานให้หลากหลายมากขึ้น



ภาพประกอบ 4-32 การเปรียบเทียบราคาของอุปกรณ์ 2 ชนิดเมื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการพัฒนา

4.3.3.2. ส่วนของประสิทธิภาพที่ใช้งานหลังจากประมวลผล

การพิจารณาในส่วนของประสิทธิภาพที่ได้หลังจากผ่านการประมวลผล พบว่าการประมวลผลภาพจากกล้องยูเอสบี เฟรมเรตอยู่ที่ 30 เฟรมต่อวินาที ขนาดภาพพิจารณาที่ 320x240 โดยไม่ผ่านการบีบอัด(Uncompress) และไม่มีการนำภาพผลลัพธ์มาแสดงผล(ซึ่งปกติไม่มีความจำเป็นต้องใช้ภาพขึ้น LCD) พบว่าอัตราเฟรมเรตที่ได้อยู่ที่ประมาณ 28-29 เฟรมต่อวินาที ซึ่งพบว่า มีบางเฟรมที่หายไปบ้างแต่ไม่ถือว่าส่งผลกระทบต่อการทำงานประมวลผล ในขณะที่หากนำภาพผลลัพธ์ขึ้นแสดงผลบนจอ LCD ด้วย ผลที่ได้คืออัตราเฟรมเรตที่ได้จะตกไปประมาณครึ่งหนึ่ง โดยอยู่ที่ประมาณ 15-16 เฟรมต่อวินาที ภาพที่ได้จะช้ากว่าความเป็นจริงเล็กน้อยและส่งผลให้เกิดความผิดพลาดได้ง่ายขึ้น

หากพิจารณาในส่วนความสามารถในการทำงานได้แบบทันที ระบบที่ออกแบบนี้ อยู่ในระบบที่เรียกว่าระบบซอฟต์แวร์เรียลไทม์ ซึ่งสามารถยืดหยุ่นได้เล็กน้อยอยู่แล้ว เนื่องจาก หากการประมวลผลช้ากว่ากำหนดเพียงเล็กน้อยความสามารถในการจำแนกก็ยังคงมีอยู่ อีกทั้งระบบจะมีการรอการตอบสนองกลับจากผู้ใช้เป็นเวลา 30 วินาที ทำให้อะไรก็ตาม เมื่อมีการล้มลงแล้วระบบก็จะหน่วงเวลาเพื่อรอการตรวจเช็คอยู่ดี แต่อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาถึงผลที่ได้จากข้อมูลของการประมวลผลข้างต้นก็แสดงให้เห็นได้อย่างชัดเจนว่า อัลกอริทึมที่ใช้ในการประมวลผล จะส่งผลกระทบต่ออัตราเฟรมเรตน้อยมากทำให้ความสามารถในการพิจารณาในส่วนของความเป็นการทำงานได้แบบทันทีจึงไม่เป็นปัญหาด้วย

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

ในบทนี้จะกล่าวถึงการสรุปผลและข้อเสนอแนะที่ได้จากการดำเนินการทำงานวิจัยตลอดจนปัญหาและอุปสรรคที่เกิดขึ้นขณะทำงานวิจัย และให้ข้อเสนอแนะแก่ผู้สนใจจะนำงานวิจัยชุดนี้ไปพัฒนาต่อ

5.1 สรุปผล

จากการศึกษาองค์ความรู้และทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการตรวจจับการล้นทำให้ทราบถึงความพยายามจากหน่วยวิจัยหลายๆแห่งที่พยายามแก้ไขปัญหาเพื่อช่วยในการวิเคราะห์และตรวจจับการล้น เพื่อให้สามารถช่วยเหลือได้อย่างทันท่วงที หรือสามารถช่วยในการแจ้งเตือนผู้ดูแลในกรณีผู้สูงอายุหรือผู้ป่วยอาศัยอยู่เพียงลำพัง ในส่วนของระเบียบวิธีที่มีการนำเสนอก็มีหลากหลายรูปแบบแตกต่างกันไปตามประโยชน์ที่จะใช้งาน ระบบตรวจจับการล้นในห้องน้ำก็เป็นประเด็นวิจัยหนึ่งที่น่าสนใจในการพัฒนา เนื่องจากภายในห้องน้ำจะเป็นพื้นที่เปียกมีความเสี่ยงต่อการล้นสูง อีกทั้งหากเกิดการล้นขึ้นจริงลักษณะของห้องก็จะเป็ห้องแบบปิดตายปราศจากผู้รู้เห็นทำให้อาจส่งผลที่ร้ายแรงหากไม่มีการช่วยเหลืออย่างทันท่วงที

จากประเด็นวิจัยดังกล่าวนำไปสู่การออกแบบการตรวจจับการล้นโดยใช้ระเบียบวิธีของการประมวลผลภาพ เนื่องจากไม่จำเป็นต้องติดตั้งที่ตัวผู้ที่จะทำการติดตามดูแล ทำให้สามารถอาบน้ำหรือปฏิบัติภารกิจส่วนตัวได้อย่างสะดวก แต่เนื่องจากการประมวลผลด้วยภาพและเป็นการตรวจจับในห้องน้ำประเด็นเรื่องความเป็นส่วนตัวจึงตามมาเป็นอันดับหนึ่ง โดยหากมีการส่งภาพออกไปสู่ภายนอกอาจมีปัญหาคือในส่วนข้อมูลภาพที่อาจโดนจารกรรมระหว่างการส่งข้อมูลได้ การแก้ไขปัญหาดังกล่าวจึงกลับมาสู่การพัฒนาจะบนระบบสมองกลฝังตัวที่จะติดตั้งไว้ภายในบริเวณห้องน้ำ แต่เนื่องจากการพัฒนาอยู่บนระบบสมองกลฝังตัวจึงทำให้ต้องพัฒนาอัลกอริทึมควบคู่ไปด้วยเพื่อให้สามารถประมวลผลได้แบบทันที และสามารถใช้งานได้บนระบบที่มีทรัพยากรอย่างจำกัด อัลกอริทึมการเปรียบเทียบเฟรมภาพจึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่ผู้วิจัยนำมาใช้ในการนำเสนอในงานวิจัยนี้

แต่เนื่องจากยังไม่มีการนำเสนอด้วยวิธีการนี้มาก่อน ก่อนจะนำไปใช้งานจึงต้องผ่านการทดสอบความน่าเชื่อถือก่อน โดยผู้วิจัยได้ออกแบบการทดลองออกเป็นส่วนๆ ซึ่งแบ่งเป็นขั้นตอนได้ดังนี้

5.1.1. ทดสอบอัลกอริธึมการเปรียบเทียบผลต่างของเฟรม

โดยส่วนนี้จะทำการพิสูจน์ จากสมมุติฐานแรกที่ว่าความเร็วของการเคลื่อนไหวในภาพวิดีโอจะส่งผลถึงความต่างของภาพในเฟรมที่อยู่ใกล้กันกล่าวคือ หากภาพมีการเคลื่อนไหวช้า ผลของความแตกต่างกันของภาพเฟรมที่อยู่ใกล้กันจะมีความต่างกันน้อยมาก แต่ในขณะเดียวกัน หากมีการเคลื่อนไหวที่เร็วผลของความแตกต่างกันของภาพเฟรมที่อยู่ใกล้กันจะมีความต่างกันมากกว่า ซึ่งผลที่ได้คือ สามารถแยกการลัมออกจากพฤติกรรมอื่นๆ ได้ โดยจุดที่น่าสนใจคือ อัลกอริธึมนี้สามารถแยกพฤติกรรมการกัมเมงออกจากการลัมได้ด้วย ซึ่งหลายๆงานวิจัยจะพบว่าการกัมเมง อาจส่งผลต่อการจำแนกพฤติกรรมทำให้ต้องใช้หลายๆอัลกอริธึมในการตรวจสอบ

5.1.2. ทดสอบความน่าเชื่อถือของอัลกอริธึมการเปรียบเทียบผลต่างของเฟรม

หลังจากการทดลองในช่วงแรกให้ผลลัพธ์ที่สอดคล้องกับสมมุติฐานแรก การเพิ่มสถานะการณ์ของสภาวะแวดล้อมที่อาจเกิดขึ้นได้จริงจึงนำมาออกแบบไว้ใน การทดลองในส่วนนี้ โดยสภาวะแวดล้อมที่สร้างขึ้นได้แก่ สภาวะแวดล้อมของแสง ผลกระทบของละอองน้ำจากฝักบัว ผลกระทบจากเสื้อผ้า และตำแหน่งที่ติดตั้งกล้อง ซึ่งผลที่ได้คือระบบสามารถจำแนกพฤติกรรมได้ในสภาวะแวดล้อมที่กล่าวมาทั้งหมด โดยจุดที่น่าสนใจในส่วนนี้คือ นอกจากระบบจะใช้การประมวลผลที่ไม่มีความซับซ้อนแล้ว ยังสามารถลดปัญหาที่พบจากทดลองใช้งานด้วยอัลกอริธึมอื่นๆได้อีกด้วย

นอกจากนี้การออกแบบในการใช้งานจริงยังออกแบบให้ระบบมีความยืดหยุ่นคือ ในกรณีที่หน่วยประมวลผลพบพฤติกรรมที่บอกรถึงความเสี่ยงว่าเกิดการลัมเกิดขึ้น หน่วยประมวลผลจะส่งเสียงเตือนไปยังผู้ที่กำลังถูกเฝ้าติดตามอีกครั้งหนึ่ง และจะรอก่อนส่งสัญญาณออกไปแจ้งการพบการลัมเป็นเวลา 30 วินาที ทั้งนี้เพื่อป้องกันการเข้าใจผิดในกรณีที่หน่วยประมวลผลพบพฤติกรรมที่บอกรถึงความเสี่ยงว่าเกิดการลัมแต่ ไม่ได้เกิดการลัมจริง ซึ่งหากพบเป็นกรณีดังกล่าวตัวผู้ถูกเฝ้าติดตามเอง สามารถกดปุ่มเพื่อยกเลิกการตรวจจับการลัมได้ หรือในขณะเดียวกันหากตัวผู้ถูกเฝ้าติดตามรู้สึกมีอาการไม่ปกติในขณะที่ยังไม่ได้ลัม ก็สามารถกดปุ่มเพื่อส่งสัญญาณออกไปขอความช่วยเหลือได้เช่นกัน

5.2 ปัญหาและอุปสรรคของการทำวิทยานิพนธ์

5.2.1. องค์ความรู้และข้อมูลเกี่ยวกับระบบการใช้ภาพในการประมวลผลเป็นองค์ความรู้ที่มีความซับซ้อนทำให้ต้องใช้เวลาในการทดลองเพื่อหาอัลกอริธึมที่เหมาะสมมาใช้งาน ต้องทดลองออกแบบและหาวิธีที่เหมาะสมที่สุด ประมวลผลน้อยที่สุด แต่ยังใช้จำแนกพฤติกรรมได้

5.2.2. อุปกรณ์ที่ใช้เป็นระบบสมองกลฝังตัวขนาดใหญ่มีความซับซ้อนในการเริ่มต้นที่จะศึกษาการทำงานทำให้ต้องใช้เวลานานในการศึกษา อีกทั้งอุปกรณ์ที่ใช้ยังเป็นอุปกรณ์ใหม่ซึ่งขณะที่ผู้วิจัยเริ่มวิจัยยังมีผู้ใช้งานน้อย ทำให้ต้องศึกษาค้นคว้าด้วยตัวเองเกือบทั้งหมดเพื่อให้เข้าใจทั้งระบบ

5.2.3. ระบบปฏิบัติการที่ใช้เป็นระบบปฏิบัติการลินุกซ์ ซึ่งเป็นระบบปฏิบัติการที่ผู้วิจัยไม่มีความคุ้นเคยจึงทำให้ต้องใช้เวลาในการศึกษาเพิ่มเติม

5.2.4. ปัญหาของแสงสะท้อนเนื่องจากหลอดไฟที่ติดตั้งบริเวณด้านบนของห้องอาบน้ำซึ่งจะเป็นมุมที่ส่งผลต่อการประมวลผลภาพด้วยอัลกอริทึมนี้

5.2.5. ปัญหาของผู้ที่จะทำการทดสอบ เนื่องจากระบบต้องการจัดการในส่วนของสภาวะแวดล้อมที่ซับซ้อน เช่น ต้องอาบน้ำจริง ต้องสวมใส่เสื้อฝ้าน้อยชิ้น ต้องลัมให้เสมือนจริงมากที่สุด ทำให้ยากในการหาอาสาสมัครมาร่วมทำการทดสอบ ผลที่ได้จึงอาจไม่มีความครอบคลุมที่หลากหลายพอ

5.3 ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากอุปกรณ์ที่ได้ออกแบบไว้เป็นระบบสมองกลฝังตัวขนาดใหญ่ต่อการพัฒนาต่อ ยอด ทำให้สามารถศึกษาวิธีการทำงานจากภาคผนวกแล้วสามารถต่อ ยอดงานในอนาคตได้ง่ายขึ้น ซึ่งข้อเสนอแนะที่น่าสนใจในการพัฒนาต่อเพื่อให้ระบบมีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น มีดังนี้

5.3.1. ปัญหาของแสงสะท้อนของน้ำ สามารถใช้ C-PL(Circular polarize) ในการแก้ไขได้เลยโดยไม่ต้องปรับที่อัลกอริทึม ซึ่งอุปกรณ์ดังกล่าวเกิดจากการเรียงตัวของแผ่นไมโครสลิทที่เล็กมากๆยอมให้แสงผ่านได้ระนาบเดียว ประโยชน์ที่สามารถประยุกต์ใช้ได้คือเมื่อมีการปรับมุมที่เหมาะสม จะช่วยในการตัดแสงสะท้อนได้

5.3.2. เพิ่มกล้องในการตรวจจับให้มากกว่า 1 ตัวเพื่อช่วยในการวิเคราะห์ได้เพราะระบบสมองกลฝังตัวที่ออกแบบไว้มีพอร์ทเชื่อมต่อยูเอสบี ถึง 4 ช่องอีกทั้งระบบใช้การประมวลผลที่ไม่มี ความซับซ้อนมาก จึงน่าจะสามารถพอที่จะสลับกันทำงานระหว่างกล้องแต่ละตัวได้ โดยข้อดีที่จะได้เพิ่มจากการใช้กล้องหลายตัวคือ

- อาจออกแบบให้กล้องทุกๆตัว ผลัดกันพิจารณาภาพ โดยสลับวนไปเรื่อยๆ กล้องตัวใดตัวหนึ่งตรวจพบความเสี่ยงว่าเกิดการลัมเกิดขึ้น ก็ให้สลับไปตรวจภาพจากกล้องอีก 2 ตัวที่เหลือ หากข้อมูลยืนยันจากกล้อง 2 ใน 3 ตรวจพบความเสี่ยงว่าเกิดการลัมเกิดขึ้นก็เป็นการยืนยันข้อมูลให้อีกทางหนึ่ง การพิจารณาการลัมการใช้งานและเวลาในการสลับใช้งานจะต้องศึกษาเพิ่มเติม

- อาจออกแบบโดยเอาข้อมูลจำนวนจุดภาพที่มีความต่างจากกล้องทุกๆตัวมาพิจารณาค่าเฉลี่ยร่วมกันเพื่อนำข้อดีจากกล้องบางตัวมาช่วยจัดการกับข้อด้อยที่เกิดจากกล้องอีกตัวแทน

- อาจใช้ในการเก็บข้อมูลเพื่อหาค่า ตัวเลขที่มีความเกี่ยวเนื่องและสัมพันธ์กันของค่าของจุดทำงานกับความสูงแต่ละระดับ ซึ่งหากพบตัวเลขที่มีความเกี่ยวเนื่องสอดคล้องกัน สามารถพิสูจน์ให้เห็นได้ ในอนาคตการติดตั้งอุปกรณ์ก็ไม่จำเป็นต้องผ่านการสอบเทียบอุปกรณ์ก่อนการใช้งาน หรือใช้ประโยชน์ในการพิจารณาการเคลื่อนไหวของวัตถุในงานวิจัยอื่นๆได้อีกด้วย

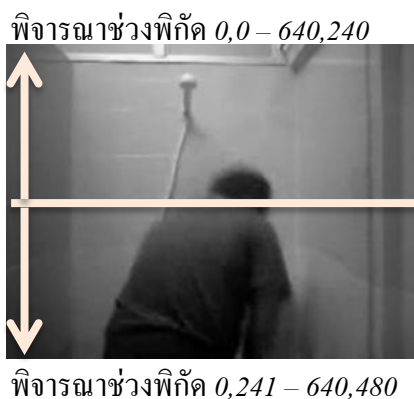
5.3.3. อาจหาปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อการออกแบบค่าของจุดทำงาน ซึ่งถ้าหาความสัมพันธ์ได้น่าจะง่ายในการแก้ไขปัจจัยต่างๆเช่น แสง ระยะความสูงในการติดตั้งกล้องที่เหมาะสมพอ

5.3.4. การส่งข้อมูลการลัมสามารถเชื่อมต่ออุปกรณ์ระบบเครือข่ายไร้สายเพิ่มได้ โดยที่ตัวคอนโทรลเลอร์เองจะสามารถกำหนดที่อยู่อินเตอร์เน็ต โพรโตคอลได้

5.3.5. อาจพิจารณาใช้กล้องขาวดำแทนกล้องสีที่ใช้งานอยู่เนื่องจากเป็นการลดความซับซ้อนในการประมวลผลออกได้ เนื่องจากอัลกอริทึมที่ทำการนำเสนอนี้ไม่จำเป็นต้องใช้ภาพที่เป็นสีในการประมวลผล แต่กล้องที่ให้ลักษณะภาพที่เป็นขาวดำก็เพียงพอต่อการประมวลผล แต่ทั้งนี้ต้องมีการปรับปรุงและศึกษาข้อมูลที่จะนำไปประมวลผลต่อไปให้สอดคล้องกับข้อมูลภาพที่ได้มาด้วย

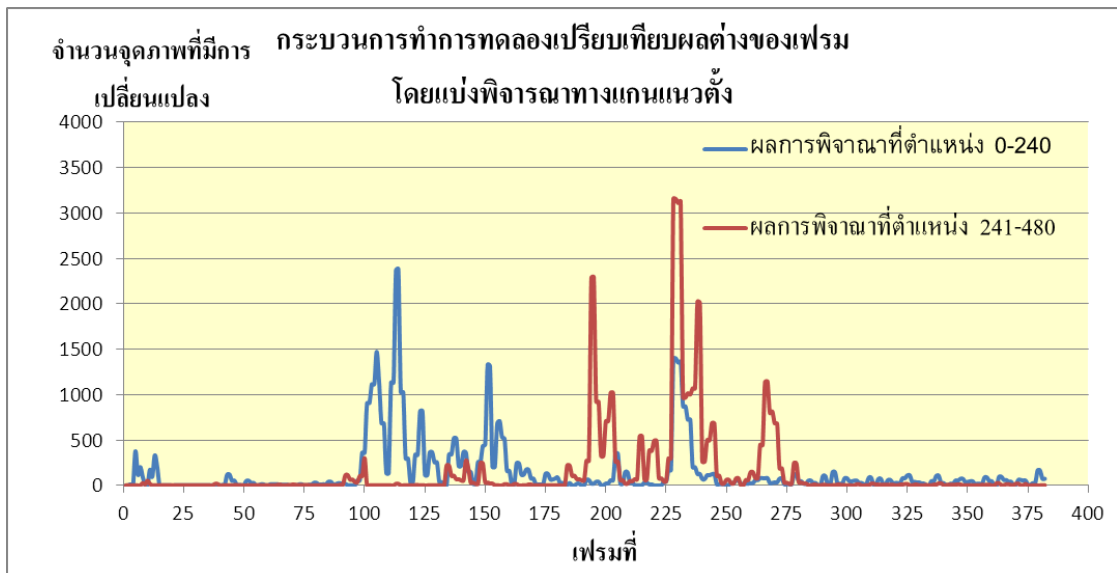
5.3.6. การแก้ไขปัญหาด้วยวิธีการแบ่งพิจารณา อาจมีการศึกษาและทำทดลองเพิ่มเติมได้ โดยแนวคิดคือแบ่งข้อมูลของภาพ ในแนวแกนตั้ง ออกพิจารณา โดยกำหนดให้แยกส่วนกันพิจารณาค่าของจุดทำงานที่ต่างกัน โดยทั้งนี้ผู้วิจัยได้ทำการทดลองเบื้องต้น เพื่อเป็นตัวอย่างให้ผู้พัฒนาต่อได้เป็นแนวทางในการทดลองต่อไปดังนี้

1) แบ่งภาพ ออกเป็น 2 ส่วนคือส่วนบน และส่วนล่างดังภาพที่ 5-1



ภาพประกอบ 5-1 แบ่งช่วงในการพิจารณาเป็น 2 ขอบเขต

- 2) ใช้อัลกอริทึมการเปรียบเทียบผลต่างของภาพในการวิเคราะห์ โดยปรับเปลี่ยนคำสั่งโปรแกรมในส่วนของการเอาภาพมาพิจารณา ซึ่งผลที่ได้จะได้ดังภาพที่ 5-2 แต่ทั้งนี้ อาจต้องมีการศึกษาเพิ่มเติม เพื่อให้ผลที่ได้มีความถูกต้องสูงสุดและง่ายในการวิเคราะห์ข้อมูลต่อไป



ภาพประกอบ 5-2 ผลจากการใช้อัลกอริทึมเปรียบเทียบผลต่างวิเคราะห์
การแบ่งช่วงในการพิจารณาเป็น 2 ขอบเขต

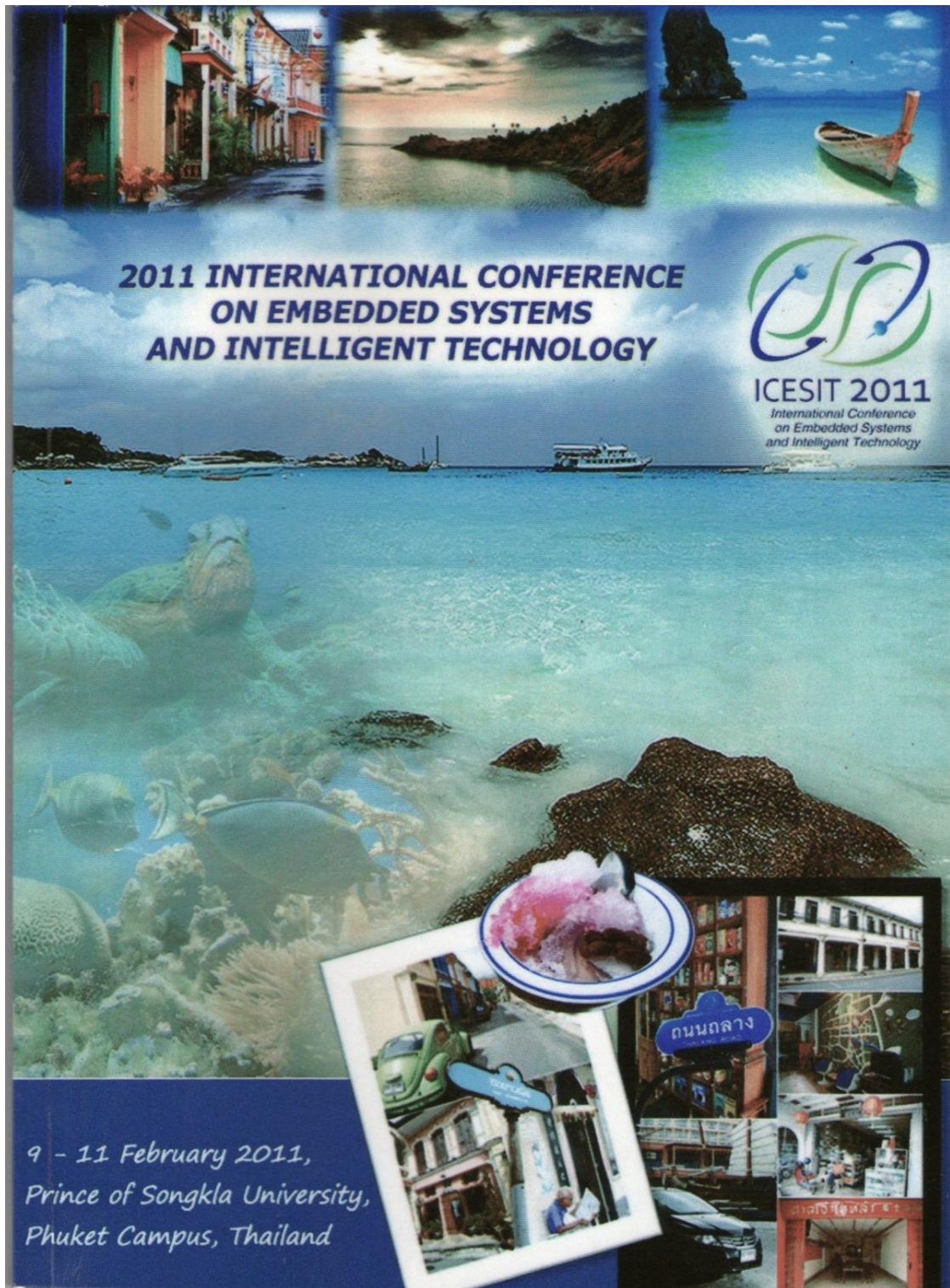
เอกสารอ้างอิง

- [1] “ฐานข้อมูลประชากร,” [ออนไลน์], เข้าถึงได้จาก: http://www.cps.chula.ac.th/research_division/article_ageing/ageing_001.html. (วันที่สืบค้น 10 ตุลาคม 2552)
- [2] นพ.วสุวัฒน์ กิตติสมประยูรกุล, “การล้มและการป้องกัน,” [ออนไลน์], สมาคมเวชศาสตร์ฟื้นฟูแห่งประเทศไทย, เข้าถึงได้จาก: http://rehabmed.or.th/assoc/as_thai/news_detail.php?news_id=232. (วันที่สืบค้น 21 กรกฎาคม 2553)
- [3] P. Jantaraprim, P. Phukpattaranont, C. Limsakul and B. Wongkittisuksa, “A Preliminary Study of Fall Detection for Thai Elderly,” in Proc. PEC-7, 2009, p.231-234.
- [4] Y. Zigel, D. Litvak and I. Gannot, “A Method for Automatic Fall Detection of Elderly People Using Floor Vibrations and Sound—Proof of Concept on Human Mimicking Doll Falls,” TBME, 2009, p. 2858-2867.
- [5] “Mel-frequency cepstrum,” [ออนไลน์], เข้าถึงได้จาก: http://en.wikipedia.org/wiki/Mel-frequency_cepstrum.
- [6] ชีรศักดิ์ ขอพุทธพรชัย และนิคม สุวรรณวร, “การตรวจจับเหตุการณ์หกล้มของผู้สูงอายุจากกล้องวงจรปิดด้วยการประมวลผลภาพ (Fall Detection for Elderly using Image Processing),” รายงานการวิจัย 2550
- [7] C. Rougier, J. Meunier, A. St-Arnaud and J. Rousseau, “Fall Detection from Human Shape and Motion History Using Video Surveillance,” in Proc. AINAW 21st, 2007.
- [8] J. Davis, “Hierarchical Motion History Images for Recognizing Human Motion,” in Proc. Detection and Recognition of Events in Video, 2001, p. 39-46.
- [9] V. Vishwakarma, C. Mandal, and S. Sural, “Automatic Detection of Human Fall in Video,” in Proc. PRiMI, 2007, p. 616-623.
- [10] T. Ji, M. Turjo, M. Wong, M. Wang and Y. Tan, “Fall Incidents Detection for Intelligent Video Surveillance in Information,” in Proc. ICICS, 2005.
- [11] Z. Fu, T. Delbruck, P. Lichtsteiner and E. Culurciello, “An Address-Event Fall Detector for Assisted Living Applications,” in Proc. TBioCAS Val.2, 2008, p.88-96.
- [12] D. Li, Z. Xiao, “Design of Embedded Video Capture System Based on ARM9,” in Proc. ICEICE, 2011.

- [13] S.N. Buzink, J.F.M. Molenbroek, E.M. Haagsman and R. de Bruin. "Fall in the toilet environment: a study on influential factors," International journal on the fundamental aspects of technology to serve the ageing society, 2005, p 15-26.
- [14] K.R. Castleman, "Digital Image Processing," Prentice-Hall, 1996.
- [15] A.Nicolás, S.Francesc and A.René. "A Probabilistic Integrated Object Recognition and Tracking Framework for Video Sequences," PhD Thesis, Universitat Rovirai Virgili, 2009.
- [16] "Thresholding," [ออนไลน์], เข้าถึงได้จาก: [http://en.wikipedia.org/wiki/Thresholding_\(image_processing\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Thresholding_(image_processing)).
- [17] X.Yu, "Approaches and Principles of Fall Detection for Elderly and Patient," E-Health Networking Applications and Services, 2008, p 42-47.
- [18] "Accelerometer," [ออนไลน์], เข้าถึงได้จาก: <http://en.wikipedia.org/wiki/Accelerometer>.
- [19] "อุปกรณ์ตรวจวัดความเร่ง และความโน้มเอียงทางแกน X และ Y," [ออนไลน์], เข้าถึงได้จาก: http://www.etteam.com/product/robot/adx1202/et-adx1202_manual.pdf.
- [20] "Condenser Microphone Signal," [ออนไลน์], เข้าถึงได้จาก: <http://www.sownar.com/hostos08/hbase/audio/mic2.html>.
- [21] "Passive Infrared," [ออนไลน์], เข้าถึงได้จาก: <http://www.ladyada.net/learn/sensors/pir.html>.
- [22] ชนารักษ์ ชีระมันคง, "เทคโนโลยีสมองกลฝังตัว," พิมพ์ครั้งที่ 3, กรุงเทพฯ, สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย - ญี่ปุ่น), 2549.
- [23] "Real-time computing," [ออนไลน์], เข้าถึงได้จาก: http://en.wikipedia.org/wiki/Real-time_computing.
- [24] สากล จุลรัตน์, "การพัฒนาระบบตรวจสอบแบบเวลาจริงภายใต้สิ่งแวดล้อมทางแสงที่ถูกลบคลุม," วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2552.
- [25] N. Noury, A. Fleury, P. Rumeau, A.K. Bourke, G. Laighin, V. Rialle and J.E. Lundy, "Fall Detection—Principles and Methods," in Proc. IEMBS 29th, 2007, p.1663-1666.
- [26] รศ.พญ.สมใจ หวังสุกชาติ, "Research Design & Research Methodology," [ออนไลน์], เข้าถึงได้จาก: <http://www.cai.md.chula.ac.th/lesson/research/re7.htm>.
- [27] Intel Corporation, "Open Source Computer Vision Library," Reference Manual, 1999-2001.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
บทความทางวิชาการที่นำเสนอใน
International Conference on Embedded System and Intelligent Technology
(ICESIT-2011)
9-11 กุมภาพันธ์ 2554 จ. ภูเก็ต



**2011 INTERNATIONAL CONFERENCE
ON EMBEDDED SYSTEMS
AND INTELLIGENT TECHNOLOGY**

ICESIT 2011
International Conference
on Embedded Systems
and Intelligent Technology

*9 - 11 February 2011,
Prince of Songkla University,
Phuket Campus, Thailand*

An Embedded System for Privacy Fall Detection based on the Frame-Difference Method

Teerasak Chotikawanid ^{#1}, Nattha Jindapetch [#], Wannarat Suntiamorntut ^{*},
Pornchai Phukpattaranont [#]

Department of Electrical Engineering[#], Department of Computer Engineering^{*}
Faculty of Engineering Prince of Songkla University
Hat Yai, Songkhla 90112

E-mail: s5210120131@psu.ac.th¹

Abstract— Detection of falling in the elderly is essential in the social environment that has highly growth in the elderly population. Most of the elderly cannot help themselves if there is an accident. If the accident occurs while they live alone and do not receive help in time, it may cause a loss. This article presents a way to reduce losses from the delay of the help by providing a method for fall detection and movement analysis using the principles of the frame-difference between the current frame and the previous frame. Resulting disparity can be used in the event analysis. This algorithm is not only simple in the analysis, but also high reliability in the results. An experiment was designed and tested in a bathroom, which is one of the areas that need privacy, and cannot be installed with any camera or any electronic sensor on the body. In addition, this experiment was designed to study the effects of light, views to install a camera or even the impact of water while bathing. The outcome of the analysis evaluated the performance of three camera height levels: 1.10 m., 1.90 m. and 2.10 m. The results of computation sensitivity (the capability to detect a fall) were 100%, 87.5% and 87.5%, respectively. The results of computation specificity (the capability to detect only a fall) were 87.5%, 62.5% and 62.5%, respectively. These results proved that our simple algorithm allows such a system can be used in small embedded systems, and is able to install in any area, and can substitute the analysis with the computer that is large and expensive.

Keywords— Assisted living, elderly home care, motion detection, frame difference

An Embedded System for Privacy Fall Detection based on the Frame-Difference Method

Teerasak Chotikawanid^{#1}, Nattha Jindapetch[#], Wannarat Suntiamorntut^{*}, Pornchai Phukpattaranont[#]

Department of Electrical Engineering[#], Department of Computer Engineering^{}*

*Faculty of Engineering Prince of Songkla University
Hat Yai, Songkhla 90112*

s5210120131@psu.ac.th¹

Abstract— Detection of falling in the elderly is essential in the social environment that has highly growth in the elderly population. Most of the elderly can not help themselves if there is an accident. If the accident occurs while they live alone and do not receive help in time, it may cause a loss. This article presents a way to reduce losses from the delay of the help by providing a method for fall detection and movement analysis using the principles of the frame-difference between the current frame and the previous frame. Resulting disparity can be used in the event analysis. This algorithm is not only simple in the analysis, but also high reliability in the results. An experiment was designed and tested in a bathroom, which is one of the areas that need privacy, and can not be installed with any camera or any electronic sensor on the body. In addition, this experiment was designed to study the effects of light, views to install a camera or even the impact of water while bathing. The outcome of the analysis evaluated the performance of three camera height-levels: 1.10 m., 1.90 m. and 2.10 m. The results of computation sensitivity (the capability to detect a fall) were 100%, 87.5% and 87.5%, respectively. The results of computation specificity (the capability to detect only a fall) were 87.5%, 62.5% and 62.5%, respectively. These results proved that our simple algorithm allows such a system can be used in small embedded systems, and is able to install in any area, and can substitute the analysis with the computer that is large and expensive.

Keywords— Assisted living, elderly home care, motion detection, frame difference

I. INTRODUCTION

According to the report of Thai census bureau's population trends in 20-year period (2543-2563) [1], there will be the amount elderly population (older than 60 years) increases more than double from 8 percent in year 2543 to 16 percent in year 2563. It is likely that the elderly population probably rapidly increases in the future. Most of the elderly can not help themselves if there is an accident. If the accident occurs while they live alone and do not receive help in time, it may cause a loss. The main problem from this population group is the shortage of the medical personnel to take care them. Therefore, the remote monitoring and alarm systems are needed.

Accidental fall is the most serious problem in the elderly. The problem of falling [2] can be caused from illness fainted and then accident fell, or from an accidental slip or stumble fall. This issue is a problem directly related to the health of the elderly that are at high risk of harm from the loss or paralysis after a fall. The accidents occurred in the fall are often in the elderly who live alone. Although there are those who supervised closely, it could not take care all times.

Currently, there are many innovations that are developed to create a level of security from the past. Various solutions were proposed on technologies of CCTV to do just for recording various events only, but the camera will cannot create an alarm. Switching technology is used to detect fall events with image processing on the computer, or acceleration sensors.

Most image processing methods determine a prominent center of gravity values (centroid) before analysis by the acceleration of falling including the angle or the change in size between x axis and y axis.

An analysis of fall detection for the elderly by using image processing was presented by T.Kroputaphornchai et al. [3]. They detect fall events by using the data size of width - height of the individual per frames, the angle of the individual per frames, and the speed of the fuselage per frames. Problems that are arising of this research are in the part of detecting and tracking of some individuals with unclear outstanding features (color of wearing clothes). Only for some people who have obvious features, the result is accuracy at 80%.

Similar research has been improved by Suvonvorn et al. [4]. Rehabilitation Engineering Research Center, Faculty of Engineering, Prince of Songkla. They developed a software system for managing video images from CCTV cameras to be able to run the viewing and analysis more effectively. This research has been actually installed in various points of elderly home foundation to detect fall events without affecting the elderly activities. The system was designed to view images via the internet 24 hours a day.

An example of techniques using acceleration devices such as using tri-axial accelerometer mounted on the trunk was presented by Jantaraprim et al. [5]. The average testing result of fall hazards and difference from other human behaviour was 100% sensitivity and 98.33% specificity.

Research of Fu et al. [6] presented an analysis of visual images from the camera using MATLAB. The image data acquired in each frame is compared with the previous frame to provide the frame-difference result which will be used to determine the centroid. This centroid is then used to represent the individual to calculate the acceleration. The finally result will be able to tell the trend of fall-event from the classification of behavior that can be computed from the acceleration in the position changes. This is a good way, but its algorithm is still too complicated to be implemented on the embedded system.

Another research work based on motion detection analysis has similar design, such as fall incidents detection for intelligent video surveillance by Tao et al. [7] This research has adopted method to remove the background (Background subtraction) before computation. After that the system will

confirm fall-event by examining the vertical angle at 45 degrees. If the system detects that the vertical angle less is than 45 degrees, it will alert (risk of falling) to the administrator. Because this method also showed the degree angle limitations for installation of cameras that need to be positioned only at eye level for correct results. Vishwakarma et al. [8] increased the test patterns in an outdoor environment, in the shade and recording with video Omni. The result was able to detect only a limited area of the background. Rougier [9] and Zhu [10] proposed the methods to detect the falling out of the normal behaviors. Rougier's method was analyzed from several factors, such as shape analysis to confirm the nature of man, the scope and amount of the movement, the sound from microphone to confirm the fall, and also the help message. Zhu added analysis by creating a rectangle around the people who are monitoring, and isolating the normal activity from risk of falling by using the ratio between the size of the width (axis x), length (axis y) of individual frames. Both methods also found limitation by the failure to detect when people sit, and also caused time consuming in multi-step data analysis.

Most research work mentioned above proposed methodologies that need complicated algorithm to get the correct results. Moreover, innovations have to solve the problem at some points that need privacy, or a point of difficulty in using any sensors, such as personal activities, changing clothes or taking a shower in the bathroom which is the area with high risk of slip.

The rest of this paper is organized as follows. Section II presents the principles related to image processing and fall detection analysis. Section III presents the proposed design and the comparative complexity of the algorithms. Section IV presents the experimental results. The last section is the conclusion of this paper and the guidelines to be developed.

II. THE PRINCIPLES AND THEORIES USED IN THIS STUDY

The principles and theories used in image processing and analysis to identify the behavior of falling out of other behaviors are described in this section. The formula for calculating and analyzing the performance evaluation of the following are also given.

A. Image processing

Image processing is a core technique for making computers or the microprocessors understand object behaviors. Some basic techniques used in this paper are as follows.

1) Convert RGB to greyscale

A colour image can be converted to the gray scale system by finding the sum of the weights of each colour component R (Red), G (Green) and B (Blue) as shown in equation (1). This process can reduce the level of assessment of the images from the three layers to one layer of processing.

$$im_{gray} = 0.298 \times R + 0.5870 \times G + 0.1140 \times B \quad (1)$$

2) Frame-Difference Image

The current image and the previous images were compared to detect the pixels that are different. This method is called "Frame-Difference Image"[11]. The frame-difference image is represented by the mathematical model in equation (2). The

results from this calculation can separate the moving object from the background as shown in the Fig.1.

$$C = \begin{bmatrix} B(x_1, y_1) - A(x_1, y_1) & B(x_1, y_2) - A(x_1, y_2) & \dots & B(x_1, y_m) - A(x_1, y_m) \\ B(x_2, y_1) - A(x_2, y_1) & B(x_2, y_2) - A(x_2, y_2) & \dots & B(x_2, y_m) - A(x_2, y_m) \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ B(x_n, y_1) - A(x_n, y_1) & B(x_n, y_2) - A(x_n, y_2) & \dots & B(x_n, y_m) - A(x_n, y_m) \end{bmatrix} \quad (2)$$

m is the width of the image n is the length of the image.

A is the image at time frame $t-1$. B is the image time frame t .

C is the result metric of a frame difference



Fig. 1 Results of a Frame-difference [15].

B. Event Count Computation

An "event" means a pixel that has changed in the current frame compared to the previous frame. The event count computation takes the results from the frame-difference image, represented in equation (2), for calculating the number of difference pixels between the images as in equation (3), where C is the result metric of a frame difference, m is the width of the image and n is the length of the image.

$$\text{Event count} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n [C(x_i, y_j)] \quad (3)$$

C. Centroid Event Computation

The centroid event computation is a step for making pre-analysis to represent a moving object as shown in the Fig.2 [6]. The centroid event can be represented by the coordinates of the position (x_c, y_c) . Equations used to calculate the x_c and y_c can be expressed in equation (4), where N is the total number of changes in image pixels from frame-difference image (events), and (x_p, y_p) are events address.

$$x_c = \left[\frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N} \right], \quad y_c = \left[\frac{\sum_{i=1}^N y_i}{N} \right] \quad (4)$$

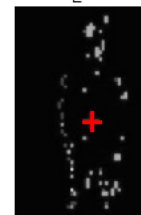


Fig. 2 The plus mark (centroid) represents a moving object [6].

The centroid event is an effective way to evaluate a fall. Fig. 3(A) [6] shows a result of pure frame-difference, where a vertical axis is value of the coordinate y and horizontal axis is time. Consider in horizontal axis, there are more events at any time. Many events are not person movement, i.e. noise. This causes the difficulty to identify the fall events from the normal events. In contrast, Fig.3 (B) [6] shows centroid event responses when the imager monitors a person's fall. The upper

of Fig.3 (B) show that the vertical address y_c rapidly decreases in the fall event. The lower of Fig.3 (B) shows the corresponding event count at the fall event. Clearly, the address-event computed centroid achieves better efficiency for calculating velocity than the pure frame-difference.

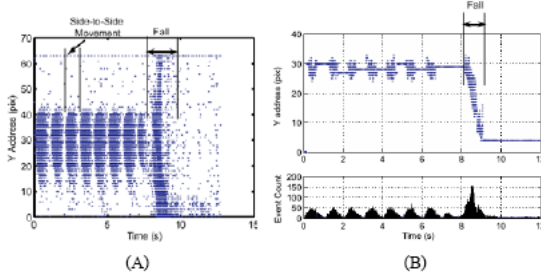


Fig. 3 A: Pure frame-difference fall analysis [6]

B: Centroid and frame-difference event fall analysis [6]

D. Vertical velocity Computation

A fall is detected from vertical velocity of the centroid event. The vertical velocity is represented by equation (5), where Δt is a fixed time period, and Δy_c is a changed coordinate y_c in time period.

$$V_y = \frac{\Delta y_c}{\Delta t} = \frac{y_{c,i} - y_{c,j}}{t_i - t_j} \quad (5)$$

A value of velocity is applied in 2 states (positive and negative area). It depends on the behavior, such as; when a person fall, the centroid vertical velocity is shown in negative area. Fig.4 [6] shows the classification results of three areas. The fall events are in area III. The human behaviors of crouching-down, walking, and getting-up are in area II. Area I shows pet behavior, which has activity near the floor ground.

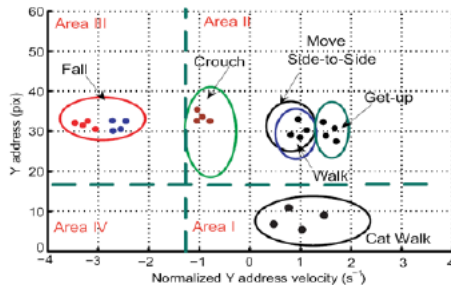


Fig. 4 Results of classification analysis [6]

E. Evaluation of a Fall

Fall detection is either positive if the detector properly recognizes a fall or negative if it does not. A statistical analysis can help on a series of tests.

An evaluation of the fall events is analyzed by measuring the sensitivity and specificity [3] from test cases.

There are four possible cases:

True positive (TP): a fall occurs, the device detects it,

False positive (FP): the device announces a fall, but it did not occur.

True negative (TN): a normal movement (no fall) is performed, the device does not declare a fall, and

False negative (FN): a fall occurs but the device does not detect it.

In this paper, we focus on 2 variables for evaluate the performance of image processing.

In equation (6). Sensitivity is the capacity to detect a fall. The percent of Sensitivity is computed by equation (7).

$$\text{Sensitivity} = \frac{TP}{TP + FN} \quad (6)$$

$$\text{Or } \% \text{Sen} = \% \text{Sensitivity} = \left(\frac{TP}{TP + FN} \right) \times 100\% \quad (7)$$

In equation (8). Specificity is the capacity to detect only a fall. The percent of Specificity is computed by equation (9).

$$\text{Specificity} = \left(\frac{TN}{TN + FP} \right) \quad (8)$$

$$\text{Or } \% \text{SpC} = \% \text{Specificity} = \left(\frac{TN}{TN + FP} \right) \times 100\% \quad (9)$$

III. DESIGN OF FALL DETECTION SYSTEM

A. Overview of system design

A fall detection system is designed for monitoring in a bathroom (Fig.5). The images captured by a camera are processed at real location. The results of fall-events are then sent to the administrator in text or alarm signal formats. Since the raw images are not sent and no sensor mounted to the person, our system can solve the problem at some points that need privacy, or a point of difficulty in using any sensors.

System is also designed to be acknowledged the response from the administrator to confirm the actual fall. In the other word, the person in the bathroom can cancel the alarm if no actual fall. This increases the reliability of the information before sending out to request further help.

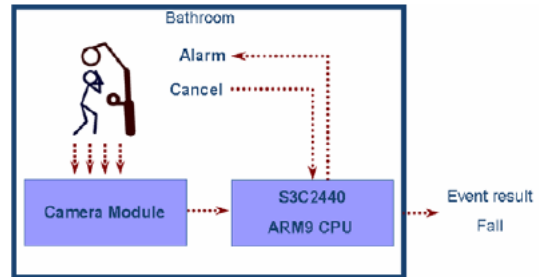


Fig.5 The proposed fall detection system in the bathroom.

B. Fall analysis

The fall behaviour analysis is a vital part in the fall detection system. Many analysis methods are adapted to suit the location, clothing, eg. [3], [4], [6] - [10]. This section presents the proposed algorithm that is simplified from the research of Fu [6] to allow our system can be used in a small embedded system.

Fig. 6 compares the work flow between our algorithm and Fu's algorithm [6]. The common processes are converting RGB to gray scale and calculating the frame difference

between two consecutive frames. Fu's algorithm indicates the potential fall by calculating centroid event which is used to calculate the vertical velocity. If the vertical velocity is higher the threshold, the potential fall is detected.

In contrast, our method performs event count only. According to the assumption that the faster motion causes the more events, the potential fall is detected by checking the event count is more than the specified threshold or not.

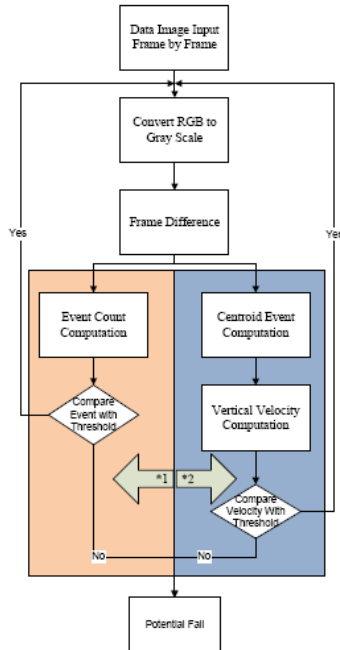


Fig. 6 Flowchart compares the process complexity between the proposed algorithm and Fu's [6].

*1 = Process complexity in C.Teerasak algorithm
*2 = Process complexity in Z.Fu algorithm [6]

IV. EXPERIMENTAL RESULTS

A. Experiment design

The proposed fall detection system was implemented by using Panasonic SV-AS10 camera to record the event in a bathroom. The image has the size of 320x240 pixels and the frame rate of 25 frame/s. The bathroom size is 1x2 m². The test was performed by a 25 year old male with weight 76 kg and height 1.68 m. The equipments were installed at three different height levels: 1.10 m., 1.90 m., and 2.10 m. as shown in Fig.7 and Fig.8.

The basic activities that may occur within the bathroom were divided into three groups:

- 1) The normal movement (movement side to side).
- 2) The crouch down and get up (as a case study that looks similar to the fall down).
- 3) The fall down.

Results recorded for the initial trial is necessary to convert the file into an "avi" format, so that is easier to process by the

application on a computer with Software Microsoft Visual C++ 6.0 (OpenCV Library).

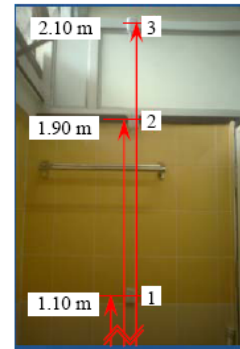


Fig.7 The installation of the equipments in the bathroom.



Fig. 8 Results image from the camera at different levels.

B. Experimental results

This section provides the results obtained from the proposed algorithm. The quality in terms of sensitivity and specificity is also discussed.

Fig.9, 10 and 11 show the examples of the event count results calculated by equation (3) at the heights of 1.10 m., 1.90 m., and 2.10 m., respectively. Obviously, the fall behavior has much high event count than other normal activities. However, the height of the camera has the effects on the event count. At the camera height of 1.10 m, the fall event had over 5000 events. At the camera height of 1.90 m, the fall event had over 2000 events. However, at the camera height of 2.10 m, the fall event had only 1200 events. Therefore, the threshold of each case must be specified case by case. A statistical analysis must be also performed to get the more suitable threshold.

Table 1 shows the number of tests in each environment in terms of light, clothes, and camera heights. The corresponding evaluation results are shown in Table 2. The results show that the camera height has effect on the accuracy of fall detection. At the height of 1.10 m gave 100% sensitivity, whereas the other height did not. The light and the clothes also caused slight error.

TABLE 1 THE NUMBER OF TESTS IN VARIOUS ENVIRONMENTS.

Location of the camera		1.1 0 m.	1.90 m.	2.10 m.
Environment (times)	Turn on the light *	3	3	3
	Turn off the light *	3	3	3
	Extra test**	2	2	2
Total testing		8	8	8

* Trier wore one pair of shorts, ** Trier wore no cloth.

TABLE 2 THE RESULTS OF THE FALL EVALUATION IN VARIOUS ENVIRONMENTS LISTED IN TABLE 1

		Analyse Evaluation(Times)				%Sen	%Spe
		TP	FP	TN	FN		
Height level 1.10 m.	Turn on the light *	3	0	3	0	100%	87.5%
	Turn off the light*	3	1	2	0		
	Extra test**	2	0	2	0		
	Total test	8	1	7	0		
Height level 1.90 m.	Turn on the light *	3	1	2	0	87.5%	62.5%
	Turn off the light*	3	1	2	0		
	Extra test**	1	1	1	1		
	Total test	7	3	5	1		
Height level 2.10 m.	Turn on the light *	2	0	3	1	87.5%	62.5%
	Turn off the light*	3	3	0	0		
	Extra test**	2	0	2	0		
	Total test	7	3	5	1		

* Trier wore one pair of shorts, ** Trier wore no cloth.

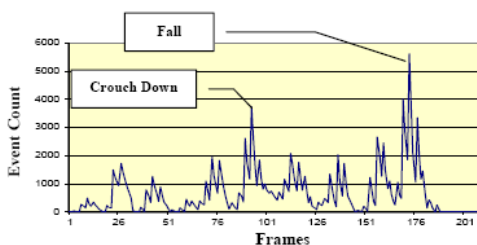


Fig.9 An example result of the test at the height of 1.10 m.

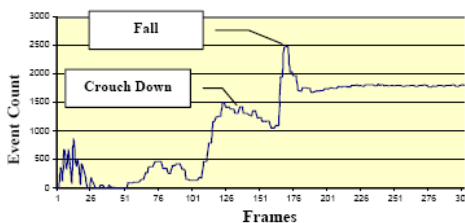


Fig.10 An example result of the test at the height of 1.90 m.

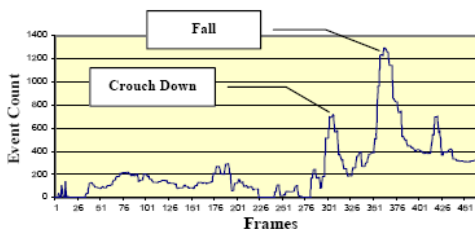


Fig.11 An example result of the test at the height of 2.10 m.

V. CONCLUSIONS

In this paper, we have performed the experiment to prove the analysis of fall detection by the frame-difference method. The experimental results show that it is able to distinguish between risks of falling out of normal behavior. Moreover, the method of analysis also shows the flexibility to install the recording device at different locations. However, the data analysis is needed to complete the set with an appropriate threshold of any different locations.

One of the interesting results in the classification of behavior is that this method can still quite clearly classify the fall behavior from the crouch down-get up behavior which looks similar to the fall down.

However, the reflective light was a case of problems, when we setup the recording device in the high angle (heights of 1.90m. and 2.10m.). This problem is an error from the water and the reflective light.

VI. REFERENCES

- [1] (2009) Database population website. [Online].Available: http://www.cpschula.ac.th/research_division/article_ageing/ageing_001.html/. (in Thai)
- [2] V.Kittisumprayul,(2009), Rehabilitation Association of Thailand homepage.[Online]. Available: http://rehabmed.or.th/assoc/as_thai/news_detail.php?news_id=232.(in Thai)
- [3] T.Kroputaphornchai and N.Suvonvorn,“Fall Detection for Elderly using Image Processing.” B.Eng.Project, Prince of Songkla University, Songkla,Thailand,2007. (in Thai)
- [4] (2010) Prince of Songkla University website.[Online].Available: <http://www.psu.ac.th/node/1663>
- [5] P. Jantaraprim, P. Phukpattaranont, C. Limsakul and B. Wongkittisuksa, “A preliminary study of fall detection for Thai elderly,” in Proc. PEC-7, 2009, p.231-234.
- [6] Z. Fu, T.Delbruck, P.Lichtsteiner and E.Culurciello, “An Address-Event Fall Detector for Assisted Living Applications,” in Proc. TBioCAS Val.2, 2008, p.88-96.
- [7] J.Tao, M.Turjo, M.-F.Wong , M.Wang and Y.-P.Tan, “Fall Incidents Detection for Intelligent Video Surveillance in Information,” in Proc.ICICS 5th, 2005.
- [8] V.Vishwakarma, C. Mandal, and S. Sural, “Automatic detection of human fall in video,” in Proc. PRIMI 2nd, 2007, p. 616-623.
- [9] C.Rougier, J. Meunier, A. St-Arnaud and J. Rousseau, “Fall Detection from Human Shape and Motion History Using Video Surveillance,” in Proc. AINAW 21st, 2007.
- [10] Q.Zhu, S.Avidan, M.-C.Yeh and K.-T.Cheng, “Fast Human Detection Using a Cascade of Histograms of Oriented Gradients,” in Proc. CVPR, 2006.
- [11] E.Culurciello, J.H.Park and A.Savvides, “Address-Event Video Streaming over Wireless Sensor Networks,” in Proc. ISCAS, 2007.

ภาคผนวก ข
การติดตั้งระบบ Embedded Linux

1) การติดตั้ง Toolchain

การติดตั้งให้ทำด้วย root user หากอยู่ใน mode user ขอรรมดาให้ใช้คำสั่ง sudo su แล้วตามด้วย root password

\$sudo su

Password:

จากนั้น ไปยัง directory /opt แล้วทำการ download cross tool chain พร้อมกับแตกไฟล์

cd /opt

wget http://qtextended.org/downloads/toolchains/arm920t-eabi.tgz

tar xzvf arm920t-eabi.tgz -C /

ตรวจสอบไฟล์ที่แตกออกมาจะเห็น directory toolchains เพิ่มขึ้นมา ซึ่งภายใต้ toolchains/arm920t-eabi/bin จะเป็นไฟล์ที่ใช้ในการ cross compile

ls toolchains/arm920t-eabi/bin/

```
root@nsbjcv-laptop:~# ls toolchains/arm920t-eabi/bin/
arm-angstrom-linux-gnueabi-addr2line      arm-angstrom-linux-gnueabi-modprobe
arm-angstrom-linux-gnueabi-ar             arm-angstrom-linux-gnueabi-om
arm-angstrom-linux-gnueabi-as             arm-angstrom-linux-gnueabi-objcopy
arm-angstrom-linux-gnueabi-c++           arm-angstrom-linux-gnueabi-objdump
arm-angstrom-linux-gnueabi-c++filt       arm-angstrom-linux-gnueabi-ranlib
arm-angstrom-linux-gnueabi-cpp           arm-angstrom-linux-gnueabi-readelf
arm-angstrom-linux-gnueabi-depsmod-2.6   arm-angstrom-linux-gnueabi-rmmod
arm-angstrom-linux-gnueabi-g++          arm-angstrom-linux-gnueabi-size
arm-angstrom-linux-gnueabi-gcc          arm-angstrom-linux-gnueabi-strings
arm-angstrom-linux-gnueabi-gcc-4.1.2    arm-angstrom-linux-gnueabi-strip
arm-angstrom-linux-gnueabi-gccbug       arm-linux-ar
arm-angstrom-linux-gnueabi-gcov         arm-linux-c++
arm-angstrom-linux-gnueabi-gdb         arm-linux-cpp
arm-angstrom-linux-gnueabi-generate-modprobe.conf arm-linux-g++
arm-angstrom-linux-gnueabi-gprof        arm-linux-gcc
arm-angstrom-linux-gnueabi-insmod       arm-linux-gcov
arm-angstrom-linux-gnueabi-insmod.static arm-linux-gdb
arm-angstrom-linux-gnueabi-ld          arm-linux-ld
arm-angstrom-linux-gnueabi-lsmmod      arm-linux-strip
arm-angstrom-linux-gnueabi-modinfo
root@nsbjcv-laptop:~#
```

รูปแสดงไฟล์ที่ใช้ในการ cross compile

หลังจากติดตั้งแล้วเราจำเป็นต้องเพิ่ม path ของ cross compile สำหรับการเรียกใช้งาน หากยังอยู่ใน root user ให้ออกจาก root user ไปยัง user ขอรรมดาด้วยปุ่ม ctrl-d และเพิ่มข้อความ export PATH=\$PATH:/opt/toolchains/arm920t-eabi/bin เข้าไปในระบบดังนี้

\$ echo "export PATH=\$PATH:/opt/toolchains/arm920t-eabi/bin" >> .bashrc

หลังจากนั้นทุกครั้งที่เราเข้า shell console ไฟล์ .bashrc จะทำการเพิ่ม path ให้เราโดยอัตโนมัติ restart เครื่องแล้วทดสอบ cross compile โดยคำสั่ง

```
$ arm-angstrom-linux-gnueabi-gcc
```

```
arm-angstrom-linux-gnueabi-gcc: no input files
```

2) การสร้างและติดตั้ง u-boot สำหรับ mini2440
เริ่มต้นด้วยการไปคัดลอกโค้ดล่าสุดมาจากคลังซอร์สโค้ดก่อน

```
$ cd
```

```
$ mkdir uboot
```

```
$ cd uboot
```

```
$ git clone git://repo.or.cz/u-boot-openmoko/mini2440.git
```

กำหนดตัวแปร CROSS_COMPILE เพื่อให้ make ใช้ Cross Tool Chain ของ arm สำหรับการ Compile

```
$ export CROSS_COMPILE=arm-angstrom-linux-gnueabi-
```

```
Compile uboot
```

```
$ cd mini2440
```

```
$ make mini2440_config
```

```
$ make all
```

เมื่อเสร็จสิ้นการ compile เราจะได้ไฟล์ u-boot.bin ซึ่งเราจะได้นำไปใช้ในการติดตั้งบน NAND Flash ต่อไป

3) การติดตั้ง Debian ให้ Boot ด้วย SD Card

หลังจากเสียบ SD Card แล้วให้ตรวจสอบ SD Card ว่าใช้ device อะไรด้วยคำสั่ง fdisk -l

```
$ sudo fdisk -l
```

จากข้อมูลของ sd card ซึ่งตรงกับระบบเป็น /dev/sdc เราจะใช้คำสั่ง fdisk เพื่อสร้าง partition ที่มีลักษณะดังนี้

```
sdc1 - type c (fat32) ขนาด 100MB
```

```
sdc2 - type 83 (Linux) ขนาดเท่ากับที่เหลือ ลบด้วย 128MB
```

sdc3 - type 82 (Linux swap) ขนาด 128MB

หลังจากสร้าง partition เสร็จให้ Format Partition ดังนี้

```
$ sudo mkfs.vfat /dev/sdc1
```

```
$ sudo mkfs.ext3 /dev/sdc2
```

Copy kernel(uImage) ลงใน partition แรก

```
$ sudo mount -t vfat /dev/sdc1 /mnt/sdc1
```

```
$ sudo cp /path ที่เก็บไฟล์/uImage /mnt/sdc1
```

แตก file system และ module ของ kernel ลงไปใน partition ที่สอง

```
$ sudo mount /dev/sdc2 /mnt/sdc2
```

```
$ cd /mnt/sdc2
```

```
$ sudo tar xvjpf /path ที่เก็บไฟล์/telinux-released-032110.tar.bz2
```

```
$ sync
```

```
$ sudo tar xvjpf /path ที่เก็บไฟล์/modules.tar.bz2
```

```
$ sync
```

umount SD Card

```
$ sudo umount /mnt/sdc1
```

```
$ sudo umount /mnt/sdc2
```

หลังจากนั้นให้นำ SD Card ไปเสียบที่บอร์ดเพื่อตั้งค่าของ uboot ให้ boot ด้วย SD Card โดยการ Boot board เข้าสู่ uboot command prompt เขียน boot command และ boot argument ดังต่อไปนี้

```
MINI2440 # setenv bootcmd 'mmcinit ; fatload mmc 0:1 0x31000000 uImage-mini2440 ; bootm 0x31000000'
```

```
MINI2440 # setenv bootargs 'console=ttySAC0,115200n8 rootdelay=3
```

```
root=/dev/mmcblk0p2 rw rootfstype=ext3 rootwait mini2440=2tb'
```

```
MINI2440 # saveenv
```

หลังจากเสร็จขั้นตอนการคอนฟิกให้ uboot บูท ด้วย SD แล้วให้ restart บอร์ดใหม่และ login เข้าระบบด้วย user root โดยไม่ต้องใส่ Password

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ สกุล นายธีรศักดิ์ โชติกวณิชช์

รหัสประจำตัวนักศึกษา 5210120131

วุฒิการศึกษา

วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า-อิเล็กทรอนิกส์)	มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์	2551

ทุนการศึกษา (ที่ได้รับในระหว่างการศึกษา)

- ทุนบัณฑิตศึกษาวิศวกรรมศาสตร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ประจำปีการศึกษา 2553
- ทุนอุดหนุนการวิจัยเพื่อวิทยานิพนธ์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ประจำปีการศึกษา 2553

การตีพิมพ์เผยแพร่ผลงาน

T. Chotikawanid, N. Jindapetch, W. Suntiamorntut and P. Phukpattaranon, "An Embedded System for Privacy Fall Detection based on the Frame-Difference Method," International Conference on Embedded System and Intelligent Technology (ICESIT-2011), pp.20, 2011.