



การพัฒนาหุ่นยนต์แทนตัวทางไกลที่ควบคุมด้วยสมาร์ตโฟน

โดย

นายกริช จันอาจ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาการคอมพิวเตอร์)
ภาควิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
ปีการศึกษา 2558
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

การพัฒนาหุ่นยนต์แทนตัวทางไกลที่ควบคุมด้วยสมาร์ทโฟน

โดย

นายกริช จันอาจ



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (วิทยาการคอมพิวเตอร์)

ภาควิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

ปีการศึกษา 2558

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์



A DEVELOPMENT OF SMART PHONE-CONTROLLED
TELEPRESENCE ROBOTS

BY

MR. KRIT JANARD



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS
FOR THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE (COMPUTER SCIENCE)

DEPARTMENT OF COMPUTER SCIENCE
FACULTY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
THAMMASAT UNIVERSITY

ACADEMIC YEAR 2015

COPYRIGHT OF THAMMASAT UNIVERSITY

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

วิทยานิพนธ์

ของ

นายกริช จันอาจ

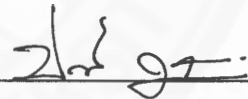
เรื่อง

การพัฒนาหุ่นยนต์แทนตัวทางไกลที่ควบคุมด้วยสมาร์ทโฟน

ได้รับการตรวจสอบและอนุมัติ ให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาการคอมพิวเตอร์)

เมื่อวันที่ 6 กรกฎาคม พ.ศ. 2559

ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



(อาจารย์ ดร.ปรกรณ์ สีสุธิทธิราชชัย)

กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์



(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรวรรณ ตี้อช การ์บายโย)

กรรมการสอบวิทยานิพนธ์



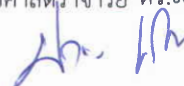
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เสาวลักษณ์ วรรณภา)

กรรมการสอบวิทยานิพนธ์



(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชัยพร ใจแก้ว)

คณบดี



(รองศาสตราจารย์ปรกรณ์ เสริมสุข)

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การพัฒนาหุ่นยนต์แทนตัวทางไกลที่ควบคุมด้วย สมาร์ตโฟน
ชื่อผู้เขียน	นายกริช จันอาจ
ชื่อปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาการคอมพิวเตอร์)
สาขาวิชา/คณะ/มหาวิทยาลัย	สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรวรรณ ดีอัส การ์บาโย
ปีการศึกษา	2558

บทคัดย่อ

หุ่นยนต์แทนตัวทางไกลเป็นนวัตกรรมที่อำนวยความสะดวกให้บุคคลที่อยู่ไกลสามารถสื่อสารกันได้เสมือนว่าอยู่ในสถานที่เดียวกัน ผ่านวิดีโอแบบทันทีทันใด อย่างไรก็ตาม หุ่นยนต์แทนตัวทางไกลมีราคาแพงและยังมีรูปแบบการควบคุมด้วยการกดเมนู จึงขาดความเสมือนจริงเมื่อผู้ใช้ต้องควบคุมหุ่นยนต์ วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จึงนำเสนอทางเลือกในการแก้ปัญหาดังกล่าว โดยการวิจัยและพัฒนาหุ่นยนต์แทนตัวทางไกลซึ่งประมวลผลด้วยคอมพิวเตอร์ราสเบอร์รี่ไพ ที่สามารถเชื่อมต่อทางไกลด้วยเครือข่ายจำลองส่วนตัว และควบคุมการเคลื่อนไหวได้ในสองลักษณะ ได้แก่ ควบคุมโดยการหมุนเอียงของสมาร์ตโฟน และกำหนดให้หุ่นยนต์เคลื่อนไหวเพื่อติดตามใบหน้าบุคคลปลายทางโดยอัตโนมัติ ผลการวิจัยดังกล่าวจะสร้างประโยชน์ในสามประการ ประการแรก มีการรวบรวมและนำเสนอองค์ความรู้ในการพัฒนาหุ่นยนต์แทนตัวทางไกลและการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีด้านวิทยาการคอมพิวเตอร์เพื่อควบคุมการทำงานของหุ่นยนต์ ประการที่สอง ได้หุ่นยนต์แทนตัวทางไกลที่สามารถผลิตได้ในต้นทุนต่ำกว่าสองหมื่นบาท เป็นต้นแบบในการพัฒนาต่อในอนาคต และประการสุดท้าย มีการรายงานผลการทดลองเพื่อประเมินความถูกต้องของการทำงานและเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการสื่อสารเมื่อเทียบกับวิธีการสื่อสารผ่านซอฟต์แวร์ประเภทคุยผ่านวิดีโอออนไลน์ ดังนั้นวิทยานิพนธ์นี้จึงมีส่วนช่วยให้ผู้ใช้งานทั่วไป

มีทางเลือกในการสื่อสารทางไกลในรูปแบบผ่านหุ่นยนต์ ที่เพิ่มความปลอดภัยและความ
เสมือนจริงในการควบคุมหุ่นยนต์

คำสำคัญ: การสื่อสารทางไกล, ควบคุมหุ่นยนต์, ความเสมือนจริง, ตรวจสอบและติดตาม
ใบหน้า, ราบเบอร์รี่ไฟ, สมาร์ทโฟน, หุ่นยนต์แทนตัวทางไกล



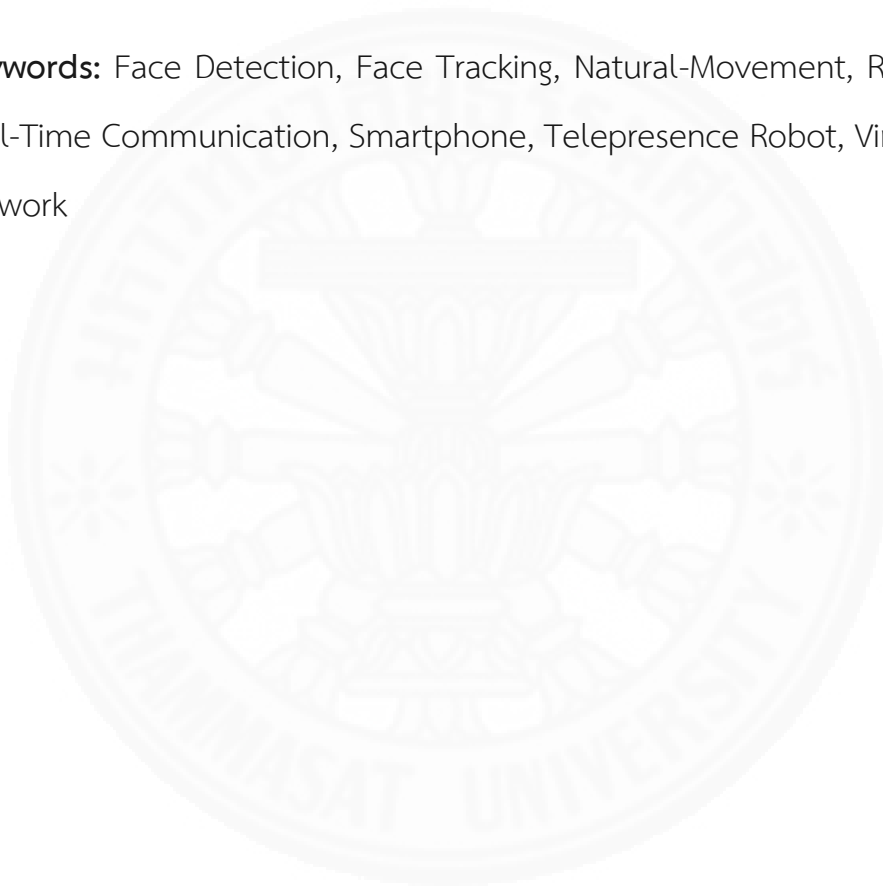
Thesis Title	A development of smart phone-controlled telepresence robots
Author	Mr. Krit Janard
Degree	Master of Science (Computer Science)
Major Field/Faculty/University	Computer Science Science and Technology Thammasat University
Thesis Advisor	Assistant Professor Dr. Worawan Diaz Carballo
Academic Years	2015

ABSTRACT

Telepresence robot is an innovation in facilitating the communication between two parties, who stay in different location, as if they were staying in the same place by using real-time video. However the telepresence robots are not only expensive, but they are normally controlled by pressing buttons which make the controlling process feels unreal. This research address the issues by proposing an implementation of a telepresence robot within a constraint budget. The proposed robot is based on the Raspberry Pi computer. It can be connected over the Internet by using the virtual private network. The robot can be controlled in two ways: by following the direction of movements from the controller smartphone, or by automatically following a face of a communication party in the room, using face tracking technique. The research makes three contributions. First, it presents the collection of knowledge in developing telepresence robots and the involving computer science techniques used to implement the controller. Second, the proposed telepresence robot can be used as a model for further development of telepresence robots within the budget of twenty

thousand baht. Third, the research presents the verification results of the robot functions and the comparison of effectiveness in communication between using the proposed robot and the video chatting. Thus, this research would offer another option for communicating remotely via robots in a secure and natural-movement way of control.

Keywords: Face Detection, Face Tracking, Natural-Movement, Raspberry Pi, Real-Time Communication, Smartphone, Telepresence Robot, Virtual Private Network



กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความกรุณา และการชี้แนะที่เป็นประโยชน์จากกรรมการวิทยานิพนธ์ทุกท่าน ขอขอบพระคุณ อาจารย์ ดร.ปกรณ ลีสุทธิพรชัย ประธานกรรมการวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เสาวลักษณ์ วรรณานา กรรมการ วิทยานิพนธ์ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชัยพร ใจแก้ว ที่ให้ความกรุณาตลอดเวลาเป็นกรรมการ วิทยานิพนธ์ภายนอก โดยเฉพาะ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรวรรณ ดีอัส การ์บาโย กรรมการและที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่คอยแนะนำ แก้ไขข้อบกพร่อง ชี้แนะให้คำปรึกษา และสอนให้รู้จักต่อสู้กับอุปสรรคต่างๆ ผู้ศึกษาขอกราบขอบพระคุณทุกท่านเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณทุนอุดหนุนการทำวิทยานิพนธ์เพื่อนำไปสู่การตีพิมพ์เผยแพร่ ของ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สำหรับการศึกษาค้นคว้าและพัฒนาหุ่นยนต์แทนตัวทางไกลที่ควบคุมด้วย สมาร์ทโฟนจนสามารถตีพิมพ์เผยแพร่ ทฤษฎี เทคนิค และความรู้ต่างๆ ได้เป็นอย่างดี

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ เจ้าหน้าที่ และเพื่อนในภาควิชาคอมพิวเตอร์ทุกท่าน ใน มิตรภาพ และคำแนะนำต่างๆ รวมไปถึงกลุ่มผู้เข้าร่วมการทดลองงานวิจัยและผู้ที่เกี่ยวข้อง ใน คำแนะนำต่างๆ ที่สามารถต่อยอดองค์ความรู้ในการพัฒนาหุ่นยนต์แทนตัวทางไกลให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ท้ายที่สุดขอขอบพระคุณญาติและครอบครัว ที่คอยสนับสนุนและเป็นกำลังใจอย่าง เต็มที่มาโดยตลอด

หากมีข้อบกพร่องประการใดเกิดขึ้นในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้ศึกษาขอน้อมรับไว้เพื่อ ปรับปรุงและพัฒนาให้ดียิ่งขึ้นในโอกาสถัดไป

นายกริช จันอาจ

สารบัญ

บทคัดย่อภาษาไทย.....	(1)
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	(3)
กิตติกรรมประกาศ.....	(5)
สารบัญ.....	(6)
สารบัญภาพ	(9)
สารบัญตาราง.....	(13)
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	4
1.3 ขอบเขต.....	5
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	6
1.5 รายละเอียดของวิทยานิพนธ์.....	7
บทที่ 2 วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	8

2.1 ทบทวนงานวิจัยที่ผ่านมา	8
2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	15
2.3 การศึกษาการใช้งานหุ่นยนต์แทนตัวทางไกลเพื่อการศึกษา.....	28
2.4 สรุปการทบทวนงานวิจัยที่ผ่านมา.....	29
บทที่ 3 วิธีการวิจัย	30
3.1 ระเบียบวิธีการทำวิจัย.....	30
3.2 การออกแบบโครงสร้างหุ่นยนต์แทนตัวทางไกล	31
3.3 การออกแบบระบบหุ่นยนต์แทนตัวทางไกล	37
3.4 การออกแบบการทดลองเพื่อวัดประสิทธิภาพการทำงานของหุ่นยนต์แทนตัวทางไกล	47
3.5 การออกแบบการทดลองเพื่อทดสอบการใช้งาน.....	49
บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล	61
4.1 หุ่นยนต์แทนตัวทางไกลต้นแบบ.....	61
4.2 การควบคุมการเคลื่อนไหวของหุ่นยนต์ด้วยสมาร์ทโฟน	68
4.3 การเคลื่อนไหวด้วยตนเองเพื่อติดตามใบหน้า	78
4.4 ผลการทดลองเพื่อทดสอบการใช้งาน.....	85
4.5 บทสรุปและการอภิปรายผล.....	110
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	118
รายการอ้างอิง	122

ภาคผนวก.....	130
ภาคผนวก ก คุณสมบัติและการใช้งานสิ่งประดิษฐ์ของงานวิจัย	131
ภาคผนวก ข แบบสำรวจการใช้งานหุ่นยนต์แทนตัวทางไกลที่ควบคุมด้วยสมาร์ตโฟน	133
ภาคผนวก ค การแปลความหมายจากผลวิเคราะห์ข้อมูล	141
ภาคผนวก ง ตารางสถิติสรุปผลการทดลองเพื่อทดสอบการใช้งาน	145
ภาคผนวก จ เอกสารงานวิจัยการเร่งประสิทธิภาพการตรวจจับใบหน้า ของหุ่นยนต์แทนตัวทางไกลด้วยราสเบอร์รี่ไพ	157
ภาคผนวก ฉ เอกสารงานวิจัยการประเมินผลการใช้งานของหุ่นยนต์แทนตัวทางไกล ราสเบอร์รี่ไพด้วยแอนดรอยด์สมาร์ตโฟน	164
ประวัติผู้เขียน.....	177

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1.1	พิกเจอร์โฟน โดย บริษัทเบล ซิสเต็ม	2
1.2	หุ่นดินสอมีนิ ดับเบิล และเอวาห้าร้อย (จากซ้ายไปขวา)	3
2.1	หุ่นยนต์คิวบี (ซ้าย) และหุ่นยนต์วีโก้ (ขวา)	8
2.2	ตัวอย่างการใช้งานหุ่นยนต์แทนตัวทางไกลวีโก้เดินคุยทั่วไปภายในอาคาร	14
2.3	หุ่นยนต์มีบอท (ซ้าย) และการควบคุมหุ่นยนต์มีบอท (ขวา)	15
2.4	แผนผังการเข้ารหัสและถอดรหัสโดยรวมของเอชสองทกสี่	16
2.5	การเปรียบเทียบข้อมูลของช่องข้อมูลแต่ละช่องระหว่างภาพ	17
2.6	เทคนิคการเปรียบเทียบค่าความเปลี่ยนแปลงของช่องย่อยของภาพหนึ่งช่อง	17
2.7	การทำนายระหว่างภาพเพื่อใช้แสดงผลภาพถัดไป	18
2.8	การเปรียบเทียบความคมชัดในระดับการบีบอัดที่เท่ากันของ เอ็มพีสอง (ซ้าย) เอ็มพีสี่ (กลาง) เอชสองทกสี่ (ขวา)	18
2.9	การเพิ่มขั้นการส่งข้อมูลของเอสวีซีให้กับส่วนส่งข้อมูลให้กับส่วนรับข้อมูล โดยส่วนรับข้อมูลสามารถเลือกรับชั้นข้อมูลบางชั้นได้	19
2.10	การหาผลลัพธ์จากภาพที่ถูกตัดย่อยออกมาของแอลบีพี	20
2.11	แผนผังการทำงานของระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ระดับล่าง	23
2.12	แผนผังการทำงานของระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์โดยรวมทั้งหมด	25
2.13	วีพีเอ็นประเภทที่ใช้เครื่องลูกข่ายเชื่อมต่อเข้าเครื่องแม่ข่าย (ซ้าย) และเครื่องแม่ข่ายเชื่อมต่อเป็นสะพานระหว่างกัน (ขวา)	26
2.14	โครงสร้างการเข้ารหัสของพีพีทีพี	27
2.15	โครงสร้างการเข้ารหัสของแอลทูทีพี	27
2.16	แผนผังการเชื่อมต่อวีพีเอ็นเพื่อเข้าควบคุมหุ่นยนต์แทนตัวทางไกล	28
3.1	แบบหุ่นยนต์แทนตัวทางไกลด้านหน้า	33
3.2	แบบหุ่นยนต์แทนตัวทางไกลด้านข้าง	33
3.3	แบบหุ่นยนต์แทนตัวทางไกลด้านหลัง	34
3.4	แผนผังวงจรโดยรวมของหุ่นยนต์แทนตัวทางไกล	35
3.5	แผนผังการควบคุมการหันของหุ่นยนต์แทนตัวทางไกลด้วยสมาร์ตโฟน	37

ภาพที่	หน้า
3.6	38
วิธีการรับค่าจากอุปกรณ์วัดความเร่งและอุปกรณ์เข็มทิศมาแปลงเป็นข้อมูลแกนการเคลื่อนไหวแต่ละแกน	
3.7	39
การหันทันซ้ายขวาของหุ่นยนต์ตามการเคลื่อนไหวของสมาร์ทโฟนในแกน Z	
3.8	39
การกัมเมยของหุ่นยนต์ตามการเคลื่อนไหวของสมาร์ทโฟนในแกน X	
3.9	40
แผนผังการเชื่อมต่อและส่งข้อมูลผ่านทีซีพีระหว่างหุ่นยนต์และสมาร์ทโฟน	
3.10	43
แผนผังการรับข้อมูลการเคลื่อนไหวจากสมาร์ทโฟนเพื่อส่งควบคุมมอเตอร์	
3.11	45
แผนผังการทำงานของระบบตรวจจับและติดตามใบหน้า	
3.12	46
คอมพิวเตอร์ราสเบอร์รี่ไพและกล่องราสเบอร์รี่ไพ	
3.13	47
เทคนิคการเรียกใช้งานการเข้ารหัสสองทิศทางจากเว็บแคมส่งผ่านราสเบอร์รี่ไพไปยังสมาร์ทโฟนโดยตรง	
3.14	51
ผู้เข้าร่วมการทดลองอยู่คนละฝั่งกับหุ่นยนต์โดยมีวัตถุวางรอบหุ่นยนต์ให้ผู้ใช้งับกับหุ่นยนต์ให้หันตาม	
3.15	52
ผู้เข้าร่วมการทดลองอยู่คนละฝั่งกับหุ่นยนต์โดยมีวัตถุวางอยู่ในระดับต่างๆด้านหน้าหุ่นยนต์ให้ผู้ใช้งับกับหุ่นยนต์ให้หันตาม	
3.16	53
ขั้นตอนการหันจากวัตถุหนึ่งไปยังอีกวัตถุหนึ่งแนวระนาบจนเสร็จสิ้นการทดลอง	
3.17	53
ตำแหน่งการจัดวางวัตถุหน้าหุ่นยนต์	
3.18	54
ขั้นตอนการหันซ้ายขวาและกัมเมยแนวระนาบและแนวตั้ง	
3.19	54
ขั้นตอนการหันซ้ายขวาและกัมเมยแนวทแยง	
3.20	55
ระยะห่างระหว่างผู้เข้าร่วมการทดลองและหุ่นยนต์	
3.21	55
ตำแหน่งที่ผู้เข้าร่วมการทดลองเคลื่อนที่ให้หุ่นยนต์หันตามแต่ละตำแหน่ง	
3.22	56
ผู้เข้าร่วมทดลองยื่นขึ้นให้หุ่นยนต์เงยหน้าตามจนหยุด	
3.23	56
ผู้เข้าร่วมทดลองนั่งลงให้หุ่นยนต์ก้มลงตามจนหยุด	
3.24	57
ขั้นตอนการเคลื่อนที่ของผู้เข้าร่วมการทดลองให้หุ่นหันตาม	
4.1	61
หุ่นยนต์ต้นแบบรุ่นที่หนึ่ง	
4.2	62
อุปกรณ์ภายนอก (ซ้าย) และภายใน (ขวา) ส่วนหัวของหุ่นยนต์ต้นแบบรุ่นที่หนึ่ง	
4.3	63
หุ่นยนต์ต้นแบบรุ่นที่สอง	
4.4	65
หุ่นยนต์ต้นแบบรุ่นที่สาม	
4.5	65
หุ่นรุ่นที่สามที่กำลังอยู่ในช่วงพัฒนา (ซ้าย) กับหุ่นรุ่นที่สอง (ขวา)	
4.6	66
หุ่นรุ่นที่สองที่ดัดแปลงให้ใกล้เคียงกับหุ่นที่สาม	

ภาพที่	หน้า
4.7 ระบบจ่ายไฟที่ใช้ในคอมพิวเตอร์ทั่วไป ขนาดมาตรฐานเอทีเอ็กซ์	66
4.8 ปัญหาไฟลัดวงจรจนทำให้เกิดการลุกไหม้	68
4.9 ชุดทดสอบการเชื่อมต่อและควบคุมเซอร์โวมอเตอร์เบื้องต้น	69
4.10 ภาพจำลองหน้าจอโปรแกรมควบคุมการหันด้วยสไลด์บาร์เบื้องต้น	70
4.11 ภาพหน้าจอโปรแกรมควบคุมการหันด้วยเซนเซอร์ของสมาร์ทโฟนเบื้องต้น	71
4.12 รูปแบบส่วนการติดต่อกับผู้ใช้งานใหม่ของสมาร์ทโฟน	72
4.13 รูปแบบส่วนติดต่อกับผู้ใช้งานรูปแบบปุ่มควบคุมเสมือน	73
4.14 รูปแบบส่วนติดต่อกับผู้ใช้งานรูปแบบการหันสมาร์ทโฟน	73
4.15 กราฟแสดงการใช้ทรัพยากรด้านการใช้หน่วยความจำของการรับส่งข้อมูล	75
4.16 กราฟแสดงการใช้ทรัพยากรด้านการใช้หน่วยประมวลผลกลางของการรับส่งข้อมูล	76
4.17 กราฟแสดงการใช้ทรัพยากรด้านอัตราการรับส่งข้อมูลของการรับส่งข้อมูล	77
4.18 การทดลองการตรวจจับและติดตามใบหน้าด้วยการดึงประสิทธิภาพบางส่วนจากหน่วยประมวลผลภาพ	79
4.19 กราฟแสดงการใช้ทรัพยากรด้านการใช้หน่วยความจำของการรับส่งข้อมูลร่วมกับระบบตรวจจับและติดตามใบหน้า	82
4.20 กราฟแสดงการใช้ทรัพยากรด้านการใช้หน่วยประมวลผลกลางของการรับส่งข้อมูลร่วมกับระบบตรวจจับและติดตามใบหน้า	83
4.21 กราฟแสดงการใช้ทรัพยากรด้านอัตราการรับส่งข้อมูลของการรับส่งข้อมูลร่วมกับระบบตรวจจับและติดตามใบหน้า	84
4.22 กราฟแสดงข้อมูลเวลาเฉลี่ยของแต่ละกลุ่มอายุในสถานที่ 1-3	89
4.23 กราฟแสดงระดับความพึงพอใจด้านปุ่มกดเสมือนบนสมาร์ทโฟนและการหันสมาร์ทโฟน ของแต่ละกลุ่มอายุ	92
4.24 กราฟแสดงข้อมูลเวลาเฉลี่ยของแต่ละกลุ่มอายุในสถานที่ 4	94
4.25 กราฟแสดงระดับความพึงพอใจด้านการติดตามใบหน้าอัตโนมัติของแต่ละกลุ่มอายุ	97
4.26 กราฟแสดงข้อมูลเวลาเฉลี่ยจากจุดหนึ่งไปอีกจุดหนึ่งของแต่ละประเภทการใช้งาน	99
4.27 กราฟ Steam-and-Leaf เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยเวลาการใช้การตรวจจับและติดตามใบหน้าของกลุ่มอายุ 18-22 ปี (ชาย) และ 23-40 ปี (ชาย)	101
4.28 กราฟแสดงระดับความพึงพอใจก่อนและหลังการทดลองของแต่ละกลุ่มอายุ	104

ภาพที่	หน้า
4.29 กราฟแสดงระดับความพึงพอใจกราฟแสดงข้อมูลระดับความพึงพอใจ การยอมรับคุณภาพของภาพและเสียงของหุ่นยนต์ของแต่ละกลุ่มอายุ	107
4.30 กราฟแสดงระดับความพึงพอใจของการไวใจต่อการใช้งานหุ่นยนต์ผ่าน เครือข่ายส่วนตัวเสมือนของอายุ 18-22 ปี และ 23-40 ปี	109
4.31 เวลาเฉลี่ยของแต่ละผู้เข้าร่วมการทดลองในแต่ละกลุ่มอายุ ด้วยวิธีการใช้ปุ่มควบคุมเสมือนและใช้การหันสมาร์ทโฟน	112
4.32 เวลาเฉลี่ยของแต่ละผู้เข้าร่วมการทดลองในแต่ละกลุ่มอายุ ด้วยวิธีการใช้ระบบควบคุมและตรวจจับใบหน้า	112
4.33 ความแม่นยำต่อการควบคุมหุ่นยนต์แนวนอนและแนวตั้ง	113
4.34 ความแม่นยำต่อการควบคุมหุ่นยนต์แนวเฉียง	113
4.35 ความรวดเร็วต่อการตอบสนองของหุ่นยนต์ในรูปแบบการใช้งานต่างๆ	113
4.36 การยอมรับทางด้านคุณภาพของภาพและเสียงของหุ่นยนต์	114
4.37 ปัญหาส่วนหัวของหุ่นยนต์ที่น้ำหนักมากเกินไป	116
4.38 ตัวอย่างแว่นตาครอบหน้าที่ผู้เข้าร่วมการทดลองสวมใส่	117
5.1 ตัวอย่างการพัฒนาารูปแบบการใช้งานใหม่ในอนาคต	121

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ตารางเปรียบเทียบคุณภาพของภาพและเสียงของคิวบี วีโก้ และอีโว	10
2.2 ผลการโหวตคะแนนโดยผู้เข้าร่วมการทดลองทั้งสิ้นสี่สิบคน	12
2.3 ตารางเปรียบเทียบคุณสมบัติของหุ่นยนต์ปลาเทมเมื่อเทียบกับหุ่นยนต์คิวบี วีโก้ และแจ๊ส	13
2.4 ตารางเปรียบเทียบเทคนิคการตรวจจับใบหน้าแบบต่างๆ	20
2.5 ตารางเปรียบเทียบประสิทธิภาพการตรวจจับใบหน้าของฮาร์ แอลบีพี	21
3.1 แสดงรายละเอียดข้อมูลอุปกรณ์ทั้งหมดของหุ่นยนต์	36
3.2 ประเภทกำหนดค่าการหัน (X or Y Axis Mode)	42
3.3 ประเภทการเพิ่มลดค่าองศาการหัน (Plus or Minus Degree Mode)	42
4.1 การใช้ทรัพยากรพื้นฐานของคอมพิวเตอร์ราสเบอร์รี่ไพก่อนการทดสอบประสิทธิภาพ	74
4.2 ตารางแสดงจำนวนภาพที่ประมวลผลได้ต่อวินาที	80
4.3 การใช้ทรัพยากรพื้นฐานของคอมพิวเตอร์ราสเบอร์รี่ไพก่อนการทดสอบประสิทธิภาพ	82
4.4 แสดงจำนวนร้อยละของกลุ่มผู้เข้าร่วมทดลองจำแนกตามเพศ	85
4.5 แสดงรายละเอียดเกี่ยวกับอายุของกลุ่มผู้เข้าร่วมทดลอง	86
4.6 แสดงรายละเอียดเกี่ยวกับความสูงและปัจจัยการใช้งานติดต่อสื่อสารของผู้เข้าร่วมทดลอง	87
4.7 แสดงรายละเอียดข้อสอบถามและการให้คะแนนของผู้ร่วมทดลองของการควบคุมการเคลื่อนไหวของหุ่นยนต์ด้วยสมาร์ตโฟนและความง่ายต่อการควบคุมหุ่นยนต์ด้วยการหันสมาร์ตโฟน	91
4.8 แสดงรายละเอียดข้อสอบถามและการให้คะแนนของผู้ร่วมทดลองของการควบคุมการเคลื่อนไหวของหุ่นยนต์การเคลื่อนไหวเพื่อติดตามใบหน้าโดยอัตโนมัติ	96
4.9 แสดงรายละเอียดแบบสำรวจความพึงพอใจก่อนและหลังทำการทดลอง	104
4.10 แสดงรายละเอียดแบบสำรวจความพึงพอใจของการยอมรับทางด้านคุณภาพของภาพและเสียงของหุ่นยนต์	107
4.11 แสดงรายละเอียดแบบสำรวจความพึงพอใจของการไว้ใจต่อการใช้งานหุ่นยนต์ผ่านเครือข่ายส่วนตัวเสมือน	109

ตารางที่	หน้า
4.12 สรุปสถิติสำคัญของการประเมินความพึงพอใจก่อนและ หลังทดสอบการใช้งานหุ่นยนต์แทนตัวทางไกล	115
ค.1 ตารางตัวอย่างแสดงรายละเอียดข้อสอบถามและการให้คะแนน ของผู้เข้าร่วมทดลอง	142
ค.2 ตารางตัวอย่างแสดงรายละเอียดความพึงพอใจของกลุ่มผู้เข้าร่วมทดลอง	143
ค.3 ตารางตัวอย่างแสดงรายละเอียดเปรียบเทียบผลข้อมูล	144
ง.1 ตารางข้อมูลการแจกแจงแบบที่เพื่อทดสอบความแตกต่างของกลุ่มอายุ ที่เป็นอิสระต่อกันในเรื่องค่าเฉลี่ยเวลาของแต่ละหมายเลขการทดสอบ	146
ง.2 ตารางเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความพึงพอใจในแต่ละเลขข้อของกลุ่มอายุ 18-22 ปี	147
ง.3 ตารางเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความพึงพอใจในแต่ละเลขข้อของกลุ่มอายุ 23-40 ปี	147
ง.4 ตารางข้อมูลการแจกแจงแบบที่เพื่อทดสอบความแตกต่างของกลุ่มอายุ ที่เป็นอิสระต่อกันในเรื่องค่าเฉลี่ยเวลาของหมายเลขการทดสอบ 7	148
ง.5 ตารางข้อมูลการแจกแจงแบบที่เพื่อทดสอบความแตกต่างของกลุ่มอายุ ที่เป็นอิสระต่อกันในเรื่องค่าเฉลี่ยความพึงพอใจของแต่ละหมายเลขข้อ	148
ง.6 ตารางข้อมูลการแจกแจงแบบที่เพื่อทดสอบความแตกต่างของกลุ่มอายุ ที่เป็นอิสระต่อกันในเรื่องค่าเฉลี่ยเวลาของหมายเลขรูปแบบการทดสอบ 3	149
ง.7 เปรียบเทียบความพึงพอใจของความสะดวกต่อควบคุมหุ่นยนต์ด้วย ปุ่มกดเสมือนบนสมาร์ตโฟนกับความสะดวกต่อการควบคุมหุ่นยนต์ให้หันตามใบหน้า ของแต่ละกลุ่มอายุ	150
ง.8 เปรียบเทียบความพึงพอใจของความสะดวกต่อการควบคุมหุ่นยนต์ด้วย การหันสมาร์ตโฟนกับความสะดวกต่อการควบคุมหุ่นยนต์ให้หันตามใบหน้า ของแต่ละกลุ่มอายุ	151
ง.9 ตารางข้อมูลการแจกแจงแบบที่เพื่อทดสอบความแตกต่างก่อนและ หลังในเรื่องค่าเฉลี่ยความพึงพอใจของแต่ละหมายเลขข้อของกลุ่มอายุ 18-22 ปี	152
ง.10 ตารางข้อมูลการแจกแจงแบบที่เพื่อทดสอบความแตกต่างก่อนและหลัง ในเรื่องค่าเฉลี่ยความพึงพอใจของแต่ละหมายเลขข้อของกลุ่มอายุ 23-40 ปี	152

ตารางที่	หน้า
ง.11 ตารางข้อมูลการแจกแจงแบบที่เพื่อทดสอบความแตกต่างของกลุ่มอายุ ที่เป็นอิสระต่อกันในเรื่องค่าเฉลี่ยเวลาของแต่ละหมายเลขการทดสอบ ของ <u>ก่อน</u> ทำการทดลอง	153
ง.12 ตารางข้อมูลการแจกแจงแบบที่เพื่อทดสอบความแตกต่างของกลุ่มอายุ ที่เป็นอิสระต่อกันในเรื่องค่าเฉลี่ยเวลาของแต่ละหมายเลขการทดสอบ ของ <u>หลัง</u> ทำการทดลอง	154
ง.13 ตารางข้อมูลการแจกแจงแบบที่เพื่อทดสอบความแตกต่างของกลุ่มอายุ ที่เป็นอิสระต่อกันในเรื่องค่าเฉลี่ยความพึงพอใจของแต่ละหมายเลข การทดสอบของการยอมรับทางด้านคุณภาพ ของภาพและเสียงของหุ่นยนต์	155
ง.14 ตารางข้อมูลการแจกแจงแบบที่เพื่อทดสอบความแตกต่างของกลุ่มอายุ ที่เป็นอิสระต่อกันในเรื่องค่าเฉลี่ยความพึงพอใจของแต่ละหมายเลข การทดสอบของการไวใจต่อการใช้งานหุ่นยนต์ ผ่านเครือข่ายส่วนตัวเสมือน	156

บทที่ 1

บทนำ

หุ่นยนต์แทนตัวทางไกล (Telepresence Robot) เป็นนวัตกรรมการสื่อสารที่ใช้ประโยชน์ในการประชุม การเรียนการสอน และการสื่อสารส่วนบุคคล อย่างไรก็ตามข้อจำกัดด้านความเสมือนจริงหรือความเป็นธรรมชาติในการใช้งาน และต้นทุนการผลิต ส่งผลให้ในประเทศไทยมีปริมาณงานวิจัยด้านเทคนิคการพัฒนาหุ่นยนต์เป็นจำนวนน้อย การขาดงานวิจัยที่รวบรวมองค์ความรู้ในการพัฒนาหุ่นยนต์แทนตัวทางไกลทำให้การพัฒนาระบบซอฟต์แวร์ขั้นสูงเพื่อควบคุมและประสานงานกับกลไกการเคลื่อนไหวของหุ่นยนต์ยังจำกัดอยู่ในวงการอุตสาหกรรม

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงมีเป้าหมายเพื่อนำเสนอแนวทางการพัฒนาหุ่นยนต์แทนตัวทางไกล ในลักษณะหุ่นยนต์ตั้งโต๊ะ ที่มีต้นทุนในการผลิตต่ำกว่าหุ่นยนต์ที่มีจำหน่ายในท้องตลาด และนำเสนอการพัฒนาระบบซอฟต์แวร์สามส่วนเพื่อประสานกับกลไกการเคลื่อนไหวและการทำงานของหุ่นยนต์ ซอฟต์แวร์ส่วนที่หนึ่งพัฒนาบนสมาร์ตโฟนที่ใช้ระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ ใช้สำหรับเชื่อมต่อเครือข่ายทางไกลที่มีความปลอดภัยในการควบคุมการเคลื่อนไหวของตัวหุ่นยนต์ด้วยการหมุนเอียงของสมาร์ตโฟน ซอฟต์แวร์ส่วนที่สองเป็นการประยุกต์เทคโนโลยีในการรู้จำใบหน้า นำมาพัฒนาบนหน่วยประมวลผลกราฟิกส์ที่ติดตั้งในตัวหุ่นยนต์เพื่อควบคุมให้หุ่นยนต์สามารถหมุนตามใบหน้าบุคคลที่ต้องการได้โดยอัตโนมัติ ซอฟต์แวร์ส่วนที่สามเป็นการพัฒนาเทคนิคการส่งภาพและเสียงในรูปแบบวิดีโอที่ทันไครระหว่างหุ่นยนต์และสมาร์ตโฟนเพื่อการสื่อสารระหว่างผู้ใช้หุ่นยนต์และสมาร์ตโฟน

วิทยานิพนธ์ในบทที่หนึ่งนี้กล่าวถึง ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัยวัตถุประสงค์และขอบเขตของโครงการ คุณสมบัติของอุปกรณ์และภาพรวมวิธีการใช้งานสมาร์ตโฟนเพื่อควบคุมหุ่นยนต์แทนตัวทางไกล ในส่วนท้ายของบทนี้กล่าวสรุปผลที่คาดว่าจะได้รับเมื่อทำโครงการสำเร็จ และรายงานสรุปโครงสร้างของเนื้อหาในข้อเสนอวิทยานิพนธ์

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การสื่อสารทางไกลด้วยภาพและเสียงในปัจจุบัน ไม่ว่าจะเป็นวิดีโอเทเลฟوني (Video Telephony) ระบบการประชุมทางไกล (Videoconferencing) หรือการสื่อสารแทนตัวทางไกล (Telepresence) มีแนวคิดพัฒนาต่อยอดเป็นเวลากว่าห้าสิบปี การสื่อสารทางไกลด้วยภาพและเสียงเริ่มต้นขึ้นใน พ.ศ. 2507 บริษัท เบล ซิสเต็ม (Bell System) ได้นำเสนอการสื่อสารทางไกลใหม่

พัฒนาขึ้นจากการส่งสัญญาณเสียงเพียงอย่างเดียว เป็นการสื่อสารทางไกลที่มีภาพและเสียงพร้อมกัน ทั้งฝั่งผู้รับและผู้ส่ง มีชื่อผลิตภัณฑ์ คือ พิกเจอร์โฟน (Picturephone) (Davis, 1970) ดังภาพที่ 1.1 พิกเจอร์โฟนถือเป็นนวัตกรรมการสื่อสารทางไกลที่สามารถรับส่งสัญญาณภาพและเสียงพร้อมกันในสมัยนั้น แต่มีข้อจำกัดด้านขนาด ราคา การใช้งาน และเทคโนโลยี เช่น ความล่าช้าของสัญญาณ ความละเอียดของภาพและเสียงที่ต่ำ คลื่นรบกวนสัญญาณภาพและเสียงผิดเพี้ยน และความเข้ากันของสัญญาณภาพและเสียงที่ต้องมาจากผู้ให้บริการเดียวกัน ("Whatever happened to the Picturephone?," 1982) อย่างไรก็ตาม พิกเจอร์โฟนคือจุดเริ่มต้นของระบบสื่อสารทางไกลด้วยภาพและเสียงที่สมบูรณ์ในปัจจุบัน



ภาพที่ 1.1 พิกเจอร์โฟน โดย บริษัทเบล ซิสเต็ม (Davis, 1970)

เทคโนโลยีการสื่อสารทางไกลรูปแบบภาพและเสียงมีการพัฒนาสองรูปแบบ ได้แก่ เทคโนโลยีที่ติดตั้งในสภาพแวดล้อมควบคุมเพื่อให้ผู้ใช้เกิดความรู้สึกเสมือนอยู่ในสถานที่นั้น และเทคโนโลยีที่ใช้หุ่นยนต์เป็นสื่อเพื่อการสื่อสารมีความเสมือนจริง เทคโนโลยีการสื่อสารทางไกลรูปแบบแรกมีเป้าหมายให้ผู้ใช้รู้สึกอยู่ในสถานที่ที่ต้องการ โดยการเตรียมระบบในสภาพแวดล้อมที่เอื้ออำนวยให้อุปกรณ์สื่อสารทำงานได้เต็มประสิทธิภาพ เช่น ห้องสำหรับการประชุมทางไกล (Venolia et al., 2010) ในขณะที่เทคโนโลยีรูปแบบที่สองใช้หุ่นยนต์เป็นสื่อให้การสื่อสารมีความเสมือนจริงมากขึ้น เช่น ระบบเครื่องมือผ่าตัดทางไกลที่ผู้ทำการผ่าตัดสามารถมองเห็น ฟัง พูด และสั่งหุ่นยนต์ผ่าตัดปลายทางได้เสมือนกับอยู่ในห้องปฏิบัติการจริง (Singer, 2010) หุ่นสำรวจสภาพแวดล้อมดาวอังคารที่ผู้ควบคุมสามารถมองเห็น ฟัง และควบคุมหุ่นยนต์ไปทิศทางที่ต้องการบนพื้นผิวดาวอังคาร (Kac, 1998) หรือหุ่นยนต์สำรวจใต้ทะเลสำหรับงานวิจัยที่สามารถสื่อสารด้วยภาพและเสียงแบบทันที (Real-time Video Call) ผ่านระบบอินเทอร์เน็ต (Internet) (Rekleitis, Dudek, Schoueri, Giguere, & Sattar, 2010)



ภาพที่ 1.2 หุ่นดินสอมินิ ดับเบิล และเอวาห้ำร่อย (จากซ้ายไปขวา) (Davies, 2014; DoubleRobotics, 2014; สุกัศนะจินดา, 2014)

การสื่อสารโดยใช้หุ่นยนต์แทนตัวทางไกลเป็นประโยชน์และได้รับการยอมรับในวงการวิทยาศาสตร์ แต่สำหรับผู้ใช้งานทั่วไปยังจำเป็นต้องเลือกใช้การสื่อสารทางไกลผ่านอุปกรณ์สื่อสารด้วยภาพและเสียงเท่านั้น เนื่องจากหุ่นยนต์แทนตัวทางไกลมีราคาสูง เช่น หุ่นยนต์ดินสอมินิ มีราคาประมาณสองแสนบาทต่อตัว (สุกัศนะจินดา, 2014) และหุ่นยนต์ดับเบิล (Double) มีราคาประมาณแปดหมื่นบาทต่อตัว (DoubleRobotics, 2014) หุ่นยนต์แทนตัวทางไกลสำหรับงานด้านธุรกิจเพื่อใช้ในการประชุมยังมีราคาสูงถึงหนึ่งล้านบาทต่อตัว (Davies, 2014) ดังภาพที่ 1.2 องค์กรธุรกิจขนาดเล็ก ขนาดกลาง และหน่วยงานราชการ ที่มีงบประมาณจำกัดจึงไม่สามารถเลือกใช้หุ่นยนต์ทางไกลในการสื่อสารได้

นอกจากนี้ ในปัจจุบันยังมีแหล่งข้อมูลที่รวบรวมงานวิจัยที่สามารถใช้อ้างอิงในการพัฒนาหุ่นยนต์แทนตัวทางไกลที่เหมาะสมอยู่น้อย แม้ว่าบุคคลทั่วไปที่มีความเชี่ยวชาญในการพัฒนาหุ่นยนต์เป็นงานอดิเรกพยายามพัฒนาหุ่นยนต์แทนตัวทางไกลในราคาที่สามารถเข้าถึงได้ แต่ยังคงพบกับปัญหาทางเทคนิคการใช้งานที่มีความซับซ้อนและยุ่งยาก

งานวิจัยฉบับนี้จึงเสนอทางเลือกเพื่อลดปัญหาที่เกิดขึ้นทางด้านราคาและการใช้งานของหุ่นยนต์แทนตัวทางไกลกับผู้ใช้งานทั่วไปให้เข้าถึงได้ง่าย โดยการนำความรู้จากแหล่งชุมชนที่มีความสนใจทางด้านการพัฒนาหุ่นยนต์ และทรัพยากรงานวิจัยเกี่ยวกับหุ่นยนต์มารวมกันพัฒนาหุ่นยนต์แทนตัวทางไกลให้สามารถใช้งานได้จริงและมีราคาต่ำกว่าหุ่นยนต์ประเภทเดียวกันที่มีจำหน่ายอยู่ในปัจจุบัน โดยงานวิจัยนี้จะใช้คอมพิวเตอร์ราสเบอร์รี่ไพ (RaspberryPi, 2012) เป็นอุปกรณ์หลักที่มีประสิทธิภาพมากพอตามความสามารถของหน่วยประมวลผล Broadcom BCM2835 SoC (Broadcom, 2014) มาใช้ในการวิจัยและทดลองกับหุ่นยนต์แทนตัวทางไกลที่สามารถควบคุมการเคลื่อนไหว โดยใช้การหมุนเอียงของสมาร์ตโฟนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ (Android) ซึ่งอุปกรณ์ดังกล่าวจะมีการตั้งเป้าหมายให้ราคาหุ่นทั้งหมดต่อหุ่นยนต์หนึ่งตัวไม่เกินสองหมื่นบาทต่อตัว

1.2 วัตถุประสงค์

การจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีเป้าหมายเพื่อรวบรวมองค์ความรู้จากแหล่งชุมชนที่มีความสนใจในการพัฒนาหุ่นแทนตัวทางไกล มาผนวกกับองค์ความรู้งานวิจัยทางวิชาการเกี่ยวกับการพัฒนาหุ่นยนต์ที่ได้รับการเสนอและตีพิมพ์สู่สาธารณะ เพื่อใช้ในการพัฒนาหุ่นยนต์แทนตัวทางไกล สำหรับการสื่อสารส่วนบุคคล การประชุม การสื่อสารในองค์กร และการสื่อสารทางไกลสำหรับการศึกษา โดยใช้ต้นทุนการผลิตไม่เกินสองหมื่นบาทต่อตัว เพื่อเป็นทางเลือกให้ผู้ใช้งานทั่วไปเข้าถึงการใช้งานของหุ่นยนต์ได้ง่าย

ทั้งนี้ เพื่อให้การวิจัยดำเนินการบรรลุตามเป้าหมายดังกล่าว จึงกำหนดวัตถุประสงค์ของการพัฒนาและใช้งานของการพัฒนาหุ่นยนต์แทนตัวทางไกลด้วยระบบวีดีโอที่สามารถควบคุมผ่านสมาร์ตโฟนดังนี้

1.2.1 เพื่อพัฒนาหุ่นยนต์และระบบควบคุมหุ่นยนต์ที่มีความสามารถดังนี้

- (1) สามารถหันซ้ายขวา และสามารถก้มเงยหน้าได้ โดยใช้มอเตอร์เซอร์โว (Servo Motor) จำนวนสองตัวในการขับเคลื่อนการเคลื่อนไหวในแนวตั้งและแนวขวาง
- (2) สามารถแสดงผลบนจอภาพ รับส่งข้อมูลภาพและเสียงสำหรับการสื่อสารตามเวลาจริง โดยใช้คอมพิวเตอร์ระบบวีดีโอเป็นตัวประมวลผลข้อมูลร่วมกับอุปกรณ์อื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง เช่น เว็บแคม (Webcam) ลำโพง (Speaker) และไมโครโฟน (Microphone)
- (3) สามารถควบคุมการเคลื่อนไหวของหุ่นยนต์แบบอัตโนมัติ ในกรณีที่ไม่ได้ใช้สมาร์ตโฟน ควบคุมการเคลื่อนไหว โดยอิงกับการตรวจจับตำแหน่งใบหน้าของคู่สนทนาเพื่อคำนวณตำแหน่งของใบหน้าและเคลื่อนไหวตาม
- (4) มีระบบควบคุมการเคลื่อนไหวของหุ่นยนต์ด้วยตัวผู้ใช้งานเองผ่านสมาร์ตโฟน โดยรับข้อมูลจากเซนเซอร์ตรวจจับการเคลื่อนไหว (Moving Detector Sensor) ของสมาร์ตโฟน
- (5) มีระบบรับ-ส่งข้อมูลกลางแบบเข้ารหัส (Virtual Private Network) ระหว่างหุ่นยนต์แทนตัวทางไกลและสมาร์ตโฟน ผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต หรือเครือข่ายท้องถิ่นทั่วไป (Local Area Network)

1.2.2 เพื่อศึกษาวิธีการปรับปรุงสมรรถนะในการตรวจจับใบหน้าของหุ่นยนต์แทนตัวทางไกล ซึ่งประมวลผลบนคอมพิวเตอร์ราสเบอร์รี่ไพ

1.2.3 เพื่อประเมินการใช้งาน (Usability Evaluation) หุ่นยนต์แทนตัวทางไกลอย่างเป็นระบบ

1.3 ขอบเขต

เพื่อให้การพัฒนาหุ่นยนต์แทนตัวทางไกลที่ควบคุมด้วยสมาร์ตโฟนสำเร็จได้ตามเป้าหมาย ทางผู้วิจัยจึงได้กำหนดขอบเขตของงานวิจัยออกมา ดังนี้

1.3.1 มีการพัฒนาหุ่นยนต์แทนตัวทางไกลขึ้นมาอย่างน้อยหนึ่งชุด เพื่อศึกษาสมรรถนะการทำงานและการเคลื่อนไหวของระบบในการใช้หุ่นยนต์แทนผู้เข้าร่วมประชุม

1.3.2 หุ่นยนต์แทนตัวทางไกลจะสามารถทำงานหลักได้โดยมีคอมพิวเตอร์ราสเบอร์รี่ไพเป็นตัวควบคุมการทำงาน เชื่อมต่อกับวงจรควบคุมมอเตอร์ กล้องเว็บแคมสองตัว จอภาพ ลำโพง และอุปกรณ์เสริมอื่น โดยมีขอบเขตการทำงานดังนี้

- (1) มีโครงสร้างที่สามารถหันซ้าย-ขวา และสามารถก้มเงยหน้าได้ โดยผ่านวงจรควบคุมมอเตอร์ขับเคลื่อนที่รับคำสั่งมาจากราสเบอร์รี่ไพ
- (2) สามารถเคลื่อนไหวตามการควบคุมทิศทางของหุ่นยนต์ด้วยการเอียงหรือหมุนสมาร์ตโฟนของผู้ใช้งานได้
- (3) สามารถเคลื่อนไหวตามการควบคุมทิศทางอัตโนมัติของหุ่นยนต์ด้วยการตรวจจับตำแหน่งใบหน้าของคู่สนทนาด้วยเว็บแคมตัวที่หนึ่ง
- (4) สามารถรับส่งภาพและเสียงตามเวลาจริงไปยังสมาร์ตโฟนได้ผ่านเว็บแคมตัวที่สองสำหรับภาพ และผ่านไมโครโฟนสำหรับเสียง
- (5) สามารถหยุดการรับส่งภาพและเสียง หรืออย่างใดอย่างหนึ่งที่ตัวหุ่นยนต์ได้
- (6) มีระบบการแสดงผลบนจอภาพที่ชัดเจนพอในการมองเห็นในระยะอย่างน้อยสองเมตร
- (7) สามารถเชื่อมต่อกับเครือข่ายท้องถิ่นหรือเครือข่ายอินเทอร์เน็ตผ่านอุปกรณ์เครือข่ายของคอมพิวเตอร์ราสเบอร์รี่ไพ

1.3.3 สมาร์ตโฟนที่ใช้ควบคุมหุ่นยนต์จะต้องมีกล้องด้านหน้า มีเซนเซอร์วัดความเร่งและความเอียง (Accelerometer and Gyroscope Sensor) หรือเซนเซอร์เข็มทิศ

(Compass Sensor) ใช้ระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์รุ่นสี่ขึ้นไป และต้องมีการเชื่อมต่อเข้าสู่เครือข่ายท้องถิ่นหรืออินเทอร์เน็ตเพื่อติดต่อเข้าไปยังระบบรับส่งข้อมูลกลางแบบเข้ารหัสในขณะที่ใช้งาน

1.3.4 ระบบควบคุมหุ่นยนต์จากสมาร์ทโฟนมีความสามารถดังต่อไปนี้

- (1) ควบคุมการเคลื่อนไหวของหุ่นยนต์แทนตัวทางไกลได้โดยใช้การหมุนสมาร์ทโฟน ไปด้านซ้ายขวา และก้มเงยได้
- (2) ควบคุมการเคลื่อนไหวของหุ่นยนต์แทนตัวทางไกลได้โดยใช้ปุ่มควบคุมทิศทางเสมือนบนหน้าจอของสมาร์ทโฟนได้
- (3) กำหนดให้หุ่นยนต์เคลื่อนไหวตามตำแหน่งใบหน้าของคู่สนทนาได้โดยอัตโนมัติ
- (4) มีการรับส่งภาพและเสียงแบบทันทีจากสมาร์ทโฟนไปยังหุ่นยนต์ได้
- (5) ออกคำสั่งหยุดการรับส่งภาพและเสียง หรืออย่างใดอย่างหนึ่งที่ตัวสมาร์ทโฟนได้
- (6) กำหนดให้แสดงภาพนิ่งแทนภาพเคลื่อนไหวไปยังหุ่นยนต์ได้

1.3.5 ระบบรับส่งข้อมูลกลางแบบเข้ารหัสใช้เพื่อการรับส่งข้อมูลระหว่างหุ่นยนต์และสมาร์ทโฟนผ่านเครือข่ายท้องถิ่นหรืออินเทอร์เน็ตในช่วงที่มีการสื่อสารหรือการประชุมเท่านั้น

1.3.6 หุ่นยนต์แทนตัวทางไกลแต่ละตัวสามารถใช้เป็นตัวแทนผู้ใช้งานใดก็ได้ที่มีระบบควบคุมติดตั้งอยู่บนสมาร์ทโฟน แต่ในระหว่างที่มีการใช้งานกับผู้ใช้งานคนใดคนหนึ่งอยู่นั้น ผู้ใช้งานคนอื่นจะไม่สามารถเข้ามาแทรกแซงการใช้งานได้จนกว่าจะสิ้นสุดการใช้งานออกจากหุ่นยนต์ตัวที่ใช้อยู่ในขณะนั้น

1.3.7 หุ่นยนต์ไม่สามารถเคลื่อนที่ และไม่สามารถปรับระดับความสูงของตนเองได้

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ได้หุ่นยนต์แทนตัวทางไกลที่มีประสิทธิภาพและราคาที่สามารถเข้าถึงได้ โดยใช้สมาร์ทโฟนในการสื่อสารและควบคุมการทำงานของหุ่นยนต์ผ่านเครือข่ายทางไกลที่สามารถเข้ารหัสเพื่อความปลอดภัยต่อการติดต่อสื่อสารและการรับส่งข้อมูลส่วนตัวระหว่างกัน ขยายขีดความสามารถในการสื่อสารของการประชุมระดับองค์กรระดับเล็ก กลาง งานราชการ หรือการสนทนาส่วนตัวให้มีปฏิสัมพันธ์มากขึ้น

1.4.2 ได้นำเสนอวิธีการทางคอมพิวเตอร์เพื่อปรับปรุงสมรรถนะในการตรวจจับใบหน้าของหุ่นยนต์แทนตัวทางไกล ซึ่งประมวลผลบนคอมพิวเตอร์ราสเบอร์รี่ไพ

1.4.3 ได้นำเสนอผลการประเมินการใช้งานหุ่นยนต์แทนตัวทางไกล

1.5 รายละเอียดของวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จัดทำขึ้นเพื่อนำเสนอการพัฒนาหุ่นยนต์แทนตัวทางไกลที่ควบคุมด้วยสมาร์ตโฟน โดยในบทที่หนึ่งได้กล่าวถึงที่มาของปัญหา วัตถุประสงค์ในการทำวิจัย และภาพรวมของการดำเนินการวิจัย บทที่สองกล่าวถึงทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในการพัฒนาหุ่นยนต์แทนตัวทางไกล รวมทั้งองค์ความรู้เกี่ยวกับกลไกการออกแบบและควบคุมการเคลื่อนไหวของหุ่นยนต์ บทที่สามกล่าวถึงขั้นตอนการวิจัยและการออกแบบหุ่นยนต์แทนตัวทางไกล บทที่สี่กล่าวถึงผลลัพธ์ในการพัฒนาหุ่นยนต์แทนตัวทางไกลและการพัฒนาซอฟต์แวร์เพื่อควบคุมหุ่นยนต์แทนตัวทางไกล และบทที่ห้ารายงานสรุปเนื้อหาที่กล่าวในวิทยานิพนธ์ทั้งหมด

บทที่ 2

วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การพัฒนาหุ่นยนต์แทนตัวทางไกลที่ควบคุมด้วยสมาร์ตโฟนให้บรรลุผลสำเร็จตามวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้ จำเป็นต้องใช้ความรู้พื้นฐานจากการทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ในบทนี้กล่าวถึงงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเทคนิค วิธีการ แนวทาง และการนำไปใช้งานของหุ่นยนต์แทนตัวทางไกลที่ผ่านมาในรูปแบบต่างๆ ว่ามีข้อดี ข้อบกพร่อง หรือส่วนที่สามารถนำไปต่อยอดในอนาคตได้อย่างไร รวมไปถึงการแนะนำถึงทฤษฎีทางเลือกที่ทีมวิจัยได้คิดว่าเป็นทางเลือกที่ดีที่สุดสำหรับนำไปใช้กับหุ่นยนต์แทนตัวทางไกลอย่างเหมาะสม

2.1 ทบทวนงานวิจัยที่ผ่านมา

2.1.1 การศึกษากรณีการใช้งานหุ่นยนต์แทนตัวทางไกลในสำนักงาน

ทีมวิจัยของบริษัทกูเกิล (Google Inc.) และมหาวิทยาลัยแมสซาชูเซตส์ โลเวลล์ (University of Massachusetts Lowell) ได้ศึกษากรณีการใช้งานของหุ่นยนต์แทนตัวทางไกลในการใช้งานภายในสำนักงานโดยวิเคราะห์กรณีการใช้งานของหุ่นยนต์คิวบี (QB) หุ่นยนต์วีโก้ (VGo) ดังภาพที่ 2.1 (Tsui, Desai, Yanco, & Uhlik, 2011)



ภาพที่ 2.1 หุ่นยนต์คิวบี (ซ้าย) และหุ่นยนต์วีโก้ (ขวา) (Tsui et al., 2011)

ผลการวิจัยพบว่าการใช้หุ่นยนต์ควิปีและหุ่นยนต์วีโก้ภายในห้องประชุมได้รับความนิยมนจากผู้เข้าร่วมทำการทดลองจำนวนสามกลุ่มจากทั้งหมดหกกลุ่ม สาเหตุมาจากสภาพแวดล้อมการใช้งานหุ่นยนต์แทนตัวทางไกลของทั้งสามกลุ่มที่นิยมใช้จะทำหน้าที่เป็นผู้พูดคนเดียวกระจายเสียงให้หลายคนได้ยิน แต่อีกสองกลุ่มที่มีปัญหาการใช้งานหุ่นยนต์แทนตัวทางไกลในห้องประชุมจะทำหน้าที่คุยแบบตัวต่อตัว กลุ่มสุดท้ายได้ยกเลิกการใช้งานหุ่นยนต์แทนตัวทางไกลภายในห้องประชุมเนื่องจากผู้ที่ใช้หุ่นยนต์แทนตัวทางไกลได้รับการเดินทางเพื่อมาทำธุระในบริเวณใกล้เคียงกับพื้นที่ประชุมในช่วงเวลาการทดลองพอดี

ปัญหาที่เกิดขึ้นของสองกลุ่มที่มีปัญหาการใช้งานหุ่นยนต์แทนตัวทางไกล คือ ความไม่ไวใจในการใช้งาน และปัญหาการควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์แทนตัวทางไกลที่มีข้อจำกัดทางด้านมุมมองและส่วนติดต่อกับผู้ใช้งานไม่เป็นธรรมชาติเมื่อใช้ในห้องประชุม แต่กลุ่มที่มีปัญหาสองกลุ่มนี้ยังคงใช้หุ่นยนต์แทนตัวทางไกลในทางเดินภายในสำนักงานนอกห้องประชุมตามปกติ

ประเด็นปัญหาของความไม่ไวใจในการใช้งานหุ่นยนต์แทนตัวทางไกลของสองกลุ่มที่มีปัญหา คือ ผู้เข้าร่วมทดลองไม่แน่ใจในความปลอดภัยของการเข้ารหัสข้อมูลที่ใช้รับส่งภาพและเสียงผ่านบริการกลุ่มเมฆ (Cloud Service) ของหุ่นยนต์ควิปีและหุ่นยนต์วีโก้ ผลการศึกษารณีการใช้งานยังพบปัญหาของการควบคุมหุ่นยนต์แทนตัวทางไกลที่ผู้เข้าร่วมทำการทดลองทุกกลุ่มพบ ได้แก่ ผู้ที่ใช้หุ่นยนต์แทนตัวทางไกลเข้าประชุมมักจะใช้หุ่นยนต์หันเพียงซ้ายขวาอย่างเดียว แม้จะสามารถปรับความสูงของหุ่นยนต์เองได้ เหตุเนื่องมาจากความไม่เป็นอิสระในการปรับมุมมองทางฝั่งผู้เข้าร่วมประชุม จึงส่งผลให้การสนทนาระหว่างบุคคลที่ต้องเห็นหน้าระหว่างกัน (Eye contact) เพื่อดึงดูดสนใจในการสนทนาลดลง และผลสำรวจของ บริษัท เรนแดนซ์ คอมมูนิเคชัน (Raindance Communications) (Gilbert, 2004) ได้สนับสนุนผลข้อมูลไปในทิศทางเดียวกันกับงานวิจัยที่แสดงให้เห็นว่าผู้เข้าร่วมประชุมมีสิทธิ์ที่จะกระทำการอื่นที่ไม่เกี่ยวกับเรื่องในที่ประชุมและขาดความสนใจในการสนทนาหรือประเด็นในที่ประชุมอย่างมีนัยสำคัญ

นอกจากนี้ทางทีมวิจัยได้ศึกษาการใช้งานหุ่นยนต์แทนตัวทางไกลที่ใช้ในทางเดินภายในสำนักงานเพื่อศึกษารณีการใช้งานเมื่อมีการสนทนาแบบเห็นหน้ากัน ผลการศึกษพบว่านอกจากเรื่องการสนทนาที่ต้องเห็นหน้าระหว่างกันเพื่อดึงดูดความสนใจในการสนทนาแล้ว ยังมีในเรื่องของเสียงสนทนาที่ต้องหันทิศทางไปยังคู่สนทนา และระดับเสียงที่ต้องปรับได้อย่างเหมาะสมตามสภาวะแวดล้อมที่อยู่ในขณะนั้นด้วย

ผลการศึกษางานวิจัยนี้ชี้ให้เห็นว่าการใช้หุ่นยนต์แทนตัวทางไกลในบริเวณทางเดินภายในสำนักงานทำให้การสนทนาแบบตัวต่อตัวมีประสิทธิภาพดีและอาจช่วยดึงดูดสนใจในการสนทนาได้ การใช้หุ่นยนต์แทนตัวทางไกลในห้องประชุมสามารถดึงความสนใจในห้องประชุมได้

เหมือนกับบุคคลคนนั้นอยู่ในห้องประชุมนั้นจริง แต่หุ่นยนต์แทนตัวทางไกลยังไม่เหมาะที่จะนำมาใช้เพื่อการสนทนาแบบตัวต่อตัวในห้องประชุม เนื่องจากการควบคุมหุ่นยนต์ยังไม่เป็นอิสระและธรรมชาติ

2.1.2 คุณสมบัติสำคัญที่หุ่นยนต์แทนตัวทางไกลพึงมี

ทีมนักวิจัยของบริษัทกูเกิลและมหาวิทยาลัยแมสซาชูเซตส์ โลเวลล์ ได้กล่าวถึงคุณสมบัติสำคัญที่หุ่นยนต์แทนตัวทางไกลพึงมี (Desai, Tsui, Yanco, & Uhlik, 2011) เป็นแนวทางในการพัฒนาต่อยอด รวมไปถึงการทำนายคุณสมบัติหุ่นยนต์แทนตัวทางไกลรุ่นต่อไปว่าควรเป็นอย่างไรในอนาคต โดยสามารถสรุปได้สี่คุณสมบัติ ดังนี้

ตารางที่ 2.1 ตารางเปรียบเทียบคุณภาพของภาพและเสียงของคิวบี วีโก้ และอีโว (Desai et al., 2011)

Video characteristics	QB vs EVO	VGo vs EVO	QB vs VGo
Overall quality	QB (4.17 vs 4.08)	Same (4 vs 4)	QB (4.17 vs 4)
Field of view	QB (3 vs 3.5)	Same (3 vs 3)	QB (3.5 vs 3)
Scale perception	QB (5.25 vs 4.42)	VGo (4.67 vs 4.08)	QB (5.25 vs 4.67)
Pauses in video	QB (4.17 vs 3.25)	EVO (5.92 vs 3.82)	QB (4.17 vs 5.91)
Latency	QB (3 vs 5.17)	EVO (4.42 vs 4.33)	QB (3 vs 4.42)
Contrast	EVO (3.91 vs 5)	VGo (5.08 vs 4.08)	VGo (3.92 vs 5.08)
Resolution	EVO (3.17 vs 3.67)	VGo (3.75 vs 2.67)	VGo (3.17 vs 3.75)
Color depth	EVO (3.5 vs 4.8)	VGo (4.75 vs 3.83)	VGo (3.5 vs 4.75)
Degradation in quality	EVO (4.16 vs 4.08)	EVO (4.58 vs 4.67)	VGo (3.58 vs 4.58)

การใช้ความกว้างของสัญญาณ ความต่อเนื่องของสัญญาณ และความเร็วของสัญญาณให้เหมาะสมกับหุ่นยนต์นั้นมีผลต่อคุณภาพของการแสดงผลภาพและเสียง ซึ่งทีมนักวิจัยได้เลือกเปรียบเทียบระบบภาพและเสียงของคิวบี วีโก้ และอีโว (EVO) (EvoTechnology, 2014) ตามตารางที่ 2.1 การเปรียบเทียบคุณภาพของภาพของคิวบีที่เป็นไปได้ว่าใช้ตัวแปลงสัญญาณแบบเฮชสองทกสี่ เอสวีซี (H.264 SVC Codec) (Woon, 2013) อาจมีค่าความไวในการตอบสนองมากกว่าตัวแปลงสัญญาณแบบเฮชสองทกสี่เอวีซี (H.264 AVC Codec) ของวีโก้ (VgoCommunications, 2010) แต่คุณภาพของภาพนั้นถูกลดทอนลงเพื่อประหยัดความกว้างสัญญาณ ทำให้การรับส่งข้อมูลภาพได้รวดเร็วยิ่งขึ้น (Schwarz, Marpe, & Wiegand, 2007) จึงทำให้เหมาะกับหุ่นยนต์แทนตัวทางไกลแบบเคลื่อนที่และการสนทนาแบบส่วนตัว แต่หากใช้ในห้องประชุม ตัวแปลงสัญญาณแบบเฮชสองทกสี่เอวีซีจะทำหน้าที่ได้ดีกว่า เนื่องจากสามารถทำความละเอียดของภาพและความถูกต้องของสีได้

เป็นอย่างดี จึงเหมาะกับการดูงานนำเสนอแบบละเอียดภายในห้องประชุม อย่างไรก็ตามปัญหาเรื่องคุณภาพเสียง เสียงสะท้อน เสียงก้อง และเสียงขาดหาย ยังสามารถเกิดขึ้นได้กับหุ่นที่นำมาทดสอบ โดยเฉพาะคิวบีที่จะเกิดปัญหาเสียงขาดหายได้มากที่สุด

ปัญหาส่วนหนึ่งของการควบคุมหุ่นยนต์แทนตัวทางไกลจะเกิดขึ้นได้จากการออกแบบส่วนติดต่อกับผู้ใช้งานที่ไม่เหมาะสม ดังนั้นการออกแบบส่วนติดต่อกับผู้ใช้งานของส่วนควบคุมหุ่นยนต์แทนตัวทางไกลจะต้องไม่ยุ่งยาก ไม่ซับซ้อน ตอบสนองรวดเร็ว ใช้งานได้ง่าย ไม่ทำให้ผู้ใช้งานรู้สึกสับสน และสภาพทางกายภาพของหุ่นยนต์ควรมีการออกแบบให้เหมาะสมกับการใช้งาน ดังนี้

คุณสมบัติของการออกแบบตัวหุ่นยนต์

- (1) หุ่นยนต์แทนตัวทางไกลควรปรับความสูงได้ที่ความสูงระดับ 1.5 - 1.8 เมตร สำหรับการสนทนาแบบนั่ง เดิน และยืน
- (2) กล้องที่ติดตั้งกับหุ่นยนต์ควรมีสองชุดเป็นอย่างน้อย เพื่อใช้ในการสนทนาและดูเส้นทางเดินไปด้วยในกรณีที่กล้องการสนทนาหรือส่วนหัวของหุ่นยนต์แทนตัวทางไกลสามารถหันซ้ายขวา หรือก้มเงยได้
- (3) ความเร็วในการเคลื่อนที่ควรอยู่ประมาณ 5 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ซึ่งเป็นความเร็วของการเดินอย่างปกติของมนุษย์ และควรมีการทำงานที่เคลื่อนที่อัตโนมัติได้ด้วย แต่ความเร็วการเดินทางโดยเฉลี่ยของมนุษย์ที่ได้จากการทดลอง สามารถวัดค่าเฉลี่ยได้ที่ 2.25 กิโลเมตรต่อชั่วโมง
- (4) ความกว้างในการมองเห็นควรจะกว้างที่สุดเท่าที่เป็นไปได้ จากผลสำรวจของผู้เข้าร่วมการทดลองได้ลงความเห็นว่าการให้มุมมองในการมองเห็นกว้างที่สุดเท่าที่เป็นไปได้

คุณสมบัติการมีตัวตนหรือการยอมรับทางสังคมของหุ่นยนต์แทนตัวทางไกลสืบเนื่องมาจากความไม่ไว้วางใจในตัวระบบของหุ่นยนต์และความปลอดภัยในการใช้งาน แม้ว่าหุ่นยนต์แทนตัวทางไกลบางรุ่นได้รับการแก้ไขปัญหานี้โดยมีการแจ้งเตือนด้วยเสียงพร้อมภาพแสดงตลอดเวลาว่ามีคนเข้าใช้งานในช่วงใด ออกจากการใช้งานในช่วงใด กำลังทำอะไรกับตัวหุ่นยนต์ ซึ่งยังต้องวิจัยและพัฒนาให้สามารถเป็นที่ยอมรับในทางสังคมมากขึ้นในอนาคต

ความสำคัญของการศึกษางานวิจัยนี้เน้นเรื่องการยอมรับทางสังคมของหุ่นแทนตัวทางไกลที่ยังต้องปรับปรุง ซึ่งคุณสมบัติที่หุ่นยนต์แทนตัวทางไกลพึงมีทั้งสี่คุณสมบัติเป็นเพียงแนวทางในการพัฒนาต่อยอดในอนาคตเพื่อให้หุ่นยนต์มีคุณสมบัติเป็นที่ยอมรับทางสังคม

2.1.3 การพัฒนาระบบหุ่นยนต์แทนตัวทางไกลในยุคถัดไป

บูดิฮอลและคณะได้ศึกษาหาความเป็นไปได้ของการพัฒนาการสื่อสารทางไกลด้วยภาพและเสียงรูปแบบใหม่ของหุ่นยนต์แทนตัวทางไกล (Budihal, Mohanan, Anand, & Kamat, 2011) ด้วยการควบคุมหุ่นยนต์ปลาแทม (PRATAM) หรือหุ่นยนต์แทนตัวทางไกลที่ทางคณะได้พัฒนาขึ้นด้วยอุปกรณ์เสริมในรูปแบบควบคุมด้วยตัวเองและอัตโนมัติ ประกอบไปด้วยก้านควบคุม (Joystick) และแว่นตาเสมือนจริง (Virtual Reality Glasses) ทีมวิจัยเชื่อว่าการควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์แทนตัวทางไกลด้วยเมาส์ (Mouse) คีย์บอร์ด (Keyboard) และจอภาพ (Monitor) ไม่สามารถให้ประสบการณ์การควบคุมที่ดีให้กับผู้ใช้งานได้

ส่วนติดต่อผู้ใช้งานกับระบบรู้จำภายในแว่นตาเสมือนจริงใช้ภาพที่ได้จากกล้องของตัวหุ่นยนต์ผนวกกับอุปกรณ์ระบุตำแหน่งด้วยดาวเทียมและเข็มทิศอิมัลชันภายในตัวหุ่นยนต์มาประมวลผลใบหน้าและวัตถุภายในบริเวณใกล้เคียง ผู้ใช้งานสามารถสั่งงานได้ด้วยการควบคุมผ่านอุปกรณ์ควบคุมหรือระบุทิศทางบนแผนที่ให้หุ่นเคลื่อนที่ไปเองได้

การศึกษาทดลองนี้ ทดลองกับผู้ใช้งานหุ่นยนต์แทนตัวทางไกลจำนวนทั้งสิ้น 40 คน และผู้ทดลองทั้งหมดได้ให้คะแนนของหุ่นยนต์ปลาแทมในด้านประสบการณ์การใช้งานระบบแทนตัวทางไกลสูงเป็นอันดับหนึ่งดังตารางที่ 2.2 เมื่อเทียบกับการประชุมทางไกลทั่วไปและหุ่นยนต์แทนตัวทางไกลรุ่นอื่นๆ ดังที่ปรากฏในตารางที่ 2.3 เพื่อชี้ให้เห็นว่างานในส่วนควบคุมการเคลื่อนที่อย่างเป็นอิสระ การรู้จำ และส่วนติดต่อกับผู้ใช้งานที่น่าสนใจ สามารถทำให้ผู้ใช้งานมีความสนใจในการใช้งานสูง

คุณสมบัติเด่นชัดของหุ่นยนต์ปลาแทมคือความแม่นยำในการจดจำใบหน้าและการตรวจจับการเคลื่อนไหวของร่างกายมนุษย์ แต่การจำแนกอารมณ์บนใบหน้าจะทำได้ดีเฉพาะใบหน้าที่ยิ้มแย้ม ตกใจ และเศร้า ปัญหาของการแยกแยะอารมณ์บนใบหน้าของมนุษย์สามารถแก้ไขให้แยกแยะให้ถูกต้องมากขึ้นได้ขึ้นด้วยการเพิ่มความละเอียดของภาพ แต่ข้อจำกัดของอัตราการรับส่งข้อมูลที่ต่ำและไม่คงที่ของสถานที่ทดลองจึงทำให้ไม่สามารถเพิ่มความละเอียดของภาพได้

ตารางที่ 2.2 ผลการโหวตคะแนนโดยผู้เข้าร่วมการทดลองทั้งสิ้นสี่สิบคน (Budihal et al., 2011)

Experiential Telepresence	Video Conferencing	Telepresence Robots	Cisco's Telepresence
8.5	4.2	6.3	5.2

ตารางที่ 2.3 ตารางเปรียบเทียบคุณสมบัติของหุ่นยนต์ปลาแทมเมื่อเทียบกับหุ่นยนต์ควิปี วิโก้ และแจ๊ส (Budihal et al., 2011)

	Pratham	QB	VGo	Jazz
OS	Ubuntu	MacOS with Firefox	Windows 7/Vista/XP	Any with Flash 10
Battery Life	4 hours	4-6 hours	6 or 12 hour battery option	5 hours
Top Speed	3.6 km/h	5.6 km/h	3.3 km/h	4 km/h
Height	5' 9"	6' 3"	4'	3' 4"
Web Interface	No (planned feature)	Yes	Yes	Yes
Sound	1 speaker, 6 microphone	1 speaker, 3 microphones	2 speakers, 4 microphones	2 speakers, 1 microphone
Depth Cameras	Yes	No	No	No
Video Camera Tilt	3-axis	No	No	2-axis
Navigation Control	Keyboard or Joystick	Keyboard	Keyboard or Mouse	Keyboard or Mouse
Autonomous Path Planning and Navigation	Yes	No	No	Yes
Augmented Reality Fusion	Yes	No	No	No
Emotion Synthesis	Yes	No	No	Yes
Affective Interfaces	Yes	No	No	No
Cognitive Intelligence	Yes (Work in progress)	No	No	No
Context Awareness	Yes	No	No	Yes

จากการศึกษางานวิจัยทั้งหมดมาทบทวนและวิเคราะห์ ทำให้เห็นว่าหุ่นยนต์แทนตัวทางไกลแต่ละรุ่นมีข้อดีและข้อบกพร่องที่แตกต่างกันออกไป แต่เป้าหมายหลักที่เหมือนกันของหุ่นยนต์แทนตัวทางไกลมี คือ การพัฒนาหุ่นยนต์เพื่อใช้เป็นตัวแทนตัวบุคคลภายในห้องประชุมหรือสถานที่อื่น การพัฒนาคุณภาพการรับส่งข้อมูลภาพและเสียงให้เหมือนจริงที่สุด และการพัฒนาเทคนิคการบังคับควบคุมให้เป็นอิสระและมีการเคลื่อนไหวใกล้เคียงธรรมชาติมากที่สุด

2.1.4 การพัฒนาหุ่นยนต์แทนตัวทางไกลต้นทุนต่ำ

งานวิจัยที่ผ่านมาได้พยายามแก้ไขและเสนอแนวทางการพัฒนาหุ่นแทนตัวทางไกลให้มีความสมบูรณ์มากขึ้น เป็นที่ยอมรับในสังคมมากขึ้น แต่ยังพบกับอุปสรรคทางด้านราคาของหุ่นยนต์แทนตัวทางไกลที่ยังไม่สามารถทำให้ราคาถูกลงมาได้ ส่วนหนึ่งเป็นเพราะราคาอุปกรณ์เฉพาะทางของหุ่นยนต์แทนตัวทางไกลที่สามารถผลิตออกมาได้อย่างสมบูรณ์ยังมีราคาสูง แต่งานวิจัยพัฒนาหุ่นยนต์แทนตัวทางไกลต้นทุนต่ำ (Lazewatsky & Smart, 2011) โดยใช้ข้อมูลจากแหล่งชุมชนพัฒนาหุ่นยนต์ด้วยคอมพิวเตอร์แบบฝังตัว (Embedded System) ที่ใช้งบประมาณในการ

พัฒนาต่ำ ร่วมกับซอฟต์แวร์งานวิจัยหุ่นยนต์ที่มีคุณภาพให้ออกมาเป็นหุ่นยนต์แทนตัวทางไกลที่สมบูรณ์ในระดับยอมรับได้

การศึกษางานวิจัยนี้มีเป้าหมายของการประดิษฐ์หุ่นยนต์ว่าอุปกรณ์ต้องหาซื้อได้ทั่วไป ประกอบเองได้ง่าย ราคาต่ำ มีผลประโยชน์สูง ง่ายต่อการใช้งาน และเหมาะสมกับงานที่นำไปใช้ ยกตัวอย่างได้โดยการใช้แท่งเหล็กประกอบกับหุ่นยนต์ไอโรบอท (iRobot) คอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊ก เว็บแคม และซอฟต์แวร์ระดับงานวิจัย เพื่อใช้สำหรับการประชุมทั่วไปดังภาพที่ 2.2 แต่ปัญหาทุนพัฒนาของตัวหุ่นยนต์แทนตัวทางไกลยังคงสูงอยู่กว่าสามหมื่นสองพันบาท แต่เมื่อเทียบกับหุ่นยนต์แทนตัวทางไกลเฉพาะทางอย่างคิปปี้หรือวีโก้แล้ว ถือว่าเป็นหุ่นยนต์แทนตัวทางไกลที่มีราคาต่ำมาก แม้คุณสมบัติความถูกต้องของข้อมูลและการควบคุมยังไม่สมบูรณ์เท่าไรนัก งานวิจัยนี้เป็นสิ่งที่มีประโยชน์อย่างมากในการต่อยอดงานให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น



ภาพที่ 2.2 ตัวอย่างหุ่นยนต์แทนตัวทางไกลที่ผมนำมาของนักพัฒนาหุ่นยนต์เป็นงานอดิเรกรวมกับงานวิจัยหุ่นยนต์ที่มีคุณภาพสูง (Lazewatsky & Smart, 2011)

2.1.5 การใช้สมาร์ทโฟนควบคุมการเคลื่อนไหวของหุ่นยนต์แทนตัวทางไกล

จากปัญหาที่เกิดขึ้นกับการควบคุมหุ่นยนต์แทนตัวทางไกลที่เคลื่อนไหวไม่เป็นธรรมชาติ แม้มีแนวทางแก้ไขโดยติดตั้งกล้องสองชุดสำหรับการมองทางเดินและการหันพุดคุยกับคู่

สนทนา แต่ผู้ควบคุมหุ่นยนต์ยังต้องสังเกตสภาพแวดล้อมทั้งสองอย่างในเวลาเดียวกัน ทำให้ขาดสมาธิในการพูดคุยกับคู่สนทนา

ทีมงานของห้องทดลองทางด้านสื่อของสถาบันเอ็มไอที (MIT Media Laboratory) จึงได้นำเสนอผลการวิจัยแก้ไขปัญหที่เกิดขึ้นโดยใช้หุ่นยนต์มีบอท (MeBot) (Adalgeirsson & Breazeal, 2010) ทีมงานให้เหตุผลว่าการสนทนาที่ดีที่สุดคือการเห็นหน้าระหว่างกัน จะทำให้สามารถถ่ายทอดความรู้สึก ความชอบ ความเชื่อมั่น และการโน้มน้าวในการสนทนาได้มากขึ้น ดังนั้นจึงไม่จำเป็นต้องมีการเคลื่อนที่จากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งเสมอไป แต่การควบคุมของหุ่นยนต์มีบอทยังซับซ้อน เนื่องจากผู้ควบคุมหุ่นยนต์ต้องบังคับแขนของหุ่นยนต์เพื่อแสดงท่าทางประกอบกับการพูดคุย และเรื่องการหันศีรษะของผู้ควบคุมหุ่นยนต์ที่อาจหันผิดทิศทางเนื่องจากความไม่ชินกับการตรวจจับและติดตามการเอียงใบหน้าอัตโนมัติ ดังนั้นวิธีที่สามารถควบคุมหุ่นยนต์แทนตัวทางไกลที่ซับซ้อนน้อยลงโดยใช้สิ่งที่ผู้ใช้งานทั่วไปมีอยู่แล้ว เช่น สมาร์ทโฟนควบคุมการหันหุ่นยนต์แทนตัวทางไกลโดยการหันซ้ายขวาหรือก้มเงยจึงน่าจะเป็นการควบคุมที่เป็นธรรมชาติมากขึ้น



ภาพที่ 2.3 หุ่นยนต์มีบอท (ซ้าย) และการควบคุมหุ่นยนต์มีบอท (ขวา)
(Adalgeirsson & Breazeal, 2010)

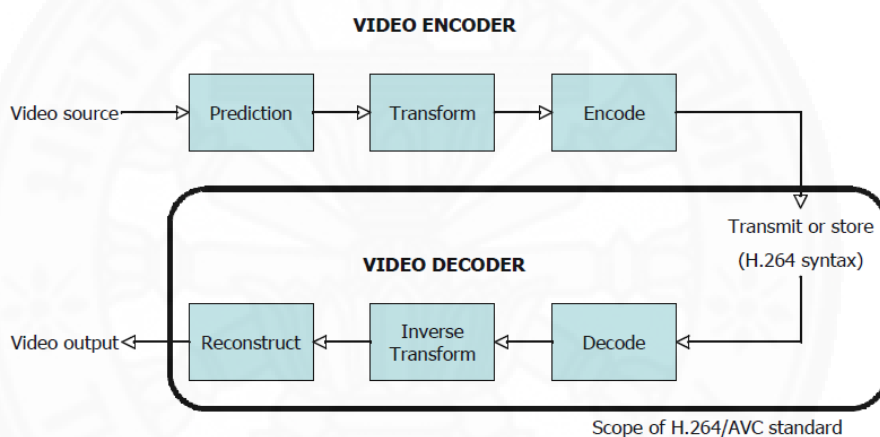
2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.2.1 ทฤษฎีตัวแปลงสัญญาณภาพแบบเฮชสองทกสี่ (H.264 Codec)

เฮชสองทกสี่ คือ มาตรฐานการบีบอัดข้อมูลวิดีโอที่ถูกพัฒนาต่อจากเอ็มพีสี่ (MP4) และเอ็มพีสอง (MP2) โดยกลุ่ม โมชัน พิกเจอร์ เอ็กส์เพิร์ท (Motion Picture Expert Group หรือ MPEG) และกลุ่ม วิดีโอ โคดีง เอ็กส์เพิร์ท (Video Coding Expert หรือ VCEG) เพื่อเป็นมาตรฐานกลางของการเข้ารหัสและถอดรหัสกับอุปกรณ์แสดงผลทั่วไป เช่น โทรทัศน์ สมาร์ทโฟน เครื่องเล่นวิดีโอ คอมพิวเตอร์ หรืออื่นๆ ที่เกี่ยวกับภาพเคลื่อนไหว

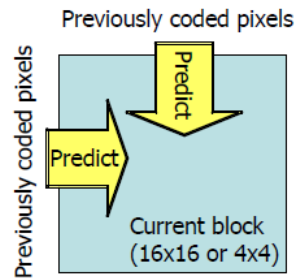
ปัจจุบันเฮชสองทกสี่ได้รับการแต่งตั้งเป็นมาตรฐานกลางการบีบอัดข้อมูลวิดีโอกับทุกอุปกรณ์ภาพและเสียงโดยกลุ่มไอทียู (ITU) (Wiegand & Sullivan, 2007)

หลักการทำงานของเฮชสองทกสี่ประกอบไปด้วยสองส่วนดังแสดงในภาพที่ 2.4 ได้แก่ ส่วนของการเข้ารหัสวิดีโอ (Video Encoder) รับข้อมูลวิดีโอเข้ามาทำการทำนายผลจากภาพต่อภาพ แล้วทำการแปลงเป็นข้อมูลที่ต้องใช้งานบางส่วนไปเข้ารหัสและบีบอัดพร้อมถ่ายถอดสัญญาณ และส่วนของการถอดรหัสวิดีโอ (Video Decoder) รับข้อมูลการบีบอัดจากส่วนของการเข้ารหัสมาถอดรหัสข้อมูลเพื่อส่งข้อมูลการทำนายต่อเติมภาพต่อภาพจนออกมาเป็นผลข้อมูลภาพที่ต่อเนื่อง

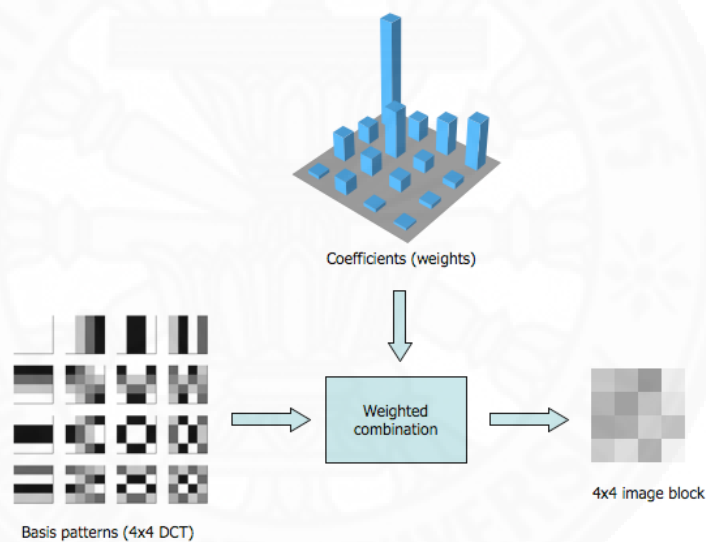


ภาพที่ 2.4 แผนผังการเข้ารหัสและถอดรหัสโดยรวมของเฮชสองทกสี่ (Wiegand & Sullivan, 2007)

หลักการทำงานภายในของเฮชสองทกสี่ในการเตรียมความพร้อมเข้ารหัสข้อมูลเพื่อบีบอัดดังแสดงในภาพที่ 2.5 คือการทำการวิเคราะห์ภาพจากข้อมูลวิดีโอแต่ละภาพโดยแบ่งออกเป็นช่องข้อมูลขนาด 16×16 หรือ 4×4 แล้วทำการเทียบข้อมูลระหว่างภาพว่ามีความเปลี่ยนแปลงของค่าตามที่กำหนดเท่าไร หากมีความเปลี่ยนแปลงต่ำหรือไม่ถึงเกณฑ์การกำหนดขนาดบีบอัดข้อมูล ตัวระบบจะไม่สนใจข้อมูลนั้นแล้ววิเคราะห์ช่องถัดไปจนครบทุกช่องในหนึ่งภาพแล้วส่งข้อมูลออกไปยังส่วนของการเข้ารหัสและบีบอัดข้อมูลเพื่อใช้ส่งต่อให้กับส่วนการถอดรหัสดังแสดงในภาพที่ 2.6

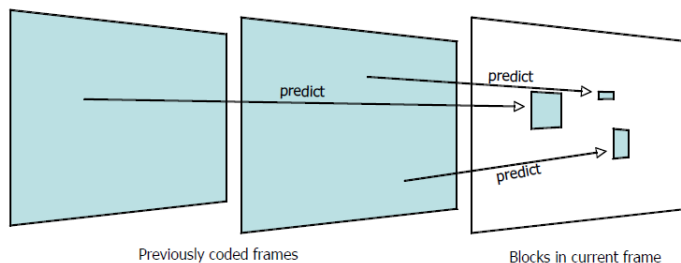


ภาพที่ 2.5 การเปรียบเทียบข้อมูลของช่องข้อมูลแต่ละช่องระหว่างภาพ
(Wiegand & Sullivan, 2007)



ภาพที่ 2.6 เทคนิคการเปรียบเทียบค่าความเปลี่ยนแปลงของช่องย่อยของภาพหนึ่งช่อง
(Wiegand & Sullivan, 2007)

ส่วนหลักการทำงานภายในของเฮซสองทกสีในการเตรียมความพร้อมลดรหัสข้อมูลคือรับส่วนที่บีบอัดข้อมูลเข้ามาวิเคราะห์ช่องข้อมูลที่ส่งเข้ามาของแต่ละภาพว่ามีความแตกต่างกันตามค่ากำหนดสำหรับการแสดงผลหรือไม่ หากมีความแตกต่างมากกว่าค่าที่กำหนด ระบบจะเริ่มเติมส่วนที่เปลี่ยนแปลงมาแสดงผลและเริ่มทำนายการเปลี่ยนแปลงของภาพต่อไปจนกว่าจะสิ้นสุดการทำงาน ดังแสดงในภาพที่ 2.7



ภาพที่ 2.7 การทำนายระหว่างภาพเพื่อใช้แสดงผลภาพถัดไป (Wiegand & Sullivan, 2007)

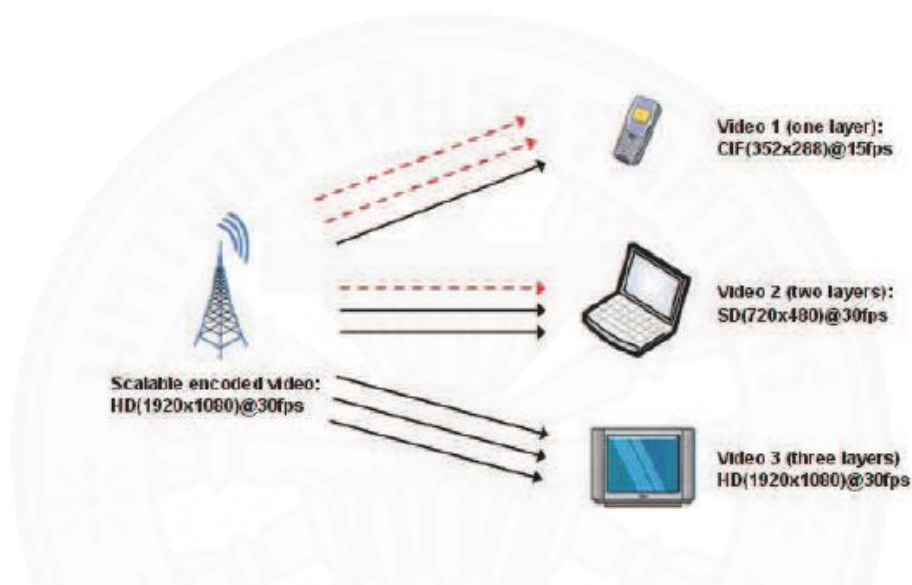
จากเทคนิคและการทำงานของเฮชสองทกสีทำให้สามารถเข้ารหัสและบีบอัดข้อมูลได้มากขึ้นเท่าตัวเมื่อเทียบกับการเข้ารหัสและบีบอัดข้อมูลด้วยเอ็มพีสอง เช่น ทีวีที่ใช้การเข้ารหัสและบีบอัดข้อมูลด้วยเอ็มพีสองจะสามารถบันทึกความยาวของภาพยนตร์ได้สองชั่วโมง แต่เมื่อใช้เฮชสองทกสีในระดับการบีบอัดเท่ากันจะสามารถบันทึกความยาวของภาพยนตร์ได้สี่ถึงห้าชั่วโมง และมีความคมชัดมากกว่าเอ็มพีสอง ดังนั้นความสามารถของการเข้ารหัสและบีบอัดข้อมูลของเฮชสองทกสีจึงมีประสิทธิภาพมากกว่าเอ็มพีสอง และเหมาะสำหรับการใช้กับอุปกรณ์รับส่งข้อมูลวิดีโอที่แสดงในภาพที่ 2.8



ภาพที่ 2.8 การเปรียบเทียบความคมชัดในระดับการบีบอัดที่เท่ากันของ เอ็มพีสอง (ซ้าย) เอ็มพีสี่ (กลาง) เฮชสองทกสี (ขวา) (Wiegand & Sullivan, 2007)

อย่างไรก็ตาม เอชสองทกสียังมีปัญหาเกี่ยวกับการรับข้อมูลที่ไม่ต่อเนื่อง เนื่องจากการทำนายเฟรมที่ผิดพลาดจากการขาดการรับข้อมูลบางส่วนเป็นระยะเวลาสั้นเกินไป จึงเป็นเหตุให้มีการพัฒนาส่วนเสริมของเอชสองทกสีย่อเอสวีซี (SVC หรือ Scalable Video Coding)

หลักการการทำงานของเอสวีซียังคงอิงพื้นฐานจากเอชสองทกสียุคเดิม แต่ได้เพิ่มชั้นการส่งข้อมูลเพิ่มขึ้นเพื่อให้ฝั่งรับข้อมูลสามารถเลือกรับชั้นข้อมูลที่มีกำลังส่งต่ำกว่าให้สามารถรับข้อมูลได้อย่างต่อเนื่องโดยไม่สูญเสียคุณภาพของข้อมูลไปมาก (I. Richardson, 2008) ดังแสดงในภาพที่ 2.9



ภาพที่ 2.9 การเพิ่มชั้นการส่งข้อมูลของเอสวีซีให้กับส่วนส่งข้อมูลให้กับส่วนรับข้อมูล

โดยส่วนรับข้อมูลสามารถเลือกรับชั้นข้อมูลบางชั้นได้ (I. Richardson, 2008)

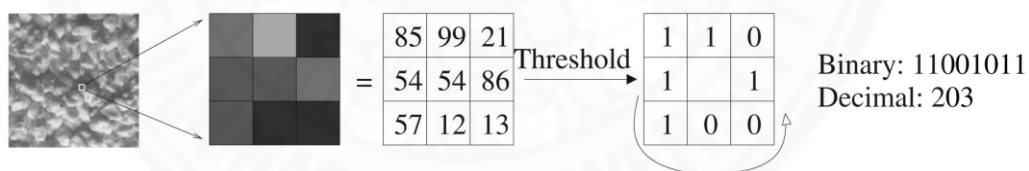
2.2.4 ทฤษฎีการตรวจจับใบหน้า (Face Detection)

การศึกษางานวิจัยที่สามารถตรวจจับใบหน้ามนุษย์เป็นปัจจัยหลักในการเพิ่มปฏิสัมพันธ์การสนทนาของหุ่นยนต์แทนตัวทางไกล และยังเป็นสิ่งที่ท้าทายสำหรับงานวิจัยในปัจจุบัน เพราะเทคนิคการตรวจจับใบหน้าที่ยังคงมีพื้นฐานการพัฒนามาจากฮาร์ (HAAR) และแอลบีพี (LBP หรือ Local Binary Patterns) เป็นส่วนใหญ่ เนื่องจากความง่ายในการเข้าใจ พัฒนา และการนำข้อมูลมาวิเคราะห์เพื่อต่อยอด (Unanue et al., 2011) ดังตารางที่ 2.4 ซึ่งเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของอัลกอริทึมในการตรวจจับใบหน้า จำนวนห้าอัลกอริทึม ข้อดีของแอลบีพีคือทำงานได้อย่างรวดเร็ว เนื่องจากการทำงานของแอลบีพีจะทำงานกับภาพที่เป็นเฉดสีเทา (Grayscale) เพื่อคำนวณหาเลขบิตในแต่ละพิกเซล (Pixel) จากจุดศูนย์กลางของภาพที่ถูกตัดย่อยออกมา ค่อยๆ ขยายออกเป็นวงกว้าง

แล้วนำมาเทียบเคียงผลลัพธ์ของสิ่งที่ใกล้เคียงกับที่ต้องการมากที่สุด (Ahonen, Hadid, & Pietikainen, 2006) ดังภาพที่ 2.10

ตารางที่ 2.4 ตารางเปรียบเทียบเทคนิคการตรวจจับใบหน้าแบบต่างๆ (Unanue et al., 2011)

	Dimension	Typical Application	Pros	Cons
Haar	1	Objects	Simple & Fast	Too simple
Shape C.	α Bins · spatBins	Shape/Silhouettes	Simple & Compact	Fails with clutter
EOH	1	Objects	Simple & Fast	Not structured info
HOG	α Bins · cells	Objects	Encodes lots of info	Computation time
LBP	1	Textures / Objects	Powerful	Too local



ภาพที่ 2.10 การหาผลลัพธ์จากภาพที่ถูกตัดย่อยออกมาของแอลบีพี (Ahonen et al., 2006)

แอลบีพีสามารถตรวจจับใบหน้าได้อย่างรวดเร็วและเหมาะสมอย่างยิ่งกับการนำมาใช้กับอุปกรณ์ขนาดเล็กที่มีประสิทธิภาพการประมวลผลที่จำกัด เช่น โทรศัพท์มือถือ หรือคอมพิวเตอร์แบบฝังตัว แต่ข้อเสียของแอลบีพีคือสามารถคำนวณได้เพียงภาพเฉดสีเทาเท่านั้น แม้จะมีข้อดีที่สามารถทำงานได้อย่างรวดเร็วและไม่ค่อยมีผลกระทบทางด้านแสง (Ojala, Pietikainen, & Mäenpää, 2002) แต่หากต้องการตรวจจับใบหน้าหรือวัตถุที่เป็นสีจะสามารถทำได้ยากกว่าเทคนิครูปแบบอื่น

เทคนิคของฮาร์สำหรับการตรวจจับใบหน้าโดยไวโอล่าและโจนส์ (Viola & Jones, 2004) ได้แก้ไข้ปัญหาที่เกิดขึ้นของแอลบีพีเนื่องจากสามารถทำงานกับภาพที่เป็นสีได้โดยการอ้างอิงจากการตรวจหาและเปรียบเทียบของจุดเชื่อม (Edge) เส้นตรง (Line) หรือโครงสร้างอื่นที่ใกล้เคียงหลายครั้ง แล้วทำการตัดส่วนที่ไม่ใกล้เคียงกับใบหน้าออกจนได้ผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงกับใบหน้าที่ถูกจัดกลุ่ม (Classified) ออกมา มีความแม่นยำกว่าเทคนิคของแอลบีพีในกรณีที่มีแสงสว่างตกกระทบกับวัตถุในภาพอย่างเพียงพอ (Lin, Li, & Zhou, 2012) ดังตารางที่ 2.5 แต่จะใช้เวลาในการทำงานและหน่วยความจำจากใบหน้าที่ถูกจัดกลุ่มที่มากกว่าแอลบีพี

ตารางที่ 2.5 ตารางเปรียบเทียบประสิทธิภาพการตรวจจับใบหน้าของฮาร์ แอลบีพี (Lin et al., 2012)

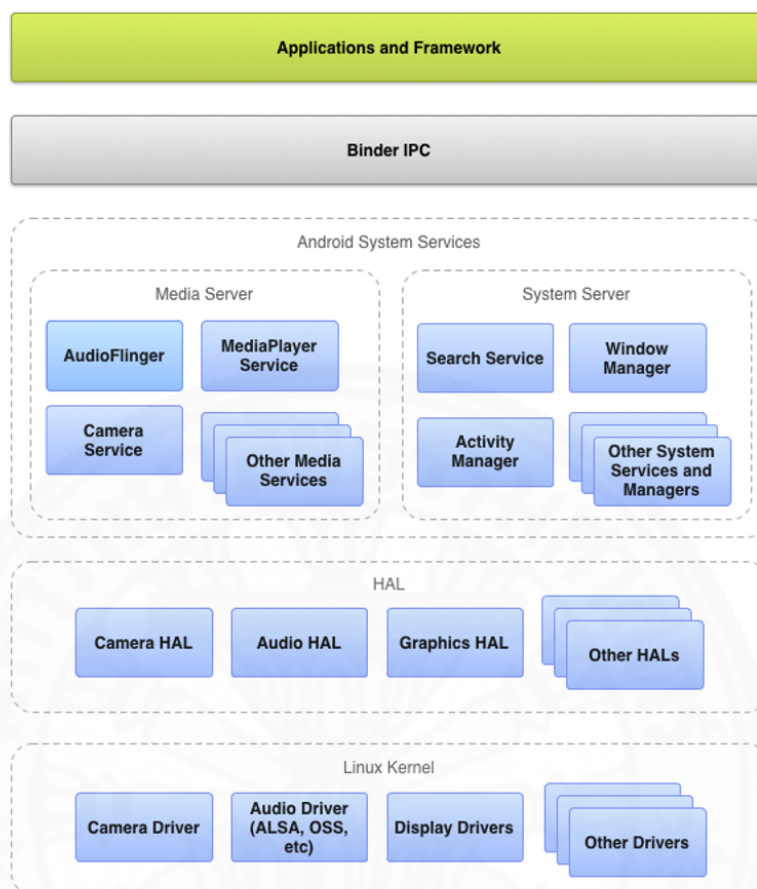
Algorithm	Test Set	Correct detection rate	False detection rate
Haar	Set I	92.33%	2.86%
	Set II	86.72%	6.12%
LBP	Set I	87.51%	4.67%
	Set II	76.93%	9.34%
Haar+LBP	Set I	95.75%	1.29%
	Set II	91.99%	3.76%

ระบบการตรวจจับใบหน้าคือกุญแจสำคัญที่ช่วยให้หุ่นยนต์แทนตัวทางไกลสามารถตรวจจับใบหน้าและเคลื่อนไหวตามการเคลื่อนไหวของใบหน้าได้ ระบบการตรวจจับและติดตามใบหน้าของหุ่นยนต์จะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการมีปฏิสัมพันธ์กับคู่สนทนาได้มากขึ้น ซึ่งงานวิจัยหลายฉบับได้กล่าวไปในทิศทางเดียวกันว่าการนำหุ่นยนต์แทนตัวทางไกลที่มีระบบตรวจจับและติดตามใบหน้าอัตโนมัติมาใช้ในสถานที่ทำงานจะช่วยให้ผู้ใช้งานหุ่นยนต์เกิดความพึงพอใจในการมีปฏิสัมพันธ์กับคู่สนทนามากขึ้น (Berri, Wolf, & Osorio, 2014; Keng Peng, Rui, Yuanwei, Zhiyong, & Liemhetcharat, 2014; Riano, Burbridge, & McGinnity, 2011) และงานวิจัยบางฉบับได้นำเสนอเทคนิคการประยุกต์ใช้งานกล้องคิเนคต์ (Kinect) ร่วมกับหุ่นยนต์ในการตรวจจับการเคลื่อนไหวและการติดตามใบหน้า (Berri et al., 2014; Keng Peng et al., 2014) ซึ่งทั้งหมดนี้คือการสนับสนุนว่าระบบตรวจจับและติดตามใบหน้าอัตโนมัติคือปัจจัยสำคัญของหุ่นยนต์แทนตัวทางไกลที่จะช่วยให้การมีปฏิสัมพันธ์หรือการสนทนากับคู่สนทนามีประสิทธิภาพที่ดียิ่งขึ้น

งานวิจัยส่วนใหญ่ได้พัฒนาระบบดังกล่าวให้กับหุ่นยนต์แทนตัวทางไกลที่มีประสิทธิภาพสูงเท่านั้น ซึ่งในปัจจุบันยังไม่มียานวิจัยใดนำเอาคอมพิวเตอร์ราสเบอร์รี่ไพมาใช้งานอย่างจริงจัง จะมีบางงานที่พิสูจน์ว่าคอมพิวเตอร์ราสเบอร์รี่ไพสามารถนำมาใช้ตรวจจับใบหน้าผ่านหน่วยประมวลผลภาพด้วยเทคนิคของฮาร์ไดตี (Tripathy & Daschoudhury, 2012) แต่บางงานวิจัยแย้งว่าการใช้คอมพิวเตอร์ราสเบอร์รี่ไพเพื่อตรวจจับใบหน้ายังไม่เหมาะสม เนื่องจากประสิทธิภาพของหน่วยประมวลผลกลางนั้นเน้นประสิทธิภาพการใช้พลังงานมากกว่าประสิทธิภาพการประมวลผล (Bilaniuk et al., 2014) ซึ่งความจริงแล้วหากปรับปรุงเทคนิคการทำงานให้เหมาะสมด้วยแอลบีพี จะสามารถทำให้คอมพิวเตอร์ราสเบอร์รี่ไพสามารถตรวจจับใบหน้าแบบทันทีได้ด้วยประสิทธิภาพการประมวลผลของหน่วยประมวลผลภาพให้สามารถประมวลผลงานเฉพาะทางอย่างการตรวจจับใบหน้าได้เป็นอย่างดี (Fernandes & Bala, 2015) จึงเป็นอีกหนึ่งทางเลือกที่จะใช้หน่วยประมวลผลภาพช่วยเร่งประสิทธิภาพการตรวจจับใบหน้าให้กับคอมพิวเตอร์ราสเบอร์รี่ไพ (Sabarinath, Shyam, Aneesh, Gandhiraj, & Soman, 2015) และนำมาประยุกต์ให้คอมพิวเตอร์ราสเบอร์รี่ไพสามารถทำงานตรวจจับและติดตามใบหน้าโดยอัตโนมัติได้เป็นอย่างดี

2.2.5 ทฤษฎีการทำงานของระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์

เพื่อเป็นการขยายความของความสัมพันธ์ในการพัฒนาซอฟต์แวร์สำหรับระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ จึงอธิบายถึงการทำงานโดยรวม โดยอ้างอิงจากภาพที่ 2.11 ดังนี้



ภาพที่ 2.11 แผนผังการทำงานของระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ระดับล่าง (Google, 2014a)

การทำงานภายในหรือในระดับล่างของระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์จะแบ่งการทำงานออกเป็นห้าชั้น ได้แก่

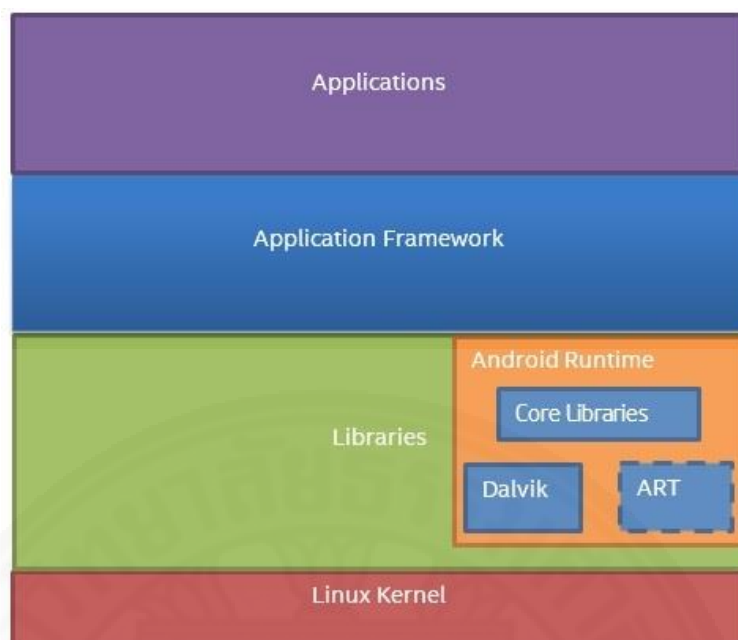
(1) ชั้นโปรแกรมประยุกต์และเฟรมเวิร์ค (Applications and Framework Layer) คือ ชั้นบนสุดของระบบปฏิบัติการ ที่เปิดให้ผู้พัฒนาซอฟต์แวร์สำหรับระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์เรียกใช้งานส่วนต่อประสานโปรแกรมประยุกต์ (Application program interface หรือ API) ที่ตัวระบบได้จัดไว้ให้ เพื่อเข้าถึงส่วนต่อประสานอุปกรณ์ (Hardware Interface) ได้โดยไม่กระทบกับแกนหลัก (Kernel) ของตัวระบบ

(2) ชั้นบิเนเตอร์ ไอพีซี (Binder IPC Layer หรือ Binder Inter-Process Communication Layer) คือ ชั้นที่ทำงานอยู่เบื้องหลังชั้นโปรแกรมประยุกต์และเฟรมเวิร์ค เพื่อให้ผู้พัฒนาซอฟต์แวร์สามารถเรียกการใช้งานตัวประมวลผล (Process) ระหว่างกัน ผ่านชั้นโปรแกรมประยุกต์และเฟรมเวิร์คได้โดยที่ไม่ต้องมีความรู้ในการจัดการหรือจัดลำดับตัวประมวลผล

(3) ชั้นบริการของระบบ (System Services) คือ ชั้นการให้บริการต่างๆ ของตัวระบบปฏิบัติการที่ทำหน้าที่เป็นตัวกลางในการให้บริการการเข้าถึงอุปกรณ์ต่างๆ ผ่านชั้นโปรแกรมประยุกต์และเฟรมเวิร์คอย่างอัตโนมัติโดยไม่ส่งผลกระทบต่อหรือผลเสียกับอุปกรณ์และแกนหลักของตัวระบบ ชั้นนี้จะถูกแบ่งชั้นภายในอีกเป็นสองส่วน คือ ส่วนของการให้บริการด้านสื่อ (Media Server) เช่น กล้อง เสียง และเซนเซอร์ต่างๆ ส่วนของการให้บริการด้านระบบ (System Server) เช่น การแสดงผลภาพ การจัดการการค้นหา การจัดการการทำงานของซอฟต์แวร์ และการจัดการสิ่งต่างๆ ที่ทำงานอยู่ในตัวระบบเอง

- (1) ชั้นการกำหนดสาระสำคัญของอุปกรณ์ (Hardware Abstraction Layer หรือ HAL) คือ ชั้นที่จัดสรรส่วนต่อประสานของอุปกรณ์ผ่านตัวขับ (Driver) ของแกนกลาง ที่จะอนุญาตให้ตัวระบบชั้นบริการสามารถเรียกใช้และเข้าถึงการทำงานของอุปกรณ์ได้
- (2) ชั้นแกนลินุกซ์ (Linux Kernel) คือ ชั้นรวบรวมตัวขับของอุปกรณ์ และเป็นชั้นสุดท้ายที่สามารถเข้าถึงอุปกรณ์ต่างๆ ได้อย่างโดยตรง รวมไปถึงการจัดการลำดับชั้นการประมวลผล การจัดการหน่วยความจำ และการจัดการของอุปกรณ์โดยตรง

อาร์ตรันไทม์ (ART Runtime) กับดาร์วิก (Dalvik Runtime) อยู่ในชั้นระหว่างชั้นบิตเตอร์ ไอพีซี และชั้นการกำหนดสาระสำคัญของอุปกรณ์ดังภาพที่ 2.12 หมายความว่าผู้พัฒนาซอฟต์แวร์สำหรับระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ สามารถพัฒนาแอปพลิเคชันให้ติดต่อกับส่วนอื่น ๆ ยกเว้นชั้นแกนลินุกซ์ได้โดยตรง (Native Development) เพื่อความรวดเร็วในการทำงานของแอปพลิเคชัน แต่การพัฒนาจะยุ่งยาก ช้าช้อน และเสี่ยงกับการจัดการส่วนติดต่อและส่วนประสานอื่นล้มเหลวได้ ดังนั้นการพัฒนาผ่านอาร์ตและดาร์วิกรันไทม์สามารถหลีกเลี่ยงความผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นได้

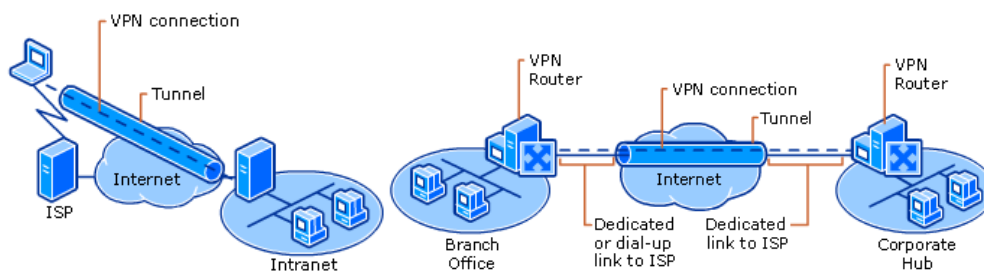


ภาพที่ 2.12 แผนผังการทำงานของระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์โดยรวมทั้งหมด (Vitas, 2013)

2.2.6 ทฤษฎีการเข้ารหัสการรับส่งข้อมูลด้วยเครือข่ายส่วนตัวเสมือน

ความหมายของเครือข่ายส่วนตัวเสมือน คือการสร้างที่รับส่งข้อมูลที่มีการเข้ารหัสบนเครือข่ายอินเทอร์เน็ต (Internet) หรือเครือข่ายท้องถิ่น ให้สามารถสื่อสารกันได้อย่างปลอดภัยโดยไม่ต้องกังวลว่าข้อมูลจะรั่วไหลไปยังบุคคลไม่พึงประสงค์ อีกทั้งเครือข่ายส่วนตัวเสมือนที่ผู้ใช้งานเชื่อมต่อจะได้รับเลขไอพีกลุ่มเดียวกันกับทางฝั่งแม่ข่าย ทำให้สามารถใช้งานได้เปรียบเสมือนผู้ใช้อยู่ในเครือข่ายท้องถิ่นปลายทาง ซึ่งเหมาะอย่างยิ่งกับการใช้งานนอกสถานที่

ประเภทของเครือข่ายส่วนตัวเสมือนแบ่งออกได้เป็นสองประเภท คือ ประเภทใช้เครื่องลูกข่ายเชื่อมต่อเข้าเครื่องแม่ข่าย (Remote Access VPN) และเครื่องแม่ข่ายเชื่อมต่อเป็นสะพานระหว่างกัน (Site-to-Site VPN)

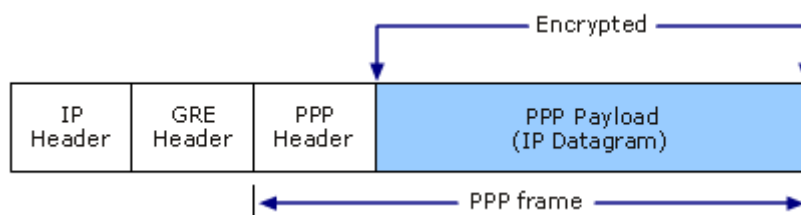


ภาพที่ 2.13 วิธีเอ็นประเภทใช้เครื่องลูกข่ายเชื่อมต่อเข้าเครื่องแม่ข่าย (ซ้าย) และเครื่องแม่ข่ายเชื่อมต่อเป็นสะพานระหว่างกัน (ขวา) (TechNet, 2003)

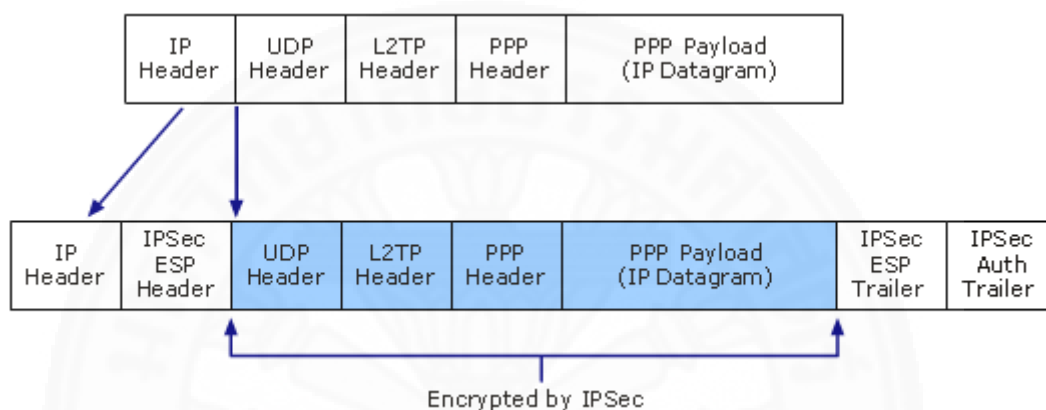
การเข้ารหัสข้อมูลของเครือข่ายส่วนตัวเสมือนที่นิยมใช้มีสามแบบ คือ พีพีพี (PPTP หรือ Point-to-Point Tunneling Protocol) แอลทูทีพี (L2TP หรือ Layer 2 Tunneling Protocol) และโอเพนวีพีเอ็น (OpenVPN) แต่โอเพนวีพีเอ็นได้ถูกคัดออกจากการวิจัยนี้เนื่องจากปัญหาด้านความปลอดภัยของเชลล์ล็อก (Shell Lock) ที่มีความเสี่ยงสูง (lew, 2014; mk, 2014)

ความต่างระหว่างพีพีพีและแอลทูทีพี คือ

- (1) พีพีพีทำงานผ่านทีซีพี (TCP หรือ Transmission Control Protocol)
- (2) แอลทูทีพีทำงานผ่านยูดีพี (UDP หรือ User Datagram Data)
- (3) พีพีพีสามารถเข้ารหัสข้อมูลได้ด้วยตัวเอง
- (4) แอลทูทีพีไม่สามารถเข้ารหัสข้อมูลได้ด้วยตัวเอง
- (5) แอลทูทีพีต้องใช้การเข้ารหัสข้อมูลร่วมกับไอพีเสก (IPsec หรือ Internet Protocol Security)
- (6) แอลทูทีพีมีความปลอดภัยของการเข้ารหัสข้อมูลที่สูงกว่า แต่ใช้ทรัพยากรในการเข้ารหัสมากกว่า
- (7) พีพีพีใช้ทรัพยากรในการเข้ารหัสน้อยกว่า จึงเป็นที่นิยมกับอุปกรณ์ด้านเครือข่ายราคาประหยัด



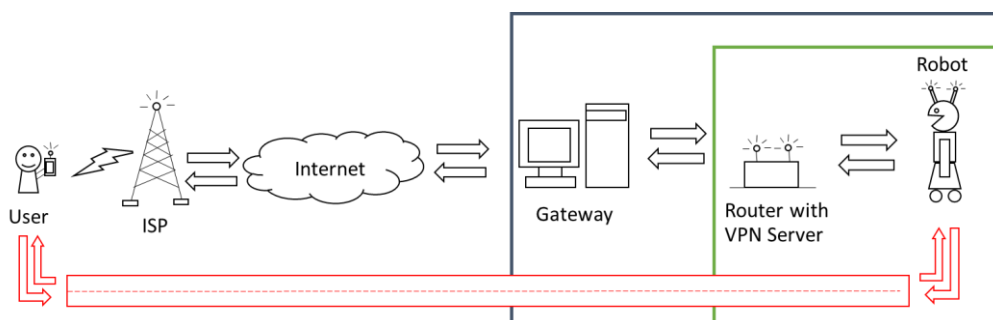
ภาพที่ 2.14 โครงสร้างการเข้ารหัสของพีพีพี (TechNet, 2003)



ภาพที่ 2.15 โครงสร้างการเข้ารหัสของแอลทูพีพี (TechNet, 2003)

การเข้ารหัสข้อมูลด้วยเครือข่ายส่วนตัวเสมือนประเภทพีพีพีที่แสดงในภาพที่ 2.14 เป็นอีกหนึ่งทางเลือกที่ผู้ใช้งานสามารถหาอุปกรณ์ที่สนับสนุนความสามารถพีพีพีในส่วนของแม่ข่าย และลูกข่ายได้ง่าย มีราคาถูก และมีความปลอดภัยที่ดีในระดับหนึ่ง เพื่อลดความไม่ไว้วางใจความปลอดภัยทางด้านข้อมูลของการทำงานหุ่นยนต์แทนตัวทางไกล

เครือข่ายส่วนตัวเสมือนประเภทเครื่องลูกข่ายเชื่อมต่อเข้าเครื่องแม่ข่าย ถูกเลือกใช้กับงานวิจัยนี้ โดยให้ผู้ใช้งานใช้สมาร์ทโฟนเชื่อมต่อไปยังอุปกรณ์แม่ข่ายของเครือข่ายส่วนตัวเสมือนที่เข้ารหัสข้อมูลด้วยพีพีพี และค้นหาหุ่นยนต์แทนตัวทางไกลที่ต้องการเพื่อเข้าใช้งานดังภาพที่ 2.16



ภาพที่ 2.16 แผนผังการเชื่อมต่อวีพีเอ็นเพื่อเข้าควบคุมหุ่นยนต์แทนตัวทางไกล

2.3 การศึกษาการใช้งานหุ่นยนต์แทนตัวทางไกลเพื่อการศึกษา

หุ่นยนต์แทนตัวทางไกลในปัจจุบันเริ่มมีบทบาทในการใช้งานกับงานทางด้านธุรกิจทางการแพทย์ และการศึกษา ซึ่งสามารถนำไปใช้งานในพื้นที่ห่างไกล พื้นที่ที่เข้าถึงได้ยาก หรือพื้นที่อันตราย งานวิจัยหลายงานได้วิจัยออกมาว่าหุ่นยนต์แทนตัวทางไกลสามารถช่วยเพิ่มปฏิสัมพันธ์ของการสนทนาระหว่างกันได้มากกว่าภาพและเสียงเพียงอย่างเดียว โดยเฉพาะกับงานทางด้านการศึกษา (Bloss, 2011; Denojean-Mairet, Tan, Pivot, & Ally, 2014; Tanaka, 2014; Tanaka, Takahashi, & Morita, 2013; Yeung & Fels, 2005; Yun, Kim, & Choi, 2013) และงานวิจัยบางงานสามารถช่วยให้กลุ่มเด็กพิเศษสามารถใช้หุ่นยนต์แทนตัวทางไกลเข้าร่วมชั้นเรียนหรือทำกิจกรรมต่างๆ ร่วมกับเพื่อนได้ (Kristoffersson, Coradeschi, & Loutfi, 2013; Tsui & Yanco, 2013) แต่หุ่นยนต์แทนตัวทางไกลยังไม่สามารถรองรับกับงานด้านการศึกษาได้อย่างเต็มที่เนื่องจากราคาสูงเกินกว่าที่ทางสถาบันการศึกษาจะลงทุนนำมาใช้งาน ดังนั้นการนำคอมพิวเตอร์ราสเบอร์รี่ไพมาพัฒนาให้กับหุ่นยนต์แทนตัวทางไกล โดยคิดส่วนที่สำคัญในการเพิ่มปฏิสัมพันธ์การสนทนา เช่น การใช้ระบบตรวจจับและติดตามใบหน้าอัตโนมัติเฉพาะส่วนหัว เพื่อลดต้นทุนการพัฒนาหุ่นยนต์ลง แต่ยังคงความสามารถเชิงบวกให้กับสารสื่อสารที่ดีได้ (Bamoallem, Wodehouse, Mair, & Vasantha, 2016; Janard & Marurngsith, 2015; Prabha, Antony, Meena, & Pandian, 2014)

หุ่นยนต์แทนตัวทางไกลที่เคลื่อนไหวได้เฉพาะส่วนหัวสามารถเป็นทางเลือกที่เหมาะสมให้กับทางสถาบันการศึกษาได้เป็นอย่างดี เพราะสภาพแวดล้อมภายในสถานศึกษามีพื้นที่ที่จำกัดสำหรับการใช้งานเฉพาะที่ จึงไม่เป็นปัญหาต่อการนำหุ่นยนต์ที่เคลื่อนไหวได้เพียงส่วนหัวมาใช้งาน ซึ่งตรงกับงานวิจัยที่กล่าวถึงรูปแบบการใช้งานของระบบว่าไม่ได้อยู่ที่จะนำระบบมาใช้งานอย่างไร แต่นำระบบที่เหมาะสมมาใช้กับงานที่ถูกต้องหรือไม่ (Isabel Martins, Queirós, G. Silva, & Pacheco Rocha, 2014) เช่นเดียวกับงานวิจัยพัฒนาหุ่นยนต์แทนตัวทางไกลสำหรับการศึกษาใน

รูปแบบรถเข็น (Di Gironimo, Matrone, Tarallo, Trotta, & Lanzotti, 2012) จักรยานสามล้อ (Tanaka et al., 2013) หรือนำสมาร์ตโฟนมาใช้ในบางส่วนของ การควบคุมหุ่นยนต์ (Emami & Bahmani, 2015; Tetzlaff, Zandian, Drüppel, & Witkowski, 2015)

2.4 สรุปการทบทวนงานวิจัยที่ผ่านมา

จากที่ทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง พร้อมกับพบทฤษฎีที่น่าสนใจในงานวิจัยแต่ละงาน ทำให้เห็นว่าแนวโน้มของหุ่นยนต์แทนตัวทางไกลเริ่มเข้ามามีบทบาทในการเสริมการใช้งานที่สื่อสารด้วยภาพและเสียงอย่างเดียวในชีวิตประจำวันมากขึ้น แต่ยังมีประสบปัญหาทางด้านราคา และการใช้งานที่ยังไม่เป็นธรรมชาติเท่าที่ควร

ดังนั้นการพัฒนาต่อยอดทางด้าน การควบคุมหุ่นยนต์ให้สามารถเคลื่อนที่ได้อย่างเป็นธรรมชาติเป็นงานที่มีความท้าทายที่สุดของหุ่นยนต์แทนตัวทางไกล รวมไปถึงความต่อเนื่องของการรับส่งข้อมูลภาพและเสียงผ่านระบบเครือข่ายที่มีผลต่อการควบคุมหุ่นยนต์และประสบการณ์การใช้หุ่นยนต์ของผู้ใช้งาน

บทที่ 3

วิธีการวิจัย

ผลจากการทบทวนทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง แสดงให้เห็นแนวทางในการพัฒนาหุ่นยนต์แทนตัวทางไกลที่ควบคุมด้วยสมาร์ตโฟน เนื้อหาบทนี้กล่าวสรุปแผนในการทำวิจัย การออกแบบโครงสร้างของตัวหุ่นยนต์และระบบควบคุมการทำงานของหุ่นยนต์ เพื่อให้สามารถทำงานได้ตามวัตถุประสงค์

3.1 ระเบียบวิธีการทำวิจัย

การวิจัยเพื่อพัฒนาหุ่นยนต์แทนตัวทางไกลที่ควบคุมด้วยสมาร์ตโฟนตามวิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีขั้นตอนการดำเนินการแบ่งเป็นเจ็ดขั้นตอน สรุปได้ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การศึกษางานวิจัยและเอกสารที่เกี่ยวข้อง

- (1) ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับหุ่นยนต์แทนตัวทางไกล
- (2) ศึกษาทฤษฎีและเทคนิคที่น่าสนใจของหุ่นยนต์แทนตัวทางไกล
- (3) ศึกษาเครื่องมือและเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้อง

ขั้นตอนที่ 2 การศึกษาเทคโนโลยี เทคนิค และทฤษฎีสำหรับงานวิจัย

- (1) คุณสมบัติของคอมพิวเตอร์ราสเบอร์รี่ไพ
- (2) การติดตั้งระบบปฏิบัติการราสเบียน (Rasbian OS) (M. Richardson & Wallace, 2012)
- (3) การติดตั้งและใช้งานเซอร์โวบลาสเตอร์ (ServoBlaster) (Hirst, 2014)
- (4) การติดตั้งและใช้งานควิกทีห้า (Qt5) (Project, 2014)
- (5) เทคโนโลยีการรับส่งภาพและเสียง
- (6) เทคนิคการตรวจจับการเคลื่อนไหวของอุปกรณ์แอนดรอยด์
- (7) ทฤษฎีการตรวจจับใบหน้า
- (8) ทฤษฎีการทำงานของระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ (Android OS)

ขั้นตอนที่ 3 การวิเคราะห์และออกแบบกระบวนการทำงานของหุ่นยนต์

- (1) การออกแบบโครงสร้างหุ่นยนต์แทนตัวทางไกล
- (2) การออกแบบวงจรการทำงานภายในหุ่นยนต์

- (3) การออกแบบระบบเพื่อควบคุมการเคลื่อนไหวของหุ่นยนต์ด้วยสมาร์ตโฟน
- (4) การออกแบบระบบเพื่อตรวจจับและติดตามใบหน้ามนุษย์
- (5) การออกแบบระบบเพื่อรับส่งข้อมูลภาพและเสียงที่เหมาะสมกับหุ่นยนต์
- (6) การออกแบบโมดูลสำหรับเข้ารหัสการรับส่งข้อมูลด้วยเครือข่ายส่วนตัวเสมือน (VPN)

ขั้นตอนที่ 4 การพัฒนาตัวหุ่นยนต์และซอฟต์แวร์สำหรับควบคุมการทำงานของหุ่นยนต์

ขั้นตอนที่ 5 การทดลองเพื่อตรวจสอบความถูกต้องและประเมินประสิทธิภาพของหุ่นยนต์ และการทดสอบการใช้งาน

- (1) การพัฒนาหุ่นยนต์จนแล้วเสร็จตามการวิเคราะห์และออกแบบ
- (2) การบันทึกผลการพัฒนา
- (3) การทดสอบและประเมินผลประสิทธิภาพการเคลื่อนไหวเพื่อติดตามใบหน้าโดยอัตโนมัติ
- (4) การทดสอบการใช้งาน

ขั้นตอนที่ 6 การสรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง

ขั้นตอนที่ 7 การจัดทำวิทยานิพนธ์ บทความทางวิชาการ และส่งมอบผลงาน

- (1) การเขียนบทความวิจัยและสรุปผล
- (2) การจัดทำเอกสารวิทยานิพนธ์
- (3) การส่งมอบผลงาน

3.2 การออกแบบโครงสร้างหุ่นยนต์แทนตัวทางไกล

การออกแบบหุ่นยนต์แทนตัวทางไกลที่ควบคุมด้วยสมาร์ตโฟนสำหรับงานวิจัย จะใช้การผสมผสานของโครงสร้างเสาส่งสัญญาณและติดตามเครื่องบินบังคับวิทยุ ร่วมกับชุดอุปกรณ์ขับเคลื่อนและคอมพิวเตอร์ราสเบอร์รี่ไพสำหรับระบบหุ่นยนต์แทนตัวทางไกล โดยมีการออกแบบแยกระหว่างส่วนหัวและส่วนฐานของหุ่นยนต์ดังรายละเอียดต่อไปนี้

3.2.1 การออกแบบส่วนหัว

ประกอบไปด้วยชิ้นส่วนและอุปกรณ์ 13 ชิ้น ดังภาพที่ 3.1 และ 3.2 ได้แก่

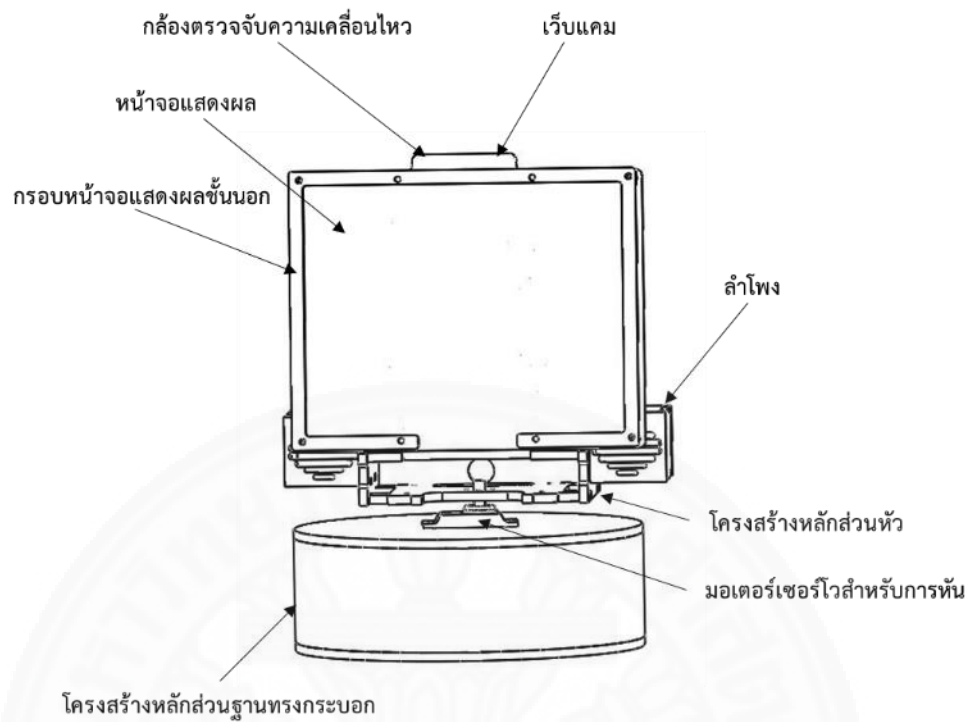
- (1) กรอบหน้าจอดีไซน์นอก เจาะพื้นที่แสดงผลและพื้นที่รับภาพ จุดยึด 4 จุด
- (2) หน้าจอแสดงผล ขนาด 5-8 นิ้ว
- (3) กล้องตรวจจับการเคลื่อนไหว (Motion Camera)
- (4) เว็บแคมสำหรับข้อมูลภาพและเสียง

- (5) กรอบหน้าจอชั้นกลาง เจาะพื้นที่จอ กล้อง และเว็บแคม จุดยึด 4 จุด
- (6) กรอบหน้าจอชั้นหลัง เจาะพื้นที่เดินสายไฟ จุดยึด 4 จุด
- (7) แผ่นรองติดตั้งอุปกรณ์ เจาะพื้นที่เดินสายไฟ จุดยึด 8 จุด
- (8) คอมพิวเตอร์ราสเบอร์รี่ไฟสำหรับการควบคุมการเคลื่อนไหว และตรวจจับการเคลื่อนไหว
- (9) วงจรแสดงผลหน้าจอ
- (10) โครงติดตั้งมอเตอร์เซอร์โว เจาะพื้นที่เดินสายไฟด้านหน้าและด้านหลัง
- (11) มอเตอร์เซอร์โว 2 ชุด สำหรับปรับมุมก้มเงย
- (12) โครงสร้างหลักของส่วนหัวสำหรับยึดกับมอเตอร์เซอร์โวปรับมุมก้มเงย มอเตอร์เซอร์โวมุมหันซ้ายขวา และยึดโครงติดตั้งลำโพงซ้ายและขวา
- (13) โครงติดตั้งลำโพงซ้ายและขวา เจาะพื้นที่เดินสายไฟ

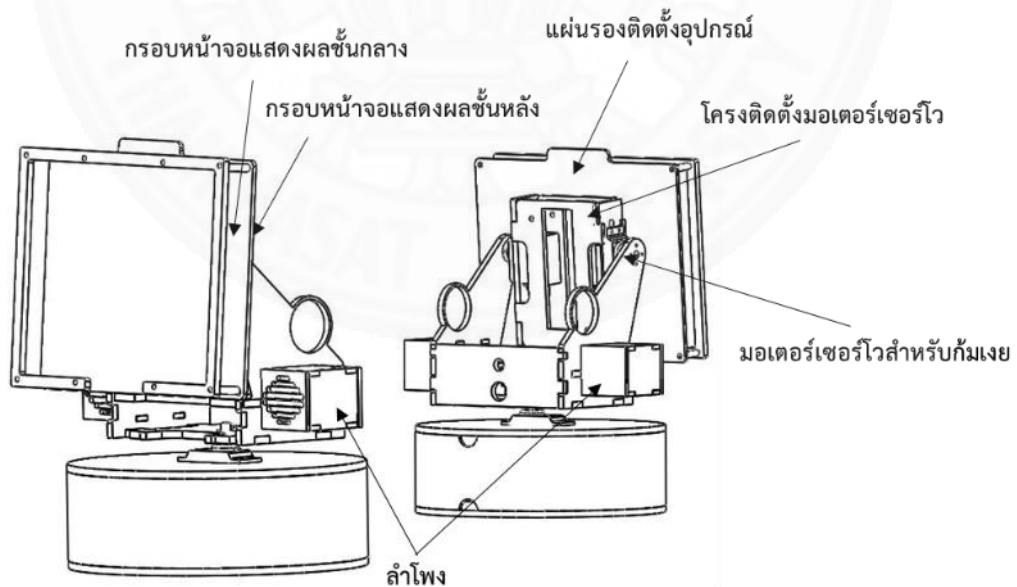
3.2.2 การออกแบบส่วนฐาน

ประกอบไปด้วยกลุ่มอุปกรณ์สามส่วน ดังภาพที่ 3.2 และ 3.3 ได้แก่

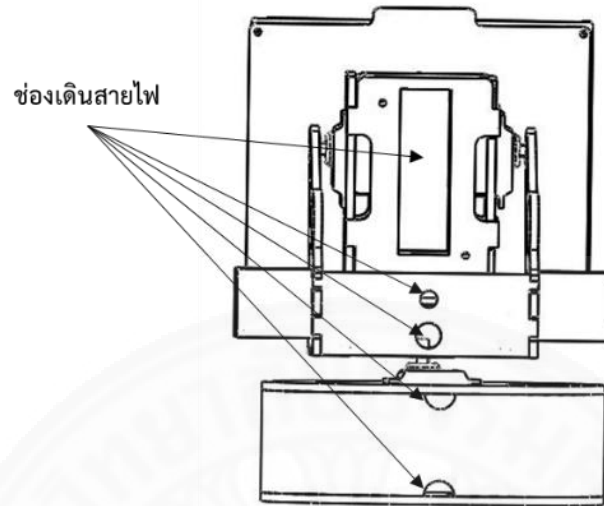
- (1) โครงสร้างหลักส่วนฐานแบบทรงกระบอก เจาะช่องเดินสายไฟเข้าด้านหลัง ช่องเดินสายไฟออกไปยังส่วนหัวด้านหลัง และช่องติดตั้งมอเตอร์เซอร์โว
- (2) แหล่งจ่ายไฟและแปลงไฟที่รับค่าความต่างศักย์ในช่วง 110-240V และแปลงค่าความต่างศักย์ออกที่ระดับ 5V ไปยังอุปกรณ์อื่น กับ 12V ไปยังวงจรหน้าจอแสดงผล
- (3) คอมพิวเตอร์ราสเบอร์รี่ไฟสำหรับการเชื่อมต่อเครือข่าย รับส่งภาพและเสียงจากเว็บแคม แสดงผลภาพหน้าจอ แสดงผลเสียงลำโพง ส่งคำสั่งการเคลื่อนไหว และส่งคำสั่งเปิดหรือปิดระบบการตรวจจับการเคลื่อนไหว



ภาพที่ 3.1 แบบหุ่นยนต์แทนตัวทางไกลด้านหน้า



ภาพที่ 3.2 แบบหุ่นยนต์แทนตัวทางไกลด้านข้าง

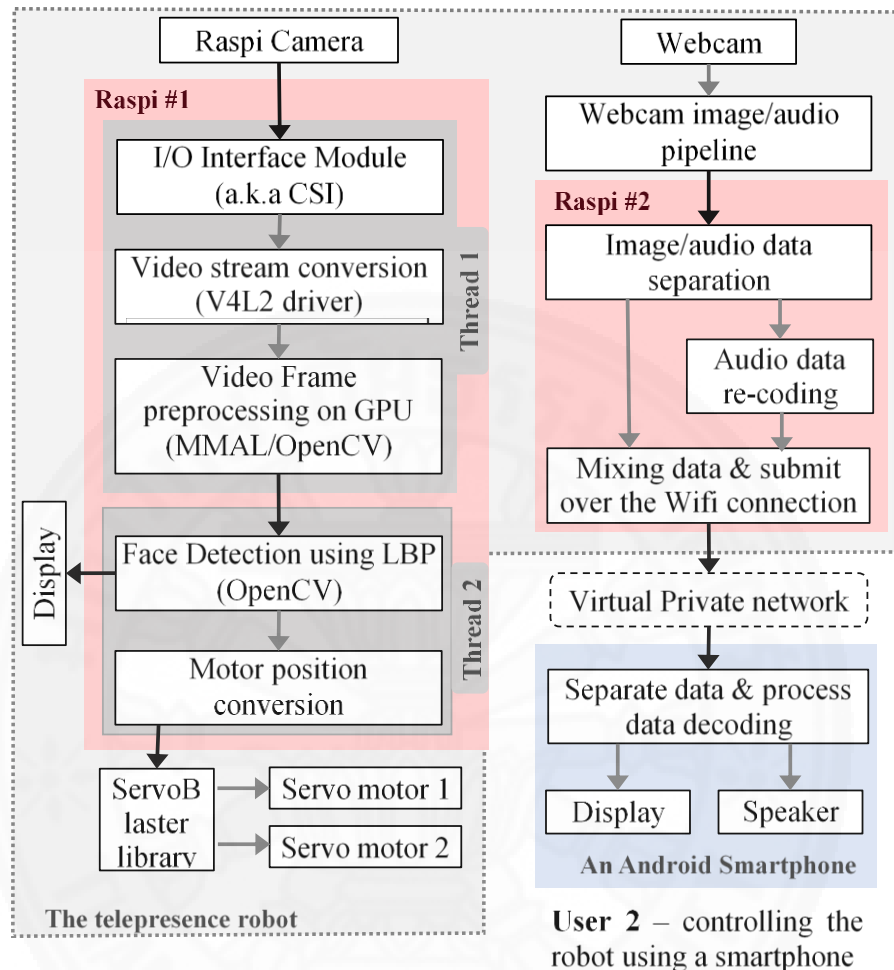


ภาพที่ 3.3 แบบหุ่นยนต์แทนตัวทางไกลด้านหลัง

3.2.3 การออกแบบการเชื่อมต่อของส่วนหัว ส่วนฐาน และวงจรถควบคุม

หลังจากออกแบบตัวหุ่นยนต์ จึงออกแบบวงจรถการทำงานเพื่อให้เข้ากับตัวโครงสร้างหุ่นยนต์ (Janard & Maruringsith, 2015) ดังภาพที่ 3.4

User 1 – facing the robot avatar of User 2



ภาพที่ 3.4 แผนผังวงจรโดยรวมของหุ่นยนต์แทนตัวทางไกล (Janard & Marungsith, 2015)

3.2.4 รายละเอียดโดยรวมของหุ่นยนต์

รายละเอียดอุปกรณ์ทั้งหมดที่ใช้กับหุ่นยนต์แทนตัวทางไกลได้จัดทำเป็นข้อมูลตาราง ดังแสดงในตารางที่ 3.1 (Janard & Marungsith, 2015)

ตารางที่ 3.1 แสดงรายละเอียดข้อมูลอุปกรณ์ทั้งหมดของหุ่นยนต์ (Janard & Marungsith, 2015)

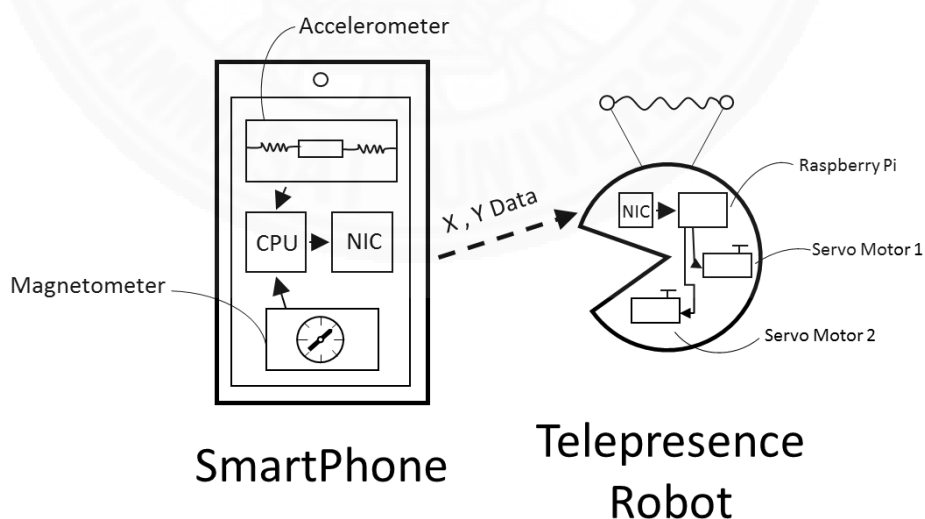
ความสามารถของส่วนควบคุมการหัน	
วงจรควบคุมการหัน	ATmega32u4 / ATmega328
แรงบิดของมอเตอร์	10Kg-cm Max Torque
ความเร็วในการหัน	Up to 0.21 Second per 60 Degree Max Speed
มุมมองการหันสูงสุด	180 Degree Pan and 180 Degree (lock for safety at 120) Tilt
หน่วยประมวลผล หน่วยความจำ และหน้าจอ	
หน่วยประมวลผลกลาง	Broadcom BCM2835SoC 800MHz (OC) Single-Core
หน่วยความจำ	512MB RAM, 8GB SD Card Class 10
หน่วยประมวลผลภาพ	Broadcom VideoCore IV
หน้าจอ	5 Inch Screen with 720x480 Max Resolution
กล้องตรวจจับใบหน้า	
ความละเอียดที่รองรับ	1440x1080 Max, 640x480, 320x240 Effective
อัตราภาพที่รองรับ	30 FPS Max, 25 FPS Effective
องศาการมองเห็น	54 Degree
ระยะการตรวจจับ	1 M to Infinity
กล้องถ่ายทอดเสียงและภาพเคลื่อนไหว	
ความละเอียดที่รองรับ	640x480 Max, 640x480, 320x240 Effective
อัตราภาพที่รองรับ	30 FPS Max and Effective
องศาการมองเห็น	58 Degree
ระยะการตรวจจับ	1 M to Infinity
รูปแบบการรับเสียง	Mono
รายละเอียดระบบไฟฟ้า	
อัตราการรับไฟเข้า	100-250 VAC 47-63Hz
อัตราการสูญเสียกำลังไฟ	<0.7 mA / 220 VAC
อัตราคลาดเคลื่อนการจ่ายไฟ	+0.5%
อัตราการจ่ายไฟสูงสุด	50 W
การจ่ายไฟแบบที่หนึ่ง	12 VDC 2 A +10%
การจ่ายไฟแบบที่สอง	5 VDC 4 A +0.5%
ประสิทธิภาพการจ่ายไฟ	>85%

3.3 การออกแบบระบบหุ่นยนต์แทนตัวทางไกล

3.3.1 การใช้สมาร์ทโฟนควบคุมการเคลื่อนไหวของหุ่นยนต์แทนตัวทางไกล

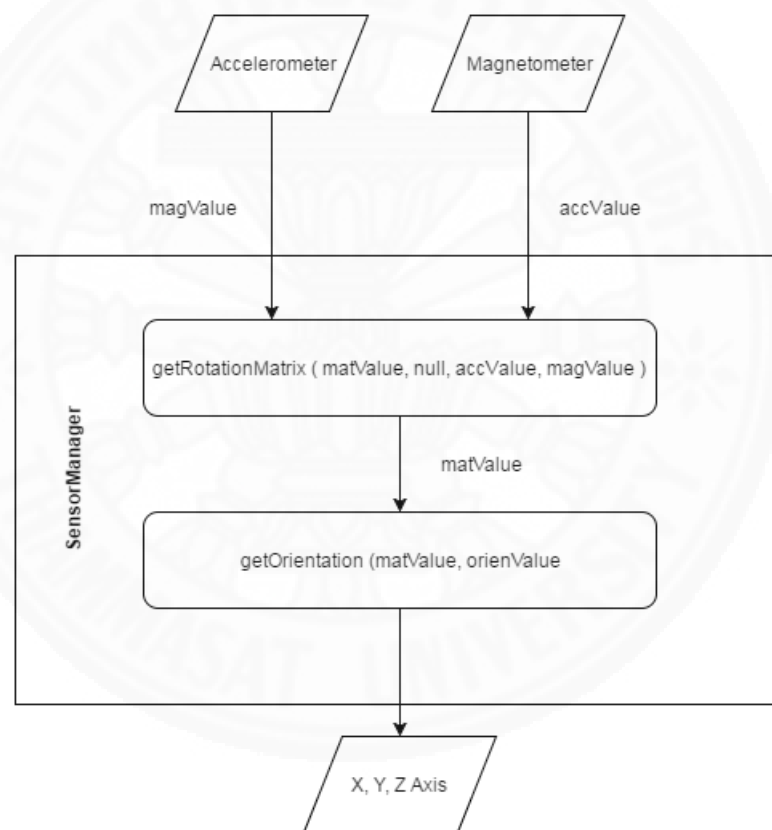
เหตุผลที่เลือกใช้ระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ในการควบคุมหุ่นยนต์แทนตัวทางไกล เนื่องจากระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์เป็นระบบเปิดที่สามารถดัดแปลงการใช้งานสำหรับงานวิจัยได้อย่างหลากหลาย มีชุดเครื่องมือสนับสนุนการพัฒนาเป็นจำนวนมาก การจัดการหน่วยความจำที่ดี และสามารถเข้าถึงกลุ่มผู้ใช้งานทั่วไปได้ในวงกว้าง

การเคลื่อนไหวของหุ่นยนต์แทนตัวทางไกลที่เป็นธรรมชาติโดยใช้สมาร์ทโฟนควบคุมการเคลื่อนไหว เริ่มต้นจากการรับการเคลื่อนไหวของสมาร์ทโฟนโดยใช้ซอฟต์แวร์บนแอนดรอยด์ แล้วส่งคำสั่งการเคลื่อนไหวของสมาร์ทโฟนไปยังคอมพิวเตอร์ราสเบอร์รี่ไพด์ังภาพที่ 3.5 ตัวซอฟต์แวร์จะอ้างอิงการหันหรือก้มเงยของสมาร์ทโฟนด้วยชุดคำสั่งส่วนต่อประสานโปรแกรมประยุกต์ของการตรวจจับการเคลื่อนไหวชื่อ SensorManager โดยใช้ฟังก์ชัน `getOrientation()` คู่กับ `getRotationMatrix()` (Google, 2014b) เพื่อรับค่าการหันแนวนอน (Azimuth หรือ Z Axis) และค่าการก้มเงย (Pitch หรือ X Axis) จากอุปกรณ์วัดความเร่ง (Accelerometer Sensor) และอุปกรณ์เข็มทิศ (Magnetometer Sensor) ส่งต่อข้อมูลไปยังคอมพิวเตอร์ราสเบอร์รี่ไพเพื่อสั่งงานมอเตอร์เซอร์โวด้วยโปรแกรมเซอร์โวราสเตอร์ไปยังทิศทางที่ต้องการโดยไม่จำเป็นต้องใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) สำหรับขับเคลื่อนมอเตอร์เซอร์โวโดยเฉพาะมาต่อพ่วง

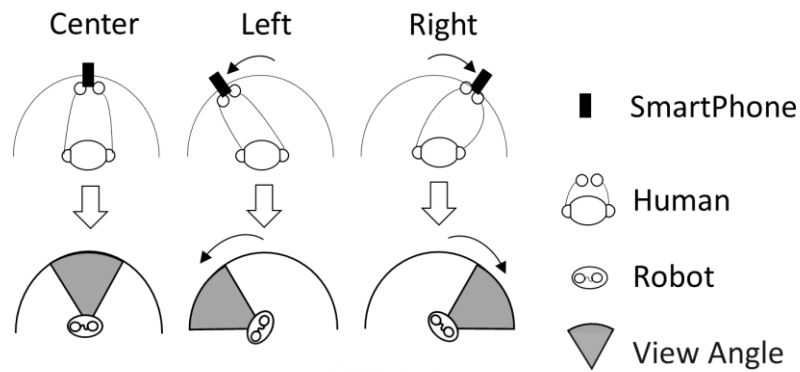


ภาพที่ 3.5 แผนผังการควบคุมการหันของหุ่นยนต์แทนตัวทางไกลด้วยสมาร์ทโฟน

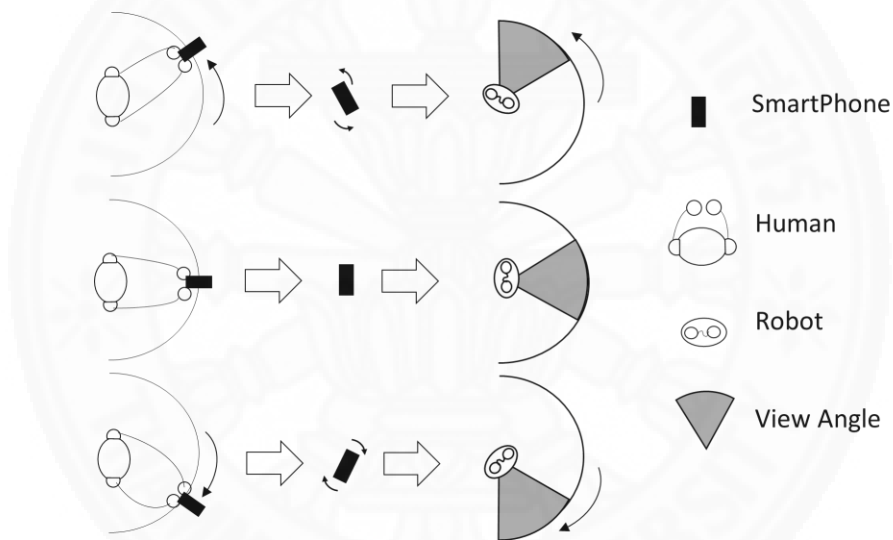
วิธีการหาค่าที่ได้จากชุดคำสั่งส่วนต่อประสานโปรแกรมประยุกต์ของการตรวจจับการเคลื่อนไหวที่มีอยู่ในระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ คือ การรับค่าจากอุปกรณ์วัดความเร่งและอุปกรณ์เข็มทิศด้วย TYPE_ACCELEROMETER และ TYPE_MAGNETIC_FIELD ที่มีอยู่ในชุดคำสั่ง SensorManager ส่งต่อไปยังฟังก์ชัน getRotationMatrix() เพื่อคำนวณหาค่าเมทริกซ์ที่ได้จากอุปกรณ์วัด จากนั้นจึงทำการแยกค่าของแกนต่างๆ ออกด้วยฟังก์ชัน getOrientation() เพื่อนำไปใช้ในการเตรียมส่งข้อมูลการเคลื่อนไหวให้กับตัวหุ่นยนต์ดังภาพที่ 3.6 ผลที่ได้คือได้รับค่าการเคลื่อนไหวของสมาร์ทโฟนในรูปแบบแกน X Y และ Z บังคับให้หุ่นยนต์หันไปตามค่าการเปลี่ยนแปลงของแต่ละแกนดังภาพที่ 3.7 และ 3.8



ภาพที่ 3.6 วิธีการรับค่าจากอุปกรณ์วัดความเร่งและอุปกรณ์เข็มทิศมาแปลงเป็นข้อมูลแกนการเคลื่อนไหวแต่ละแกน

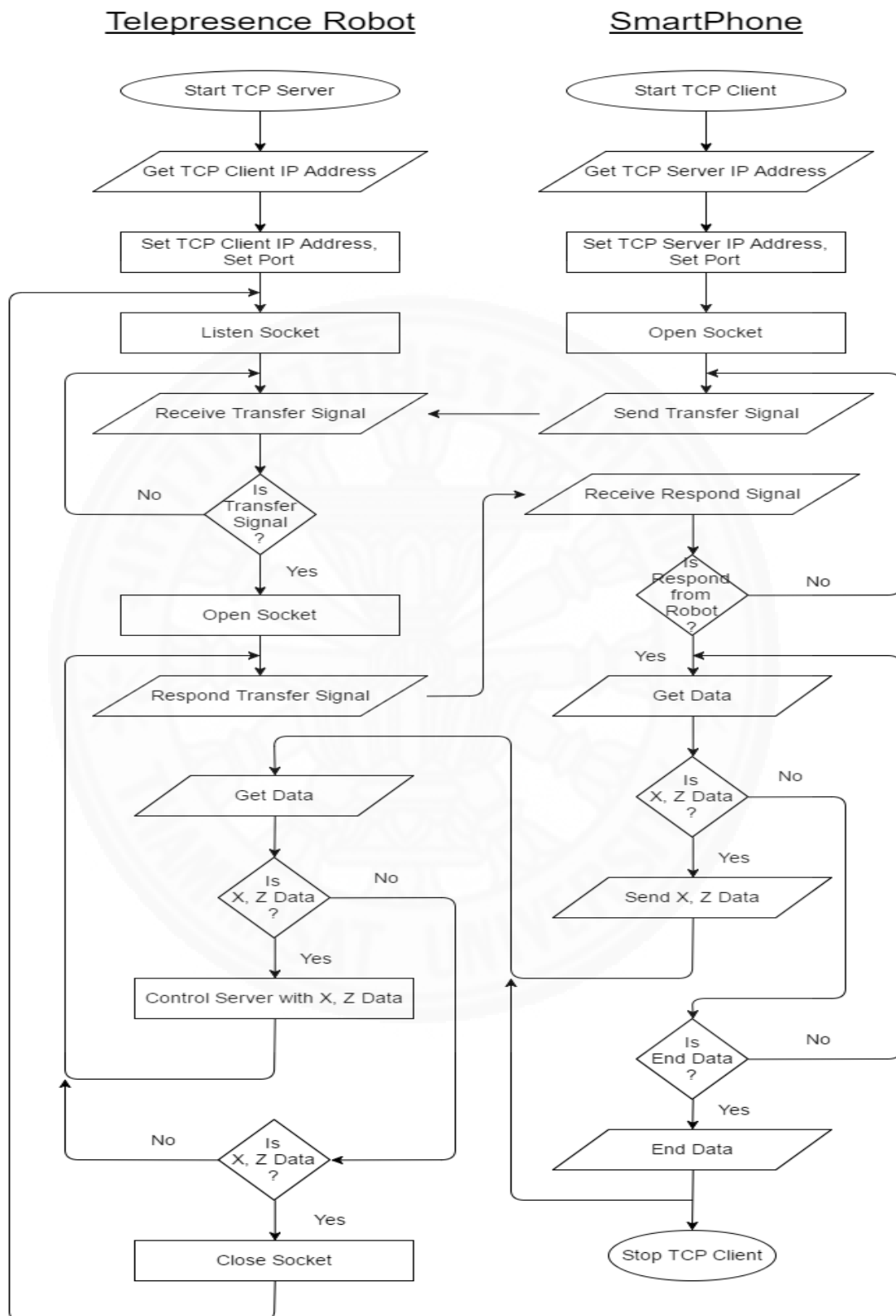


ภาพที่ 3.7 การหันซ้ายขวาของหุ่นยนต์ตามการเคลื่อนไหวของสมาร์ทโฟนในแกน Z



ภาพที่ 3.8 การหันซ้ายขวาของหุ่นยนต์ตามการเคลื่อนไหวของสมาร์ทโฟนในแกน X

การเชื่อมต่อเพื่อใช้สำหรับการรับส่งข้อมูลระหว่างสมาร์ทโฟนและคอมพิวเตอร์ราสเบอร์รี่ไพ ใช้วิธีการเชื่อมต่อในรูปแบบทีซีพี (Transmission Control Protocol หรือ TCP) โดยมีการทำงาน คือ คอมพิวเตอร์ราสเบอร์รี่ไพทำหน้าที่เป็นแม่ข่ายทีซีพีที่กำหนดพอร์ตคงที่ (Static Port) เช่น พอร์ต 10000 สำหรับรับข้อมูลการเคลื่อนไหวของสมาร์ทโฟนเพื่อนำไปขับเคลื่อนมอเตอร์เซอร์โวตามที่กำหนด ส่วนสมาร์ทโฟนทำหน้าที่เป็นลูกข่ายทีซีพีเพื่อเชื่อมต่อไปยังแม่ข่ายตามหมายเลขไอพี (IP Address) และพอร์ตของตัวหุ่นยนต์ที่ต้องการ เมื่อเชื่อมต่อสำเร็จ สมาร์ทโฟนจะเริ่มส่งข้อมูลให้กับตัวหุ่นยนต์ทันทีจนกว่าจะสิ้นสุดการใช้งานดังแผนผังแสดงลำดับการทำงานในภาพที่ 3.9



ภาพที่ 3.9 แผนผังการเชื่อมต่อและส่งข้อมูลผ่านที่ซีพียูระหว่างหุ่นยนต์และสมาร์ทโฟน

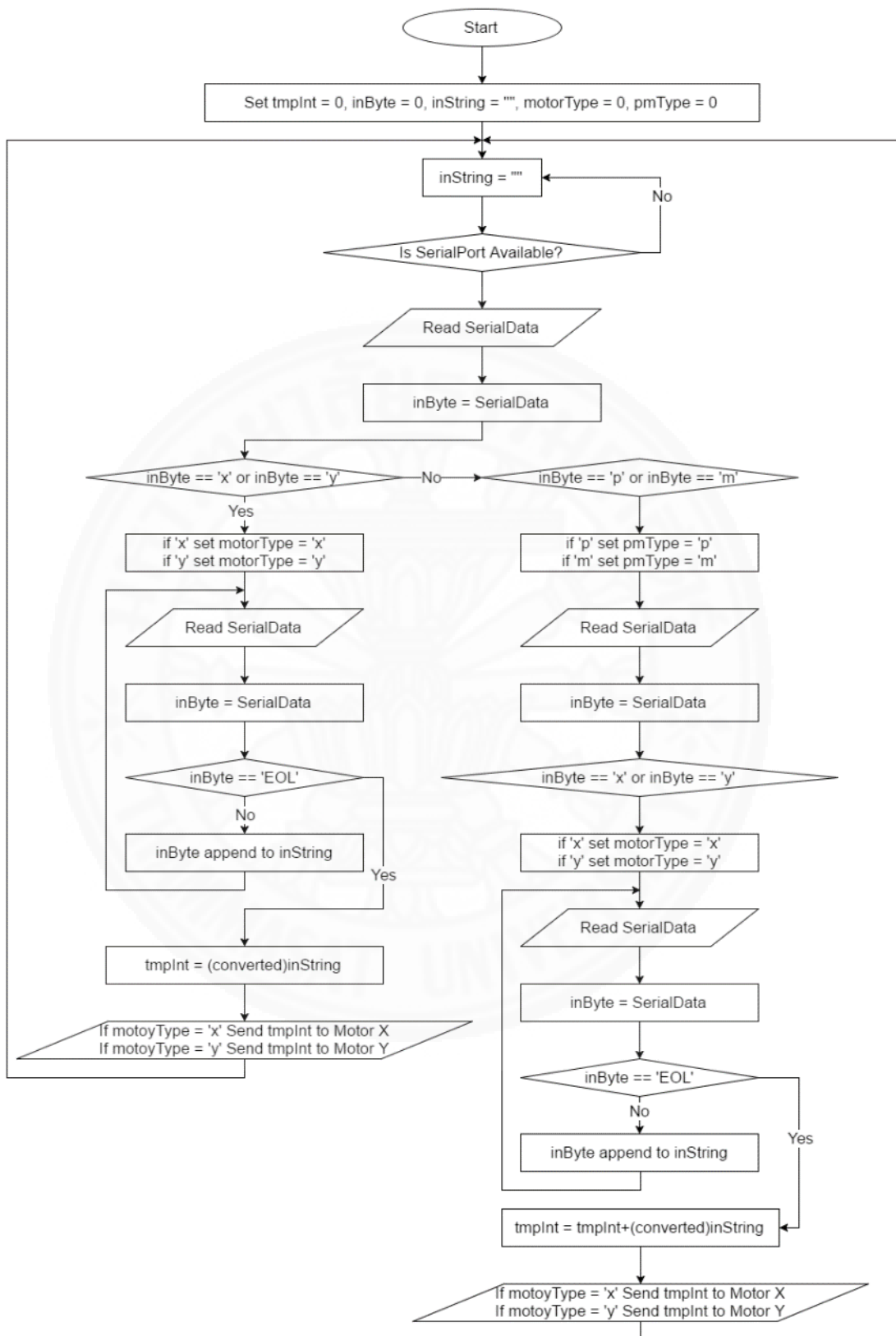
หลักการดำเนินงานภายในของส่วนควบคุมการหันของหุ่นยนต์แทนตัวทางไกลจะรับข้อมูลเป็นสายอักขระ (String) จากสมาร์ทโฟนคราวละสี่ตัวอักษรแล้วแปลงเป็นค่าองศาการหัน แนวนอนหรือแนวตั้งดังตารางที่ 3.2 หรือคราวละห้าตัวอักษรแล้วแปลงเป็นค่าเพิ่มลดองศาแนวนอนหรือแนวตั้งดังตารางที่ 3.3 โดยมีลำดับการทำงานดังแสดงในภาพที่ 3.10 คือเริ่มตรวจสอบสถานะของพอร์ตอนุกรม (Serial Port) ว่าว่างหรือไม่ หากไม่ ให้ทำการตรวจสอบซ้ำจนกว่าจะว่างแล้วอ่านข้อมูลเข้ามาประมวลผลทีละตัวอักษรโดยเริ่มต้นด้วยการแยกว่าเป็นการควบคุมประเภทตำแหน่งการหัน (X หรือ Y) หรือเพิ่มลดค่าองศาการหัน (P หรือ M) หากเป็นประเภทกำหนดค่าการหัน (X or Y Axis Mode) ระบบจะกำหนดมอเตอร์การส่งคำสั่งให้กับมอเตอร์ที่เกี่ยวข้อง จากนั้นจะรับตัวอักษรตัวต่อไปเข้าไปยังสายอักขระจนถึงจุดกำหนดสิ้นสุดบรรทัด (EOL หรือ End of Line) จึงหยุดการรับตัวอักษรแล้วแปลงค่าสายอักขระเป็นองศาที่ต้องการหันให้มอเตอร์ควบคุมการเคลื่อนไหว และหากเป็นประเภทการเพิ่มลดค่าองศาการหัน (Plus or Minus Degree Mode) ระบบจะอ่านตัวอักษรต่อไปว่าเป็นการเพิ่มลดค่าองศาแนวนอนหรือแนวตั้งแล้วกำหนดมอเตอร์การส่งคำสั่งให้กับมอเตอร์ที่เกี่ยวข้อง จากนั้นจะรับตัวอักษรตัวต่อไปเข้าไปยังสายอักขระจนถึงจุดกำหนดสิ้นสุดบรรทัด (EOL หรือ End of Line) จึงหยุดการรับตัวอักษรแล้วแปลงค่าสายอักขระเป็นองศาที่ต้องการเพิ่มหรือลดเพื่อส่งไปยังมอเตอร์ควบคุมการเคลื่อนไหว

ตารางที่ 3.2 ประเภทกำหนดค่าการหัน (X or Y Axis Mode)

X or Y Axis									
String				Move to Degree	String				Move to Degree
[0]	[1]	[2]	[3]		[0]	[1]	[2]	[3]	
X or Y	+	0	0	90	X or Y	-	0	0	90
X or Y	+	0	5	85	X or Y	-	0	5	95
X or Y	+	1	0	80	X or Y	-	1	0	100
X or Y	+	1	5	75	X or Y	-	1	5	105
X or Y	+	2	0	70	X or Y	-	2	0	110
X or Y	+	2	5	65	X or Y	-	2	5	115
X or Y	+	3	0	60	X or Y	-	3	0	120
X or Y	+	3	5	55	X or Y	-	3	5	125
X or Y	+	4	0	50	X or Y	-	4	0	130
X or Y	+	4	5	45	X or Y	-	4	5	135
X or Y	+	5	0	40	X or Y	-	5	0	140
X or Y	+	5	5	35	X or Y	-	5	5	145
X or Y	+	6	0	30	X or Y	-	6	0	150
X or Y	+	6	5	25	X or Y	-	6	5	155
X or Y	+	7	0	20	X or Y	-	7	0	160
X or Y	+	7	5	15	X or Y	-	7	5	165
X or Y	+	8	0	10	X or Y	-	8	0	170
X or Y	+	8	5	5	X or Y	-	8	5	175
X or Y	+	9	0	0	X or Y	-	9	0	180

ตารางที่ 3.3 ประเภทการเพิ่มลดค่าองศาการหัน (Plus or Minus Degree Mode)

X or Y Axis for Plus or Minus Degree Mode					
String					Plus from Current Degree
[0]	[1]	[2]	[3]	[4]	
P	X or Y	0	0	0	0
P	X or Y	0	0	1	1
.
.
P	X or Y	1	8	0	180
String					Minus from Current Degree
[0]	[1]	[2]	[3]	[4]	
M	X or Y	0	0	0	0
M	X or Y	0	0	1	-1
.
.
M	X or Y	1	8	0	-180

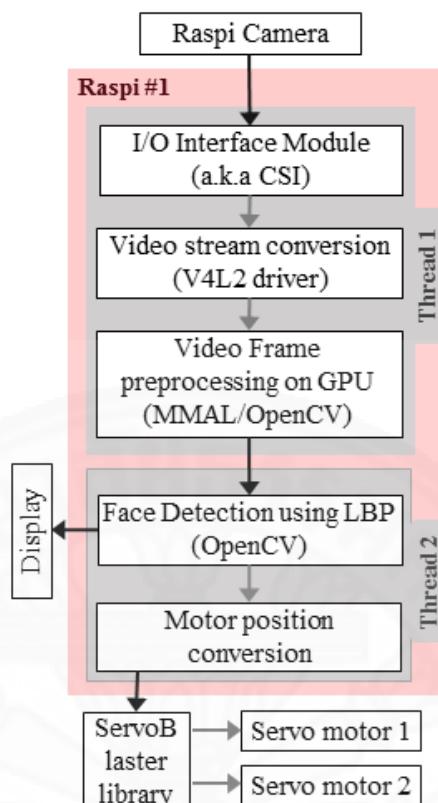


ภาพที่ 3.10 แผนผังการรับข้อมูลการเคลื่อนไหวกจากสมาร์ทโฟนเพื่อสั่งควบคุมมอเตอร์

3.3.2 การติดตามใบหน้าของมนุษย์โดยใช้เทคนิคแอลบีพี

การให้หุ่นยนต์แทนตัวทางไกลติดตามการเคลื่อนไหวของมนุษย์ได้อัตโนมัติแบบทันทีทันใดเป็นงานวิจัยที่สามารถต่อยอดได้อย่างต่อเนื่อง เนื่องจากประสิทธิภาพของการเคลื่อนไหวเพื่อติดตามใบหน้านั้นขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมที่ไม่สามารถควบคุมได้ แม้การนำเทคโนโลยีการสร้างแผนที่เสมือนจากภาพที่ได้จากกล้องกล้องคิเนคต์มาร่วมในการประมวลผล แต่วิธีการดังกล่าวเพิ่มค่าใช้จ่ายในการพัฒนา เพิ่มความต้องการกำลังในการประมวลผลแผนที่เสมือน และเพิ่มความต้องการใช้หน่วยความจำของหุ่นยนต์มากเกินไปเกินความจำเป็น วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงนำองค์ความรู้ทางด้านการประมวลผลภาพมาใช้ร่วมกับการใช้กล้องทั่วไปหรือเว็บแคมตรวจจับและติดตามใบหน้ามนุษย์ เพื่อพัฒนาหุ่นยนต์แทนตัวทางไกลที่มีต้นทุนต่ำ

การออกแบบและพัฒนาระบบตรวจจับและติดตามใบหน้าจะประยุกต์จากงานวิจัยการเร่งประสิทธิภาพการตรวจจับใบหน้าด้วยหน่วยประมวลผลภาพ (Berggren, Gregersson, Grafulla, Platforms, & Hasselgren, 2008) โดยมีแผนผังการทำงานของระบบตรวจจับใบหน้าดังแสดงในภาพที่ 3.11 ระบบจะเริ่มเทรด (Thread) หนึ่งรับข้อมูลดิบจากกล้องผ่านส่วนต่อประสานอุปกรณ์ซีเอสไอ (CSI หรือ Common System Interface) เข้ามายังตัวชิปวีโฟร์แอลทู (V4L2 หรือ Video for Linux 2) แปลงเป็นข้อมูลภาพเคลื่อนไหว แล้วส่งต่อไปยังโอเพนซีวีประมวลผลภาพเดี่ยวร่วมกับส่วนต่อประสานซอฟต์แวร์ประยุกต์เอ็มเอ็มเอแอล (MMAL API หรือ Multi-Media Abstraction Layer) เพื่อเรียกใช้หน่วยประมวลผลภาพเข้ามาร่วมประมวลผลเร่งประสิทธิภาพและลดค่าโอเวอร์เฮด (Overhead) จากนั้นจึงส่งต่อไปยังเทรดที่สองให้รับข้อมูลภาพเดี่ยวเข้ามาประมวลผลด้วยโอเพนซีวีร่วมกับเทคนิคการประมวลผลและตรวจหาใบหน้าแบบแอลบีพี (LBP หรือ Local Binary Pattern) ส่งผลการประมวลออกไปยังหน้าจอและตำแหน่งใบหน้าไปคำนวณระยะคลาดเคลื่อนของใบหน้าเป็นสองค่า คือ ค่าความสูง และค่าความเอียง แล้วส่งต่อไปยังเซอร์โวบราสเตอร์เพื่อสั่งขับเคลื่อนมอเตอร์เซอร์โวให้เคลื่อนไปยังตำแหน่งศูนย์กลางของใบหน้า



ภาพที่ 3.11 แผนผังการทำงานของระบบตรวจจับและติดตามใบหน้า

(Janard & Marungsith, 2015)

เหตุผลที่เลือกใช้การประมวลผลและตรวจหาใบหน้าด้วยแอลบีพี เนื่องจากผลการ ทบทวนงานวิจัยทำให้เห็นว่าแอลบีพีมีประสิทธิภาพสูง และเหมาะกับทรัพยากรการประมวลผลที่มี จำกัดเมื่อเทียบกับเทคนิคอื่น

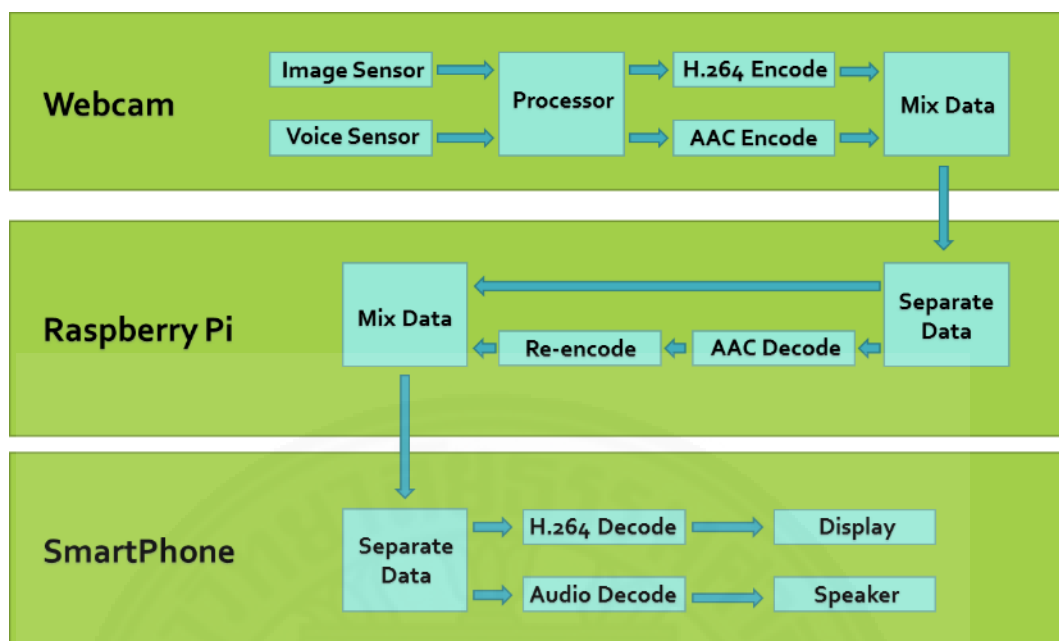
การทำงานของระบบตรวจจับและติดตามใบหน้าตามแผนผังข้างต้น ใช้คอมพิวเตอร์ ราบเบอร์รี่ไพ และกล้องราบเบอร์รี่ไพ (Raspberry Pi Camera) เป็นอุปกรณ์หลักในการประมวลผล ร่วมกับซอฟต์แวร์โอเพนซีวี (OpenCV) และเซอร์โวลบราสเตอร์ ทั้งนี้เนื่องจากประสิทธิภาพการทำงานของ หน่วยประมวลผลกลาง (CPU) โครงสร้างอาร์มวิทก (ARMv6) ของราบเบอร์รี่ไพความเร็ว 700 MHz จะมีประสิทธิภาพเทียบเท่า 300 MHz หรือ 0.046 GFLOPS ของหน่วยประมวลผลกลาง โครงสร้างเอ็กซ์แปดทก (x86) ของคอมพิวเตอร์ทั่วไป (elinux.org, 2014) แต่ประสิทธิภาพของราบ เบอร์รี่ไพที่แท้จริงมาจากหน่วยประมวลผลภาพ (GPU) บลอร์ดคอม วิดีโอคอร์ ซี (Broadcom VideoCore IV) ที่มีประสิทธิภาพการประมวลผลสูงถึง 24GFLOPS (Cox et al., 2014) จึงเหมาะแก่ การนำมาใช้ประมวลผลตรวจจับและติดตามใบหน้า



ภาพที่ 3.12 คอมพิวเตอร์ราสเบอร์รี่ไฟและกล้องราสเบอร์รี่ไฟ (RaspberryPi, 2012)

3.3.3 การรับส่งข้อมูลภาพและเสียงของหุ่นยนต์

ส่วนหัวของหุ่นยนต์จะใช้คอมพิวเตอร์ราสเบอร์รี่ไฟที่มีความสามารถในการเข้ารหัสและถอดรหัสเอสสองทกสี่ได้อย่างรวดเร็วจากหน่วยประมวลผลภาพ แต่ข้อจำกัดคือต้องซื้อสิทธิ์การใช้งานเอสสองทกสี่ให้กับคอมพิวเตอร์ราสเบอร์รี่ไฟแต่ละตัวที่ต้องการใช้การเข้ารหัสและถอดรหัสผ่านหน่วยประมวลผลภาพโดยตรง (RaspberryPi, 2012) ทำให้เป็นการเพิ่มทุนการพัฒนาและวิจัยมากขึ้น แต่ข้อดีของการซื้อสิทธิ์การใช้งานเอสสองทกสี่ของราสเบอร์รี่ไฟ คือ สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการประมวลผลได้ทั้งในส่วนของการเข้ารหัสเพื่อส่งข้อมูลไปยังสมาร์ทโฟนและในส่วนของการถอดรหัสของข้อมูลที่รับมาจากสมาร์ทโฟน แต่เนื่องจากการออกแบบโครงสร้างและวงจรหุ่นยนต์ใช้คอมพิวเตอร์ราสเบอร์รี่ไฟเป็นจำนวนสองตัว การซื้อสิทธิ์การเข้ารหัสและถอดรหัสเอสสองทกสี่ได้อย่างรวดเร็วจากตัวประมวลผลภาพจึงไม่จำเป็น ทางเลือกใหม่ของการพัฒนาจะเป็นการเรียกใช้งานการเข้ารหัสเอสสองทกสี่จากเว็บแคมที่สนับสนุน ส่งผ่านราสเบอร์รี่ไฟไปยังสมาร์ทโฟนได้โดยตรง ดังนั้นราสเบอร์รี่ไฟจะทำหน้าที่ถอดรหัสข้อมูลจากสมาร์ทโฟนเพียงอย่างเดียวดังภาพที่ 3.13



ภาพที่ 3.13 เทคนิคการเรียกใช้งานการเข้ารหัสสองทกสี่จากเว็บแคมส่งผ่านรหัสเบอร์รี่ไฟไปยัง
สมาร์ตโฟนโดยตรง

3.4 การออกแบบการทดลองเพื่อวัดประสิทธิภาพการทำงานของหุ่นยนต์แทนตัวทางไกล

การออกแบบการทดลองเพื่อวัดประสิทธิภาพการทำงานของหุ่นยนต์สามารถแบ่งออกเป็นสามส่วน คือ ส่วนการทดสอบประสิทธิภาพการรับส่งข้อมูล ส่วนการทดสอบประสิทธิภาพการตรวจจับใบหน้า และส่วนการทดสอบประสิทธิภาพการตรวจจับและติดตามใบหน้าแบบทันที เพื่อหาค่าความแตกต่างในแต่ละรูปแบบการทดลองในด้านการใช้ทรัพยากรของหน่วยความจำ อัตราการรับส่งข้อมูล และระยะเวลาและภาระการทำงานของหน่วยประมวลผลกลางว่ามีแนวโน้มไปในทิศทางใด โดยมีวิธีการดังนี้

3.4.1 วิธีการทดสอบประสิทธิภาพการรับส่งข้อมูลของหุ่นยนต์แทนตัวทางไกล

ทดสอบโดยการใช้หุ่นยนต์แทนตัวทางไกลเปิดใช้งานทีละส่วน แล้วให้สมาร์ตโฟนเชื่อมต่อเข้าทดสอบอัตรารับส่งข้อมูลที่ส่วนที่หุ่นยนต์แทนตัวทางไกลเปิดให้ใช้งาน ซึ่งมีทั้งสิ้น 6 ส่วนการทำงาน ส่วนละ 55 จำนวนการทดสอบการใช้งาน แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนแปลง

ส่วนการทดสอบการทำงานเพื่อวัดประสิทธิภาพการรับส่งข้อมูลมี 6 ส่วน ดังนี้

- (1) ส่วนวัดประสิทธิภาพการรับส่งข้อมูลเสียงที่ 8000 เฮิรตซ์
- (2) ส่วนวัดประสิทธิภาพการรับส่งข้อมูลภาพที่ 15 ภาพต่อวินาที
- (3) ส่วนวัดประสิทธิภาพการรับส่งข้อมูลภาพที่ 30 ภาพต่อวินาที
- (4) ส่วนวัดประสิทธิภาพการรับส่งข้อมูลภาพและเสียงที่ 15 ภาพต่อวินาที
- (5) ส่วนวัดประสิทธิภาพการรับส่งข้อมูลภาพและเสียงที่ 30 ภาพต่อวินาที
- (6) ส่วนวัดประสิทธิภาพการรับส่งข้อมูลภาพและเสียงที่ 15 ภาพต่อวินาที
พร้อมข้อมูลการควบคุมการหันของตัวหุ่นยนต์

เมื่อทดสอบส่วนการทำงานแต่ละส่วนเสร็จ จะเก็บค่าการทดสอบเอาไว้เพื่อหาค่าเฉลี่ยเทียบกับค่าเฉลี่ยการทำงานแบบเดินเบา (Idle) ของคอมพิวเตอร์ราสเบอร์รี่พีที่เปิดเก็บข้อมูลไว้เป็นเวลา 10 นาที เพื่อหาผลความแตกต่าง และประสิทธิภาพการทำงานของอัตรารับส่งข้อมูลในแต่ละส่วนการทดสอบ โดยแบ่งออกเป็น 3 ส่วน

- (1) การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยกับค่าการทำงานเดินเบาในเรื่องหน่วยความจำ
- (2) การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยกับค่าการทำงานเดินเบาในเรื่องการประมวลผล
- (3) การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยกับค่าการทำงานเดินเบาในเรื่องอัตรารับส่งข้อมูล

3.4.2 วิธีการทดสอบประสิทธิภาพการตรวจจับใบหน้า

ใช้การทดสอบโดยการใช้หุ่นยนต์แทนตัวทางไกลทำงานที่ละส่วนของการตรวจจับใบหน้า ซึ่งมีทั้งสิ้น 4 ส่วนการทำงาน ส่วนละ 10 จำนวนการทดสอบการใช้งาน จำนวนการทดสอบใช้งานละ 1 นาที แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ยของภาพต่อวินาที และระดับการประมวลผลของหน่วยประมวลผลกลาง

ส่วนการทดสอบการทำงานเพื่อวัดประสิทธิภาพการตรวจจับใบหน้าที่มี 4 ส่วน ดังนี้

- (1) การตรวจจับใบหน้าแบบมีใบหน้าในภาพ มีวัตถุในภาพแบบเคลื่อนไหว
- (2) การตรวจจับใบหน้าแบบมีใบหน้าในภาพ มีวัตถุในภาพแบบอยู่นิ่ง
- (3) การตรวจจับใบหน้าแบบไม่มีใบหน้าในภาพ มีวัตถุในภาพแบบเคลื่อนไหว
- (4) การตรวจจับใบหน้าแบบไม่มีใบหน้าในภาพ มีวัตถุในภาพแบบอยู่นิ่ง

3.4.3 วิธีการทดสอบประสิทธิภาพการตรวจจับและติดตามใบหน้าแบบทันที

เมื่อทดสอบส่วนการทำงานแต่ละส่วนของการตรวจจับใบหน้าเสร็จ จึงนำระบบการตรวจจับใบหน้ารวมเข้ากับการทดสอบอัตราการรับส่งข้อมูล โดยจะเปิดส่วนการทำงานการเคลื่อนไหว เพื่อให้หุ่นยนต์สามารถติดตามใบหน้าไว้ทุกส่วนการทดสอบ ซึ่งมีทั้งสิ้น 5 ส่วนการทำงาน ส่วนละ 55 จำนวนการทดสอบการใช้งาน แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนแปลง

ส่วนการทดสอบการทำงานเพื่อวัดประสิทธิภาพการตรวจจับและติดตามใบหน้ามี 5 ส่วน ดังนี้

- (1) ส่วนวัดประสิทธิภาพโดยปิดการรับส่งข้อมูลภาพและเสียง พร้อมเปิดส่วนการทำงานของการตรวจจับและติดตามใบหน้า
- (2) ส่วนวัดประสิทธิภาพการรับส่งข้อมูลภาพที่ 15 ภาพต่อวินาที พร้อมเปิดส่วนการทำงานของการตรวจจับและติดตามใบหน้า
- (3) ส่วนวัดประสิทธิภาพการรับส่งข้อมูลภาพที่ 30 ภาพต่อวินาที พร้อมเปิดส่วนการทำงานของการตรวจจับและติดตามใบหน้า
- (4) ส่วนวัดประสิทธิภาพการรับส่งข้อมูลภาพและเสียงที่ 15 ภาพต่อวินาที พร้อมเปิดส่วนการทำงานของการตรวจจับและติดตามใบหน้า
- (5) ส่วนวัดประสิทธิภาพการรับส่งข้อมูลภาพและเสียงที่ 30 ภาพต่อวินาที พร้อมเปิดส่วนการทำงานของการตรวจจับและติดตามใบหน้า

เมื่อทดสอบส่วนการทำงานแต่ละส่วนเสร็จ จะเก็บค่าการทดสอบเอาไว้เพื่อหาค่าเฉลี่ยเทียบกับค่าเฉลี่ยการทำงานแบบเดินเบาของคอมพิวเตอร์ราสเบอร์รี่ไฟที่เปิดเก็บข้อมูลไว้เป็นเวลา 10 นาที จากบทที่ 3.4.1 เพื่อหาผลความแตกต่าง และประสิทธิภาพการทำงานของอัตรารับส่งข้อมูลในแต่ละส่วนการทดสอบ โดยแบ่งออกเป็น 3 ส่วน

- (1) การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยกับค่าการทำงานเดินเบาในเรื่องหน่วยความจำ
- (2) การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยกับค่าการทำงานเดินเบาในเรื่องการประมวลผล
- (3) การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยกับค่าการทำงานเดินเบาในเรื่องอัตรารับส่งข้อมูล

3.5 การออกแบบการทดลองเพื่อทดสอบการใช้งาน

การทดสอบความถูกต้องและประสิทธิภาพจะถูกจัดกลุ่มผู้เข้าร่วมทดลองอยู่ด้วยกันทั้งสิ้นสองกลุ่ม แต่ละกลุ่มจะได้รับการจัดแจงตามช่วงอายุ 18-22 ปี คือ กลุ่มวัยรุ่น (Late

Childhood or Teenager) และช่วงอายุ 23-40 ปี คือ กลุ่มวัยทำงาน (Early Adulthood) เพื่อหาค่าความแตกต่างความเร็ว ความแม่นยำ และความพึงพอใจในการใช้งานหุ่นยนต์แทนตัวทางไกลของกลุ่มอายุเดียวกันและระหว่างกลุ่มอายุ รวมไปถึงการวัดระดับความพึงพอใจทั้งก่อนและหลังการทดสอบว่ามีแนวโน้มที่ดีขึ้นหรือแย่ลง

แต่ละกลุ่มจะมีผู้เข้าร่วมทดลองทั้งสิ้น 14 คน โดยแบ่งเป็นชาย 7 คน หญิง 7 คน ทำการทดลองที่เหมือนกัน และทำการทดลองแต่ละสถานีซ้ำสามครั้งต่อคน เพื่อความแม่นยำของผลการทดลอง ดังนั้นการทดลองแต่ละสถานีจะมีผู้เข้าร่วมทดลองรวมทั้งสิ้น 28 คน

ทุกสถานีการทดลอง ผู้ทำการทดลองจะอธิบายรายละเอียดการทดลองและวิธีใช้งานเบื้องต้นให้กับผู้เข้าร่วมทดลองก่อนทำการทดลองทุกครั้ง

ช่วงระหว่างการทดลองแต่ละสถานี ผู้ทำการทดลองจะแจกเอกสารสำรวจความคิดเห็นให้กับผู้เข้าร่วมการทดลองหลังอธิบายรายละเอียดของสถานีการทดลองและสาธิตการใช้งานเบื้องต้นเสร็จสิ้น โดยรายละเอียดของเอกสารการทดลองจะสอบถามถึงช่วงก่อนและหลังของการทำการทดลองให้ผู้เข้าร่วมการทดลองกรอกแบบสอบถาม (ภาคผนวก ข)

สำหรับจรรยาบรรณของการทำการทดลอง ผู้ทำการทดลองจะแจ้งขอบันทึก ชื่อ ส่วนสูง อายุ เพศ อาชีพ และวิดีโอ ให้ผู้เข้าร่วมการทดลองทราบก่อนทำการทดลองทุกครั้ง ผู้เข้าร่วมการทดลองสามารถปฏิเสธการให้ชื่อของผู้เข้าร่วมทดลองเองได้

ผู้เข้าร่วมการทดลองไม่สามารถใช้อุปกรณ์ส่วนตัวของผู้เข้าร่วมการทดลองเองได้ เพื่อควบคุมสภาพแวดล้อมการใช้งานที่เหมือนกัน โดยผู้ทำการวิจัยจะจัดหาอุปกรณ์การทดลองให้กับผู้เข้าร่วมการทดลองเอง

อุปกรณ์และซอฟต์แวร์ทำการทดลองจะแตกต่างกันไปตามแต่ละสถานี แต่อุปกรณ์หลักที่ใช้เหมือนกันในทุกสถานี คือ

- (1) หุ่นยนต์แทนตัวทางไกลรุ่นที่สมบูรณ์ที่สุด
- (2) สมาร์ทโฟนที่ใช้ระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์รุ่นสี่ขึ้นไป
- (3) อุปกรณ์เครือข่ายที่มีความสามารถของเครือข่ายส่วนตัวเสมือน

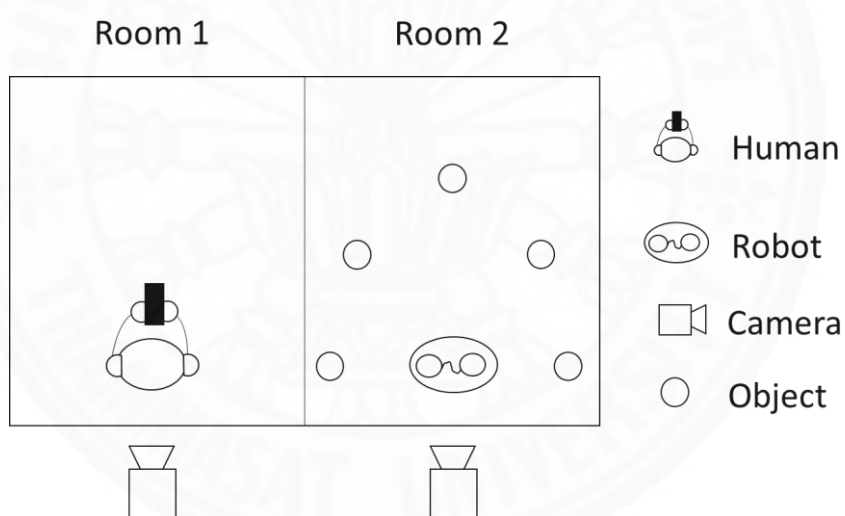
สำหรับสถานที่การทำวิจัย คือ ห้องปฏิบัติการปาเปล (PaPEL หรือ Parallel Computing and Performance Evaluation Lab) ชั้น 2 อาคารบรรยายรวม 2 สาขาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต

3.5.1 วิธีการทดสอบควบคุมการเคลื่อนไหวของหุ่นยนต์ด้วยสมาร์ทโฟน

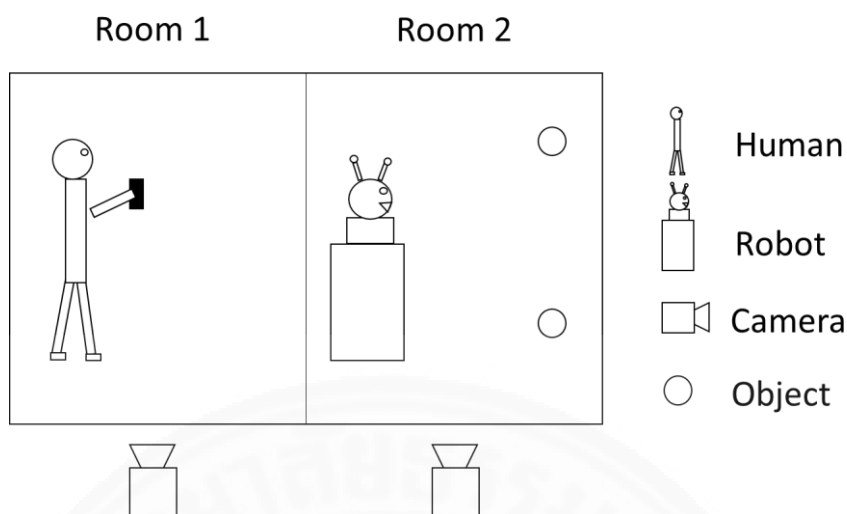
การออกแบบการทดลองนี้ ออกแบบเพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของความเร็ว ความแม่นยำ และความมั่นใจหรือพึงพอใจในการควบคุมการเคลื่อนไหวของหุ่นยนต์แทนตัวทางไกล ด้วยการกดปุ่มเสมือนบนสมาร์ทโฟนและการควบคุมการเคลื่อนไหวของหุ่นยนต์แทนตัวทางไกลด้วยการหันสมาร์ทโฟนในกลุ่มอายุเดียวกันและระหว่างกลุ่มอายุ โดยจะมีสามส่วนการทดลอง คือ

- (1) การควบคุมการเคลื่อนไหวของหุ่นยนต์แทนตัวทางไกลแนวนอน
- (2) การควบคุมการเคลื่อนไหวของหุ่นยนต์แทนตัวทางไกลแนวตั้งและแนวนอน
- (3) การควบคุมการเคลื่อนไหวของหุ่นยนต์แทนตัวทางไกลแนวเฉียง

ส่วนแรกจะให้ผู้เข้าร่วมทดลองอยู่ในห้องเดียวกันกับหุ่นยนต์ แต่มีผนังกั้นไม่ให้ผู้เข้าร่วมการทดลองเห็นการเคลื่อนไหวของหุ่นยนต์และวัตถุที่เป็นเป้าหมายที่ต้องควบคุมให้หุ่นยนต์หันตามดังภาพที่ 3.14 และภาพที่ 3.15



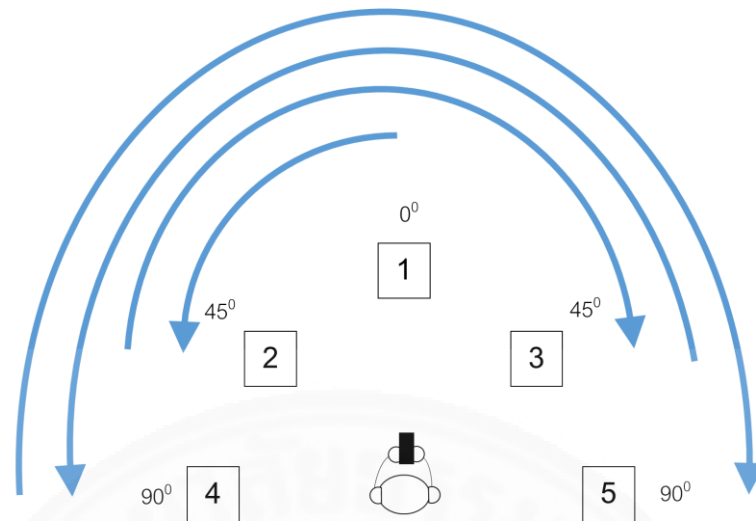
ภาพที่ 3.14 ผู้เข้าร่วมการทดลองอยู่คนละฝั่งกับหุ่นยนต์ โดยมีวัตถุวางรอบหุ่นยนต์ให้ผู้ใช้งานบังคับหุ่นยนต์ให้หันตาม



ภาพที่ 3.15 ผู้เข้าร่วมการทดลองอยู่คนละฝั่งกับหุ่นยนต์ โดยมีวัตถุวางอยู่ในระดับต่างๆ ด้านหน้า หุ่นยนต์ให้ผู้ใช้งับค้ำหุ่นยนต์ให้หันตาม

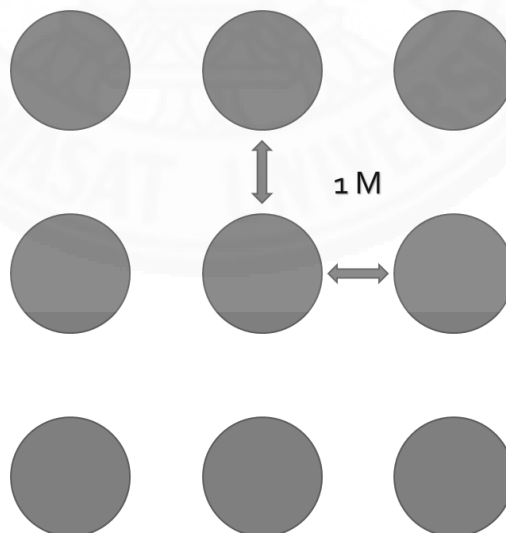
ตัวหุ่นยนต์จะได้รับการทดสอบสองวิธี โดยวิธีแรก คือ การทดสอบความเร็วการหัน หัววัตถุต่างๆ ที่วางโดยรอบของหุ่นยนต์ โดยวัตถุแต่ละชิ้นจะวางห่างจากหุ่นยนต์เป็นระยะ 2 เมตร และห่างจากวัตถุกันเองเป็นมุม 45 องศา เช่น 0 45 90 135 และ 180 องศา จำลองตามมุมมองปกติของมนุษย์ โดยใช้หุ่นยนต์เป็นศูนย์กลางในการวัดองศา

สำหรับวิธีการวัดความเร็วของการควบคุมการหันของหุ่นยนต์ ผู้ทำการทดลองได้ออกแบบให้ผู้เข้าร่วมการทดลองควบคุมการหันเพิ่มขึ้นทีละ 45 องศา ดังภาพที่ 3.16 โดยจะจับเวลาการหันตั้งแต่จุดวัตถุเริ่มต้นไปยังจุดวัตถุปลายทางไปที่ละช่วงจนสิ้นสุดการทดลอง และทำซ้ำอีกสองครั้งจนได้ข้อมูลระยะเวลาการหันแต่ละชุดองศาแนวระนาบเฉลี่ยที่แน่นอนของแต่ละคน

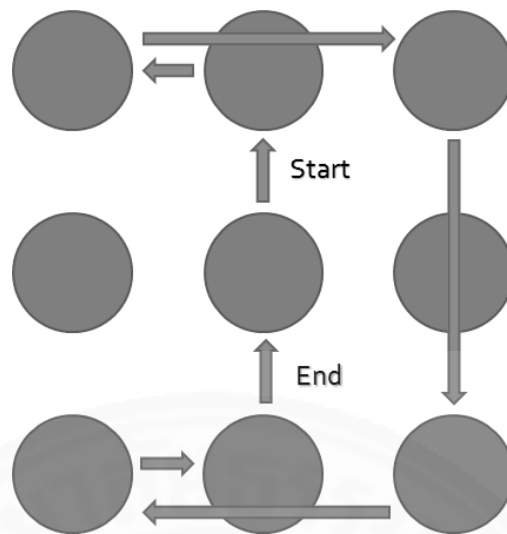


ภาพที่ 3.16 ขั้นตอนการหันจากวัตถุหนึ่งไปยังอีกวัตถุหนึ่งแนวระนาบจนเสร็จสิ้นการทดลอง

การทดลองส่วนที่สอง จัดสภาพแวดล้อมของผู้เข้าร่วมการทดลองและหุ่นยนต์แบบเดียวกันกับส่วนแรก แต่เปลี่ยนตำแหน่งวัตถุให้อยู่ด้านหน้าหุ่นยนต์ทั้งหมด โดยที่วัตถุห่างจากหุ่นยนต์ 1 เมตร และวัตถุห่างจากกันเอง 1 เมตร ดังภาพที่ 3.17 ให้ผู้เข้าร่วมการทดลองควบคุมการหันของหุ่นยนต์ตามทิศทางที่กำหนดดังภาพที่ 3.18 จนสิ้นสุดเป็นจำนวนสามครั้ง

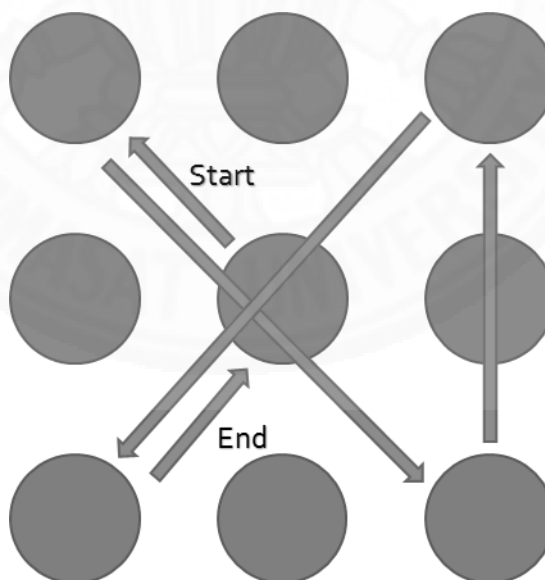


ภาพที่ 3.17 ตำแหน่งการจัดวางวัตถุหน้าหุ่นยนต์



ภาพที่ 3.18 ขั้นตอนการหันซ้ายขวาและก้มเงยแนวระนาบและแนวตั้ง

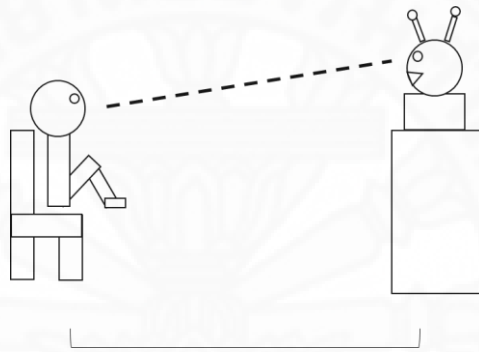
การทดลองส่วนที่สามจะใช้สภาวะแวดล้อมเช่นเดียวกับส่วนที่สอง แต่เปลี่ยนการควบคุมการเคลื่อนไหวของหุ่นยนต์เป็นแนวเฉียงดังภาพที่ 3.19 จนสิ้นสุดเป็นจำนวนสามครั้ง



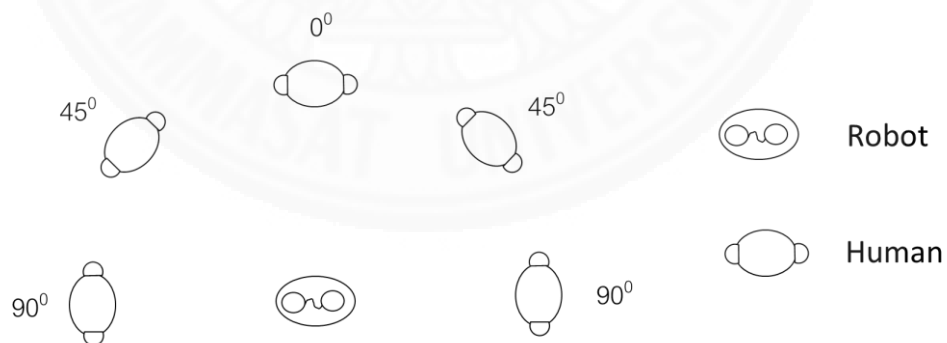
ภาพที่ 3.19 ขั้นตอนการหันซ้ายขวาและก้มเงยแนวทแยง

3.5.2 วิธีการทดสอบการเคลื่อนไหวของหุ่นยนต์เพื่อติดตามใบหน้าโดยอัตโนมัติ

การออกแบบการทดลองนี้ ออกแบบเพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของความเร็ว ความแม่นยำ และความมั่นใจหรือพึงพอใจในการควบคุมหุ่นยนต์แทนตัวทางไกลด้วยการเคลื่อนไหวของหุ่นยนต์เพื่อติดตามใบหน้าโดยอัตโนมัติในกลุ่มอายุเดียวกันและระหว่างกลุ่มอายุ โดยให้ผู้เข้าร่วมการทดลองอยู่ในห้องเดียวกันกับหุ่นยนต์ และให้หุ่นยนต์เปิดฟังก์ชันการทำงานตรวจจับและติดตามใบหน้า ผู้เข้าร่วมการทดลองจะยืนหรือนั่งตามจุดที่กำหนดไว้รอบหุ่นยนต์ โดยมีระยะห่าง 1 และ 2 เมตร ดังภาพที่ 3.20 โดยจุดแต่ละจุดที่เข้าร่วมทดลองเคลื่อนที่จะถูกกำหนดให้มีระยะห่างจากกัน 45 องศา โดยวัดจุดศูนย์กลางจากตัวหุ่นยนต์ ดังภาพที่ 3.21

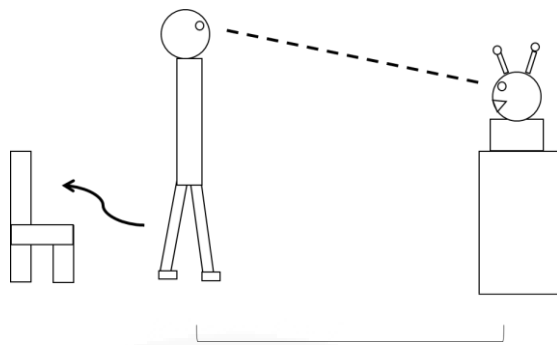


ภาพที่ 3.20 ระยะห่างระหว่างผู้เข้าร่วมการทดลองและหุ่นยนต์

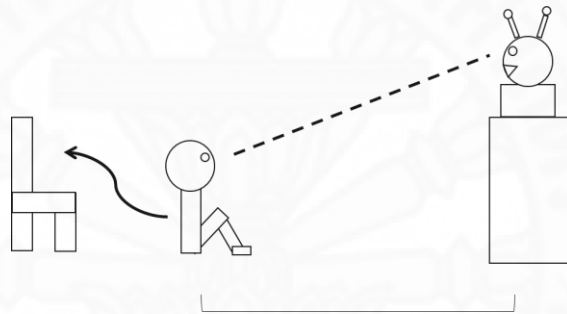


ภาพที่ 3.21 ตำแหน่งที่ผู้เข้าร่วมการทดลองเคลื่อนที่ให้หุ่นยนต์หันตามแต่ละตำแหน่ง

การเคลื่อนที่ของผู้เข้าร่วมทดลองจะต้องเริ่มต้นด้วยการนั่งอยู่หน้าหุ่นยนต์ก่อน จากนั้นจึงลุกขึ้นยืนให้หุ่นยนต์เงยหน้าตามจนหยุด แล้วค่อยนั่งลงพื้นหรือก้มต่ำลงให้หุ่นยนต์ก้มหน้าตามจนหยุดการเคลื่อนไหวดังภาพที่ 3.22 และ 3.23

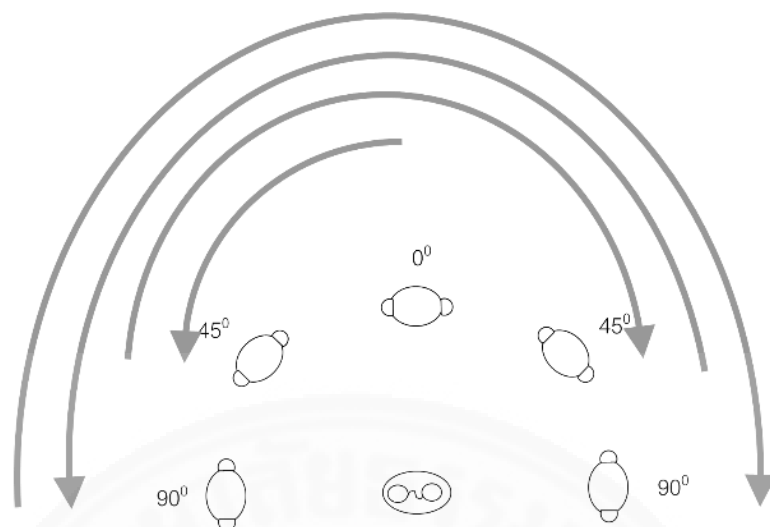


ภาพที่ 3.22 ผู้เข้าร่วมทดลองยืนขึ้นให้หุ่นยนต์เงยหน้าตามจนหยุด



ภาพที่ 3.23 ผู้เข้าร่วมทดลองนั่งลงให้หุ่นยนต์ก้มลงตามจนหยุด

เมื่อเสร็จเรียบร้อยแล้ว ให้ผู้เข้าร่วมการทดลองยืนขึ้นให้หุ่นยนต์เงยหน้าตามจนหยุด แล้วเคลื่อนที่ไปทางซ้ายหรือขวาตามทิศทางที่กำหนดเพิ่มขึ้นทีละ 45 องศา เช่นเดียวกันกับการควบคุมให้หุ่นยนต์หันไปตามวัตถุที่กำหนด แต่คราวนี้เป็นตัวผู้เข้าร่วมการทดลองเองดังภาพที่ 3.24 หลังจากสิ้นสุดการทดลองแล้ว ให้ทำซ้ำอีกสองครั้งจนได้ข้อมูลระยะเวลาการหันแต่ละชุดแน่นอนของแต่ละคน



ภาพที่ 3.24 ขั้นตอนการเคลื่อนที่ของผู้เข้าร่วมการทดลองให้หุ่นหันตาม

3.5.3 วิธีการทดสอบการยอมรับทางด้านคุณภาพของภาพและเสียงของหุ่นยนต์

การออกแบบการทดลองนี้ เพื่อวัดเรื่องคุณภาพของภาพและเสียงของหุ่นยนต์กับสมาร์ทโฟนเป็นหลัก ส่วนฟังก์ชันการควบคุมการหันหรือตรวจจับและติดตามใบหน้าเป็นส่วนเสริม โดยเทียบประสิทธิภาพกับโปรแกรมไลน์ (LINE) (LINE, 2014) และสไกป์ (Skype) (Microsoft, 2014)

ขั้นตอนการทดลอง คือการให้ผู้เข้าร่วมการทดลองจับคู่กันแล้วทดลองใช้โปรแกรมไลน์หรือสไกป์เปิดการสื่อสารด้วยภาพและเสียงเป็นเวลา 3-5 นาที จากนั้นเปลี่ยนไปใช้การสื่อสารด้วยภาพและเสียงระหว่างหุ่นยนต์และสมาร์ทโฟนฝั่งละ 3-5 นาที โดยสามารถใช้ฟังก์ชันอื่นๆ ของหุ่นยนต์เพื่อเพิ่มอรรถรสได้ หลังจากการทดลองสิ้นสุดลง ผู้ทำการวิจัยจะให้ผู้เข้าร่วมการวิจัยตอบแบบสอบถามความพึงพอใจและความรู้สึกจากการใช้งานระหว่างไลน์ สไกป์ และหุ่นยนต์แทนตัวทางไกล การทดลองนี้จะไม่ทดลองซ้ำเนื่องจากใช้เวลานาน และเป็นเพียงการวัดความรู้สึกการใช้งานของผู้เข้าร่วมการทดลองเท่านั้น

3.5.4 วิธีการทดสอบความไวใจต่อการใช้งานหุ่นยนต์ผ่านเครือข่ายส่วนตัว

เสมือน

หลังการทดลองสิ้นสุดลงทั้งหมด ผู้ทำการวิจัยจะสอบถามเพิ่มเติมเกี่ยวกับความไวใจของการใช้งานหุ่นยนต์แทนตัวทางไกลผ่านระบบเครือข่ายส่วนตัวเสมือนที่สามารถควบคุมได้เองว่ามี ความมั่นใจหรือความไวใจต่อความปลอดภัยของข้อมูลระดับใด

3.5.5 วิธีการวิเคราะห์ผลการทดสอบ

การวิเคราะห์ข้อมูลสำหรับงานวิจัยเรื่องการพัฒนาหุ่นยนต์แทนตัวทางไกลด้วย สมาร์ทโฟน ผู้วิจัยจะนำข้อมูลตัวอย่างที่เก็บรวบรวมทั้งสิ้น 123 ชุด โดยแบ่งออกเป็น ผลทดสอบ ประสิทธิภาพการรับส่งข้อมูล 55 ชุด ผลทดสอบประสิทธิภาพการตรวจจับและติดตามใบหน้า 40 ชุด และผลทดสอบควบคุมการเคลื่อนไหวของหุ่นยนต์ 28 ชุด ที่ผ่านการตรวจสอบคุณภาพแล้วมาทำการ วิเคราะห์ ด้วยวิธีการทางสถิติตามวัตถุประสงค์ของการวิจัย โดยจะนำเสนอผลการวิเคราะห์หลักไว้ 6 ข้อ ดังนี้

- (1) คุณลักษณะของกลุ่มผู้เข้าร่วมการทดลอง จะใช้การแจกแจงข้อมูล จำนวนผู้เข้าร่วมทดลองเป็นสัดส่วนร้อยละ โดยแยกออกเป็นกลุ่มเพศ และกลุ่มอายุตามลำดับ จากนั้นจึงเริ่มหาค่าพิสัย ค่าเฉลี่ย และส่วน เบี่ยงเบนมาตรฐานของแต่ละคุณสมบัติย่อยของผู้เข้าร่วมการทดลองที่ ตอบแบบสอบถามในส่วนของที่ 1 (ภาคผนวก ข) เพื่อใช้ใน ส่วนการ ทดสอบการใช้งานทั้งหมด
- (2) ผลการทดสอบควบคุมการเคลื่อนไหวของหุ่นยนต์ด้วยสมาร์ทโฟน จะ แบ่งการทดสอบย่อยออกอีกสองส่วน โดยเริ่มจากวิเคราะห์ส่วนผล ความเร็วเฉลี่ยในการทดสอบจนครบรอบของสถานีที่ 1-3 โดยนำรอบ ความเร็วที่ดีที่สุดของแต่ละคนมาคำนวณหาผลเฉลี่ยรวมของแต่ละกลุ่ม อายุ พร้อมกับค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ความมั่นใจของข้อมูลร้อย ละเก้าสิบห้า จากนั้นจึงทำการทดสอบการแจกแจงแบบทีของกลุ่มอายุ ที่เป็นอิสระต่อกัน (t-Test – Independent Samples Test หรือ ANOVA) เพื่อต้องการทราบค่าเฉลี่ยของกลุ่มอายุผู้เข้าร่วมการทดลอง ในแต่ละหมายเลขการทดสอบว่ามีค่าแตกต่างกันหรือไม่ ต่อจากนั้นจึง วิเคราะห์ส่วนผลคะแนนความพึงพอใจเฉลี่ยจากการตอบแบบสอบถาม

ในสถานีที่ 1-3 ของผู้เข้าร่วมทดลองเพื่อนำมาคำนวณหาผลเฉลี่ยรวมของแต่ละกลุ่มที่ความมั่นใจของข้อมูลร้อยละเก้าสิบห้า พร้อมแปลความหมายระดับความพึงพอใจ (ภาคผนวก ค) หากการแปลความหมายในแต่ละข้อการทดสอบมีความขัดแย้งในตัวเอง เช่น ค่าของปุ่มกดเสมือนอยู่ในเกณฑ์ปานกลาง แต่หันทสมาร์ทโฟนอยู่ในเกณฑ์ดี จึงต้องทำการทดสอบการแจกแจงแบบทีของค่าเฉลี่ยความพึงพอใจที่มีความสัมพันธ์กัน (t-Test – Paired-Samples Test) เพื่อต้องการทราบค่าเฉลี่ยของข้อการทดสอบที่ขัดแย้งกัน มีค่าแตกต่างกันหรือไม่ แล้วสรุปผลวิเคราะห์

- (3) ผลการทดสอบควบคุมการเคลื่อนไหวของหุ่นยนต์ด้วยการติดตามใบหน้า จะใช้วิธีการวิเคราะห์เช่นเดียวกับข้อ 2 แต่จะวิเคราะห์สถานีที่ 4 เท่านั้น เนื่องจากรูปแบบการทดสอบแตกต่างจากสถานีที่ 1-3
- (4) ผลการเปรียบเทียบการทดสอบระหว่างการควบคุมการเคลื่อนไหวของสมาร์ทโฟนและการเคลื่อนไหวเพื่อติดตามใบหน้าอัตโนมัติ จะใช้วิธีการวิเคราะห์คล้ายกับข้อ 2 และ 3 แต่นำการทดสอบทั้งสามรูปแบบ คือ การกดปุ่มเสมือน การหันทสมาร์ทโฟน และการตรวจจับและติดตามใบหน้า ที่มีการทดสอบหันทิศทางจากจุดหนึ่งไปจุดหนึ่งที่คล้ายกันดังภาพที่ 3.16 และภาพที่ 3.24 มาคำนวณหาผลเฉลี่ยรวมของแต่ละกลุ่มอายุ พร้อมกับค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ความมั่นใจของข้อมูลร้อยละ 95 จากนั้นจึงทำการทดสอบการแจกแจงแบบทีของรูปแบบที่เป็นอิสระต่อกัน เพื่อต้องการทราบค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันทั้งสามรูปแบบ จากนั้นจึงทำการทดสอบการแจกแจงแบบทีของค่าเฉลี่ยความพึงพอใจที่มีความสัมพันธ์กัน เพื่อต้องการทราบค่าเฉลี่ยความพึงพอใจของปุ่มกดเสมือน-การหัน ปุ่มกดเสมือน-ตรวจจับใบหน้า และการหัน-ตรวจจับใบหน้า มีค่าแตกต่างกันหรือไม่ แล้วสรุปผลวิเคราะห์
- (5) ผลการประเมินความพึงพอใจก่อนและหลังการใช้งานหุ่นยนต์ จะวิเคราะห์ในส่วนผลคะแนนความพึงพอใจเฉลี่ยเหมือนกับข้อ 2 และ 3 แล้วสรุปผลวิเคราะห์

- (6) ผลการยอมรับทางด้านคุณภาพของภาพและเสียงของหุ่นยนต์จะวิเคราะห์ในส่วนผลคะแนนความพึงพอใจเฉลี่ยเหมือนกับข้อ 5 แล้วสรุปผลวิเคราะห์
- (7) ผลการไว้ใจต่อการใช้งานหุ่นยนต์ผ่านเครือข่ายส่วนตัวเสมือน จะวิเคราะห์ในส่วนผลคะแนนความพึงพอใจเฉลี่ยเหมือนกับข้อ 5 และ 6 แล้วสรุปผลวิเคราะห์



บทที่ 4

ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

การออกแบบหุ่นยนต์แทนตัวทางไกลทั้งส่วนการเคลื่อนไหวของหุ่นยนต์แทนตัวทางไกล การติดตามการเคลื่อนไหวโดยใช้เทคนิคการติดตามใบหน้า การรับส่งข้อมูลภาพและเสียงของหุ่นยนต์ และการเข้ารหัสการรับส่งข้อมูลด้วยเครือข่ายส่วนตัว ดังที่รายงานในบทที่ 3 ได้นำมาพัฒนาเป็นหุ่นยนต์แทนตัวทางไกลที่มีกลไกการทำงานจนสำเร็จ ในบทนี้กล่าวถึงรูปแบบของหุ่นยนต์ที่พัฒนาจากการทำงานจนเสร็จสมบูรณ์ พร้อมรายงานผลการวิจัยและอภิปรายผล

4.1 หุ่นยนต์แทนตัวทางไกลต้นแบบ

หุ่นยนต์แทนตัวทางไกลได้รับการพัฒนาขึ้นมาทั้งหมดสามรุ่นเพื่อทำการทดสอบโครงสร้างความแข็งแรง ความแม่นยำของการเคลื่อนไหว และความเสถียรภาพของระบบควบคุมและวงจร ดังนี้

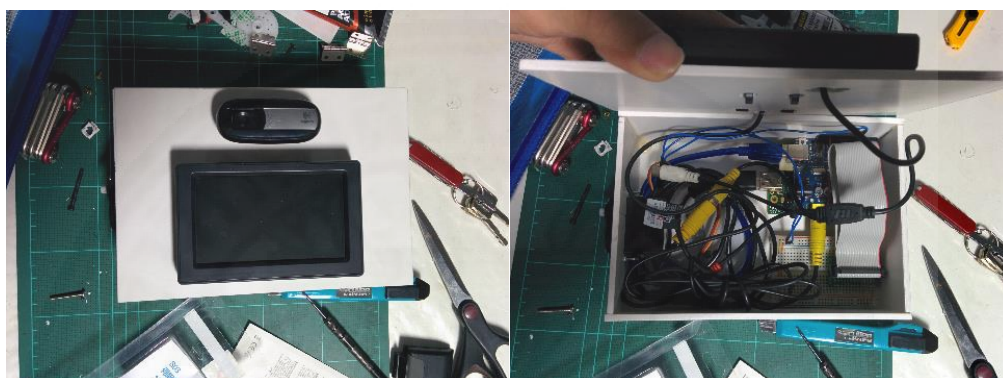
4.1.1 หุ่นยนต์ต้นแบบรุ่นที่หนึ่ง

ได้รับการพัฒนาขึ้นเพื่อทดสอบระบบการทำงานโดยรวมของวงจร อุปกรณ์ การหันซ้ายขวา และการก้มเงย โดยอ้างอิงจากสิ่งของที่หาซื้อได้ทั่วไป



ภาพที่ 4.1 หุ่นยนต์ต้นแบบรุ่นที่หนึ่ง

โครงสร้างหุ่นยนต์ใช้วัสดุพลาสติก (Plastwood) และอะคริลิก (Acrylic) เป็นหลัก เนื่องจากสามารถนำมาตัดให้เข้ารูป และโค้งงอด้วยความร้อนได้ตามต้องการ อุปกรณ์หุ่นยนต์ส่วนหัว ประกอบไปด้วย เว็บแคม หน้าจอแสดงผล เซอร์โวมอเตอร์ รัสเบอร์รีไฟ และอาคูอิโน ดังภาพที่ 4.2 อุปกรณ์หุ่นยนต์ส่วนฐานประกอบไปด้วย สวิตช์ไฟ ช่องเสียบสายไฟ ลำโพง อุปกรณ์แปลงไฟ 120V-240V เป็น 5V และ 12V



ภาพที่ 4.2 อุปกรณ์ภายนอก (ซ้าย) และภายใน (ขวา) ส่วนหัวของหุ่นยนต์ต้นแบบรุ่นที่หนึ่ง

ผลการพัฒนาและทดสอบหุ่นยนต์ต้นแบบรุ่นที่หนึ่ง คือ

- (1) การหันซ้ายขวา ทดสอบด้วยชุดคำสั่งการหันลวงหน้าจากหน้าตรงไปยังมุม 45 องศาซ้าย มุม 45 องศาขวา มุม 90 องศาซ้าย มุม 90 องศาขวา และหันจากซ้ายสุดไปขวาสุดด้วยอาคูอิโน หุ่นยนต์สามารถหันได้ตามคำสั่งควบคุม แต่องศาการหันคลาดเคลื่อนตามแรงเหวี่ยงจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง เนื่องจากฐานหัวของหุ่นยนต์ถูกเชื่อมต่อกับแกนขับเคลื่อนของเซอร์โวมอเตอร์โดยตรง ทำให้ระบบเฟืองขับเคลื่อนภายในไม่สามารถควบคุมทิศทางได้อย่างถูกต้อง
- (2) การก้มเงย ทดสอบด้วยชุดคำสั่งการหันลวงหน้าจากหน้าตรงไปยังมุมต่างๆ เช่นเดียวกับการทดสอบหันซ้ายขวา หุ่นยนต์สามารถหันได้ตามคำสั่ง แต่องศาการหันคลาดเคลื่อนตามแรงเหวี่ยงจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งสูง เนื่องจากใช้เซอร์โวมอเตอร์เพียงตัวเดียวสำหรับการก้มเงย พลาสติกมีความยืดหยุ่นกว่าไม้ปกติ และอุปกรณ์ส่วนใหญ่ถูกบรรจุอยู่ที่ส่วนหัว ทำให้ตัวหุ่นยนต์ทั้งตัวโยกตามการเคลื่อนไหวเพราะจุดศูนย์ถ่วงอยู่สูง

- (3) การทำงานของวงจรไฟฟ้า ใช้วิธีต่อไฟ 5V ลงแผงวงจรทดลอง (Breadboard) เพื่อแบ่งการจ่ายไฟให้กับชุดอุปกรณ์ทั้งหมด ยกเว้นจอแสดงผลที่ใช้ไฟ 12V ผลคือกำลังไฟฟ้า 5V 2A ไม่พอจ่ายให้กับอุปกรณ์หุ่นยนต์ทั้งหมดเมื่อหุ่นยนต์ทำงานเต็มที่ จึงเปลี่ยนอุปกรณ์แปลงไฟฟ้าใหม่ให้มีกำลังแอมแปร์ (Ampere) เพิ่มขึ้นเป็น 3A
- (4) อุปกรณ์อื่นๆ ภายในหุ่นยนต์สามารถทำงานได้อย่างปกติ และค่าความถี่ไฟฟ้าคงที่เนื่องจากใช้ชุดอุปกรณ์แปลงไฟสำเร็จรูปที่ถูกออกแบบมาอย่างดี
- (5) โครงสร้างหุ่นยนต์ มีปัญหาโค้งงอในส่วนของโครงปรับมุมก้มเงยเนื่องจากน้ำหนักส่วนหัวที่มากเกินไป และทำให้สายไฟหลุดเมื่อมีการเคลื่อนไหวอย่างรวดเร็ว

4.1.2 หุ่นยนต์ต้นแบบรุ่นที่สอง

ได้รับการพัฒนาต่อจากหุ่นยนต์ต้นแบบรุ่นที่หนึ่ง ส่วนฐานยังคงใช้แบบเดียวกับรุ่นที่หนึ่ง ส่วนหัวได้รับการออกแบบใหม่โดยแรงบันดาลใจจากเสาส่งสัญญาณและติดตามเครื่องบิน บังคับวิทยุระยะไกล เปลี่ยนวัสดุเป็นไม้เนื้อแข็งที่มีน้ำหนักเบา แข็งแรง และทนต่อการบิดงอได้ดีกว่าพลาสติก



ภาพที่ 4.3 หุ่นยนต์ต้นแบบรุ่นที่สอง

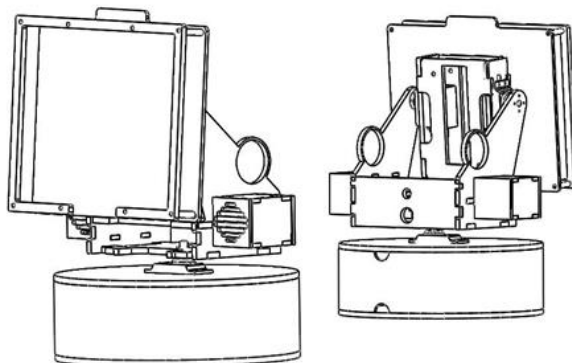
อุปกรณ์ตัวหุ่นยนต์ส่วนหัวเพิ่มการสลับการใช้งานของกล่องระหว่างเว็บแคมและกล้องราสเบอร์รี่ไพตามชุดทดลองงานวิจัย หน้าจอแสดงผลปรับจากแนวนอนเป็นแนวตั้งเพื่อให้เข้ากับแนวยาวของใบหน้า กลไกการก้มเงยถูกแยกออกจากส่วนจอแสดงผล แผงวงจรทดลองถูกย้ายตำแหน่งอยู่ด้านหลังของส่วนหัวให้ใกล้ช่องสายไฟจากฐาน เซอร์โวมอเตอร์ส่วนการหันซ้ายขวาถูกย้ายขึ้นไปยังส่วนหัวและเพิ่มเฟืองทดภายนอกให้เซอร์โวมอเตอร์เพื่อลดแรงเหวี่ยงที่รุนแรง และตัดแผ่นปิดส่วนบนด้านหลังของส่วนฐานออกเพื่อให้เดินสายไฟไปยังส่วนหัวได้ดีขึ้น

ผลการพัฒนาและทดสอบหุ่นยนต์ต้นแบบรุ่นที่สอง คือ

- (1) การหันซ้ายขวา ทำการทดสอบเบื้องต้นเช่นเดียวกับรุ่นที่หนึ่ง สามารถลดองศาการคลาดเคลื่อนตามแรงเหวี่ยงได้เป็นอย่างดี แต่ยังคงมีปัญหาเกี่ยวกับเซอร์โวมอเตอร์ที่มีแรงบิดต่ำกว่า 10 กิโลกรัมต่อเซนติเมตร (kg-cm) ทำให้ช่วงการหันมีกระตุกบางช่วงเนื่องฟันเฟืองภายในเซอร์โวมอเตอร์เป็นพลาสติกทำให้ระยะห่างฟันเฟืองสูงกว่าแบบโลหะและสามารถบดงหรือแตกเมื่อมีการหันอย่างรุนแรงได้ ในอนาคตมีแผนเปลี่ยนไปใช้เซอร์โวมอเตอร์ที่คุณภาพดีขึ้นโดยใช้ฟันเฟืองเป็นโลหะแทนพลาสติก
- (2) การก้มเงย ทำการทดสอบเบื้องต้นแบบเดียวกันรุ่นที่หนึ่ง สามารถลดองศาการคลาดเคลื่อนตามแรงเหวี่ยงได้เป็นอย่างดีเยี่ยม แต่ยังคงมีปัญหาเกี่ยวกับเซอร์โวมอเตอร์คุณภาพต่ำเช่นเดียวกัน
- (3) การทำงานของวงจรไฟฟ้า เปลี่ยนอุปกรณ์แปลงไฟฟ้าให้มีขนาดเล็กลง ราคาถูกลง ค่าความถี่ไฟฟ้าคงที่ และจ่ายกำลังไฟฟ้าได้สูงขึ้นจาก 5V 3A เป็น 5V 4A
- (4) อุปกรณ์อื่นๆ ภายในหุ่นยนต์ สามารถทำงานได้อย่างปกติ ถอดอาคูอิน์ออกภายหลังเนื่องจากไม่มีความจำเป็นอีกต่อไป แต่มีปัญหาหม่อมองของจอแสดงผลที่แคบลง
- (5) โครงสร้างหุ่นยนต์ แข็งแรงขึ้น น้ำหนักเบาลง กระจายน้ำหนักได้ดีกว่ารุ่นที่หนึ่ง

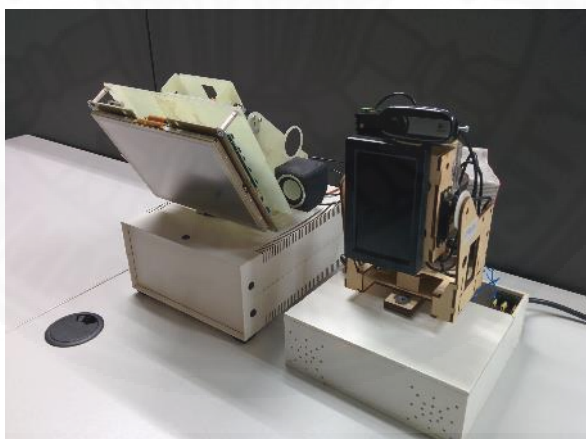
4.1.3 หุ่นยนต์ต้นแบบรุ่นที่สาม

หุ่นยนต์รุ่นที่สามได้รับการออกแบบใหม่ให้เป็นมิตรกับผู้ใช้งานมากขึ้น อิงพื้นฐานเดิมของรุ่นที่สอง ปรับจอเป็นแนวนอนตามปกติ

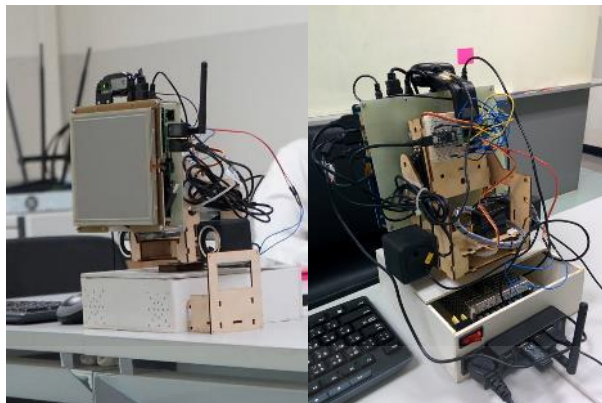


ภาพที่ 4.4 หุ่นยนต์ต้นแบบรุ่นที่สาม

ระหว่างการออกแบบและพัฒนาหุ่นยนต์รุ่นที่สามให้สมบูรณ์ ได้เกิดปัญหาทางด้านการเงินของทุนสนับสนุนงานวิจัยที่ประเมินไว้ต่ำเกินไป จึงทำให้ต้องนำหุ่นยนต์ต้นแบบรุ่นที่สองมาดัดแปลงให้ใกล้เคียงกับรุ่นที่สามมากที่สุดเท่าที่เป็นไปได้ดังภาพที่ 4.5 และภาพที่ 4.6 จึงทำให้ไม่สามารถเรียกหุ่นยนต์ต้นแบบรุ่นที่สามได้อย่างแท้จริง



ภาพที่ 4.5 หุ่นรุ่นที่สามที่กำลังอยู่ในช่วงพัฒนา (ซ้าย) กับหุ่นรุ่นที่สอง (ขวา)



ภาพที่ 4.6 หุ่นรุ่นที่สองที่ดัดแปลงให้ใกล้เคียงกับหุ่นที่สาม

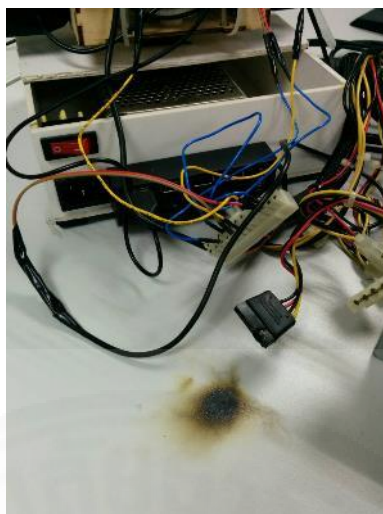
อุปกรณ์หุ่นยนต์ส่วนหัวถูกติดตั้งหน้าจอใหม่ที่มีขนาดใหญ่ขึ้น และได้ปรับการแสดงผลของหน้าจอจากแนวตั้งกลับเป็นแนวนอนเนื่องจากปัญหามุมก้มไม่สามารถก้มลงได้เท่าที่ควร จากนั้นจึงเริ่มติดตั้งเว็บแคมและกล้องราสเบอร์รี่ไฟให้ทำงานร่วมกัน โดยกล้องเว็บแคมทำหน้าที่รับส่งข้อมูลระหว่างหุ่นยนต์กับสมาร์ทโฟน และกล้องราสเบอร์รี่ไฟทำหน้าที่ตรวจจับและติดตามใบหน้า อุปกรณ์บางส่วนถูกย้ายและเพิ่มเข้าไปอยู่ในกรอบด้านหลังของจอ ได้แก่ วงจรจ่ายไฟให้กับหน้าจอ คอมพิวเตอร์ราสเบอร์รี่ไฟและวงจรสัมผัสหน้าจอ ส่วนลำโพงถูกย้ายขึ้นมาอยู่ที่ส่วนหัวเพื่อให้ทิศทางของเสียงไปในทางเดียวกันกับที่หุ่นหัน เซอร์โวมอเตอร์ถูกเปลี่ยนให้มีคุณภาพที่ดีขึ้น มีแรงบิดที่ดีขึ้นเป็น 10 กิโลกรัมต่อเซนติเมตร ทำให้การเคลื่อนที่ส่วนหัวตามตำแหน่งที่กำหนดแม่นยำขึ้น ฟันเฟืองแกนหันของหัวหุ่นยนต์ได้รับการเปลี่ยนเป็นโลหะเพื่อให้สามารถรับแรงเหวี่ยงที่รุนแรงได้ดีขึ้น ระบบการจ่ายไฟเปลี่ยนเป็นระบบจ่ายไฟที่ใช้ในเครื่องคอมพิวเตอร์ทั่วไป ขนาดมาตรฐานเอทีเอ็กซ์ (ATX Standard) กำลังการจ่ายไฟ 500W สามารถจ่ายไฟที่ 5V ได้สูงสุด 30A ดังภาพที่ 4.7



ภาพที่ 4.7 ระบบจ่ายไฟที่ใช้ในคอมพิวเตอร์ทั่วไป ขนาดมาตรฐานเอทีเอ็กซ์

ผลการพัฒนาและทดสอบหุ่นยนต์ต้นแบบรุ่นที่สอง คือ

- (1) การหันซ้ายขวา ทำการทดสอบเบื้องต้นแบบเดียวกับรุ่นที่หนึ่งและสอง อนาคต การหันคลาดเคลื่อนเพิ่มจากรุ่นที่สองเล็กน้อยเนื่องจากขนาดหน้าจอที่ใหญ่ขึ้น และมีปัญหากับเซอร์โวมอเตอร์ที่ส่งเสียงสัญญาณการทำงานดังมากจนรบกวน การสนทนาระหว่างกัน
- (2) การก้มเงย ทำการทดสอบเบื้องต้นแบบเดียวกับรุ่นที่หนึ่งและสอง อนาคตการหัน คลาดเคลื่อนเพิ่มขึ้นจากรุ่นที่สองเล็กน้อยเนื่องจากน้ำหนักจากหน้าจอที่มาก ขึ้น มีปัญหาเรื่องจุดศูนย์ถ่วงที่อยู่สูงเช่นเดียวกับรุ่นที่หนึ่ง ทำให้หุ่นโยกจนล้ม และทำให้ระบบสัมผัสหน้าจอได้รับความเสียหายเนื่องจากการล้มของหุ่นเมื่อมี การก้มส่วนหัวที่รุนแรงเกินไป แต่หลังจากเปลี่ยนระบบการจ่ายไฟใหม่ที่มี น้ำหนักมากขึ้น ทำให้จุดศูนย์ถ่วงอยู่ต่ำลง ปัญหาหุ่นโยกจนล้มจึงไม่เกิดขึ้นอีก
- (3) การทำงานของวงจรไฟฟ้า ได้รับการเปลี่ยนจากของเดิมที่อยู่ในรุ่นที่สองเป็น ระบบจ่ายไฟที่ใช้ในเครื่องคอมพิวเตอร์ทั่วไป สามารถจ่ายไฟ 5V ได้สูงสุดถึง 30A แต่หลังจากการทดลองกับผู้เข้าร่วมทดลองสิ้นสุด เกิดปัญหาไฟลัดวงจร เนื่องจากสายนำสัญญาณไฟฟ้าไปยังจุดต่างๆ เล็กเกินไป จึงทำให้สายนำ สัญญาณไฟฟ้าเกิดความร้อนและลุกไหม้ดังภาพที่ 4.8 ปัญหานี้จะได้รับการ แก้ไขในอนาคตกับรุ่นที่สาม
- (4) อุปกรณ์อื่นๆ ภายในหุ่นยนต์ ได้นำเอาอาคูอิโนรุ่นนาโน (Arduino Nano) ที่ ได้รับการดัดแปลงจากรุ่นลีโอนาโด (Arduino Leonardo) ใส่กลับเข้าไปอีก ครั้ง เนื่องจากปัญหาสัญญาณเสียงของคอมพิวเตอร์ราสเบอร์รี่ไปยังวงจรระบบ เซอร์โวมอเตอร์จนทำให้การส่งค่าไปยังเซอร์โวมอเตอร์ตัวใหม่ผิดเพี้ยน
- (5) โครงสร้างหุ่นยนต์ ยังคงใช้โครงสร้างเดิมจากรุ่นที่สองมาดัดแปลง จึงยังเกิด ปัญหาเรื่องการกระจายน้ำหนักและระบบการจัดการไฟฟ้า



ภาพที่ 4.8 ปัญหาไฟลัดวงจรจนทำให้เกิดการลุกไหม้

4.2 การควบคุมการเคลื่อนไหวของหุ่นยนต์ด้วยสมาร์ทโฟน

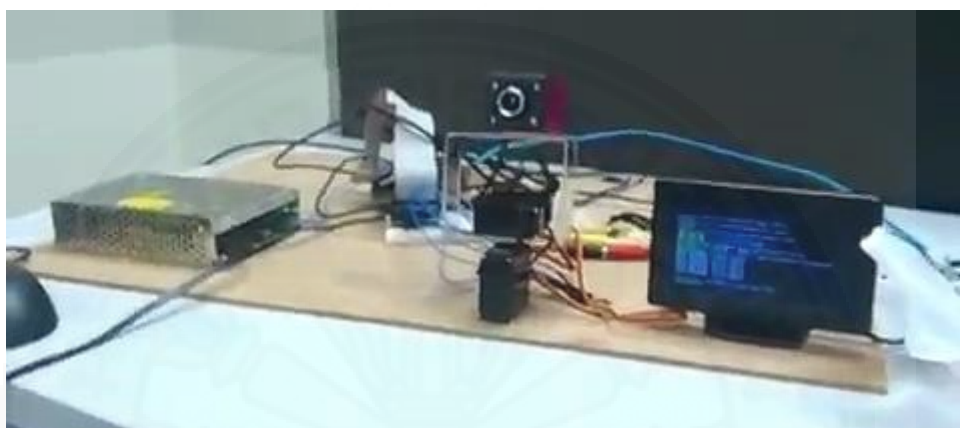
4.2.1 การเชื่อมต่อเครือข่ายระหว่างหุ่นยนต์และคอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะ

งานวิจัยนี้ได้พัฒนาการเชื่อมต่อซ็อกเก็ตด้วยการศึกษาการทำงานและพัฒนาจากแหล่งข้อมูลของเว็บไoton (McMillan, 2010) โดยใช้ยูบุนตุ (Ubuntu) บนคอมพิวเตอร์ปกติเป็นลูกข่ายเพื่อสื่อสารกับระบบปฏิบัติการราสเบียนบนราสเบอร์รี่พายที่เป็นแม่ข่าย จากนั้นจึงทำการดัดแปลงการเชื่อมต่อซ็อกเก็ตบนราสเบียนให้สามารถใช้ร่วมกับเซอร์โวมอเตอร์โดยรับการควบคุมเซอร์โวมอเตอร์จากยูบุนตุด้วยการกดปุ่มคีย์บอร์ด W A S D แทนปุ่มลูกศรขึ้น ซ้าย ลง ขวา

ผลการทดสอบพบว่า การเคลื่อนไหวของเซอร์โวมอเตอร์ที่ยังไม่ได้ติดตั้งกับอุปกรณ์เสริมใดๆ สามารถทำงานได้อย่างแม่นยำจากการส่งคำสั่งการเคลื่อนไหวยังต่อเนื่อง แต่ยังคงมีเสียงกลไกจากมอเตอร์ที่รับสัญญาณค้างจากเซอร์โวมอเตอร์เป็นเวลาหนึ่งวินาที จึงปรับลดความหน่วงของเวลาลงเพื่อลดเสียงรบกวนจากกลไกมอเตอร์

ต่อมาได้ปรับให้ราสเบอร์รี่พายต่อพ่วงกับอาคูอินผ่านช่องยูเอสบี (USB Port) โดยหวังว่าอาคูอินจะสามารถส่งสัญญาณการควบคุมเซอร์โวมอเตอร์ได้แม่นยำกว่า และลดเสียงรบกวนจากการส่งสัญญาณค้างตามการหน่วงของเวลาทำงาน แต่ผลลัพธ์ที่ได้ไม่คุ้มค่ากับการเพิ่มค่าใช้จ่ายต่อพ่วงอาคูอินเพื่อลดเสียงรบกวนของมอเตอร์ เพราะการเคลื่อนไหวของมอเตอร์ยังคงมีเสียงดังรบกวน จึงกลับมาใช้เซอร์โวมอเตอร์ควบคุมเซอร์โวมอเตอร์ตามปกติ และวางแผนเปลี่ยนเซอร์โวมอเตอร์ที่มีคุณภาพที่ดีกว่าเดิม เพื่อลดเสียงรบกวนขณะเคลื่อนไหว

ปัญหาที่เกิดขึ้นตามมาหลังจากกลับมาใช้เซอร์โวมอเตอร์ คือ สัญญาณเสียงส่งออกมาจากวงจรมอเตอร์สัญญาณพัลส์เบร็ดยูเอ็ม (PWM หรือ Pulse Width Modulation) ที่ใช้ควบคุมเซอร์โวมอเตอร์ ทำให้การเคลื่อนไหวของเซอร์โวมอเตอร์ผิดเพี้ยนไปอย่างมาก จึงต้องปิดระบบเสียงของราสเบอร์รี่ไพลงเพื่อคงความนิ่งของสัญญาณพัลส์เบร็ดยูเอ็ม และกลับไปใช้อาคูโอโนควบคุมมอเตอร์ในภายหลัง

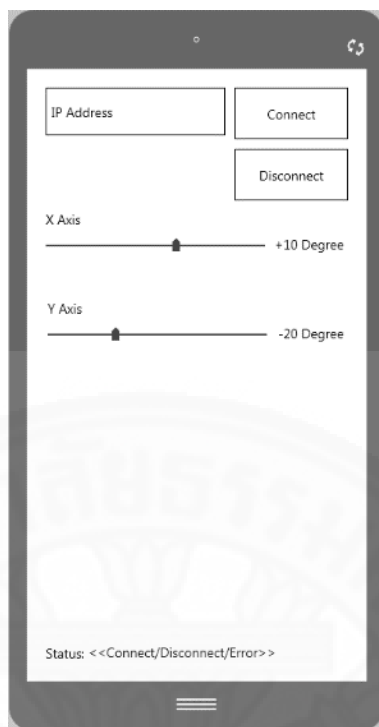


ภาพที่ 4.9 ชุดทดสอบการเชื่อมต่อและควบคุมเซอร์โวมอเตอร์เบื้องต้น

4.2.2 การพัฒนาระบบส่งข้อมูลการเคลื่อนไหวของแอนดรอยด์สมาร์ทโฟน

เมื่อทำการทดสอบการรับส่งข้อมูลผ่านการเชื่อมต่อซ็อกเก็ตสำเร็จ จึงเริ่มพัฒนาการเชื่อมต่อซ็อกเก็ตจากแอนดรอยด์ไปยังราสเบรียนโดยใช้เทคนิคเอซิงทาร์ก (AsyncTask) ให้ทำงานอยู่เบื้องหลังของโปรแกรม แล้วรับคำสั่งควบคุมการหันเบื้องต้นด้วยสไลด์บาร์ปรีของศาการหันดังภาพที่

4.10



ภาพที่ 4.10 ภาพจำลองหน้าจอโปรแกรมควบคุมการหันด้วยสไลด์บาร์เบื้องต้น

ผลการทดสอบเบื้องต้น สามารถควบคุมการเคลื่อนไหวของเซอร์โวมอเตอร์ได้อย่างแม่นยำและต่อเนื่อง จึงเริ่มพัฒนาการรับข้อมูลจากแอคเซโรมิเตอร์และแมกนีโตมิเตอร์จากชุดส่วนต่อประสาน SensorManager ของระบบแอนดรอยด์ต่อไป



ภาพที่ 4.11 ภาพหน้าจอโปรแกรมควบคุมการหันด้วยเซอร์โวมอเตอร์ของสมาร์ทโฟนเบื้องต้น

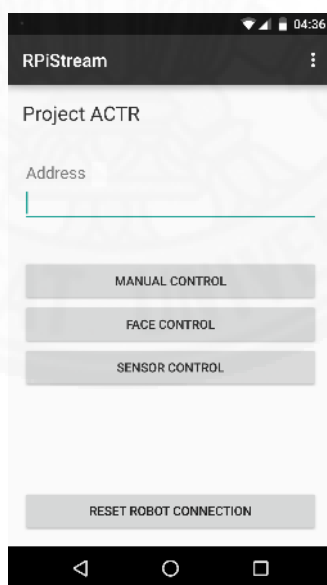
ผลการทดสอบการเคลื่อนไหวของเซอร์โวมอเตอร์มีผลที่ไม่ต่อเนื่องและไม่คงที่ เนื่องจากความแปรผันของค่าที่ได้รับจากเซนเซอร์ที่สูง จึงทำการกรององศาการเคลื่อนที่ทีละ 5 องศา และปรับให้โปรแกรมรับข้อมูลส่วนรอสเบอร์รี่ไฟหน่วงเวลาการเคลื่อนที่ของเซอร์โวมอเตอร์ให้ช้าลง โดยปรับการเคลื่อนที่ 1 องศา ทุก 100 มิลลิวินาที ทำให้การเคลื่อนที่นุ่มนวลมากขึ้น แต่ยังคงมีความล่าช้าของการเคลื่อนที่เนื่องจากการปรับการหน่วงเวลาการเคลื่อนที่ของเซอร์โวมอเตอร์สูงและเป็นค่าตายตัว

ปัจจุบันได้พัฒนารูปแบบส่วนการติดต่อผู้ใช้งานรูปแบบใหม่ให้ใช้งานได้ง่ายขึ้นดังภาพที่ 4.12 ซึ่งถูกแบ่งการทำงานออกเป็นสี่ส่วนหลัก ดังนี้

- (1) Main Screen เมื่อเริ่มเปิดโปรแกรมควบคุมหุ่นยนต์ จะมีช่องให้กรอกเป็นชื่อหุ่นยนต์หรือหมายเลขไอพี (IP Address) ของหุ่นยนต์ ผู้ใช้งานสามารถกรอกข้อมูลลงไปแล้วเริ่มกดใช้งานควบคุมหุ่นยนต์ในรูปแบบต่างๆ ได้ทันที แต่หากหุ่นยนต์ถูกใช้งานโดยผู้อื่นอยู่ หุ่นยนต์จะปฏิเสธการเชื่อมต่อของผู้ใช้งานทันที ผู้ใช้งานสามารถควบคุมหุ่นยนต์ได้จนกว่าจะออกจากโปรแกรม ซึ่งถือว่าเป็นการยกเลิกการเชื่อมต่อกับหุ่นยนต์ และถ้าขณะใช้งานหุ่นยนต์อยู่แล้วหลุดการเชื่อมต่อแบบไม่ปกติ ผู้ใช้งานสามารถย้อนกลับมาที่หน้าหลักแล้วกดปุ่ม Reset

Robot Connection เพื่อทวนการเชื่อมต่อใหม่ได้โดยไม่ถูกผู้ใช้คนอื่นเข้าแทรกการใช้งานดังภาพที่ 4.12

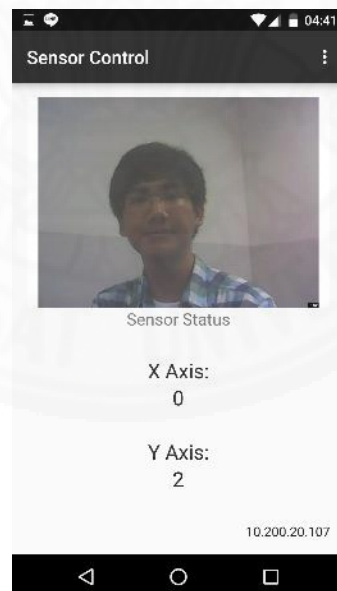
- (2) Manual Control ถูกปรับเปลี่ยนจากสไลด์บาร์เป็นปุ่มกดบังคับทิศทาง ขึ้น ลง ซ้าย ขวา เพื่อลดปัญหาองศาการหันที่ผิดเพี้ยนของหุ่นยนต์ในบางครั้งที่การส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายขาดช่วง (Packet Loss) และเพิ่มการแสดงผลภาพและเสียงจากหุ่นยนต์มายังสมาร์ตโฟนดังภาพที่ 4.13
- (3) Face Control จะแสดงเพียงภาพและเสียงจากหุ่นยนต์ พร้อมกับแจ้งสถานะของการเชื่อมต่อ ผู้ใช้งานสามารถปล่อยการควบคุมด้วยตัวเองแล้วให้หุ่นยนต์ทำหน้าที่ติดตามใบหน้าคู่สนทนาได้โดยอัตโนมัติ สมาร์ตโฟนจะทำหน้าที่เพียงส่งคำสั่งเปิดการใช้งานการติดตามใบหน้าให้กับหุ่นยนต์เท่านั้น และจะปิดการใช้งานเมื่อออกจากหน้าควบคุมนี้
- (4) Sensor Control ถูกปรับเปลี่ยนโดยแยกออกจากหน้าจอหลัก (Main Screen) แต่ยังคงมีการแจ้งสถานะของการหันของสมาร์ตโฟน และเพิ่มการแสดงผลภาพและเสียงจากหุ่นยนต์มายังสมาร์ตโฟน ดังภาพที่ 4.14



ภาพที่ 4.12 รูปแบบส่วนการติดต่อกับผู้ใช้งานใหม่ของสมาร์ตโฟน



ภาพที่ 4.13 รูปแบบส่วนติดต่อกับผู้ใช้งานรูปแบบปุ่มควบคุมเสมือน



ภาพที่ 4.14 รูปแบบส่วนติดต่อกับผู้ใช้งานรูปแบบการหันสมาร์ทโฟน

ระบบส่งข้อมูลการเคลื่อนไหวของสมาร์ตโฟนถูกปรับปรุงจากของเดิม โดยใน ส่วนที่ปรับปรุงจะเป็นส่วนของสไลด์บาร์ที่ถูกเปลี่ยนเป็นปุ่มกดบังคับทิศทาง การกดปุ่มแต่ละครั้งจะทำให้หุ่นยนต์หันครั้งละ 5 องศา แทนที่จะเป็นไปตามองศาการหันตามการเลื่อนของสไลด์บาร์

4.2.3 ผลการทดสอบประสิทธิภาพการรับส่งข้อมูลของหุ่นยนต์แทนตัวทางไกล

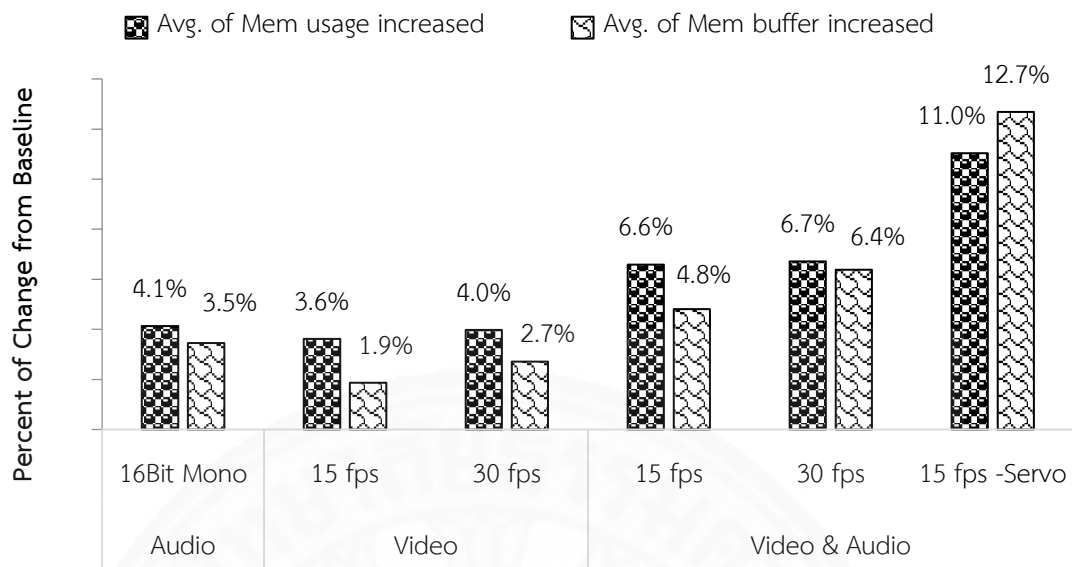
การทดสอบประสิทธิภาพการรับส่งข้อมูลของหุ่นยนต์แทนตัวทางไกลมีทั้งสิ้น 330 การทดสอบ โดยแบ่งการทดสอบออกเป็น 6 ข้อ ข้อละ 55 การทดสอบ ดังนี้

- (1) ประสิทธิภาพการรับส่งข้อมูลเสียงที่ 8000 เฮิรตซ์
- (2) ประสิทธิภาพการรับส่งข้อมูลภาพที่ 15 ภาพต่อวินาที
- (3) ประสิทธิภาพการรับส่งข้อมูลภาพที่ 30 ภาพต่อวินาที
- (4) ประสิทธิภาพการรับส่งข้อมูลภาพและเสียงที่ 15 ภาพต่อวินาที
- (5) ประสิทธิภาพการรับส่งข้อมูลภาพและเสียงที่ 30 ภาพต่อวินาที
- (6) ประสิทธิภาพการรับส่งข้อมูลภาพและเสียงที่ 15 ภาพต่อวินาที พร้อมข้อมูลการควบคุมการหันของตัวหุ่นยนต์

ตารางที่ 4.1 การใช้ทรัพยากรพื้นฐานของคอมพิวเตอร์ราสเบอร์รี่ไพก่อนการทดสอบประสิทธิภาพ

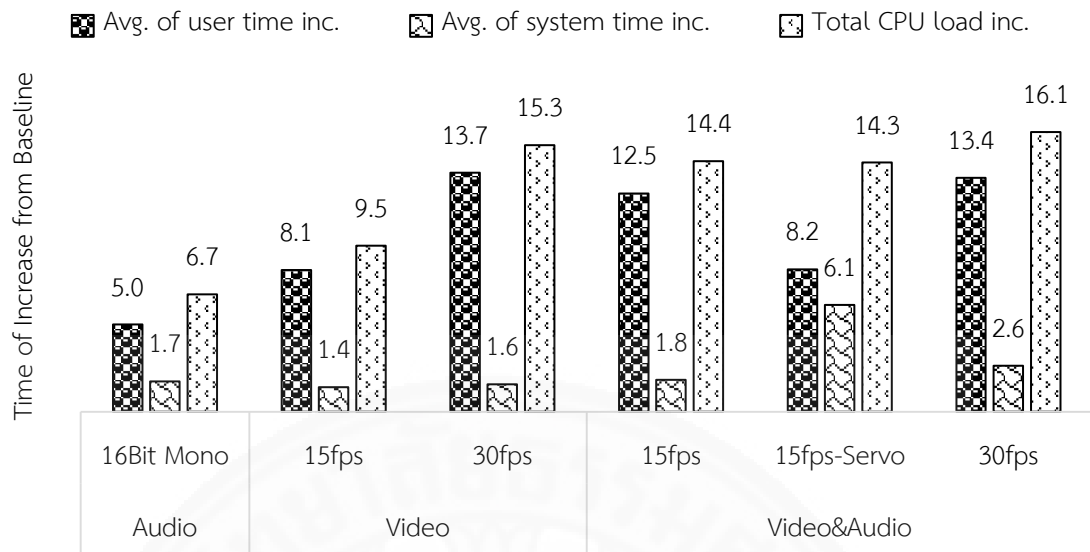
Mode of operations	Memory (MB)		CPU Time		Bandwidth	
	total	512 MB	(percent)		Byte/sec (Bps)	
	<i>Use</i>	<i>Buff</i>	<i>User</i>	<i>Sys</i>	<i>Send</i>	<i>Receive</i>
Idle - baseline	72.5	31.5	4.9	7.5	695.2	244.5

จากตารางที่ 4.1 คือข้อมูลการใช้ทรัพยากรพื้นฐานของคอมพิวเตอร์ราสเบอร์รี่ไพเป็นเวลา 10 นาที ก่อนดำเนินการทดสอบประสิทธิภาพ เพื่อเป็นแหล่งอ้างอิงเปรียบเทียบความแตกต่างในด้านต่างๆ ของการใช้ทรัพยากรของคอมพิวเตอร์ราสเบอร์รี่ไพที่เพิ่มขึ้นหรือลดลง หน่วยความจำหลักถูกแบ่งออกเป็น 214 เมกาไบต์ (MB) สำหรับแคช (Cache) และ 128 เมกาไบต์ สำหรับหน่วยประมวลผลภาพตลอดการทดลองและทดสอบประสิทธิภาพ



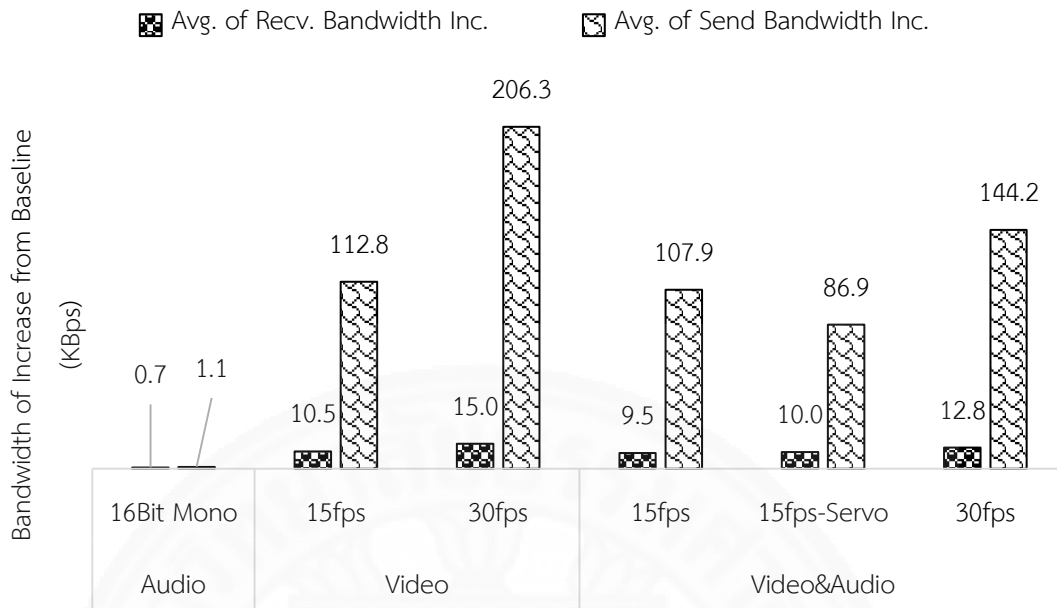
ภาพที่ 4.15 กราฟแสดงการใช้ทรัพยากรด้านการใช้หน่วยความจำของการรับส่งข้อมูล

จากภาพที่ 4.15 ผลการทดลองเมื่อเทียบกับตารางการใช้ทรัพยากรพื้นฐานของคอมพิวเตอร์ราสเบอร์รี่ไพก่อนการทดสอบประสิทธิภาพของตารางที่ 4.1 การใช้ทรัพยากรรับส่งข้อมูลเสียง เพิ่มขึ้นร้อยละ 4.1 สำหรับส่วนการใช้งานหลักของหน่วยความจำ และร้อยละ 3.5 สำหรับส่วนพักข้อมูลของหน่วยความจำ การใช้ทรัพยากรรับส่งข้อมูลภาพที่ 15 และ 30 ภาพต่อวินาที ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แต่เมื่อเทียบกับการใช้ทรัพยากรรับส่งข้อมูลเสียง การใช้ทรัพยากรรับส่งข้อมูลภาพใช้ทรัพยากรด้านส่วนพักข้อมูลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ การใช้ทรัพยากรรับส่งข้อมูลภาพและเสียงระหว่างเปิดการใช้งานควบคุมการเคลื่อนไหวและไม่เปิดการใช้งานควบคุมการเคลื่อนไหวแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ



ภาพที่ 4.16 กราฟแสดงการใช้ทรัพยากรด้านการใช้หน่วยประมวลผลกลางของการรับส่งข้อมูล

จากภาพที่ 4.16 ผลการทดลองการประมวลผลของหน่วยประมวลผลกลาง การใช้ทรัพยากรรับส่งข้อมูลเสียงในส่วนของการประมวลผลของระบบปฏิบัติการเทียบกับการใช้ทรัพยากรข้ออื่นไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ยกเว้นการใช้ทรัพยากรรับส่งข้อมูลภาพและเสียงที่เปิดใช้งานควบคุมการเคลื่อนไหว เนื่องจากมีการสั่งควบคุมเซอร์โวมอเตอร์โดยตรงจากระบบปฏิบัติการผ่านเซอโวลบราสเตอร์



ภาพที่ 4.17 กราฟแสดงการใช้ทรัพยากรด้านอัตราการรับส่งข้อมูลของการรับส่งข้อมูล

จากภาพที่ 4.17 ผลการทดลองอัตราการรับส่งข้อมูล การส่งข้อมูลระหว่างอัตราการส่งข้อมูลด้วยภาพอย่างเดียวกับส่งข้อมูลด้วยภาพและเสียงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยอัตราส่งข้อมูลด้วยภาพอย่างเดียวสูงกว่าอัตราการส่งข้อมูลภาพและเสียง มีความเป็นไปได้ว่าเกิดขึ้นจากการใช้ทรัพยากรของหน่วยความจำที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ใช้เวลาในการประมวลผลส่วนระบบปฏิบัติการมากขึ้น ทำให้อัตราการส่งข้อมูลต่อวินาทีลดลง

จากผลการทดลองทั้งหมด สามารถสรุปได้ว่าอัตราการใช้ทรัพยากรด้านหน่วยความจำแปรผันตามการเปิดใช้งานที่ละส่วนของการทดลอง โดยเฉพาะการเปิดใช้งานส่วนควบคุมการหันที่ใช้ทรัพยากรหน่วยความจำในส่วนหลักและส่วนพักข้อมูล ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ทรัพยากรของหน่วยประมวลผลกลางแล้วจะพบได้ว่า มีผลมาจากการประมวลผลในส่วนระบบปฏิบัติการที่เพิ่มมากขึ้นกว่าปกติเมื่อเปิดใช้งานส่วนควบคุมการหันของหุ่นยนต์แทนตัวทางไกล และเมื่อเทียบกับอัตราการรับส่งข้อมูลจะพบว่าการเปิดส่วนควบคุมการหันของหุ่นยนต์แทนตัวทางไกลมีส่วนทำให้อัตราการรับส่งข้อมูลลดลงเนื่องจากการใช้หน่วยความจำที่สูงขึ้น การประมวลผลส่วนของระบบปฏิบัติการสูงขึ้น ทำให้อัตราการรับส่งข้อมูลลดลง

4.3 การเคลื่อนไหวด้วยตนเองเพื่อติดตามใบหน้า

4.3.1 การศึกษาการทำงานของกล้องตรวจจับและติดตามใบหน้าเบื้องต้น

จากการศึกษาการตรวจจับและติดตามใบหน้าเบื้องต้น (Michael, 2013) ที่ได้ทำการทดลองการรับภาพจากเว็บแคมเข้ามาประมวลผลตรวจจับและติดตามใบหน้า ทำให้ทราบว่าการทำงานของชุดการตรวจจับใบหน้าเบื้องต้นด้วยเทคนิคของฮาร์ริสในโอเพนซีวีประมวลผลด้วยคอมพิวเตอร์กราฟิกส์ทำได้ช้า

ผลการทดลองด้วยการรับภาพจากเว็บแคมแล้วนำไปประมวลผลด้วยโอเพนซีวีด้วยเทคนิคของฮาร์ริสโดยตรง ทำให้มีค่าเวลาดำเนินการ (Overhead) ที่สูงมาก ทั้งจากตัวเว็บแคมเอง และจากข้อบกพร่องในการรับภาพเพื่อประมวลผลของโอเพนซีวี ทำให้ผลการประมวลผลตรวจจับใบหน้าลดลงอยู่ที่ 3-6 ภาพต่อวินาที ด้วยขนาดการรับภาพที่ 320x240 พิกเซล ซึ่งไม่พอต่อการใช้งานตรวจจับและติดตามใบหน้าทั่วไปตามปกติ

การแก้ไขลดค่าเวลาดำเนินการของการรับภาพจากกล้องเว็บแคมถูกเปลี่ยนเป็นการรับภาพด้วยกล้องของกราฟิกส์ที่ต่อตรงเข้าส่วนประสานฮาร์ดแวร์ซีเอสไอแล้วเรียกการใช้งานด้วยโอเพนซีวีโดยเทคนิคของฮาร์ริสอีกครั้ง ทำให้ประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นเป็น 5-12 ภาพต่อวินาที ด้วยขนาดการรับภาพที่ 320x240 พิกเซล แต่ปัญหายังคงอยู่ที่ส่วนการรับภาพที่ล่าช้าของโอเพนซีวี จึงได้ทำการทดลองรับภาพเป็นโทนสีเทา (YUV) อย่างเดียวเพื่อลดภาระการประมวลผลลง ทำให้สามารถเพิ่มประสิทธิภาพของการประมวลผลภาพเพิ่มขึ้นเป็น 6-15 ภาพต่อวินาที ด้วยขนาดการรับภาพที่ 320x240 พิกเซล แต่ถ้าเพิ่มขนาดภาพเป็น 640x480 พิกเซลการประมวลผลภาพจะลดลงอยู่ที่ 4-8 ภาพต่อวินาที

เพื่อเป็นการลดภาระการประมวลผลภาพลงอีก จึงได้เลือกใช้เทคนิคการตรวจจับใบหน้าของแอลบีพีเพื่อเร่งประสิทธิภาพให้มากขึ้น เนื่องจากการทำงานของแอลบีพีจะทำงานกับภาพโทนสีเทา ทำให้เร่งการประมวลผลจากเดิมของฮาร์ริสที่ทำงานโดยอ้างอิงเรื่องสีสันของภาพมาเป็นการทำงานด้วยโทนสีเทาของภาพรวดเร็วขึ้นจนสามารถเร่งการทำงานได้ 6-15 ภาพต่อวินาที ด้วยการรับภาพที่ 640x480 พิกเซล ทำให้ความเร็วใกล้เคียงกับการใช้งานตรวจจับใบหน้าทั่วไปมากขึ้น

4.3.2 แก้ไขปัญหาการรับภาพที่ล่าช้าของหุ่นยนต์

จากการทดลองใช้งานและแก้ไขปัญหาเบื้องต้นจากข้อ 4.3.1 ยังไม่สามารถตรวจจับใบหน้าไปอย่างรวดเร็วพอที่จะเอาไปใช้งานได้จริง เทคนิคการดึงประสิทธิภาพการทำงานบางส่วน

หน่วยประมวลผลภาพ (Cummings, 2013) โดยการเรียกใช้งานผ่านส่วนต่อประสานซอฟต์แวร์เอ็มเอ็มแอลผ่านหน่วยประมวลผลกลางอีกทอดหนึ่ง เพื่อลดปัญหาที่เกิดขึ้นในส่วนรับภาพที่ล่าช้าของโอเพนซีวีเอง

ผลของการทดลอง สามารถเร่งประสิทธิภาพได้มากขึ้นที่ 15-17 ภาพต่อวินาที ด้วยการรับภาพที่ 640x480 พิกเซล ประเภทเฉดสีเทา ร่วมกับการเพิ่มความถี่สัญญาณการประมวลผลกลางเป็น 800 Mhz ทำให้พอเพียงต่อการใช้งานจริงมากขึ้น ดังภาพที่ 4.18



ภาพที่ 4.18 การทดลองการตรวจจับและติดตามใบหน้าด้วยการดึงประสิทธิภาพบางส่วนจากหน่วยประมวลผลภาพ

ปัจจุบันยังไม่สามารถเร่งการตรวจจับใบหน้าในส่วนของการประมวลผลภาพได้โดยตรง เนื่องจากการใช้งานผ่านคิวทีสำหรับราสเบอร์รี่ไพเพื่อเข้าถึงหน่วยประมวลผลภาพโดยตรงที่ยังไม่สมบูรณ์ หากได้รับการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นได้ การประมวลผลตรวจจับและติดตามใบหน้าอาจสามารถเร่งได้สูงถึง 60 ภาพต่อวินาที ตามความสามารถของหน่วยประมวลผลภาพ และกล้องราสเบอร์รี่ไพ

4.3.3 ผลการทดสอบการเร่งประสิทธิภาพการตรวจจับใบหน้าแบบทันที

ผลการทดลองการเร่งประสิทธิภาพการตรวจจับใบหน้าแบบทันทีจะนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาวิเคราะห์ออกเป็น 2 ส่วน โดยมีส่วนวิเคราะห์ ดังนี้

4.3.3.1 การทดลองเรื่องการเร่งประสิทธิภาพการตรวจจับใบหน้าแบบทันที โดยใช้เทคนิคแอลบีพีร่วมกับหน่วยประมวลผลภาพผ่านชั้นเอ็มเอ็มเอแอลกับหุ่นยนต์แทนตัวทางไกล

การทดลองเรื่องการเร่งประสิทธิภาพการตรวจจับใบหน้าแบบทันทีโดยใช้เทคนิคแอลบีพีร่วมกับหน่วยประมวลผลภาพผ่านชั้นเอ็มเอ็มเอแอลกับหุ่นยนต์แทนตัวทางไกลทั้งสิ้น 40 การทดสอบ โดยแบ่งการทดสอบออกเป็น 4 ข้อ ข้อละ 10 การทดสอบ ดังนี้

- (1) การตรวจจับใบหน้าแบบมีใบหน้าในภาพ มีวัตถุในภาพแบบเคลื่อนไหว
- (2) การตรวจจับใบหน้าแบบมีใบหน้าในภาพ มีวัตถุในภาพแบบอยู่นิ่ง
- (3) การตรวจจับใบหน้าแบบไม่มีใบหน้าในภาพ มีวัตถุในภาพแบบเคลื่อนไหว
- (4) การตรวจจับใบหน้าแบบไม่มีใบหน้าในภาพ มีวัตถุในภาพแบบอยู่นิ่ง

การทดสอบใช้ขนาดการรับภาพที่ 320x240 พิกเซล ไม่เพิ่มความถี่สัญญาณนาฬิกาของหน่วยประมวลผลกลาง มีความหมายของข้อมูลตารางจากการแจกแจงที่มีช่วงความเชื่อมั่นของความแตกต่างร้อยละ 95 ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ตารางแสดงจำนวนภาพที่ประมวลผลได้ต่อวินาที

การทดสอบการตรวจจับใบหน้า	จำนวนภาพต่อวินาที	ประสิทธิภาพการประมวลผล
มีใบหน้าในภาพ		
มีวัตถุในภาพแบบเคลื่อนไหว	14.9	87.1%
มีวัตถุในภาพแบบอยู่นิ่ง	16.7	86.7%
ไม่มีใบหน้าในภาพ		
มีวัตถุในภาพแบบเคลื่อนไหว	17.5	86.7%
มีวัตถุในภาพแบบอยู่นิ่ง	17.7	86.9%

สรุปผลการทดลองการเร่งประสิทธิภาพการตรวจจับใบหน้าแบบทันทีโดยใช้เทคนิคแอลบีพีร่วมกับหน่วยประมวลผลภาพผ่านชั้นเอ็มเอ็มเอแอลกับหุ่นยนต์แทนตัวทางไกล อยู่ในช่วงค่าเฉลี่ยที่ 14.87 ± 0.16 ภาพต่อวินาที เมื่อมีการตรวจจับใบหน้าแบบมีใบหน้าในภาพ และมีวัตถุในภาพอยู่นิ่ง และ 17.69 ± 0.31 ภาพต่อวินาที เมื่อมีการตรวจจับใบหน้าแบบไม่มีใบหน้าในภาพ แต่มีวัตถุในภาพอยู่นิ่ง ไม่แตกต่างจากการทดสอบเบื้องต้นที่ 15-17 ภาพต่อวินาที ด้วยการรับขนาดภาพที่

640x480 พิกเซล ประเภทเดสก์ทอป ร่วมกับการเพิ่มความถี่สัญญาณการประมวลผลกลางเป็น 800 Mhz และประสิทธิภาพการประมวลผลของระบบตรวจจับใบหน้า (User Time Ratio) ทุกการทดสอบไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

4.3.3.2 การนำระบบการเร่งประสิทธิภาพการตรวจจับใบหน้าแบบทันทีโดยใช้เทคนิคแอลพีพีร่วมกับหน่วยประมวลผลภาพผ่านชั้นเอ็มเอ็มเอแอลกับหุ่นยนต์แทนตัวทางไกลใช้ร่วมกับการรับส่งข้อมูลแทนตัวทางไกลด้วยภาพและเสียง

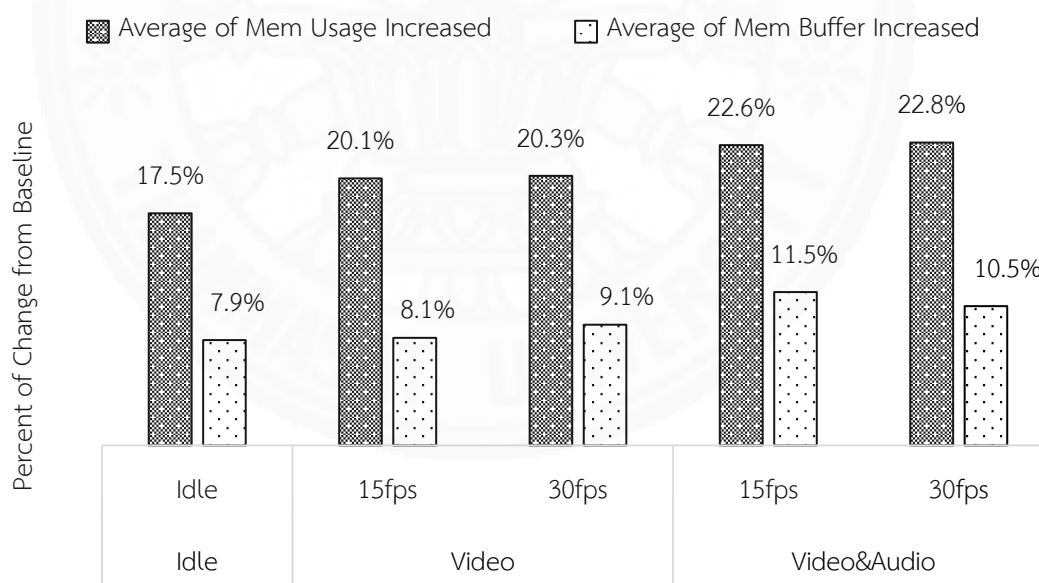
หลังจากการทดลองเรื่องการเร่งประสิทธิภาพการตรวจจับใบหน้าแบบทันทีโดยใช้เทคนิคแอลพีพีร่วมกับหน่วยประมวลผลภาพผ่านชั้นเอ็มเอ็มเอแอลกับหุ่นยนต์แทนตัวทางไกลเสร็จสิ้น จึงนำระบบนี้ใช้ร่วมกับการรับส่งข้อมูลแทนตัวทางไกลด้วยภาพและเสียงทั้งสิ้น 275 การทดสอบ โดยแบ่งการทดสอบออกเป็น 5 ข้อ ข้อละ 55 การทดสอบ ดังนี้

- (1) การทดสอบระบบการรับส่งข้อมูลร่วมกับระบบตรวจจับและติดตามใบหน้าแบบ รอสถานะการเข้าใช้งาน (Idle)
- (2) การทดสอบระบบการรับส่งข้อมูลร่วมกับระบบตรวจจับและติดตามใบหน้าแบบ รับส่งข้อมูลภาพที่ความเร็ว 15 ภาพต่อวินาที (Video - 15fps)
- (3) การทดสอบระบบการรับส่งข้อมูลร่วมกับระบบตรวจจับและติดตามใบหน้าแบบ รับส่งข้อมูลภาพที่ความเร็ว 30 ภาพต่อวินาที (Video - 30fps)
- (4) การทดสอบระบบการรับส่งข้อมูลร่วมกับระบบตรวจจับและติดตามใบหน้าแบบ รับส่งข้อมูลภาพและเสียงที่ความเร็ว 15 ภาพต่อวินาที (Video&Audio - 15 fps)
- (5) การทดสอบระบบการรับส่งข้อมูลร่วมกับระบบตรวจจับและติดตามใบหน้าแบบ รับส่งข้อมูลภาพและเสียงที่ความเร็ว 30 ภาพต่อวินาที (Video&Audio - 30 fps)

ตารางที่ 4.3 การใช้ทรัพยากรพื้นฐานของคอมพิวเตอร์ราสเบอร์รี่ไฟก่อนการทดสอบประสิทธิภาพ

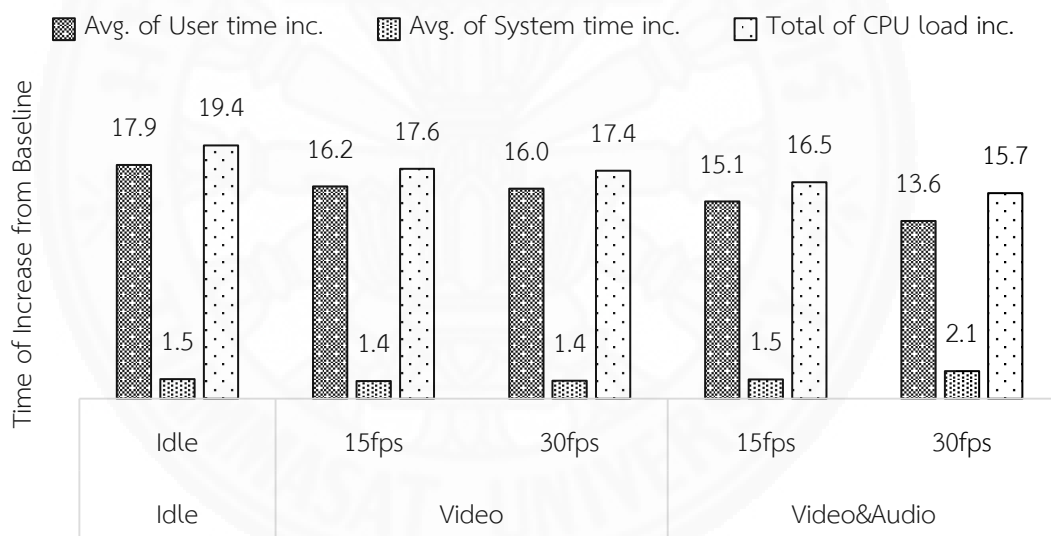
Mode of operations	Memory (MB)		CPU Time (percent)		Bandwidth (Byte/sec (Bps))	
	total 512 MB					
	<i>Use</i>	<i>Buff</i>	<i>User</i>	<i>Sys</i>	<i>Send</i>	<i>Receive</i>
Idle - baseline	72.5	31.5	4.9	7.5	695.2	244.5

จากตารางที่ 4.3 คือข้อมูลการใช้ทรัพยากรพื้นฐานของคอมพิวเตอร์ราสเบอร์รี่ไฟเป็นเวลา 10 นาที ก่อนดำเนินการทดสอบประสิทธิภาพเพื่อเป็นแหล่งอ้างอิงเปรียบเทียบความแตกต่างในด้านต่างๆ ของการใช้ทรัพยากรของคอมพิวเตอร์ราสเบอร์รี่ไฟที่เพิ่มขึ้นหรือลดลง หน่วยความจำหลักถูกแบ่งออกเป็น 214 เมกาไบต์ (MB) สำหรับแคช (Cache) และ 128 เมกาไบต์ สำหรับหน่วยประมวลผลภาพ ตลอดการทดลองและทดสอบประสิทธิภาพ



ภาพที่ 4.19 กราฟแสดงการใช้ทรัพยากรด้านการใช้นหน่วยความจำของการรับส่งข้อมูลร่วมกับระบบตรวจจับและติดตามใบหน้า

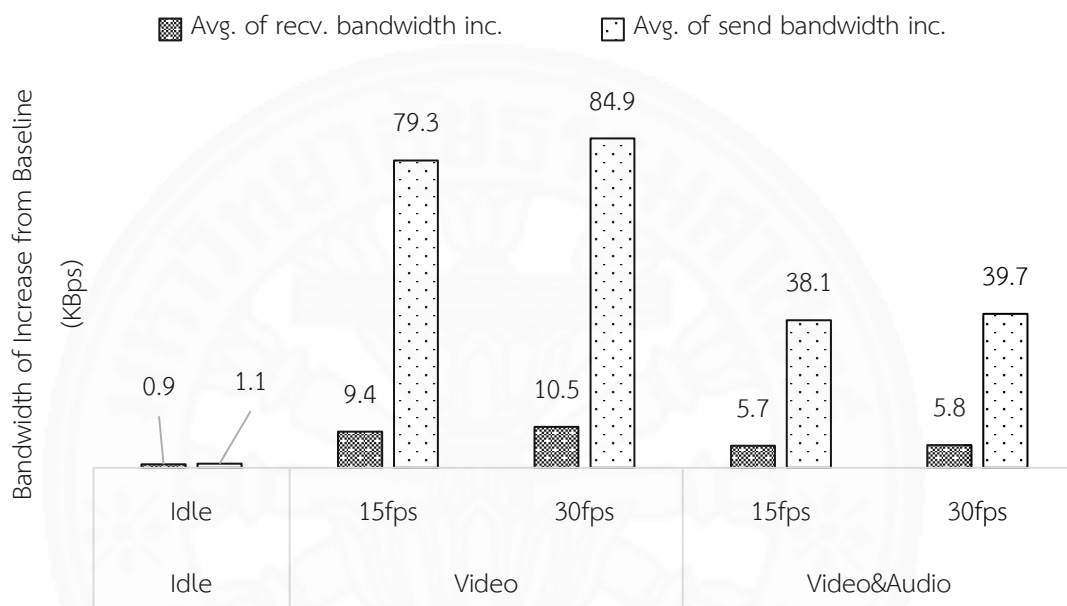
จากภาพที่ 4.19 ผลการทดลองเมื่อเทียบกับตารางการใช้ทรัพยากรพื้นฐานของคอมพิวเตอร์ราสเบอร์รี่ไพก่อนการทดสอบประสิทธิภาพของตารางที่ 4.3 การใช้ทรัพยากรช่วงรอสถานะการเข้าใช้งาน เพิ่มขึ้นร้อยละ 17.5 สำหรับส่วนการใช้งานหลักของหน่วยความจำ และร้อยละ 7.9 สำหรับส่วนพักข้อมูลของหน่วยความจำ การใช้ทรัพยากรรับส่งข้อมูลภาพที่ความเร็ว 15 ภาพต่อวินาที เพิ่มขึ้นร้อยละ 20.1 สำหรับส่วนการใช้งานหลักของหน่วยความจำ และร้อยละ 8.1 สำหรับส่วนพักข้อมูลของหน่วยความจำ ไม่แตกต่างกับการใช้ทรัพยากรรับส่งข้อมูลภาพที่ความเร็ว 30 ภาพต่อวินาทีอย่างมีนัยสำคัญ การใช้ทรัพยากรการรับส่งข้อมูลร่วมกับระบบตรวจจับและติดตามใบหน้าแบบ รับส่งข้อมูลภาพและเสียงที่ความเร็ว 15 ภาพต่อวินาที เพิ่มขึ้นร้อยละ 22.6 สำหรับส่วนการใช้งานหลักของหน่วยความจำ และร้อยละ 11.5 สำหรับส่วนพักข้อมูลของหน่วยความจำ ไม่แตกต่างกับการใช้ทรัพยากรรับส่งข้อมูลภาพและเสียงที่ความเร็ว 30 ภาพต่อวินาทีอย่างมีนัยสำคัญ



ภาพที่ 4.20 กราฟแสดงการใช้ทรัพยากรด้านการใช้หน่วยประมวลผลกลางของการรับส่งข้อมูลร่วมกับระบบตรวจจับและติดตามใบหน้า

จากภาพที่ 4.20 ผลการทดลองการประมวลผลของหน่วยประมวลผลกลาง การใช้ทรัพยากรช่วงรอสถานะการเข้าใช้งาน เพิ่มขึ้นจากเดิม 17.9 เท่า สำหรับเวลาการประมวลผลของระบบการรับส่งข้อมูลร่วมกับระบบตรวจจับและติดตามใบหน้า 1.5 เท่า สำหรับการประมวลผลของระบบปฏิบัติการ และ 19.4 เท่า สำหรับอัตราการประมวลผลของหน่วยประมวลผลกลาง การทดสอบ

ทุกข้อมีแนวโน้มของเวลาการประมวลผลของระบบการรับส่งข้อมูลร่วมกับระบบตรวจจับและติดตามใบหน้า กับ อัตราการประมวลผลของหน่วยประมวลผลกลางทุกข้อการทดสอบ ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ยกเว้นเวลาการประมวลผลของระบบปฏิบัติการที่เพิ่มขึ้นจาก 1.4 - 1.5 เท่า ในทุกข้อการทดสอบเป็น 2.1 เท่า ในข้อรับส่งข้อมูลภาพและเสียงที่ความเร็ว 30 ภาพต่อวินาที



ภาพที่ 4.21 กราฟแสดงการใช้ทรัพยากรด้านอัตราการรับส่งข้อมูลของการรับส่งข้อมูลร่วมกับระบบตรวจจับและติดตามใบหน้า

จากภาพที่ 4.21 ผลการทดลองการอัตราการรับส่งข้อมูล การส่งข้อมูลระหว่างอัตรา การส่งข้อมูลด้วยภาพอย่างเดียวกับส่งข้อมูลด้วยภาพและเสียงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยอัตรา ส่งข้อมูลด้วยภาพอย่างเดียวสูงกว่าอัตราการส่งข้อมูลภาพและเสียง

จากผลการทดลองทั้งหมดสามารถสรุปได้ว่าไม่มีความแตกต่างในด้านอัตราการใช้ ทรัพยากรด้านหน่วยความจำในแต่ละส่วนการทดลองเนื่องจากหน่วยความจำถูกใช้สำหรับการ ตรวจจับใบหน้าเกือบทั้งหมด ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ทรัพยากรของหน่วยประมวลผลกลางแล้ว จะพบได้ว่าไม่มีความแตกต่างเนื่องจากใช้กำลังการประมวลผลสูงสุดของหน่วยประมวลผลกลางทุก ส่วนการทดลอง แต่เมื่อเทียบกับอัตราการรับส่งข้อมูลจะพบว่าการเปิดส่วนควบคุมการหันของ

หุ่นยนต์แทนตัวทางไกลมีส่วนทำให้อัตราการรับส่งข้อมูลลดลงเนื่องจากการประมวลผลของหน่วยประมวลผลกลางแบ่งการทำงานให้กับระบบการตรวจจับและติดตามใบหน้าอัตโนมัติเป็นส่วนใหญ่ ทำให้อัตราการรับส่งข้อมูลลดลง

4.4 ผลการทดลองเพื่อทดสอบการใช้งาน

เมื่อทำการทดสอบประสิทธิภาพของหุ่นยนต์แทนตัวทางไกลจนมั่นใจว่าสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพพอสำหรับการทดสอบการใช้งานจริงกับบุคคลอื่น จึงได้สุ่มเชิญผู้เข้าร่วมการทดลองให้ครบตามเป้าหมายที่คาดหวัง 28 คน ตามที่กล่าวไว้ในบทที่ 3 เพื่อทำการทดสอบการใช้งานของหุ่นยนต์จนบรรลุผล โดยจะนำเสนอผลการวิเคราะห์พร้อมคุณลักษณะของกลุ่มผู้เข้าร่วมการทดลองไว้ 7 ส่วน ดังนี้

- ส่วนที่ 1 คุณลักษณะของกลุ่มผู้เข้าร่วมการทดลอง
- ส่วนที่ 2 ผลการทดสอบการควบคุมการเคลื่อนไหวของหุ่นยนต์ด้วยสมาร์ทโฟน
- ส่วนที่ 3 ผลการทดสอบการเคลื่อนไหวเพื่อติดตามใบหน้าโดยอัตโนมัติ
- ส่วนที่ 4 ผลการเปรียบเทียบการทดสอบระหว่างการควบคุมการเคลื่อนไหวของหุ่นยนต์ด้วยสมาร์ทโฟนและติดตามใบหน้าโดยอัตโนมัติ
- ส่วนที่ 5 ผลการประเมินความพึงพอใจก่อนและหลังการใช้งานหุ่นยนต์
- ส่วนที่ 6 ผลการยอมรับทางด้านคุณภาพของภาพและเสียงของหุ่นยนต์
- ส่วนที่ 7 ผลการไว้วางใจต่อการใช้งานหุ่นยนต์ผ่านเครือข่ายส่วนตัวเสมือน

4.4.1 คุณลักษณะของกลุ่มผู้เข้าร่วมการทดลอง

ตารางที่ 4.4 แสดงจำนวนร้อยละของกลุ่มผู้เข้าร่วมทดลองจำแนกตามเพศ

เพศ	จำนวน	ร้อยละ
ชาย	14	53.85
หญิง	12	46.15
รวม	26	100.00

จากตารางที่ 4.4 กลุ่มผู้เข้าร่วมการทดลองในครั้งนี้ ประกอบไปด้วยเพศชายจำนวน 14 คน คิดเป็นร้อยละ 53.85 และเพศหญิงจำนวน 12 คน คิดเป็นร้อยละ 51.86 รวมทั้งสิ้น 26 คน คลาดเคลื่อนจากเป้าหมาย 28 คน เป็นจำนวน 2 คน

ตารางที่ 4.5 แสดงรายละเอียดเกี่ยวกับอายุของกลุ่มผู้เข้าร่วมทดลอง

อายุ	ชาย	หญิง	รวม	ร้อยละ
18 - 22 ปี	7	7	14	53.85
23 - 40 ปี	7	5	12	46.15
รวม	14	12	26	100.00

จากตารางที่ 4.5 กลุ่มผู้เข้าร่วมการทดลองในครั้งนี้แบ่งเป็นกลุ่มอายุ 18-22 ปี (กลุ่มหนึ่ง) จำนวน 14 คน คิดเป็นร้อยละ 53.85 โดยมีเพศชาย 7 คน และเพศหญิง 7 คน กับกลุ่มอายุ 23-40 ปี (กลุ่มสอง) จำนวน 12 คน คิดเป็นร้อยละ 46.15 โดยมีเพศชาย 7 คน และเพศหญิง 5 คน

ตารางที่ 4.6 แสดงรายละเอียดเกี่ยวกับความสูงและปัจจัยการใช้งานติดต่อสื่อสารของผู้เข้าร่วมทดลอง (Janard & Marurngsith, 2016)

ปัจจัย	พิสัย	\bar{X}	SD
1. ส่วนสูง (เซนติเมตร)	154-183	167.7	7.9
2. ความถี่การใช้งานการติดต่อสื่อสารแบบภาพและเสียงโดยทั่วไป (ครั้ง/เดือน)	0-6	3	2.2
3. ระยะเวลาโดยเฉลี่ยของการใช้งานการติดต่อสื่อสารแบบภาพและเสียงโดยทั่วไป (นาที/ครั้ง)	0-60	28.3	14.6
4. ความถี่การใช้งานการประชุมทางไกลด้วยภาพและเสียง (ครั้ง/เดือน)	0-6	0.79	1.43
5. ระยะเวลาโดยเฉลี่ยของการใช้งานการประชุมทางไกลด้วยภาพและเสียง (นาที/ครั้ง)	0-60	20.77	22.82
6. ระบบปฏิบัติการของสมาร์ทโฟนหลักที่ใช้อยู่ (แอนดรอยด์:ไอโอเอส:วินโดวส์)		17:07:02	
7. ประเภทอุปกรณ์ที่ใช้ติดต่อสื่อสารแบบภาพและเสียงโดยทั่วไป (คอมพิวเตอร์:สมาร์ทโฟน:แทปเล็ต:อื่นๆ)		17:23:11:1	
8. ประเภทอุปกรณ์ที่ใช้การประชุมทางไกลด้วยภาพและเสียง (คอมพิวเตอร์:สมาร์ทโฟน:แทปเล็ต:อื่นๆ)		12:2:0:1	

จากตารางที่ 4.6 กลุ่มผู้เข้าร่วมการทดลองในครั้งนี้ รวมทั้งสิ้น 26 คน มีพิสัยส่วนสูงที่ 154-183 เซนติเมตร มีค่าเฉลี่ยที่ 167.7 เซนติเมตร และมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ 7.9 เซนติเมตร

กลุ่มผู้เข้าร่วมการทดลองมีพิสัยความถี่การใช้งานการติดต่อสื่อสารแบบภาพและเสียงโดยทั่วไปที่ 0-6 ครั้งต่อเดือน มีค่าเฉลี่ยที่ 3 ครั้งต่อเดือน มีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ 2.2 ครั้งต่อเดือน และมีพิสัยระยะเวลาโดยเฉลี่ยของการใช้งานการติดต่อสื่อสารแบบภาพและเสียงโดยทั่วไป 0-60 นาทีต่อครั้ง มีค่าเฉลี่ยที่ 28.3 นาทีต่อครั้ง มีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ 14.6 นาทีต่อครั้ง ส่วน

ประเภทอุปกรณ์ที่ใช้ติดต่อสื่อสารแบบภาพและเสียงโดยทั่วไป ผู้เข้าร่วมการทดลองใช้คอมพิวเตอร์ จำนวน 17 คน สมาร์ทโฟน 7 คน แท็บเล็ต 11 คน และอื่นๆ 1 คน

กลุ่มผู้เข้าร่วมการทดลองมีพิสัยความถี่การใช้งานการประชุมทางไกลด้วยภาพและเสียง 0-6 ครั้งต่อเดือน มีค่าเฉลี่ยที่ 0.79 ครั้งต่อเดือน มีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ 1.43 ครั้งต่อเดือน และมีพิสัยระยะเวลาโดยเฉลี่ยของการใช้งานการประชุมทางไกลด้วยภาพและเสียง 0-60 นาทีต่อครั้ง มีค่าเฉลี่ยที่ 20.77 นาทีต่อครั้ง มีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 22.82 นาทีต่อครั้ง ส่วนประเภทอุปกรณ์ที่ใช้ติดต่อสื่อสารการประชุมทางไกลด้วยภาพและเสียง ผู้เข้าร่วมการทดลองใช้คอมพิวเตอร์ จำนวน 12 คน สมาร์ทโฟน 2 คน แท็บเล็ต 0 คน และอื่นๆ 1 คน

ระบบปฏิบัติการของสมาร์ทโฟนที่ผู้เข้าร่วมการทดลองแต่ละคนใช้ มีแอนดรอยด์ จำนวน 17 คน ไอโอเอสจำนวน 7 คน และวินโดวส์จำนวน 2 คน

4.4.2 ผลการทดสอบการควบคุมการเคลื่อนไหวของหุ่นยนต์ด้วยสมาร์ทโฟน

ผลการทดสอบการควบคุมการเคลื่อนไหวของหุ่นยนต์ด้วยสมาร์ทโฟนนี้จะนำข้อมูลที่ได้จากสถานีทดลองที่ 1-3 มาวิเคราะห์ออกเป็นสองส่วน โดยมีส่วนวิเคราะห์ ดังนี้

4.4.2.1 ผลความเร็วเฉลี่ยในการทดสอบจนครบรอบของแต่ละสถานี โดยนำรอบความเร็วที่ดีที่สุดของแต่ละคนมาคำนวณหาผลเฉลี่ยรวมของแต่ละกลุ่ม

รายละเอียดของสถานีทดลองที่ 1-3 ดังแสดงในภาพที่ 4.22 สามารถอธิบายได้ดังนี้

สถานีที่ 1 การทดสอบความเร็วการหันหาวัตถุต่างๆ ที่วางโดยรอบของหุ่นยนต์ โดยวัตถุแต่ละชิ้นจะวางห่างจากหุ่นยนต์เป็นระยะ 2 เมตร และห่างจากวัตถุกันเองเป็นมุม 45 องศา แนวนอน

หมายเลขการทดสอบ 1 คือ ปุ่มควบคุมเสมือน

หมายเลขการทดสอบ 2 คือ หันสมาร์ทโฟน

สถานีที่ 2 การทดสอบความเร็วการหันหาวัตถุต่างๆ ที่วางโดยรอบของหุ่นยนต์ โดยวัตถุแต่ละชิ้นจะวางห่างจากหุ่นยนต์เป็นระยะ 1 เมตร และวัตถุห่าง

จากกันเอง 1 เมตร ให้ผู้เข้าร่วมการทดลองควบคุมการหันของหุ่นยนต์ตามทิศทางแนวตั้งและแนวนอน

หมายเลขการทดสอบ 3 คือ ปุ่มควบคุมเสมือน

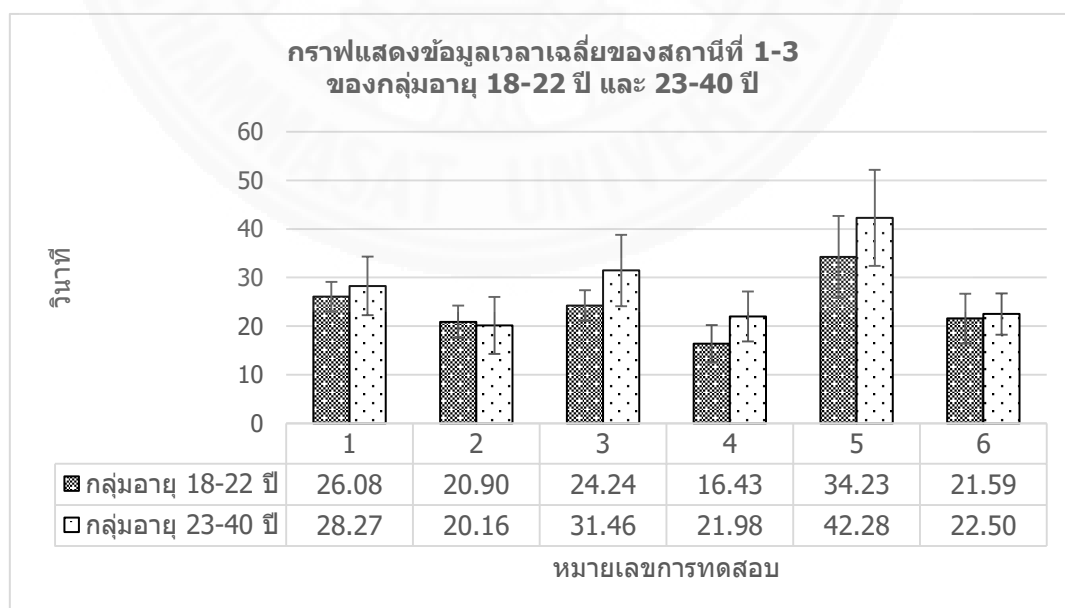
หมายเลขการทดสอบ 4 คือ หันสมาร์ตโฟน

สถานีที่ 3 การทดสอบความเร็วการหันหัววัตถุต่างๆ ที่วางโดยรอบของหุ่นยนต์ โดยวัตถุแต่ละชิ้นจะวางห่างจากหุ่นยนต์เป็นระยะ 1 เมตร และวัตถุห่างจากกันเอง 1 เมตร ให้ผู้เข้าร่วมการทดลองควบคุมการหันของหุ่นยนต์ตามทิศทางแนวเฉียง

หมายเลขการทดสอบ 5 คือ ปุ่มควบคุมเสมือน

หมายเลขการทดสอบ 2 คือ หันสมาร์ตโฟน

ทุกสถานีจะคัดเลือกรอบการทดลองที่ดีที่สุดจากทั้งหมด 3 รอบการทดสอบของแต่ละคนมาคำนวณโดยการใช้ปุ่มควบคุมเสมือนของสมาร์ตโฟนและทดสอบโดยการหันสมาร์ตโฟน (หมายเลขการทดสอบ 1 - 6 ดังแสดงในภาพที่ 4.22)



ภาพที่ 4.22 กราฟแสดงข้อมูลเวลาเฉลี่ยของแต่ละกลุ่มอายุในสถานีที่ 1-3

จากภาพที่ 4.22 กลุ่มอายุ 18-22 ปี มีแนวโน้มที่จะใช้เวลาการทดสอบของรอบที่ดีที่สุดของแต่ละหมายเลขการทดสอบเร็วกว่ากลุ่มอายุ 23-40 ปี จึงทำการทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของกลุ่มอายุผู้เข้าร่วมการทดลองทั้งสองกลุ่มที่เป็นอิสระต่อกัน เพื่อต้องการทราบว่าค่าเฉลี่ยของกลุ่มอายุผู้เข้าร่วมการทดลองทั้งสองกลุ่มในแต่ละหมายเลขการทดสอบมีค่าแตกต่างกันหรือไม่ โดยกำหนดสมมุติฐานดังนี้

$H_0 : \mu_1 = \mu_2$ ค่าเฉลี่ยของกลุ่มอายุ 18-22 ปี เท่ากับค่าเฉลี่ยของกลุ่มอายุ 23-40 ปี

$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$ ค่าเฉลี่ยของกลุ่มอายุ 18-22 ปี ไม่เท่ากับค่าเฉลี่ยของกลุ่มอายุ 23-40 ปี

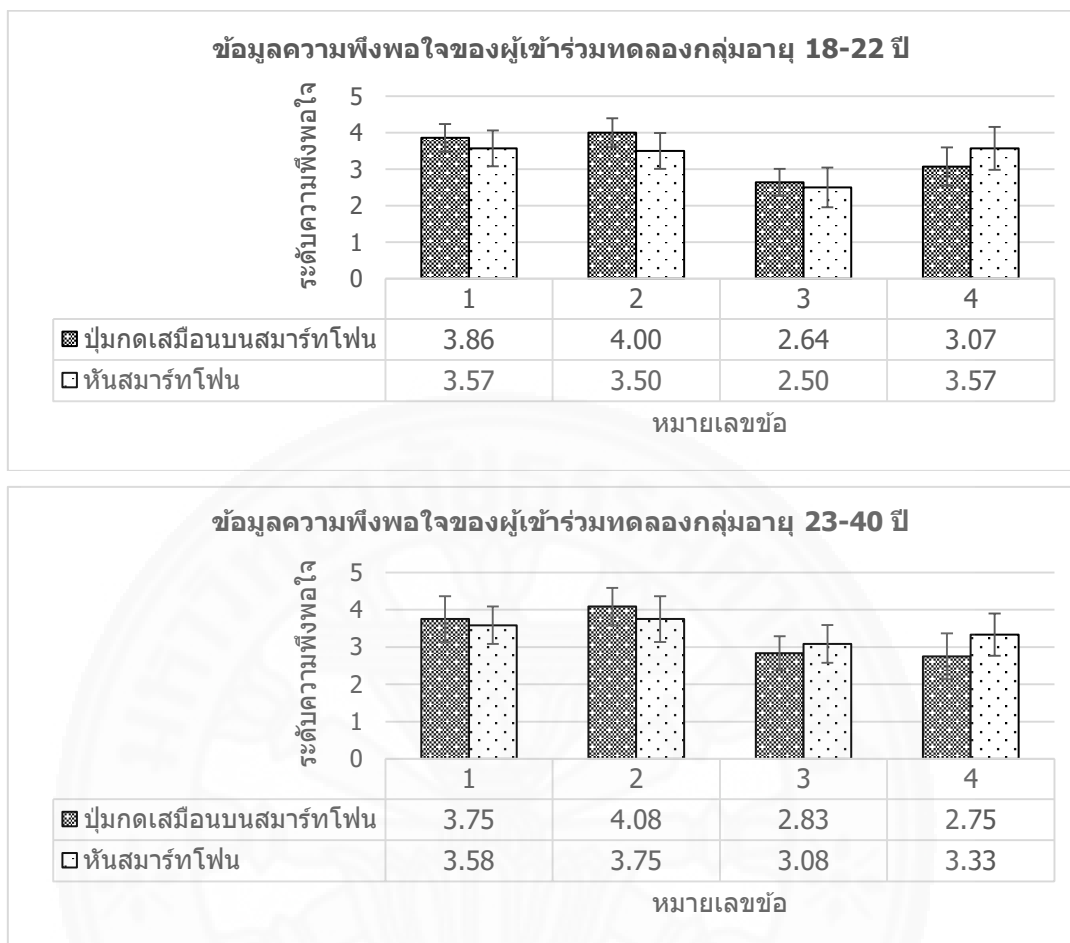
ผลการทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของกลุ่มอายุผู้เข้าร่วมทดลองทั้งสองกลุ่มที่เป็นอิสระต่อกันโดยการแจกแจงแบบทีที่ระดับนัยสำคัญร้อยละ 95 พบว่า ค่าเฉลี่ยเวลาการทดสอบของทุกหมายเลขการทดสอบ (ตารางทางสถิติแสดงในภาคผนวก ง ตารางที่ ง.1) ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ สามารถตีความได้ว่าค่าเฉลี่ยเวลาของกลุ่มอายุทั้งสองกลุ่มในทุกการทดสอบของปุ่มควบคุมเสมือนบนสมาร์ทโฟนและการหันสมาร์ทโฟนเป็นไปในทิศทางเดียวกัน

4.4.2.2 ผลคะแนนความพึงพอใจเฉลี่ยจากการตอบแบบสอบถามในแต่ละ สถานีของผู้เข้าร่วมทดลอง เพื่อนำมาคำนวณหาผลเฉลี่ยรวมของแต่ละกลุ่ม

ตารางที่ 4.7 แสดงรายละเอียดข้อสอบถามและการให้คะแนนของผู้ร่วมทดลองของการควบคุมการเคลื่อนไหวของหุ่นยนต์ด้วยสมาร์ทโฟนและความง่ายต่อการควบคุมหุ่นยนต์ด้วยการหันสมาร์ทโฟน

แบบสำรวจ	1	2	3	4	5
การควบคุมการเคลื่อนไหวของหุ่นยนต์ด้วยสมาร์ทโฟน					
ก. ความง่ายต่อการควบคุมหุ่นยนต์ด้วยปุ่มกดเสมือนบนสมาร์ทโฟน					
1. ความแม่นยำต่อการควบคุมการหันของหุ่นยนต์แนวอน					
2. ความแม่นยำต่อการควบคุมการหันของหุ่นยนต์แนวตั้ง					
3. ความแม่นยำต่อการควบคุมการหันของหุ่นยนต์แนวเฉียง					
4. ความรวดเร็วต่อการตอบสนองของหุ่นยนต์					
ข. ความง่ายต่อการควบคุมหุ่นยนต์ด้วยการหันสมาร์ทโฟน					
1. ความแม่นยำต่อการควบคุมการหันของหุ่นยนต์แนวอน					
2. ความแม่นยำต่อการควบคุมการหันของหุ่นยนต์แนวตั้ง					
3. ความแม่นยำต่อการควบคุมการหันของหุ่นยนต์แนวเฉียง					
4. ความรวดเร็วต่อการตอบสนองของหุ่นยนต์					

จากตารางที่ 4.7 คือแบบสอบถามที่ให้ผู้เข้าร่วมการทดลองให้คะแนนความพึงพอใจจากน้อยไปมาก หรือ 1-5 เพื่อรวบรวมข้อมูลทางสถิติหาค่าเฉลี่ยของความพึงพอใจหรือความมั่นใจของผู้เข้าร่วมทดลองที่มีต่อการควบคุมหุ่นยนต์แทนตัวทางไกล โดยหมายเลขข้อ 1-4 ของข้อ ก และ ข จะมีลักษณะคำถามที่เหมือนกันเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบความแม่นยำ และความรวดเร็ว ของการควบคุมหุ่นยนต์ด้วยปุ่มกดเสมือนบนสมาร์ทโฟน และการควบคุมหุ่นยนต์ด้วยการหันสมาร์ทโฟน



ภาพที่ 4.23 กราฟแสดงระดับความพึงพอใจด้านปุ่มกดเสมือนบนสมาร์ทโฟนและการห็นสมาร์ทโฟน
ของแต่ละกลุ่มอายุ

จากภาพที่ 4.23 มีความหมายของข้อมูลกราฟจากการแจกแจงที่มีช่วงความเชื่อมั่นของความแตกต่างร้อยละ 95 ว่ากลุ่มอายุ 18-22 ปี และ 23-40 ปี มีแนวโน้มความพึงพอใจไปในทิศทางเดียวกัน ยกเว้นหมายเลขข้อ 4 ของกลุ่มอายุ 18-22 ปี ตามการแปลความของการอธิบายการแจกแจงด้านปุ่มกดเสมือนและการห็นสมาร์ทโฟน จึงทำการทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของความพึงพอใจทั้งปุ่มกดเสมือนและการห็นสมาร์ทโฟนในแต่ละกลุ่มอายุที่มีความสัมพันธ์กัน เพื่อต้องการทราบว่าค่าเฉลี่ยเวลาของปุ่มกดเสมือนและการห็นสมาร์ทโฟนระหว่างกลุ่มอายุทั้งสองกลุ่มในแต่ละหมายเลขข้อมีค่าแตกต่างกันหรือไม่ โดยกำหนดสมมุติฐานดังนี้

$H_0 : \mu_{\text{ปุ่มกด}} - \mu_{\text{หัน}} = 0$	ค่าเฉลี่ยความพึงพอใจของปุ่มกดเสมือน กับ ค่าเฉลี่ยเวลาของการหันสมาร์ทโฟน ไม่แตกต่างกัน
$H_1 : \mu_{\text{ปุ่มกด}} - \mu_{\text{หัน}} \neq 0$	ค่าเฉลี่ยความพึงพอใจของปุ่มกดเสมือน กับ ค่าเฉลี่ยเวลาของการหันสมาร์ทโฟน แตกต่างกัน

ผลทดสอบความแตกต่างค่าเฉลี่ยความพึงพอใจของปุ่มกดเสมือนกับค่าเฉลี่ยความพึงพอใจของการหันสมาร์ทโฟนในในกลุ่มอายุ 18-22 ปี โดยการแจกแจงแบบที่ที่ระดับนัยสำคัญร้อยละ 95 พบว่าหมายเลขข้อ 2 แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (ตารางทางสถิติแสดงในภาคผนวก ง ตารางที่ ง.2 และ ง.3) และการแปลความที่แตกต่างกันระหว่างค่าเฉลี่ยความพึงพอใจของปุ่มกดเสมือนกับค่าเฉลี่ยความพึงพอใจของการหันสมาร์ทโฟนในในกลุ่มอายุ 18-22 ปี หมายเลขข้อ 4 ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ สามารถตีความได้ว่าความแม่นยำต่อการควบคุมการหันของหุ่นยนต์แนวตั้ง (หมายเลขข้อ 2) ของปุ่มกดเสมือนมีแนวโน้มความพึงพอใจที่สูงกว่าการหันสมาร์ทโฟนในกลุ่มอายุ 18-22 ปี และความรวดเร็วต่อการตอบสนองของหุ่นยนต์ (หมายเลขข้อ 4) ของปุ่มกดเสมือนของสมาร์ทโฟนและการหันสมาร์ทโฟนในกลุ่มอายุ 18-22 ปี มีแนวโน้มความพึงพอใจระดับปานกลางเหมือนกัน

4.4.3 ผลการทดสอบการเคลื่อนไหวเพื่อติดตามใบหน้าโดยอัตโนมัติ

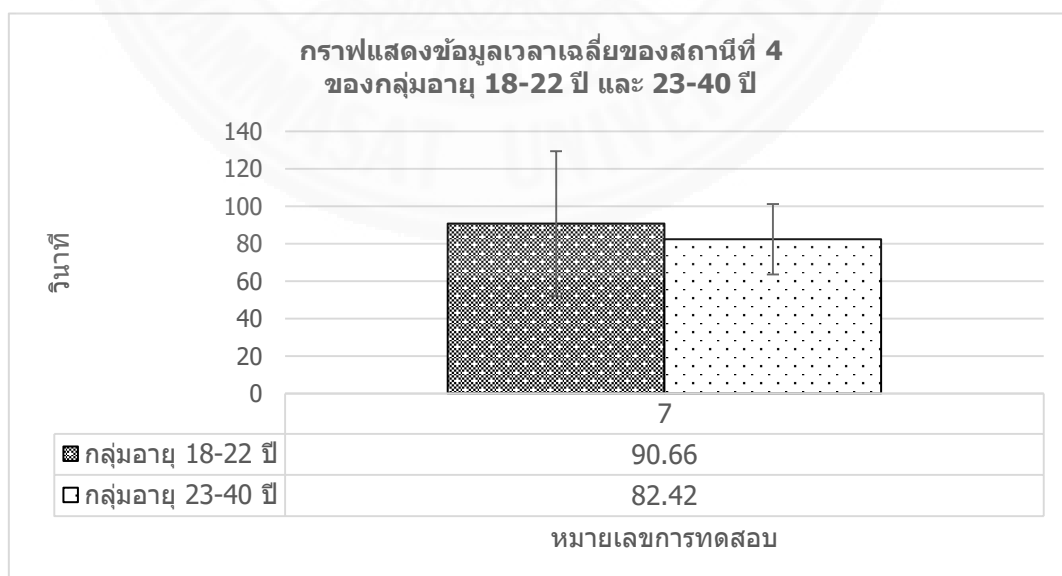
ผลการทดสอบการควบคุมการเคลื่อนไหวของหุ่นยนต์เพื่อติดตามใบหน้าโดยอัตโนมัตินี้จะนำข้อมูลที่ได้จากสถานีทดลองที่ 4 มาวิเคราะห์ออกเป็นสองส่วน โดยมีส่วนวิเคราะห์ดังนี้

4.4.3.1 ผลความเร็วเฉลี่ยในการทดสอบจนครบรอบของแต่ละสถานี โดยนำรอบความเร็วที่ดีที่สุดของแต่ละคนมาคำนวณหาผลเฉลี่ยรวมของแต่ละกลุ่ม

สำหรับรายละเอียดของสถานีทดลองที่ 4 สามารถอธิบายได้ ดังนี้

สถานีที่ 4 ผู้เข้าร่วมการทดลองจะยืนหรือนั่งตามจุดที่กำหนดไว้รอบหุ่นยนต์ โดยมีระยะห่าง 1 และ 2 เมตร โดยจุดแต่ละจุดที่เข้าร่วมทดลองการเคลื่อนที่จะถูกกำหนดให้มีระยะห่างจากกัน 45 องศา โดยวัดจุดศูนย์กลางจากตัวหุ่นยนต์ การเคลื่อนที่ของผู้เข้าร่วมการทดลองจะต้องเริ่มต้นด้วยการนั่งอยู่หน้าหุ่นยนต์ก่อน จากนั้นจึงลุกขึ้นยืนให้หุ่นยนต์เงยหน้าตามจนหยุดแล้วค่อยนั่งลงพื้นหรือก้มต่ำลงให้หุ่นยนต์ก้มหน้าตามจนหยุดการเคลื่อนไหว เมื่อเสร็จเรียบร้อยให้ผู้เข้าร่วมการทดลองยืนขึ้นให้หุ่นยนต์เงยหน้าตามจนหยุด แล้วเคลื่อนที่ไปทางซ้ายหรือขวาตามทิศทางที่กำหนดเพิ่มขึ้นทีละ 45 องศา เช่นเดียวกันกับการควบคุมให้หุ่นยนต์หันไปตามวัตถุที่กำหนด แต่รอบนี้เป็นตัวผู้เข้าร่วมการทดลองเอง หลังจากสิ้นสุดการทดลองแล้ว ให้ทำซ้ำอีก 2 รอบ จนได้ข้อมูลระยะเวลาการหันแต่ละชุดที่แน่นอนของแต่ละคน รวมทั้งสิ้น 3 รอบ

สถานีที่ 4 จะคัดเลือกรอบการทดลองที่ดีที่สุดจากทั้งหมด 3 รอบการทดสอบของแต่ละคนมาคำนวณโดยใช้การควบคุมการเคลื่อนไหวของหุ่นยนต์การเคลื่อนไหวเพื่อติดตามใบหน้าโดยอัตโนมัติ (หมายเลขการทดสอบ 7 ดังแสดงในภาพที่ 4.24)



ภาพที่ 4.24 กราฟแสดงข้อมูลเวลาเฉลี่ยของแต่ละกลุ่มอายุในสถานีที่ 4

จากภาพที่ 4.24 มีความหมายของข้อมูลกราฟจากการแจกแจงที่มีช่วงความเชื่อมั่นของความแตกต่างร้อยละ 95 ว่ากลุ่มอายุ 23-40 ปี มีแนวโน้มที่จะใช้เวลาการทดสอบรอบที่ดีที่สุดของแต่ละหมายเลขการทดสอบเร็วกว่ากลุ่มอายุ 18-22 ปี จึงทำการทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของกลุ่มอายุผู้เข้าร่วมทดลองทั้งสองกลุ่มที่เป็นอิสระต่อกัน เพื่อต้องการทราบว่าค่าเฉลี่ยของกลุ่มอายุผู้เข้าร่วมทดลองทั้งสองกลุ่ม ในหมายเลขการทดสอบ 7 มีค่าแตกต่างกันหรือไม่ โดยกำหนดสมมุติฐาน ดังนี้

$H_0 : \mu_1 = \mu_2$ ค่าเฉลี่ยของกลุ่มอายุ 18-22 ปี เท่ากับค่าเฉลี่ยของกลุ่มอายุ 23-40 ปี

$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$ ค่าเฉลี่ยของกลุ่มอายุ 18-22 ปี ไม่เท่ากับค่าเฉลี่ยของกลุ่มอายุ 23-40 ปี

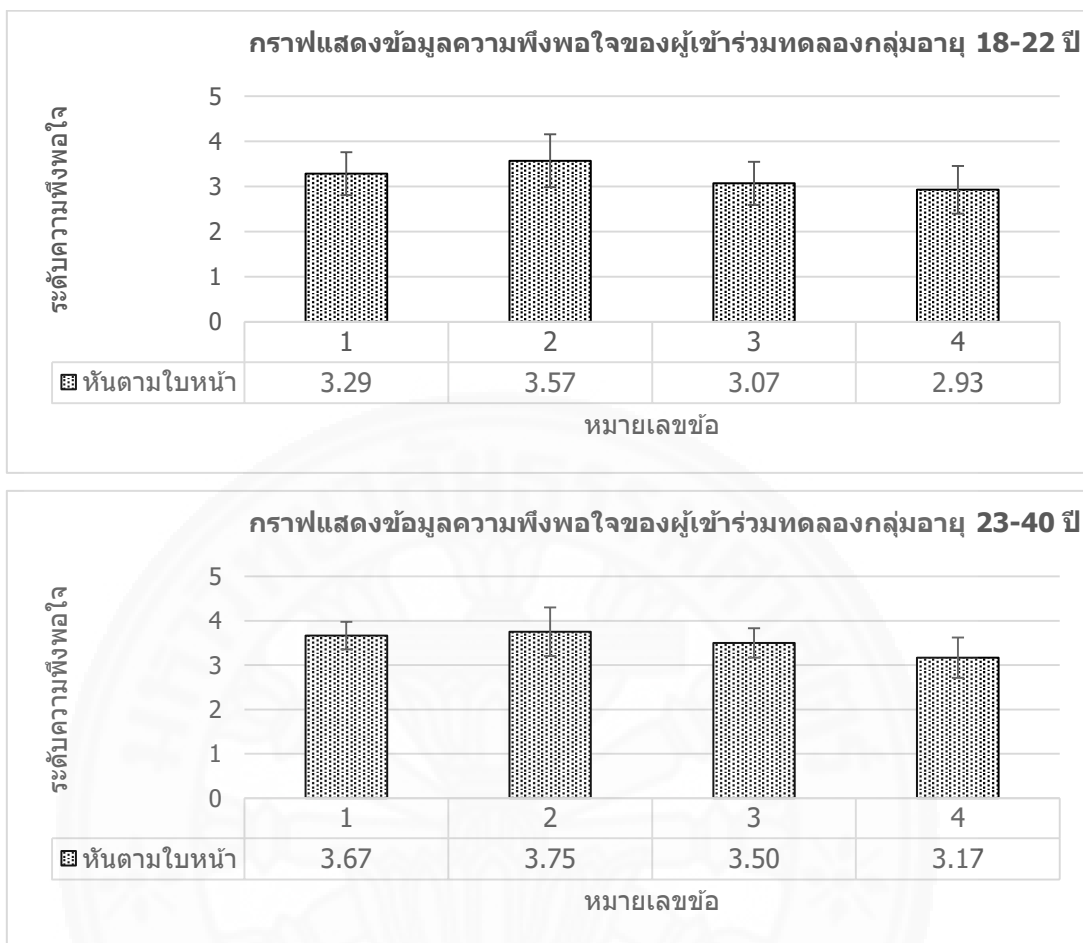
ผลการทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของกลุ่มอายุผู้เข้าร่วมทดลองทั้งสองกลุ่มที่เป็นอิสระต่อกันที่ระดับนัยสำคัญร้อยละ 95 พบว่าค่าเฉลี่ยเวลาการทดสอบของหมายเลขการทดสอบ 7 (ตารางทางสถิติแสดงในภาคผนวก ง ตารางที่ ง.4) ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ สามารถตีความหมายได้ว่าค่าเฉลี่ยเวลาของกลุ่มอายุ 18-22 ปี มีความแปรปรวนของข้อมูลส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 82.42 ± 18.83 วินาที เหมือนกับกลุ่มอายุ 23-40 ปี โดยมีค่าเฉลี่ยเวลาระหว่างกันแตกต่างกันในช่วง 8.24 วินาที

4.4.3.2 ผลคะแนนความพึงพอใจเฉลี่ยจากการตอบแบบสอบถามในแต่ละสถานีของผู้เข้าร่วมทดลอง เพื่อนำมาคำนวณหาผลเฉลี่ยรวมของแต่ละกลุ่ม

ตารางที่ 4.8 แสดงรายละเอียดข้อสอบถามและการให้คะแนนของผู้ร่วมทดลองของการควบคุมการเคลื่อนไหวของหุ่นยนต์การเคลื่อนไหวเพื่อติดตามใบหน้าโดยอัตโนมัติ

แบบสำรวจ	1	2	3	4	5
การเคลื่อนไหวของหุ่นยนต์เพื่อติดตามใบหน้าโดยอัตโนมัติ					
ก. ความง่ายต่อการควบคุมหุ่นยนต์ให้หันตามใบหน้า					
1. ความแม่นยำต่อการควบคุมการหันของหุ่นยนต์แนวอน					
2. ความแม่นยำต่อการควบคุมการหันของหุ่นยนต์แนวตั้ง					
3. ความแม่นยำต่อการควบคุมการหันของหุ่นยนต์แนวเฉียง					
4. ความรวดเร็วต่อการตอบสนองของหุ่นยนต์					

จากตารางที่ 4.8 คือแบบสอบถามที่ให้ผู้เข้าร่วมการทดลองให้คะแนนความพึงพอใจจากน้อยไปมาก หรือ 1-5 เพื่อรวบรวมข้อมูลทางสถิติหาค่าเฉลี่ยของความพึงพอใจหรือความมั่นใจของผู้เข้าร่วมทดลองที่มีต่อการควบคุมการเคลื่อนไหวของหุ่นยนต์เพื่อติดตามใบหน้าโดยอัตโนมัติ



ภาพที่ 4.25 กราฟแสดงระดับความพึงพอใจด้านการติดตามใบหน้าอัตโนมัติของแต่ละกลุ่มอายุ

จากภาพที่ 4.25 มีความหมายของข้อมูลกราฟจากการแจกแจงที่มีช่วงความเชื่อมั่นของความแตกต่างร้อยละ 95 ว่ากลุ่มอายุ 18-22 ปี และ 23-40 ปี ไม่มีแนวโน้มความพึงพอใจไปในทิศทางเดียวกันตามการแปลผลของการอธิบายการแจกแจงในหมายเลขข้อ 1 และ 3 จึงทำการทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของความพึงพอใจในแต่ละกลุ่มอายุที่มีความสัมพันธ์กัน เพื่อต้องการทราบค่าเฉลี่ยความพึงพอใจของการควบคุมการเคลื่อนไหวของหุ่นยนต์การเคลื่อนไหวเพื่อติดตามใบหน้าโดยอัตโนมัติในแต่ละกลุ่มอายุมีค่าแตกต่างกันหรือไม่ โดยกำหนดสมมุติฐาน ดังนี้

- $H_0 : \mu_{\text{ปุมกด}} - \mu_{\text{หัน}} = 0$ ค่าเฉลี่ยความพึงพอใจของกลุ่มอายุ 18-22 ปี กับ
ค่าเฉลี่ยความพึงพอใจของกลุ่มอายุ 23-40 ปี ไม่แตกต่างกัน
- $H_1 : \mu_{\text{ปุมกด}} - \mu_{\text{หัน}} \neq 0$ ค่าเฉลี่ยความพึงพอใจของกลุ่มอายุ 18-22 ปี กับ
ค่าเฉลี่ยความพึงพอใจของกลุ่มอายุ 23-40 ปี แตกต่างกัน

ผลทดสอบความแตกต่างค่าเฉลี่ยความพึงพอใจของกลุ่มอายุ 18-22 ปี กับค่าเฉลี่ยความพึงพอใจของกลุ่มอายุ 23-40 ปี ที่ระดับนัยสำคัญร้อยละ 95 มีผลไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทุกข้อการให้คะแนนความพึงพอใจ (ตารางทางสถิติแสดงในภาคผนวก ง ตารางที่ ง.5) สามารถตีความหมายได้ว่าคะแนนความพึงพอใจด้านความแม่นยำต่อการควบคุมการหันของหุ่นยนต์แนวนอน (หมายเลขข้อ 1) ของการตรวจจับและติดตามใบหน้าอัตโนมัติแบบทันทีทันใดของทั้งสองกลุ่มอายุมีแนวโน้มอยู่ในระดับปานกลางเช่นเดียวกัน และคะแนนความพึงพอใจในด้านความแม่นยำต่อการควบคุมการหันของหุ่นยนต์แนวเฉียง (หมายเลขข้อ 3) ของทั้งสองกลุ่มอายุมีแนวโน้มอยู่ในระดับปานกลางเช่นเดียวกัน

4.4.4 ผลการเปรียบเทียบการทดสอบระหว่างการควบคุมการเคลื่อนไหวของหุ่นยนต์ด้วยสมาร์ทโฟนและติดตามใบหน้าโดยอัตโนมัติ

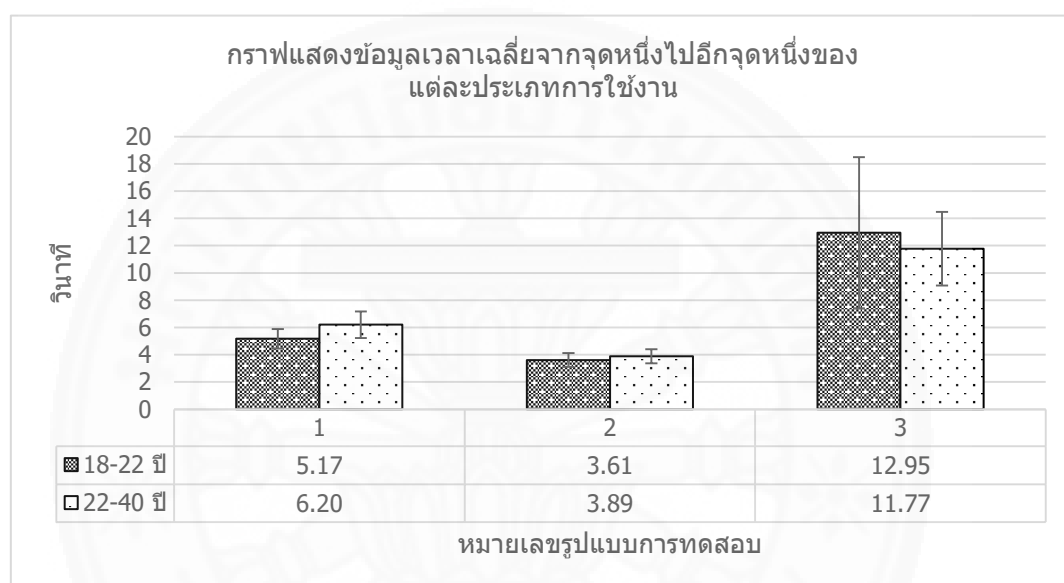
ผลการเปรียบเทียบการทดสอบระหว่างการควบคุมการเคลื่อนไหวของหุ่นยนต์ด้วยสมาร์ทโฟน และการตรวจจับและติดตามใบหน้าอัตโนมัติของหุ่นยนต์นี้จะนำข้อมูลที่ได้จากทุกสถานีทดลองมาวิเคราะห์ออกเป็นสองส่วน โดยมีส่วนวิเคราะห์ ดังนี้

4.4.4.1 ผลความเร็วการเคลื่อนไหวจากจุดหนึ่งไปอีกจุดหนึ่งโดยเฉลี่ยในการทดสอบจนครบรอบของแต่ละสถานี โดยนำผลมาจากรอบความเร็วที่ดีที่สุดของแต่ละคนมาคำนวณหาผลเฉลี่ยรวมของแต่ละกลุ่ม

สำหรับรายละเอียดของประเภทการเคลื่อนไหวจากจุดหนึ่งไปอีกจุดหนึ่ง สามารถอธิบายได้โดยการทดสอบความเร็วการหันหัววัตถุต่างๆ ที่วางโดยรอบของหุ่นยนต์ ทั้งแนวนอน แนวเฉียง และแนวตั้ง ได้ดังนี้

- (1) ใช้ปุ่มเสมือนของสมาร์ทโฟนเพื่อควบคุมการเคลื่อนไหวของหุ่นยนต์
- (2) ใช้การหันสมาร์ทโฟนเพื่อควบคุมการเคลื่อนไหวของหุ่นยนต์
- (3) ใช้การตรวจจับและติดตามใบหน้าอัตโนมัติของหุ่นยนต์

ทุกสถานีจะคัดเลือกรอบเวลาเฉลี่ยจากจุดหนึ่งไปอีกจุดหนึ่งที่ดีที่สุดจากทั้งหมด 3 รอบการทดสอบของแต่ละคนมาคำนวณ (หมายเลขรูปแบบการทดสอบ 1-3 ดังแสดงในภาพ 4.26)



ภาพที่ 4.26 กราฟแสดงข้อมูลเวลาเฉลี่ยจากจุดหนึ่งไปอีกจุดหนึ่งของแต่ละประเภทการใช้งาน

จากภาพที่ 4.26 มีความหมายของข้อมูลกราฟจากการแจกแจงที่มีช่วงความเชื่อมั่นของความแตกต่างร้อยละ 95 ว่ากลุ่มอายุ 18-22 ปี มีแนวโน้มที่จะใช้เวลาการทดสอบรอบที่ดีที่สุดของแต่ละหมายเลขรูปแบบการทดสอบเร็วกว่ากลุ่มอายุ 23-40 ปี ที่ไม่แตกต่างกัน (หมายเลขรูปแบบการทดสอบ 1 และ 2) ยกเว้นการใช้การตรวจจับและติดตามใบหน้า (หมายเลขรูปแบบการทดสอบ 3) ที่มีค่าเฉลี่ยใกล้เคียงกัน แต่มีความแปรปรวนของข้อมูลสูง และเมื่อเปรียบเทียบข้อมูลเวลาการเคลื่อนไหวจากจุดหนึ่งไปอีกจุดหนึ่งในแต่ละประเภทแล้ว ผลออกมาแตกต่างอย่างชัดเจน โดย

- (1) การใช้การหันสมาร์ทโฟน สามารถทำเวลาเฉลี่ยได้เร็วที่สุด
- (2) การใช้ปุ่มควบคุมเสมือน สามารถทำเวลาเฉลี่ยได้ช้ากว่าการใช้การหันสมาร์ทโฟน แต่เร็วกว่าการใช้การตรวจจับและติดตามใบหน้า

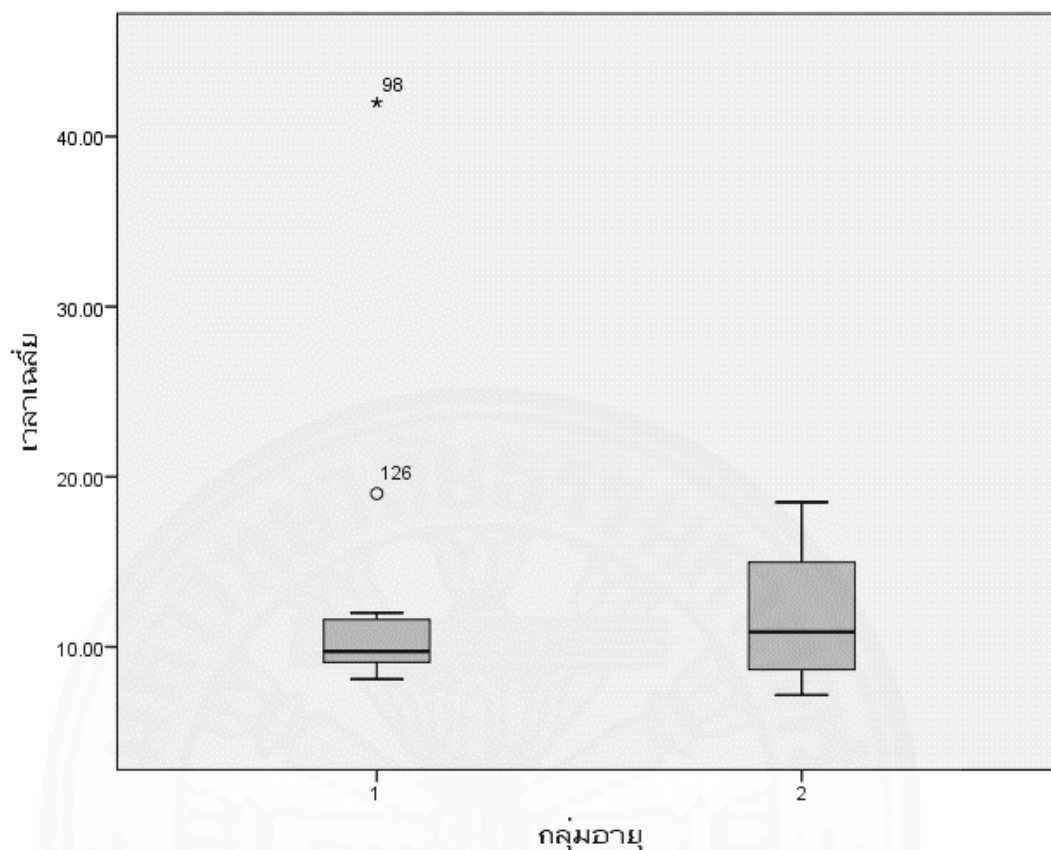
(3) การใช้การตรวจจับและติดตามใบหน้า สามารถทำเวลาเฉลี่ยได้ช้าที่สุด

จึงไม่จำเป็นต้องทดสอบค่าทางสถิติหาความแตกต่างของแต่ละประเภท แต่ยังคงต้องหาค่าความแตกต่างของแต่ละกลุ่มอายุในหมายเลขรูปแบบการทดสอบ 3 ของเวลาเฉลี่ยการเคลื่อนที่จากจุดหนึ่งไปอีกจุดหนึ่ง เนื่องจากมีความแปรปรวนข้อมูลของกลุ่มอายุ 18-22 ปี ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 สูง จึงทำการทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเวลาเฉลี่ยการเคลื่อนที่จากจุดหนึ่งไปอีกจุดหนึ่งของกลุ่มอายุผู้เข้าร่วมทดลองทั้งสองกลุ่มที่เป็นอิสระต่อกัน เพื่อต้องการทราบว่าค่าเวลาเฉลี่ยการเคลื่อนที่จากจุดหนึ่งไปอีกจุดหนึ่งของกลุ่มอายุผู้เข้าร่วมทดลองทั้งสองกลุ่มในหมายเลขรูปแบบการทดสอบ 3 มีค่าแตกต่างกันหรือไม่ โดยกำหนดสมมุติฐาน ดังนี้

$H_0 : \mu_1 = \mu_2$ ค่าเฉลี่ยของกลุ่มอายุ 18-22 ปี เท่ากับค่าเฉลี่ยของกลุ่มอายุ 23-40 ปี

$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$ ค่าเฉลี่ยของกลุ่มอายุ 18-22 ปี ไม่เท่ากับค่าเฉลี่ยของกลุ่มอายุ 23-40 ปี

ผลการทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของกลุ่มอายุผู้เข้าร่วมทดลองทั้งสองกลุ่มที่เป็นอิสระต่อกัน ที่ระดับนัยสำคัญร้อยละ 95 พบว่าค่าเฉลี่ยเวลาการทดสอบของหมายเลขรูปแบบการทดสอบ 3 (ตารางทางสถิติแสดงในภาคผนวก ง ตารางที่ ง.6) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยกลุ่มอายุ 18-22 ปี มีแนวโน้มค่าเฉลี่ยเวลาเร็วกว่า 23-40 ปี ดังภาพที่ 4.27 สามารถตีความหมายได้ว่าผลความเร็วเฉลี่ยจากการควบคุมการหันของหุ่นยนต์จากจุดหนึ่งไปอีกจุดหนึ่งโดยใช้วิธีการตรวจจับและติดตามใบหน้าอัตโนมัติแบบทันทีทันใดของกลุ่มอายุ 18-22 ปี ส่วนใหญ่มีแนวโน้มค่าเวลาเฉลี่ยเวลาเร็วกว่า 23-40 ปี



ภาพที่ 4.27 กราฟ Steam-and-Leaf เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยเวลาการใช้การตรวจจับและติดตามใบหน้าของกลุ่มอายุ 18-22 ปี (ชาย) และ 23-40 ปี (ชาย)

4.4.4.2 ผลคะแนนความพึงพอใจเฉลี่ยจากการตอบแบบสอบถามในแต่ละสถานีของผู้เข้าร่วมทดลอง เพื่อนำมาคำนวณหาผลเฉลี่ยรวมของแต่ละกลุ่ม และนำมาเปรียบเทียบกันในแต่ละประเภท

จากผลการทดสอบการควบคุมการเคลื่อนไหวของหุ่นยนต์ด้วยสมาร์ทโฟนและผลการทดสอบการเคลื่อนไหวเพื่อติดตามใบหน้าอัตโนมัติของหุ่นยนต์ในบทที่ 4.4.2 และ 4.4.4 ทำให้สามารถทราบแนวโน้มความพึงพอใจของแต่ละกลุ่มอายุ และแต่ละข้อสอบถามว่าเป็นไปในทิศทางใด แต่ไม่ได้วัดค่าเปรียบเทียบความพึงพอใจแต่ละประเภทการทดสอบระหว่างกัน เช่น

- (1) ความง่ายต่อควบคุมหุ่นยนต์ด้วยปุ่มกดเสมือนบนสมาร์ตโฟน กับ ความง่ายต่อการควบคุมหุ่นยนต์ให้หันตามใบหน้า
- (2) ความง่ายต่อการควบคุมหุ่นยนต์ด้วยการหันสมาร์ตโฟน กับ ความง่ายต่อการควบคุมหุ่นยนต์ให้หันตามใบหน้า

จึงทำให้ยังไม่ทราบค่าความแตกต่างระหว่างกัน ดังนั้นจึงทำการเปรียบเทียบระหว่างกันด้วยข้อย่อยที่เหมือนกันทั้ง 4 ข้อ แต่ละข้อมีความหมาย ดังนี้

- (1) ความแม่นยำต่อการควบคุมการหันของหุ่นยนต์แนวนอน
- (2) ความแม่นยำต่อการควบคุมการหันของหุ่นยนต์แนวตั้ง
- (3) ความแม่นยำต่อการควบคุมการหันของหุ่นยนต์แนวเฉียง
- (4) ความรวดเร็วต่อการตอบสนองของหุ่นยนต์

และนำมาทำการทดสอบหาความแตกต่างของค่าเฉลี่ยความพึงพอใจที่มีความสัมพันธ์กัน เพื่อต้องการทราบว่าค่าเฉลี่ยความพึงพอใจในแต่ละหมายเลขข้อย่อยของแต่ละกลุ่มอายุมีค่าแตกต่างกันหรือไม่ โดยกำหนดสมมุติฐานได้ดังนี้

$H_0 : \mu_{\text{ปุ่มกด}} - \mu_{\text{ใบหน้า}} = 0$ ค่าเฉลี่ยความพึงพอใจของปุ่มกดเสมือนบนสมาร์ตโฟน กับ

ค่าเฉลี่ยเวลาของการควบคุมหุ่นยนต์ให้หันตามใบหน้า ไม่แตกต่างกัน

$H_1 : \mu_{\text{ปุ่มกด}} - \mu_{\text{ใบหน้า}} \neq 0$ ค่าเฉลี่ยความพึงพอใจของปุ่มกดเสมือนบนสมาร์ตโฟน กับ

ค่าเฉลี่ยเวลาของการควบคุมหุ่นยนต์ให้หันตามใบหน้า แตกต่างกัน

ผลทดสอบความแตกต่างค่าเฉลี่ยการให้คะแนนความพึงพอใจของกลุ่มข้อความแม่นยำต่อการควบคุมการหันของหุ่นยนต์แนวเฉียง (ข้อย่อยที่ 3) ของความง่ายต่อควบคุมหุ่นยนต์ด้วยปุ่มกดเสมือนบนสมาร์ตโฟนกับความง่ายต่อการควบคุมหุ่นยนต์ให้หันตามใบหน้าของแต่ละกลุ่มอายุที่ระดับนัยสำคัญร้อยละ 95 มีหมายเลขข้อ 3 ของกลุ่มอายุ 23-40 ปี มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (ตารางทางสถิติแสดงในภาคผนวก ง ตารางที่ ง.7) สามารถตีความได้ว่าการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยการให้คะแนนความพึงพอใจของความง่ายต่อการควบคุมหุ่นยนต์ด้วยปุ่มกดเสมือนบนสมาร์ตโฟนกับความง่ายต่อการตรวจจับและติดตามตามใบหน้าโดยอัตโนมัติแบบทันทีทันใดในด้านความแม่นยำต่อการควบคุมการหันของหุ่นยนต์แนวเฉียงของกลุ่มอายุ 23-40 ปี มีความแตกต่างกัน โดยมี

แนวโน้มว่าความแม่นยำต่อการควบคุมการหันของหุ่นยนต์แนวเฉียงของการตรวจจับและติดตามตามใบหน้าโดยอัตโนมัติแบบทันทีทันใดมีค่าเฉลี่ยคะแนนความพึงพอใจในระดับปานกลางที่สูงกว่า

จากนั้นจึงทำการตั้งข้อสมมุติฐานระหว่าง ความง่ายต่อการควบคุมหุ่นยนต์ด้วยการหันสมาร์โฟนกับความง่ายต่อการควบคุมหุ่นยนต์ให้หันตามใบหน้าต่อโดยกำหนดสมมุติฐาน ดังนี้

$H_0 : \mu_{\text{ปุ่มกด}} - \mu_{\text{ใบหน้า}} = 0$ ค่าเฉลี่ยความพึงพอใจของปุ่มกดเสมือนบนสมาร์โฟน กับ

ค่าเฉลี่ยเวลาของการควบคุมหุ่นยนต์ให้หันตามใบหน้า ไม่แตกต่างกัน

$H_1 : \mu_{\text{ปุ่มกด}} - \mu_{\text{ใบหน้า}} \neq 0$ ค่าเฉลี่ยความพึงพอใจของปุ่มกดเสมือนบนสมาร์โฟน กับ

ค่าเฉลี่ยเวลาของการควบคุมหุ่นยนต์ให้หันตามใบหน้า แตกต่างกัน

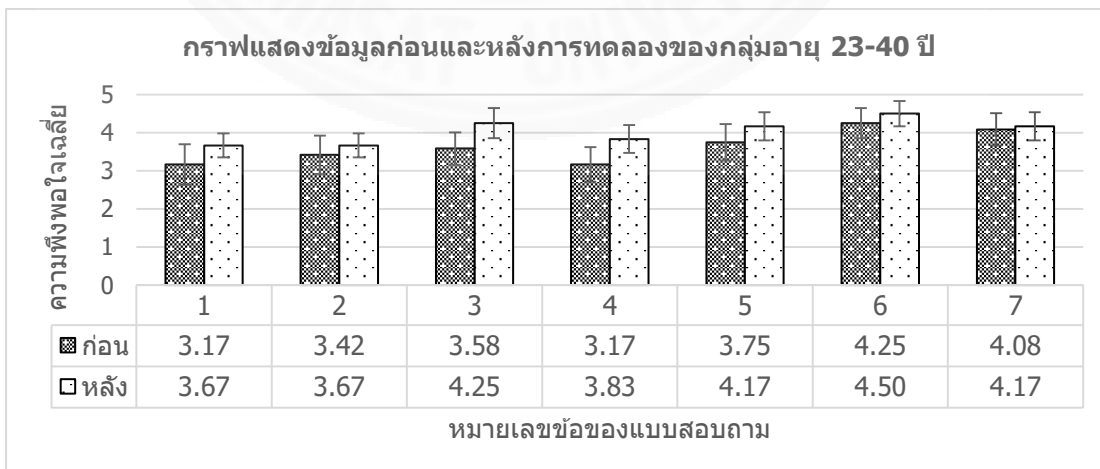
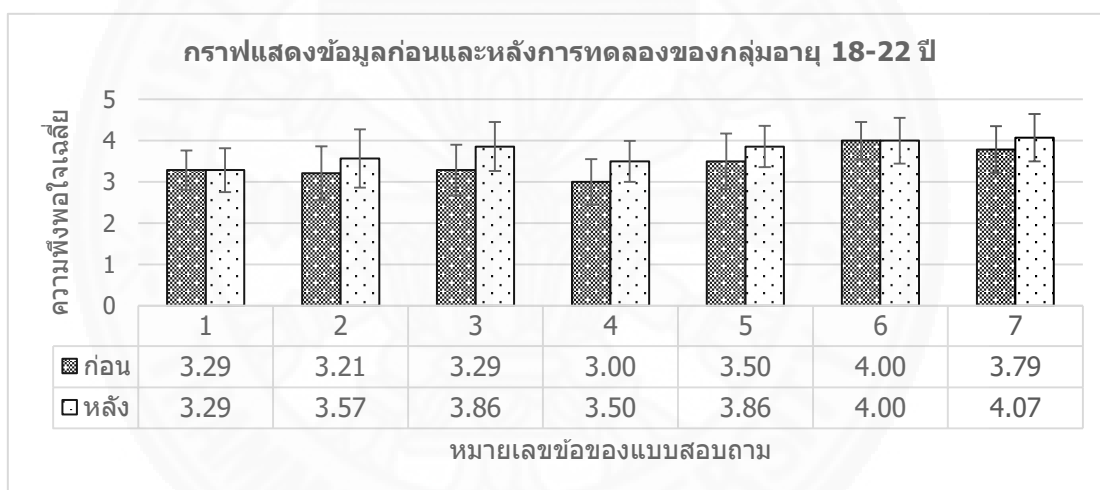
ผลทดสอบความแตกต่างค่าเฉลี่ยความพึงพอใจของกลุ่มย่อยของความง่ายต่อการควบคุมหุ่นยนต์ด้วยปุ่มกดเสมือนบนสมาร์โฟนกับความง่ายต่อการควบคุมหุ่นยนต์ให้หันตามใบหน้าของแต่ละกลุ่มอายุที่ระดับนัยสำคัญร้อยละ 95 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทุกข้อ (ตารางทางสถิติแสดงในภาคผนวก ง ตารางที่ ง.8) สามารถตีความได้ว่าการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยการให้คะแนนความพึงพอใจของความง่ายต่อการควบคุมหุ่นยนต์ด้วยการหันสมาร์โฟนกับความง่ายต่อการควบคุมหุ่นยนต์ให้หันตามใบหน้าทุกข้อย่อยมีค่าเฉลี่ยคะแนนความพึงพอใจที่เท่ากัน

4.4.5 ผลการประเมินความพึงพอใจก่อนและหลังการใช้งานหุ่นยนต์

จากตารางที่ 4.9 คือแบบสอบถามที่ให้ผู้เข้าร่วมการทดลองให้คะแนนความพึงพอใจจากน้อยไปมาก หรือ 1-5 เพื่อรวบรวมข้อมูลทางสถิติเพื่อหาค่าเฉลี่ยของความพึงพอใจหรือความมั่นใจของผู้เข้าร่วมทดลองที่มีต่อการใช้งานหุ่นยนต์แทนตัวทางไกลทั้งก่อนและหลัง โดยจะใช้คำถามที่เหมือนกันเพื่อหาค่าความแตกต่างทางสถิติ

ตารางที่ 4.9 แสดงรายละเอียดแบบสำรวจความพึงพอใจก่อนและหลังทำการทดลอง

แบบสำรวจ	1	2	3	4	5
1. รู้สึกมั่นใจในการใช้งานสมาร์ตโฟนควบคุมหุ่นยนต์เป็นอย่างดี					
2. การใช้หุ่นยนต์แทนตัวทางไกลสำหรับการสนทนาเป็นเรื่องใกล้ตัว					
3. หุ่นยนต์แทนตัวทางไกลช่วยเพิ่มปฏิสัมพันธ์ของการสื่อสารระหว่างกัน					
4. หุ่นยนต์แทนตัวทางไกลเหมาะสมกับราคาในด้านการใช้งานทั่วไป					
5. หุ่นยนต์แทนตัวทางไกลเหมาะสมกับราคาในด้านงานธุรกิจ					
6. หุ่นยนต์แทนตัวทางไกลเหมาะสมกับราคาในด้านงานการศึกษา					
7. ความคาดหวังการทำงานและประโยชน์ของหุ่นยนต์แทนตัวทางไกล					



ภาพที่ 4.28 กราฟแสดงระดับความพึงพอใจก่อนและหลังการทดลองของแต่ละกลุ่มอายุ

จากภาพที่ 4.28 มีความหมายของข้อมูลกราฟจากการแจกแจงที่มีช่วงความเชื่อมั่นของความแตกต่างร้อยละ 95 ว่ากลุ่มอายุ 18-22 ปี และ 23-40 ปี มีแนวโน้มความพึงพอใจที่ดีขึ้นเป็นไปในทิศทางเดียวกันตามการแปลความของการอธิบายการแจกแจงโดยส่วนใหญ่ จึงทำการทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของความพึงพอใจในแต่ละกลุ่มอายุที่มีความสัมพันธ์กัน เพื่อต้องการทราบว่าค่าเฉลี่ยความพึงพอใจของการทดสอบก่อนและหลังในแต่ละหมายเลขข้อของในแต่ละกลุ่มอายุมีค่าแตกต่างกันหรือไม่ โดยกำหนดสมมุติฐานดังนี้

$H_0 : \mu_{\text{ก่อน}} = \mu_{\text{หลัง}}$	ค่าเฉลี่ยความพึงพอใจของหมายเลขข้อก่อนทำการทดลอง กับ ค่าเฉลี่ยความพึงพอใจของหมายเลขข้อหลังทำการทดลอง ไม่แตกต่างกัน
$H_1 : \mu_{\text{ก่อน}} \neq \mu_{\text{หลัง}}$	ค่าเฉลี่ยความพึงพอใจของหมายเลขข้อก่อนทำการทดลอง กับ ค่าเฉลี่ยความพึงพอใจของหมายเลขข้อหลังทำการทดลอง แตกต่างกัน

ผลทดสอบความแตกต่างค่าเฉลี่ยความพึงพอใจก่อนและหลังทำการทดสอบของกลุ่มอายุ 18-22 ปี ที่ระดับนัยสำคัญร้อยละ 95 มีเพียงหมายเลขข้อ 4 แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (ตารางทางสถิติแสดงในภาคผนวก ง ตารางที่ ง.9) สามารถตีความได้ว่าค่าเฉลี่ยการให้คะแนนความพึงพอใจของหุ่นยนต์แทนตัวทางไกลเหมาะสมกับราคาในด้านการใช้งานทั่วไป (ข้อหมายเลข 4) กลุ่มอายุ 18-22 ปี ทั้งก่อนและหลังการทดสอบมีความแตกต่างกัน โดยมีคะแนนความพึงพอใจเฉลี่ยที่ดีขึ้นหลังทำการทดลอง

ผลทดสอบความแตกต่างค่าเฉลี่ยความพึงพอใจก่อนและหลังทำการทดสอบของกลุ่มอายุ 23-40 ปี ที่ระดับนัยสำคัญร้อยละ 95 มีเพียงหมายเลขข้อ 4 แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (ตารางทางสถิติแสดงในภาคผนวก ง ตารางที่ ง.10) สามารถตีความได้ว่าค่าเฉลี่ยการให้คะแนนความพึงพอใจของหุ่นยนต์แทนตัวทางไกลเหมาะสมกับราคาในด้านการใช้งานทั่วไป (ข้อหมายเลข 4) กลุ่มอายุ 23-40 ปี ทั้งก่อนและหลังการทดสอบมีความแตกต่างกัน โดยมีคะแนนความพึงพอใจเฉลี่ยที่ดีขึ้นหลังทำการทดลอง

กลุ่มอายุ 23-40 ปี มีแนวโน้มที่จะให้คะแนนความพึงพอใจเฉลี่ยมากกว่ากลุ่มอายุ 18-22 ปี จึงทำการทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของกลุ่มอายุผู้เข้าร่วมการทดลองทั้งสอง

กลุ่มที่เป็นอิสระต่อกัน เพื่อต้องการทราบว่าค่าเฉลี่ยของกลุ่มอายุผู้เข้าร่วมการทดลองทั้งสองกลุ่มในแต่ละหมายเลขการทดสอบทั้งก่อนและหลังมีค่าแตกต่างกันหรือไม่ โดยกำหนดสมมุติฐานดังนี้

$H_0 : \mu_1 = \mu_2$ ค่าเฉลี่ยของกลุ่มอายุ 18-22 ปี เท่ากับค่าเฉลี่ยของกลุ่มอายุ 23-40 ปี

$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$ ค่าเฉลี่ยของกลุ่มอายุ 18-22 ปี ไม่เท่ากับค่าเฉลี่ยของกลุ่มอายุ 23-40 ปี

ผลการทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของกลุ่มอายุผู้เข้าร่วมการทดลองทั้งสองกลุ่มที่เป็นอิสระต่อกัน ที่ระดับนัยสำคัญร้อยละ 95 พบว่าค่าเฉลี่ยเวลาการทดสอบของทุกหมายเลขการทดสอบ (ตารางทางสถิติแสดงในภาคผนวก ง ตารางที่ ง.11) ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ สามารถตีความได้ว่าค่าเฉลี่ยการให้คะแนนความพึงพอใจก่อนการทดสอบระหว่างอายุ 18-22 ปี และ 23-40 ปี มีแนวโน้มการให้คะแนนความพึงพอใจทุกข้อไปในทิศทางเดียวกันและคล้ายกัน

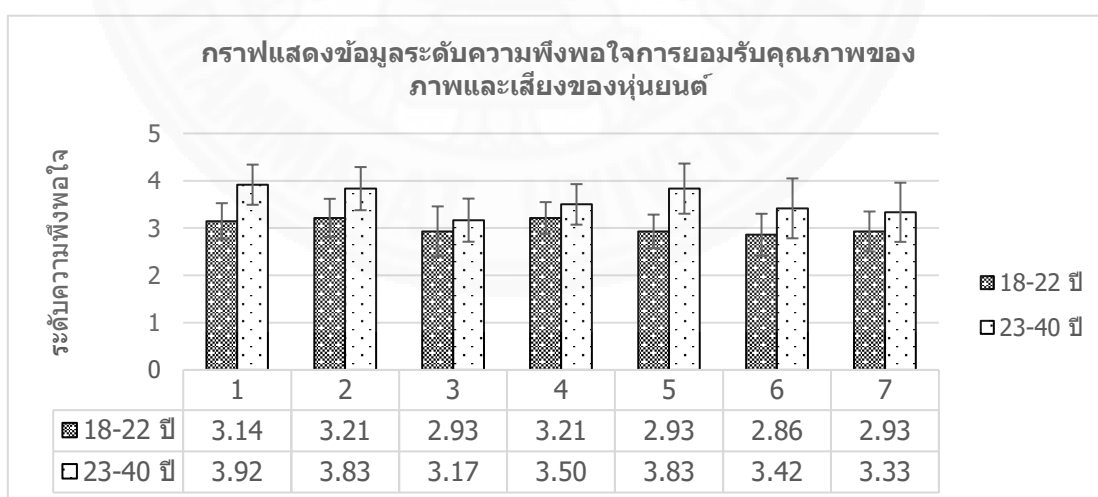
ผลการทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของกลุ่มอายุผู้เข้าร่วมการทดลองทั้งสองกลุ่มที่เป็นอิสระต่อกัน ที่ระดับนัยสำคัญร้อยละ 95 พบว่าค่าเฉลี่ยเวลาการทดสอบของทุกหมายเลขการทดสอบ (ตารางทางสถิติแสดงในภาคผนวก ง ตารางที่ ง.12) ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ สามารถตีความได้ว่าค่าเฉลี่ยการให้คะแนนความพึงพอใจหลังการทดสอบระหว่างอายุ 18-22 ปี และ 23-40 ปี มีแนวโน้มการให้คะแนนความพึงพอใจทุกข้อไปในทิศทางเดียวกันและคล้ายกัน

4.4.6 ผลการยอมรับทางด้านคุณภาพของภาพและเสียงของหุ่นยนต์

จากตารางที่ 4.10 คือแบบสอบถามที่ให้ผู้เข้าร่วมการทดลองให้คะแนนความพึงพอใจจากน้อยไปมาก หรือ 1-5 เพื่อรวบรวมข้อมูลทางสถิติเพื่อหาค่าเฉลี่ยของการยอมรับทางด้านคุณภาพของภาพและเสียงของหุ่นยนต์ของผู้เข้าร่วมทดลองที่มีต่อการใช้งานหุ่นยนต์แทนตัวทางไกลหลังทำการทดลองเสร็จสิ้น

ตารางที่ 4.10 แสดงรายละเอียดแบบสำรวจความพึงพอใจของการยอมรับทางด้านคุณภาพของภาพและเสียงของหุ่นยนต์

แบบสำรวจ	1	2	3	4	5
การยอมรับทางด้านคุณภาพของภาพและเสียงของหุ่นยนต์					
1. ความคมชัดต่อการถ่ายทอดภาพจากหุ่นยนต์มายังสมาร์ทโฟน					
a. ขนาดของภาพที่แสดงผลบนสมาร์ทโฟน					
b. การควบคุมแสงและสีจากกล้องของหุ่นยนต์มายังสมาร์ทโฟน					
c. ความรวดเร็วในการส่งภาพจากหุ่นยนต์มายังสมาร์ทโฟน					
2. ความคมชัดต่อการถ่ายทอดเสียงจากหุ่นยนต์มายังสมาร์ทโฟน					
a. ความดังของเสียงที่แสดงผลบนสมาร์ทโฟน					
b. การควบคุมเสียงสะท้อนของหุ่นยนต์มายังสมาร์ทโฟน					
c. ความรวดเร็วในการส่งเสียงจากหุ่นยนต์มายังสมาร์ทโฟน					
3. ภาพและเสียงทำงานสัมพันธ์กัน					



ภาพที่ 4.29 กราฟแสดงระดับความพึงพอใจกราฟแสดงข้อมูลระดับความพึงพอใจการยอมรับคุณภาพของภาพและเสียงของหุ่นยนต์ของแต่ละกลุ่มอายุ

จากภาพที่ 4.29 มีความหมายของข้อมูลกราฟจากการแจกแจงที่มีช่วงความเชื่อมั่นของความแตกต่างร้อยละ 95 ว่ากลุ่มอายุ 23-40 ปี มีแนวโน้มที่จะให้คะแนนความพึงพอใจเฉลี่ยมากกว่ากลุ่มอายุ 18-22 ปี จึงทำการทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของกลุ่มอายุผู้เข้าร่วมการทดลองทั้งสองกลุ่มที่เป็นอิสระต่อกันเพื่อต้องการทราบว่าค่าเฉลี่ยของกลุ่มอายุผู้เข้าร่วมทดลองทั้งสองกลุ่มในแต่ละหมายเลขการทดสอบของการยอมรับทางด้านคุณภาพของภาพและเสียงของหุ่นยนต์มีค่าแตกต่างกันหรือไม่ โดยกำหนดสมมุติฐานดังนี้

$H_0 : \mu_1 = \mu_2$ ค่าเฉลี่ยของกลุ่มอายุ 18-22 ปี เท่ากับค่าเฉลี่ยของกลุ่มอายุ 23-40 ปี

$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$ ค่าเฉลี่ยของกลุ่มอายุ 18-22 ปี ไม่เท่ากับค่าเฉลี่ยของกลุ่มอายุ 23-40 ปี

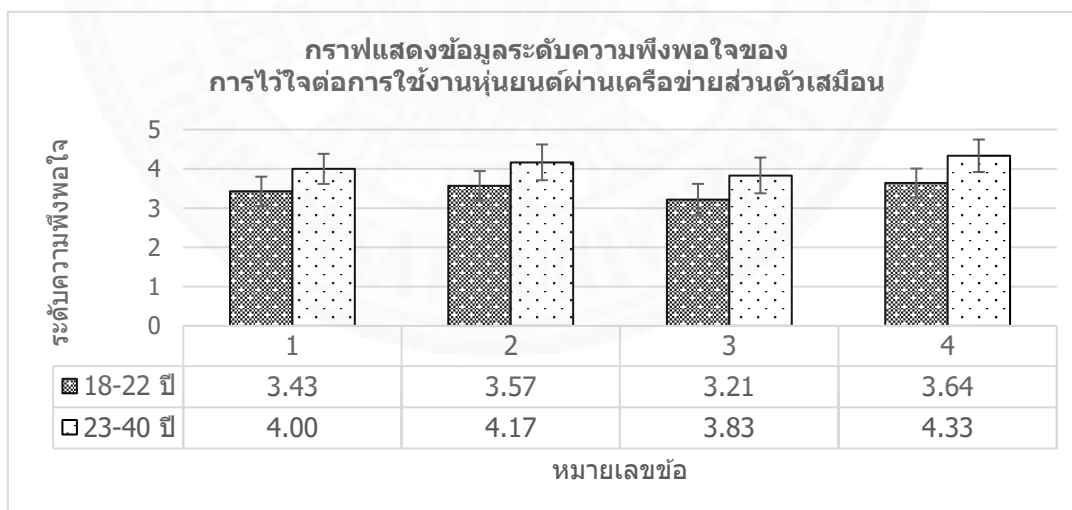
ผลการทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของกลุ่มอายุผู้เข้าร่วมทดลองทั้งสองกลุ่มที่เป็นอิสระต่อกันที่ระดับนัยสำคัญร้อยละ 95 พบว่าค่าเฉลี่ยความพึงพอใจของหมายเลขการทดสอบที่ 1 2 และ 5 (ตารางทางสถิติแสดงในภาคผนวก ง ตารางที่ ง.13) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ สามารถตีความได้ว่าการให้คะแนนความพึงพอใจเฉลี่ยขนาดของภาพที่แสดงผลบนสมาร์ทโฟน (หมายเลขการทดสอบที่ 1) การควบคุมแสงและสีจากกล้องของหุ่นยนต์มายังสมาร์ทโฟน (หมายเลขการทดสอบที่ 2) และการควบคุมเสียงสะท้อนของหุ่นยนต์มายังสมาร์ทโฟน (หมายเลขการทดสอบที่ 5) ของกลุ่มอายุ 23-40 ปี (เกณฑ์ดี) ดีกว่า กลุ่มอายุ 18-22 ปี (เกณฑ์ปานกลาง)

4.4.7 ผลการไว้ใจต่อการใช้งานหุ่นยนต์ผ่านเครือข่ายส่วนตัวเสมือน

จากตารางที่ 4.11 คือแบบสอบถามที่ให้ผู้เข้าร่วมการทดลองให้คะแนนความพึงพอใจจากน้อยไปมาก หรือ 1-5 เพื่อรวบรวมข้อมูลทางสถิติเพื่อหาค่าเฉลี่ยของการไว้ใจต่อการใช้งานหุ่นยนต์ผ่านเครือข่ายส่วนตัวเสมือนหลังทำการทดลองเสร็จสิ้น

ตารางที่ 4.11 แสดงรายละเอียดแบบสำรวจความพึงพอใจของการไว้ใจต่อการใช้งานหุ่นยนต์ผ่าน
เครือข่ายส่วนตัวเสมือน

แบบสำรวจ	1	2	3	4	5
การไว้ใจต่อการใช้งานหุ่นยนต์ผ่านเครือข่ายส่วนตัวเสมือน					
1. ความมั่นใจต่อการใช้สมาร์ตโฟนควบคุมหุ่นยนต์ผ่านเครือข่ายส่วนตัวเสมือนที่สร้างขึ้นด้วยตัวเอง หรือคนในหน่วยงาน/บริษัทจัดทำ					
2. ความมั่นใจต่อความเป็นส่วนตัวและความปลอดภัยของข้อมูลเชิงใช้งานทั่วไป					
3. ความมั่นใจต่อความเป็นส่วนตัวและความปลอดภัยของข้อมูลเชิงใช้งานด้านธุรกิจ					
4. ความมั่นใจต่อความเป็นส่วนตัวและความปลอดภัยของข้อมูลเชิงใช้งานด้านการศึกษา					



ภาพที่ 4.30 กราฟแสดงระดับความพึงพอใจของการไว้ใจต่อการใช้งานหุ่นยนต์ผ่านเครือข่ายส่วนตัวเสมือนของอายุ 18-22 ปี และ 23-40 ปี

จากภาพที่ 4.30 มีความหมายของข้อมูลกราฟจากการแจกแจงที่มีช่วงความเชื่อมั่นของความแตกต่างร้อยละ 95 ว่ากลุ่มอายุ 23-40 ปี มีแนวโน้มที่จะให้คะแนนความพึงพอใจเฉลี่ยมากกว่ากลุ่มอายุ 18-22 ปี จึงทำการทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของกลุ่มอายุผู้เข้าร่วมทดลองทั้งสองกลุ่มที่เป็นอิสระต่อกัน เพื่อต้องการทราบว่าค่าเฉลี่ยของกลุ่มอายุผู้เข้าร่วมทดลองทั้งสองกลุ่มในแต่ละหมายเลขการไว้ใจต่อการใช้งานหุ่นยนต์ผ่านเครือข่ายส่วนตัวเสมือนมีค่าแตกต่างกันหรือไม่ โดยกำหนดสมมุติฐานดังนี้

$H_0 : \mu_1 = \mu_2$ ค่าเฉลี่ยของกลุ่มอายุ 18-22 ปี เท่ากับค่าเฉลี่ยของกลุ่มอายุ 23-40 ปี

$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$ ค่าเฉลี่ยของกลุ่มอายุ 18-22 ปี ไม่เท่ากับค่าเฉลี่ยของกลุ่มอายุ 23-40 ปี

ผลการทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของกลุ่มอายุผู้เข้าร่วมทดลองทั้งสองกลุ่มที่เป็นอิสระต่อกันที่ระดับนัยสำคัญร้อยละ 95 พบว่า ค่าเฉลี่ยความพึงพอใจของทุกหมายเลขข้อ (ตารางทางสถิติแสดงในภาคผนวก ง ตารางที่ ง.14) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ สามารถตีความได้ว่าการให้คะแนนความพึงพอใจเฉลี่ยด้านการไว้ใจต่อการใช้งานหุ่นยนต์ผ่านเครือข่ายส่วนตัวเสมือนของกลุ่มอายุ 23-40 ปี สูงกว่าหรือดีกว่ากลุ่มอายุ 18-22 ปี ทุกหมายเลขข้อ

4.5 บทสรุปและการอภิปรายผล

4.5.1 อภิปรายผลการทดสอบประสิทธิภาพและการใช้งานของหุ่นยนต์

จากผลการวิจัยทั้งหมดตั้งแต่การออกแบบตัวหุ่นยนต์แทนตัวทางไกล การออกแบบการควบคุมการเคลื่อนไหวของหุ่นยนต์ด้วยสมาร์ตโฟน การออกแบบการเคลื่อนไหวด้วยตนเองเพื่อติดตามใบหน้า และการออกแบบการทดลองเพื่อทดสอบการใช้งาน ทำให้ทราบว่าโครงสร้างและวงจรของตัวหุ่นยนต์มีความเป็นไปได้ที่จะพัฒนาให้สมบูรณ์ด้วยต้นทุนที่ 20,000 บาทต่อตัว แต่ความแข็งแรงของอุปกรณ์และระยะเวลาการใช้งานจะอ่อนไหวกว่าหุ่นยนต์แทนตัวทางไกลที่มีจำหน่ายโดยทั่วไป

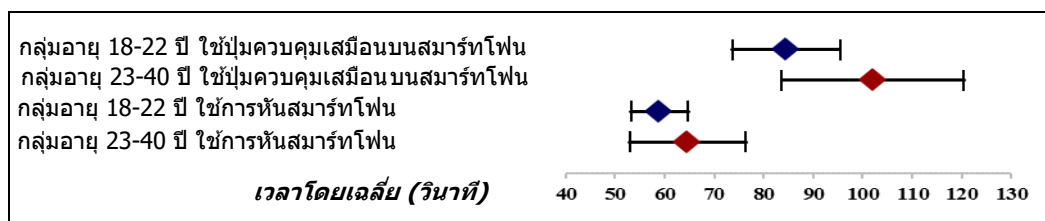
การทดสอบความแข็งแรงระหว่างการพัฒนาของหุ่นยนต์ตั้งแต่รุ่นที่หนึ่งถึงรุ่นที่สาม ทำให้พบว่าโครงสร้างและอุปกรณ์ของหุ่นยนต์รุ่นที่สองมีความยืดหยุ่นต่อการใช้งานสูง ไม่ควรใช้หน้าจอที่ใหญ่เกินกว่า 5 นิ้ว สำหรับการเคลื่อนไหวที่แม่นยำ และควรใช้ระบบไฟฟ้าและวงจรให้

เหมาะสมกับงาน เช่น ใช้ระบบจ่ายไฟฟ้าที่ออกแบบสำหรับการใช้งานอุตสาหกรรมระดับเบา (Lightweight Industry Grade) เพื่อให้สามารถคาดการณ์ระดับการจ่ายไฟให้กับวงจรได้อย่างเหมาะสม

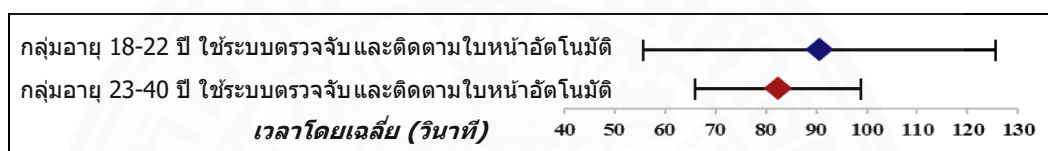
การทดสอบประสิทธิภาพของอัตราส่งข้อมูลทั้งภาพ เสียง และการควบคุมการหันหัวของหุ่นยนต์ สามารถรองรับการทำงานกับคอมพิวเตอร์ราสเบอร์รี่ไฟได้เป็นอย่างดี แต่เมื่อเทียบกับการใช้งานร่วมกับระบบตรวจจับและติดตามใบหน้าอัตโนมัติแล้วพบว่าอัตราการรับส่งข้อมูลลดลงเนื่องจากหน่วยประมวลผลกลางรับภาระการประมวลผลสูงถึงร้อยละ 86 และใช้พื้นที่ของหน่วยความจำเพิ่มจากการทำงานปกติสูงถึงร้อยละ 11 สำหรับปิดการใช้งานตรวจจับและติดตามใบหน้า และสูงถึงร้อยละ 22.8 สำหรับเปิดการใช้งานตรวจจับและติดตามใบหน้า

การทดสอบประสิทธิภาพการตรวจจับใบหน้าสามารถทำได้ที่ความเร็วเฉลี่ย 14.87 ± 0.16 ถึง 17.69 ± 0.31 ภาพต่อวินาที ด้วยเทคนิคการเร่งการประมวลผลตรวจจับและติดตามใบหน้าบางส่วนไปที่ส่วนประมวลผลภาพ ที่ความละเอียด 320×240 ถือว่ายอมรับได้ในเกณฑ์ปานกลางของกลุ่มอายุ 18-22 ปี และเกณฑ์ดีของกลุ่มอายุ 23-40 ปี ตามแบบสอบถามในหัวข้อการยอมรับทางด้านคุณภาพของภาพและเสียงของหุ่นยนต์ สามารถนำไปต่อยอดการใช้งานกับคอมพิวเตอร์ราสเบอร์รี่ไฟรุ่นที่สองได้เป็นอย่างดีด้วยการปรับใช้เทรตให้ครบทั้งสี่แกนประมวลผล และลดปัญหาทางด้านการใช้พื้นที่หน่วยความจำ

ข้อมูลผลการทดสอบความเร็วเฉลี่ยของการควบคุมหุ่นยนต์แทนตัวทางไกลทั้งหมดสามารถสรุปได้ดังภาพที่ 4.31 ว่ากลุ่มอายุ 18-22 ปี สามารถใช้เวลาในการควบคุมได้รวดเร็วกว่ากลุ่มอายุ 23-40 ปี ถึงร้อยละ 20 สำหรับการควบคุมหุ่นยนต์แทนตัวทางไกลด้วยการกดปุ่มเสมือนบนสมาร์ตโฟน และร้อยละ 10 สำหรับการควบคุมหุ่นยนต์แทนตัวทางไกลด้วยการหันสมาร์ตโฟน การควบคุมหุ่นยนต์แทนตัวทางไกลด้วยการหันสมาร์ตโฟนของกลุ่มอายุ 18-22 ปี สามารถทำเวลาเฉลี่ยได้รวดเร็วกว่าการใช้ปุ่มควบคุมเสมือนบนสมาร์ตโฟนที่ร้อยละ 44 และสำหรับกลุ่มอายุ 23-40 ปี ที่ร้อยละ 58 การใช้ระบบควบคุมและตรวจจับใบหน้าที่แสดงในภาพที่ 4.32 กลุ่มอายุ 18-22 ปี ทำเวลาเฉลี่ยได้ช้าและมีความแปรปรวนของเวลามากกว่ากลุ่มอายุ 23-40 ปี ร้อยละ 10 การเปรียบเทียบหาความแตกต่างระหว่างการใช้งานทั้งสามรูปแบบการใช้งาน (ปุ่มกดเสมือน การหัน และตรวจจับและติดตามใบหน้า) พบว่าใช้การหันสมาร์ตโฟนเพื่อควบคุมหุ่นยนต์สามารถทำเวลาเฉลี่ยได้เร็วที่สุด ปุ่มกดเสมือนบนสมาร์ตโฟนเพื่อควบคุมหุ่นยนต์สามารถทำเวลาเฉลี่ยได้ระดับปานกลาง และใช้การตรวจจับและติดตามใบหน้าอัตโนมัติแบบทันทีทันใดของหุ่นยนต์สามารถทำเวลาเฉลี่ยได้ช้าที่สุด

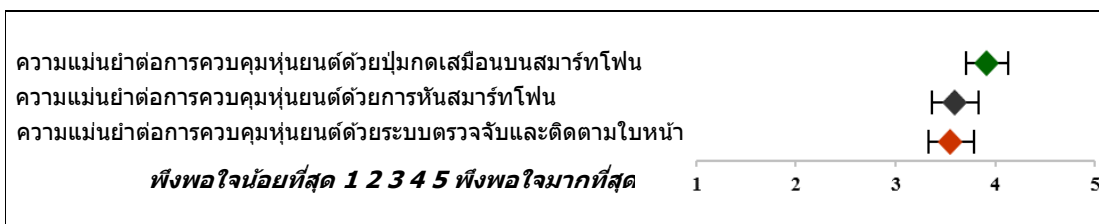


ภาพที่ 4.31 เวลาเฉลี่ยของแต่ละผู้เข้าร่วมการทดลองในแต่ละกลุ่มอายุ
ด้วยวิธีการใช้ปุ่มควบคุมเสมือนและใช้การหันสมาร์ทโฟน

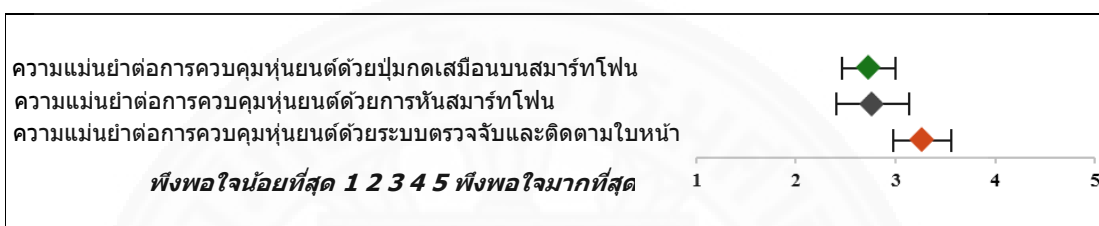


ภาพที่ 4.32 เวลาเฉลี่ยของแต่ละผู้เข้าร่วมการทดลองในแต่ละกลุ่มอายุ
ด้วยวิธีการใช้ระบบควบคุมและตรวจจับใบหน้า

ผลข้อมูลการประเมินความพึงพอใจของการทดลองเพื่อทดสอบการใช้งานกับผู้เข้าร่วมการทดลองด้านความแม่นยำต่อการควบคุมหุ่นยนต์ทั้งสองกลุ่มอายุสามารถสรุปได้ว่า ความแม่นยำต่อการควบคุมหุ่นยนต์แนวนอนและแนวตั้งด้วยปุ่มกดเสมือนบนสมาร์ทโฟน การหันสมาร์ทโฟน และตรวจจับและติดตามใบหน้าอัตโนมัติ พบว่าปุ่มกดเสมือนบนสมาร์ทโฟนและการหันสมาร์ทโฟนอยู่ในเกณฑ์ดี (ความพึงพอใจเฉลี่ย 3.9 และ 3.6) ส่วนการตรวจจับและติดตามใบหน้าอัตโนมัติอยู่ในเกณฑ์ปานกลาง (ความพึงพอใจเฉลี่ย 3.5) ดังภาพที่ 4.33 ด้านความแม่นยำต่อการควบคุมการหันของหุ่นยนต์แนวเฉียง พบว่าความพึงพอใจต่อความแม่นยำลดลงทุกรูปแบบการใช้งานโดยปุ่มกดเสมือนบนสมาร์ทโฟนและการหันสมาร์ทโฟนอยู่ในเกณฑ์ปานกลาง (ความพึงพอใจเฉลี่ย 2.7 และ 2.8) ส่วนการตรวจจับและติดตามใบหน้าอัตโนมัติอยู่ในเกณฑ์ปานกลาง (ความพึงพอใจเฉลี่ย 3.3) ดังภาพที่ 4.34 ทำให้ทราบว่าความแม่นยำต่อการควบคุมหุ่นยนต์ในภาพรวมของแนวนอนและแนวตั้งมีความพึงพอใจของผู้เข้าร่วมการทดลองสูงกว่าความแม่นยำต่อการควบคุมหุ่นยนต์แนวเฉียงทุกรูปแบบการใช้งาน แต่ความแม่นยำต่อการควบคุมหุ่นยนต์ด้วยระบบตรวจจับและติดตามใบหน้าระหว่างแนวนอนและแนวตั้งกับแนวเฉียงไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

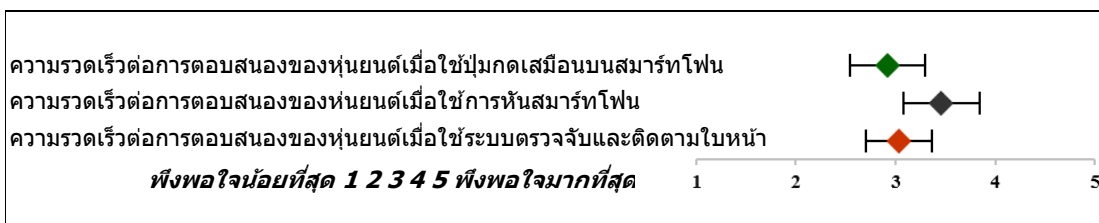


ภาพที่ 4.33 ความแม่นยำต่อการควบคุมหุ่นยนต์แนวนอนและแนวตั้ง



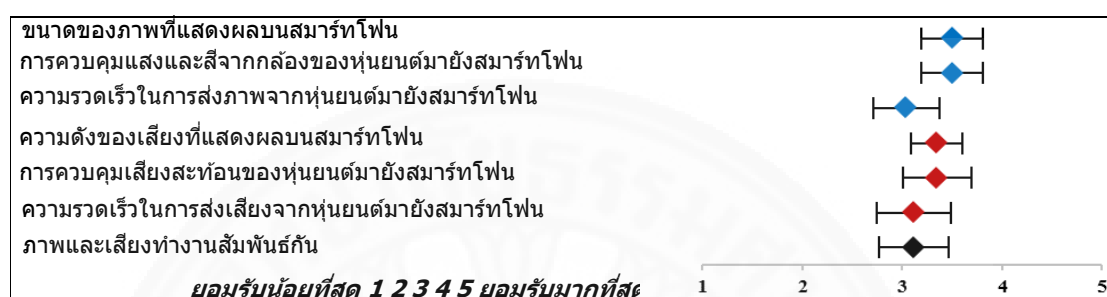
ภาพที่ 4.34 ความแม่นยำต่อการควบคุมหุ่นยนต์แนวเฉียง

ผลข้อมูลการประเมินความพึงพอใจของการทดลองเพื่อทดสอบการใช้งานกับผู้เข้าร่วมการทดลองด้านความเร็วต่อการตอบสนองของหุ่นยนต์ที่แสดงในภาพที่ 4.35 สามารถสรุปได้ว่า ความเร็วต่อการตอบสนองของหุ่นยนต์ด้วยปุ่มกดเสมือนบนสมาร์ทโฟนได้รับความพึงพอใจต่ำที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ยความพึงพอใจที่ 2.9 ใกล้เคียงกับความพึงพอใจที่มีต่อระบบตรวจจับและติดตามใบหน้าที่มีค่าเฉลี่ยความพึงพอใจที่ 3.1 แต่ความเร็วต่อการตอบสนองของหุ่นยนต์ด้วยการหันสมาร์ทโฟนได้รับความพึงพอใจเฉลี่ยที่ 3.5 ทำให้ทราบว่าผู้เข้าร่วมการทดลองมีความพึงพอใจต่อความเร็วต่อการตอบสนองของหุ่นยนต์ด้วยการหันสมาร์ทโฟนมากที่สุด



ภาพที่ 4.35 ความเร็วต่อการตอบสนองของหุ่นยนต์ในรูปแบบการใช้งานต่างๆ

การประเมินความพึงพอใจในด้านการยอมรับคุณภาพของภาพและเสียงของหุ่นยนต์ และสมาร์ทโฟนของทั้งสองกลุ่มอายุส่วนใหญ่อยู่ในเกณฑ์ปานกลาง ยกเว้นขนาดของภาพที่แสดงผลบนสมาร์ทโฟน และการควบคุมแสงและสีจากกล้องของหุ่นยนต์มายังสมาร์ทโฟน ให้ความพึงพอใจเฉลี่ยในเกณฑ์ดี ดังแสดงในภาพที่ 4.36



ภาพที่ 4.36 การยอมรับทางด้านคุณภาพของภาพและเสียงของหุ่นยนต์

การประเมินความพึงพอใจก่อนและหลังทดสอบการใช้งานหุ่นยนต์แทนตัวทางไกลของทั้งสองกลุ่มอายุมีทิศทางที่ดีขึ้นจากเกณฑ์ปานกลางเป็นเกณฑ์ดี จากเกณฑ์ดีเป็นเกณฑ์ดีที่มีค่าเฉลี่ยเพิ่มขึ้นเล็กน้อย และจากเกณฑ์ดีเป็นดีมากในส่วนของหุ่นยนต์แทนตัวทางไกลเหมาะสมกับราคาในด้านการงานการศึกษาของกลุ่มอายุ 23-40 ปี ดังแสดงในตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.12 สรุปสถิติสำคัญของการประเมินความพึงพอใจก่อนและหลังทดสอบการใช้งานหุ่นยนต์แทนตัวทางไกล

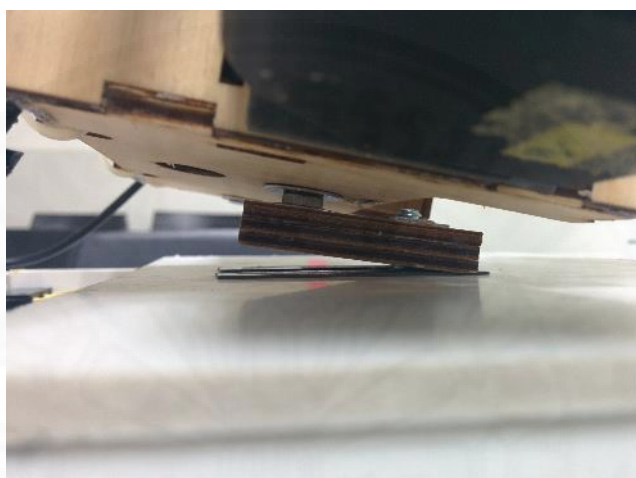
กลุ่มอายุ 18 – 22 ปี					กลุ่มอายุ 23 – 40 ปี				
เห็นด้วยน้อยที่สุด 1 2 3 4 5 เห็นด้วยมากที่สุด (ประเมินความรู้สึกด้วยไลเกอร์ดสเกล)									
	ก่อน	หลัง	เปลี่ยนแปลง			ก่อน	หลัง	เปลี่ยนแปลง	
1) รู้สึกมั่นใจในการใช้งานสมาร์ตโฟนควบคุมหุ่นยนต์เป็นอย่างดี									
พหุสัณย	2-5	2-5	%	57%	พหุสัณย	2-5	3-4	%	92%
ค่าเฉลี่ย	3.3	3.3	+	38%	ค่าเฉลี่ย	3.2	3.7	+	73%
ส่วนเบี่ยงเบน	0.83	0.91	-	63%	ส่วนเบี่ยงเบน	0.83	0.49	-	27%
2) การใช้หุ่นยนต์แทนตัวทางไกลสำหรับการสนทนาเป็นเรื่องใกล้ตัว									
พหุสัณย	1-5	1-5	%	43%	พหุสัณย	2-5	3-4	%	33%
ค่าเฉลี่ย	3.2	3.6	+	83%	ค่าเฉลี่ย	3.4	3.7	+	75%
ส่วนเบี่ยงเบน	1.12	1.22	-	17%	ส่วนเบี่ยงเบน	0.79	0.49	-	25%
3) หุ่นยนต์แทนตัวทางไกลช่วยเพิ่มปฏิสัมพันธ์ของการสื่อสารระหว่างกัน									
พหุสัณย	2-5	2-5	%	64%	พหุสัณย	2-4	3-5	%	33%
ค่าเฉลี่ย	3.3	3.9	+	78%	ค่าเฉลี่ย	3.6	4.3	+	100%
ส่วนเบี่ยงเบน	1.07	1.03	-	22%	ส่วนเบี่ยงเบน	0.67	0.62	-	0%
4) หุ่นยนต์แทนตัวทางไกลเหมาะสมกับราคาในด้านงานการศึกษา									
พหุสัณย	1-4	2-5	%	29%	พหุสัณย	2-4	3-5	%	67%
ค่าเฉลี่ย	3	3.5	+	100%	ค่าเฉลี่ย	3.2	3.8	+	88%
ส่วนเบี่ยงเบน	0.96	0.85	-	0%	ส่วนเบี่ยงเบน	0.72	0.58	-	13%
5) ความคาดหวังการทำงานและประโยชน์ของหุ่นยนต์แทนตัวทางไกล									
พหุสัณย	2-5	2-5	%	57%	พหุสัณย	3-5	3-5	%	42%
ค่าเฉลี่ย	3.8	4.1	+	63%	ค่าเฉลี่ย	4.1	4.2	+	60%
ส่วนเบี่ยงเบน	0.97	1	-	38%	ส่วนเบี่ยงเบน	0.67	0.58	-	40%

การประเมินความพึงพอใจในด้านการไว้ใจต่อการใช้งานหุ่นยนต์ผ่านเครือข่าย ส่วนตัวเสมือนมีความแตกต่างกันอย่างชัดเจนของทั้งสองกลุ่มอายุ โดยกลุ่มอายุ 18-22 ปี ให้คะแนนความพึงพอใจเกณฑ์ส่วนใหญ่อยู่ที่ปานกลาง ยกเว้นความมั่นใจต่อความเป็นส่วนตัวและความปลอดภัยของข้อมูลเชิงใช้งานด้านการศึกษาอยู่ในเกณฑ์ดี และด้านการใช้งานทั่วไปอยู่ในเกณฑ์ค่อนข้างดี ส่วนกลุ่มอายุ 23-40 ปี ให้คะแนนความพึงพอใจเกณฑ์ดีทุกข้อ

4.5.2 ปัญหา อุปสรรค และแนวทางแก้ไข

ปัญหาที่เกิดขึ้นระหว่างการพัฒนาหุ่นยนต์แทนตัวทางไกล คือ ความแข็งแรงของโครงสร้างของหุ่นยนต์รุ่นที่หนึ่งและรุ่นที่สองที่มีความอ่อนไหวมากเกินไป ทำให้ไม่สามารถรับน้ำหนักส่วนหัวได้มากพอ หุ่นยนต์รุ่นที่สามเริ่มนำวัสดุเบคไคไลต์ (Bakelite) แบบใยแก้ว (Epoxy Glass

Laminate Sheet) มาใช้งานแทนพลาสติกและแผ่นไม้อัด แต่ราคาของเบคิลไลต์สูงและนำมาขึ้นโครงสร้างได้ยากหากไม่มีเครื่องมือตัดและขึ้นรูปเฉพาะ จึงกลับไปใช้วัสดุแบบไม้อัดและตัดแปลง นำเอาเบคิลไลต์ส่วนยึดกับจอแสดงผลมาใช้ร่วมด้วย ผลคือสามารถแก้ไขให้รองรับโครงสร้างส่วนจอแสดงผลขนาดใหญ่ได้ แต่ยังมีปัญหาเรื่องน้ำหนักส่วนหัวที่มากกว่าส่วนฐาน จึงย้ายตำแหน่งหัวของหุ่นยนต์เยื้องไปทางด้านหลังและใช้น้ำหนักยึดเพิ่มดังภาพที่ 4.37



ภาพที่ 4.37 ปัญหาส่วนหัวของหุ่นยนต์ที่น้ำหนักมากเกินไป

ปัญหาที่เกิดขึ้นระหว่างการทดสอบการใช้งาน พบว่าฟืนเฟืองสำหรับการหันหัวหุ่นยนต์แวนอนแดกหรือซีฟนเฟืองบีนเนื่องจากตัวฟืนเฟืองเดิมที่มีมากับมอเตอร์เซอร์โวใช้วัสดุพลาสติก แต่สามารถแก้ไขได้โดยเปลี่ยนวัสดุฟืนเฟืองใหม่เป็นแบบโลหะแข็ง

ปัญหาระหว่างทำการทดลองเพื่อทดสอบการใช้งานหุ่นยนต์แทนตัวทางไกลกับผู้เข้าร่วมการทดลอง ระบบของหุ่นยนต์รอนและค้ำระหว่างทดสอบเป็นบางครั้ง เนื่องจากหน่วยประมวลผลกลาง หน่วยประมวลผลภาพ และหน่วยความจำที่อยู่ในไมโครชิป (Microchip) ตัวเดียวกัน จึงทำให้เกิดความร้อนสะสมเมื่อเปิดใช้งานเป็นเวลานาน ใช้วิธีการแก้ไขเบื้องต้นด้วยการปรับหน้าฉากของเครื่องปรับอากาศในห้องทดลองมาที่ตัวหุ่นยนต์เพื่อลดความร้อนจนกว่าจะทำการทดลองเสร็จ ในอนาคตจะได้รับการปรับปรุงโดยการติดตั้งพัดลมขนาดเล็กที่คอมพิวเตอร์ราสเบอร์รี่ไพเพื่อระบายความร้อนสะสม

ปัญหาวัตถุบดบังใบหน้าจนทำให้การตรวจจับและติดตามใบหน้าอัตโนมัติไม่พบใบหน้า เกิดขึ้นกับผู้เข้าร่วมทดลองที่ใส่แว่นกรอบหนาดังภาพที่ 4.38 ซึ่งเป็นปัญหาของเทคนิคการ

ตรวจจับใบหน้าด้วยแอลพีพีที่ภาพความละเอียดต่ำ ทำให้ระบบไม่สามารถแยกแยะใบหน้าของคนได้ แก้ปัญหาด้วยการให้ผู้เข้าร่วมการทดลองถอดแว่นตาออกชั่วคราว



ภาพที่ 4.38 ตัวอย่างแว่นตากรอบหนาที่ผู้เข้าร่วมการทดลองสวมใส่

ปัญหาแสงรบกวนการตรวจจับและติดตามใบหน้าอัตโนมัติทำให้ใบหน้าของผู้เข้าร่วมการทดลองมีผลจนระบบไม่สามารถตรวจจับใบหน้าได้ สามารถแก้ไขปัญหาเบื้องต้นได้โดยการจัดการปิดไฟบางส่วนที่ทำให้เกิดการย้อนแสง

ปัญหาการเอียงหน้าหรือหันหน้าไปทิศทางอื่นทำให้ไม่สามารถตรวจจับและติดตามใบหน้าอัตโนมัติได้ในบางครั้ง ผู้เข้าร่วมการทดลองต้องหันหน้าตรงกับหุ่นยนต์เท่านั้น และผู้เข้าร่วมการทดลองบางคนใช้วิธีการโบกมือไปมาเพื่อให้หุ่นยนต์ตรวจจับและติดตามใบหน้าได้เร็วยิ่งขึ้น

ปัญหาความสูงของหุ่นยนต์ที่เตี้ยเกินไปเมื่อผู้เข้าร่วมทดลองมีความสูงที่สูงกว่าค่าเฉลี่ย ทำให้ต้องก้มหน้าให้หุ่นสามารถตรวจจับใบหน้าได้ แต่ไม่มีปัญหาเมื่อนั่งทดสอบ

ปัญหาการควบคุมการเคลื่อนไหวของหุ่นยนต์ด้วยการกดปุ่มเสมือนบนสมาร์ตโฟนที่บางครั้งทำให้ผู้เข้าร่วมการทดลองกดปุ่มแนวตั้งและแนวนอนพร้อมกันเพราะอยากให้ทิศทางการเคลื่อนไหวของหุ่นยนต์เฉียงขึ้นหรือเฉียงลงด้วยการกดเพียงครั้งเดียว ผู้เข้าร่วมการทดลองบางคนได้เสนอให้เพิ่มปุ่มแนวเฉียงเพื่อความสะดวกในการบังคับทิศทางการเคลื่อนไหวของหุ่นได้ดียิ่งขึ้น

ปัญหาระบบควบคุมการเคลื่อนไหวของหุ่นยนต์ด้วยการหันสมาร์ตโฟน ผู้เข้าร่วมทดลองบางคนให้ความเห็นว่าระบบตรวจจับการหันของสมาร์ตโฟนไวเกินไป ทำให้ควบคุมให้หุ่นยนต์อยู่นิ่งได้ยาก แต่เมื่อใช้หันไปหาวัตถุต่างๆ รู้สึกสามารถทำได้อย่างรวดเร็วและรู้สึกสนุก

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนออีกหนึ่งทางเลือกของหุ่นยนต์แทนตัวทางไกลที่ควบคุมด้วยสมาร์ตโฟนในราคาไม่เกินสองหมื่นบาทต่อตัว โดยเฉพาะการใช้งานในด้านการศึกษา ผู้ใช้งานสามารถเลือกใช้ฟังก์ชันการทำงานของหุ่นยนต์แทนตัวทางไกลให้สามารถตรวจจับและติดตามใบหน้าอัตโนมัติ หรือให้สามารถควบคุมการเคลื่อนไหวของหุ่นยนต์อย่างเป็นทางการเห็นสมาร์ตโฟนซ้ายขวาหรือก้มเงยไปยังตำแหน่งที่ต้องการ เพื่อลดปัญหาการเคลื่อนไหวอย่างอิสระและเป็นธรรมชาติที่เกิดขึ้นกับหุ่นยนต์แทนตัวทางไกลรุ่นอื่นในปัจจุบัน

การเสนอทางเลือกเพื่อแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นในปัจจุบันของหุ่นยนต์แทนตัวทางไกลจำเป็นต้องมีการพัฒนาเพื่อเพิ่มการเคลื่อนไหวที่เป็นอิสระของหุ่นยนต์มากขึ้นและเพิ่มการควบคุมการเคลื่อนไหวของหุ่นยนต์ที่เป็นธรรมชาติโดยใช้อุปกรณ์ที่มีอยู่ในชีวิตประจำวันสำหรับคนส่วนใหญ่ เพื่อลดการขาดสมาธิในการสื่อสารหรือสนทนาของผู้ใช้งานที่ไม่สามารถควบคุมการใช้งานหุ่นยนต์ได้อย่างเป็นธรรมชาติ และเพื่อเพิ่มความมีตัวตนและประสิทธิภาพของการสื่อสารระหว่างกัน

หุ่นยนต์แทนตัวทางไกลได้รับการออกแบบและพัฒนาโดยการใช้การเคลื่อนไหวที่เป็นอิสระเฉพาะส่วนหัวของหุ่นยนต์ ซึ่งเป็นส่วนสำคัญต่อการควบคุมการเคลื่อนไหวเพื่อการสร้างปฏิสัมพันธ์ของผู้ใช้งานระหว่างกันตามการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และเป็นการลดทุนการพัฒนาให้ได้ตามเป้าหมายที่กำหนดไม่เกินสองหมื่นบาทต่อตัว

ผลลัพธ์ที่ได้ของการออกแบบและพัฒนาหุ่นยนต์แทนตัวทางไกลโดยอ้างอิงแบบการพัฒนาจากเสาส่งสัญญาณและติดตามเครื่องบินบังคับวิทยุ มาประยุกต์ร่วมกับคอมพิวเตอร์ราสเบอร์รี่พีซีที่เป็นส่วนควบคุมการเคลื่อนไหวและประมวลผลข้อมูลการสื่อสาร มีความเป็นไปได้ที่จะใช้ทุนในการพัฒนาหุ่นยนต์แทนตัวทางไกลไม่เกินสองหมื่นบาทต่อตัว แต่วัสดุโครงสร้างของหุ่นยนต์จะอ่อนไหวต่อแรงการหัน ทำให้มุมการหันส่วนหัวของหุ่นยนต์สามารถคลาดเคลื่อนตามระดับความแรงของการหัน ดังนั้นควรหลีกเลี่ยงการใช้พลาสติกสำหรับโครงสร้างของหุ่นยนต์ และควรใช้วัสดุที่มีความแข็งแรงเทียบเท่ากับเบคิลไลด์แบบใยแก้วสำหรับการพัฒนาโครงสร้างตัวหุ่นยนต์ เพื่อให้ทนต่อความแรงของการหัน

ระยะการหันซ้ายขวาและก้มเงยส่วนหัวของหุ่นยนต์สามารถตอบสนองได้อย่างมีประสิทธิภาพตามการควบคุมจากสมาร์ตโฟน หุ่นยนต์สามารถหันได้อย่างไม่มีปัญหาเมื่อเซอร์ไวมอเตอร์มีแรงบิดตั้งแต่สิบกิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรขึ้นไป และสามารถตอบสนองการเคลื่อนไหวได้ดีเมื่อกำหนดระยะการหันครั้งละห้าองศา แต่ปัญหาการหันจะเกิดขึ้นเมื่อได้รับการเคลื่อนไหวจากจุด

หนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งที่มากกว่าสิบห้าองศาเป็นต้นไป เนื่องจากส่วนควบคุมการหันของหุ่นยนต์ไม่มีคำสั่งหน่วงเวลาการหัน เพราะเมื่อเพิ่มคำสั่งหน่วงเวลาการหันส่วนหัวของหุ่นยนต์แล้วการรับส่งข้อมูลระหว่างตัวหุ่นยนต์และสมาร์ทโฟนจะไม่ต่อเนื่อง ทำให้เกิดความล่าช้าของการหันจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งของตัวหุ่นยนต์ อาจต้องแก้ไขให้ห้องศัลยกรรมเคลื่อนย้ายขึ้นทั้งทางฝั่งส่งข้อมูลของสมาร์ทโฟนและฝั่งรับข้อมูลของหุ่นยนต์ แต่การใช้ทรัพยากรทางด้านเครือข่ายและการประมวลผลของหุ่นยนต์อาจจะสูงขึ้นตามไปด้วย

ผลลัพธ์ของการเร่งประสิทธิภาพการทำงานทางด้านการตรวจจับและติดตามใบหน้าด้วยคอมพิวเตอร์วิทัศน์ที่ ใช้เทคนิคการตรวจจับใบหน้าด้วยแอลบีพีร่วมกับหน่วยประมวลผลภาพ สามารถรองรับการทำงานในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ เมื่อวัดจากความพึงพอใจของผู้เข้าร่วมทดลองที่ความเร็วของการประมวลผลภาพ 15-18 ภาพต่อวินาที ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จะสามารถนำงานวิจัยไปต่อยอดการพัฒนาโดยการเข้าถึงใช้งานการประมวลผลจากหน่วยประมวลผลภาพให้ได้มากขึ้นในอนาคต ข้อจำกัดของหน่วยความจำภายในของราสเบอร์รี่พีที่นำมาทดลองในครั้งนี้ ทำให้ต้องเพิ่มคอมพิวเตอร์ราสเบอร์รี่พีสำหรับการควบคุมการหันและการรับส่งข้อมูลสำหรับการสื่อสารเพิ่มขึ้นอีกหนึ่งเครื่อง ในอนาคตสามารถแก้ไขปัญหานี้ได้กับคอมพิวเตอร์ราสเบอร์รี่พีรุ่นที่สองที่มีหน่วยความจำเพิ่มขึ้นเป็นสองเท่าและมีหน่วยประมวลผลกลางที่มีแกนประมวลผลเพิ่มขึ้นจากหนึ่งเป็นสี่แกนจนสามารถรองรับการทำงานทุกอย่างได้ภายในเครื่องเดียว

ผลลัพธ์ของส่วนการควบคุมการทำงานของเซอร์โวมอเตอร์ อาคูโอโนรันนาโนสามารถรองรับการทำงานได้ดีกว่าซอฟต์แวร์เซอร์โวมอเตอร์ เนื่องจากเซอร์โวมอเตอร์จะเข้าไปขัดการทำงานของหน่วยประมวลผลกลางเมื่อมีการสั่งการควบคุมการทำงานของมอเตอร์เซอร์โว ส่งผลให้ประสิทธิภาพการทำงานโดยรวมของหุ่นยนต์ลดลง และระบบการทำงานของเซอร์โวมอเตอร์สามารถทำงานผิดพลาดได้ เนื่องจากสัญญาณเสียงของคอมพิวเตอร์ราสเบอร์รี่พีใช้สัญญาณการปรับความกว้างของจิงหระสัญญาณเดียวกันกับเซอร์โวมอเตอร์

ผลลัพธ์ของการประเมินการใช้งานหุ่นยนต์แทนตัวทางไกลที่ควบคุมด้วยสมาร์ทโฟนสามารถยืนยันได้ว่ามีความเหมาะสมต่อการใช้งานทั่วไปและทางการศึกษา โดยผู้เข้าร่วมการทดลองส่วนใหญ่มีความพึงพอใจต่อการทดลองในรูปแบบการปุ่มกดเสมือนบนสมาร์ทโฟนในด้านความแม่นยำ การหันสมาร์ทโฟนในด้านความรวดเร็ว และการตรวจจับและติดตามใบหน้าอัตโนมัติในด้านความง่ายและสนุกกับการใช้งาน แต่ความมั่นใจในการใช้งานควบคุมการเคลื่อนไหวของหุ่นยนต์ทั้งก่อนและหลังมีเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยหรือไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แต่เมื่อสอบถามผู้เข้าร่วมทดลองด้านความเหมาะสมของราคาของหุ่นยนต์ ผู้เข้าร่วมการทดลองส่วนใหญ่มีความเห็นว่าราคาของหุ่นยนต์แทนตัวทางไกลตัวต้นแบบมีความเหมาะสมโดยไม่ได้หวังในเรื่องคุณภาพของภาพ เสียง

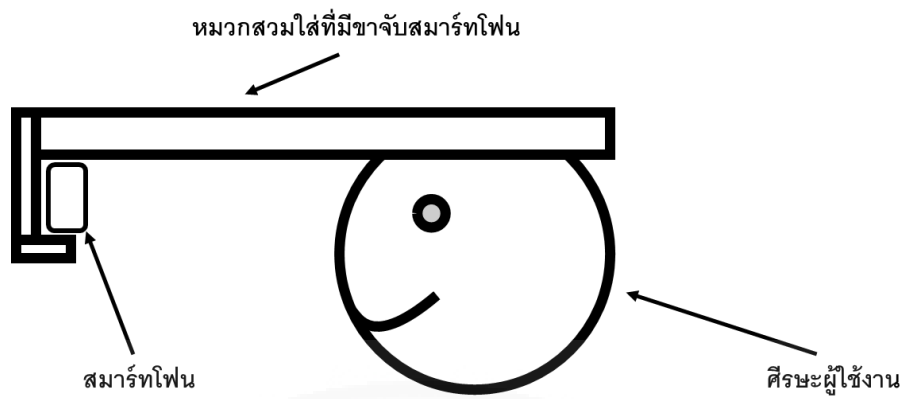
และการควบคุมมากนัก ดังนั้นในอนาคตควรมีการปรับปรุงประสิทธิภาพความมั่นใจในการใช้งานให้ดีขึ้นกว่าเดิม และควรออกแบบหน้าตาของหุ่นยนต์ให้ดูเป็นมิตรกับผู้ใช้งานมากขึ้น เนื่องจากผู้เข้าร่วมการทดลองบางคน โดยเฉพาะกลุ่มอายุ 18-22 ปี แนะนำว่าควรหากรอบบังอุปกรณ์ภายในของหุ่นยนต์เพื่อให้ดูเป็นมิตรกับผู้ใช้งาน

สำหรับผลลัพธ์ของข้อมูลเชิงประจักษ์ที่ได้มาจากการวิเคราะห์ของเวลาการใช้งานโดยเฉลี่ยและระดับความพึงพอใจของแต่ละรูปแบบการทดลองทั้งหมด พบว่าผู้เข้าร่วมการทดลองมีความพึงพอใจโดยรวมในเชิงบวกต่อประสิทธิภาพและการใช้งานหุ่นยนต์แทนตัวทางไกล รวมไปถึงความไว้วางใจหรือความมั่นใจความเป็นส่วนตัวของข้อมูลการสื่อสารต่อการใช้งานหุ่นยนต์ผ่านระบบเครือข่ายส่วนตัวเสมือนกับสมาร์ตโฟน

แนวทางสำหรับการพัฒนาหุ่นยนต์แทนตัวทางไกลในอนาคตจากผลลัพธ์ทั้งหมดในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถนำไปต่อยอดกับการพัฒนาหุ่นยนต์รุ่นต่อไปได้ในอนาคต ในด้านการใช้งานหน่วยประมวลผลภาพให้มีประสิทธิภาพที่มากขึ้น ในด้านการจัดการกับหน่วยความจำที่มีอย่างจำกัด และในด้านการแบ่งสรรทรัพยากรทำงานของหุ่นยนต์ในส่วนต่างๆ ให้มีประสิทธิภาพและเหมาะสมกับคอมพิวเตอร์ราสเบอร์รี่ไพร์รุ่นต่อไปที่สามารถรองรับการทำงานทั้งหมดได้เพียงเครื่องเดียว

สำหรับข้อมูลควบคุมการหันของหุ่นยนต์ สามารถที่จะพัฒนาให้รองรับการรับส่งข้อมูลที่ไม่ต่อเนื่องและเพิ่มความหน่วงหรือการหันที่นุ่มนวลเพื่อลดปัญหาจากแรงเหวี่ยงของการหันส่วนหัวของหุ่นยนต์ลงในอนาคต

และสุดท้าย ผลลัพธ์ความพึงพอใจต่อการใช้งานหุ่นยนต์แทนตัวทางไกลสามารถที่จะนำไปปรับปรุงและพัฒนาการใช้งานให้สมบูรณ์และเป็นมิตรกับผู้ใช้งานได้มากขึ้น โดยการปรับปรุงการใช้งานรูปแบบปุ่มกดเสมือนบนสมาร์ตโฟนให้รองรับกับการหันแนวเฉียงที่ดีขึ้น ปรับปรุงการใช้งานรูปแบบการหันสมาร์ตโฟนให้มีความแม่นยำในการหันมากขึ้นโดยเพิ่มความยืดหยุ่นของตรรกะ (Fuzzy Logic) ในการตรวจจับการเคลื่อนไหวของสมาร์ตโฟน และปรับปรุงระบบตรวจจับและติดตามใบหน้าให้สามารถแยกแยะแสง สี และวัตถุบนใบหน้าให้มีความแม่นยำที่มากขึ้น หรืออาจนำเทคนิคและรูปแบบการใช้งานแบบต่างๆ ของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้มาประยุกต์ให้มีความเหมาะสมและเป็นธรรมชาติมากขึ้นดังตัวอย่างในภาพที่ 5.1



ภาพที่ 5.1 ตัวอย่างการพัฒนาารูปแบบการใช้งานใหม่ในอนาคต



รายการอ้างอิง

- Adalgeirsson, S. O., & Breazeal, C. (2010). *MeBot: a robotic platform for socially embodied presence*. Paper presented at the Proceedings of the 5th ACM/IEEE international conference on Human-robot interaction.
- Ahonen, T., Hadid, A., & Pietikainen, M. (2006). Face description with local binary patterns: application to face recognition. *IEEE Trans Pattern Anal Mach Intell*, 28(12), 2037-2041. doi:10.1109/TPAMI.2006.244
- Bamoallem, B. S., Wodehouse, A. J., Mair, G. M., & Vasantha, G. A. (2016). The impact of head movements on user involvement in mediated interaction. *Computers in Human Behavior*, 55, 424-431. doi:10.1016/j.chb.2015.09.016
- Berggren, K., Gregersson, P., Grafulla, B., Platforms, E. M., & Hasselgren, J. (2008). *Camera focus controlled by face detection on GPU*: Department of Computer Science, Lund University.
- Berri, R., Wolf, D., & Osorio, F. (2014, 18-23 Oct. 2014). *Telepresence Robot with Image-Based Face Tracking and 3D Perception with Human Gesture Interface Using Kinect Sensor*. Paper presented at the Robotics: SBR-LARS Robotics Symposium and Robocontrol (SBR LARS Robocontrol), 2014 Joint Conference on.
- Bilaniuk, O., Fazl-Ersi, E., Laganriere, R., Xu, C., Laroche, D., & Moulder, C. (2014, 23-28 June 2014). *Fast LBP Face Detection on Low-Power SIMD Architectures*. Paper presented at the Computer Vision and Pattern Recognition Workshops (CVPRW), 2014 IEEE Conference on.
- Bloss, R. (2011). High school student goes to class robotically. *Industrial Robot: An International Journal*, 38(5), 465-468. doi:10.1108/01439911111154027
- Broadcom. (2014). BCM2835. Retrieved from <http://www.broadcom.com/products/BCM2835>

- Budihal, R., Mohanan, N., Anand, S. A., & Kamat, S. S. (2011, 18-21 Dec. 2011). *Exploration and implementation of a next generation Telepresence System*. Paper presented at the 2011 Fifth IEEE International Conference on Advanced Telecommunication Systems and Networks (ANTS).
- Cox, S. J., Cox, J. T., Boardman, R. P., Johnston, S. J., Scott, M., & O'brien, N. S. (2014). Iridis-pi: a low-cost, compact demonstration cluster. *Cluster Computing*, 17(2), 349-358.
- Cummings, C. (2013, Sunday, 27 October 2013). GPU Accelerated Camera Processing On The Raspberry Pi. Retrieved from <http://robotblogging.blogspot.com/2013/10/gpu-accelerated-camera-processing-on.html>
- Davies, C. (2014, March 17, 2014). iRobot Ava 500 'bot offers pricey telepresence. Retrieved from <http://www.slashgear.com/irobot-ava-500-bot-offers-pricey-telepresence-17320938>
- Davis, C. G. (1970). The Bell picturephone system. *Electronics and Power*, 16(5), 193. doi:10.1049/ep.1970.0182
- Denojean-Mairet, M., Tan, Q., Pivot, F., & Ally, M. (2014, 19-21 Dec. 2014). A *Ubiquitous Computing Platform - Affordable Telepresence Robot Design and Applications*. Paper presented at the Computational Science and Engineering (CSE), 2014 IEEE 17th International Conference on.
- Desai, M., Tsui, K. M., Yanco, H. A., & Uhlik, C. (2011, 11-12 April 2011). *Essential features of telepresence robots*. Paper presented at the 2011 IEEE Conference on Technologies for Practical Robot Applications.
- Di Gironimo, G., Matrone, G., Tarallo, A., Trotta, M., & Lanzotti, A. (2012). A virtual reality approach for usability assessment: case study on a wheelchair-mounted robot manipulator. *Engineering with Computers*, 29(3), 359-373. doi:10.1007/s00366-012-0274-x

- DoubleRobotics. (2014). Double Robotics. Double Price. Retrieved from <http://www.doublerobotics.com/pricing.html>
- elinux.org. (2014). Rpi Performance. Retrieved from http://elinux.org/RPi_Performance
- Emami, M., & Bahmani, M. R. (2015). Design and implementation of a robot controlled by android. *International Journal of Applied Engineering Research*, 10(13), 33438-33441.
- EvoTechnology. (2014). Evo Technology. Retrieved from <http://www.evot.net>
- Fernandes, S., & Bala, J. (2015). Low Power Affordable and Efficient Face Detection in the Presence of Various Noises and Blurring Effects on a Single-Board Computer. In S. C. Satapathy, A. Govardhan, K. S. Raju, & J. K. Mandal (Eds.), *Emerging ICT for Bridging the Future - Proceedings of the 49th Annual Convention of the Computer Society of India (CSI) Volume 1* (Vol. 337, pp. 119-127): Springer International Publishing.
- Gilbert, A. (2004, December 16). CNET News: Can't focus on the teleconference? Join the club. Retrieved from http://news.cnet.com/Cant-focus-on-the-teleconference-Join-theclub/2100-1022_3-5494304.html
- Google. (2014a). Android Interfaces. Retrieved from <http://source.android.com/devices/index.html>
- Google. (2014b). SensorManager. Retrieved from <http://developer.android.com/reference/android/hardware/SensorManager.html>
- Hirst, R. (2014). ServoBlaster.
- Isabel Martins, A., Queirós, A., G. Silva, A., & Pacheco Rocha, N. (2014). Usability Evaluation Methods: A Systematic Review. In S. Saeed, I. S. Bajwa, & Z. Mahmood (Eds.), *Human Factors in Software Development and Design*: IGI Global.

- Janard, K., & Maruringsith, W. (2015, 20-22 May 2015). *Accelerating real-time face detection on a raspberry pi telepresence robot*. Paper presented at the Innovative Computing Technology (INTECH), 2015 Fifth International Conference on.
- Janard, K., & Maruringsith, W. (2016). *Usability Evaluation of a Raspberry-Pi Telepresence Robot Controlled by Android Smartphones*. Paper presented at the The 7th International Conference on Robotics in Education (RiE), Vienna, Austria. Regular Paper. retrieved from
- Kac, E. (1998). Editorial: Live from Mars, 1.
- Keng Peng, T., Rui, Y., Yuanwei, C., Zhiyong, H., & Liemhetcharat, S. (2014, 14-18 Sept. 2014). *Gesture-based attention direction for a telepresence robot: Design and experimental study*. Paper presented at the Intelligent Robots and Systems (IROS 2014), 2014 IEEE/RSJ International Conference on.
- Kristofferson, A., Coradeschi, S., & Loutfi, A. (2013). A Review of Mobile Robotic Telepresence. *Advances in Human-Computer Interaction, 2013*, 1-17. doi:10.1155/2013/902316
- Lazewatsky, D. A., & Smart, W. D. (2011, 9-13 May 2011). *An inexpensive robot platform for teleoperation and experimentation*. Paper presented at the Robotics and Automation (ICRA), 2011 IEEE International Conference on.
- lew. (2014, 1 October 2014). รวมบริการที่ได้รับผลกระทบจาก Shellshock: cPanel, SSH, OpenVPN, PureFTPD, DHCP. Retrieved from <https://www.blognone.com/node/61082>
- Lin, L., Li, X., & Zhou, W. (2012). Face Detection Algorithm Based on Haar and Local Binary Pattern Features. *Journal of Convergence Information Technology*, 7(19).
- LINE. (2014). LINE. Retrieved from <http://line.me>
- McMillan, G. (2010). Socket Programming HOWTO.

- Michael. (2013). Raspberry Pi OpenCV Pan & Tilt Face Tracker. Retrieved from <http://mitchtech.net/raspberry-pi-servo-face-tracker>
- Microsoft. (2014). Skype. Retrieved from <http://www.skype.com>
- mk. (2014, 30 September 2014). ช่องโหว่ Shellshock กระทบใครบ้าง? ทำไมจึงอันตรายกว่า Heartbleed หลายเท่า? Retrieved from <https://www.blognone.com/node/61068>
- Ojala, T., Pietikäinen, M., & Mäenpää, T. (2002). Multiresolution gray-scale and rotation invariant texture classification with local binary patterns. *Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on*, 24(7), 971-987.
- Prabha, S. S., Antony, A. J. P., Meena, M. J., & Pandian, S. R. (2014). *Smart cloud robot using raspberry Pi*. Paper presented at the 2014 International Conference on Recent Trends in Information Technology, ICRTIT 2014.
- Project, Q. (2014, September 2014). Beginner's guide to cross-compile Qt5 on RaspberryPi. Retrieved from http://wiki.qt.io/RaspberryPi_Beginners_Guide
- RaspberryPi. (2012). Raspberry Pi. *Raspberry Pi 1 HDMI 13 Secure Digital 34 Universal Serial Bus 56 Python (programming language) 84*, 1.
- Rekleitis, I., Dudek, G., Schoueri, Y., Giguere, P., & Sattar, J. (2010, May 31 2010-June 2 2010). *Telepresence across the Ocean*. Paper presented at the Computer and Robot Vision (CRV), 2010 Canadian Conference on.
- Riano, L., Burbridge, C., & McGinnity, T. M. (2011). *A Study of Enhanced Robot Autonomy in Telepresence*. Paper presented at the The 22nd Irish Conference on Artificial Intelligence and Cognitive Systems (AICS), University of Ulster.
- Richardson, I. (2008, 17-20 Sept. 2008). *Real-time implementation of H.264 Video Coding*. Paper presented at the 2008 IEEE International SOC Conference.
- Richardson, M., & Wallace, S. (2012). *Getting Started with Raspberry Pi: " O'Reilly Media, Inc."*.

- Sabarinath, S., Shyam, R., Aneesh, C., Gandhiraj, R., & Soman, K. P. (2015) Accelerated FFT computation for GNU radio using GPU of raspberry Pi. *Vol. 32. Smart Innovation, Systems and Technologies* (pp. 657-664).
- Schwarz, H., Marpe, D., & Wiegand, T. (2007). Overview of the Scalable Video Coding Extension of the H.264/AVC Standard. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 17(9), 1103-1120.
doi:10.1109/tcsvt.2007.905532
- Singer, E. (2010). The slow rise of the robot surgeon. *Technology Review*, 24.
- Tanaka, F. (2014). Robotics for Supporting Childhood Education. In Y. Sankai, K. Suzuki, & Y. Hasegawa (Eds.), *Cybernetics: Fusion of human, machine and information systems* (pp. 185-195). Tokyo: Springer Japan.
- Tanaka, F., Takahashi, T., & Morita, M. (2013). Tricycle-style operation interface for children to control a telepresence robot. *Advanced Robotics*, 27(17), 1375-1384. doi:10.1080/01691864.2013.826782
- TechNet. (2003, March 28, 2003). How VPN Works. Retrieved from [https://technet.microsoft.com/en-us/library/cc779919\(v=ws.10\).aspx](https://technet.microsoft.com/en-us/library/cc779919(v=ws.10).aspx)
- Tetzlaff, T., Zandian, R., Drüppel, L., & Witkowski, U. (2015) Smartphone controlled robot platform for robot soccer and edutainment. *Vol. 345. Advances in Intelligent Systems and Computing* (pp. 505-518).
- Tripathy, R., & Daschoudhury, R. N. (2012). Real-time Face Detection and Tracking Using Haar Classifier on Soc. *International Journal of Electronics and Computer Science Engineering*, 3(2), 175-184.
- Tsui, K. M., Desai, M., Yanco, H. A., & Uhlik, C. (2011, 8-11 March 2011). *Exploring use cases for telepresence robots*. Paper presented at the 2011 6th ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction (HRI).
- Tsui, K. M., & Yanco, H. A. (2013) Design Challenges and Guidelines for Social Interaction Using Mobile Telepresence Robots. *Vol. 9. Reviews of Human Factors and Ergonomics* (pp. 227-301).

- Unanue, I., Urteaga, I., Husemann, R., Del Ser, J., Roesler, V., Rodríguez, A., & Sánchez, P. (2011). A tutorial on H. 264/SVC scalable video coding and its tradeoff between quality, coding efficiency and performance. *Recent Advances on Video Coding, 13*.
- Venolia, G., Tang, J., Cervantes, R., Bly, S., Robertson, G., Lee, B., & Inkpen, K. (2010). *Embodied social proxy: mediating interpersonal connection in hub-and-satellite teams*. Paper presented at the Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems.
- VgoCommunications. (2010). Introducing VGo®
A Breakthrough in Audio-Video Communication.
- Viola, P., & Jones, M. J. (2004). Robust real-time face detection. *International journal of computer vision, 57(2)*, 137-154.
- Vitas, M. (2013). ART vs Dalvik-introducing the new Android runtime in KitKat. URL: <https://www.infinum.co/the-capsized-eight/articles/art-vs-dalvikintroducing-the-new-android-runtime-in-kit-kat> (cons. 2-2015).
- Whatever happened to the Picturephone? (1982). *IEEE Spectrum, 19(2)*, 24-24.
doi:10.1109/mspec.1982.6366791
- Wiegand, T., & Sullivan, G. J. (2007). The H.264/AVC Video Coding Standard [Standards in a Nutshell]. *IEEE Signal Processing Magazine, 24(2)*, 148-153.
doi:10.1109/msp.2007.323282
- Woon, B. (2013). Polycom Helps Healthcare Organizations Reduce Unnecessary Rehospitalizations, Supports Prevention and Wellness with New Video Collaboration Solutions for Robotics, Mobile Devices and Web Browsers. Retrieved from http://www.polycom.com/company/news/press-releases/2013/20130506_2.html
- Yeung, J., & Fels, D. I. (2005, 1-4 May 2005). *A remote telepresence system for high school classrooms*. Paper presented at the Electrical and Computer Engineering, 2005. Canadian Conference on.

Yun, S.-S., Kim, M., & Choi, M.-T. (2013). Easy Interface and Control of Tele-education Robots. *International Journal of Social Robotics*, 5(3), 335-343.

doi:10.1007/s12369-013-0192-0

สุทัศน์ะจินดา, ส. (2014, 5 พฤษภาคม 2557). ดินสอมีนิ อัจฉริยะหุ่นยนต์ไทย. Retrieved from <http://morning-news.bectero.com/jaakhoden/05-May-2014/16707>





ภาคผนวก ก

คุณสมบัติและการใช้งานสิ่งประดิษฐ์ของงานวิจัย

ภาพรวมการทำงานของระบบ คือ คุณสมบัติและการใช้งานของหุ่นยนต์แทนตัวทางไกลที่ได้รับการควบคุมผ่านสมาร์ตโฟน แบ่งการทำงานออกเป็นสามส่วนหลักคือ

ส่วนของหุ่นยนต์ ทำหน้าที่เป็นตัวแทนของผู้ใช้งานจากสมาร์ตโฟนที่ติดต่อเข้ามาทางเครือข่ายอินเทอร์เน็ต ผ่านอุปกรณ์เครือข่ายของตัวหุ่นยนต์เอง โดยตัวหุ่นยนต์จะรับการเชื่อมต่อจากสมาร์ตโฟนที่มีโปรแกรมควบคุมหุ่นยนต์ให้สามารถแสดงผลตัวผู้ใช้งานทั้งภาพและเสียงบนหน้าจอและลำโพงของตัวหุ่นยนต์ หันซ้ายขวาและก้มเงยได้ตามคำสั่งของผู้ใช้งานในรูปแบบควบคุมเอง หรือแบบตรวจจับใบหน้าของคู่สนทนาผ่านทางเว็บแคมตัวที่หนึ่ง ตัวหุ่นยนต์สามารถส่งข้อมูลทั้งภาพและเสียงของคู่สนทนาไปแสดงผลบนสมาร์ตโฟนของผู้ใช้ต้นทางผ่านทางเว็บแคมตัวที่สองและไมโครโฟนได้

ส่วนของสมาร์ตโฟน ทำหน้าที่ควบคุมหุ่นยนต์แทนตัวทางไกลที่อยู่ปลายทาง คุณสมบัติของสมาร์ตโฟนจะต้องมีกล้องหน้าเป็นอย่างน้อย เพื่อใช้ในการส่งข้อมูลภาพของผู้ใช้งานไปยังหุ่นยนต์ หน้าจอใช้ในการแสดงผลจากตัวหุ่นยนต์ และปุ่มเสมือนบนหน้าจอกับเซนเซอร์ตรวจจับการเคลื่อนไหวของตัวสมาร์ตโฟนใช้ควบคุมทิศทางการหันของหุ่นยนต์ ไมโครโฟนใช้ในการส่งเสียงสมาร์ตโฟนไปยังหุ่นยนต์ ลำโพงใช้ในการส่งเสียงจากหุ่นยนต์มายังสมาร์ตโฟน และใช้ระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์

ส่วนของระบบรับ-ส่งข้อมูลกลางแบบเข้ารหัส ทำหน้าที่เป็นตัวกลางการรับส่งข้อมูลแบบเข้ารหัสระหว่างตัวหุ่นยนต์และสมาร์ตโฟนเพื่อป้องกันการดักจับข้อมูลระหว่างทางที่มีการสื่อสารระหว่างกัน

ขั้นตอนการใช้งานของระบบจะมีส่วนของระบบรับ-ส่งข้อมูลกลางแบบเข้ารหัสติดตั้งอยู่กับหุ่นยนต์แทนตัวทางไกล โดยตัวหุ่นยนต์จะเชื่อมต่อเข้ากับระบบรับ-ส่งข้อมูลกลาง และได้รับหมายเลขประจำตัวของหุ่นยนต์ (IP Address) ตามที่ระบบจัดให้พร้อมกับรับชื่อที่หุ่นยนต์ประกาศให้ถ่ายทอดการอ่านและจดจำบนโปรแกรมสมาร์ตโฟน ระบบรับส่งข้อมูลกลางจะเชื่อมต่อไปยังเครือข่ายอินเทอร์เน็ตอีกทอดหนึ่ง ส่วนของสมาร์ตโฟนจะเชื่อมต่อเครือข่ายอินเทอร์เน็ตเข้ามายังระบบรับส่งข้อมูลกลางเพื่อติดต่อกับหุ่นยนต์

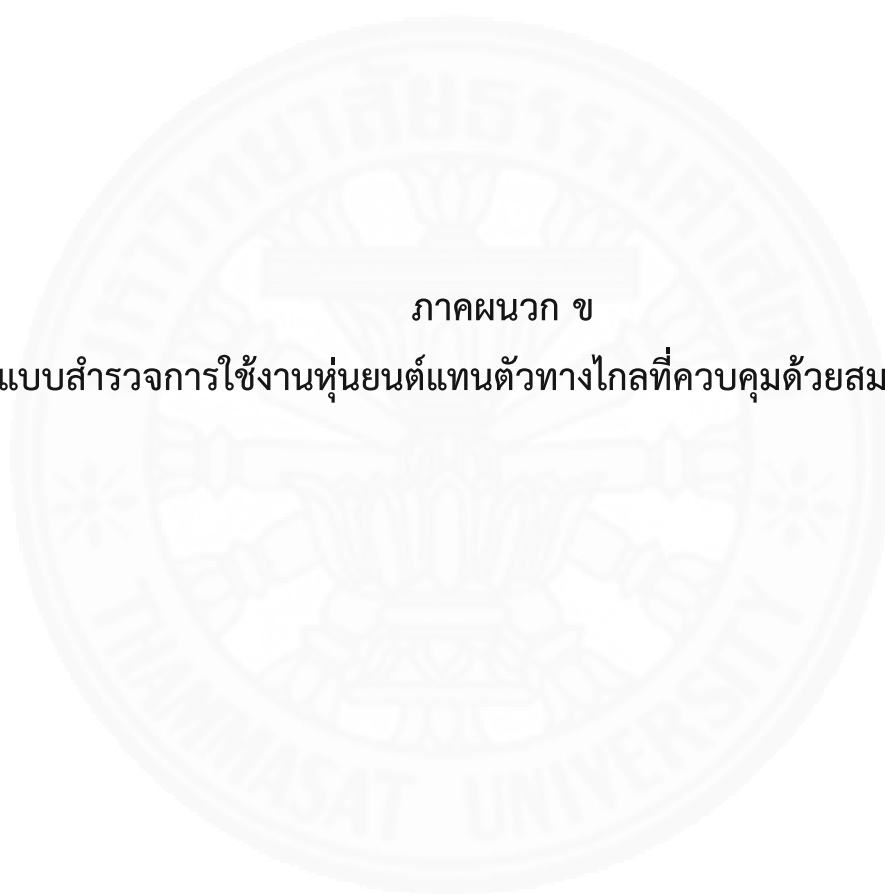
การให้บริการของตัวหุ่นยนต์จะสามารถให้บริการได้เมื่อหุ่นยนต์ตัวนั้น ยังไม่มีการใช้งานหรือถูกควบคุมจากผู้ใช้งานคนใด และจะปฏิเสธการเชื่อมต่อเมื่อมีการใช้งานหรือถูกควบคุมแทรกเข้ามาระหว่างการใช้งานอยู่ในขณะนั้น

เมื่อผู้ใช้งานต้องการที่จะควบคุมตัวหุ่นยนต์ ผู้ใช้จำเป็นต้องใช้สมาร์ทโฟนที่มีโปรแกรมควบคุมหุ่นยนต์แทนตัวทางไกลเชื่อมต่อเครือข่ายอินเทอร์เน็ตเข้ามายังระบบรับส่งข้อมูลกลางเพื่อค้นหาหุ่นยนต์ตัวที่วางให้บริการเพื่อใช้เข้ามาควบคุมการเคลื่อนไหว และรับส่งข้อมูลภาพและเสียงกับคู่สนทนา (Login to control) จนกว่าจะสิ้นสุดการใช้บริการและออกจากระบบ (Logout)



ภาคผนวก ข

แบบสำรวจการใช้งานหุ่นยนต์แทนตัวทางไกลที่ควบคุมด้วยสมาร์ทโฟน



แบบสำรวจการใช้งานหุ่นยนต์แทนตัวทางไกลที่ควบคุมด้วยสมาร์ตโฟน

คำชี้แจง โปรดกาเครื่องหมาย ✓ ลงในช่องที่ตรงกับความคิดเห็นของท่านมากที่สุด

ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบประเมิน

1. เพศ
 - ชาย
 - หญิง
2. อายุ
 - 18-22 ปี
 - 23-40 ปี
 - 40-60 ปี
3. ส่วนสูง

..... เซนติเมตร
4. อาชีพ
 - นักเรียน/นักศึกษา
 - พนักงานบริษัท
 - แม่บ้าน / พ่อบ้าน
 - ข้าราชการ / รัฐวิสาหกิจ / หน่วยงานของรัฐ
 - เจ้าของกิจการ
 - อื่นๆ
5. ระดับการศึกษา
 - ต่ำกว่าปริญญาตรี
 - ปริญญาตรี
 - ปริญญาโท
 - ปริญญาเอก
 - อื่นๆ
6. ปัจจุบันใช้สมาร์ตโฟนหรือไม่
 - ใช่
 - ไม่ใช่
7. ระบบปฏิบัติการของสมาร์ตโฟนหลักที่ใช้อยู่
 - แอนดรอยด์ (Android)
 - ไอโอเอส (iOS)
 - วินโดวส์โฟน (Windows Phone)
 - ซิมเบียน (Symbian)
 - แบล็คเบอรี่ (BlackBerry)
 - อื่นๆ
8. เคยใช้การติดต่อสื่อสารแบบภาพและเสียงโดยทั่วไป (Video Call) หรือไม่
 - เคย
 - ไม่เคย (ข้ามไปข้อ 12)

9. ประเภทอุปกรณ์ที่ใช้ติดต่อสื่อสารแบบภาพและเสียงโดยทั่วไป (เลือกได้มากกว่าหนึ่งข้อ)
- คอมพิวเตอร์ทั่วไป สมาร์ทโฟน แท็บเล็ต
- สมาร์ททีวี อื่นๆ
10. ความถี่การใช้งานการติดต่อสื่อสารแบบภาพและเสียงโดยทั่วไป
- 1-2 ครั้ง ต่อเดือน 3-4 ครั้ง ต่อเดือน มากกว่า 4 ครั้ง ต่อเดือน
- 1-3 ครั้ง ต่อ 6 เดือน 1-3 ครั้ง ต่อ 12 เดือน
11. ระยะเวลาโดยเฉลี่ยของการใช้งานการติดต่อสื่อสารแบบภาพและเสียงโดยทั่วไป
- น้อยกว่า 15 นาที 15-30 นาที 30-60 นาที
- มากกว่า 60 นาที
12. เคยใช้การประชุมทางไกลด้วยภาพและเสียง (Video Conference) หรือไม่
- เคย ไม่เคย (ข้ามไปข้อ 16)
13. ประเภทอุปกรณ์ที่ใช้การประชุมทางไกลด้วยภาพและเสียง
- คอมพิวเตอร์ทั่วไป สมาร์ทโฟน แท็บเล็ต
- สมาร์ททีวี ระบบห้องประชุมเฉพาะ อื่นๆ
14. ความถี่การใช้งานการประชุมทางไกลด้วยภาพและเสียง
- เดือนละ 1-2 ครั้ง เดือนละ 3-4 ครั้ง มากกว่า 4 ครั้ง ต่อเดือน
- 1-3 ครั้ง ต่อ 6 เดือน 1-3 ครั้ง ต่อ 12 เดือน
15. ระยะเวลาโดยเฉลี่ยของการใช้งานการประชุมทางไกลด้วยภาพและเสียง
- น้อยกว่า 15 นาที 15-30 นาที 30-60 นาที
- มากกว่า 60 นาที
16. มีความยินยอมให้ทำการบันทึกภาพและเสียงระหว่างการทดลองใช้งานหุ่นยนต์แทนตัวทางไกลที่ควบคุมด้วยสมาร์ทโฟนหรือไม่? (โปรดอ่านเอกสารข้อตกลงด้านท้ายแบบสำรวจให้ครบถ้วนก่อนตอบ)
- ยินยอม ไม่ยินยอม

ส่วนที่ 2 ประเมินความรู้สึกก่อนการใช้งานหุ่นยนต์แทนตัวทางไกลที่ควบคุมด้วยสมาร์ทโฟน

[1] น้อยที่สุด [2] น้อย [3] ปานกลาง [4] มาก [5] มากที่สุด

แบบสำรวจ	1	2	3	4	5
1. รู้สึกมั่นใจในการใช้งานสมาร์ทโฟนควบคุมหุ่นยนต์เป็นอย่างดี					
2. การใช้หุ่นยนต์แทนตัวทางไกลสำหรับการสนทนาเป็นเรื่องใกล้ตัว					
3. หุ่นยนต์แทนตัวทางไกลช่วยเพิ่มปฏิสัมพันธ์ของการสื่อสารระหว่างกัน					
4. หุ่นยนต์แทนตัวทางไกลเหมาะสมกับราคาในการใช้งานทั่วไป					
5. หุ่นยนต์แทนตัวทางไกลเหมาะสมกับราคาในตำนานธุรกิจ					
6. หุ่นยนต์แทนตัวทางไกลเหมาะสมกับราคาในตำนานการศึกษา					
7. ความคาดหวังการทำงานและประโยชน์ของหุ่นยนต์แทนตัวทางไกล					

ส่วนที่ 3 ประเมินความรู้สึกหลังการใช้งานหุ่นยนต์แทนตัวทางไกลที่ควบคุมด้วยสมาร์ทโฟน

[1] น้อยที่สุด [2] น้อย [3] ปานกลาง [4] มาก [5] มากที่สุด

แบบสำรวจ	1	2	3	4	5
1. รู้สึกมั่นใจในการใช้งานสมาร์ทโฟนควบคุมหุ่นยนต์เป็นอย่างดี					
2. การใช้หุ่นยนต์สำหรับการสนทนาเป็นเรื่องใกล้ตัว					
3. หุ่นยนต์แทนตัวทางไกลช่วยเพิ่มปฏิสัมพันธ์ของการสื่อสารระหว่างกัน					
4. หุ่นยนต์แทนตัวทางไกลเหมาะสมกับราคาในการใช้งานทั่วไป					
5. หุ่นยนต์แทนตัวทางไกลเหมาะสมกับราคาในตำนานธุรกิจ					
6. หุ่นยนต์แทนตัวทางไกลเหมาะสมกับราคาในตำนานการศึกษา					
7. ความคาดหวังการทำงานและประโยชน์ของหุ่นยนต์แทนตัวทางไกล					

ส่วนที่ 4 ประเมินความรู้สึกลงในแต่ละสถานีการทดลอง

[1] น้อยที่สุด [2] น้อย [3] ปานกลาง [4] มาก [5] มากที่สุด

แบบสำรวจ	1	2	3	4	5
(1) การควบคุมการเคลื่อนไหวของหุ่นยนต์ด้วยสมาร์ทโฟน					
ก. ความง่ายต่อการควบคุมหุ่นยนต์ด้วยปุ่มกดเสมือนบนสมาร์ทโฟน					
1. ความแม่นยำต่อการควบคุมการหันของหุ่นยนต์แนวนอน					
2. ความแม่นยำต่อการควบคุมการหันของหุ่นยนต์แนวตั้ง					
3. ความแม่นยำต่อการควบคุมการหันของหุ่นยนต์แนวเฉียง					
4. ความรวดเร็วต่อการตอบสนองของหุ่นยนต์					
ข. ความง่ายต่อการควบคุมหุ่นยนต์ด้วยการหันสมาร์ทโฟน					
1. ความแม่นยำต่อการควบคุมการหันของหุ่นยนต์แนวนอน					
2. ความแม่นยำต่อการควบคุมการหันของหุ่นยนต์แนวตั้ง					
3. ความแม่นยำต่อการควบคุมการหันของหุ่นยนต์แนวเฉียง					
4. ความรวดเร็วต่อการตอบสนองของหุ่นยนต์					
(2) การเคลื่อนไหวของหุ่นยนต์เพื่อติดตามใบหน้าโดยอัตโนมัติ					
ก. ความง่ายต่อการควบคุมหุ่นยนต์ให้หันตามใบหน้า					
1. ความแม่นยำต่อการควบคุมการหันของหุ่นยนต์แนวนอน					
2. ความแม่นยำต่อการควบคุมการหันของหุ่นยนต์แนวตั้ง					
3. ความแม่นยำต่อการควบคุมการหันของหุ่นยนต์แนวเฉียง					
4. ความรวดเร็วต่อการตอบสนองของหุ่นยนต์					
ข. ความง่ายต่อการทำให้หุ่นยนต์ตรวจจับใบหน้าได้					
ค. ระยะห่างระหว่างในหน้าบุคคลและหุ่นยนต์ในการตรวจจับใบหน้า (1 = สั้นไป 2 = สั้นเล็กน้อย 3 = พอดี 4 = ไกลเล็กน้อย 5 = ไกลไป)					
(3) การยอมรับทางด้านคุณภาพของภาพและเสียงของหุ่นยนต์					
ก. ความคมชัดต่อการถ่ายภาพจากหุ่นยนต์มายังสมาร์ทโฟน					
1. ขนาดของภาพที่แสดงผลบนสมาร์ทโฟน					
2. การควบคุมแสงและสีจากกล้องของหุ่นยนต์มายังสมาร์ทโฟน					
3. ความรวดเร็วในการส่งภาพจากหุ่นยนต์มายังสมาร์ทโฟน					
ข. ความคมชัดต่อการถ่ายทอดเสียงจากหุ่นยนต์มายังสมาร์ทโฟน					
1. ความดังของเสียงที่แสดงผลบนสมาร์ทโฟน					
2. การควบคุมเสียงสะท้อนของหุ่นยนต์มายังสมาร์ทโฟน					
3. ความรวดเร็วในการส่งเสียงจากหุ่นยนต์มายังสมาร์ทโฟน					
ค. ภาพและเสียงทำงานสัมพันธ์กัน					

แบบสำรวจ	1	2	3	4	5
(4) การไว้วางใจต่อการใช้งานหุ่นยนต์ผ่านเครือข่ายส่วนตัวเสมือน					
1. ความมั่นใจต่อการใช้สมาร์ทโฟนควบคุมหุ่นยนต์ผ่านเครือข่ายส่วนตัวเสมือนที่สร้างขึ้นด้วยตัวเอง หรือคนในหน่วยงาน/บริษัทจัดทำให้					
2. ความมั่นใจต่อความเป็นส่วนตัวและความปลอดภัยของข้อมูลเชิงใช้งานทั่วไป					
3. ความมั่นใจต่อความเป็นส่วนตัวและความปลอดภัยของข้อมูลเชิงใช้งานด้านธุรกิจ					
4. ความมั่นใจต่อความเป็นส่วนตัวและความปลอดภัยของข้อมูลเชิงใช้งานด้านการศึกษา					

ส่วนที่ 5 ประเมินความรู้สึกโดยรวมของการเข้าร่วมการทดลองในครั้งนี้

[1] น้อยที่สุด [2] น้อย [3] ปานกลาง [4] มาก [5] มากที่สุด

แบบสำรวจ	1	2	3	4	5
1. การอธิบายรายละเอียดการทดลอง					
2. การสาธิตการใช้งานสมาร์ทโฟนและหุ่นยนต์					
3. การแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นระหว่างการทดลอง					
4. การรับฟังความคิดเห็นและการตอบปัญหาที่สงสัย					
5. การออกแบบคำถามแบบประเมินมีความชัดเจน					
6. จัดรูปแบบการทดลองได้อย่างเหมาะสม					
7. ระยะเวลาทำทดลองโดยรวมไม่มากหรือน้อยเกินไป					
8. ความเหมาะสมของสถานที่จัดการทดลอง					
9. ความพร้อมของอุปกรณ์หรือเครื่องมือการทดลอง					
10. อุปกรณ์อำนวยความสะดวกระหว่างการทดลอง					
11. การออกแบบหน้าตาหุ่นยนต์โดยรวม					
12. การออกแบบหน้าตาซอฟต์แวร์ควบคุมหุ่นยนต์โดยรวม					
13. ความรู้สึกโดยรวมที่มีต่อการทดลองในครั้งนี้					
14. มีความสนใจที่จะนำอุปกรณ์การทดลองนี้ไปใช้ในชีวิตจริง					
15. ต้องการให้งานทดลองชิ้นนี้ได้รับการพัฒนาต่อจนสมบูรณ์					

ข้อตกลงความเป็นส่วนตัว สิทธิ และจรรยาบรรณ

ระหว่าง

ผู้เข้าร่วมทดลองและผู้ทำการทดลอง

ของ

การทำการทดลองใช้งานหุ่นยนต์แทนตัวทางไกลที่ควบคุมด้วยสมาร์ตโฟน

การทำการทดลองใช้งานหุ่นยนต์แทนตัวทางไกลที่ควบคุมด้วยสมาร์ตโฟนในครั้งนี้ คือ การสังเกต พฤติกรรมความรู้สึก และลักษณะการใช้งานสมาร์ตโฟนควบคุมหุ่นยนต์แทนตัวทางไกลของผู้เข้าร่วมทดลอง โดยจะทำการบันทึกภาพ เสียง และเอกสารข้อมูลการทดลองของผู้เข้าร่วมทดลองระหว่างการทดลองตั้งแต่เริ่มจนจบ

เพื่อเป็นการเคารพต่อสิทธิความเป็นส่วนตัวของผู้เข้าร่วมทดลอง ข้อมูลภาพและเสียงที่ถูกบันทึก จะถูกปิดเป็นความลับ และใช้สำหรับการทดลองในครั้งนี้เท่านั้น ยกเว้นข้อมูลที่ถูกคัดกรองออกมาเป็นคำบรรยายในรูปแบบตัวอักษร หรือตัวเลขเพื่อใช้ในการเก็บสถิติในการพัฒนาต่อยอดงานวิจัยในครั้งต่อไป ได้แก่

1. ระยะเวลาการทดลองทั้งหมด
2. ระยะเวลาการทดลองแต่ละสถานีทดลอง
3. ระยะเวลาการควบคุมหุ่นยนต์ในแต่ละรอบการทดลอง
4. ความรู้สึกก่อน หลัง และระหว่างการทดลอง
5. ลักษณะการใช้งานก่อน หลัง และระหว่างการทดลอง

แต่ไม่รวมถึงข้อมูลที่ถูกบันทึกลงบนเอกสารการทดลองชุดนี้สำหรับเก็บสถิติการใช้งานและความรู้สึกที่ผู้เข้าร่วมการทดลองให้ข้อมูลด้วยตัวเอง เพื่อเป็นแหล่งอ้างอิงของข้อมูลตามเอกสารทางวิชาการอื่นๆ ที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ข้อมูลการทดลองในครั้งนี้

ผู้เข้าร่วมทดลองสามารถปฏิเสธการบันทึกภาพและเสียงในการทดลองครั้งนี้ได้โดยระบุไม่ยินยอมให้ทำการบันทึกภาพและเสียงลงบนเอกสารข้อมูลในส่วนที่ 1 ข้อที่ 16

ภาคผนวก ค
การแปลความหมายจากผลวิเคราะห์ข้อมูล

สำหรับสัญลักษณ์ที่ใช้ในการนำเสนอผลการทดสอบมีความหมายดังต่อไปนี้

\bar{X} / Mean	หมายถึง ค่าเฉลี่ยเลขคณิตของข้อมูลที่ได้จากกลุ่มตัวอย่าง
SD / Std.Dev	หมายถึง ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของกลุ่มตัวอย่าง
μ	หมายถึง ค่าเฉลี่ยเลขคณิตของข้อมูลที่ได้จากกลุ่มตัวอย่าง
N	หมายถึง จำนวนตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์
t	หมายถึง ค่าสถิติ t ที่ใช้ในการทดสอบสมมติฐาน
χ^2	หมายถึง ค่าสถิติ Chi-Square ที่ใช้ในการทดสอบสมมติฐาน
P-Value / Sig.	หมายถึง ค่าความน่าจะเป็นที่คำนวณได้จากค่าสถิติที่ใช้ในการทดสอบสมมติฐาน

ตารางที่ ค.1 ตารางตัวอย่างแสดงรายละเอียดข้อสอบถามและการให้คะแนนของผู้เข้าร่วมทดลอง

(1) แบบสำรวจ	(2)				
	1	2	3	4	5
1. รู้สึกมั่นใจในการใช้งานสมาร์ทโฟนควบคุมหุ่นยนต์เป็นอย่างดี					
2. การใช้หุ่นยนต์แทนตัวทางไกลสำหรับการสนทนาเป็นเรื่องใกล้ตัว					
3. หุ่นยนต์แทนตัวทางไกลช่วยเพิ่มปฏิสัมพันธ์ของการสื่อสารระหว่างกัน					
4. หุ่นยนต์แทนตัวทางไกลเหมาะสมกับราคาในด้านการใช้งานทั่วไป					
5. หุ่นยนต์แทนตัวทางไกลเหมาะสมกับราคาในด้านการงานธุรกิจ					
6. หุ่นยนต์แทนตัวทางไกลเหมาะสมกับราคาในด้านการงานการศึกษา					
7. ความคาดหวังการทำงานและประโยชน์ของหุ่นยนต์แทนตัวทางไกล					

อธิบายความหมายของตารางแสดงรายละเอียดข้อสอบถามและการให้คะแนน ความพึงพอใจหรือความมั่นใจ ดังแสดงใน ตารางที่ ค.1

- (1) แสดง หมายเลขข้อและรายละเอียดในแต่ละข้อ
 - (2) แสดง ระดับเกณฑ์การให้คะแนน 1-5 ตามความพอใจมากหรือน้อยตามมาตรฐานประมาณค่า (Likert Scale) โดยแต่ละหมายเลขมีความหมายดังนี้
- | | | | | |
|-----------|-----|---|---------|-----------|
| ถ้าอยู่ใน | ข้อ | 1 | หมายถึง | น้อยมาก |
| | ข้อ | 2 | หมายถึง | น้อย |
| | ข้อ | 3 | หมายถึง | ปานกลาง |
| | ข้อ | 4 | หมายถึง | มาก |
| | ข้อ | 5 | หมายถึง | มากที่สุด |

ตารางที่ ค.2 ตารางตัวอย่างแสดงรายละเอียดความพึงพอใจของกลุ่มผู้เข้าร่วมทดลอง

(1) ข้อที่	(2) N	(3) Total Score	(4) \bar{X}	(5) 95% Confidence		(6) SD	(7) แปลความ
				Lower	Upper		
1	14	46	3.2857	2.81	3.76	0.8254	ปานกลาง
2	14	45	3.2143	2.57	3.86	1.1217	ปานกลาง
3	14	46	3.2857	2.67	3.90	1.0690	ปานกลาง
4	14	42	3.0000	2.45	3.55	0.9608	ปานกลาง
5	14	49	3.5000	2.83	4.17	1.1602	ดี
6	14	56	4.0000	3.55	4.45	0.7845	ดี
7	14	53	3.7857	3.22	4.35	0.9750	ดี

อธิบายความหมายของตารางแสดงรายละเอียดความพึงพอใจ ดังแสดงในตารางที่ ค.2

- (1) แสดง หมายเลขข้อ ที่ใช้อ้างอิงกับข้อข้อในตารางตัวอย่าง ดังแสดงในตารางที่ ค.1 ที่ผู้เข้าร่วมทดลองให้ระดับความพึงพอใจ หรือระดับความคิดเห็น หรืออื่นๆ
- (2) แสดง ค่าจำนวนตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์
- (3) แสดง ค่าผลรวมคะแนน ในส่วนของระดับความพึงพอใจ หรือระดับความคิดเห็น หรืออื่นๆ
- (4) แสดง ค่าเฉลี่ย และ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
- (5) แสดง ค่าสัมประสิทธิ์สัมพันธ์หรือค่าความมั่นใจของข้อมูลที่ร้อยละ 95
- (6) ให้แปลความหมายตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้ (ซึ่งมีอยู่หลายเกณฑ์) เช่น

ถ้าอยู่ใน ช่วง 1.00 – 1.49	ถือว่า	อยู่ใน	ระดับต่ำมาก
ช่วง 1.50 – 2.49	ถือว่า	อยู่ใน	ระดับต่ำ
ช่วง 2.50 – 3.49	ถือว่า	อยู่ใน	ระดับปานกลาง
ช่วง 3.50 – 4.49	ถือว่า	อยู่ใน	ระดับสูง
ช่วง 4.50 – 5.00	ถือว่า	อยู่ใน	ระดับสูงมาก

ตารางที่ ค.3 ตารางตัวอย่างแสดงรายละเอียดเปรียบเทียบผลข้อมูล

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)		(6)	(7)	(8)
ข้อ	\bar{X}	SD	SE Mean	95% Confidence		T	DF	Sig. (2-Tail)
				Lower	Upper			
1	0.0000	1.3009	0.3477	-0.7511	0.7511	0.0000	13	1.0000
2	-0.3571	1.0818	0.2891	-0.9818	0.2675	-1.2352	13	0.2386
3	-0.5714	1.0894	0.2912	-1.2004	0.0576	-1.9626	13	0.0715
4	-0.5000	0.8549	0.2285	-0.9936	-0.0064	-2.1885	13	0.0475
5	-0.3571	1.0818	0.2891	-0.9818	0.2675	-1.2352	13	0.2386
6	0.0000	1.0377	0.2774	-0.5992	0.5992	0.0000	13	1.0000
7	-0.2857	0.9945	0.2658	-0.8599	0.2885	-1.0750	13	0.3019

อธิบายความหมายของตารางแสดงรายละเอียดเปรียบเทียบผลข้อมูล ดังแสดงในตารางที่ ค.3

- (1) แสดง หมายเลขข้อ ที่ใช้อ้างอิงกับชื่อข้อในตารางตัวอย่าง ดังแสดงในตารางที่ ค.1 ที่ผู้เข้าร่วมทดลองให้ระดับความพึงพอใจ หรือระดับความคิดเห็น หรืออื่นๆ
- (2) แสดง ค่าเฉลี่ยความแตกต่าง
- (3) แสดง ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
- (4) แสดง ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
- (5) แสดง ค่าสัมประสิทธิ์สัมพันธ์หรือค่าความมั่นใจของข้อมูลที่ร้อยละ 95
- (6) แสดง ค่าสถิติ T ที่ใช้ในการทดสอบสมมติฐาน
- (7) แสดง ค่าที่ใช้ในการกำหนดคุณสมบัติต่อกัน
- (8) แสดง ค่าความน่าจะเป็นได้จากค่าสถิติที่ใช้ในการทดสอบสมมติฐานโดย
 $\text{Sig. (P-Value)} > 0.05$ ถือว่ายอมรับ H_0 ว่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ
 $\text{Sig. (P-Value)} < 0.05$ ถือว่ายอมรับ H_1 ว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ
หรือระบุวิธีการอ่านค่าที่ท้ายตาราง

หากค่าที่ได้มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญจะได้รับการลงสีแสดงความสำคัญ

ภาคผนวก ง
ตารางสถิติสรุปผลการทดลองเพื่อทดสอบการใช้งาน



ตารางที่ ง.1 ตารางข้อมูลการแจกแจงแบบทีเพื่อทดสอบความแตกต่างของกลุ่มอายุที่เป็นอิสระต่อกัน
ในเรื่องค่าเฉลี่ยเวลาของแต่ละหมายเลขการทดสอบ

เปรียบเทียบกลุ่มอายุ 18-22 ปี และ 23-40 ปี									
Independent Samples Test									
	Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
	F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	of the Difference	
								Lower	Upper
1	4.507	.046	-0.777	21	.446	-2.187	2.816	-8.043	3.669
			-0.727	13.786	.479	-2.187	3.007	-8.646	4.272
2	.727	.404	.259	21	.798	.738	2.849	-5.187	6.662
			.246	15.034	.809	.738	2.999	-5.652	7.128
3	7.971	.010	-2.200	21	.039	-7.213	3.278	-14.030	-.396
			-2.030	12.607	.064	-7.213	3.552	-14.912	.486
4	.369	.550	-1.976	21	.061	-5.550	2.809	-11.392	.291
			-1.941	18.062	.068	-5.550	2.859	-11.556	.455
5	.465	.503	-1.382	21	.181	-8.057	5.828	-20.177	4.063
			-1.385	19.620	.182	-8.057	5.819	-20.211	4.097
6	.683	.418	-.291	21	.774	-.914	3.137	-7.438	5.610
			-.305	20.876	.763	-.914	2.995	-7.144	5.317

Sig. < 0.05 ให้ดูค่า Sig. (2-tailed) ล่าง หมายถึง ความแปรปรวนของกลุ่มเท่ากัน
Sig. > 0.05 ให้ดูค่า Sig. (2-tailed) บน หมายถึง ความแปรปรวนของกลุ่มไม่เท่ากัน

Sig. (2-tailed) > 0.05 ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ
Sig. (2-tailed) < 0.05 แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

ตารางที่ ง.2 ตารางเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความพึงพอใจในแต่ละเลขข้อของกลุ่มอายุ 18-22 ปี

กลุ่มอายุ 18-22 ปี								
Paired Samples Test								
เปรียบเทียบ หมายเลขข้อ	Paired Differences					t	df	Sig. (2- tailed)
	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
				Lower	Upper			
Pair 1	.286	.825	.221	-.191	.762	1.295	13	.218
Pair 2	.500	.855	.228	.006	.994	2.188	13	.047
Pair 3	.143	.770	.206	-.302	.588	.694	13	.500
Pair 4	-.500	.941	.251	-1.043	.043	-1.989	13	.068

Sig. (2-tailed) > 0.05 ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

Sig. (2-tailed) < 0.05 แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

ตารางที่ ง.3 ตารางเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความพึงพอใจในแต่ละเลขข้อของกลุ่มอายุ 23-40 ปี

กลุ่มอายุ 23-40 ปี								
Paired Samples Test								
เปรียบเทียบ หมายเลขข้อ	Paired Differences					t	df	Sig. (2- tailed)
	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
				Lower	Upper			
Pair 1	.167	1.115	.322	-.542	.875	.518	11	.615
Pair 2	.333	1.073	.310	-.348	1.015	1.076	11	.305
Pair 3	-.250	.965	.279	-.863	.363	-.897	11	.389
Pair 4	-.583	.996	.288	-1.216	.050	-2.028	11	.067

Sig. (2-tailed) > 0.05 ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

Sig. (2-tailed) < 0.05 แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

ตารางที่ ง.4 ตารางข้อมูลการแจกแจงแบบทีเพื่อทดสอบความแตกต่างของกลุ่มอายุที่เป็นอิสระต่อกัน
ในเรื่องค่าเฉลี่ยเวลาของหมายเลขการทดสอบ 7

เปรียบเทียบกลุ่มอายุ 18-22 ปี และ 23-40 ปี									
Independent Samples Test									
	Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
	F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	of the Difference	
7	.909	.351	.381	21	.707	8.244	21.633	-36.745	53.232
			.420	16.763	.680	8.244	19.631	-33.219	49.707
Sig. < 0.05 ให้ดูค่า Sig. (2-tailed) ล่าง หมายถึง ความแปรปรวนของกลุ่มเท่ากัน									
Sig. > 0.05 ให้ดูค่า Sig. (2-tailed) บน หมายถึง ความแปรปรวนของกลุ่มไม่เท่ากัน									
Sig. (2-tailed) > 0.05 ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ									
Sig. (2-tailed) < 0.05 แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ									

ตารางที่ ง.5 ตารางข้อมูลการแจกแจงแบบทีเพื่อทดสอบความแตกต่างของกลุ่มอายุที่เป็นอิสระต่อกัน
ในเรื่องค่าเฉลี่ยความพึงพอใจของแต่ละหมายเลขข้อ

เปรียบเทียบกลุ่มอายุ 18-22 ปี และ 23-40 ปี									
Independent Samples Test									
	Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
	F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	of the Difference	
1	5.616	.026	-1.397	24	.175	-.381	.273	-.944	.182
			-1.452	21.629	.161	-.381	.262	-.926	.164
2	.685	.416	-.478	24	.637	-.179	.374	-.950	.593
			-.484	24.000	.633	-.179	.369	-.940	.583
3	1.492	.234	-1.545	24	.135	-.429	.277	-1.001	.144
			-1.600	22.203	.124	-.429	.268	-.984	.127
4	.330	.571	-.728	24	.474	-.238	.327	-.913	.437
			-.742	23.835	.465	-.238	.321	-.901	.424
Sig. < 0.05 ให้ดูค่า Sig. (2-tailed) ล่าง หมายถึง ความแปรปรวนของกลุ่มเท่ากัน									
Sig. > 0.05 ให้ดูค่า Sig. (2-tailed) บน หมายถึง ความแปรปรวนของกลุ่มไม่เท่ากัน									
Sig. (2-tailed) > 0.05 ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ									
Sig. (2-tailed) < 0.05 แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ									

ตารางที่ ง.6 ตารางข้อมูลการแจกแจงแบบทีเพื่อทดสอบความแตกต่างของกลุ่มอายุที่เป็นอิสระต่อกัน
ในเรื่องค่าเฉลี่ยเวลาของหมายเลขรูปแบบการทดสอบ 3

ตารางเปรียบเทียบใช้การตรวจจับและติดตามใบหน้าของกลุ่มอายุ 18-22 ปี และ 23-40 ปี									
Independent Samples Test									
ข้อ	Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
	F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	of the Difference	
3	.910	.351	.381	21	.707	1.17754	3.09083	-5.25020	7.60527
			.420	16.762	.680	1.17754	2.80481	-4.74650	7.10158
Sig. < 0.05 ให้ดูค่า Sig. (2-tailed) ล่าง หมายถึง ความแปรปรวนของกลุ่มเท่ากัน									
Sig. > 0.05 ให้ดูค่า Sig. (2-tailed) บน หมายถึง ความแปรปรวนของกลุ่มไม่เท่ากัน									
Sig. (2-tailed) > 0.05 ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ									
Sig. (2-tailed) < 0.05 แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ									

ตารางที่ ง.7 เปรียบเทียบความพึงพอใจของ ความง่ายต่อควบคุมหุ่นยนต์ด้วยปุ่มกดเสมือนบนสมาร์ทโฟนกับความง่ายต่อการควบคุมหุ่นยนต์ให้หันตามใบหน้าของแต่ละกลุ่มอายุ

ความง่ายต่อควบคุมหุ่นยนต์ด้วยปุ่มกดเสมือนบนสมาร์ทโฟน								
กับ								
ความง่ายต่อการควบคุมหุ่นยนต์ให้หันตามใบหน้า								
กลุ่มอายุ 18-22 ปี								
Paired Samples Test								
ชื่อ	Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	of the Difference				
				Lower	Upper			
Pair 1	.571	1.016	.272	-.015	1.158	2.104	13	.055
Pair 2	.429	1.089	.291	-.200	1.058	1.472	13	.165
Pair 3	-.429	1.016	.272	-1.015	.158	-1.578	13	.139
Pair 4	.143	1.167	.312	-.531	.817	.458	13	.655
กลุ่มอายุ 23-40 ปี								
Paired Samples Test								
ชื่อ	Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	of the Difference				
				Lower	Upper			
Pair 1	.083	.996	.288	-.550	.716	.290	11	.777
Pair 2	.333	.985	.284	-.292	.959	1.173	11	.266
Pair 3	-.667	.888	.256	-1.231	-.103	-2.602	11	.025
Pair 4	-.417	1.084	.313	-1.105	.272	-1.332	11	.210
Sig. (2-tailed) < 0.05 ยอมรับ H0 ไม่มีความแตกต่างกัน								
Sig. (2-tailed) < 0.05 ยอมรับ H1 มีความแตกต่างกัน								

ตารางที่ ง.8 เปรียบเทียบความพึงพอใจของ ความง่ายต่อการควบคุมหุ่นยนต์ด้วยการหันสมาร์ทโฟน กับ ความง่ายต่อการควบคุมหุ่นยนต์ให้หันตามใบหน้า ของแต่ละกลุ่มอายุ

ความง่ายต่อการควบคุมหุ่นยนต์ด้วยการหันสมาร์ทโฟน								
กับ								
ความง่ายต่อการควบคุมหุ่นยนต์ให้หันตามใบหน้า								
กลุ่มอายุ 18-22 ปี								
Paired Samples Test								
ชื่อ	Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	of the Difference				
				Lower	Upper			
Pair 1	.286	1.069	.286	-.332	.903	1.000	13	.336
Pair 2	-.071	1.072	.286	-.690	.547	-.249	13	.807
Pair 3	-.571	1.222	.327	-1.277	.134	-1.749	13	.104
Pair 4	.643	1.216	.325	-.059	1.345	1.979	13	.069
กลุ่มอายุ 23-40 ปี								
Paired Samples Test								
ชื่อ	Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	of the Difference				
				Lower	Upper			
Pair 1	-.083	1.084	.313	-.772	.605	-.266	11	.795
Pair 2	0.000	.739	.213	-.469	.469	0.000	11	1.000
Pair 3	-.417	.669	.193	-.841	.008	-2.159	11	.054
Pair 4	.167	1.030	.297	-.488	.821	.561	11	.586
Sig. (2-tailed) < 0.05 ยอมรับ H0 ไม่มีความแตกต่างกัน								
Sig. (2-tailed) < 0.05 ยอมรับ H1 มีความแตกต่างกัน								

ตารางที่ ง.9 ตารางข้อมูลการแจกแจงแบบทีเพื่อทดสอบความแตกต่างก่อนและหลังในเรื่องค่าเฉลี่ยความพึงพอใจของแต่ละหมายเลขข้อของกลุ่มอายุ 18-22 ปี

ตารางค่าความแตกต่างก่อนและหลังทำการทดลอง (Paired - Samples T Test) ของกลุ่มอายุ 18-22 ปี								
ข้อ	Mean	SD	SE Mean	95% Confidence		T	DF	Sig. (2-Tail)
				Lower	Upper			
1	0.000	1.301	0.348	-0.751	0.751	0.000	13	1.000
2	-0.357	1.082	0.289	-0.982	0.267	-1.235	13	0.239
3	-0.571	1.089	0.291	-1.200	0.058	-1.963	13	0.071
4	-0.500	0.855	0.228	-0.994	-0.006	-2.188	13	0.047
5	-0.357	1.082	0.289	-0.982	0.267	-1.235	13	0.239
6	0.000	1.038	0.277	-0.599	0.599	0.000	13	1.000
7	-0.286	0.994	0.266	-0.860	0.288	-1.075	13	0.302

Sig. (P-Value) > 0.05 ถือว่ายอมรับ H0 ว่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ
 Sig. (P-Value) < 0.05 ถือว่าปฏิเสธ H0 ว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

ตารางที่ ง.10 ตารางข้อมูลการแจกแจงแบบทีเพื่อทดสอบความแตกต่างก่อนและหลังในเรื่องค่าเฉลี่ยความพึงพอใจของแต่ละหมายเลขข้อของกลุ่มอายุ 23-40 ปี

ตารางค่าความแตกต่างก่อนและหลังทำการทดลอง (Paired - Samples T Test) ของกลุ่มอายุ 23-40 ปี								
ข้อ	Mean	SD	SE Mean	95% Confidence		T	DF	Sig. (2-Tail)
				Lower	Upper			
1	-0.500	1.000	0.289	-1.135	0.135	-1.732	11	0.111
2	-0.250	0.754	0.218	-0.729	0.229	-1.149	11	0.275
3	-0.667	1.073	0.310	-1.348	0.015	-2.152	11	0.054
4	-0.667	0.888	0.256	-1.231	-0.103	-2.602	11	0.025
5	-0.417	0.996	0.288	-1.050	0.216	-1.449	11	0.175
6	-0.250	0.965	0.279	-0.863	0.363	-0.897	11	0.389
7	-0.083	0.996	0.288	-0.716	0.550	-0.290	11	0.777

Sig. (P-Value) > 0.05 ถือว่ายอมรับ H0 ว่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ
 Sig. (P-Value) < 0.05 ถือว่าปฏิเสธ H0 ว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

ตารางที่ ง.11 ตารางข้อมูลการแจกแจงแบบทีเพื่อทดสอบความแตกต่างของกลุ่มอายุที่เป็นอิสระต่อกันในเรื่องค่าเฉลี่ยเวลาของแต่ละหมายเลขการทดสอบของก่อนทำการทดลอง

ตารางค่าความแตกต่างก่อนทำการทดลอง (Paired - Samples t Test) ของกลุ่มอายุ 18-22 ปี และ 23-40 ปี									
Independent Samples Test									
ข้อ	Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
	F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	of the Difference	
								Lower	Upper
1	.117	.736	.365	24	.719	.119	.326	-.555	.793
			.364	23.309	.719	.119	.327	-.556	.794
2	1.937	.177	-.522	24	.606	-.202	.387	-1.002	.597
			-.537	23.241	.597	-.202	.377	-.982	.577
3	3.802	.063	-.833	24	.413	-.298	.357	-1.035	.439
			-.863	22.126	.397	-.298	.345	-1.012	.417
4	.573	.456	-.494	24	.626	-.167	.338	-.863	.530
			-.505	23.611	.618	-.167	.330	-.848	.515
5	2.044	.166	-.639	24	.529	-.250	.391	-1.058	.558
			-.660	22.506	.516	-.250	.379	-1.035	.535
6	.169	.685	-.889	24	.383	-.250	.281	-.830	.330
			-.906	23.879	.374	-.250	.276	-.820	.320
7	3.664	.068	-.892	24	.381	-.298	.334	-.986	.391
			-.918	22.997	.368	-.298	.324	-.968	.373

Sig. < 0.05 ให้ดูค่า Sig. (2-tailed) ล่าง หมายถึง ความแปรปรวนของกลุ่มเท่ากัน
 Sig. > 0.05 ให้ดูค่า Sig. (2-tailed) บน หมายถึง ความแปรปรวนของกลุ่มไม่เท่ากัน

Sig. (2-tailed) > 0.05 ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ
 Sig. (2-tailed) < 0.05 แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

ตารางที่ ง.12 ตารางข้อมูลการแจกแจงแบบทีเพื่อทดสอบความแตกต่างของกลุ่มอายุที่เป็นอิสระต่อกันในเรื่องค่าเฉลี่ยเวลาของแต่ละหมายเลขการทดสอบ ของหลังทำการทดลอง

ตารางค่าความแตกต่างก่อนทำการทดลอง (Paired - Samples t Test) ของกลุ่มอายุ 18-22 ปี และ 23-40 ปี									
Independent Samples Test									
ข้อ	Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
	F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	of the Difference	
								Lower	Upper
1	.117	.736	.365	24	.719	.119	.326	-.555	.793
			.364	23.309	.719	.119	.327	-.556	.794
2	1.937	.177	-.522	24	.606	-.202	.387	-1.002	.597
			-.537	23.241	.597	-.202	.377	-.982	.577
3	3.802	.063	-.833	24	.413	-.298	.357	-1.035	.439
			-.863	22.126	.397	-.298	.345	-1.012	.417
4	.573	.456	-.494	24	.626	-.167	.338	-.863	.530
			-.505	23.611	.618	-.167	.330	-.848	.515
5	2.044	.166	-.639	24	.529	-.250	.391	-1.058	.558
			-.660	22.506	.516	-.250	.379	-1.035	.535
6	.169	.685	-.889	24	.383	-.250	.281	-.830	.330
			-.906	23.879	.374	-.250	.276	-.820	.320
7	3.664	.068	-.892	24	.381	-.298	.334	-.986	.391
			-.918	22.997	.368	-.298	.324	-.968	.373

Sig. < 0.05 ให้ดูค่า Sig. (2-tailed) ล่าง หมายถึง ความแปรปรวนของกลุ่มเท่ากัน
 Sig. > 0.05 ให้ดูค่า Sig. (2-tailed) บน หมายถึง ความแปรปรวนของกลุ่มไม่เท่ากัน

Sig. (2-tailed) > 0.05 ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ
 Sig. (2-tailed) < 0.05 แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

ตารางที่ ง.13 ตารางข้อมูลการแจกแจงแบบทีเพื่อทดสอบความแตกต่างของกลุ่มอายุที่เป็นอิสระต่อกันในเรื่องค่าเฉลี่ยความพึงพอใจของแต่ละหมายเลขการทดสอบ ของการยอมรับทางด้านคุณภาพของภาพและเสียงของหุ่นยนต์

เปรียบเทียบกลุ่มอายุ 18-22 ปี และ 23-40 ปี									
Independent Samples Test									
ข้อ	Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
	F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	of the Difference	
								Lower	Upper
1	.032	.859	-2.955	24	.007	-.774	.262	-1.314	-.233
			-2.953	23.332	.007	-.774	.262	-1.315	-.232
2	.001	.972	-2.223	24	.036	-.619	.278	-1.194	-.044
			-2.219	23.191	.037	-.619	.279	-1.196	-.042
3	2.227	.149	-.728	24	.474	-.238	.327	-.913	.437
			-.742	23.835	.465	-.238	.321	-.901	.424
4	1.142	.296	-1.163	24	.256	-.286	.246	-.793	.221
			-1.149	21.897	.263	-.286	.249	-.801	.230
5	.847	.367	-3.175	24	.004	-.905	.285	-1.493	-.317
			-3.100	19.975	.006	-.905	.292	-1.514	-.296
6	1.250	.275	-1.614	24	.120	-.560	.347	-1.275	.156
			-1.582	20.589	.129	-.560	.354	-1.296	.177
7	2.671	.115	-1.202	24	.241	-.405	.337	-1.100	.290
			-1.174	20.042	.254	-.405	.345	-1.124	.314

Sig. < 0.05 ให้ดูค่า Sig. (2-tailed) ล่าง หมายถึง ความแปรปรวนของกลุ่มเท่ากัน
 Sig. > 0.05 ให้ดูค่า Sig. (2-tailed) บน หมายถึง ความแปรปรวนของกลุ่มไม่เท่ากัน

Sig. (2-tailed) > 0.05 ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ
 Sig. (2-tailed) < 0.05 แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

ตารางที่ ง.14 ตารางข้อมูลการแจกแจงแบบทีเพื่อทดสอบความแตกต่างของกลุ่มอายุที่เป็นอิสระต่อกันในเรื่องค่าเฉลี่ยความพึงพอใจของแต่ละหมายเลขการทดสอบ ของการไว้ใจต่อการใช้งานหุ่นยนต์ผ่านเครือข่ายส่วนตัวเสมือน

เปรียบเทียบกลุ่มอายุ 18-22 ปี และ 23-40 ปี									
Independent Samples Test									
ข้อ	Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
	F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	of the Difference	
								Lower	Upper
1	1.911	.180	-2.317	24	.029	-.571	.247	-1.080	-.063
			-2.330	23.800	.029	-.571	.245	-1.078	-.065
2	.014	.907	-2.225	24	.036	-.595	.267	-1.147	-.043
			-2.207	22.433	.038	-.595	.270	-1.154	-.036
3	.001	.972	-2.223	24	.036	-.619	.278	-1.194	-.044
			-2.219	23.191	.037	-.619	.279	-1.196	-.042
4	.126	.726	-2.735	24	.012	-.690	.252	-1.211	-.170
			-2.729	23.175	.012	-.690	.253	-1.214	-.167

Sig. < 0.05 ให้ดูค่า Sig. (2-tailed) ล่าง หมายถึง ความแปรปรวนของกลุ่มเท่ากัน
 Sig. > 0.05 ให้ดูค่า Sig. (2-tailed) บน หมายถึง ความแปรปรวนของกลุ่มไม่เท่ากัน

Sig. (2-tailed) > 0.05 ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ
 Sig. (2-tailed) < 0.05 แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

ภาคผนวก จ

เอกสารงานวิจัยการเร่งประสิทธิภาพการตรวจจับใบหน้าของหุ่นยนต์แทนตัว
ทางไกลด้วยราสเบอร์รี่ไพ

Accelerating Real-time Face Detection on a Raspberry Pi Telepresence Robot

Krit Janard and Worawan Marurngsith

Department of Computer Science
Thammasat University
Pathum Thani, Thailand

Abstract— Effective face detection in real-time is an essential procedure for achieving autonomous motion in telepresence robots. Since the procedure demand high computation power, using it to create autonomous motion in low-cost robots is a challenge. This paper addresses this issue and making three contributions. First, the process to enabling the real-time face detection on Raspberry Pi's graphical processor is presented. Second, the development of an autonomous pan-tilt telepresence robot to follow an interlocutor face using two Raspberry Pi-1 model B is demonstrated. Third, the evaluation on resource requirements when operating the robot in various scenarios is described. The face detection module ran in average at 16.7 Quarter VGA frames per second, while mediating real-time video conversation remotely between two parties. The results confirmed that vision-based autonomous motion can be added to a low-cost telepresence robots with acceptable performance. Thus, making secure telecommunication via robots is viable with less budget constraint.

Index Terms—Face detection, LBP, robot, Raspberry Pi, GPU.

I. INTRODUCTION

Telepresence robot is an invention for making users feel as if they were in two places at the same time. The user controlled his/her avatar robot remotely, while being in another place. Telepresence robots equipped with video conferencing module. Thus, the user can interact with his/her interlocutor at the robot site. Various types of telepresence robots are available for commercial, in both mobile and desktop features. Apart from using as a tool for scientific discovery in unmanned area, telepresence robot usage has gained advantage over video conferencing in wide range of applications *e.g.* for research, elderly health care, office, school and general purpose uses [1]. The usage of telepresence robots are still limited as commercial robots are not affordable. Emerging of the ultra-low cost computer for education [2], the Raspberry Pi (RP), has brought attention on telepresence robot research. As the RP computer is a platform aimed for teaching computer component in the DIY fashion, it has a limited computation power. A research on telepresence robot has used the RP computer for controlling the robot motion and offloaded some computation on the Cloud [3]. Using this technique, the robot has been equipped with some autonomous features like following an interlocutor face.

Real-time face detection is a key step in controlling the pan and tilt unit (PTU) of telepresence robots to automatically follow the face of an interlocutor. By doing so, the robot autonomy is enhanced; and it could be extended to maintain eye contact with the interlocutor. Several research have shown that this feature increases users' satisfaction when using telepresence robots in office environment [4-6]. Some research has proposed techniques to add more user interaction capabilities to the robot using the Kinect camera, *e.g.* implementing motion tracking and image-based face tracking [5]; having gesture based recognition [6]. The key success factor for face tracking and face recognition tasks in the robots is the effective face detection technique used in real-time.

Several real-time face detection techniques have been used in high performance telepresence robots [1, 7], but has not been mentioned in a robot using pure RP computers. Tripathy and Daschoudhury [8] presented a technique for face tracking using the Haar classifier on the graphical processors (GPU) of the RP computer. Bilaniuk et al. [9] has shown that the face detection can run at 5 VGA frames per second when highly parallelized the Local Binary Pattern (LBP) technique on an embedded SIMD architecture with low power consumption. Experiments from various algorithms on the RP computer confirmed the effective of LBP [10]. A research has shown that different applications can be accelerated by offloading to the GPU of a RP computer [11]. Existing research have confirmed the feasibility to implement effective real-time face detection on the RP computer. However, to use the face detection for moving the PTU of a pure RP telepresence robot to follow a face is still a challenge.

This paper presents a technique to enable the real time face detection on the RP's GPU and using the result to control the PTU of a pure RP telepresence robot. The robot is connected remotely with its user using a client application on Android smartphone. The user can set the robot to follow a face of the interlocutor who stay at the robot site; or manually control the PTU of the robot by turning or rotating the smartphone. The robot mediates a real-time video conference between the two parties. For this, the proposed robot uses two RP computers model 1B as the main processors. The paper presents the key concepts used for implementing the robot and makes three contributions.

- 1) A pipelined technique used for accelerating the real-time face detection on the RP's GPU is presented (Section II).

The technique uses Local Binary Pattern (LBP) algorithm available in the OpenCV library, which achieved 16.7 Quarter VGA (QVGA) frames per second (Section IV).

- 2) The integration of the face-detection technique to allow the head of a telepresence robot to follow an interlocutor face is demonstrated (Section III).
- 3) The evaluation on resource requirements when operating the robot in various scenarios is described (Section IV).

The experimental results show that the proposed face detection and following techniques used in the robot requires only 10 percent more memory, approximately 10 MB, in comparing to operating the robot in the normal mode. The results also highlighted that using the ServoBlaster library to control the PTU of the robot increased more than 10 percent of CPU resource and only achieve 15 QVGA frames per second speed. Thus, different hardware should be used. For all testing scenarios, the robot can follow a face of the interlocutor at real time (16.7 QVGA frames per second in average), while mediating real-time video conversation remotely. Thus, vision-based autonomous motion can be added to a pure RP telepresence robot with acceptable performance.

II. REAL-TIME FACE DETECTION ON RP-1B COMPUTER

Real-time face detection has been implemented on a telepresence robot which has two RP computers, model 1B. As shown in Fig.1, the face detection module is allocated on the RP#1 computer, while the real-time video conferencing is handled by the RP#2 computer. The robot has two camera, *i.e.*, the RP camera module for face detection and the webcam for video conferencing. Existing research has shown the benefits of using LBP algorithms and offloading the face detection to the RP's GPU. Thus, the LBP algorithm from the Open Source Computer Vision (OpenCV) library has been used for face detection. To offload the computation of the face detection process to the CPU, the multi-media abstraction layer (MMAL) application program interface is used.

A. Face Detection Technique

Baseline face detection techniques used in telepresence robots are the Viola-Jones detector, Haar classifier and LBP [12]. In this work, the LBP algorithm is used as research confirm its advantage of speed over the other two techniques. Despite, the correctness of results depending on the effects of illumination. The LBP is used for measuring local image contrast. The whole image is broken into small parts called integral image, which is normally 3x3 pixels. First, a binary threshold window of 3x3 pixel is calculated for each integral image. The value of the center pixel is compare with all eight neighbors. If the value in the neighbors' pixel is greater than or equal to the center pixel, the threshold bit at is set to 1; otherwise is set to 0. Second, the 3x3 threshold windows is multiplied with the 3x3 weighted window, resulting the weighted threshold 3x3 windows. The weighted window is normally two power by the position of the neighbors. Third the LBP value, the value of the central pixel, is calculated by the summation of the neighbors' weighted threshold value.

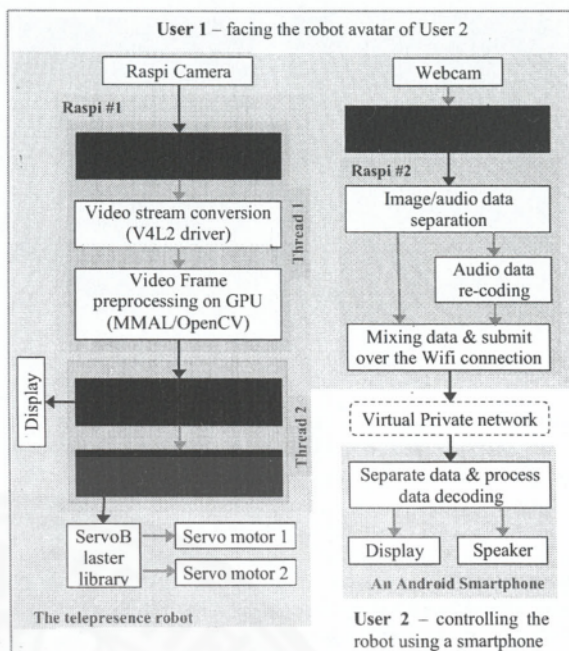


Fig. 1 Process of the real-time face detection model and the real-time video communication with the connected smartphones.

B. Real-time Face Detection Pipelining on Raspberry Pi

Implementation of the LBP algorithm is available in OpenCV. To accelerate the face detection process in the GPU of the RP computer, the pipelined implementation has been used. As shown in Fig. 1 (left), the face detection was implemented in two asynchronous threads, using the MMAL API. The first thread is responsible for obtaining and preprocessing image frame obtained from the RP camera module. Once an image frame is ready the callback function to perform face detection is signaled. The second thread implements this callback function, which is responsible for calling the LBP algorithm and calculating the motor position. The second thread interfaces with the display to show the face detected (if mirroring mode is set). It also interfaces with the ServoBlaster library to pass the x and y position to the corresponding servo motors attached in the PTU.

OpenCV has a set of pretrained object-recognition files which can be used for detecting objects which has consistent texture. A set of frontal face models from these pretrained objects are used to train the face detection module by specifying the corresponding *xml* file. Thus, prior to running the robot, thirty pretrained faces were used to calibrate the face detection process.

It is important to note that the RP camera module used in the robot has been set to support only the gray scale image. The default QVGA video frame size (320x240) is chosen. Two level of frame speed *i.e.*, 15 frames per second (fps) and 30 fps are used to exercise the robot. It is possible to configure the video frame size to VGA (640x480). However, testing on the VGA frame size is not yet covered in this initial stage.

TABLE I. SPECIFICATION OF THE ROBOT

Physical Specifications	
Pan and Tilt	5Kg-cm Max Torque, Up to 0.21 second per 60 degree Max Speed
Maximum Degree	180 degree Pan, 180 degree (lock for safety at 120) Tilt
Computer and Display	
Processor	Raspberry Pi 1 model B Broadcom BCM2835 SoC 800MHz (OC) single-core
Memory	512MB, 8GB SD Card Class 10
GPU	Broadcom VideoCore IV
Screen	5 inch screen with 720x480 max resolution
Face Detection Camera	
Resolution	1440x1080 max, 640x480, 320x240 effective
Frame Rate	30 fps max, 25 fps effective
54 degree Angle of View, 1 m. to infinity Focus Length	
Streaming Camera	
Resolution	640x480 max, 640x480, 320x240 effective
Frame Rate	30 fps max and effective
Angle of View	58 degree
Focus Length	1m to infinity
Servo Controller	ATmega32u4 or ATmega328
Microphone Type	Mono
Electrical Specifications	
Power Input	100-250VAC 47-63Hz
Input leakage current	<0.7mA / 220VAC
Line regulation (full load)	+0.5%
Output Power	50W
Output Voltage 1	12VDC 2A +10%
Output Voltage 2	5VDC 4A +0.5%
Efficiency	>85%

III. AUTONOMOUS PAN-TILT TELEPRESENCE ROBOT

The real-time face detection unit has been added to the development of a telepresence robot. This is to allow the robot to have autonomous PTU to follow the interlocutor face. The robot consists of a monitor, a web cam, an RP camera module, a ServoBlaster library and two servo motors, a power supply (as the prototype shown in Fig.2). As described in Section II, two RP computers model 1B have been used for processing the face detection and video conferencing. The specification of the robot is listed in Table 1. The total cost of the robot prototype is approximately 550 USD as of today currency value. For safety reason, the robot will be packaged using Acrylic cover which push the cost up to 600 USD.

A. Mode of operations

As shown in Fig. 2, the robot is built for facilitating the real-time video conferencing between two users. The first user (User1 in the figure) stays at the robot site and interacts with the robot. The second user (User 2, at the bottom of the Fig.2)

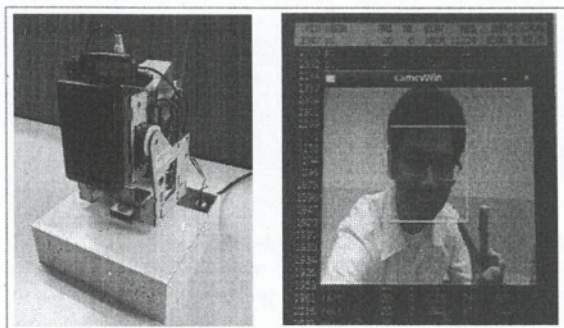


Fig. 2 The telepresence robot (left) prototype of the robot hardware design (right) the robot's screen when testing face detection module.

remotely connects to the robot and takes control of the robot by using an application provided for any Android smartphone. User 2 can configure the robot as his/her avatar using the following configurations.

Freeze: the robot has no movement.

Manual control: the robot is controlled remotely by User 2 moving his/her mobile phone. In this mode the Android application detect the movement of the mobile phone by using the data from accelerometer and gyroscope sensors. The offset position is calculated and transferred back to the robot. Note that the RP#2 computer is also connected to the ServoBlaster library to control the PTU.

Autonomous Face following: this mode is used to allow the robot to move the PTU autonomously to follow a face. When using this mode, the robot will first detect a face at the center of the screen. Then the face detection is calculated in every second to detect whether the face has moved. This step is done by keeping the current frame with face position resulting from the LBP algorithm. At every second, the new frame is used to calculate LBP value; and the results are compared with the current frame and face position value. If a face has been detected, and moved, the displacement of the x and y axis are calculated. These result are then mapped back to the absolute position of the motor, and send to the ServoBlaster library. If the no face has been detected in the current frame but a face is detected later on, the motor position is used to calculate the offset with the new face frame. The new x, y values are calculated to keep the face frame in the middle of the QVGA frame. The updated x and y values are sent to the ServoBlaster library to move the PTU.

B. Video conferencing interface with Android smartphone

As shown in Fig.2 (right), the connection between the Android smartphone is done by the virtual private network (VPN) connection initiated by the application in Android, to the port listened by the second RP computer in the robot. Once the connection established, two sets of connections are done concurrently. First, the manual control of the robot PTU is done as a background process by using AsyncTask, an asynchronous lightweight thread. Second, the web cam is interface is done in foreground. The PTU position controlled is described earlier in the manual control mode.

As the web cam is connected via a USB port, the video and audio signal received has been processed by the webcam to the mixed video and audio data. This mixed data comprises the compressed video data using H.264 encoding and the compressed audio data using AAC encoding. Once the mixed data arrived at the RP computer, the data is preprocessed into the size and format that is suitable to display on the smart phone camera. First, the mixed data is separated back into the compressed video and compressed audio stream. The audio stream is decoded (using AAC decoding) and then encoded again using the Android specific audio compression. The recoding audio data is mixed with the compressed video data; and sent over the VPN. The Android application received the mixed compressed data and separate it back to video and audio stream. Both stream are decoded and send to the display and speaker. On the way back from the smart phone to the robot, the process is reverted. Thus, this video conferencing process is going on during until User 2 stops the communication and frees the robot.

IV. EVALUATION AND DISCUSSION

The real-time face detection for adding face following feature in the pure RP robot has been evaluated by measuring the resource requirements. These include the memory usage, the CPU load, and the maximum send/receive bandwidth. The aim of the evaluation is to quantify the computation resources spent on face detection and observe the interference to the real time video conferencing module.

A. Experimental Method

Experiments have been done in four steps. First, the baseline resource requirement is measured while the robot is idle for ten minutes. The amount of memory usage and buffered, the percentage of CPU time, and send/receive bandwidth were collected. The collected data are summarized using the arithmetic mean (average). The baseline resource requirement is presented in Table II.

Second, the resource requirement during the robot is used for video conferencing and controlled manually is measured. The robot were used to communicate in using three content delivery modes *i.e.*, the audio only, the video only and the video and audio mode, without having PTU movement. As mention earlier, the audio quality used in the robot is 16-bit mono. The video quality can be adjusted using 15 fps or 30 fps, for each frame being a gray-scale QVGA size. When the audio and video content mode is used, the robot resource requirement at 15 fps frame rate is also measured when the manual PTU movement is activated *i.e.*, the ServoBlaster library was controlled by a remote user via smartphone. Raw data are collected in ten-minute time frame with three repeated run, sampling every 5 seconds; and are averaged. The results presented are the ratio between resource requirements during the video conferencing and the baseline (Fig. 3 – 5).

TABLE II. RESOURCE CONSUMPTION OF THE ROBOT IN TWO MODES

Mode of operations	Memory (MB) total 1 GB		CPU Time (percent)		Bandwidth Byte/sec (Bps)	
	Use	Buff	User	Sys	Send	Receive
Manual Control	74.5	31.8	12.4	35.3	2,769.2	1,649.6
Idle - baseline	72.5	31.5	4.9	7.5	695.2	244.5
Inc. Req. Ratio	2.8%	1.0%	2.5	4.7	4	6.7

Third, the resource requirement during the autonomous face following feature is turn on, while the video conferencing is ongoing. The robot were used to communicate in three scenario *i.e.*, when it is (1) idle, when it perform autonomous face following while users (2) using video with mute and (3) using both video and audio. Collected resource are summarized against the baseline resource requirements, in the same way they were done in the second step (Fig. 6 – 8).

Fourth, the detailed performance of the face detection module is captured. The RP camera module was set to its maximum capability capturing video at 30 fps. The number of frame produced, the detection outcome, and the CPU loads is measured. Raw data are collected in ten-minute time frame with three repeated run, sampling every 5 seconds; and are averaged. The amount of frames was calculated per second, and the CPU load was calculated into percentage of overall CPU time. The results is shown in Table III.

Note that all measurement of memory and CPU time shown the resource used two RP computers. In this case, the memory usage was aggregated, and the parallel CPU time was measured using both RP computers.

B. Results

The baseline resource requirement, when the robot is idle, is shown in the highlighted row in Table II. In average, only 7 percent and 3 percent of internal memory was used and buffered¹. The total CPU load in both user time (the time spent on executing the robot controlled program) and system time (the time spent on running operation system and services) was 12.4 percent. As the robot is connected with a remote user mobile phone, small amount of signal was exchanging to establish and keeping the connection. Because sending and receiving are not happen at the same time, in average the overall bandwidth required was dominated by the sending bandwidth of about 700 Bps. To quantify the increasing of resource requirements when operating the robot remotely, the ratio of increasing resource requirement with reference to baseline is calculated (the Inc. Req. Ratio row in Table II). The robot was controlled manually, and the resource requirement was collected. It was observed that in this situation, the increasing of memory requirement was not significant. The increasing of CPU loads and required bandwidth were 7.3 and 10.7 times with reference to the baseline. The manual control used nearly 48 percent of CPU time and required nearly 3KBps bandwidth.

¹ The 214 MB internal memory was cached in all experiments.

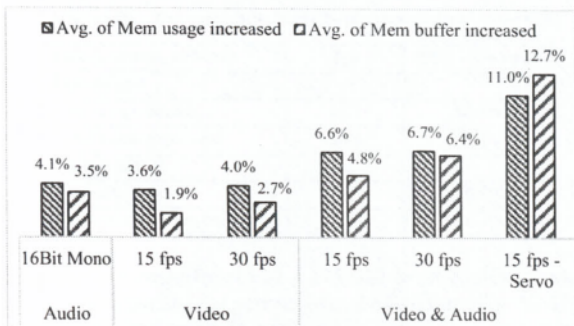


Fig. 3 Increased memory requirement for broadcasting different modes of content with reference to the baseline.

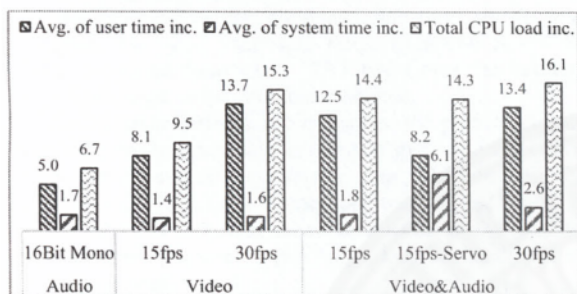


Fig. 4 Increased CPU loads for video conferencing only and with manual movement (Servo) (value shown in times higher than the baseline).

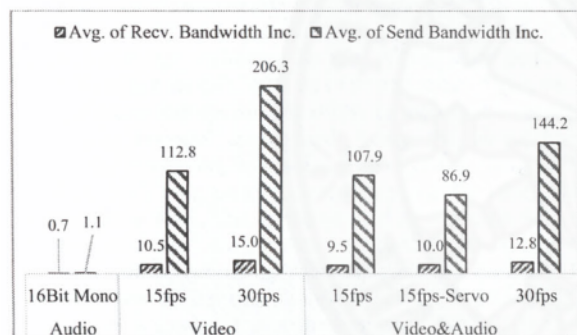


Fig. 5 Increased bandwidth requirement for video conferencing only and with manual movement (Servo) (times higher than the baseline).

The second step of the experiment is to quantify the increased resource requirement reference with the baseline while using manual controlled mode during video conferencing. The results of memory requirement (Fig.3) show that when no robot motion, 108 - 111 MB internal memory is required, ranging from 5.5 - 13.1 percent increase over the baseline (with 0.03 standard deviation). More memory is required for manually controlled the robot (Fig.3 15 fps-servo). The required CPU loads when no robot movement range from 38 - 86 percent of total CPU time, increase from 6.7 - 15.3 times over the baseline (Fig. 4). The user time dominates the CPU load; and is clearly increased when setting more fps at the web cam. More system time and CPU load required when manually controlled the robot with

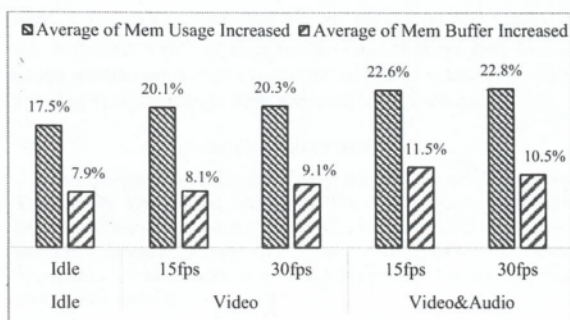


Fig. 6 Increased memory requirement when using face following during the video conference with different modes of content (reference with baseline).

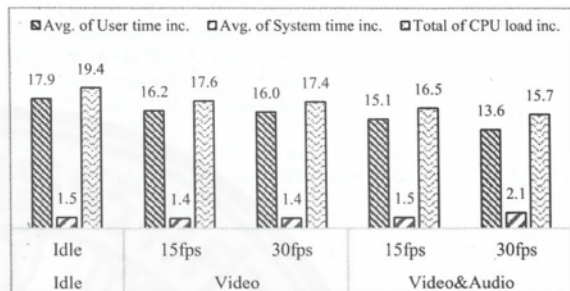


Fig. 7 Increased CPU loads when using face following during a video conference (value shown in times higher than the baseline).

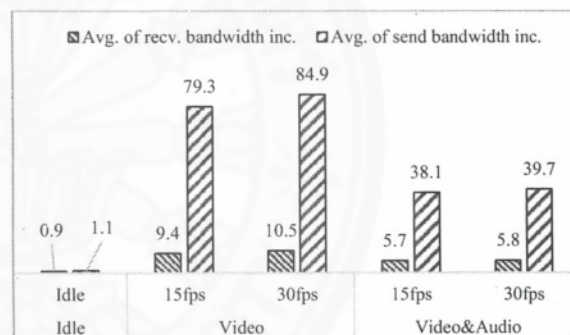


Fig. 8 Increased bandwidth requirement when using face following during a video conference (value shown in times higher than the baseline).

the ServoBlaster library. However, the overall CPU load is the same as when using full video conference at 15 fps with still robot. The bandwidth requirement was dominated by sending, and shown high variation. The send bandwidth range from 751 Bps - 143.4 KBps, increased from 112.8 - 206.3 times over the baseline (Fig. 5). However, the manually controlled robot show surprisingly low bandwidth used. This is because the RP#2 computer was busy with connection from the mobile phone. Thus, the less time spent on processing the video signals and sending data causes less bandwidth used.

The third step of the experiment quantified the resource requirement while the autonomous face following feature is turn on, during a video conference session. The memory

TABLE III. PERFORMANCE AND CPU USAGE OF FACE DETECTION

Face detection outcome	fps	User time ratio
Face Found		
Moving detected	16.7	86.7%
No moving detected	14.9	87.1%
No face found		
Moving detected	17.7	86.9%
No moving detected	17.5	86.7%

requirement range from 120 – 125 MB in all content mode, increased from 25 – 34 percent over the baseline (Fig. 6). The CPU load was push to peak when using face following feature, increased quite stably from 15.7 – 19.4 times over the baseline (Fig. 7). Similar to the second experimental step, the sending bandwidth was dominate, however, shown less variation. The send bandwidth range from 760 Bps – 56 KBps, increased from 43.8 – 95.5 times over the baseline (Fig. 8) during a video conference session.

The last experimental step quantified the performance of the face detection technique in terms of speed and CPU load. Table III shows that, on average, face detection ran 16.7 Quarter VGA (QVGA) frames per second and used 87 percent of CPU time. The worst case scenario for real-time face detection occurred when target face is found, but no moving detected.

V. DISCUSSION

The internal memory of two RP computers (1GB in total) is enough for all telepresence robot operations including the autonomous face following feature. Adding face detection module pushes the CPU load up to its maximum. Thus, when adding a new feature, like mobility, to the robot a separate processing resource is required. Using the ServoBlaster library for interfacing with servo motors added overhead on the CPU load, thus, causing slower response from the robot. In the future work, this hardware will be replaced with an Arduino controller. A clear pattern of bandwidth requirement has not yet found using this experimental design. The maximum bandwidth used in this experiment is 143.4 KBps, or 206 times increased over the baseline. Thus, all findings suggested that the proposed face detection technique has reach the maximum usage of computation resource on RP computer model 1B. To achieve a low-cost autonomous telepresence robot, the stable and high speed communication bandwidth and the separation on CPU loads using task parallelism are the key design factors.

VI. CONCLUSION

This paper presents a technique to enable real-time face detection on the RP's GPU for making autonomous face following in an affordable, pure RP telepresence robot. The design of the remote steering technique by using a dedicated RP computer to support the real-time video conference has been described. The proposed techniques have been evaluated by measuring the memory, processing time, and bandwidth requirements. The results showed that the proposed face detection implementation exploited full CPU loads with little

extra memory required, and has no impact on the quality of the real-time video conferencing. This showed that vision-based autonomous motion can be added to a low-cost, pure RP telepresence robots with acceptable performance.

ACKNOWLEDGMENT

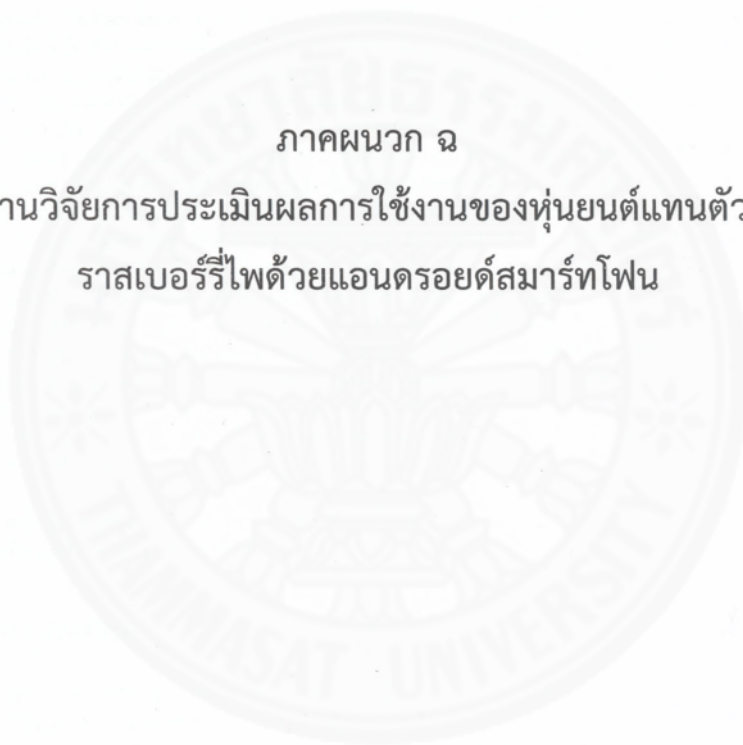
This project has been funded by the Faculty of Science and Technology, Thammasat University. We would like to thank Asst. Prof. Dr. Chaiporn Jaikao, Asst. Prof. Dr. Saowaluk Watanapa and Dr. Pakorn Leesutthipornchai for valuable comments and discussion. We thanks the discussion and lesson learned on the Raspberry Pi community website.

REFERENCES

- [1] A. Kristofferson, S. Coradeschi, and A. Loutfi, "A review of mobile robotic telepresence," *Adv. in Hum.-Comp. Int.*, vol. 2013, pp. 3-3, 2013.
- [2] R. Heeks and A. Robinson, "Ultra-low-cost computing and developing countries: Raspberry Pi and its potential in the "global South"," *Communications of the ACM*, vol. 56, pp. 22-24, 2013.
- [3] S. S. Prabha, A. J. P. Antony, M. J. Meena, and S. R. Pandian, "Smart cloud robot using raspberry Pi," in *the ICRTIT 2014*, 2014.
- [4] L. Riano, C. Burbridge, and T. M. McGinnity, "A Study of Enhanced Robot Autonomy in Telepresence," presented at the The 22nd Irish Conference on Artificial Intelligence and Cognitive Systems (AICS), 2011.
- [5] R. Berri, D. Wolf, and F. Osorio, "Telepresence Robot with Image-Based Face Tracking and 3D Perception with Human Gesture Interface Using Kinect Sensor," in *Robotics: SBR LARS Robocontrol*, 2014, pp. 205-210.
- [6] T. Keng Peng, Y. Rui, C. Yuanwei, H. Zhiyong, and S. Liemhetcharat, "Gesture-based attention direction for a telepresence robot: Design and experimental study," in *Intelligent Robots and Systems*, 2014, pp. 4090-4095.
- [7] K. Tsui, A. Norton, D. Brooks, E. McCann, M. Medvedev, J. Allspaw, et al., "Iterative design of a semi-autonomous social telepresence robot research platform: a chronology," *Intelligent Service Robotics*, vol. 7, pp. 103-119, 2014.
- [8] R. Tripathy and R. N. Daschoudhury, "Real-time Face Detection and Tracking Using Haar Classifier on Soc," *International Journal of Electronics and Computer Science Engineering*, vol. 3, pp. 175-184, 2012.
- [9] O. Bilaniuk, E. Fazl-Ersi, R. Laganieri, C. Xu, D. Laroche, and C. Moulder, "Fast LBP Face Detection on Low-Power SIMD Architectures," in *Computer Vision and Pattern Recognition Workshops (CVPRW)*, 2014 IEEE Conference on, 2014, pp. 630-636.
- [10] S. Fernandes and J. Bala, "Low Power Affordable and Efficient Face Detection in the Presence of Various Noises and Blurring Effects on a Single-Board Computer," in *Proceedings of the 49th Annual Convention of the Computer Society of India (CSI) Volume 1*, vol. 337, 2015, pp. 119-127.
- [11] S. Sabarinath, R. Shyam, C. Aneesh, R. Gandhiraj, and K. P. Soman, "Accelerated FFT computation for GNU radio using GPU of raspberry Pi," in *Smart Innovation, Systems and Technologies* vol. 32, 2015, pp. 657-664.
- [12] T. Ojala, M. Pietikäinen, and D. Harwood, "A comparative study of texture measures with classification based on featured distributions," *Pattern Recognition*, vol. 29, pp. 51-59, 1/ 1996.

ภาคผนวก ฉ

เอกสารงานวิจัยการประเมินผลการใช้งานของหุ่นยนต์แทนตัวทางไกล
ราสเบอร์รี่ไพต์ด้วยแอนดรอยด์สมาร์ตโฟน



Usability Evaluation of a Raspberry-Pi Telepresence Robot Controlled by Android Smartphones

Krit Janard and Worawan Marurngsith

Department of Computer Science, Faculty of Science and Technology
Thammasat University, Pathum Thani 12120, Thailand

Abstract. Telepresence robots in static pan-tilt form can be a viable and affordable choice for tele-education. However, cost considerations may impose limitations on usability and expected performance. The goal of this study was to explore the usability of a low-cost, static pan-tilt telepresence robot operated using an Android smartphone. Experiments were carried out with 26 participants from two age groups (14 students $M=20$ years, 12 staff $M=25$ years) in a laboratory. Each participant interacted with the robot to perform two tasks. The opinions of the participants pre- and post-experiments, and the time they took to complete the tasks, were recorded. The results show that the average latency (of 3.1 ± 0.8 seconds for one robot movement) is quite acceptable. The students were faster than the staff when controlling the robot remotely but slower when working at the robot site. Correlation analysis shows that confidence in the robot and the likelihood of adoption is strongly related to data privacy features. All the methods used to control the robot remotely show positive interaction to each other. This implies that the majority of participants were focussed on the control methods and data privacy provided in the robot platform, and were willing to accept a small delay in robot movement.

Keywords: Usability Testing, Performance Evaluation, Telepresence Robot, Raspberry Pi, Higher Education

1 Introduction

Telepresence robots already play a large role in telemedicine, tele-education and remote offices for enterprises, as they allow users to have ad-hoc verbal communication in a remote, restricted, underserved or dangerous area. Telepresence robots have been successfully used to extend accessibility to remote education around the world [1-6]. Some common uses are allowing students with special needs to attend classes and to perform laboratory experiments remotely, allowing remote teachers to give lectures to underserved or restricted areas, and conducting field trips (as reviewed in [7, 8]). Despite their broad range of applications, commercial robots are not affordable for many institutions. Thus, several affordable robots based on Raspberry Pi (Raspi) computers, with essential autonomy over *e.g.* head movement using a pan-tilt unit, have been proposed [9, 10]. Applications involving head movements have shown positive impacts on user involvement when interacting with

telepresence robots [11]. Thus, a pan-tilt telepresence robot with the capability to orient its screen to face the interlocutor can be a good candidate for educational use.

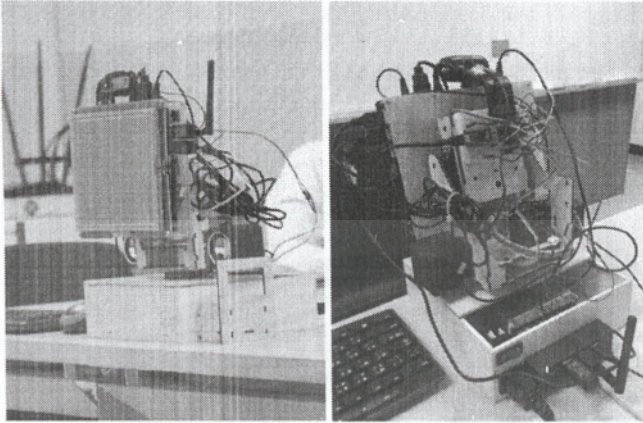


Fig. 1. Prototype of the ACTR robot

Although telepresence robots in static pan-tilt form can be an affordable choice for remote learning, cost considerations may impose issues on usability. As reviewed in [12], usability concerns not only the effort needed to use a system, but also the extent to which the system may be used by specific users in a specific situation to achieve particular goals. Usability covers the user's experience before, during and after the interaction with the system. The focus of a robot's usability is on the control method and the interaction between the human and the robot. Several control methods have been developed, along with evaluations of their usability *e.g.*, using wheelchair control [13], using tricycle-style control [3], control by tablets [14], and control by smartphones [15, 16]. Among these investigations, the usability of robots by school children has been addressed in [3]. To use a static pan-tilt telepresence robot effectively in a higher educational context, a systematic usability evaluation is needed.

The goal of the study described in this paper was to explore the usability of an affordable, static pan-tilt telepresence robot (Fig.1), called ACTR (the Android Controlled Telepresence Robot) in Higher Education. The robot used a low-cost Raspi2B computer as its main controller. Thus, the cost to develop the robot prototype was US\$600. To explore the usability of the ACTR, usability testing and assessment were performed in a laboratory. Experiments were carried out on twenty-six volunteers from two age groups (14 students $M=20$ yrs., 12 staff $M=25$ yrs.). Each participant performed two tasks. In the first task, the participants stayed at the remote site. He/she used an appropriately programmed smartphone to remotely control the robot using three control methods (*i.e.*, using navigation buttons, tilting the smartphone, or using an automatic face-following mode). The aim of this task was to observe how the participants controlled the ACTR robot to accomplish the task. In the second task, the participants stayed at the robot site but had a discussion with an interlocutor via the robot. During this task, the participants were asked to walk around

so that the robot could turn its head to follow the face of the participants. Empirical data, including the satisfaction rating from the participants pre- and post- experiments and the time to complete each experiment, were kept and analysed.

The results showed that a majority of participants agreed that the speed of the low-cost robot and the ways of controlling it, were acceptable. The majority of the participants also agreed that the robot could be integrated well into educational use. Correlation analysis showed that users' confidence in interfacing with the robot, and their intention to adopt one, is strongly correlated with the data privacy feature. Moreover, the robot's design should focus on an efficient and effective control method in order to ensure a satisfactory user experience.

2 Android-Controlled Telepresence Robot using Raspberry Pi

2.1 The ACTR Prototype

An Android-controlled telepresence robot based on a Raspi2B computer, called ACTR was used in this study. The ACTR robot, the upgraded version of [10], is a static pan-tilt robot which can rotate its display to follow the face of a speaker who moves during a talk. This face-following capability imitates the natural synchronous posture of a listener when he/she pays attention to the speaker. The robot's hardware consists of a monitor, two cameras (*i.e.* a webcam and a Raspi camera module), two servo motors forming a pan-tilt unit (PTU), and an AC power supply (see Fig. 1). The Raspi2B computer and an Arduino Nano controller were used for real-time face detection and video conferencing simultaneously. The Local Binary Pattern (LBP) algorithm from the Open Source Computer Vision (OpenCV) library was used for face detection. The computation was accelerated by offloading to the GPU of the Raspi using the multimedia abstraction layer (MMAL) application program interface.

2.2 ACTR Robot Usage Scenario

In Higher Education, the ACTR robot can be used for remote learning, remote teaching and group discussion. The most common use is for remote learning in which the robot can be used to allow a student to attend a class remotely via video conferencing. In this case, a lecturer teaches the class at the robot site and interacts with the robot. The student remotely connects to the robot and takes control of the robot by using an application provided for any Android smartphone. The connection between the robot and the smartphone is done by using a virtual private network (VPN) over the Internet to ensure data privacy. Once the connection has been established, two modes of communication operate concurrently. First, manual control of the robot PTU runs in background mode to control the head position. Second, the webcam interface runs in foreground mode to display the images of the student and the lecturer on the screen of the robot and the smartphone. The student can set the robot to freeze at its current position or control the movement of the robot by using three control methods. These are 1) using the navigation buttons, 2) tilting the smartphone or 3) using the autonomous face-following mode.

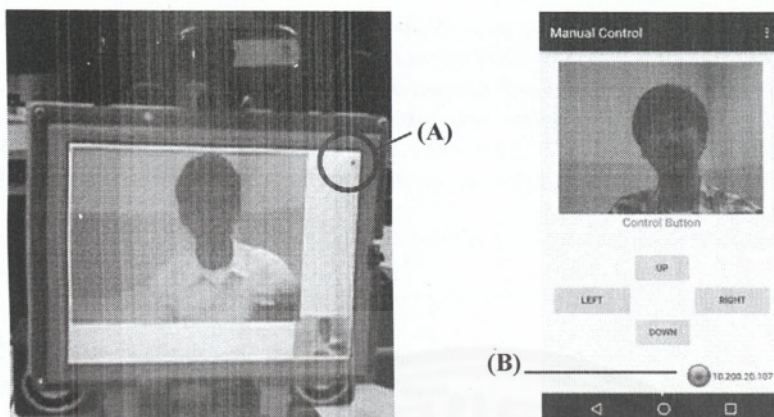


Fig. 2. User interface on the robot's display (left) and on the smartphone (right).

2.3 User Interface Design

Since the ACTR robot and the smartphone cooperate over the Internet, the design of the user interface (UI) also considered issues regarding the user experience of a system with multiple devices. The key issues considered in the UI design are the conceptual model, usability, consistency, continuity, latency and reliability, as suggested in [17]. In terms of the conceptual model, the UI of the robot and the smartphone have an icon to show the status of the remote device (Fig. 2 (A) and (B)). This is to allow users to clearly see the overall connection of the system conceptually, and to see what might have gone wrong if the connection is not successful. For interoperability, all of the control functionality is implemented on the Android device as it is a suitable device in the context of use. Consistency and continuity require the use of consistent naming for the same system features, and the ability to continue the task on other devices respectively. Since the ACTR framework has only one control device, the UI design does not have to cover these issues. Regarding latency and reliability, a transparent model was used. This means that when a remote user tries to connect to the ACTR robot, the UI will show the real situation while it is trying to connect. The connection light is red when the robot is not connected and blinks while it is trying to establish a connection. The connection light turns green, when the robot has sent back an acknowledgement message.

3 Design of Usability Evaluation Experiments

In order to improve user interaction, empirical evidence on how users use the ACTR robot to execute tasks was gathered by performing usability evaluations. The relevant ISO standard distinguishes five usability factors: efficiency, effectiveness,

satisfaction, absence of risk, and context coverage¹. Efficiency means users can perform the key tasks within an acceptable time interval, while effectiveness also specifies the level of satisfaction of the users to finish the tasks. To examine usability of the ACTR robot in a Higher Education context, both usability testing and assessment methodologies [12] have been used. The goal was to systematically observe how well students and staff can use the robot for discussion in a lab.

Table 1. Measures of Subjective Experience and Characteristics of Participants

	Factor	Range	\bar{x}	SD
1	Height (cm.)	154-183	167.7	7.9
2	Frequency of video call usage (times/month)	0-6	3	2.2
3	Average length of video call usage (minutes/call)	0-60	28.3	14.6
4	Frequency of teleconference usage (times/month)	0-6	0.79	1.43
5	Average length of teleconference usage (minutes/call)	0-60	20.77	22.82
6	Mobile phone's OS (Android:iOS:Windows)		17:07:02	
7	Awareness of devices used for video calls (Computer:Smartphone: Tablet: Other)		17:23:11:1	
8	Experienced of video calls on devices (Computer:Smartphone:Tablet:Others)		12:2:0:1	

3.1 Participants

Twenty-six volunteers participated in the experiments *i.e.*, 14 students (7 females, 7 males M=20 yrs.) and 16 staff (5 females, 11 males M=25 yrs.). Their subjective experience and characteristics are summarised in Table 1. The average height of participants is 167.7 cm. (approximately 30 cm. different between the tallest and the shortest). Most of the participants made video calls 3 times a month on average, with each call lasting for approximately 28 minutes. Very few participants engaged in teleconferencing. Many participants used Android phones, and thought that smartphones were the main device for making video calls. However, most of them only used computers to do an online video conversation.

3.2 Method

The local usability testing and assessment were done in a laboratory comprising two rooms, one emulating the robot site and the other the remote site. For the usability testing, all participants performed two sets of predefined tasks with the robot developer. In the first task, the participant stayed at the remote site while the robot developer stayed at the robot site. The participant used a prepared smartphone to control the robot remotely while pretending to discuss laboratory work with the robot developer. The participants were asked to control the ACTR robot using three control methods

¹ The original ISO 9241-11 standard defines efficiency, effectiveness and satisfaction. Later in 2011, the ISO 25010 added absence of risk, and context coverage to the ISO 924-11.

i.e., (1) using navigation buttons, (2) tilting the smartphone, or (3) using the automatic face-following mode, using one method at a time. The aim of this task was to measure the time and perception of the participants in turning the head of the ACTR robot to face several marked points at the robot site. The participants were asked to complete this task in three different ways *i.e.*, (1) moving the robot's head in the horizontal and vertical (H&V) directions, (2) moving the robot's head in a diagonal direction, (3) allowing the robot's head to follow the face of the interlocutor autonomously.

In the second task, the participants stayed at the robot site, pretending that the participants had to give a talk to the remote user. In this task, the participants were asked to walk around, while the listener at the remote site configured the robot to perform autonomous face following.

For the usability assessment, the opinions of the participants pre- and post-experiments, and the time to complete each scenario were recorded.

3.3 Measurement and Data Analysis

The amount of time the participants required to accomplish each task was recorded in units of seconds. The participants' behaviour was video recorded, with the participants' consent. Data from questionnaires were also collected pre- and post-experiments. The questionnaire had five parts. The first part had sixteen questions on demography and prior experience. Later parts had satisfaction rating (using the 1–5 Likert scale). The last section of the questionnaire had a box for written comments.

All the empirical data gathered from the experiments were entered into an Excel spreadsheet and analysed in five steps. First, the data obtained from the students and staff were tested to see whether they showed different responses, using the two-sample T-test. Second, the one factor ANOVA test was used to determine whether there were any significant differences between the means of data when steering the robot in different directions using one control method. Third, the average time and satisfaction rate on the Likert scale were summarised by using an arithmetic mean with 95% confidence interval and presented in forest plots. Fourth, the correlation of features related to the participants' acceptability of the robot were analysed by constructing a correlation matrix. Lastly, the change of satisfaction rating scores before and after the experiments were analysed by calculating the difference and using statistical summary.

4 Experimental Results and Discussion

4.1 Efficiency

The efficiency of the ACTR robot was measured by observing the average *time to complete tasks*. All participants were able to finish all tasks successfully but the results from the students and the staff were significantly different. As shown in Fig. 3, the students used less time to finish the tasks when controlling the robot remotely. The students were 20% and 10% faster than the staff using the button and phone-tilting control methods respectively. Phone-tilting control allowed the tasks to be

finished faster than button control at 44% and 58% for the students and staff respectively. However, as shown in Fig. 4, the students were slower and showed more variation in the total time to finish the task when they were communicating with the robot site, approximately 10% slower. The total time shown in Fig. 3 and Fig. 4 is the time taken to move the robot twenty times. On average, the latency was 3.1 ± 0.8 seconds. The results clearly show the greater efficiency of the phone-tilting control method over button control.

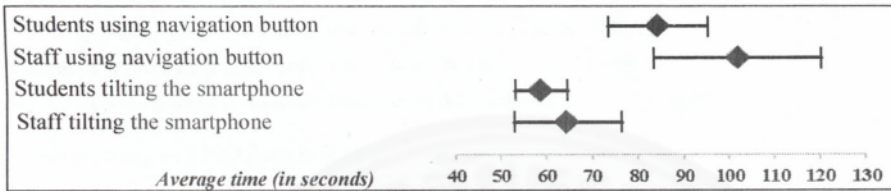


Fig. 3. Average time to complete the tasks of participants using different control methods.

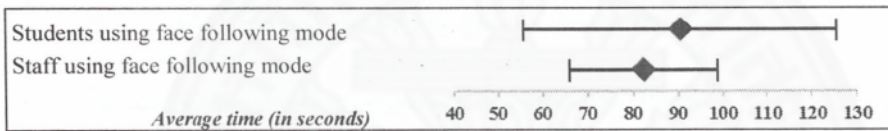


Fig. 4. Average time to complete the tasks of participants using automatic face-following.

4.2 Satisfaction

The opinions of students and staff showed no statistical difference when moving the robot in different directions. However, the results obtained from moving horizontally and vertically (Fig. 5) were different from moving diagonally (Fig. 6). Interestingly, participants gave the button control the highest score for accurately moving the robot in the H&V direction (avg. of 3.9). However, button control was perceived as the least accurate method when moving the robot diagonally (avg. of 2.7). Button control also received the lowest score for the robot's responsiveness, *i.e.* having an average rating of 2.9 (See Fig. 7). The smartphone-tilting control method also received a similar rating pattern, yet having a narrower range of rating scores (*i.e.* average rating of 3.6 and 2.8 between moving in H&V and diagonal directions respectively). However, tilting the smartphone was rated as the most responsive method (See Fig. 7, avg. of 3.5) The participants felt that accuracy dropped when steering the robot to move diagonally (see Fig. 6 in comparison to Fig. 5). When ranking the average participants' rating of different control methods from the highest to the lowest score, the ranking is phone tilting, face following and buttons.

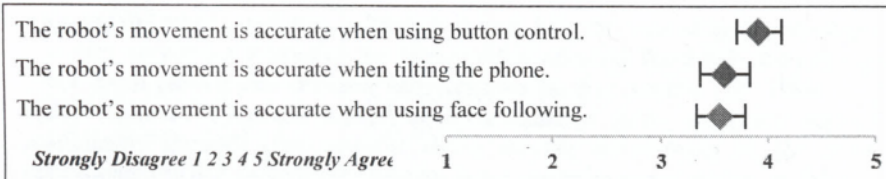


Fig. 5. Perception of accuracy when controlling the robot in horizontal and vertical movement.

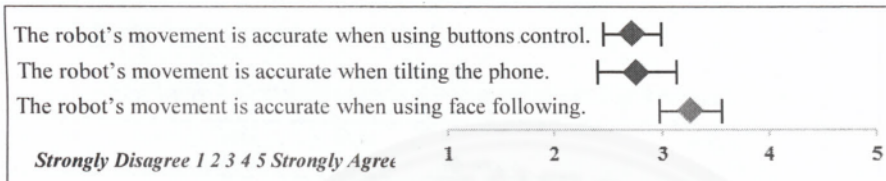


Fig. 6. Perception of accuracy when controlling the robot in diagonal movement.

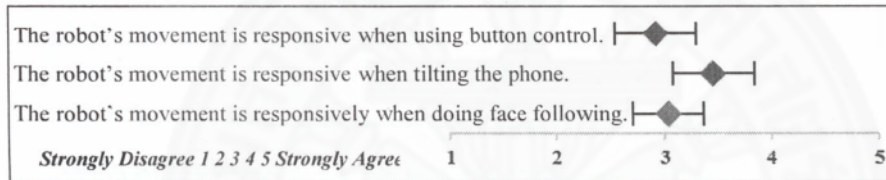


Fig. 7. All participants' perception score on responsiveness of the robot using different modes.

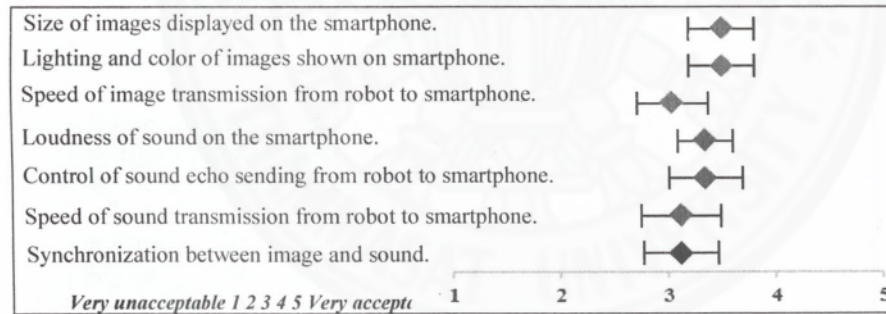


Fig. 8. Acceptability rating of image and sound quality at the smartphone site.

4.3 Acceptability

Acceptability was analysed using three criteria (a) the Likert-scale acceptable rating of video conferencing at the remote site, (b) the correlation of features affecting the participants' acceptability rating and (c) the change of satisfaction rating after using the robot. As shown in Fig. 8, the participants found that the image and sound quality fell between neutral to slightly acceptable. Correlation analysis shows that the data privacy feature is strongly correlated with confidence, and the likelihood of

adopting the robot. As shown in Table 2 in bold face, the look of the hardware design was also very much related to the likelihood of adopting the robot. After using the robot, most participants changed their opinions on five aspects (see Table 3). The staff's opinions were less varied than the students. After using the robots, all participants showed more positive rating for the affordability of the robot in educational use and agreed that using the robot can increase the quality of interaction. A majority of the participants showed more positive agreement that using telepresence robots is becoming common. After doing the experiments, some of the students seemed to have less confidence to control the robot.

Table 2. Correlation matrix showing the related features in bold face

	<i>Confidence</i>	<i>Data Privacy</i>	<i>HW Look</i>	<i>UI Look</i>	<i>Adoption Likelihood</i>	<i>Should Cont.</i>
Confidence	1					
Data Privacy	0.706	1				
HW Look	0.094	0.081	1			
UI Look	0.192	0.218	0.287	1		
Adoption Likelihood	0.439	0.312	0.391	0.315	1	
Should Cont.	0.024	0.157	0.140	0.163	0.721	1

Table 3. Statistical summary showing the change of satisfaction rating after using the robot

Students (Age 18 – 22)					Staff (Age 23 – 40)				
<i>Strongly Disagree 1 2 3 4 5 Strongly Agree (satisfaction rating using the 1–5 Likert scale)</i>									
	Before	After	Changes		Before	After	Changes		
1) Participant feels confident in using smartphone to control the robot.									
Range	2-5	2-5	%	57%	Range	2-5	3-4	%	92%
Average	3.3	3.3	+	38%	Average	3.2	3.7	+	73%
Std.Dev.	0.83	0.91	-	63%	Std.Dev.	0.83	0.49	-	27%
2) Using a telepresence robot is becoming common.									
Range	1-5	1-5	%	43%	Range	2-5	3-4	%	33%
Average	3.2	3.6	+	83%	Average	3.4	3.7	+	75%
Std.Dev.	1.12	1.22	-	17%	Std.Dev.	0.79	0.49	-	25%
3) Using the robot can increase the quality of interaction.									
Range	2-5	2-5	%	64%	Range	2-4	3-5	%	33%
Average	3.3	3.9	+	78%	Average	3.6	4.3	+	100%
Std.Dev.	1.07	1.03	-	22%	Std.Dev.	0.67	0.62	-	0%
4) The price of the robot (US\$600) is affordable for educational use.									
Range	1-4	2-5	%	29%	Range	2-4	3-5	%	67%
Average	3	3.5	+	100%	Average	3.2	3.8	+	88%
Std.Dev.	0.96	0.85	-	0%	Std.Dev.	0.72	0.58	-	13%
5) The functionality and utilisation of the robot meets your expectation.									
Range	2-5	2-5	%	57%	Range	3-5	3-5	%	42%
Average	3.8	4.1	+	63%	Average	4.1	4.2	+	60%
Std.Dev.	0.97	1	-	38%	Std.Dev.	0.67	0.58	-	40%

4.4 Discussion

The results confirmed that using a static pan-tilt telepresence robot in Higher Education is efficient and effective. The participants were quite satisfied with having three ways to control the robot. When informed of robot price, the participants felt that the quality of the image and sound are quite acceptable. This shows that within this price range, the participants did not expect much improvement in the video conferencing quality. After using the robot, many participants felt less confidence to control the robot. This suggested that the expectation of participants was different from what the system provided. Thus, the effectiveness and ease of use of the control methods should be improved. As the experiments were done in a local setting, the real communication delay has not yet been observed. Thus, more work should be carried on to assess the impact of internet delays on the quality of the communication offered via the robot.

5 Related Work

The PEBBLES mobile telepresence robot is one of the earliest developments of a robot for students at elementary school and high school level used in Canada and the USA [1]. The high school version of the robot has two monitors to display the student's face and his/her work separately. The unique feature of the robot is a wire hand for waving and getting attention. The robot prototype has been tested with users, however no usability study has been reported. A commercial robot, VGo, has also been used to enhance the educational experience of a special needs student [2]. The case study showed that the student felt that the robot has given him back his socialization and excitement about school. Moreover, the cost of using the robot (at US\$6,000) was only one tenth of the cost to provide private lessons for students with special needs.

In Japan, a child-operated telepresence robot using tricycle style has been proposed for early education [3] [6]. Usability testing on twenty children of 4-8 years old was used to compare two controlling styles *i.e.*, using a tricycle device and using a video game controller. The results showed that the children performed tasks faster when using the tricycle interface. This research emphasizes that the interface used to control a remote robot must suit the physical and mental state of the expected users.

Instead of a student-controlled telepresence robot, in Korea, the teacher-controlled, mobile Tele-education robot has been proposed to offer an English language course [4]. A 12-week pilot project was performed in 2011 using 29 English teacher robots controlled by native teachers in the Philippines, with each teacher conducting a class of 8 students. The results show that majority of students found the class useful, had a strong desire to re-attend the class and were more interested in learning English.

An affordable telepresence robot for education at university level, with an arm capable of performing remotely in a chemistry laboratory, has been proposed in [5]. The robot was built within the budget of \$400 Canadian. The case study showed that remote laboratory and telepresence robots can provide added flexibility to online

learning and can allow special needs students to experience learning activity in real-time.

The usability of telepresence robots has been addressed in many publications. Yan *et al.* studied the usability of a pan-tilt static robot with the capability to orient its display in the direction of a user voice [18]. Experiments performed on 15 participants showed that the top rank usage scenario suggested by the participants is for a business meeting. Lewis *et al.* evaluated the usability of two commercial telepresence robots, the VGo (US\$6,000) and AVA500 (US\$70,000) [19].

6 Conclusion and Future Work

Telepresence robots have been applied to education at every level ranging from a well-equipped, full function commercial robot for business to an affordable design for Higher Education. Telepresence robots in static pan-tilt form can be an affordable choice to integrate with existing online activities for Higher Education. Usability evaluation is a key step to gather empirical evidence about how users use the robot. Therefore, within the cost limitation, the robot's design can be suitable and improve user interaction. This study aimed to examine the usability of a low-cost, static pan-tilt telepresence robot controlled using Android smartphones. Usability testing and assessment were carried out on 26 students and staff. Empirical data, including, the time to complete tasks and subjective satisfaction ratings were gathered and analysed. The results showed that the participants had neutral to positive attitude to the performance, and to the ways to control the robot. A majority of the participants agreed that the robot could integrated well into educational use. The results of correlation analysis highlighted that the confidence to interface with the robot, and the intention to adopt one, is strongly related with data privacy feature. Thus, future work will focus on enhancing the data privacy feature and improving the degrees of autonomy such as mobility, turning the robot's head by voice or by poking, calling for attention by raising a hand, or a light signal.

Acknowledgement

This project has been funded by the Faculty of Science and Technology, Thammasat University. We thank the reviewers for their valuable comments. We thank contributors to the Raspberry Pi community website for discussions and lesson learned. We thank Professor Roland Ibbett for improving the readability of this paper.

References

- [1] J. Yeung and D. I. Fels, "A remote telepresence system for high school classrooms," in *Electrical and Computer Engineering, 2005. Canadian Conference on*, 2005.
- [2] R. Bloss, "High school student goes to class robotically," *Industrial Robot: An International Journal*, vol. 38, pp. 465-468, 2011.

- [3] F. Tanaka, T. Takahashi, and M. Morita, "Tricycle-style operation interface for children to control a telepresence robot," *Advanced Robotics*, vol. 27, pp. 1375-1384, 2013.
- [4] S.-S. Yun, M. Kim, and M.-T. Choi, "Easy Interface and Control of Tele-education Robots," *International Journal of Social Robotics*, vol. 5, pp. 335-343, 2013.
- [5] M. Denojean-Mairet, Q. Tan, F. Pivot, and M. Ally, "A Ubiquitous Computing Platform - Affordable Telepresence Robot Design and Applications," in *Computational Science and Engineering (CSE), 2014 IEEE 17th International Conference on*, 2014, pp. 793-798.
- [6] F. Tanaka, "Robotics for Supporting Childhood Education," in *Cybernetics: Fusion of human, machine and information systems*, ed Tokyo: Springer Japan, 2014, pp. 185-195.
- [7] K. M. Tsui and H. A. Yanco, "Design Challenges and Guidelines for Social Interaction Using Mobile Telepresence Robots," in *Reviews of Human Factors and Ergonomics* vol. 9, ed, 2013, pp. 227-301.
- [8] A. Kristoffersson, S. Coradeschi, and A. Loutfi, "A review of mobile robotic telepresence," *Adv. in Hum.-Comp. Int.*, vol. 2013, pp. 3-3, 2013.
- [9] S. S. Prabha, A. J. P. Antony, M. J. Meena, and S. R. Pandian, "Smart cloud robot using raspberry Pi," in *2014 International Conference on Recent Trends in Information Technology, ICRTIT 2014*, 2014.
- [10] K. Janard and W. Marumgith, "Accelerating real-time face detection on a raspberry pi telepresence robot," in *INTECH, 2015 Fifth International Conference on*, 2015.
- [11] B. S. Bamoallem, A. J. Wodehouse, G. M. Mair, and G. A. Vasantha, "The impact of head movements on user involvement in mediated interaction," *Computers in Human Behavior*, vol. 55, pp. 424-431, 2016.
- [12] A. Isabel Martins, A. Queirós, A. G. Silva, and N. Pacheco Rocha, "Usability Evaluation Methods: A Systematic Review," in *Human Factors in Software Development and Design*, S. Saeed, I. S. Bajwa, and Z. Mahmood, Eds., ed: IGI Global, 2014.
- [13] G. Gironimo, G. Matrone, A. Tarallo, M. Trotta, and A. Lanzotti, "A virtual reality approach for usability assessment: case study on a wheelchair-mounted robot manipulator," *Engineering with Computers*, vol. 29, pp. 359-373, 2012.
- [14] E. Clotet, D. Martínez, J. Moreno, M. Tresanchez, and J. Palacín, "Development of a High Mobility Assistant Personal Robot for Home Operation," in *Ambient Intelligence - Software and Applications*. vol. 376, ed: Springer International Publishing, 2015.
- [15] M. Emami and M. R. Bahmani, "Design and implementation of a robot controlled by android," *International Journal of Applied Engineering Research*, vol. 10.
- [16] T. Tetzlaff, R. Zandian, L. Drüppel, and U. Witkowski, "Smartphone controlled robot platform for robot soccer and edutainment," in *Advances in Intelligent Systems and Computing* vol. 345, ed, 2015, pp. 505-518.
- [17] C. Rowland, E. Goodman, M. Charlier, A. Light, and A. Lui, *Designing Connected Products: UX for the Consumer Internet of Things*: O'Reilly Media, 2015.
- [18] R. Yan, K. P. Tee, Y. Chua, and Z. Huang, "A user study for an attention-directed robot for telepresence," in *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)* vol. 7910 LNCS, ed, 2013, pp. 110-117.
- [19] T. Lewis, J. L. Drury, and B. Beltz, "Evaluating mobile remote presence (MRP) robots," in *Proceedings of the International ACM SIGGROUP Conference on Supporting Group Work*, 2014, pp. 302-305.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	นาย กริช จั่นอาจ
วันเดือนปีเกิด	15 มกราคม 2531
ตำแหน่ง	นักศึกษาปริญญาโท มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
ประสบการณ์ทำงาน	2553-2554 iOS Programmer 2Rooms Ltd. 2553 .NET Programmer Computer Center, Bangkok University 2551-2552 Head Stuff iLab, Bangkok University 2551-2552 Student Partner Microsoft Corporation

ประวัติผลงานตีพิมพ์

Accelerating real-time face detection on a raspberry pi telepresence robot. Paper presented at the Innovative Computing Technology (INTECH), 2015 Fifth International

Usability Evaluation of a Raspberry-Pi Telepresence Robot Controlled by Android Smartphones. Paper presented at the The 7th International Conference on Robotics in Education (RiE), Vienna, Austria. Regular Paper.

