

การติดตามเป้าหมายด้วยกล้องสาย-กัมเมยที่ทำงานร่วมกัน

นายอดิศร ผาสุขมุล

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2555
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the Graduate School.

TARGET TRACKING WITH COOPERATIVE PAN-TILT CAMERAS

Mr.Adisorn Pasukmoon

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Electrical Engineering

Department of Electrical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2012

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การติดตามเป้าหมายด้วยกล้องสาย-กัมเมยที่ทำงานร่วมกัน
โดย	นายอดิศร ผาสุขมุล
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุภาวดี อร่ามวิทย์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธนารัตน์ ชลิตาพงศ์ ดร. ศุภกร สิทธิไชย

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็น
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชาญชัย ปลื้มปิติวิริยะเวช)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุภาวดี อร่ามวิทย์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธนารัตน์ ชลิตาพงศ์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
(ดร. ศุภกร สิทธิไชย)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ดร. สรรพฤทธิ์ มฤคทัต)

อดิศร ผาสุขมุล : การติดตามเป้าหมายด้วยกล้องสาย-ก้มเงยที่ทำงานร่วมกัน. (TARGET TRACKING WITH COOPERATIVE PAN-TILT CAMERAS) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์
 หลัก : ผศ.ดร.สุภาวดี อร่ามวิทย์, อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม : ผศ.ดร.ธนารัตน์ ชลิดาพงศ์,
 ดร.ศุภกร สิทธิไชย, 99 หน้า.

การประมวลผลภาพวีดิทัศน์ระแวงระว่างจากการทำงานร่วมกันของกล้องวีดิทัศน์เพื่อการติดตามบุคคลภายในอาคารมีบทบาทสำคัญในระบบระแวงระว่างด้วยกล้องวีดิทัศน์ที่ชาญฉลาด สิ่งสำคัญสำหรับระบบการติดตามบุคคลด้วยกล้องวีดิทัศน์หลายตัว คือ การส่งต่อบุคคลจากกล้องวีดิทัศน์ตัวหนึ่งสู่กล้องวีดิทัศน์อีกตัวหนึ่งด้วยความแม่นยำ แต่ในสถานการณ์ระแวงระว่างที่กล้องวีดิทัศน์ในระบบมีมุมมองการรับภาพต่อบุคคลที่แตกต่างกัน อาจส่งผลให้การส่งต่อบุคคลระหว่างกล้องวีดิทัศน์นั้นผิดพลาดได้ เช่น การติดตั้งกล้องวีดิทัศน์ต่างสถานที่หรือต่างมุมมองการรับภาพและการเคลื่อนที่ของบุคคล ซึ่งล้วนแล้วแต่ทำให้ลักษณะข้อมูลของบุคคลที่ได้รับจากแต่ละกล้องวีดิทัศน์มีความแตกต่างกัน จึงเป็นสาเหตุหลักของการติดตามบุคคลระหว่างกล้องวีดิทัศน์ที่ล้มเหลว วิทยานิพนธ์นี้เรียกปัญหาดังกล่าวว่า ปัญหาที่เกิดจากการติดตามบุคคลจากผลกระทบที่มุมมองของกล้องวีดิทัศน์แต่ละตัวในระบบเป็นอิสระจากลักษณะของบุคคล เทคนิคการสะสมลักษณะของบุคคลด้วยข้อมูลสีจึงถูกนำเสนอเพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว เพื่อเป็นการเพิ่มโอกาสในการส่งต่อบุคคลระหว่างกล้องวีดิทัศน์ที่มีความแม่นยำมากขึ้น นอกจากนี้หากพบว่ามีกล้องวีดิทัศน์มากกว่าหนึ่งตัวสามารถทำการติดตามบุคคลเดียวกันได้ ระบบจะทำการคัดเลือกกล้องวีดิทัศน์ที่มีมุมมองการรับภาพต่อบุคคลดังกล่าวที่ดีที่สุดอย่างอัตโนมัติ ซึ่งวิทยานิพนธ์นี้ได้นำผลลัพธ์จากการคัดเลือกกล้องวีดิทัศน์มาใช้ในการติดตามบุคคลซึ่งอยู่ในความสนใจด้วยการเคลื่อนที่ของกล้องวีดิทัศน์แบบสายและก้มเงย การประเมินค่าระบบการติดตามบุคคลถูกคำนวณให้อยู่ในรูปของค่าความแม่นยำและค่าเรียกกลับ ซึ่งวิธีการที่นำเสนอให้ผลการทดลองที่มีความแม่นยำและสมบูรณ์กว่าวิธีการติดตามบุคคลด้วยการทำงานร่วมกันของกล้องวีดิทัศน์ที่ใช้ในการอ้างอิง

ภาควิชา.....วิศวกรรมไฟฟ้า.....ลายมือชื่อนิสิต.....
 สาขาวิชา.....วิศวกรรมไฟฟ้า.....ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....
 ปีการศึกษา.....2555.....ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม.....
 ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม.....

5270710021 : MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING

KEYWORDS : MULTIPLE PERSONS TRACKING / MULTIPLE TARGETS MODELLING /
CAMERA HANDOFF / CAMERA ASSIGNMENT / CAMERA CONTROL

ADISORN PASUKMOON : TARGET TRACKING WITH COOPERATIVE PAN-
TILT CAMERAS. ADVISOR : ASST. PROF. SUPAVADEE ARAMVITH, Ph.D., CO-
ADVISORS : ASST. PROF. THANARAT CHALIDABHONGSE, Ph.D., SUPAKORN
SIDDHICHAI, Ph.D., 99 pp.

Video surveillance processing for indoor person tracking has an important role in intelligent surveillance system. The essential step for further analysis of surveillance video is ability to transfer target object or person between two or more camera or camera handoff. Accurate camera handoff leads to accurate person tracking. The major drawback of camera handoff is the different person views of each cameras such as camera installation and persons movement. It is called the view-dependent appearance problem. A target modeling system which based on collection of color-based feature is proposed to increase the chances of camera handoff with more precision. When multiple cameras are used for tracking and where multiple cameras can see the same person, the system can automatically select the best-view camera or camera assignment. The selected camera can be used to follow an interested person by pan-tilt controlling. The performance evaluation of this system is in terms of precision and recall which outperform the reference method.

Department : Electrical Engineering Student's Signature.....

Field of Study : Electrical Engineering Advisor's Signature.....

Academic Year : 2012 Co-advisor's Signature.....

Co-advisor's Signature.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของอาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุภาวดี อร่ามวิทย์ อาจารย์ผู้ทำให้โอกาสในการเรียนรู้และสัมผัสกับงานวิจัยต่าง ๆ มากมาย ประสบการณ์และความรู้ที่ได้จากอาจารย์เป็นสิ่งที่คอยกระตุ้นให้เรียนรู้สิ่งใหม่ ๆ อยู่เสมอ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธนารัตน์ ชลิดาพงศ์ และ ดร.ศุภกร สิทธิไชย ที่ได้สละเวลาอันมีค่าในการให้คำปรึกษา และให้คำแนะนำที่มีประโยชน์มากมาย ตลอดจนช่วยตรวจทานแก้ไขวิทยานิพนธ์และบทความตีพิมพ์ต่าง ๆ จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบคุณสถาบันบัณฑิตวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีไทย (Thailand Graduate Institute of Science and Technology, TGIST) สำนักงานวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ สัญญารับทุนเลขที่ TG-44-09-52-059M ที่ให้ทุนสนับสนุนการทำงานวิจัยฉบับนี้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
1.2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับขั้นตอนการติดตามบุคคลด้วยกล้องวิดีโอ.....	5
1.2.2 งานวิจัยด้านการทำงานร่วมกันของระบบกล้องวิดีโอ	7
1.3 แนวทางวิทยานิพนธ์	10
1.4 ขอบเขตของงานวิจัย	12
1.5 ขั้นตอนและวิธีดำเนินงานวิจัย	12
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	13
บทที่ 2 ความรู้พื้นฐานและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	14
2.1 ปริภูมิสี.....	14
2.1.1 ปริภูมิสี RGB	14
2.1.2 ปริภูมิสี HSL	16
2.2 แบบจำลองกล้องวิดีโอและแบบจำลองการเคลื่อนที่กล้องวิดีโอ.....	18
2.2.1 แบบจำลองกล้องวิดีโอแบบรูเข็ม	18
2.2.2 แบบจำลองการเคลื่อนที่กล้องวิดีโอ	19
2.3 การติดตามวัตถุหรือบุคคลในลำดับภาพวิดีโอ.....	20
2.3.1 การตรวจจับวัตถุหรือบุคคลที่เคลื่อนที่ด้วยวิธีการลบภาพฉากหลัง	21
2.3.2 ขั้นตอนวิธีการย้ายตามค่าเฉลี่ยแบบปรับตัวได้อย่างต่อเนื่อง	22
2.4 ฟังก์ชันความเหมือนของ Bhattacharyya	25
2.5 ทฤษฎีเกม.....	26
2.5.1 ฟังก์ชันอรรถประโยชน์ (Utility function).....	27
2.5.2 เกมไม่ร่วมมือ (Non-cooperative game).....	28
2.5.3 เกมร่วมมือ (Cooperative game).....	28

	2.5.4 รูปแบบกลยุทธ์.....	29
	2.6 ทฤษฎีเกมกับการคัดเลือกกล้องวิดิทัศน์ที่มีมุมมองต่อบุคคลที่ดีที่สุด [20].....	29
บทที่ 3	โครงสร้างของระบบการติดตามบุคคลที่นำเสนอ	34
	3.1 รูปแบบการทำงานของระบบการติดตามบุคคลที่นำเสนอ	34
	3.2 การติดตามบุคคลด้วยวิธีที่นำเสนอ	36
	3.3 การสร้างแบบจำลองลักษณะของบุคคลที่นำเสนอ (Target modeling)	38
	3.4 การส่งต่อบุคคลระหว่างกล้องวิดิทัศน์ในระบบที่นำเสนอ.....	43
	3.5 การเลือกกล้องวิดิทัศน์ที่มีมุมมองการรับภาพต่อบุคคลที่ดีที่สุด	46
	3.5.1 การนิยามปัญหา	46
	3.5.2 การกำหนดฟังก์ชันอรรถประโยชน์	48
	3.6 การควบคุมการส่าย และก้มเงยของกล้องวิดิทัศน์แบบ PTZ	48
	3.7 การนับบุคคล	50
บทที่ 4	ผลการทดลอง.....	51
	4.1 ผลการทดลองการสร้างแบบจำลองลักษณะบุคคลที่นำเสนอ	52
	4.1.1 กรณีที่บุคคลเคลื่อนที่ไปยังบริเวณที่ความเข้มแสงสว่างต่างกัน	53
	4.1.2 กรณีที่บุคคลสวมเสื้อคลุม	54
	4.1.3 กรณีที่บุคคลสวมผ้าคลุมศีรษะ.....	55
	4.2 ผลการเปรียบเทียบวิธีการที่นำเสนอกับวิธีการอ้างอิง [20]	56
	4.2.1 วิดิทัศน์ระแวงระวังที่ใช้ในการเปรียบเทียบ	56
	4.2.2 ผลการเปรียบเทียบ	63
	4.3 ผลการควบคุมการส่ายและก้มเงยของกล้องวิดิทัศน์แบบ PTZ จากวิธีการที่ นำเสนอ.....	85
บทที่ 5	สรุปผลการวิจัย.....	90
	5.1 สรุปผลการวิจัย	90
	5.2 ข้อเสนอแนะ	91
	รายการอ้างอิง	92
	ดัชนีคำศัพท์.....	96
	ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์	99

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีช่วยให้มนุษย์ปลอดภัยจากภัยอันตรายมากขึ้น ทั้งที่เกิดขึ้นจากธรรมชาติหรือจากการกระทำของมนุษย์ ปัจจุบันภัยอันตรายที่เกิดจากการกระทำผิดของมนุษย์สามารถพบได้หลากหลายรูปแบบซึ่งล้วนแต่ทวีความรุนแรงมากขึ้น เช่น การวางระเบิดในสถานที่สำคัญ การโจรกรรมทรัพย์สิน และการประทุษร้ายบุคคลอื่น มนุษย์จึงนำเทคโนโลยีในด้านต่าง ๆ มาใช้ร่วมกันเพื่อแก้ไขและป้องกันสาเหตุที่จะทำให้เกิดปัญหาเหล่านั้น ระบบระแวดระวังด้วยกล้องวิดีโอ (Surveillance system) เป็นระบบการทำงานชนิดหนึ่งที่สามารถช่วยเหลือและแก้ไขจุดจำกัดการทำงานของมนุษย์ โดยมีระบบกล้องวิดีโอทำหน้าที่ในการเฝ้ามองและตรวจสอบเหตุการณ์ที่สนใจย้อนหลัง นอกจากนี้ในระบบกล้องวิดีโอที่ชาญฉลาดยังมีความสามารถในการวิเคราะห์เหตุการณ์ที่อาจก่อให้เกิดภัยอันตรายล่วงหน้าได้ด้วยการแจ้งเตือน การตรวจจับ และการติดตามวัตถุหรือบุคคลที่สนใจ ดังนั้นระบบกล้องวิดีโอจึงเป็นส่วนหนึ่งของระบบระแวดระวังอยู่เสมอ

ระบบระแวดระวังด้วยกล้องวิดีโอที่ชาญฉลาด (Intelligent surveillance system) เป็นรูปแบบการประยุกต์ใช้งานกล้องวิดีโอมากกว่าหนึ่งตัวให้ทำงานในลักษณะการประมวลผลภาพวิดีโอร่วมกัน ด้วยการแลกเปลี่ยนข้อมูลการประมวลผลตามชนิดของโครงข่าย เช่น โครงข่ายการประมวลผลข้อมูลแบบรวมศูนย์ (Centralized network) แบบแยกศูนย์ (Decentralized network) และแบบกระจาย (Distributed network) วัตถุประสงค์ของระบบระแวดระวังการทำงานร่วมกันของกล้องวิดีโอระแวดระวังมักถูกใช้เพื่อทำหน้าที่ในการตรวจหา ติดตาม ระบุ หรือรู้จำบุคคลที่สนใจด้วยการประมวลผลภาพวิดีโอร่วมกัน เช่น งานวิจัย [1] และ [2] ทำการออกแบบโครงสร้างของระบบระแวดระวังภายในอาคารสำหรับการติดตามบุคคล ด้วยการให้กล้องวิดีโอแบบตรึงมุมมอง (Fixed view camera) ทำการตรวจหาตำแหน่งบุคคลที่เคลื่อนที่ จากนั้นจึงส่งตำแหน่งดังกล่าวให้กับ

กล้องวิดีโอแบบสาย ก้มเงย และซูม (Pan-Tilt-Zoom camera, PTZ) ทำการเคลื่อนเพื่อปรับเปลี่ยนมุมมองไปยังตำแหน่งเดียวกับที่กล้องวิดีโอแบบตรึงมุมมองส่งมา ทั้งนี้ต้องมีการสร้างความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ระหว่างกล้องวิดีโอในระบบไว้ล่วงหน้า เช่นเดียวกับงานวิจัย [3] เมื่อได้ตำแหน่งของบุคคลที่ต้องการติดตามแล้วมีการตรวจสอบพบว่าบุคคลล้มตัวลงภายในมุมมองการรับภาพของกล้องวิดีโอแบบตรึงมุมมอง จะกำหนดให้กล้องวิดีโอแบบ PTZ ทำการเคลื่อนที่เพื่อปรับเปลี่ยนมุมมองการรับภาพมายังตำแหน่งเดียวกันกับกล้องวิดีโอแบบตรึงมุมมอง แล้วทำการเคลื่อนที่ด้วยการสาย ก้มเงย และซูมตามบุคคลที่ล้มลงต่อไป งานวิจัย [4] เสนอการสร้างเส้นแสดงขอบเขตการมองเห็น (Field of view lines) จากข้อมูลเชิงพื้นที่ของกล้องวิดีโอแบบตรึงมุมมองในระบบที่มีมุมมองการรับภาพเหลื่อมกัน (Overlapping view) เส้นแสดงขอบเขตการมองเห็นที่ได้จะเป็นสิ่งที่ใช้อ้างอิงการส่งต่อบุคคลที่ทำการติดตามจากกล้องวิดีโอตัวกล้องวิดีโอ หรือเรียกว่าการแฮนด์ออฟของกล้องวิดีโอ (Camera handoff) เพื่อให้การติดตามบุคคลในระบบบริเวณระวางด้วยการทำงานร่วมกันของกล้องวิดีโอเป็นไปอย่างต่อเนื่อง งานวิจัย [5] นำเสนอการใช้กล้องวิดีโอแบบ PTZ จำนวนสองตัวเลียนแบบการมองเห็นของเหยี่ยว กล่าวคือระบบจะให้กล้องวิดีโอตัวที่หนึ่งเฝ้ามองพื้นที่กว้างโดยรวมและใช้สำหรับเลือกและติดตามบุคคลที่สนใจ โดยพยายามให้บุคคลดังกล่าวเคลื่อนที่อยู่กึ่งกลางของมุมมองภาพตลอดเวลา จากนั้นให้กล้องวิดีโอแบบ PTZ ตัวที่สองเคลื่อนที่เพื่อปรับมุมมองการรับภาพไปยังเป้าหมายนั้นเช่นกัน โดยอาศัยความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์การสายและก้มเงยปัจจุบัน จากนั้นกล้องวิดีโอแบบ PTZ ตัวที่สองจะทำการซูมเพื่อเก็บรายละเอียดของเป้าหมาย ข้อดีของงานวิจัยนี้คือสามารถเห็นรายละเอียดของเป้าหมายที่ต้องการติดตามพร้อมกับการเห็นพื้นที่ในมุมมองกว้าง แต่จำเป็นต้องติดตั้งกล้องวิดีโอแบบ PTZ ในระบบอยู่ใกล้ชิดกัน เพื่อลดความผิดพลาดในการระบุตำแหน่งการเคลื่อนที่ร่วมกันของกล้องวิดีโอ นอกจากระบบบริเวณระวางรั้งแล้ว การทำงานร่วมกันของกล้องวิดีโอยังถูกนำไปประยุกต์ใช้ในงานด้านอื่นอีก เช่น งานวิจัย [6] นำเสนอระบบที่นำไปใช้ในงานประยุกต์การรู้จำการทำทางของมนุษย์ ด้วยการค้นหาตำแหน่งของบุคคลที่เคลื่อนที่ภายในมุมมองของกล้องวิดีโอแบบตรึงมุมมอง (Fixed view camera) แล้วส่งตำแหน่งที่ได้นี้ให้กับกล้องวิดีโอแบบสาย ก้มเงย และซูม (Pan-Tilt-Zoom camera, PTZ) ทำการเคลื่อนที่เพื่อปรับเปลี่ยนมุมมองไปยังตำแหน่งเดียวกับที่กล้องวิดีโอแบบตรึงมุมมองส่งมา รายละเอียดของใบหน้าและมือของบุคคลจึงถูกขยายขึ้น

สำหรับการนำไปใช้ในระบบการเรียนการสอนทางไกลต่อไป จะเห็นได้ว่างานวิจัยที่ใช้ระบบกล้องวิดีโอเพื่อการติดตามตามบุคคลมีประโยชน์ต่อระบบระแวงระวังมาก และเป็นสิ่งที่งานวิจัยในปัจจุบันให้ความสำคัญอยู่เสมอ

การทำงานร่วมกันของระบบกล้องวิดีโอจำเป็นต้องมีข้อมูลของวัตถุซึ่งสามารถเข้าถึงร่วมกันได้มาใช้ในการประมวลผลภาพวิดีโอร่วมกัน จากงานวิจัยข้างต้นพบว่าข้อมูลเชิงพื้นที่ซึ่งมีความสัมพันธ์กันระหว่างกล้องวิดีโอ มักถูกนำมาใช้ในการอ้างอิงตำแหน่งของบุคคลในระบบระแวงระวัง และมักจะเป็นการทำงานที่มีกล้องวิดีโอแบบตรึงมุมมองทำหน้าที่เป็นหลักในการส่งต่อข้อมูลให้กับกล้องวิดีโอตัวอื่น เนื่องจากเป็นกล้องวิดีโอที่มุมมองการรับภาพที่แน่นอน หากสามารถสร้างความสัมพันธ์เชิงพื้นที่กับกล้องวิดีโอตัวอื่นในระบบได้ การส่งต่อตำแหน่งของบุคคลเพื่อระบุความเป็นเป้าหมายเดียวกันกับกล้องวิดีโอตัวอื่นก็สามารถทำได้อย่างแม่นยำ ทั้งนี้จำเป็นต้องมีการเทียบมาตรฐานทางพิกัดก่อนเสมอ (Calibration) ซึ่งมีข้อเสีย คือ หากสภาพแวดล้อมที่ส่งผลต่อมุมมองการรับภาพของกล้องวิดีโอเปลี่ยนแปลง ทั้งจากสิ่งของที่วางอยู่ หรือจากการเคลื่อนที่ของกล้องวิดีโอ จะต้องทำการเทียบมาตรฐานทางพิกัดใหม่ทั้งหมด ทั้งนี้ยังมีข้อมูลอื่นของบุคคลที่นิยมนำมาใช้ในการประมวลผลภาพวิดีโอร่วมกันอีก คือ ข้อมูลสีซึ่งถือเป็นข้อมูลที่สำคัญในการประมวลผลภาพวิดีโอ เนื่องจากเป็นข้อมูลที่เข้าถึงง่ายที่สุด และสามารถบ่งบอกสมบัติเฉพาะตัวหรืออัตลักษณ์ของบุคคลได้เป็นอย่างดี งานวิจัยทางการประมวลผลภาพวิดีโอจำนวนมากที่ทำงานร่วมกับมนุษย์จึงอาศัยข้อมูลสีเป็นข้อมูลตัวแทนของวัตถุที่สนใจ เช่น งานวิจัย [7] จะทำการตรวจหาสีผิวมนุษย์เพื่อใช้ในการตรวจสอบใบหน้าของบุคคลด้วยการทำงานร่วมกันของกล้องวิดีโอ งานวิจัย [8] ได้ทำการติดตามสีผิวของมนุษย์จากการเคลื่อนไหวที่ตรวจจับได้บริเวณแขนและมือของบุคคล ผลจากการติดตามจะถูกนำมาใช้ในการถอดความหมายเพื่อนำมาใช้ในงานประยุกต์ด้านการแปลความหมายภาษามือ ทั้งนี้สิ่งสำคัญที่จำเป็นต้องคำนึงถึงสำหรับการใช้ข้อมูลสีในการประมวลผลภาพวิดีโอด้วยการทำงานร่วมกันของกล้องวิดีโอ คือ ข้อมูลสีของภาพที่รับได้จากกล้องวิดีโอแต่ละตัวต้องไม่มีความผิดเพี้ยนจากกัน เพื่อลดความผิดพลาดในขั้นตอนการประมวลผลร่วมกัน และในสถานการณ์ที่กล้องวิดีโอถูกติดตั้งในบริเวณที่ต่างกันอาจทำให้ค่าความสว่างของวัตถุที่สนใจแตกต่างกันด้วย ซึ่งจะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าสีโดยตรง เพื่อแก้ปัญหาข้างต้นจึงต้องมีวิธีการเทียบมาตรฐานทางสีของกล้องวิดีโอแต่ละตัว

ให้เหมือนกันหรือใช้ข้อมูลอื่นร่วมในการพิจารณา เช่น งานวิจัย [9] ได้ทำการเทียบมาตรฐานทางสีระหว่างกล้องวิดีโอแบบ PTZ ในระบบ ด้วยการนำภาพที่ได้จากกล้องวิดีโอแต่ละตัวมาคำนวณค่าสีภายในภาพ แล้วทำการเปรียบเทียบกับวัตถุที่ใช้ในการเปรียบเทียบมาตรฐานทางสี (Object color checker) เช่น ลูกบาศก์สี (Color cube) จากนั้นจึงทำการปรับค่าสีของภาพให้เหมือนกัน โดยมีจุดประสงค์เพื่อให้กล้องวิดีโอที่อยู่ในระบบสามารถทำงานเปรียบเทียบได้ว่าเป็นกล้องวิดีโอตัวเดียวกัน นอกจากนี้ยังมีการนำข้อมูลรูปร่างของบุคคลมาใช้ร่วมกับข้อมูลสีที่ได้ในการติดตามบุคคลด้วยกล้องวิดีโอแบบ PTZ ด้วย เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการติดตามบุคคลอันเนื่องมาจากผลกระทบด้านแสงสว่าง ทั้งนี้ข้อมูลสีที่ได้ยังถูกนำมาใช้ในขั้นตอนการส่งต่อบุคคลจากกล้องวิดีโอสู่กล้องวิดีโออีกด้วย งานวิจัยข้างต้นเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพให้กับการใช้ข้อมูลสีในระบบการติดตามบุคคลด้วยการทำงานร่วมกันของกล้องวิดีโอที่มีมุมมองการรับภาพใกล้เคียงกัน หรือต่างกันแต่ลักษณะของบุคคลที่แต่ละมุมมองของภาพที่ได้รับไม่ซับซ้อน เช่น สีเสื้อของบุคคลเป็นเนื้อเดียวกัน (Homogeneous) หรือบุคคลที่สนใจไม่มีสัมภาระหรือปัจจัยอื่นที่ทำให้ค่าสีซึ่งส่งผลต่อภาพของบุคคลที่ได้รับเปลี่ยนแปลง

จะเห็นได้ว่าปัญหาสำคัญในงานวิจัยด้านการทำงานร่วมกันระหว่างกล้องวิดีโอ คือความสามารถในการส่งต่อวัตถุที่สนใจจากกล้องวิดีโอสู่กล้องวิดีโอ หรือเรียกว่าการแฮนด์ออฟของกล้องวิดีโอ (Camera handoff) มีงานวิจัยจำนวนมากที่ให้ความสำคัญ เช่น งานวิจัย [4] [9] และ [14] ถึง [20] โดยเฉพาะงานวิจัย [20] ที่นำทฤษฎีเกม (Game theory) มาประยุกต์ใช้ร่วมกับขั้นตอนการส่งต่อบุคคลระหว่างกล้องวิดีโอ เพื่อการคัดเลือกกล้องวิดีโอที่มีมุมมองดีที่สุดต่อบุคคลที่สนใจ ในทุก ๆ กระบวนการที่สำคัญของการติดตามบุคคลด้วยงานวิจัยนี้ ขึ้นอยู่กับข้อมูลสีที่ได้จากการติดตามครั้งแรกที่ตรวจจับบุคคลได้ เพราะฉะนั้นหากลักษณะสีของบุคคลเปลี่ยนไป ทั้งจากลักษณะของบุคคลเอง เช่น การเคลื่อนที่ของบุคคลที่สวมเสื้อคลุมหรือสะพายกระเป๋า และจากการปรับเปลี่ยนมุมมองด้วยการเคลื่อนที่ของกล้องวิดีโอแบบ PTZ ก็อาจทำให้กระบวนการส่งต่อบุคคลระหว่างกล้องวิดีโอเกิดความผิดพลาดขึ้นจากการจับคู่คุณลักษณะบุคคลที่คลาดเคลื่อนได้ ปัญหาที่เกิดขึ้นนี้อาจกล่าวได้ว่าเป็นปัญหาที่เกิดขึ้นจากผลกระทบที่มุมมองของกล้องวิดีโอในระบบเป็นอิสระจากลักษณะของบุคคลที่ปรากฏ ซึ่งสามารถแก้ไขได้หากระบบการติดตามมีข้อมูลลักษณะบุคคลที่เพียงพอต่อการส่งต่อ กล่าวคือ หากระบบสามารถจัดเก็บข้อมูลของ

บุคคลได้มาก โอกาสในการตรวจสอบพบบุคคลที่เป็นเป้าหมายเดียวกันระหว่างกล้องวิดีโอที่ติดตั้งสูงขึ้นด้วย ส่งผลให้ระบบการติดตามบุคคลระหว่างกล้องวิดีโอที่ติดตั้งเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้นนั่นเอง

การพัฒนาและปรับปรุงระบบประมวลผลด้วยการทำงานร่วมกันของระบบกล้องวิดีโอที่ติดตั้งเป็นหัวข้อวิจัยที่ถูกให้ความสนใจในปัจจุบัน วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงนำเสนอรูปแบบการติดตามบุคคลด้วยการทำงานร่วมกันของระบบกล้องวิดีโอที่แบบ PTZ โดยอาศัยเทคนิคการสะสมข้อมูลของบุคคลเพื่อแก้ปัญหาผลกระทบจากมุมมองของกล้องวิดีโอในระบบที่เป็นอิสระจากลักษณะของบุคคลที่ปรากฏ นอกจากนี้ผลลัพธ์ในการติดตามบุคคลยังถูกใช้เป็นข้อมูลในการคัดเลือกกล้องวิดีโอที่มีมุมมองต่อบุคคลที่ดีที่สุด เพื่อการเคลื่อนของกล้องวิดีโอที่แบบ PTZ ด้วยการถ่ายและกัมเมตามบุคคลที่สนใจอีกด้วย

หัวข้อถัดไปจะเป็นการนำเสนอการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อเป็นแนวทางในพัฒนาและปรับปรุงการติดตามบุคคลด้วยการทำงานร่วมกันของระบบกล้องวิดีโอที่มีประสิทธิภาพ งานวิจัยด้านการติดตามบุคคลด้วยกล้องวิดีโอจะถูกนำเสนอก่อน เนื่องจากเป็นพื้นฐานที่สำคัญของงานวิจัยทางด้านระบบประมวลผลด้วยภาพจากมนุษย์ ลำดับถัดไปจะเป็นงานวิจัยด้านการทำงานร่วมกันของระบบกล้องวิดีโอ ซึ่งประกอบไปด้วยการส่งต่อบุคคลระหว่างกล้องวิดีโอ รวมถึงการเลือกกล้องวิดีโอซึ่งมีมุมมองต่อวัตถุหรือบุคคลที่สนใจดีที่สุด

1.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับขั้นตอนการติดตามบุคคลด้วยกล้องวิดีโอ

การติดตามบุคคลด้วยกล้องวิดีโอสำหรับระบบประมวลผลเป็นขั้นตอนการติดตามที่ถูกคาดหวังในการประยุกต์ใช้ได้ในเวลาจริง (Real-time processing) ดังนั้นสิ่งสำคัญในการประมวลผล คือ จะต้องสามารถทำงานได้อย่างรวดเร็ว ไม่ซับซ้อนในการคำนวณ และใช้ทรัพยากรในการประมวลผลน้อยแต่ยังคงประสิทธิภาพการทำงานที่ดีอยู่ งานวิจัย [10] ได้นำเสนอขั้นตอนวิธีการย้ายตามค่าเฉลี่ยด้วยการประมาณความหนาแน่นของข้อมูลที่ต้องการติดตามภายในบริเวณที่สนใจ จากนั้นจึงสำรวจข้อมูลตัวอย่างด้วยการสร้างพื้นที่เล็ก ๆ โดยรอบบริเวณที่สนใจนั้น หาก

บริเวณที่สำรวจมีความหนาแน่นของข้อมูลมากกว่าก็จะพิจารณาให้เป็นพื้นที่สนใจใหม่ ซึ่งเป็นลักษณะของการติดตามข้อมูลที่สนใจ การสำรวจเพียงข้อมูลโดยรอบนี้ส่งผลให้ข้อมูลบริเวณอื่นไม่ถูกพิจารณา วิธีการนี้จึงคงทนต่อการถูกขัดขวางการทำงานจากสัญญาณรบกวนภายนอกได้ งานวิจัย [11] ได้นำวิธีการย้ายตามค่าเฉลี่ยทำการติดตามสีของใบหน้าที่ได้จากการตรวจจับการเคลื่อนไหว ซึ่งพบว่าหากภาพพื้นหลังหรือองค์ประกอบภายในภาพมีสีที่ใกล้เคียงกับสีใบหน้าจะทำให้การติดตามใบหน้าผิดพลาด งานวิจัย [12] ได้ให้ความสำคัญในการประมาณฟังก์ชันความหนาแน่นของข้อมูลที่ต้องการติดตาม ด้วยการเลือกใช้ฟังก์ชันแบบเกาส์เชื่อมมาประมาณความหนาแน่นข้อมูลสีของวัตถุที่ต้องการติดตาม สำหรับการนำมาประยุกต์ใช้งานด้านการติดตามบุคคล งานวิจัย [9] ได้นำข้อมูลรูปร่างหรือขอบของบุคคลมาร่วมใช้ในการสร้างฟังก์ชันความหนาแน่นกับข้อมูลสี ส่งผลให้สามารถติดตามบุคคลในสภาพแสงสว่างที่แตกต่างกันได้ งานวิจัย [13] นำเสนอวิธีการย้ายตามค่าเฉลี่ยแบบปรับตัวได้อย่างต่อเนื่อง (Continuously Adaptive Mean-Shift, CAMShift) ด้วยการนำเอาพื้นฐานของการติดตามแบบการย้ายตามค่าเฉลี่ยมาทำงานร่วมกับขั้นตอนการปรับเปลี่ยนขนาดของพื้นที่ในการประมาณฟังก์ชันความหนาแน่น หรืออาจเรียกว่าหน้าต่างการค้นหาคณะทำการติดตามวัตถุ ซึ่งมีข้อดี คือ สามารถทำการติดตามวัตถุที่มีการเปลี่ยนแปลงทางรูปร่างและขนาดได้ดี อีกทั้งทราบใดที่วัตถุไม่ถูกบดบังทั้งหมดจากสิ่งกีดขวาง CAMShift จะยังคงมีแนวโน้มติดตามวัตถุได้จากข้อมูลที่เหลืออยู่ในหน้าต่างการค้นหา

การนำขั้นตอนวิธีการติดตามวัตถุแบบ CAMShift ไปใช้ในสถานการณ์เฝ้าระวังพบว่า ยังมีหลายสถานการณ์ที่ทำให้การติดตามวัตถุเกิดความผิดพลาด งานวิจัยที่ปรับปรุง CAMShift จึงถูกออกแบบมาเพื่อใช้ในการติดตามวัตถุได้ดีกับสถานการณ์ที่เฉพาะเจาะจง เช่น งานวิจัย [3] ได้แบ่งวัตถุออกเป็นหลาย ๆ ส่วน แล้วจึงทำการติดตามส่วนต่าง ๆ เหล่านั้น โดยพร้อมกัน ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าแม้จากหลังจะมีสีบางส่วนที่ใกล้เคียงกับวัตถุ การติดตามก็ยังคงดำเนินต่อไปได้ งานวิจัย [4] ได้เพิ่มข้อมูลทิศทางและการเคลื่อนที่ของวัตถุ เพื่อทำการติดตามวัตถุในสถานการณ์ที่ถูกบดบังจากสิ่งกีดขวาง และสีของฉากหลังใกล้เคียงกับสีวัตถุที่ต้องการติดตาม งานวิจัย [5] ได้ให้ความสำคัญกับการกำจัดข้อมูลของฉากหลังที่ซึ่งมักถูกนำมาคำนวณในกระบวนการประมาณฟังก์ชันความหนาแน่นของวัตถุ ด้วยการค้นหาขอบของวัตถุก่อนเพื่อจำกัดขนาดหน้าต่างการค้นหาให้ใกล้เคียงกับวัตถุมากที่สุด

การติดตามบุคคลด้วยการทำงานร่วมกันของกล้องวิดิทัศน์จำเป็นต้องอาศัยขั้นตอนวิธีการติดตามบุคคลที่สามารถทำงานได้อย่างรวดเร็ว และคงทนต่อการถูกบดบังจากสิ่งกีดขวางที่ได้บ้าง ซึ่งจะเห็นได้ว่าขั้นตอนวิธีการย้ายตามค่าเฉลี่ยแบบปรับตัวได้สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานด้านการติดตามบุคคลได้อย่างมีประสิทธิภาพและรวดเร็ว ขั้นตอนวิธีการย้ายตามค่าเฉลี่ยแบบปรับตัวได้อย่างต่อเนื่องจึงถูกนำมาใช้เป็นขั้นตอนในการติดตามบุคคลในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

1.2.2 งานวิจัยด้านการทำงานร่วมกันของระบบกล้องวิดิทัศน์

งานวิจัยด้านการทำงานร่วมกันของระบบกล้องวิดิทัศน์จะพิจารณาเรื่องการส่งต่อวัตถุระหว่างกล้องวิดิทัศน์เป็นหลัก เนื่องจากเป็นส่วนที่มีความสำคัญมากในการแลกเปลี่ยนข้อมูลของวัตถุที่ต้องการติดตาม วิธีการส่งต่อวัตถุระหว่างกล้องวิดิทัศน์สามารถจำแนกออกเป็น 3 ประเภท คือ วิธีการใช้ลักษณะเด่นของเป้าหมาย (Feature-based approach) วิธีการใช้คุณสมบัติทางเรขาคณิต (Geometry-based approach) และวิธีการใช้คุณสมบัติแบบผสมผสาน (Hybrid-based approach) โดยวิธีการใช้ลักษณะเด่นของเป้าหมายมักใช้ข้อมูลสีของวัตถุเป็นหลักในการตรวจสอบความเหมือนของกระบวนการจับคู่วัตถุระหว่างกล้องวิดิทัศน์ แม้ข้อมูลสีจะเป็นข้อมูลที่เข้าถึงง่ายแต่ก็มีข้อเสียคือ มีความไว (Sensitivity) ต่อการเปลี่ยนแปลงของแสงสว่างมาก สภาพแวดล้อมการติดตั้งกล้องวิดิทัศน์แต่ละตัวที่ต่างกันจึงอาจทำให้อ่านค่าสีของวัตถุเดียวกันต่างกันได้นอกจากนี้กล้องวิดิทัศน์แต่ละตัวอาจมีคุณสมบัติของตัวจับภาพในการอ่านค่าสีที่แตกต่างกันอีกด้วย การเทียบมาตรฐานทางสีของกล้องวิดิทัศน์ในระบบจึงมีความสำคัญ งานวิจัย [9] ได้ทำการเทียบมาตรฐานทางสีระหว่างกล้องวิดิทัศน์แบบ PTZ ในระบบ ด้วยการนำภาพที่ได้จากกล้องวิดิทัศน์แต่ละตัวมาคำนวณหาค่าสีภายในภาพ แล้วทำการเปรียบเทียบกับวัตถุที่ใช้ในการเปรียบเทียบมาตรฐานทางสี (Object color checker) เช่น ลูกบาศก์สี (Color cube) จากนั้นจึงทำการปรับค่าสีของภาพให้เหมือนกัน โดยมีจุดประสงค์เพื่อให้กล้องวิดิทัศน์ที่อยู่ในระบบสามารถทำงานเปรียบเทียบได้ว่าเป็นกล้องวิดิทัศน์ตัวเดียวกัน งานวิจัย [14] ได้นำเสนอวิธีการเทียบมาตรฐานทางสีของกล้องวิดิทัศน์ด้วยเช่นกัน ด้วยการหาค่าคอร์เรลชันของค่าสีระหว่างกันของกล้องวิดิทัศน์แต่ละคู่ภายในระบบ เพื่อให้ระบบสามารถตรวจหาบุคคลหรือวัตถุที่สนใจได้ในสถานการณ์ที่กล้องวิดิทัศน์แต่ละตัวถูกติดตั้งภายใต้แสงสว่างที่ต่างกัน แต่ปัญหาคือต้องมีการคำนวณที่ซับซ้อนอาจจะมีความล่าช้าเมื่อต้องการใช้งานในเวลาจริงและ

ระบบประกอบด้วยกล้องวิดีโอหลายตัว สำหรับวิธีการทางเรขาคณิตจะเป็นการสร้างความสัมพันธ์ของตำแหน่งในภาพที่ได้จากกล้องวิดีโอแต่ละตัว เช่น งานวิจัย [4] นำเสนอการสร้างเส้นสมมติแสดงขอบเขตการมองเห็น (Field of view lines, FOV lines) จากข้อมูลเชิงพื้นที่ของกล้องวิดีโอแบบตรึงมุมมองในระบบที่มีมุมมองการรับภาพเหลื่อมกัน (Overlapping view) เส้นแสดงขอบเขตการมองเห็นที่ได้จะเป็นสิ่งที่ใช้อ้างอิงการส่งต่อบุคคลที่ทำการติดตามจากกล้องวิดีโอที่ส่งกล้องวิดีโอ โดยมีสมมติฐานว่าหากบุคคลที่เป็นเป้าหมายที่ถูกมองเห็นจากกล้องวิดีโอตัวที่หนึ่งเคลื่อนที่ไปยัง FOV lines ของกล้องวิดีโอตัวที่สอง กล้องวิดีโอตัวที่สองก็ควรมองเห็นเป้าหมายนั้นด้วยเช่นกัน ดังนั้นเป้าหมายดังกล่าวจึงเป็นบุคคลเดียวกัน ต่อมา [15] ได้นำเอาเทคนิค FOV lines มาใช้ร่วมกับการคำนวณความเร็วของเป้าหมายเพื่อสร้างความสัมพันธ์ระหว่างกล้องวิดีโอที่ไม่มีมุมมองเหลื่อมกัน (Non-overlapping view) กล่าวคือ หากสามารถประมาณความเร็วในการเคลื่อนที่ของบุคคลและทราบว่าบุคคลเคลื่อนที่ออกจาก FOV lines ใดของกล้องวิดีโอตัวใดในระบบแล้ว ก็สามารถคาดเดาได้ว่าบุคคลนั้นจะเคลื่อนที่ไปยังกล้องวิดีโอตัวใดในระบบ และงานวิจัย [16] ได้นำเอาเทคนิคทางการลงทะเบียนภาพ (Image registration) โดยการนำลักษณะเด่นที่เหมือนกันระหว่างสองภาพมาจับคู่กัน เพื่อนำมาใช้สร้าง FOV lines อย่างอัตโนมัติสำหรับการส่งต่อบุคคลเป้าหมายระหว่างกล้องวิดีโอแบบตรึงมุมมองที่มีมุมมองการรับภาพเหลื่อมกัน งานวิจัย [4] [15] และ [16] ได้ใช้ FOV lines สำหรับการสร้างสัมพันธ์ระหว่างกล้องวิดีโอในระบบ ซึ่งมีข้อดีคือการคำนวณไม่ซับซ้อน และไม่ขึ้นกับปัจจัยทางด้านแสงสว่างและรูปร่างของบุคคล แต่จำเป็นต้องให้จุดที่เป็นตัวแทนของบุคคลอยู่ระนาบเดียวกับ FOV lines ซึ่งในที่นี้คือทางเดิน ดังนั้นจึงไม่เหมาะกับการนำเทคนิคนี้ไปใช้ในพื้นที่แออัด หรือถูกบดบังจากสิ่งกีดขวางได้ง่าย

งานวิจัยข้างต้นเป็นการใช้กล้องวิดีโอแบบตรึงมุมมอง (Fixed view camera) ซึ่งไม่สามารถปรับเปลี่ยนมุมมองการรับภาพได้ เหมาะสมกับสถานการณ์ระวางระวางที่เป็นพื้นที่โล่งและไม่ต้องการเก็บรายละเอียดของเป้าหมายแบบเจาะจง กล้องวิดีโอแบบตรึงมุมมองจึงมีข้อจำกัดในกรณีที่บุคคลที่ต้องการติดตามเคลื่อนที่ออกจากมุมมองการรับภาพของกล้องวิดีโอ ทำให้ไม่สามารถติดตามบุคคลอย่างต่อเนื่องได้ ด้วยความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีของกล้องวิดีโอทำให้เริ่มมีการนำกล้องวิดีโอประเภทสาย ก้มเงย และซูม (Pan-Tilt-Zoom camera) ซึ่งมีความสามารถในการปรับเปลี่ยนแปลงมุมมองการรับภาพมาประยุกต์ใช้เพื่อลดข้อจำกัดดังกล่าวมา การส่งต่อ

บุคคลระหว่างกล้องวิดีโอทัศนแบบ PTZ จึงไม่สามารถนำวิธีการข้างต้นมาประยุกต์ใช้ได้ทั้งหมด หรืออาจทำได้ยากกว่า เช่น งานวิจัย [17] [18] และ [19] ได้ทำการเทียบมาตรฐานทางพิกัดของกล้องวิดีโอทัศนแบบ PTZ ทั้งหมดในระบบ เพื่อทำการสร้างความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ในการระบุตำแหน่งที่เหมือนกันระหว่างมุมมองการรับภาพของกล้องวิดีโอทัศนแต่ละตัว ซึ่งวิธีการคำนวณเป็นไปอย่างซับซ้อน เนื่องจากจำเป็นต้องคำนึงถึงพารามิเตอร์ภายใน (Intrinsic parameters) อาทิความยาวโฟกัส (Focal length) มิติซีซีดี (CCD dimensions) และความบิดเบือนของเลนส์ (Lens distortion) ที่เกิดการเปลี่ยนแปลงเมื่อมีการปรับเปลี่ยนระดับการซูม อีกทั้งหากมีการส่ายหรือก้มเงยก็จะส่งผลให้พารามิเตอร์ภายนอก (Extrinsic parameters) ซึ่งประกอบด้วยพารามิเตอร์การเลื่อน (Translation) และการหมุน (Rotation) ได้รับผลกระทบด้วย การเทียบมาตรฐานทางพิกัดของกล้องวิดีโอทัศนแบบ PTZ จึงต้องการขั้นตอนที่พิถีพิถันในการสร้างความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ให้เกิดขึ้นระหว่างกล้องวิดีโอทัศน จึงไม่เหมาะสมกับระบบประมวลผลที่มิกกล้องวิดีโอทัศนเป็นจำนวนมาก ทั้งนี้ยังสามารถนำวิธีการเทียบมาตรฐานทางพิกัดไปประยุกต์ใช้กับการทำงานร่วมกันระหว่างกล้องวิดีโอทัศนแบบตรึงมุมมอง และ PTZ โดยให้กล้องวิดีโอทัศนแบบตรึงมุมมองทำหน้าที่หลักในการส่งตำแหน่งของบุคคลที่สัมพันธ์กับพารามิเตอร์การส่าย และก้มเงยของกล้องวิดีโอทัศนแบบ PTZ เช่น งานวิจัย [3] เมื่อได้ตำแหน่งของบุคคลที่เคลื่อนที่แล้วมีการตรวจสอบพบว่าบุคคลล้มตัวลงภายในมุมมองการรับภาพของกล้องวิดีโอทัศนแบบตรึงมุมมอง จะกำหนดให้กล้องวิดีโอทัศนแบบ PTZ ทำการเคลื่อนที่เพื่อปรับเปลี่ยนมุมมองการรับภาพมายังตำแหน่งเดียวกันกับกล้องวิดีโอทัศนแบบตรึงมุมมอง แล้วทำการเคลื่อนที่ด้วยการส่าย ก้มเงย และซูมตามบุคคลที่ล้มลงต่อไป นอกจากการเทียบมาตรฐานทางพิกัดภาพแล้ว สำหรับกล้องวิดีโอทัศนแบบ PTZ ยังสามารถทำการเทียบมาตรฐานทางพารามิเตอร์การส่าย ก้มเงย และซูมได้ด้วย เช่น งานวิจัย [5] นำเสนอการใช้กล้องวิดีโอทัศนแบบ PTZ จำนวนสองตัวเลียนแบบการมองเห็นของเหยี่ยว กล่าวคือระบบจะให้กล้องวิดีโอทัศนตัวที่หนึ่งเฝ้ามองพื้นที่กว้างโดยรวมและใช้สำหรับเลือกและติดตามบุคคลที่สนใจ โดยพยายามให้บุคคลดังกล่าวเคลื่อนที่อยู่กึ่งกลางของมุมมองภาพตลอดเวลา จากนั้นให้กล้องวิดีโอทัศนแบบ PTZ ตัวที่สองเคลื่อนที่เพื่อปรับมุมมองการรับภาพไปยังเป้าหมายนั้นเช่นกัน โดยอาศัยความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์การส่ายและก้มเงยปัจจุบัน จากนั้นกล้องวิดีโอทัศนแบบ PTZ ตัวที่สองจะทำการซูมเพื่อเก็บรายละเอียดของเป้าหมาย ข้อดีของงานวิจัยนี้คือสามารถเห็นรายละเอียดของเป้าหมายที่ต้องการติดตามพร้อมกับ

การเห็นพื้นที่ในมุมมองกว้าง แต่จำเป็นต้องติดตั้งกล้องวิดิทัศน์แบบ PTZ ในระบบอยู่ใกล้ชิดกัน เพื่อลดความผิดพลาดในการระบุตำแหน่งการเคลื่อนที่ร่วมกันของกล้องวิดิทัศน์

จากการศึกษาพบว่าลักษณะเด่นของข้อมูล เช่น ข้อมูลสีเง็ของบุคคล เหมาะสมสำหรับใช้ในกระบวนการส่งต่อบุคคลระหว่างกล้องวิดิทัศน์แบบ PTZ เนื่องจากสามารถประมวลผลข้อมูลได้อย่างรวดเร็ว เช่น งานวิจัย [9] และ [20] ได้อาศัยการเปรียบเทียบข้อมูลสี Hue จากปริภูมิสี HSL ที่ใกล้เคียงในกระบวนการส่งต่อบุคคลระหว่างกล้องวิดิทัศน์ ข้อดีของการเลือกใช้ค่าข้อมูลสี Hue คือ เป็นค่าสีที่ถูกแยกค่าความสว่างออกไปแล้ว ทำให้กระบวนการจับคู่เพื่อการส่งต่อบุคคลสามารถทำงานได้ดีแม้ในสถานการณ์ที่มีการเปลี่ยนแปลงของแสงสว่าง สำหรับงานวิจัย [20] ได้ให้ความสำคัญกับกระบวนการคัดเลือกกล้องวิดิทัศน์ที่มีมุมมองการรับภาพต่อบุคคลที่ดีที่สุดด้วยการใช้ทฤษฎีเกม ทั้งนี้งานวิจัย [9] และ [20] สามารถทำงานได้ดีกับระบบกล้องวิดิทัศน์ที่มีมุมมองการรับภาพใกล้เคียงกัน หรือต่างกันแต่ลักษณะของบุคคลที่แต่ละมุมมองของภาพที่ได้รับไม่ซับซ้อน เช่น สีเง็ของบุคคลเป็นเนื้อเดียวกัน (Homogeneous) หากบุคคลที่สนใจมีสัมภาระหรือปัจจัยอื่นที่ทำให้ค่าสีซึ่งส่งผลต่อภาพของบุคคลที่ได้รับเปลี่ยนแปลง อาจทำให้ขั้นตอนการส่งต่อบุคคลระหว่างกล้องวิดิทัศน์ผิดพลาดได้ ปัญหาดังกล่าวนี้สามารถเรียกได้ว่าเป็นผลกระทบจากมุมมองของกล้องวิดิทัศน์ในระบบที่เป็นอิสระจากลักษณะของบุคคลที่ปรากฏ ซึ่งเป็นปัญหาที่วิทยานิพนธ์นี้ให้ความสำคัญ

1.3 แนวทางวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอระบบการทำงานร่วมกันของกล้องวิดิทัศน์ที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในระบบระแวงระวังภายในอาคาร โดยระบบจะประกอบด้วยกล้องวิดิทัศน์แบบ PTZ จำนวน 3 ตัว เพื่อทำการติดตามบุคคลที่ต้องการได้ ทั้งในสถานการณ์ที่มีมุมมองการรับภาพของกล้องวิดิทัศน์เหลื่อมกันและไม่เหลื่อมกัน โดยให้ความสำคัญกับกระบวนการส่งต่อบุคคลระหว่างกล้องวิดิทัศน์สามารถแบ่งแนวทางของวิทยานิพนธ์ได้ดังนี้

1. การติดตามบุคคลที่กล้องวิดีโอทัศน์แต่ละตัว จะอาศัยขั้นตอนวิธีการย้ายตามค่าเฉลี่ยแบบปรับตัวได้อย่างต่อเนื่อง โดยใช้ข้อมูลสี่เหลี่ยมของบุคคลเป็นลักษณะเด่นในการติดตาม โดยภายในมุมมองการรับภาพของกล้องวิดีโอทัศน์แต่ละตัวสามารถทำการติดตามได้มากกว่า 1 บุคคล

2. การสร้างแบบจำลองลักษณะบุคคล เป็นการสร้างแบบจำลองบุคคลที่ได้จากการสะสมข้อมูลสี่ของบุคคลขณะทำการติดตาม โดยมีเงื่อนไขในการสะสมข้อมูล คือ จะต้องมีความแตกต่างจากข้อมูลของบุคคลที่มีอยู่เดิม เพื่อนำไปใช้ในกระบวนการค้นหาลักษณะของบุคคลที่เหมือนกันในการส่งต่อบุคคลระหว่างกล้องวิดีโอทัศน์

3. การส่งต่อบุคคลระหว่างกล้องวิดีโอทัศน์ เป็นการค้นหาลักษณะของบุคคลที่เหมือนกันจากข้อมูลในแบบจำลองบุคคลที่สร้างไว้ในขั้นตอนที่ 2 วิธีการนี้จะถูกนำไปใช้ในการการแก้ปัญหาผลกระทบที่เกิดจากมุมมองของกล้องวิดีโอทัศน์ในระบบที่เป็นอิสระจากลักษณะของบุคคลที่ปรากฏ ทั้งนี้หากพบว่าบุคคลที่ทำการติดตามปรากฏอยู่ในมุมมองการรับภาพของกล้องวิดีโอทัศน์ที่เหลื่อมกัน จะทำการคัดเลือกกล้องวิดีโอทัศน์ที่มีมุมมองต่อบุคคลดีที่สุดในการติดตาม โดยใช้ทฤษฎีที่นำเสนอโดย [20]

4. กำหนดให้กล้องวิดีโอทัศน์เคลื่อนที่ด้วยการส่ายและก้มเงยตามบุคคลที่ต้องการ ทั้งนี้หากบุคคลดังกล่าวเคลื่อนที่อยู่ในมุมมองการรับภาพของกล้องวิดีโอทัศน์ที่เหลื่อมกัน จะมีเพียงกล้องวิดีโอทัศน์ตัวเดียวที่ทำการเคลื่อนที่ ซึ่งเป็นผลลัพธ์ที่ได้จากกระบวนการคัดเลือกกล้องวิดีโอทัศน์ที่มีมุมมองต่อบุคคลดีที่สุดในการติดตาม

1.4 ขอบเขตของงานวิจัย

1. ทำการติดตามบุคคลด้วยกล้องวิดีโอทัศนแบบ PTZ หลายตัว โดยให้ความสำคัญกับการถ่ายและกัมเมยของกล้องวิดีโอทัศน
2. ระบบการติดตามบุคคลสามารถทำการส่งต่อบุคคลจากกล้องวิดีโอทัศนตัวหนึ่งไปสู่กล้องวิดีโอทัศนอีกตัวหนึ่งได้โดยอัตโนมัติ
3. มุมมองการรับภาพของกล้องวิดีโอทัศนในระบบการติดตามสามารถเหลื่อมกัน และไม่เหลื่อมกันได้
4. สามารถทำการติดตามบุคคลซึ่งอยู่ในความสนใจท่ามกลางบุคคลอื่นได้

1.5 ขั้นตอนและวิธีดำเนินงานวิจัย

1. ศึกษาปัญหาการติดตามบุคคลด้วยการทำงานร่วมกันระหว่างกล้องวิดีโอทัศน เช่น การเลือกลักษณะเด่นของบุคคลในการติดตาม และมุมมองของกล้องวิดีโอทัศนที่ส่งผลกระทบต่อการส่งต่อบุคคลระหว่างกล้องวิดีโอทัศน
2. ศึกษา วิเคราะห์ และเปรียบเทียบงานวิจัยก่อนหน้าเกี่ยวกับการส่งต่อบุคคลระหว่างกล้องวิดีโอทัศนเพื่อการติดตามบุคคล
3. เสนอแนวทางการแก้ปัญหาที่มีประสิทธิภาพ
4. ออกแบบและดำเนินการทดลองโดยใช้วิดีโอทัศนระแวงระวังในสถานการณ์จริง รวมทั้งวิเคราะห์ผล และปรับแก้ระเบียบวิธีเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ดีขึ้น
5. เขียนบทความทางวิชาการและนำเสนอผลงาน
6. สรุปผลการวิจัยและจัดทำรายงาน

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบถึงความรู้พื้นฐานและการทำงานร่วมกันของระบบกล้องวิดีโอทัศน์เพื่อติดตามบุคคลได้อย่างถูกต้องและมีประสิทธิภาพ
2. สามารถนำไปประยุกต์และพัฒนาระบบการติดตามบุคคลสำหรับระบบระแวดระวังให้มีประสิทธิภาพดีขึ้น

บทที่ 2

ความรู้พื้นฐานและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะกล่าวถึงความรู้พื้นฐานและทฤษฎีที่จำเป็นสำหรับวิทยานิพนธ์ โดยจะแบ่งเนื้อหาออกเป็น 6 หัวข้อหลัก คือ ปฏิภูมิสีและขั้นตอนการแปลงปฏิภูมิสีที่จำเป็นในงานวิจัย แบบจำลองกล้องวิดิทัศน์และแบบจำลองการเคลื่อนที่ของกล้องวิดิทัศน์ ขั้นตอนวิธีการติดตามบุคคล ฟังก์ชันความเหมือนของ Bhattacharyya สำหรับการเปรียบเทียบฮิสโทแกรม ทฤษฎีเกม และทฤษฎีเกมกับการคัดเลือกกล้องวิดิทัศน์ที่มีมุมมองต่อบุคคลที่ติดตามที่ดีที่สุด

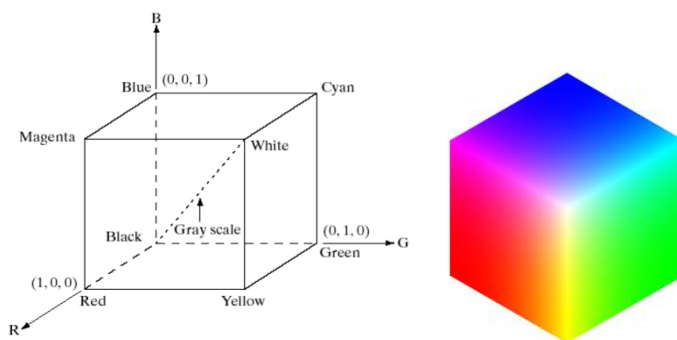
2.1 ปฏิภูมิสี

งานวิจัยทางด้านการประมวลผลภาพและวิดิทัศน์มักอาศัยข้อมูลสีเป็นลักษณะเด่น (Feature) เนื่องจากเป็นข้อมูลที่สามารถนำมาใช้ได้โดยตรง จึงสะดวกในการนำมาใช้สำหรับการประมวลผลภาพและวิดิทัศน์ ข้อมูลสีจะถูกเก็บอยู่ในรูปค่าสีซึ่งเป็นผลรวมขององค์ประกอบฐานสี (Color basis) เข้าเป็นสีต่าง ๆ ตามภาพที่รับได้ในหนึ่งจุดภาพ (Pixel) ดังนั้นจึงสามารถแทนค่าสีด้วยเวกเตอร์ค่าสีในปฏิภูมิสี (Color space) ได้หลายรูปแบบ โดยปฏิภูมิสีแบบ RGB เป็นปฏิภูมิสีที่ถูกนำมาใช้มากที่สุด เนื่องจากเป็นองค์ประกอบสีหลักในอุปกรณ์แสดงผลต่าง ๆ ไป ทั้งนี้มนุษย์มีความสามารถในการมองเห็นความสว่างและสีได้ดีไม่เท่ากัน โดยสายตามนุษย์จะมีความไวต่อความสว่างมากกว่าสี จึงเกิดปฏิภูมิสีที่มีการแยกแยะระหว่างความส่องสว่าง (Luminance) และค่าสี (Chrominance) ขึ้น เช่น ปฏิภูมิสี YUV YCbCr และHSL

2.1.1 ปฏิภูมิสี RGB

ปฏิภูมิสี RGB เป็นองค์ประกอบสีที่พบได้ในอุปกรณ์แสดงผลทั่วไปที่อาศัยการแผ่รังสีในย่านคลื่นแสงที่มองเห็นอันประกอบด้วยฐานสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน การทำงานกับปฏิภูมิสี RGB จึงมีความสะดวกในการจัดการและการออกแบบระบบ ค่าสีที่เกิดจากปฏิภูมิสี RGB สามารถอธิบายได้จากแบบจำลองสี RGB ในลักษณะลูกบาศก์ในระบบพิกัดคาร์ทีเซียนดังแสดงในรูปที่ 2.1 โดยค่าสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงินจะอยู่ที่แต่ละมุมหลักของลูกบาศก์ สีดำจะอยู่ที่จุดกำเนิด ส่วนสีขาวจะอยู่

ที่มุมตรงข้ามจุดกำเนิด หากลากเส้นเชื่อมต่อระหว่างสีดำและสีขาวจะได้ค่าระดับสีเทา (Gray level) ตามเส้นดังกล่าวที่มีค่า ที่อยู่



รูปที่ 2.1 แบบจำลองสี RGB

แต่ค่าสีสามารถหาได้จากการพิจารณาเวกเตอร์ค่าสีซึ่งเป็นผลรวมเชิงเส้นขององค์ประกอบสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน เวกเตอร์ค่าสี ณ จุดภาพหลักที่ i แถวที่ j ของลำดับภาพที่ n ดังสมการที่ (2.1)

$$\mathbf{X}_{i,j}[n] = (X_{i,j}^R[n], X_{i,j}^G[n], X_{i,j}^B[n]) \quad (2.1)$$

โดย $X_{i,j}^R[n]$ เป็นค่าความเข้มขององค์ประกอบสีแดง ซึ่ง $0 \leq X_{i,j}^R[n] \leq D^R$

$X_{i,j}^G[n]$ เป็นค่าความเข้มขององค์ประกอบสีเขียว ซึ่ง $0 \leq X_{i,j}^G[n] \leq D^G$

$X_{i,j}^B[n]$ เป็นค่าความเข้มขององค์ประกอบสีน้ำเงิน ซึ่ง $0 \leq X_{i,j}^B[n] \leq D^B$

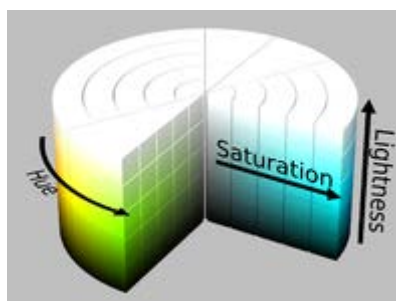
โดย D^R , D^G และ D^B เป็นค่าสีสูงสุดในองค์ประกอบสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงินที่ขึ้นอยู่กับค่าความลึกของสี (Color depth) จากกระบวนการการแจกแจงหน่วย ค่าความลึกของสีที่นิยมใช้ในการประมวลผลภาพและวิดิทัศน์ทั่วไปจะอยู่ในความลึกสี 24 บิตต่อจุดภาพ อันประกอบด้วยองค์ประกอบสีละ 8 บิตต่อจุดภาพ นั่นคือ D^R , D^G และ D^B มีค่าเป็น 255 ทั้งหมด

ปริภูมิสี RGB อาจไม่เหมาะสมในงานด้านการประมวลผลภาพและวิดิทัศน์ เนื่องจากตัวรับรู้สี (Color sensor) ที่อยู่ในอุปกรณ์รับภาพมีความไว (Sensitivity) ต่อแสงย่านสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงินแตกต่างกัน ส่งผลให้เกิดความแตกต่างในรายละเอียดของระดับสีที่ได้รับ ทำให้ต้องปรับสมดุล

ค่าสี (Color equalization) ซึ่งจะทำให้สูญเสียข้อมูลในแถบสัญญาณสีที่มีความละเอียดสูง อีกทั้งในการอ่านค่าสีของปริภูมิ RGB สำหรับการประมวลผลภาพและวิดิทัศน์จะทำการอ่านค่าสีทั้ง 3 แถบสีพร้อมกันเสมอ ปัญหาที่สำคัญที่สุดสำหรับปริภูมิสี RGB คือ การรวมกันของค่าความสว่างและค่าสี ส่งผลให้ในการประมวลผลภาพและวิดิทัศน์ที่อาศัยค่าสีเป็นลักษณะเด่นเกิดความผิดพลาดเมื่อต้องทำงานกับสถานะแวดล้อมที่มีปัจจัยทางด้านแสงสว่างเข้ามาเกี่ยวข้อง

2.1.2 ปริภูมิสี HSL

ปริภูมิสี HSL สร้างขึ้นตามพื้นฐานการมองเห็นสีด้วยสายตาของมนุษย์ ประกอบด้วยค่าสีสัน (Hue) ค่าความอิ่มตัวของสี (Saturation) และค่าความสว่างของสี (Lightness) โดยค่าสีสันเป็นค่าสีที่สะท้อนจากสีของวัตถุ ซึ่งแตกต่างกันตามความยาวของคลื่นแสงที่มากกระทบวัตถุและสะท้อนกลับมาถึงตาของมนุษย์ ทำมุมได้ 0 ถึง 360 องศา โดยสีแดง สีเหลือง และสีเขียวจะมีค่าต่างกันสีละ 60 องศา สำหรับค่าความอิ่มตัวของสีสามารถเรียกได้ว่าเป็นค่าความเข้มของเนื้อสีหรือค่าความบริสุทธิ์ของสี โดยมีค่าเป็นเปอร์เซ็นต์ตั้งแต่ 0 ถึง 100 เปอร์เซ็นต์ กล่าวคือ สีของวัตถุจะมีความเข้มมากขึ้นเมื่อค่าอิ่มตัวของสีมีค่าเพิ่มขึ้น และจะอิ่มตัวเต็มที่เมื่อค่าความอิ่มตัวของสีมีค่าเท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ ส่วนค่าความสว่างของสีเป็นค่าที่ใช้บอกปริมาณความเข้มของแสงในหน่วยเปอร์เซ็นต์ จาก 0 ถึง 100 ซึ่งเป็นค่าความสว่างของสีที่สว่างที่สุด ค่าสีที่เกิดจากปริภูมิสี HSL สามารถอธิบายได้จากแบบจำลองสี HSL ในลักษณะรูปทรงกระบอกในระบบพิกัดทรงกระบอก ดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 แบบจำลองสี HSL

ข้อดีในการใช้ปริภูมิสี HSL ในการประมวลผลภาพและวิดิทัศน์ คือ องค์ประกอบในปริภูมิมีการแยกองค์ประกอบเชิงความสว่างออกจากองค์ประกอบสีอย่างชัดเจน การวิเคราะห์ความ

เปลี่ยนแปลงของแต่ละองค์ประกอบจึงเป็นอิสระต่อกัน วิทยานิพนธ์นี้จึงเลือกใช้ปริภูมิสี HSL โดยพิจารณาเฉพาะช่วงค่าความอิ่มตัวของสีและค่าความสว่างของสีที่อยู่ในช่วง 10 ถึง 90 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากเป็นช่วงที่เหมาะสมในการประมวลผลวิทัศน์ซึ่งได้จากการทำการทดลอง

ทั้งนี้องค์ประกอบสีที่ได้จากกล้องวิทัศน์เป็นองค์ประกอบสีที่อยู่ในปริภูมิสี RGB จึงจำเป็นต้องทำการแปลงให้อยู่ในปริภูมิสี HSL โดยมีขั้นตอนดังนี้

1. นำข้อมูลสีแดง (R) สีเขียว (G) และสีน้ำเงิน (B) ที่ได้จากปริภูมิสี RGB มาทำการหาค่าแถบสีสูงสุด (C_{MAX}) ค่าแถบสีต่ำสุด (C_{MIN}) และผลต่างระหว่างค่าแถบสีสูงสุดต่ำสุด (Δ) ดังสมการที่ (2.2) (2.3) และ (2.4) ตามลำดับ

$$C_{MAX} = \max(R', G', B') \quad (2.2)$$

$$C_{MIN} = \min(R', G', B') \quad (2.3)$$

$$\Delta = C_{MAX} - C_{MIN} \quad (2.4)$$

$$\text{เมื่อ } R' = \frac{R}{255}, G' = \frac{G}{255} \text{ และ } B' = \frac{B}{255}$$

2. หาค่าสีตัน (H) ในหน่วยองศา ความอิ่มตัวของสี (S) ในหน่วยเปอร์เซ็นต์ และความสว่างของสี (L) ในหน่วยเปอร์เซ็นต์ ได้จากสมการที่ (2.5) (2.6) และ (2.7) ตามลำดับ

$$H = \begin{cases} 60^\circ \times \left(\frac{G' - B'}{\Delta} \bmod 6 \right), & C_{MAX} = R' \\ 60^\circ \times \left(\frac{B' - R'}{\Delta} + 2 \right), & C_{MAX} = G' \\ 60^\circ \times \left(\frac{R' - G'}{\Delta} + 4 \right), & C_{MAX} = B' \end{cases} \quad (2.5)$$

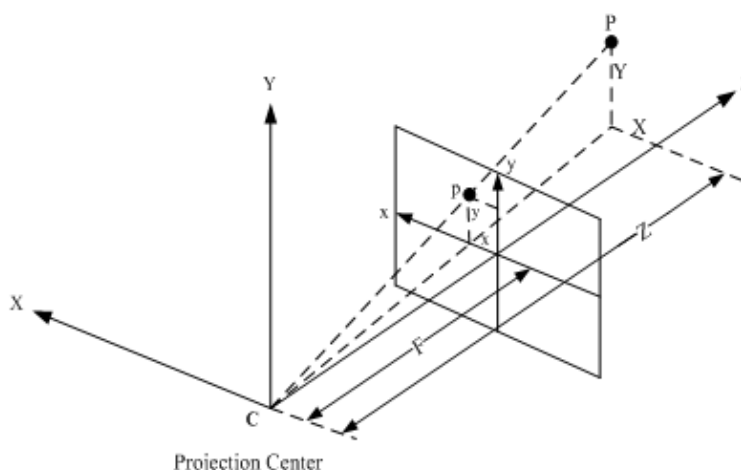
$$S = \begin{cases} 0, & \Delta = 0 \\ \frac{\Delta}{1 - \left| 2 \left(\frac{C_{MAX} + C_{MIN}}{2} \right) - 1 \right|}, & \Delta \neq 0 \end{cases} \quad (2.6)$$

$$L = \left(\frac{C_{MAX} + C_{MIN}}{2} \right) \quad (2.7)$$

2.2 แบบจำลองกล้องวิทัศน์และแบบจำลองการเคลื่อนที่กล้องวิทัศน์

ทฤษฎีการทำงานเกี่ยวกับแบบจำลองกล้องมีความสำคัญในด้านการมโนภาพ (Imagine) และทำให้เข้าใจหลักการหลักการเกี่ยวกับการควบคุมกล้องวิทัศน์ โดยแบบจำลองกล้องวิทัศน์เป็นการจำลองรูปแบบการสร้างภาพที่ปรากฏอยู่บนจอภาพในพิกัดภาพ (Image coordinate) 2 มิติ จากวัตถุในฉากจริง (Real scene) ในพิกัด 3 มิติ มีแบบจำลองหลายรูปแบบที่ใช้บรรยายการสร้างภาพ เช่น แบบจำลองกล้องรูเข็ม (Pinhole camera model) และแบบจำลองกล้อง CAHV (CAHV Camera model) เป็นต้น โดยแบบจำลองกล้องวิทัศน์ที่สามารถแสดงความเข้าใจพื้นฐานเกี่ยวกับกล้องวิทัศน์ได้อย่างดี คือ แบบจำลองกล้องวิทัศน์แบบรูเข็ม

2.2.1 แบบจำลองกล้องวิทัศน์แบบรูเข็ม



รูปที่ 2.3 การฉายภาพแบบทัศนมิติ ของแบบจำลองกล้องรูเข็ม

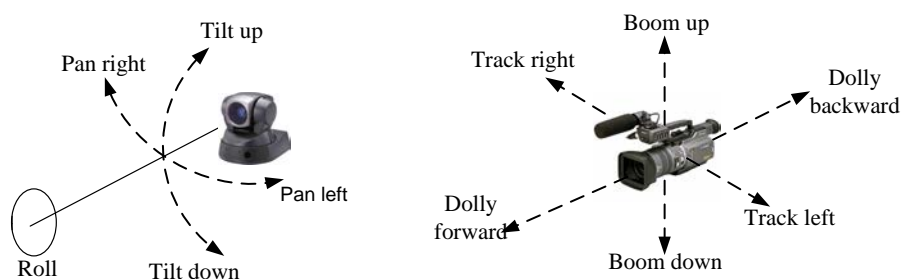
แบบจำลองกล้องรูเข็ม เป็นแบบจำลองที่นิยมใช้กันอย่างมากมายในการวิเคราะห์การสร้างภาพและงานประยุกต์ใน 3 มิติ แสดงดังรูปที่ 2.3 โดยอาศัยพื้นฐานการฉายภาพแบบทัศนมิติ (Perspective projection) จากวัตถุในพิกัด 3 มิติ ในการสร้างภาพพิกัด 2 มิติ

จากรูปที่ 2.3 หากพิจารณาที่จุด P ในพิกัด 3 มิติ หรือจุด $P(X,Y,Z)$ สามารถฉายลงมาที่ยังจุด $P(x,y)$ ในระนาบภาพ (Image plane) 2 มิติ ได้ดังสมการที่ (2.8) โดยมีจุดตำแหน่ง C เป็นจุดศูนย์กลางในการฉายภาพ (Center of projection) และ F เป็นความยาวโฟกัส (Focal length)

$$\begin{aligned}x &= F \left(\frac{X}{Z} \right) \\y &= F \left(\frac{Y}{Z} \right)\end{aligned}\quad (2.8)$$

2.2.2 แบบจำลองการเคลื่อนที่กล้องวิดีโอ

การเคลื่อนที่ของกล้อง โดยทั่วไปจะแบ่งออกได้เป็น 2 รูปแบบ คือ



(ก) ตำแหน่งศูนย์กลางไม่เปลี่ยนแปลง (ข) ตำแหน่งศูนย์กลางมีการเปลี่ยนแปลงตำแหน่ง

รูปที่ 2.4 การเคลื่อนที่ของกล้องวิดีโอ

2.2.2.1 ตำแหน่งศูนย์กลางการฉายภาพไม่เปลี่ยนแปลง

การเคลื่อนที่ของกล้องวิดีโอในรูปแบบนี้จะประกอบด้วย การส่าย (Pan) เป็นลักษณะการเคลื่อนที่กล้องโดยยึดแกนตั้ง (Vertical axis) เป็นแกนหมุนรอบ การก้มเงย (Tilt) เป็นลักษณะการเคลื่อนที่กล้องโดยยึดแกนนอน (Horizontal axis) เป็นแกนหมุนรอบ และ การหมุน (Roll) เป็นลักษณะการเคลื่อนที่กล้องโดยยึดแกนเชิงแสง (Optical axis) เป็นแกนหมุนรอบ ดังแสดงในรูปที่ 2.4(ก) การเคลื่อนที่ของกล้องวิดีโอที่ตำแหน่งศูนย์กลางการฉายภาพไม่เปลี่ยนแปลงนี้ เป็นการเคลื่อนที่ของกล้องวิดีโอสำหรับการสอดส่องดูแล (Surveillance) โดยทั่วไป ซึ่งเป็นรูปแบบเดียวกับที่ใช้ในวิทยานิพนธ์นี้

2.2.2.2 ตำแหน่งศูนย์กลางการฉายภาพมีการเปลี่ยนแปลงตำแหน่ง

ประกอบด้วยการติดตาม (Track) ซึ่งเป็นลักษณะการเคลื่อนที่กล้องในลักษณะการเลื่อนขนาน (Translation) ตามแนวแกนอนของระนาบภาพ การยก (Boom) เป็นลักษณะการเคลื่อนที่กล้องในลักษณะการเลื่อนขนานตามแนวแกนตั้งของระนาบภาพ และการดอลลี (Dolly) เป็นลักษณะการเคลื่อนที่กล้องในลักษณะการเลื่อนขนานตามแนวแกนเชิงแสง ดังแสดงในรูปที่ 2.4 (ข)

2.3 การติดตามวัตถุหรือบุคคลในลำดับภาพวิดีโอ

การติดตามวัตถุหรือบุคคลที่เคลื่อนที่ภายในลำดับภาพวิดีโอ คือ การพยายามที่จะระบุตำแหน่งของบุคคลหรือวัตถุในลำดับภาพวิดีโอให้ถูกต้องและต่อเนื่องไปในทุก ๆ ลำดับภาพหรือทำนายว่าทิศทางการเคลื่อนที่ของวัตถุหรือบุคคลนั้นควรเคลื่อนที่ไปในทิศทางใด โดยทั่วไปแล้วสามารถแบ่งรูปแบบการติดตามวัตถุหรือบุคคลที่เคลื่อนที่ได้ 4 ประเภท คือ การติดตามวัตถุหรือบุคคลด้วยโมเดลรูปร่าง (Model-based tracking) การติดตามวัตถุหรือบุคคลด้วยพื้นที่ (Region-based tracking) การติดตามวัตถุหรือบุคคลด้วยขอบ (Contour-based tracking) และการติดตามวัตถุหรือบุคคลโดยอาศัยลักษณะเด่น (Feature-based tracking) การติดตามวัตถุหรือบุคคลด้วยโมเดลรูปร่าง เป็นวิธีที่จะติดตามวัตถุที่มีรูปร่างลักษณะเข้ากับโมเดลรูปร่างที่เตรียมไว้ ซึ่งการติดตามวัตถุหรือบุคคลด้วยวิธีนี้ จำเป็นต้องสร้างโมเดลรูปร่างที่สนใจไว้ก่อน ดังนั้นวิธีการนี้จึงมีข้อจำกัด คือ ไม่สามารถทำงานกับวัตถุที่ไม่ทราบรูปร่างล่วงหน้าได้ การติดตามวัตถุหรือบุคคลด้วยพื้นที่ เป็นการดึงข้อมูลสำคัญออกมาเป็นลักษณะของพื้นที่ที่ประกอบไปด้วยข้อมูลใดๆ เช่น ข้อมูลของสี ข้อมูลวลดลาย เป็นต้น จากนั้นจะทำการติดตามพื้นที่เหล่านั้น โดยหาข้อมูลของสิ่งที่ดึงออกมาใช้นั้นเอง การติดตามวัตถุหรือบุคคลด้วยขอบ วิธีนี้จะขึ้นอยู่กับขอบของวัตถุหรือบุคคลที่มีการเคลื่อนที่ ไม่ได้ขึ้นกับตัววัตถุทั้งชิ้น ข้อมูลทางขอบวัตถุจะถูกดึงออกมาถูกปรับแต่งในแต่ละลำดับภาพที่เกิดขึ้น ดังนั้นการติดตามวัตถุที่เคลื่อนที่จะได้ผลดีหรือไม่ขึ้นกับขอบวัตถุเริ่มแรกที่ถูกดึงออกมาได้ สำหรับการติดตามวัตถุหรือบุคคลโดยอาศัยคุณลักษณะเฉพาะ มีจุดประสงค์ที่จะค้นหาและติดตามวัตถุที่เคลื่อนที่โดยใช้ลักษณะเด่นบางอย่างที่ได้จากการคำนวณในระดับสูงขึ้นไป เช่น การประมาณความเร็วของวัตถุ การหาค่าการกระจายตัวของข้อมูลของวัตถุ การประมาณความ

หนาแน่นของข้อมูลวัตถุ เป็นต้น ซึ่งวิธีการประเภทนี้จะมีข้อดี คือ วัตถุหรือบุคคลที่จะติดตามนั้น จะมีข้อมูลแยกออกมาจากสิ่งแวดล้อมได้อย่างดีกว่าวิธีอื่น ๆ

สำหรับวิทยานิพนธ์นี้ได้เลือกใช้ขั้นตอนวิธีการย้ายตามค่าเฉลี่ยแบบปรับตัวได้อย่างต่อเนื่อง (Continuously Adaptive Mean-Shift) ซึ่งเป็นขั้นตอนวิธีการติดตามวัตถุโดยอาศัยลักษณะเด่นของความหนาแน่นของข้อมูลวัตถุมาประยุกต์ใช้ในขั้นตอนการติดตามบุคคล ซึ่งมีข้อดี คือ สามารถทำการติดตามวัตถุที่มีการเปลี่ยนแปลงทางรูปร่างและขนาดได้ดี และไม่พิจารณาข้อมูลที่อยู่ภายนอกหน้าต่างการค้นหาทำให้สัญญาณภาพรบกวนและลักษณะเด่นของข้อมูลอื่นที่อยู่ใกล้เคียงกับวัตถุไม่ส่งผลต่อการติดตาม ทั้งนี้ในขั้นตอนการเริ่มต้นของการติดตามวัตถุหรือบุคคลในลำดับภาพวิดีโอ จำเป็นต้องมีการกำหนดจุดเริ่มต้นหรือพื้นที่เริ่มต้นก่อน ซึ่งเรียกว่าการตรวจจับวัตถุ (Object detection) โดยพื้นฐานมีวิธีที่นิยม 3 วิธี ได้แก่ วิธีการลบฉากหลัง (Background Subtraction) ที่ทำการเปรียบเทียบภาพในปัจจุบันกับภาพฉากหลังที่สร้างไว้ วิธีการหาความแตกต่างของภาพทางเวลา (Frame Differencing) เป็นการหาความแตกต่างของภาพที่อยู่ติดกัน วัตถุที่เคลื่อนที่จะถูกแสดงความแตกต่างให้อยู่ในรูปผลต่างของทั้งสองภาพ เป็นวิธีที่สามารถทำงานได้อย่างรวดเร็ว แต่ผลการตรวจจับวัตถุจะไม่สมบูรณ์เนื่องจากได้จากเพียงผลต่างของภาพที่อยู่ติดกัน และวิธีการหาการไหลของวัตถุที่เคลื่อนที่ในภาพ (Optical Flow) ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้กับกล้องวิดีโอที่อยู่นิ่ง และกล้องวิดีโอที่มีการเคลื่อนที่ไปด้วยได้ แต่การคำนวณจะมีความซับซ้อน สำหรับวิทยานิพนธ์นี้ให้ความสนใจกับการตรวจจับบุคคลขณะที่กล้องวิดีโอยังไม่มีการเคลื่อนที่ ดังนั้นวิธีการตรวจจับบุคคลโดยใช้วิธีการลบฉากหลังจึงเป็นวิธีที่เหมาะสม ซึ่งเป็นวิธีที่นิยมและสามารถทำงานได้อย่างรวดเร็ว

2.3.1 การตรวจจับวัตถุหรือบุคคลที่เคลื่อนที่ด้วยวิธีการลบฉากหลัง

วิธีการลบฉากหลัง (Background Subtraction) เป็นวิธีการที่นำเอาภาพที่รับเข้ามาในปัจจุบันมาเปรียบเทียบกับภาพอ้างอิงที่ถูกสร้างไว้ เพื่อใช้ในการตรวจจับวัตถุที่เคลื่อนที่อยู่ในลำดับภาพวิดีโอ วิธีการลบฉากหลังแบบพื้นฐานที่สุด คือ การหาผลต่างระหว่างภาพปัจจุบันที่รับเข้ามา กับแบบจำลองฉากหลังสามารถอธิบายได้ดังสมการที่ (2.9)

$$|I(x, y, t) - B(x, y, t')| > Th \quad (2.9)$$

เมื่อ $I(x, y, t)$ คือ ลำดับภาพปัจจุบันที่รับเข้ามา ณ เวลา t ใด ๆ

$B(x, y, t')$ คือ แบบจำลองฉากหลังที่ถูกสร้างเมื่อเวลา t'

และ Th คือ ค่าขีดเริ่มเปลี่ยน (Threshold) ซึ่งเป็นตัวกำหนดขนาดผลต่างที่ยอมรับได้

แบบจำลองฉากหลังอาจถูกสร้างจากลำดับภาพแรกที่ได้รับเข้ามา หรือเกิดจากการประมาณจากแบบจำลองต่าง ๆ ขึ้นมา ทั้งนี้องค์ประกอบต่าง ๆ ในลำดับภาพวิดิทัศน์อาจทำให้การตรวจหาวัตถุหรือบุคคลจากวิธีการลบฉากหลังมีความผิดพลาดได้ เช่น การเปลี่ยนแปลงของฉากหลังจากความสว่าง อัตราลำดับภาพ การเคลื่อนที่ของบุคคลและกล้องวิดิทัศน์ วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงเลือกใช้วิธีการลบฉากหลังแบบปรับตัวได้อย่างง่าย ด้วยการกำหนดจำนวนลำดับภาพที่ใช้สำหรับการปรับเปลี่ยนฉากหลัง

2.3.2 ขั้นตอนวิธีการย้ายตามค่าเฉลี่ยแบบปรับตัวได้อย่างต่อเนื่อง

วิธีการย้ายตามค่าเฉลี่ยแบบปรับตัวได้อย่างต่อเนื่อง (Continuously Adaptive Mean-Shift, CAMShift) เป็นวิธีการติดตามวัตถุที่นำเอาพื้นฐานของการติดตามแบบการย้ายตามค่าเฉลี่ย (Mean-Shift) มาทำงานร่วมกับขั้นตอนการปรับเปลี่ยนขนาดของหน้าต่างการค้นหา ซึ่งมีข้อดีคือสามารถทำการติดตามวัตถุที่มีการเปลี่ยนแปลงทางรูปร่างและขนาดได้ดี และไม่พิจารณาข้อมูลที่อยู่ภายนอกหน้าต่างการค้นหาทำให้สัญญาณภาพรบกวนและลักษณะของข้อมูลอื่นที่ใกล้เคียงกับวัตถุไม่ส่งผลต่อการติดตาม อีกทั้งทราบได้ที่วัตถุไม่ถูกลบทิ้งทั้งหมดจากสิ่งกีดขวาง CAMShift จะยังคงมีแนวโน้มติดตามวัตถุได้จากข้อมูลที่เหลืออยู่ภายในหน้าต่างการค้นหา

จาก [13] ได้นำเสนอวิธีการย้ายตามค่าเฉลี่ยแบบปรับตัวได้อย่างต่อเนื่องมาใช้สำหรับการติดตามวัตถุด้วยการคำนวณจากภาพวิดิทัศน์แบบ 2 มิติ โดยการทำงานของ CAMShift [13] จะพิจารณาจากฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นของสีของวัตถุ โดยพัฒนาต่อยอดจากขั้นตอนวิธีการติดตามวัตถุแบบการย้ายตามค่าเฉลี่ย (Mean-Shift) [21] ด้วยการให้มีการปรับเปลี่ยนขนาดของกรอบการติดตามวัตถุให้สามารถลดหรือขยายขนาดจากเดิมได้ และการแจกแจงความน่าจะเป็น

ของสีของวัตถุที่ติดตามก็จะถูกปรับเปลี่ยนไปด้วย ขั้นตอนการทำงานของ CAMShift สามารถอธิบายได้ดังนี้

1. กำหนดตำแหน่งตั้งต้นของกรอบการติดตามวัตถุ

2. ทำการค้นหาตำแหน่งใหม่ของวัตถุที่ติดตามด้วยขั้นตอนวิธี Mean-Shift ด้วยการเริ่มต้นจากการคำนวณค่าโมเมนต์ลำดับที่ศูนย์ซึ่งเป็นการคำนวณทางด้านผลรวมของค่าความน่าจะเป็นของสีในกรอบการติดตามวัตถุนั้น สำหรับโมเมนต์ลำดับที่ศูนย์ (M_{00}) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.10)

$$M_{00} = \sum_x \sum_y I(x, y) \quad (2.10)$$

เมื่อ $I(x, y)$ คือ ค่าความน่าจะเป็นของสีที่ตำแหน่ง (x, y) ในภาพ

3. คำนวณตำแหน่งกรอบการติดตามวัตถุจากค่าโมเมนต์ลำดับที่ศูนย์ และค่าโมเมนต์ลำดับที่หนึ่งของภาพการแจกแจงความน่าจะเป็นของสีในกรอบการติดตาม การคำนวณโมเมนต์ลำดับที่หนึ่งในแนวแกน x และ y สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.11) และ (2.12)

$$M_{10} = \sum_x \sum_y xI(x, y) \quad (2.11)$$

$$M_{01} = \sum_x \sum_y yI(x, y) \quad (2.12)$$

จากนั้นทำการคำนวณหาตำแหน่งจุดศูนย์กลางใหม่ (x_c, y_c) ของกรอบการติดตามจากสมการที่ (2.13) และ (2.14)

$$x_c = \frac{M_{10}}{M_{00}} \quad (2.13)$$

$$y_c = \frac{M_{01}}{M_{00}} \quad (2.14)$$

4. วนซ้ำขั้นตอนที่ 2-3 จนกว่าตำแหน่งกรอบการติดตามวัตถุที่ได้ไม่เปลี่ยนตำแหน่งหรือวนครบจำนวนรอบที่กำหนด (จำนวนรอบปกติที่กำหนดใช้ คือ 10 ถึง 20 รอบ) โดยตำแหน่งที่ได้ล่าสุดจะถูกนำไปใช้เป็นตำแหน่งตั้งต้นของกรอบการติดตามในลำดับภาพถัดไป

5. คำนวณขนาดกรอบการติดตามวัตถุจากค่าโมเมนต์ลำดับที่สองดังสมการที่ (2.15) (2.16) และ (2.17)

$$M_{20} = \sum_x \sum_y x^2 I(x, y) \quad (2.15)$$

$$M_{02} = \sum_x \sum_y y^2 I(x, y) \quad (2.16)$$

$$M_{11} = \sum_x \sum_y xy I(x, y) \quad (2.17)$$

จากนั้นจึงคำนวณพารามิเตอร์ a b และ c สำหรับใช้ในการคำนวณหาความยาวในแนวตั้ง (l_1) และแกนนอน (l_2) จากจุดศูนย์กลางของกรอบการติดตาม ดังสมการที่ (2.18) (2.19) (2.20) (2.21) และ (2.22) ตามลำดับ

$$a = \frac{M_{20}}{M_{00}} - x_c^2 \quad (2.18)$$

$$b = 2 \left(\frac{M_{11}}{M_{00}} - x_c y_c \right) \quad (2.19)$$

$$c = \frac{M_{02}}{M_{00}} - y_c^2 \quad (2.20)$$

$$l_1 = \sqrt{\frac{(a+c) + \sqrt{b^2 + (a-c)^2}}{2}} \quad (2.21)$$

$$l_2 = \sqrt{\frac{(a+c) - \sqrt{b^2 + (a-c)^2}}{2}} \quad (2.22)$$

ผลลัพธ์ของการติดตามวัตถุที่ได้นี้อาจถูกแสดงด้วยภาพของกรอบการติดตามวัตถุ ซึ่งอาจมีการใช้สีหรือระบุตัวเลขเข้าไปในบริเวณของกรอบการติดตาม เพื่อความสะดวกในการเปรียบเทียบผลการทดลองที่ได้จากการติดตามวัตถุนั้นเอง

2.4 ฟังก์ชันความเหมือนของ Bhattacharyya

การประมวลผลร่วมกันของระบบกล้องวิทัศน์เพื่อติดตามบุคคลคนเดียวกัน จำเป็นต้องมีกระบวนการวัดความเหมือนของข้อมูลคุณลักษณะสำคัญว่ามีความใกล้เคียงหรือเหมือนกันหรือไม่ ไม่ว่าลักษณะ (Feature) ใดที่จะนำมาเป็นตัวเปรียบเทียบ เช่น ลักษณะสี รูปร่าง และขอบ เป็นต้น โดยวิธีการหนึ่งที่เป็นที่นิยมใช้สำหรับการเปรียบเทียบความเหมือน คือ กระบวนการวัดความคล้าย (Similarity measure) โดยอาศัยวิธีการวัดระยะทางระหว่างกลุ่มการกระจายตัวของข้อมูล 2 ชุดที่สนใจ ซึ่งมีวิธีการในการหาระยะทางนี้ได้หลายแบบ ในวิทยานิพนธ์นี้จะอาศัยเทคนิคการเปรียบเทียบความเหมือนฮิสโทแกรมด้วยฟังก์ชันความเหมือนของ Bhattacharyya (Bhattacharyya similarity function) ซึ่งประกอบไปด้วยตัวแปรสองส่วน ได้แก่ ระยะ Bhattacharyya (Bhattacharyya distance) และสัมประสิทธิ์ของ Bhattacharyya (Bhattacharyya coefficient)

ฟังก์ชันความเหมือนของ Bhattacharyya เป็นรูปแบบการเปรียบเทียบลักษณะหนึ่งในกระบวนการวัดความคล้าย ระหว่างชุดการกระจายตัวของข้อมูล 2 ชุด ซึ่งได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในกระบวนการทางการประมวลผลภาพสำหรับการเปรียบเทียบฮิสโทแกรมของสองกลุ่มข้อมูลที่ไม่จำเป็นต้องเป็นค่าฮิสโทแกรมของทั้งภาพ อาจเป็นแค่บริเวณใดบริเวณหนึ่งที่สนใจเท่านั้น และไม่จำเป็นต้องทั้งสองบริเวณจะต้องมีขนาดเท่ากันในหน่วยจุดภาพ จึงเป็นข้อดีที่สามารถรองรับ การเปรียบเทียบวัตถุที่มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างได้ทั้งในลักษณะการเคลื่อนที่เปลี่ยนมุมมองและการเปลี่ยนแปลงขนาด

สมมติให้ \hat{p} เป็นฮิสโทแกรมสีของแบบจำลองเป้าหมายและ \hat{q} เป็นฮิสโทแกรมสีของแบบจำลองรับเข้าที่ต้องการนำมาเปรียบเทียบ โดยที่ $\hat{p}_u = \{p_u\}_{u=1,2,\dots,m}$ (เมื่อ $\sum_{u=1}^m p_u = 1$) และ $\hat{q}_u = \{q_u\}_{u=1,2,\dots,m}$ (เมื่อ $\sum_{u=1}^m q_u = 1$) เมื่อ m เป็นจำนวนถึงข้อมูลของฮิสโทแกรม (Bin histogram) เปรียบเทียบ เช่น ถ้าในกรณีเลือกใช้นขนาดขององค์ประกอบสีแต่ละองค์ประกอบมีขนาด 4 บิต ฉะนั้นจะได้ขนาดถึงสีเท่ากับ 16 ถึง ดังนั้นสามารถคำนวณหาสัมประสิทธิ์ Bhattacharyya (ρ) ได้ ดังสมการที่ (2.23)

$$\rho \left[\hat{p}, \hat{q} \right] = \sum_{u=1}^m \sqrt{p_u \times q_u} \quad (2.23)$$

อธิบายความหมายทางเรขาคณิตตามสมการที่ (2.23) จะแสดงถึงค่าโคไซน์ (Cosine) ของมุมระหว่างค่าถึงข้อมูลทั้ง m ถึงมิติในรูปเวกเตอร์หนึ่งหน่วย $(\sqrt{p_1}, \dots, \sqrt{p_m})^T$ และ $(\sqrt{q_1}, \dots, \sqrt{q_m})^T$ และจากสมการที่ 2.23 จะสามารถหาค่าระยะ Bhattacharyya ที่เป็นระยะระหว่างสองกลุ่มของการกระจายตัวของข้อมูล (d_{BH}) ดังสมการที่ (2.24)

$$d_{BH} = \sqrt{1 - \rho \left[\hat{p}, \hat{q} \right]} \quad (2.24)$$

ข้อดีของการเปรียบเทียบวัดความคล้ายด้วยฟังก์ชันความเหมือนของ Bhattacharyya ก็คือสามารถรองรับการเปรียบเทียบชุดข้อมูล 2 ชุดที่ไม่จำเป็นต้องมีขนาดหรือจำนวนข้อมูลที่เท่ากันได้ ซึ่งนอกจากการเปรียบเทียบด้วยระยะ Bhattacharyya

2.5 ทฤษฎีเกม

ทฤษฎีเกมเป็นแนวทางที่เกี่ยวกับการตัดสินใจในสถานการณ์เดียวกันของผู้เล่นสองฝ่ายหรือมากกว่า ซึ่งการตัดสินใจของแต่ละฝ่ายนั้นจะส่งผลต่อสถานการณ์ดังกล่าวโดยตรง ดังนั้นผู้เล่นจึงจำเป็นต้องพิจารณาองค์ประกอบต่าง ๆ ในสถานการณ์นั้น รวมถึงความเป็นไปได้ในการเลือกตัดสินใจของฝ่ายอื่นที่จะมีผลกระทบต่อตนเอง และเลือกใช้กลยุทธ์ที่เหมาะสม โดยมีจุดประสงค์เพื่อให้ตนเองได้รับประโยชน์สูงสุด หรือได้รับความเสียหายน้อยที่สุด ทฤษฎีเกมจึงเป็นทฤษฎีทางคณิตศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับความขัดแย้งและความร่วมมือ ที่ต้องมีผู้เกี่ยวข้องอย่างน้อยสองคน เรียกว่า ผู้เล่น (Players) ซึ่งอาจเป็นมนุษย์หรือไม่ก็ได้ โดยผู้เล่นแต่ละคนจะมีแนวทางและกลยุทธ์ (Strategies) ต่าง ๆ ที่ถูกนำมาใช้ป็นสิ่งตัดสินผลลัพธ์ (Outcome) ของเกม

นอกจากนี้ทฤษฎีเกมยังเป็นการศึกษาวิธีการเล่นเกมของผู้เล่นอย่างมีเหตุผล (Rational player) กล่าวคือ ผู้เล่นแต่ละคนจะพยายามเล่นเกมให้ได้ผลลัพธ์ของตนมากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ โดยผู้เล่นสามารถควบคุมผลการเล่นได้บางส่วนจากแนวทางและกลยุทธ์ที่เลือก แต่ผลลัพธ์ของเกมไม่ได้ถูกตัดสินจากการเลือกกลยุทธ์ใด ๆ ของผู้เล่นเพียงคนเดียว แต่เป็นผลลัพธ์ที่เกิดจากการเล่นของผู้เล่นทุกคนที่อาจทำให้เกิดความขัดแย้งหรือความร่วมมือ โดยความขัดแย้งเกิดจากการที่ผู้เล่น

ได้ผลลัพธ์ที่ต่างกัน และความร่วมมือเกิดจากผู้เล่นที่ได้ประโยชน์ร่วมกัน ความพึงพอใจของผู้เล่นของผู้เล่นแต่ละคนที่มีต่อเกมจึงเป็นสิ่งสำคัญ เพื่อความสะดวกในการเปรียบเทียบปริมาณความพึงพอใจนี้ จึงมีการนิยามฟังก์ชันอรรถประโยชน์ (Utility function) ในรูปแบบทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้แทนปริมาณความพึงพอใจของผู้เล่นแต่ละคน

2.5.1 ฟังก์ชันอรรถประโยชน์ (Utility function)

ปริภูมิกลยุทธ์ (Strategy space) หรือกลยุทธ์ต่าง ๆ ของผู้เล่นแต่ละคน จะถูกจัดเรียงให้อยู่ในรูปแบบทางคณิตศาสตร์ซึ่งถูกเรียกว่าฟังก์ชันอรรถประโยชน์ ค่าของฟังก์ชันอรรถประโยชน์จะเป็นปริมาณที่แสดงความพึงพอใจของผู้เล่นที่มีต่อผลลัพธ์ของเกม หากกำหนดให้ A และ B เป็นชุดของกลยุทธ์ที่อยู่ในปริภูมิกลยุทธ์ และให้ $u_i(\cdot)$ เป็นฟังก์ชันอรรถประโยชน์ของผู้เล่นคนที่ i โดยเครื่องหมาย $<$ แสดงการเปรียบเทียบค่าความพึงพอใจ หรือความสนใจของผู้เล่นที่มีต่อผลลัพธ์ที่ได้จากเกมดังกล่าวที่ (2.25)

$$u_i(A) < u_i(B) \Leftrightarrow A < B \quad (2.25)$$

พบว่าค่าอรรถประโยชน์สำหรับผลลัพธ์ที่เกิดจากชุดของกลยุทธ์ A ของผู้เล่น i จะมีค่าน้อยกว่าอรรถประโยชน์สำหรับผลลัพธ์ที่เกิดจากชุดของกลยุทธ์ B ของผู้เล่น i ก็ต่อเมื่อผู้เล่น i พึงพอใจผลลัพธ์ที่เกิดจากชุดของกลยุทธ์ A น้อยกว่าผลลัพธ์ที่เกิดจากชุดของกลยุทธ์ B

ผู้เล่นแต่ละคนสามารถนิยามฟังก์ชันอรรถประโยชน์ เพื่อนำไปใช้กับเกมในรูปแบบต่าง ๆ ชนิดของเกมที่เป็นที่รู้จักอย่างกว้างขวาง เช่น เกมร่วมมือและเกมไม่ร่วมมือ เกมสมมาตรและเกมไม่สมมาตร เกมผลรวมศูนย์และเกมผลรวมไม่เป็นศูนย์ เกมร่วมมือและเกมไม่ร่วมมือเป็นชนิดของเกมที่ผู้เล่นแต่ละฝ่ายคำนึงถึงกลยุทธ์เพื่อให้ฝ่ายตนเองได้รับผลประโยชน์สูงสุด เกมร่วมมือเป็นเกมที่ผู้เล่นแต่ละฝ่ายสามารถตกลงกันได้เพื่อให้ได้รับผลตอบแทนรวมที่ดีที่สุด โดยจะถือว่าผู้เล่นที่ร่วมมือกันจะเป็นผู้เล่นฝ่ายเดียวกันและจะปฏิบัติตามข้อตกลงที่ได้ตกลงกันไว้ ซึ่งแตกต่างจากเกมไม่ร่วมมือที่ผู้เล่นแต่ละฝ่ายไม่สามารถตกลงผลตอบแทนกันได้ ทำให้ต้องตัดสินใจโดยใช้ผลตอบแทนของตนเป็นหลักเท่านั้น

2.5.2 เกมไม่ร่วมมือ (Non-cooperative game)

เกมไม่ร่วมมือเป็นชนิดของเกมที่ผู้เล่นทุกคนจะไม่สามารถสื่อสารหรือตกลงผลประโยชน์ร่วมกันได้ แต่ผู้เล่นจึงเลือกกลยุทธ์ของตนเองอย่างอิสระเพื่อผลประโยชน์สูงสุดแก่ฝ่ายตนเองโดยไม่คำนึงถึงผลประโยชน์ของส่วนรวม รูปแบบเกมที่ใช้นิยามเกมไม่ร่วมมือนี้ คือ เกมรูปแบบครอบคลุมและรูปแบบปกติ

2.5.2.1 เกมรูปแบบครอบคลุม (Extensive form game)

เป็นเกมในลักษณะที่มีลำดับในการเล่นหรือการเลือกทางเลือกของผู้เล่นแต่ละคนกำหนดไว้อย่างชัดเจน ผู้เล่นจะทราบถึงการตัดสินใจของผู้เล่นอีกฝ่ายในรอบก่อนหน้าสามารถเขียนเกมประเภทนี้ได้ในรูปแบบภาพต้นไม้ โดยตั้งต้นที่จุดเริ่มแรกและจบที่จุดสิ้นสุดของเกมซึ่งสามารถมีได้หลายจุด มีการใช้จุดยอดแทนสถานะที่มีทางเลือกในการตัดสินใจของผู้เล่น และใช้เส้นแทนทางเลือกของผู้เล่นในรอบถัดไป ตัวอย่างเกมรูปแบบครอบคลุม ได้แก่ เกมหมากรุก เกมทิก-แทค-โท

2.5.2.2 เกมรูปแบบปกติ (Normal form game)

เกมรูปแบบปกติเป็นเกมที่ผู้เล่นไม่ทราบถึงการตัดสินใจของผู้เล่นคนอื่น นิยมเขียนแสดงเกมในรูปแบบตารางซึ่งมักจะใช้ในกรณีที่มีผู้เล่น 2 คน โดยผู้เล่นคนหนึ่งจะแทนการตัดสินใจด้วยแถวต่าง ๆ และผู้เล่นอีกคนหนึ่งแทนการตัดสินใจด้วยคอลัมน์ต่าง ๆ ผู้เล่นในเกมจะเลือกกลยุทธ์ของตนพร้อม ๆ กัน

2.5.3 เกมร่วมมือ (Cooperative game)

เกมร่วมมือเป็นเกมที่ผู้เล่นมีอิสระในการสื่อสารก่อนการเล่นเกม ผู้เล่นสามารถต่อรองและมีข้อตกลงเพื่อผลประโยชน์ร่วมกันได้ ความขัดแย้งระหว่างผู้เล่นจะมีการตัดสินใจอย่างยุติธรรมจากผู้ตัดสินใจ เกมร่วมมือส่วนใหญ่อยู่ในรูปแบบลักษณะเฉพาะ (Characteristic function form) กล่าวคือไม่มีรูปแบบเกมที่ตายตัว เกมร่วมมือจึงมีความเหมาะสมในการนำมาประยุกต์ใช้กับกระบวนการส่งต่อบุคคลระหว่างกล้องวิดิทัศน์และการเลือกกล้องที่มีมุมมองต่อบุคคลที่ดีที่สุด ด้วย

การตกลงใจเงื่อนไขจากกฎเกณฑ์เดียวกันภายใต้การตัดสินใจจากศูนย์การควบคุมส่วนกลางให้มีความเท่าเทียมกันและมีความเหมาะสมในการเลือกกลยุทธ์สำหรับการติดตามบุคคลซึ่งเป็นขั้นตอนที่สำคัญในวิทยานิพนธ์นี้ ผลเฉลยของเกมร่วมมือสามารถหาได้จากกลไกการต่อรองหรือการเปรียบเทียบค่าอรรถประโยชน์ระหว่างผู้เล่น ซึ่งขึ้นอยู่กับรูปแบบกลยุทธ์ที่ผู้เล่นนำมาใช้ด้วย

2.5.4 รูปแบบกลยุทธ์

ลักษณะของกลยุทธ์ที่ผู้เล่นสามารถเลือกนำมาใช้แบ่งออกเป็น 2 รูปแบบ คือ

2.5.4.1 กลยุทธ์แท้ (Pure strategy)

ผู้เล่นแต่ละคนจะเลือกกลยุทธ์เด่น (Dominant strategy) ที่ตนมีมาใช้กับทุก ๆ รอบของการแข่งขัน โดยกลยุทธ์เด่น คือ กลยุทธ์ที่ให้ผลตอบแทนแก่ผู้เล่นมากกว่ากลยุทธ์อื่น ๆ ที่อยู่ในปริภูมิกลยุทธ์ของผู้เล่นนั้น กลยุทธ์เด่นสามารถแบ่งออกเป็นสองรูปแบบ คือ กลยุทธ์เด่นอย่างชัดเจน (Strictly dominant strategy) และกลยุทธ์ไม่ด้อยกว่า (Weakly dominant strategy)

2.5.4.2 กลยุทธ์สุ่ม (Randomized strategy)

ผู้เล่นแต่ละคนจะใช้เครื่องมือสุ่ม เช่น การโยนเหรียญ ในการตัดสินใจเลือกกลยุทธ์ที่ตนมีในแต่ละรอบของการแข่งขัน กลยุทธ์แบบนี้จึงขึ้นอยู่กับความน่าจะเป็นของผลลัพธ์ในการสุ่มเลือก

การเลือกรูปแบบกลยุทธ์จะพิจารณาจากผลลัพธ์ของเกมที่จะเกิดขึ้นด้วยการหาคุณภาพของเกม คุณภาพของเกมรูปแบบปกติที่เป็นที่นิยมและเปิดโอกาสให้วิเคราะห์เกมการแข่งขันโดยทั่วไป คือ คุณภาพของแนช

2.6 ทฤษฎีเกมกับการคัดเลือกกลยุทธ์ที่ดีที่มีมุมมองต่อบุคคลที่ดีที่สุด [20]

การติดตามบุคคลด้วยกล้องวิดิทัศน์หลายตัวมีความเป็นไปได้ที่บุคคลเดียวกันจะถูกติดตามด้วยกล้องวิดิทัศน์มากกว่าหนึ่งตัว การคัดเลือกกลยุทธ์ที่ดีที่มีมุมมองต่อบุคคลดังกล่าวที่ดีที่สุดจึงต้องอาศัยข้อมูลของแต่ละบุคคลที่ได้จากกล้องวิดิทัศน์ทุกตัว ด้วยการนำข้อมูลต่าง ๆ ที่มีส่วน

เกี่ยวข้องมารวมใช้ในการพิจารณา จากที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 2.5 ทฤษฎีเกมจึงเป็นแนวทางที่สามารถนำมาใช้สำหรับการตัดสินใจในสถานการณ์ที่ต้องการคัดเลือกกล้องวิดิทัศน์ได้ จาก [20] ได้กำหนดให้กล้องวิดิทัศน์แต่ละตัวคือผู้เล่นในเกม ซึ่งผู้เล่นที่ชนะในเกมคือกล้องวิดิทัศน์ที่มีมุมมองต่อบุคคลที่ดีที่สุด การเล่นเกมจะนำข้อมูลที่เกี่ยวข้องมาพิจารณาให้อยู่ในรูปของสมการคณิตศาสตร์ ซึ่งประกอบด้วยฟังก์ชันอรรถประโยชน์ทั้งหมด (Global utility) ที่ให้ผลลัพธ์เป็นค่าที่แสดงปริมาณความพึงพอใจทั้งหมดของประสิทธิภาพในการติดตาม ฟังก์ชันอรรถประโยชน์ของกล้องวิดิทัศน์ (Camera utility) ที่ให้ผลลัพธ์เป็นค่าที่แสดงปริมาณความเหมาะสมที่กล้องวิดิทัศน์แต่ละตัวจะทำการติดตามบุคคลที่กำหนดให้ต่อไป และฟังก์ชันอรรถประโยชน์ของกล้องวิดิทัศน์ (Camera utility) ที่ให้ค่าที่แสดงปริมาณเหมาะสมที่แต่ละบุคคลสมควรถูกติดตาม โดยกล้องวิดิทัศน์บางตัวในระบบ ดังนั้นค่าอรรถประโยชน์ของบุคคลจึงเป็นข้อมูลสำคัญที่นำไปสู่การแก้ปัญหาในการเลือกกล้องวิดิทัศน์ที่มีมุมมองต่อบุคคลที่ดีที่สุด ฟังก์ชันอรรถประโยชน์ทั้งหมดถูกกำหนดไว้ล่วงหน้าและใช้ร่วมกัน ดังนั้นชนิดของเกมที่ [20] นำมาใช้จึงเป็นเกมร่วมมือที่จะมีการตัดสินใจเล่นอย่างยุติธรรม

จาก [20] พบว่าค่าอรรถประโยชน์ที่ได้จากฟังก์ชันอรรถประโยชน์ของบุคคลเป็นข้อมูลสำคัญที่นำไปสู่ผลเฉลยของเกมสำหรับการแก้ปัญหาในการเลือกกล้องวิดิทัศน์ที่มีมุมมองต่อบุคคลที่ดีที่สุด วิทยานิพนธ์นี้จึงนำเสนอเฉพาะส่วนที่นำไปสู่ผลเฉลยของเกมดังขั้นตอนต่อไปนี้

1. คำนวณหาค่าอรรถประโยชน์ของบุคคลจาก 3 กฎเกณฑ์ที่แต่ละลำดับภาพ ซึ่งเป็นกฎเกณฑ์สำหรับการชี้วัดว่ากล้องวิดิทัศน์ตัวใดในระบบเป็นกล้องที่มีมุมมองต่อบุคคลที่ทำการติดตามที่ดีที่สุด ดังต่อไปนี้

1.1 กฎเกณฑ์ที่หนึ่งขนาดของบุคคลที่ถูกติดตาม (Cr^1) เป็นค่าที่ได้จากอัตราส่วนของจำนวนจุดภาพภายในกรอบการติดตามบุคคล ($N_{Tracked\ blob}$) และจำนวนจุดภาพทั้งหมดของวิดิทัศน์ที่พิจารณา (N_{image}) แสดงการคำนวณดังสมการที่ (2.26)

$$r = \frac{N_{Tracked\ blob}}{N_{image}} \quad (2.26)$$

เพื่อความสะดวกในการสังเกตผลลัพธ์ของการติดตามบุคคล กรอบการติดตามที่ได้ไม่ควรใหญ่หรือเล็กจนเกินไป ค่าขีดเริ่มเปลี่ยนของขนาดบุคคลที่ถูกติดตามที่ดีที่สุด (λ) ถูกกำหนดขึ้นมาให้มีขนาดของกรอบการติดตามบุคคลมีค่าเท่ากับ 1 ต่อ 15 ส่วนของขนาดภาพวิดีโอ Crt^1 จึงคำนวณได้จากสมการที่ (2.27)

$$Crt^1 = \begin{cases} \frac{1}{\lambda}r, & r < \lambda \\ \frac{1-r}{1-\lambda}, & r \geq \lambda \end{cases} \quad (2.27)$$

1.2 กฎเกณฑ์ที่สองตำแหน่งของบุคคลที่ได้จากมุมมองการรับภาพของกล้องวิดีโอ (Crt^2) เป็นค่าที่วัดได้จากระยะทางยูคลิด (Euclidean distance) ที่บุคคลอยู่ห่างจากจุดศูนย์กลางของภาพวิดีโอ สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.28)

$$Crt^2 = \frac{\sqrt{(x-x_c)^2 + (y-y_c)^2}}{\frac{1}{2}\sqrt{x_c^2 + y_c^2}} \quad (2.28)$$

เมื่อ (x, y) คือ จุดศูนย์กลางของกรอบการติดตามบุคคล

(x_c, y_c) คือ จุดศูนย์กลางของภาพวิดีโอ

1.3 กฎเกณฑ์ที่สามใบหน้าของบุคคล (Crt^3) เป็นค่าที่คำนวณได้จากอัตราส่วนของจำนวนจุดภาพของใบหน้าที่ตรวจจับได้ขณะที่ทำการติดตาม (N_{face}) กับจำนวนจุดภาพทั้งหมดของกรอบการติดตามบุคคลขณะนั้น ($N_{tracked\ blob}$) แสดงการคำนวณดังสมการที่ (2.29)

$$R = \frac{N_{face}}{N_{tracked\ blob}} \quad (2.29)$$

เช่นเดียวกับกฎเกณฑ์ที่หนึ่งขนาดของบุคคลที่ถูกติดตาม เพื่อกำหนดอัตราส่วนที่เหมาะสมของกฎเกณฑ์ที่สาม ค่าขีดเริ่มเปลี่ยนของอัตราส่วนสำหรับใบหน้าและกรอบการติดตามที่ดีที่สุด (ξ) จึงถูกกำหนดขึ้นมาให้มีค่าเท่ากับ 1 ต่อ 6 แสดงการคำนวณหากกฎเกณฑ์ที่สามได้ดังสมการที่ (2.30)

$$Crt^3 = \begin{cases} \frac{1}{\xi} R, & R < \xi \\ \frac{1-R}{1-\xi}, & R \geq \xi \end{cases} \quad (2.30)$$

เนื่องจากใบหน้าของบุคคลเป็นสิ่งที่สามารถบ่งบอกความเป็นมนุษย์ได้ดีที่สุด [20] จึงให้นัยสำคัญของข้อมูลที่ได้ไม่เท่ากันด้วยการกำหนดค่าแบ่งน้ำหนักของกฎเกณฑ์ทั้งสาม ดังนี้

ให้ w_1 คือ ค่าแบ่งน้ำหนักของกฎเกณฑ์ที่หนึ่งซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.2

w_2 คือ ค่าแบ่งน้ำหนักของกฎเกณฑ์ที่สองซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.1

w_3 คือ ค่าแบ่งน้ำหนักของกฎเกณฑ์ที่สามซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.7

จะเห็นได้ว่าน้ำหนักของกฎเกณฑ์ที่สองมีนัยสำคัญน้อยที่สุด เนื่องจากการวัดระยะทางของบุคคลด้วยการอ้างอิงเพียงพิคัดในภาพ 2 มิติ จะทำให้เกิดความผิดพลาดจากการอ้างอิงตำแหน่งที่ไม่ถูกต้องได้ จากกฎเกณฑ์ทั้งสามและค่าแบ่งน้ำหนักที่ได้สามารถนำมาเขียนให้เป็นกฎเกณฑ์ที่สี่ (Crt^4) ดังแสดงในสมการที่ (2.31)

$$Crt^4 = w_1 Crt_{s1} + w_2 Crt_{s2} + w_3 Crt_{s3} \quad (2.31)$$

จากกฎเกณฑ์ที่สี่สามารถนำมานิยามฟังก์ชันอรรถประโยชน์ของบุคคลได้ดังสมการที่ (2.32)

$$U_{P_i}(a) = \sum_{i=1}^{n_p} Crt_{P_i}^4 - \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq P_i}}^{n_p} Crt_{P_i}^4 \quad (2.32)$$

เมื่อ $U_{P_i}(a)$ คือ ค่าอรรถประโยชน์ของบุคคล P_i สำหรับใช้ในการเลือกกล้องวิดีโอที่คนทุกตัวที่มีอยู่ในระบบ

n_p คือ จำนวนของบุคคลที่ติดตามได้ในกล้องวิดีโอที่คนที่พิจารณา

$Crt_{P_i}^4$ คือ ค่าของกฎเกณฑ์ที่สี่สำหรับบุคคล P_i ในกล้องวิดีโอที่คนที่พิจารณา

2. การหาผลเฉลยของเกม ผลเฉลยของเกมสำหรับ [20] คือ การเลือกกล่องวิดิทัศน์ที่เหมาะสมที่สุดในการติดตามบุคคล กล่าวคือ ณ เวลาใด ๆ หากบุคคลที่ต้องการติดตามปรากฏให้เห็นมากกว่าหนึ่งกล่องวิดิทัศน์ จะมีเพียงกล่องวิดิทัศน์เพียงตัวเดียวที่เหมาะสมสำหรับติดตามบุคคลดังกล่าว การเลือกกล่องวิดิทัศน์ที่เหมาะสมที่สุดนี้เกิดจากวิธีการต่อรองค่าอรรถประโยชน์ของแต่ละบุคคลที่ได้จากกล่องวิดิทัศน์ทุกตัวในระบบ ผลเฉลยของเกมจะอยู่ในรูปของค่าความน่าจะเป็นที่สูงที่สุดซึ่งกล่องวิดิทัศน์แต่ละตัวจะได้รับจากบุคคลที่ได้ทำการติดตาม สามารถทำการคำนวณได้ดังสมการที่ (2.33)

$$p_i^l(k) = \frac{e^{\frac{1}{\tau} \bar{U}_{P_i}^l(k)}}{e^{\frac{1}{\tau} \bar{U}_{P_i}^1(k)} + \dots + e^{\frac{1}{\tau} \bar{U}_{P_i}^{n_C}(k)}} \quad (2.33)$$

เมื่อ $p_i^l(k)$ คือ ค่าความน่าจะเป็นของบุคคลที่ i ของกล่องวิดิทัศน์ตัวที่ l ณ ลำดับการคำนวณที่ k

l คือ ลำดับกล่องวิดิทัศน์ที่สามารถทำการติดตามบุคคลที่ i ได้ ดังนั้นเซตของกล่องวิดิทัศน์ในระบบจึงมีค่าเท่ากับ $l = \{1, 2, \dots, n_C\}$

n_C คือ จำนวนกล่องวิดิทัศน์ทั้งหมดที่สามารถทำการติดตามบุคคลที่ i ได้

$\bar{U}_{P_i}^l(k)$ คือ ค่าอรรถประโยชน์ของการทำนายบุคคล i เพื่อใช้สำหรับการคำนวณในลำดับที่ k

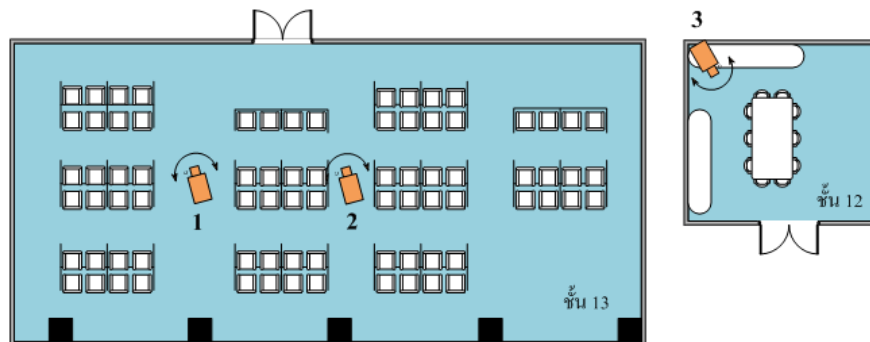
ค่าอรรถประโยชน์ของการทำนายบุคคล i จะถูกใช้เป็นข้อมูลในการทำนายค่าความน่าจะเป็น $p_i^l(k)$ ในลำดับการคำนวณรอบถัดไป โดยการคำนวณจะสิ้นสุดลงและให้ผลเฉลยของเกมเมื่อ $p_i^l(k)$ ให้ผลเฉลยที่ผู้เข้าสู่ผลลัพธ์

บทที่ 3

โครงสร้างของระบบการติดตามบุคคลที่นำเสนอ

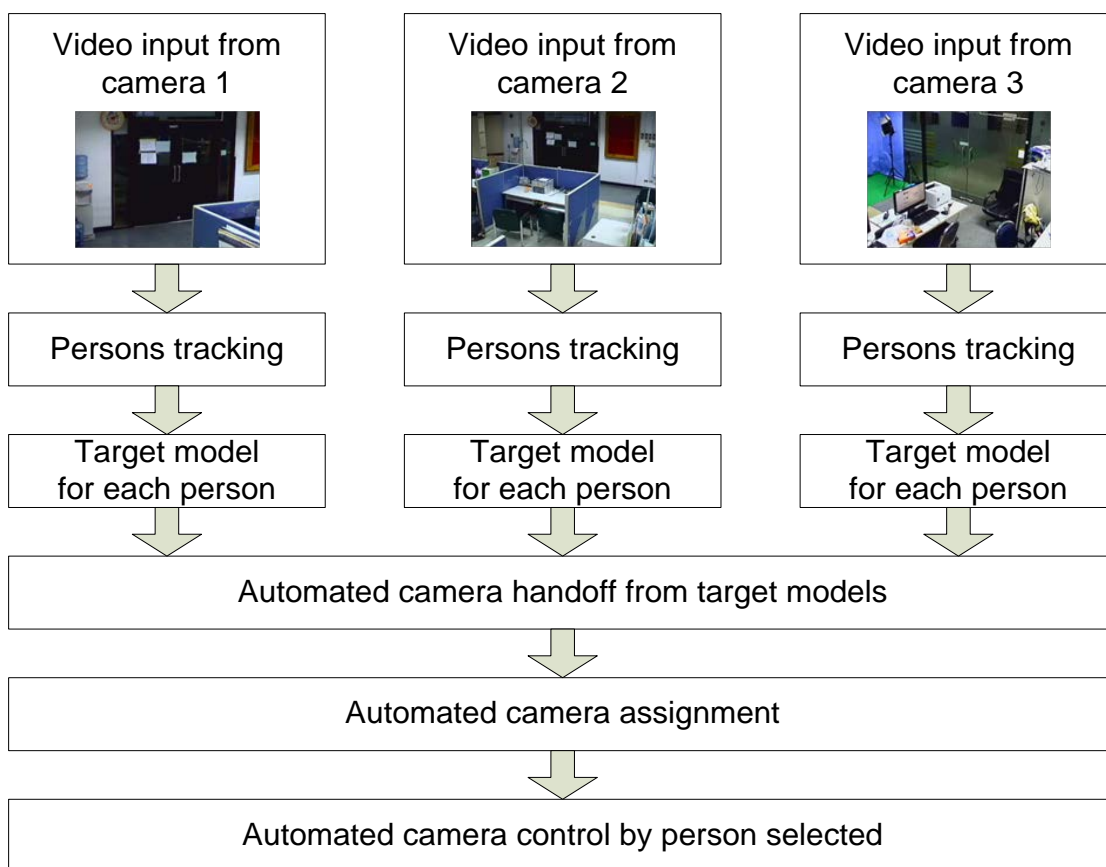
3.1 รูปแบบการทำงานของระบบการติดตามบุคคลที่นำเสนอ

ระบบการติดตามบุคคลที่นำเสนอเป็นระบบที่ประกอบไปด้วยกล้องวิดีโอแบบ PTZ รุ่น SONY SNC-RZ50P จำนวน 3 ตัว โดยกล้องวิดีโอตัวที่ 1 และ 2 จะถูกติดตั้งไว้ที่ห้องปฏิบัติการวิจัยกรรมวิธีสัญญาณดิจิทัล ชั้น 13 และกล้องวิดีโอตัวที่ 3 จะถูกติดตั้งไว้ที่ห้องปฏิบัติการวิจัยวิดีโอ ชั้น 12 ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย แสดงแผนผังการติดตั้งกล้องวิดีโอตัวที่ 3.1 โดยมีรูปแบบการประมวลผลภาพวิดีโอที่ได้จากกล้องวิดีโอทั้งสามเป็นแบบรวมศูนย์ (Centralized video processing) ที่นำเอาข้อมูลภาพวิดีโอทั้งหมดมาประมวลผลที่เครื่องคอมพิวเตอร์รุ่น Dell Vastoro 3300 เพียงเครื่องเดียว



รูปที่ 3.1 แผนผังการติดตั้งกล้องวิดีโอ

จากบทที่ 1 ได้กล่าวถึงปัญหาที่เกิดจากข้อมูลที่เป็นตัวแทนของบุคคลที่ไม่เพียงพอต่อการส่งต่อบุคคลจากกล้องวิดีโอหนึ่งสู่กล้องวิดีโออีกตัวหนึ่ง ซึ่งจะส่งผลให้เกิดความผิดพลาดในการติดตามบุคคลระหว่างกล้องวิดีโอ วิชานิพนธ์นี้จึงนำเสนอรูปแบบการติดตามบุคคลระหว่างกล้องวิดีโอที่อาศัยการเก็บสะสมข้อมูลซึ่งเป็นตัวแทนของบุคคล อีกทั้งยังทำการปรับปรุงขั้นตอนวิธีการติดตามบุคคลให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น แสดงภาพรวมของระบบการติดตามบุคคลที่นำเสนอ ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 ภาพรวมของระบบการติดตามบุคคลที่นำเสนอ

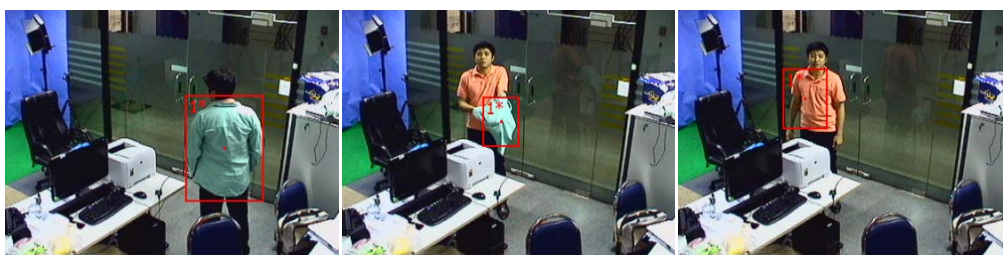
วิทยานิพนธ์นี้ได้แบ่งส่วนของโครงสร้างการติดตามบุคคลที่นำเสนอออกตามส่วนต่าง ๆ ตามวิธีทำงานของระบบ โดยส่วนแรกจะกล่าวถึงการติดตามบุคคลด้วยการใช้ข้อมูลสีบริเวณเสื้อของบุคคลในการติดตาม ซึ่งได้มีการปรับปรุงในขั้นตอนการติดตามบางส่วนให้สามารถทำงานได้ดีขึ้น ข้อมูลสีบริเวณเสื้อของบุคคลจะถูกใช้ในการติดตามทุก ๆ ลำดับภาพ วิทยานิพนธ์นี้จึงได้นำข้อมูลดังกล่าวมาใช้ในการสร้างแบบจำลองลักษณะของบุคคล เพื่อเพิ่มโอกาสการส่งต่อบุคคลระหว่างกล้องวิดิทัศน์อย่างอัตโนมัติให้มีความแม่นยำมากขึ้น และหากพบว่ามีบุคคลเดียวกันปรากฏอยู่ในมุมมองการรับภาพของกล้องวิดิทัศน์มากกว่าหนึ่งตัว ระบบจะทำการคัดเลือกกล้องวิดิทัศน์ที่มีมุมมองต่อบุคคลดังกล่าวที่ดีที่สุด ในหัวข้อที่ 3.5 บุคคลที่ถูกติดตามด้วยกล้องวิดิทัศน์ทุกตัวในระบบสามารถถูกคัดเลือกให้เป็นบุคคลที่สนใจจากการเลือกด้วยมือได้ (Manual selection) ซึ่งภายหลังจากระบบทราบว่ามีบุคคลที่สนใจ จะกำหนดให้กล้องวิดิทัศน์ที่มีมุมมองต่อบุคคลที่สนใจดังกล่าวที่ดีที่สุดทำการเคลื่อนที่ตามด้วยการส่ายและก้มเงยอย่างอัตโนมัติในหัวข้อที่ 3.6 สำหรับ

การวัดประสิทธิภาพของระบบการติดตามที่นำเสนอนี้จะใช้วิธีการนับบุคคลซึ่งกล่าวไว้ในหัวข้อที่ 3.7

3.2 การติดตามบุคคลด้วยวิธีที่นำเสนอ

วิทยานิพนธ์นี้ได้เลือกใช้ขั้นตอนวิธีการติดตามบุคคลแบบการย้ายตามค่าเฉลี่ยแบบปรับตัวได้อย่างต่อเนื่อง (Continuously Adaptive Mean-Shift, CAMShift) สำหรับหลักการทำงานทั่วไปได้กล่าวไว้แล้วในหัวข้อที่ 2.3.2 CAMShift มีข้อดี คือ สามารถทำการติดตามวัตถุที่มีการเปลี่ยนแปลงทางรูปร่างและขนาดได้ดี โดยการทำงานของ CAMShift สำหรับการประมวลผลภาพวิดีโอจะเริ่มต้นจากการกำหนดบริเวณของข้อมูลของบุคคลที่ได้จากขั้นตอนการตรวจจับบุคคลจากการเคลื่อนที่ ข้อมูลที่อยู่ในบริเวณดังกล่าวนี้จะถูกนำมาใช้ในขั้นตอนการทำนายตำแหน่งของบุคคลในลำดับภาพถัดไป การพิจารณาข้อมูลของบุคคลแบบมีขอบเขตนี้ทำให้ลักษณะของข้อมูลอื่นที่อยู่นอกบริเวณการพิจารณาไม่ส่งผลกระทบต่อติดตามบุคคล วิทยานิพนธ์นี้ได้เลือกใช้ข้อมูลสีของบุคคลในรูปแบบของ Hue ฮิสโทแกรมจากบริเวณที่พิจารณาทั้งหมดมาใช้ในการทำนายตำแหน่งของบุคคลในลำดับภาพถัดไป เนื่องจาก Hue ฮิสโทแกรมเป็นข้อมูลที่ได้จากปริภูมิสี HSL ซึ่งเป็นปริภูมิสีที่แยกค่าเนื้อสีและแสงสว่างออกจากกัน การดึงเอาเฉพาะข้อมูล Hue ออกมาใช้ในการติดตามวัตถุ จึงทำให้ผลลัพธ์ของการติดตามคงทนต่อการเปลี่ยนแปลงทางด้านแสงสว่างได้ สำหรับ Hue ฮิสโทแกรมที่นำมาใช้เป็นลักษณะตัวแทนของบุคคลนี้ประกอบด้วยจำนวน 360 ถึงข้อมูล เมื่อได้ข้อมูลซึ่งเป็นตัวแทนของบุคคลแล้วจึงทำการคำนวณหาค่าเฉลี่ยของข้อมูลภายในขอบเขตการพิจารณาในแนวแกนตั้งและแนวนอน ผลลัพธ์จากการคำนวณนี้จะทำให้ได้ตำแหน่งใหม่เพื่อใช้เป็นจุดศูนย์กลางของขอบเขตการพิจารณาในลำดับภาพถัดไป นอกจากนี้ CAMShift ยังได้มีการคำนวณขนาดของขอบเขตการพิจารณาใหม่ทุกครั้งที่มีการเปลี่ยนแปลงตำแหน่ง โดยให้สามารถย่อหรือขยายได้ตามปริมาณของข้อมูลสีส่วนใหญ่จากค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่คำนวณได้ ผลลัพธ์ของการติดตามที่ได้จะถูกแสดงด้วยขอบเขตของการพิจารณาข้อมูลในแต่ละลำดับภาพซึ่งเรียกว่ากรอบการติดตาม วิทยานิพนธ์นี้ได้เลือกใช้กรอบการติดตามรูปสี่เหลี่ยมที่มีตัวเลขซึ่งเป็นลำดับของบุคคลที่ติดตามได้กำกับไว้ การคำนวณหาตำแหน่งใหม่และการปรับเปลี่ยนขนาดกรอบการติดตามของ CAMShift ได้กล่าวไว้แล้วในหัวข้อที่ 2.3.2

วิทยานิพนธ์นี้ได้ทำการปรับปรุง CAMShift ในส่วนของการสร้างเงื่อนไขในการปรับเปลี่ยนขนาดกรอบการติดตามบุคคล ซึ่งโดยปกติแล้ว CAMShift จะทำการปรับเปลี่ยนขนาดของกรอบการติดตามนี้ตามค่าเฉลี่ยของการแจกแจงความน่าจะเป็นที่ได้จากลักษณะที่ใช้เป็นตัวแทนของบุคคลหรือ Hue ฮิสโทแกรม ดังนั้นเมื่อลักษณะสีส่วนใหญ่ของบุคคลเปลี่ยนแปลงไปทั้งจากปัจจัยด้านแสงสว่าง และลักษณะการเคลื่อนที่ของบุคคลที่ส่งผลให้ลักษณะสีที่กล้องวิดิทัศน์สังเกตเห็นเปลี่ยนแปลงไป หรือการถูกบดบังจากสิ่งกีดขวาง สิ่งเหล่านี้ล้วนทำให้แนวโน้มของการปรับเปลี่ยนกรอบการติดตามมีขนาดเล็กลง จนในที่สุดอาจทำให้การติดตามบุคคลล้มเหลวได้ วิทยานิพนธ์นี้จึงทำการสร้างเงื่อนไขของการปรับเปลี่ยนขนาดของกรอบการติดตาม ให้ทำการขยายขนาดตามการเคลื่อนที่ซึ่งอยู่รอบข้างเมื่อพบว่าขนาดของกรอบการติดตามมีความกว้างหรือความยาวน้อยกว่า 30 จุดภาพ ผลจากการสร้างเงื่อนไขดังกล่าวทำให้ CAMShift สามารถติดตามบุคคลมีการเปลี่ยนสีเสื้ออย่างฉับพลันได้แสดงดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 ผลจากการสร้างเงื่อนไขการปรับเปลี่ยนขนาดกรอบการติดตาม

ผลลัพธ์จากการติดตามข้างต้นทำให้ระบบการติดตามบุคคลที่ 1 สามารถทำการติดตามบุคคลได้จากข้อมูลสีเขียวของเสื้อแขนยาวและข้อมูลสีส้มจากเสื้อแขนสั้น ดังนั้นหากระบบการติดตามสามารถนำข้อมูลที่ได้จากการติดตามบุคคลนี้ไปใช้ในการส่งต่อบุคคลจากกล้องวิดิทัศน์ตัวหนึ่งสู่กล้องวิดิทัศน์อีกตัวหนึ่งได้ ก็อาจทำให้โอกาสในการส่งต่อบุคคลมีความแม่นยำมากขึ้น ซึ่งวิทยานิพนธ์นี้ได้ใช้เทคนิคการสะสมข้อมูล Hue ฮิสโทแกรมของบุคคลจากขณะทำการติดตามนี้ มาใช้ในการสร้างแบบจำลองบุคคลเพื่อเพิ่มโอกาสในการส่งต่อบุคคลระหว่างกล้องวิดิทัศน์ด้วย ดังจะกล่าวในหัวข้อถัดไป

3.3 การสร้างแบบจำลองลักษณะของบุคคลที่นำเสนอ (Target modeling)

เป้าหมายของการสร้างแบบจำลองลักษณะของบุคคล คือ การสะสมข้อมูลซึ่งเป็นตัวแทนของบุคคลให้เพียงพอต่อการส่งต่อบุคคลจากกล่องวิตทัศน์หนึ่งสู่กล่องวิตทัศน์อีกตัวหนึ่ง หากสมมติฐานของการส่งต่อบุคคลระหว่างกล่องวิตทัศน์ที่แม่นยำที่สุด คือ การสะสมข้อมูลของบุคคลให้ได้มากที่สุด การสร้างแบบจำลองลักษณะบุคคลอาจทำได้จากการเก็บสะสมข้อมูล Hue ฮิสโทแกรมของบุคคลขณะทำการติดตามในทุก ๆ ลำดับภาพ แต่ทั้งนี้ก็จะทำให้ระบบการติดตามมีข้อมูลซึ่งเป็นตัวแทนของแต่ละบุคคลเป็นจำนวนมากทำให้สิ้นเปลืองทรัพยากรด้านหน่วยความจำ อีกทั้งยังอาจทำให้เกิดความล่าช้าในกระบวนการค้นหาลักษณะของบุคคลที่เหมือนกันเพื่อใช้ในการส่งต่อบุคคลระหว่างกล่องวิตทัศน์อีกด้วย ดังนั้นข้อมูลที่จะถูกเก็บสะสมเพื่อใช้เป็นตัวแทนของแต่ละบุคคลนี้ควรถูกคัดกรองแบบมีเงื่อนไข วิทยานิพนธ์นี้ได้สร้างเงื่อนไขในการสะสมข้อมูลเพื่อสร้างแบบจำลองของบุคคลจากความแตกต่างของข้อมูล Hue ฮิสโทแกรมของแต่ละบุคคลที่ได้จากขั้นตอนการติดตาม กล่าวคือ ขณะทำการติดตามบุคคล ณ ลำดับภาพหนึ่ง ๆ หากพบว่าข้อมูลสีของบุคคลไม่แตกต่างจากข้อมูลที่ถูกจัดเก็บไว้ ก็ไม่มีความจำเป็นต้องเก็บสะสมข้อมูล Hue ฮิสโทแกรม ณ ลำดับภาพดังกล่าว แต่หากพบว่าข้อมูล Hue ฮิสโทแกรมมีความแตกต่างกันก็ควรจัดเก็บไว้เพื่อใช้เป็นตัวแทนของบุคคลในขั้นตอนการส่งต่อบุคคลระหว่างกล่องวิตทัศน์ต่อไป ยกตัวอย่างข้อมูลสีของบุคคลขณะทำการติดตามที่อาจมีความแตกต่างกันในแต่ละลำดับภาพ เช่น เมื่อบุคคลเคลื่อนที่ไปยังบริเวณที่แสงสว่างแตกต่างกันส่งผลให้ค่าสี Hue ฮิสโทแกรมเปลี่ยนแปลงไป หรือเกิดจากการเคลื่อนที่ของบุคคลซึ่งสวมเสื้อที่มีสีไม่เป็นเนื้อเดียวกัน การสะพายกระเป๋า หรือการสวมผ้าคลุมศีรษะ สิ่งเหล่านี้อาจทำให้ค่าสี Hue ฮิสโทแกรมของบุคคลเปลี่ยนแปลงไปขณะทำการติดตามได้ทั้งสิ้น

การสร้างแบบจำลองลักษณะบุคคลที่นำเสนอได้แบ่งขั้นตอนการคัดกรองข้อมูลออกเป็น 2 ส่วน คือ การคัดกรองเพื่อจัดเก็บข้อมูลในหน่วยความจำระยะสั้น (Shot-term memory, ST) และการคัดกรองเพื่อจัดเก็บข้อมูลในหน่วยความจำระยะยาว (Long-term memory, LT) หน้าที่ของหน่วยความจำทั้งสองคือการคัดกรองข้อมูลให้เพียงพอต่อการส่งต่อบุคคลระหว่างกล่องวิตทัศน์ ทั้งนี้ระบบการติดตามบุคคลจะใช้เพียงข้อมูลที่อยู่ใน LT เท่านั้นในการส่งต่อบุคคล เนื่องจากหน้าที่

ของ ST คือ การคัดกรองข้อมูลของบุคคลอย่างหยาบ กล่าวคือ Hue ฮิสโทแกรมที่ได้จากการติดตามแต่ละบุคคลอาจถูกกำหนดไว้ด้วยคาบของลำดับภาพที่ต้องการพิจารณา เช่น ต้องการพิจารณา Hue ฮิสโทแกรมของบุคคลที่ 1 ทุก ๆ 20 ลำดับภาพ หรือสามารถกำหนดจากคาบเวลาที่ต้องการได้เช่นกัน ซึ่งวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้กำหนดให้ ST พิจารณาทุก ๆ ลำดับภาพวิถีทัศน์เนื่องจากระบบการติดตามบุคคลที่นำเสนอเป็นระบบการติดตามบุคคลภายในอาคารที่มุมมองการรับภาพของกล้องวิถีทัศน์แต่ละตัวมีไม่มากนัก จึงสามารถสังเกตเห็นบุคคลเคลื่อนที่ได้ในช่วงระยะเวลาสั้น ๆ เท่านั้น ทุก ๆ ลำดับภาพจึงมีความสำคัญทั้งหมด เมื่อ Hue ฮิสโทแกรมของบุคคลในลำดับภาพถัดไปเข้ามาจะถูกนำไปเปรียบเทียบกับข้อมูล Hue ฮิสโทแกรมของบุคคลดังกล่าวที่มีอยู่เดิมใน LT หากพบว่าข้อมูล Hue ฮิสโทแกรมทั้งสองมีความแตกต่างกันเกินค่าขีดเริ่มเปลี่ยนของระยะ Bhattacharyya สำหรับการสร้างแบบจำลองลักษณะบุคคล (BH_{Th}^M) ก็จะบันทึกให้ข้อมูล Hue ฮิสโทแกรมที่อยู่ใน ST ปัจจุบันนี้เป็นข้อมูลใน LT ด้วยเช่นกัน ขั้นตอนการสร้างแบบจำลองลักษณะของบุคคลที่นำเสนอสามารถอธิบายได้ดังนี้

1. ให้ C แทนกล้องวิถีทัศน์ที่ใช้ในระบบการติดตามบุคคลที่นำเสนอ และ P แทนบุคคลที่ระบบสามารถทำการติดตามได้ดังสมการที่ (3.1) และ (3.2)

$$C = \{C_1, C_2, \dots, C_n\} \quad (3.1)$$

$$P = \{P_1, P_2, \dots, P_i\} \quad (3.2)$$

เมื่อ n คือ จำนวนกล้องวิถีทัศน์ทั้งหมดในระบบการติดตาม

i คือ จำนวนบุคคลทั้งหมดที่ระบบสามารถติดตามได้

2. ให้ ST เป็นหน่วยความจำระยะสั้นซึ่งมีหน้าที่ในการคัดกรองข้อมูลอย่างหยาบ และ LT เป็นหน่วยความจำระยะยาว ซึ่งข้อมูลทั้งหมดใน LT ของแต่ละบุคคลจะถูกใช้เป็นแบบจำลองของบุคคลดังกล่าวในการนำไปพิจารณาสำหรับกระบวนการส่งต่อบุคคลระหว่างกล้องวิถีทัศน์ โดย ST และ LT เป็นหน่วยความจำของแต่ละบุคคลที่ได้จากแต่ละกล้องวิถีทัศน์ ดังนั้นจึงสามารถอธิบายเขตของข้อมูลใน ST และ LT ทั้งหมดได้จากสมการที่ (3.3) และ (3.4) ตามลำดับ

$$ST_P^C = \{ST_P^{C,1}, ST_P^{C,2}, \dots, ST_P^{C, Index_{ST}}\} \quad (3.3)$$

$$LT_P^C = \{LT_P^{C,1}, LT_P^{C,2}, \dots, LT_P^{C, Index_{LT}}\} \quad (3.4)$$

เมื่อ $Index_{ST}$ คือ ลำดับของข้อมูลใน ST

$Index_{LT}$ คือ ลำดับของข้อมูลใน LT

แต่เนื่องจากวิทยานิพนธ์นี้ให้ความสำคัญกับทุก ๆ ลำดับภาพ ดังนั้นข้อมูล Hue ฮิสโทแกรมของแต่ละบุคคลที่ติดตามจึงถูกนำมาบันทึกลงใน ST ดังสมการที่ (3.5)

$$ST_P^C = hist_P^C \quad (3.5)$$

เมื่อ $hist_P^C$ คือ Hue ฮิสโทแกรมของบุคคล P ที่ได้จากการติดตามในลำดับภาพปัจจุบันของกล้องวิดีโอ C นั้นหมายความว่าข้อมูลใน ST จะถูกปรับเปลี่ยนใหม่เสมอ

3. ข้อมูลใน ST จะถูกบันทึกลงใน LT ก็ต่อเมื่อ Hue ฮิสโทแกรมของ ST มีความแตกต่างจาก LT ที่มีอยู่เดิม ยกเว้นเป็นการติดตามบุคคลดังกล่าวครั้งแรกซึ่งข้อมูลใน ST จะถูกบันทึกลงใน LT ทันที การหาความแตกต่างของฮิสโทแกรมสามารถทำได้จากการเปรียบเทียบความเหมือนของสองฮิสโทแกรมซึ่งคำนวณโดยการหาระยะห่าง Bhattacharyya หากพบว่าค่าระยะห่างที่ได้มีค่ามากกว่าขีดเริ่มเปลี่ยนของระยะความเหมือน Bhattacharyya สำหรับการสร้างแบบจำลอง (BH_{Th}^{Model}) ก็จะตัดสินใจให้ข้อมูลที่อยู่ใน ST ปัจจุบันบันทึกลงใน LT สามารถอธิบายการบันทึกข้อมูล Hue ฮิสโทแกรมลงใน LT ได้ดังสมการที่ (3.6) และ (3.7)

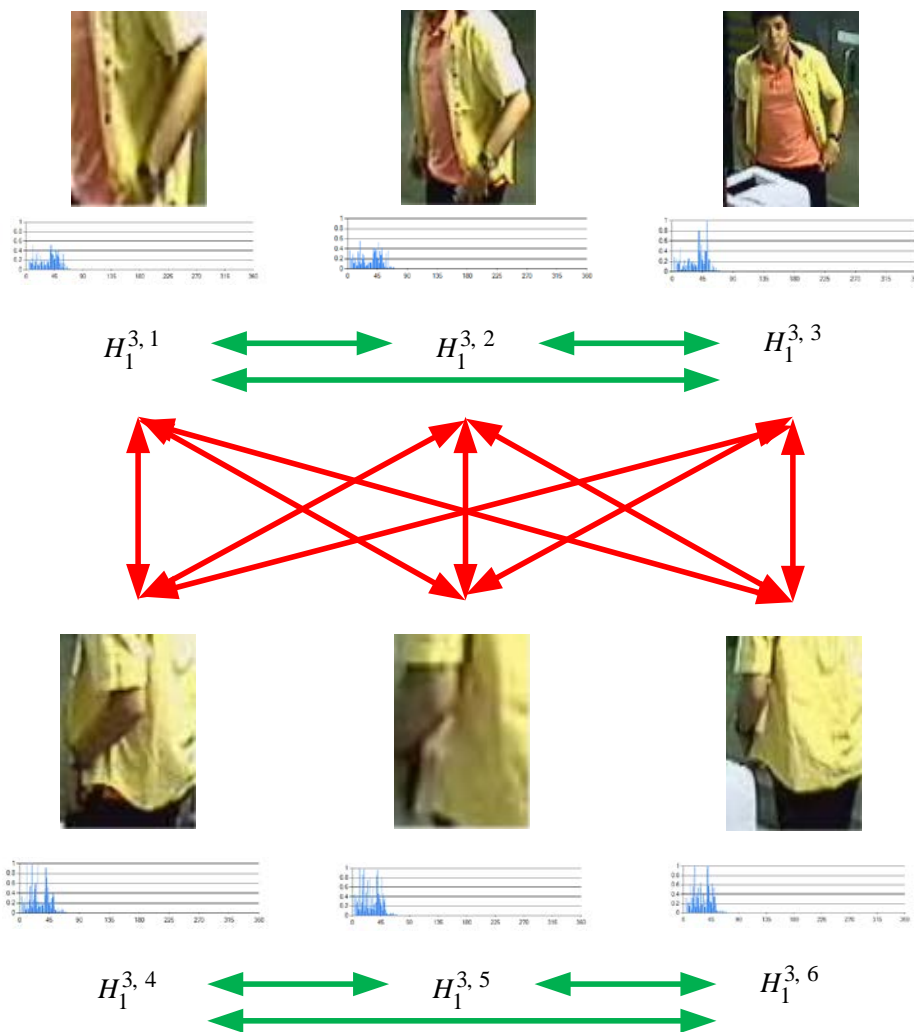
$$LT_P^{C,1} = ST_P^C \quad (3.6)$$

$$LT_P^{C, Index_{LT}+1} = ST_P^C, \quad BH(LT_P^{C, Index_{LT}}, ST_P^C) > BH_{Th}^{Model} \quad (3.7)$$

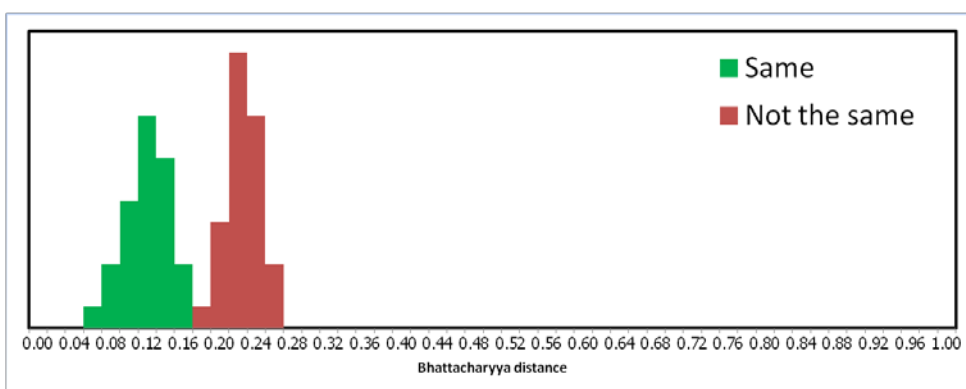
เมื่อ $BH(LT_P^{C, Index_{LT}}, ST_P^C)$ คือ ระยะห่าง Bhattacharyya ที่ได้จากข้อมูล Hue ฮิสโทแกรมใน $LT_P^{C, Index_{LT}}$ และ ST_P^C

การคำนวณหาขีดเริ่มเปลี่ยนของระยะ Bhattacharyya สำหรับการสร้างแบบจำลอง (BH_{Th}^{Model}) ที่เหมาะสมทำได้จากการเปรียบเทียบ Hue ฮิสโทแกรมของบุคคลเดียวกันขณะทำการติดตามด้วยกล้องวิดีโอแต่ละตัว ณ ลำดับภาพที่ให้ความสนใจ เช่น เมื่อบุคคลเคลื่อนที่ไปยังบริเวณที่แสงสว่างแตกต่างกัน หรือทำให้มุมมองของกล้องวิดีโอที่มีต่อบุคคลเปลี่ยนไป รูปที่ 3.4

แสดงตัวอย่างการเปรียบเทียบ Hue ฮิสโทแกรมของบุคคลเดียวกันภายในกล้องวิดิทัศน์เดียวกัน กำหนดให้ $H_{P_i}^{C_x, Index_h}$ คือ Hue ฮิสโทแกรมที่ได้จากขั้นตอนการติดตามบุคคลที่ P_i จากกล้องวิดิทัศน์ตัวที่ C_x ลำดับที่ $Index_h$ จากรูปบุคคลที่ถูกติดตาม คือ บุคคลที่ 1 ซึ่งถูกติดตามด้วยกล้องวิดิทัศน์ตัวที่ 3 การคำนวณหา BH_{Th}^{Model} จึงทำได้โดยการเปรียบเทียบจากลักษณะสีเสื้อของบุคคลที่ใกล้เคียงกันและแตกต่างกันนี้ ค่าเฉลี่ยของระยะห่าง Bhattacharyya ที่ได้จากการเปรียบเทียบลักษณะสีบริเวณเสื้อที่แตกต่างกันจะถูกนำมาใช้เป็นค่าขีดเริ่มเปลี่ยนของระยะ Bhattacharyya (BH_{Th}^{Model}) นั้นหมายความว่าระบบได้ยอมรับให้ค่าระยะห่าง Bhattacharyya ส่วนใหญ่ที่ได้จากการเปรียบเทียบลักษณะสีบริเวณเสื้อที่แตกต่างกัน เป็นค่าขีดแบ่งที่กำหนดการบันทึกข้อมูลลงใน LT เพื่อใช้สำหรับการสร้างแบบจำลองบุคคลนั่นเอง แสดงรูปผลการกระจายตัวของข้อมูลระยะ Bhattacharyya ของบุคคลเดียวกันภายในกล้องวิดิทัศน์ที่ลักษณะสีเสื้อของบุคคลที่ใกล้เคียงกันและแตกต่างกันดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.4 ตัวอย่างการเปรียบเทียบ Hue ฮิสโทแกรมของบุคคลเดียวกันภายในกล้องวิดีโอที่ลักษณะสีเสื้อของบุคคลที่ใกล้เคียงกันและแตกต่างกัน



รูปที่ 3.5 การกระจายตัวของข้อมูลระยะ Bhattacharyya ของบุคคลเดียวกันภายในกล้องวิดีโอที่ลักษณะสีเสื้อของบุคคลที่ใกล้เคียงกันและแตกต่างกัน

จากรูปที่ 3.4 กำหนดให้ลูกศรเส้นสีแดงแสดงการเชื่อมโยงข้อมูล Hue ฮิสโทแกรมของบุคคลเดียวกันที่ได้จากการเปรียบเทียบลักษณะสีบริเวณเสื้อที่แตกต่างกัน ซึ่งสัมพันธ์กับสีของรูปการกระจายตัวข้อมูลในรูปที่ 3.5 ซึ่งพบว่าค่าเฉลี่ยของระยะ Bhattacharyya ที่ได้ คือ 0.25 ซึ่งวิทยานิพนธ์นี้ได้้นำค่าระยะ Bhattacharyya ดังกล่าวไปใช้ในการกำหนดเป็นค่าขีดเริ่มเปลี่ยนของระยะ Bhattacharyya สำหรับการสร้างแบบจำลองลักษณะบุคคล (BH_{Th}^{Model})

3.4 การส่งต่อบุคคลระหว่างกล้องวิดิทัศน์ในระบบที่นำเสนอ

โดยทั่วไปในการส่งต่อบุคคลจากกล้องวิดิทัศน์สู่กล้องวิดิทัศน์ทำได้โดยการนำข้อมูลซึ่งเป็นตัวแทนของบุคคลมาทำการเปรียบเทียบ หากพบว่าข้อมูลดังกล่าวมีลักษณะที่คล้ายคลึงกันก็จะทำการส่งต่อบุคคลนั้นทันที การแสดงผลพัทธ์ของการส่งต่อบุคคลอาจทำได้โดยการระบุตัวที่ใช้แทนตัวบุคคลให้เป็นเลขเดียวกันหรือกำหนดสีของกรอบการติดตามบุคคลให้เป็นสีเดียวกัน จากบทที่ 1 ที่ได้กล่าวถึงปัญหาของระบบการติดตามบุคคลระหว่างกล้องวิดิทัศน์ที่เป็นผลกระทบจากมุมมองของกล้องวิดิทัศน์ในระบบที่เป็นอิสระจากลักษณะของบุคคลที่ปรากฏ การสะสมข้อมูลที่ใช้เป็นตัวแทนของบุคคลที่เพียงพอจึงเป็นทางแก้ปัญหาก็เกิดจากผลกระทบดังกล่าว สำหรับขั้นตอนการสะสมข้อมูลเพื่อใช้เป็นแบบจำลองลักษณะของบุคคลได้กล่าวไว้แล้วในหัวข้อที่ 0

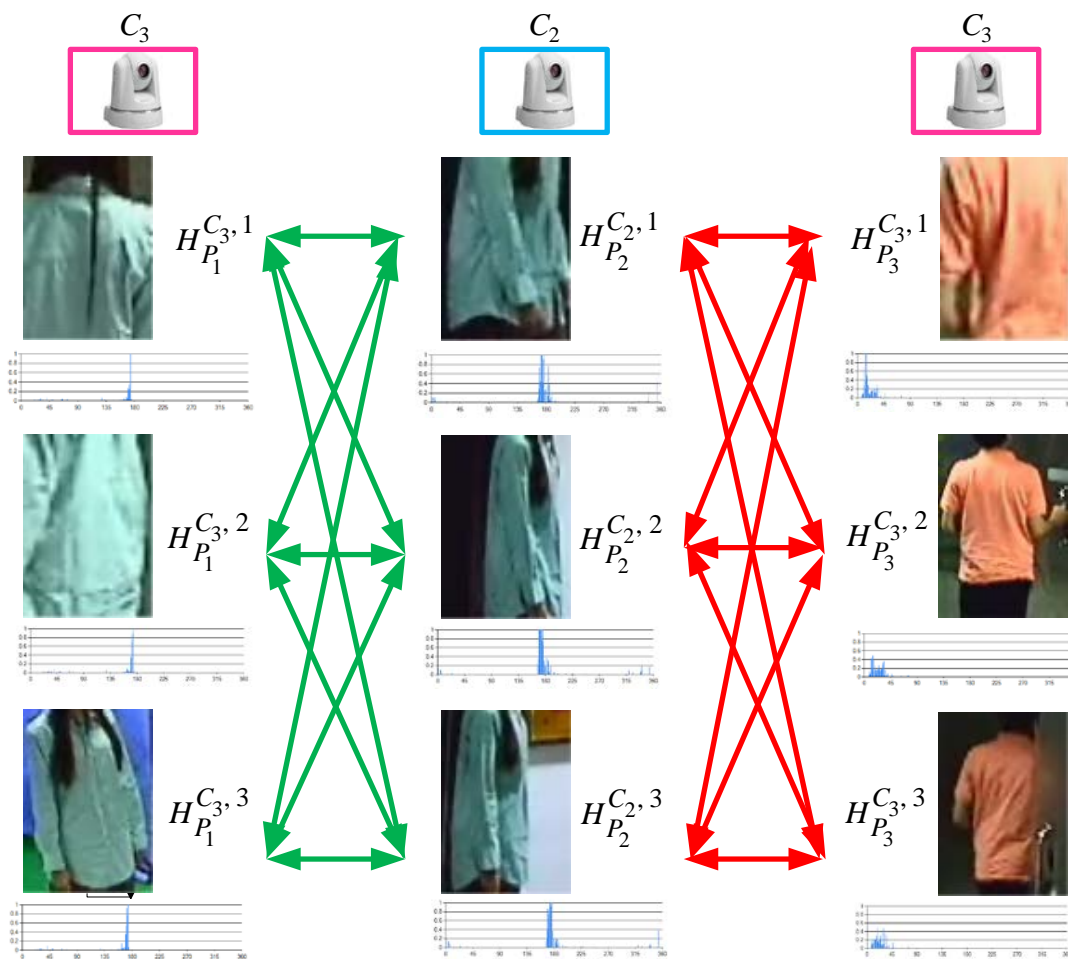
สำหรับการส่งต่อบุคคลระหว่างกล้องวิดิทัศน์ในระบบที่นำเสนอจะเป็นการนำข้อมูลในหน่วยความจำระยะยาว (LT) ซึ่งประกอบไปด้วยข้อมูล Hue ฮิสโทแกรมของแต่ละบุคคลที่ได้จากกล้องวิดิทัศน์แต่ละตัว มาทำการเปรียบเทียบความเหมือนของคู่ฮิสโทแกรมระหว่างข้อมูลใน LT ที่ระบบมีอยู่ ยกตัวอย่างเช่น หาก $LT_P^C = \{LT_1^{1,1}, LT_1^{1,2}, LT_2^{2,1}\}$ นั้นหมายความว่าระบบการติดตามมีข้อมูลที่ใช้เป็นลักษณะของบุคคลที่ 1 ซึ่งได้จากการติดตามที่กล้องวิดิทัศน์ตัวที่ 1 จำนวนสองแบบจำลอง และมีข้อมูลที่ใช้เป็นลักษณะของบุคคลที่ 2 ซึ่งได้จากการติดตามที่กล้องวิดิทัศน์ตัวที่ 2 จำนวนหนึ่งแบบจำลอง ดังนั้นระบบการติดตามจะทำการเปรียบเทียบความเหมือนของฮิสโทแกรมทั้งหมด 2 คู่ คือ คู่ฮิสโทแกรมของ $LT_1^{1,1}$ กับ $LT_2^{2,1}$ และคู่ฮิสโทแกรมของ $LT_1^{1,2}$ กับ $LT_2^{2,1}$ เป็นต้น หากพบว่าฮิสโทแกรมคู่ใดมีความคล้ายคลึงกันก็จะทำการส่งต่อบุคคลระหว่างกล้องวิดิทัศน์ สำหรับการตัดสินใจความคล้ายคลึงกันนั้นสามารถคำนวณได้จากค่าระยะห่าง Bhattacharyya ระหว่างคู่ของฮิสโทแกรมที่ต้องการเปรียบเทียบ ซึ่งหากพบว่าค่าระยะห่าง Bhattacharyya ที่ได้มี

ค่าน้อยกว่าขีดเริ่มเปลี่ยนของระยะความเหมือน Bhattacharyya สำหรับการส่งต่อบุคคล ($BH_{Th}^{Handoff}$) ก็จะกำหนดให้คู่ของฮิสโทแกรมนั้นเป็นข้อมูลชุดเดียวกัน และทำการส่งต่อบุคคลระหว่างกล้องวิดีโอทัศน์ทันที แสดงตัวอย่างการคำนวณดังสมการที่ (3.8)

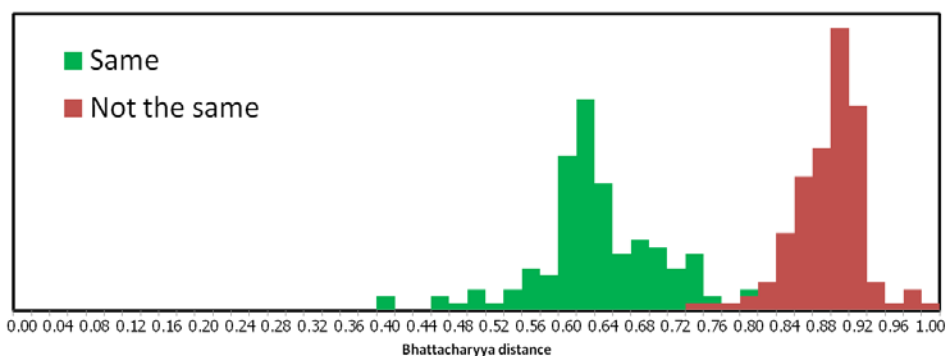
$$LT_{P_i}^{C_x} = LT_{P_j}^{C_y}, \quad BH(LT_{P_i}^{C_x}, LT_{P_j}^{C_y}) < BH_{Th}^{Handoff} \quad (3.8)$$

เมื่อ $BH(LT_{P_i}^{C_x}, LT_{P_j}^{C_y})$ คือ ระยะห่าง Bhattacharyya ที่ได้จากข้อมูล Hue ฮิสโทแกรมใน $LT_{P_i}^{C_x}$ และ $LT_{P_j}^{C_y}$

การคำนวณค่าขีดเริ่มเปลี่ยนของระยะ Bhattacharyya สำหรับการส่งต่อบุคคล ($BH_{Th}^{Handoff}$) ที่เหมาะสมทำได้จากการคำนวณระยะ Bhattacharyya ของคู่ Hue ฮิสโทแกรมที่ได้จากการติดตามของบุคคลเดียวกันระหว่างกล้องวิดีโอทัศน์และต่างบุคคลระหว่างกล้องวิดีโอทัศน์ ผลจากการคำนวณจะทำให้ทราบถึงแนวโน้มของค่าความเหมือนและความแตกต่างของบุคคลเดียวกันที่ติดตามได้จากกล้องวิดีโอทัศน์แต่ละตัว แสดงตัวอย่างการเปรียบเทียบ Hue ฮิสโทแกรมดังรูปที่ 3.6 ซึ่งประกอบด้วยกล้องวิดีโอทัศน์จำนวนสองตัว คือ กล้องวิดีโอทัศน์ตัวที่ 2 และ 3 ผลจากการเปรียบเทียบระยะห่าง Bhattacharyya ทำให้ทราบการกระจายตัวข้อมูลของบุคคลเดียวกันที่ถูกติดตามได้จากต่างกล้องวิดีโอทัศน์ ซึ่งพบว่าที่ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 3 (3SD) จากค่าเฉลี่ย จะให้ความมั่นใจได้ว่าระบบการติดตามจะสามารถส่งต่อบุคคลระหว่างกล้องวิดีโอทัศน์ซึ่งเป็นบุคคลเดียวกันได้ถึง 99.7 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งตรงกับค่าระยะห่าง Bhattacharyya ที่เท่ากับ 0.75 วิทยานิพนธ์ได้นำค่าระยะห่าง Bhattacharyya ดังกล่าวไปใช้สำหรับการกำหนดค่าขีดเริ่มเปลี่ยนของระยะ Bhattacharyya สำหรับการส่งต่อบุคคล ($BH_{Th}^{Handoff}$) แสดงผลการกระจายตัวของข้อมูลระยะ Bhattacharyya ของบุคคลเดียวกันระหว่างกล้องวิดีโอทัศน์และต่างบุคคลระหว่างกล้องวิดีโอทัศน์ได้ดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.6 ตัวอย่างการเปรียบเทียบ Hue ฮิสโทแกรมของบุคคลเดียวกันระหว่างกล้องวิดีโอที่
และต่างบุคคลระหว่างกล้องวิดีโอที่



รูปที่ 3.7 การกระจายตัวของข้อมูลระยะ Bhattacharyya ของบุคคลเดียวกันระหว่างกล้องวิดีโอที่
และต่างบุคคลระหว่างกล้องวิดีโอที่

จากรูปที่ 3.6 กำหนดให้ลูกศรเส้นสีเขียวแสดงการเชื่อมโยงข้อมูล Hue อีสโทแกรมที่ได้จากการติดตามบุคคลเดียวกันจากต่างกล้องวิดีโอที่สัมพันธ์กับสีของรูปการกระจายตัวข้อมูลในรูปที่ 3.7

ทั้งนี้หากระบบการติดตามพบว่าบุคคลเดียวกันถูกติดตามด้วยกล้องวิดีโอที่มากกว่าหนึ่งตัว ระบบจะทำการคัดเลือกกล้องวิดีโอที่มีมุมมองต่อบุคคลดังกล่าวที่ดีที่สุดโดยใช้ทฤษฎีการคัดเลือกกล้องวิดีโอ [20] ซึ่งวิทยานิพนธ์นี้ได้นำผลลัพธ์จากการเลือกกล้องวิดีโอมาใช้ในการเคลื่อนที่ตามบุคคลซึ่งอยู่ในความสนใจอีกด้วย

3.5 การเลือกกล้องวิดีโอที่มีมุมมองการรับภาพต่อบุคคลที่ดีที่สุด

วิทยานิพนธ์นี้ได้ประยุกต์ใช้ทฤษฎีเกมที่มีความสำคัญในการวิเคราะห์และการตัดสินใจสำหรับสถานการณ์ที่มีความซับซ้อนในการเลือกกล้องวิดีโอที่มีมุมมองต่อบุคคลที่ดีที่สุด [20] ผลเฉลยของเกมจะขึ้นอยู่กับการนิยามปัญหาและการเลือกใช้ฟังก์ชันอรรถประโยชน์ต่าง ๆ ซึ่งเป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์เกม ดังนี้

3.5.1 การนิยามปัญหา

ทฤษฎีเกมสามารถนำมาประยุกต์สำหรับการวิเคราะห์ปฏิสัมพันธ์หรือความขัดแย้งระหว่างผู้เล่นในเกมได้ ปัญหาในการเลือกกล้องวิดีโอที่มีมุมมองต่อบุคคลที่ดีที่สุดจัดเป็นกิจกรรมอย่างหนึ่งของระบบกล้องวิดีโอที่มีความจำเป็นในการแลกเปลี่ยนข้อมูลรวมถึงการตัดสินใจภายใต้ข้อตกลงเดียวกัน กล้องวิดีโอที่มีอยู่ในระบบจะถูกนิยามให้เป็นผู้เล่นในเกม ซึ่งมีความพยายามที่จะสร้างผลตอบแทนหรือค่าอรรถประโยชน์จากบุคคลที่ต้องการติดตามให้กับตัวเองมากที่สุด ดังนั้นเพื่อให้ได้ผลเฉลยของเกมตามลักษณะดังกล่าว เกมนี้จึงเป็นเกมสำหรับผู้เล่นหลายคน (Multi-player game) ทั้งนี้หากมีมากกว่าหนึ่งบุคคลที่ต้องการติดตามในระบบ จะเรียกเกมดังกล่าวว่าเป็นเกมสำหรับผู้เล่นหลายคนที่มีหลายเกม (Multiple of multi-player game) ในรูปแบบเกมที่เล่นพร้อม ๆ กัน

การวิเคราะห์ปัญหาในงานวิจัย [20] พบว่าเป็นเกมสำหรับผู้เล่นหลายคน ที่มีจุดประสงค์ในการเลือกกล้องวิดีโอที่เหมาะสมที่สุดจากข้อมูลของมุมมองบุคคลที่ต้องการติดตาม ฟังก์ชันอรรถประโยชน์ต่าง ๆ ถูกนิยามขึ้นมาเพื่อใช้เป็นกลยุทธ์ในการเปรียบเทียบค่าความพึงพอใจที่กล้องวิดีโอแต่ละตัวมีต่อบุคคลที่ต้องการติดตาม ผลเฉลยของเกมจะขึ้นอยู่กับค่าอรรถประโยชน์ 3 อย่างด้วยกัน คือ

1. ค่าอรรถประโยชน์ทั้งหมด (Global utility) เป็นค่าที่แสดงปริมาณความพึงพอใจทั้งหมดของประสิทธิภาพในการติดตาม
2. ค่าอรรถประโยชน์ของกล้องวิดีโอ (Camera utility) เป็น และ ค่าอรรถประโยชน์ของกล้องวิดีอนี้จะขึ้นอยู่กับเกณฑ์การประเมินมุมมองของกล้องวิดีโอที่มีต่อบุคคล ซึ่งเป็นข้อตกลงเดียวกันที่ใช้กับกล้องวิดีโอทุกตัว
3. ค่าอรรถประโยชน์ของบุคคล (Person utility) เป็นค่าที่แสดงปริมาณเหมาะสมที่แต่ละบุคคลสมควรถูกติดตามโดยกล้องวิดีโอบางตัวในระบบ ดังนั้นค่าอรรถประโยชน์ของบุคคลจึงเป็นข้อมูลสำคัญที่นำไปสู่การแก้ปัญหาในการเลือกกล้องวิดีโอที่มีมุมมองที่ดีที่สุดต่อแต่ละบุคคลนั่นเอง

เป้าหมายของผู้เล่นหรือกล้องวิดีโอแต่ละตัวในเกม คือ การทำให้ค่าอรรถประโยชน์ทั้งหมดที่เกิดจากการคำนวณฟังก์ชันอรรถประโยชน์ต่าง ๆ มีค่าสูงที่สุด ซึ่งจะเป็นการบ่งบอกว่ากล้องวิดีโอตัวใดจะเป็นผู้ชนะในเกมรอบนั้น นั่นหมายถึงผลเฉลยของเกมซึ่งกล้องวิดีโอดังกล่าวจะเป็นกล้องวิดีโอที่มีมุมมองที่ดีที่สุดต่อบุคคลที่ต้องการติดตาม สำหรับการหาผลเฉลยของเกมในแต่ละรอบจะใช้กลไกการต่อรองจากเซตของความน่าจะเป็นในการเลือกกล้องวิดีโอ หากผลเฉลยในรอบถัดไปมีการเปลี่ยนแปลงซึ่งส่งผลให้ต้องเปลี่ยนกล้องวิดีโอเพื่อทำการติดตามบุคคล กระบวนการส่งต่อบุคคลระหว่างกล้องวิดีโอก็จะเกิดขึ้นนั่นเอง

3.5.2 การกำหนดฟังก์ชันอรรถประโยชน์

เมื่อเลือกกล้องวิดีโอที่มีมุมมองที่ดีที่สุดได้แล้วจึงทำการส่งต่อบุคคลระหว่างกล้องวิดีโอ ดังนั้นการกำหนดฟังก์ชันอรรถประโยชน์จึงนิยามจากค่าความพึงพอใจของกล้องวิดีโอที่มีต่อบุคคลเป็นหลัก ซึ่งสามารถคำนวณได้จากหัวข้อที่ 2.6

ข้อเสียของการเลือกกล้องวิดีโอจาก [20] คือ ต้องการกระบวนการส่งต่อบุคคลจากกล้องวิดีโอสู่กล้องวิดีโอที่มีความแม่นยำมาก การสร้างแบบจำลองลักษณะของบุคคลที่นำเสนอสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพให้กับขั้นตอนการเลือกกล้องวิดีโอ [20] ได้ วิทยานิพนธ์นี้จึงได้ทำการทดลองเพื่อเปรียบเทียบผลของการติดตามจากวิธีที่นำเสนอ และวิธีอ้างอิง [20] ซึ่งได้แสดงผลการทดลองไว้ในหัวข้อที่ 4.2

3.6 การควบคุมการถ่าย และก้มเงยของกล้องวิดีโอแบบ PTZ

วิธีการหนึ่งเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการติดตามบุคคลเป้าหมายให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น นั่นคือการนำประโยชน์ทางด้านความสามารถในการถ่าย และก้มเงยของกล้องวิดีโอแบบ PTZ มาประยุกต์ใช้กับงาน ดังนั้นกระบวนการหนึ่งที่วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้ความสำคัญเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้กับระบบการติดตามบุคคลด้วยการทำงานร่วมกันของกล้องวิดีโอ คือ การส่งพารามิเตอร์เพื่อควบคุมกล้องวิดีโอ PTZ เพื่อปรับเปลี่ยนมุมมองของกล้องวิดีโอในการถ่าย และก้มเงยเพื่อเคลื่อนที่ตามบุคคล โดยกล้องวิดีโอจะทำการเคลื่อนที่ตามบุคคลที่สนใจซึ่งได้จากการคัดเลือกบุคคลด้วยมือ (Manual person selection) ซึ่งหากพบว่ามียกกล้องวิดีโอมากกว่าหนึ่งตัวสามารถทำการติดตามบุคคลที่สนใจได้พร้อมกัน ระบบจะกำหนดให้กล้องวิดีโอที่มีมุมมองต่อบุคคลที่สนใจที่ดีที่สุดในการเคลื่อนที่ตามอย่างอัตโนมัติ ทั้งนี้ลักษณะในการเคลื่อนที่ของกล้องวิดีโอ คือ การทำให้บริเวณบุคคลเป้าหมายนั้นมาอยู่ตำแหน่งบริเวณกึ่งกลางภาพวิดีโอ ขั้นตอนการคำนวณพารามิเตอร์ต่าง ๆ จะเลือกใช้เฉพาะข้อมูลตำแหน่งจุดภาพในพิกัด 2 มิติเท่านั้น

พารามิเตอร์ที่ใช้ในการควบคุมกล้องวิดีโอ PTZ นั้น ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ประกอบไปด้วยสองส่วนคือ พารามิเตอร์ของการถ่าย (ψ) หรือ มุมของการถ่าย (Pan angle) และพารามิเตอร์ของการก้มเงย (ϕ) หรือมุมของการก้มเงย (Tilt angle) สามารถหาค่าพารามิเตอร์ทั้งสองนี้ได้ ดัง

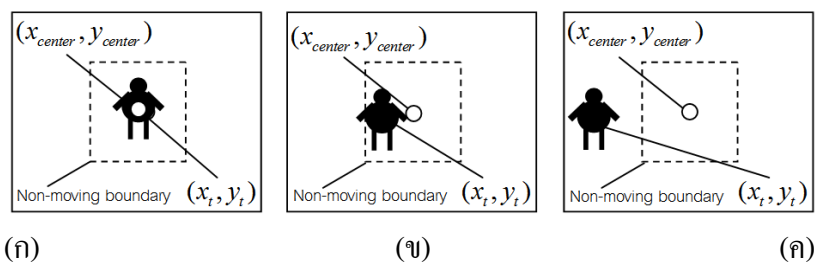
สมการ (3.9) และ (3.10) ตามลำดับ ส่วนพารามิเตอร์ของการชູมนั้น ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ไม่ได้ให้ ความสำคัญไว้ เนื่องจากการติดตามบุคคลเป้าหมายนั้นไม่จำเป็นต้องเก็บรายละเอียดของบุคคลมาก นัก อีกทั้งถ้ากล้องวิดิทัศน์ PTZ มีการชູมเกิดขึ้นจะทำให้มุมมองในการติดตามบุคคลแคบลงอีกด้วย

$$\psi = \frac{Diff_x}{\beta_x} = \frac{x_t - x_{center}}{\beta_x} \quad (3.9)$$

$$\phi = \frac{Diff_y}{\beta_y} = \frac{y_t - y_{center}}{\beta_y} \quad (3.10)$$

เมื่อกำหนดให้ $Diff_x$ และ $Diff_y$ คือ ระยะห่างในแนวนอนและแนวตั้งระหว่างตำแหน่ง กึ่งกลางบุคคลเป้าหมาย (x_t, y_t) กับตำแหน่งจุดศูนย์กลางภาพวิดิทัศน์ (x_{center}, y_{center}) ส่วน β_x และ β_y คือ อัตราของจำนวนจุดภาพต่อการเคลื่อนที่ของกล้องไป 1 องศาในแนวแกนแนวนอนและ แกนตั้งตามลำดับ

ในกรณีที่บุคคลเป้าหมายอยู่บริเวณกึ่งกลางภาพอยู่แล้ว ดังรูปที่ 3.8(ก) หรืออยู่ใกล้กับบริเวณ กึ่งกลางภาพแต่อยู่ภายในขอบเขตการเปลี่ยนมุมมองกล้องวิดิทัศน์ (Non-moving boundary) ดังรูป ที่ 3.8(ข) นั้น ระบบจะไม่มี การส่งพารามิเตอร์คำสั่งควบคุมให้กล้องวิดิทัศน์เพื่อเปลี่ยนมุมมอง แต่ ถ้าในลำดับภาพวิดิทัศน์ใดกึ่งกลางบุคคลเป้าหมายได้เคลื่อนที่ออกจากขอบเขตวิดิทัศน์ที่ไม่ต้อง เปลี่ยนมุมมอง จึงจะคำนวณตำแหน่งจุดกึ่งกลางบุคคลเป้าหมายและส่งพารามิเตอร์เพื่อให้กล้องวิดิ ทัศน์ PTZ เคลื่อนที่ ผลลัพธ์ที่ได้ คือ ตำแหน่งของบุคคลเป้าหมายนั้นจะอยู่กึ่งกลางภาพวิดิทัศน์หรือ ภายในบริเวณขอบเขตวิดิทัศน์ที่ไม่ต้องเปลี่ยนมุมมองตลอดเวลา



รูปที่ 3.8 การควบคุมการเคลื่อนที่ของกล้องวิดิทัศน์แบบ PTZ

3.7 การนับบุคคล

ในหัวข้อนี้จะนำเสนอวิธีการที่ใช้สำหรับการประเมินค่าระบบการติดตามบุคคลที่นำเสนอ โดยจะเริ่มทำการนับบุคคลเมื่อระบบสามารถทำการตรวจจับบุคคลที่เคลื่อนไหวได้ดังที่กล่าวไว้แล้วในหัวข้อที่ 2.3.1 ดังนั้นหากมีบุคคลถูกตรวจจับได้จากการเคลื่อนไหวนี้จะนับเป็นหนึ่งบุคคล โดยมีแนวคิดในการยอมรับผลการติดตามที่สำเร็จ คือ เมื่อมีบุคคลถูกตรวจจับในลำดับภาพวิดีโอ ใด ๆ แล้ว ระบบการติดตามจะต้องแสดงผลพัชของการติดตามอย่างถูกต้องได้ด้วย แสดงภาพตัวอย่างการนับบุคคลดังรูปที่ 3.9 (ก) ซึ่งสามารถนับได้สองบุคคลและผลลัพธ์จากการติดตามสามารถบ่งชี้ได้ว่านับได้สองบุคคลเช่นกัน แต่สำหรับรูปที่ 3.9 (ข) สามารถนับบุคคลได้เพียงหนึ่งบุคคลแต่ระบบการติดตามสามารถนับได้สองบุคคลเนื่องจากสัญญาณภาพรบกวนเข้ามาเกี่ยวข้อง



(ก)

(ข)

รูปที่ 3.9 ภาพตัวอย่างการนับบุคคล

ผลจากการนับบุคคลนี้จะถูกนำไปใช้ต่อในการวัดประสิทธิภาพของระบบการติดตามในบทถัดไป

บทที่ 4

ผลการทดลอง

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลการทดลองของวิธีการติดตามบุคคลด้วยการทำงานร่วมกันของกล้องวิดีโอที่นำเสนอกับวิดีโอเฝ้าระวัง (Surveillance video) จากห้องปฏิบัติการวิจัยกรรมวิธีสัญญาณดิจิทัล ชั้น 12 และ 13 ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 3 ส่วน ตามโครงสร้างของระบบที่นำเสนอในบทที่ 3 คือ ส่วนของขั้นตอนวิธีการสร้างแบบจำลองลักษณะของบุคคล การเปรียบเทียบวิธีการที่นำเสนอกับวิธีการอ้างอิง [20] และการควบคุมการถ่ายและกัมเมกซ์ของกล้องวิดีโอ PTZ เพื่อให้สามารถติดตามบุคคลเป้าหมายได้อย่างต่อเนื่อง แสดงรายละเอียดเบื้องต้นของการทดลองแต่ละส่วนได้ดังนี้

- ส่วนของขั้นตอนวิธีการสร้างแบบจำลองลักษณะบุคคล เป็นการแสดงผลการสะสมลักษณะสีของบุคคลจากกล้องวิดีโอที่ถูกติดตั้งต่างบริเวณกัน ผลการทดลองจะถูกแสดงด้วยรูปผลลัพธ์ของการติดตามบุคคล และค่าระยะ Bhattacharyya ที่ใช้วัดความเหมือนของลักษณะสี






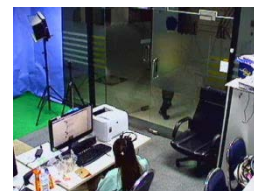



- การเปรียบเทียบวิธีการที่นำเสนอกับวิธีการอ้างอิง [20] จะแสดงผลการเปรียบเทียบด้วยรูปของผลการติดตามบุคคล และผลการเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดในการติดตามบุคคลที่เกิดขึ้นจากสถานการณ์การติดตามบุคคลกรณีทั่วไป และสถานการณ์ที่ลักษณะบุคคลที่ปรากฏขึ้นอยู่กับมุมมองของกล้องวิดีโอซึ่งเป็นสิ่งที่วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้ความสำคัญ

- การควบคุมการถ่ายและกัมเมกซ์ของกล้องวิดีโอ PTZ เพื่อนำผลลัพธ์ที่ได้จากขั้นตอนการคัดเลือกกล้องวิดีโอที่มีมุมมองต่อบุคคลดีที่สุด มาประยุกต์ใช้ในงานวิจัยที่ทำการประมวลผลภาพและวิดีโอในเวลาจริง

4.1 ผลการทดลองการสร้างแบบจำลองลักษณะบุคคลที่น่าเสนอ

เนื่องจากจุดประสงค์ของการสร้างแบบจำลองลักษณะบุคคล คือ การสร้างลักษณะที่เป็นตัวแทนของบุคคลให้มากเพียงพอต่อความต้องการในกระบวนการจับคู่บุคคลระหว่างกล้องวิดิทัศน์ ด้วยการเก็บสะสมลักษณะบุคคลซึ่งในที่นี้ คือ ข้อมูลบริเวณสีเสื้อของบุคคล วิธีการนี้จะใช้เทคนิคการแบ่งหน่วยความจำออกเป็นสองส่วน คือ หน่วยความจำระยะสั้นและหน่วยความจำระยะยาว ดังที่กล่าวไว้แล้วในหัวข้อที่ 3.1 ผลการสร้างแบบจำลองลักษณะบุคคลที่น่าเสนอนี้จึงแบ่งออกตามลักษณะการเคลื่อนที่และลักษณะทั่วไปของบุคคล โดยแสดงตัวอย่างภาพจากวิดิทัศน์ในกรณีต่าง ๆ ซึ่งใช้สำหรับการทดลองการสร้างแบบจำลองลักษณะบุคคลที่น่าเสนอดังตารางที่ 4.1


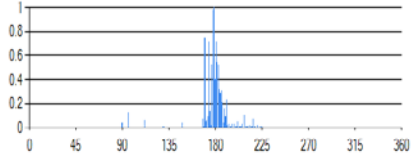

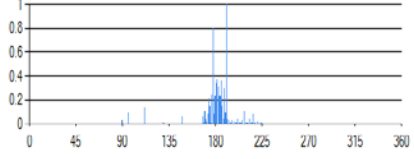

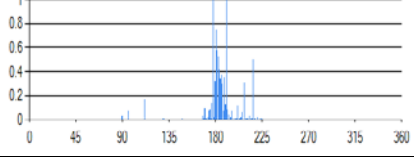

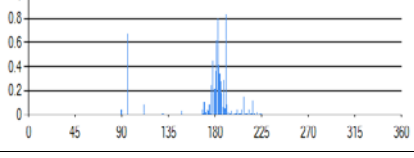
ตารางที่ 4.1 ตัวอย่างภาพจากวิดิทัศน์ในกรณีต่าง ๆ สำหรับใช้ในการทดลองการสร้างแบบจำลองลักษณะบุคคลที่น่าเสนอ


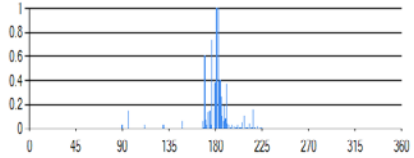
กรณีวิดิทัศน์	ตัวอย่างภาพจากวิดิทัศน์		
บุคคลเคลื่อนที่ไปยังบริเวณที่ความเข้มแสงสว่างต่างกัน			
บุคคลสวมเสื้อคลุม			
บุคคลสะพายกระเป๋า			

4.1.1 กรณีที่บุคคลเคลื่อนที่ไปยังบริเวณที่ความเข้มแสงสว่างต่างกัน

การบันทึกค่าฮิสโทแกรมของค่า Hue ในกรณีนี้ส่งผลต่อกรณีที่บุคคลเคลื่อนที่ไปยังมุมมองการรับภาพของกล้องวิดีโออื่นที่มีค่าแสงสว่างแตกต่างกัน รวมถึงกรณีความแตกต่างสำหรับรุ่นของเซนเซอร์รับภาพของกล้องวิดีโอ ซึ่งทำให้ค่าสีที่ได้รับจากแต่ละกล้องวิดีโอแตกต่างกันด้วย ผลการทดลองการสร้างแบบจำลองลักษณะบุคคลที่นำเสนอแสดงดังตารางที่ 4.2 ด้วยการแสดงลำดับในหน่วยความจำระยะยาว ซึ่งจะถูกนำไปใช้แบบจำลองลักษณะบุคคลลำดับที่ได้นี้เกิดจากการคำนวณหาค่าระยะ Bhattacharyya ระหว่างค่า Hue ฮิสโทแกรมของหน่วยความจำระยะสั้นในลำดับปัจจุบันกับค่า Hue ฮิสโทแกรมของหน่วยความจำระยะยาวในลำดับก่อนหน้า

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองการสร้างแบบจำลองลักษณะบุคคลที่นำเสนอ กรณีที่บุคคลเคลื่อนที่ไปยังบริเวณที่ความเข้มแสงสว่างต่างกัน


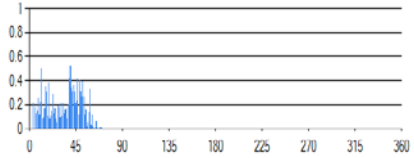

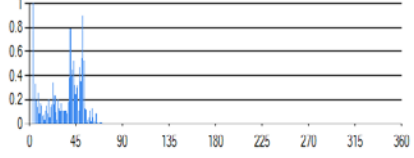

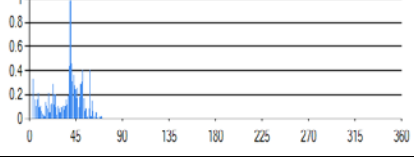

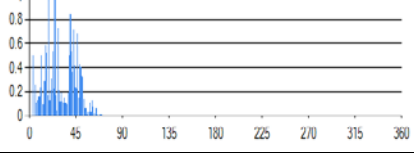
ลำดับในหน่วยความจำระยะสั้น	ตัวอย่างภาพจากวิดีโอ	ฮิสโทแกรมของค่า Hue	ค่าระยะ Bhattacharyya	ลำดับในหน่วยความจำระยะยาว
0			-	0
4			0.29	1
26			0.29	3
65			0.25	9


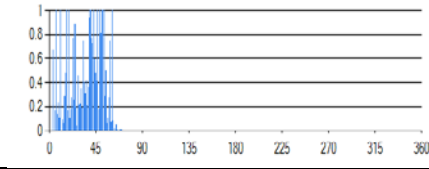
ลำดับในหน่วยความจำระยะสั้น	ตัวอย่างภาพจากวิดีโอ	ฮิสโทแกรมของค่า Hue	ค่าระยะ Bhattacharyya	ลำดับในหน่วยความจำระยะยาว
110			0.38	12

4.1.2 กรณีที่บุคคลสวมเสื้อคลุม

การบันทึกค่าฮิสโทแกรมของค่า Hue ในกรณีนี้ส่งผลดีต่อกรณีที่บุคคลเคลื่อนที่เข้าไปยังกล้องวิดีโอที่อยู่ในมุมมองต่อบุคคลที่แตกต่าง ผลการทดลองการสร้างแบบจำลองลักษณะบุคคลที่น่าเสนอแสดงดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองการสร้างแบบจำลองลักษณะบุคคลที่น่าเสนอ กรณีที่บุคคลสวมเสื้อคลุม

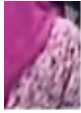
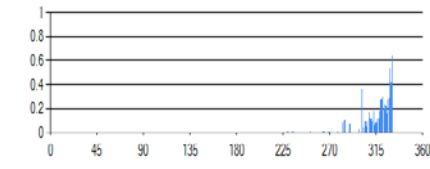

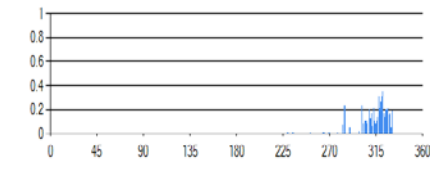

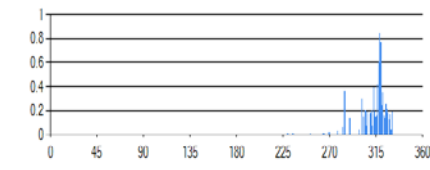

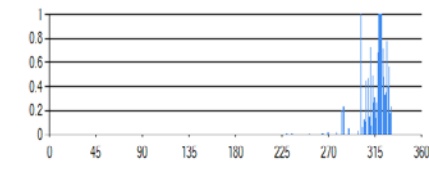
ลำดับในหน่วยความจำระยะสั้น	ตัวอย่างภาพจากวิดีโอ	ฮิสโทแกรมของค่า Hue	ค่าระยะ Bhattacharyya	ลำดับในหน่วยความจำระยะยาว
0			-	0
33			0.20	1
139			0.21	5
169			0.20	7


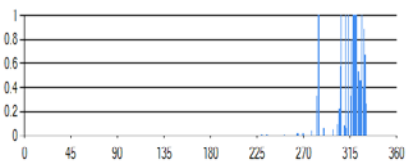
ลำดับใน หน่วยความจำ ระยะสั้น	ตัวอย่าง ภาพจาก วีดิทัศน์	ฮิสโทแกรมของค่า Hue	ค่าระยะ Bhattacharyya	ลำดับใน หน่วยความจำ ระยะยาว
271			0.21	11

4.1.3 กรณีที่บุคคลสวมผ้าคลุมศีรษะ

การบันทึกค่าฮิสโทแกรมของค่า Hue ในกรณีนี้ส่งผลดีเช่นเดียวกับกรณีที่บุคคลสวมเสื้อคลุม เนื่องจากเมื่อบุคคลเคลื่อนที่เข้าไปยังมุมมองของกล้องวีดิทัศน์ที่แตกต่างกันแล้ว หากมีข้อมูลลักษณะบุคคลที่เพียงพอก็จะสามารถทำการติดตามบุคคลได้อย่างต่อเนื่อง ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ผลการทดลองการสร้างแบบจำลองลักษณะบุคคลที่น่าเสนอ กรณีที่บุคคลสวมเสื้อคลุม

ลำดับใน หน่วยความจำ ระยะสั้น	ตัวอย่าง ภาพจาก วีดิทัศน์	ฮิสโทแกรมของค่า Hue	ค่าระยะ Bhattacharyya	ลำดับใน หน่วยความจำ ระยะยาว
1			-	0
4			0.22	1
10			0.29	3
19			0.26	10

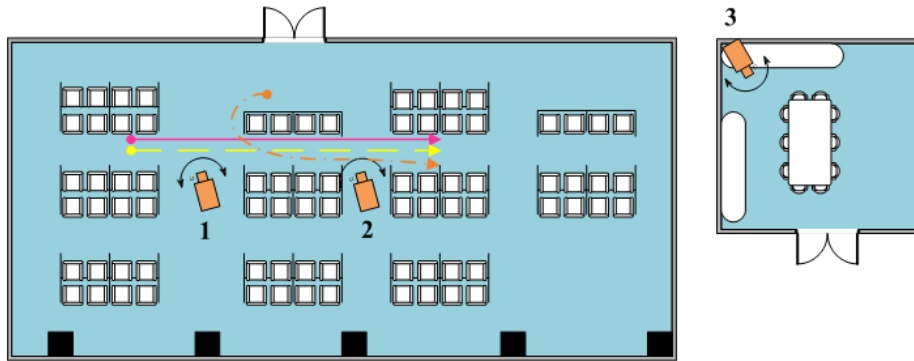
ลำดับใน หน่วยความจำ ระยะสั้น	ตัวอย่าง ภาพจาก วิดีโอ	ฮิสโทแกรมของค่า Hue	ค่าระยะ Bhattacharyya	ลำดับใน หน่วยความจำ ระยะยาว
50			0.28	29

4.2 ผลการเปรียบเทียบวิธีการที่นำเสนอกับวิธีการอ้างอิง [20]

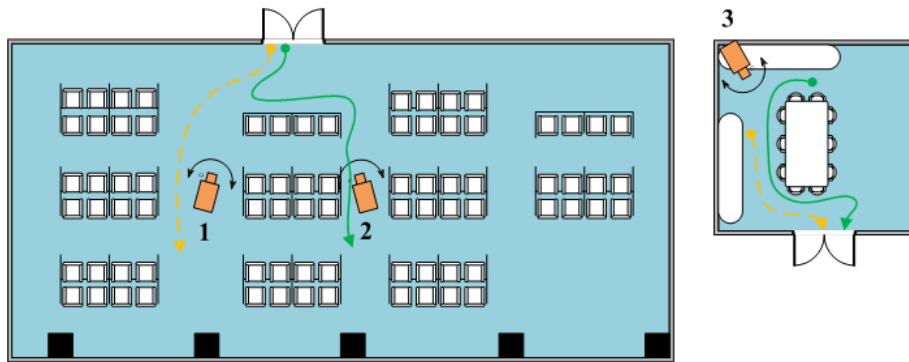
การเปรียบเทียบนี้จะใช้วิดีโอระแวงที่บันทึกได้จากกล้องวิดีโอแบบ PTZ จำนวน 3 ตัว ซึ่งถูกติดตั้งภายในห้องปฏิบัติการวิจัยวิดีโอ ชั้น 12 จำนวน 1 ตัว และติดตั้งอยู่ในห้องปฏิบัติการวิจัยกรรมวิธีสัญญาณดิจิทัล ชั้น 13 จำนวน 2 ตัว ขนาดภาพวิดีโอที่ใช้ในการบันทึกมีขนาดความกว้าง 384 จุดภาพ และความสูง 288 จุดภาพ โดยมีอัตราลำดับภาพวิดีโอ 20 ลำดับภาพต่อวินาที

4.2.1 วิดีโอระแวงที่ใช้ในการเปรียบเทียบ

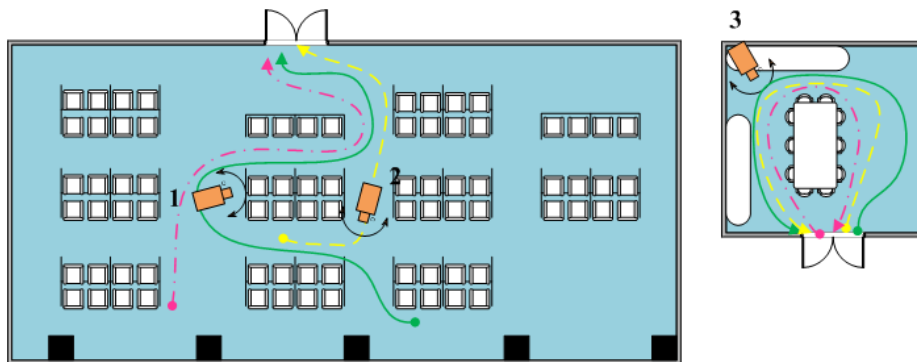
เนื่องจากวิทยานิพนธ์นี้มุ่งเน้นในการแก้ปัญหาการติดตามบุคคลด้วยการทำงานร่วมกันของกล้องวิดีโอในสถานการณ์ที่ลักษณะบุคคลที่ปรากฏขึ้นอยู่กับมุมมองของกล้องวิดีโอ ดังนั้นวิดีโอระแวงที่ใช้ในการเปรียบเทียบจึงแบ่งออกเป็น 2 กรณี คือ กรณีทั่วไปและกรณีที่ได้รับผลกระทบจากเงื่อนงำของลักษณะบุคคลที่ปรากฏ จากรูปแบบของมุมมองกล้องวิดีโอที่เป็นไปได้ คือ มุมมองของกล้องวิดีโอในระบบไม่เหลื่อมกัน และมุมมองของกล้องวิดีโอในระบบที่มีส่วนเหลื่อมกัน แสดงตัวอย่างภาพจากวิดีโอในกรณีต่าง ๆ ซึ่งใช้สำหรับการเปรียบเทียบดังรูปที่ 4.1 โดยมีเส้นแสดงทิศทางการเคลื่อนที่ตามจำนวนของบุคคล และสีของแต่ละเส้นแสดงทิศทางการเคลื่อนที่บ่งบอกถึงสีเสื้อส่วนใหญ่ของแต่ละบุคคล



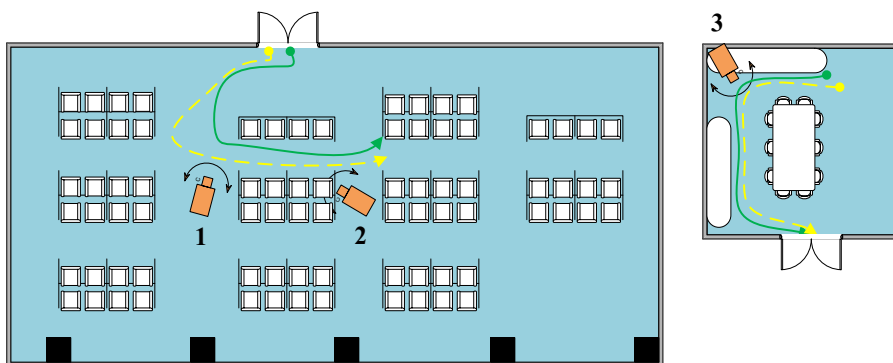
(ก) กรณีทั่วไปเมื่อมุมมองของกล้องวิดิทัศน์ในระบบการติดตามไม่เหลื่อมกัน



(ข) กรณีทั่วไปเมื่อมุมมองของกล้องวิดิทัศน์ในระบบมีส่วนเหลื่อมกัน



(ค) กรณีที่ได้รับผลกระทบจากเงื่อนงำของลักษณะบุคคลที่ปรากฏ
เมื่อมุมมองของกล้องวิดิทัศน์ในระบบไม่เหลื่อมกัน



(ง) กรณีที่ได้รับผลกระทบจากเงื่อนงำของลักษณะบุคคลที่ปรากฏ
เมื่อมุมมองของกล้องวิดีโอทัศนในระบบมีส่วนเหลื่อมกัน




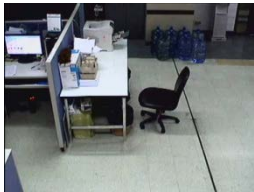

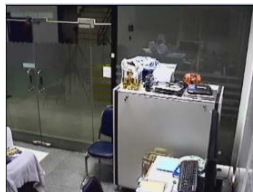
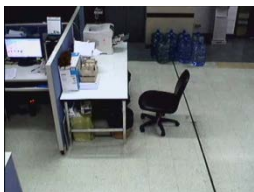

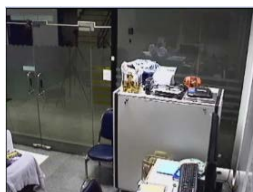
รูปที่ 4.1 การติดตั้งกล้องวิดีโอทัศนและทิศทางการเคลื่อนที่ของบุคคล

4.2.1.1 กรณีทั่วไปเมื่อมุมมองของกล้องวิดีโอทัศนในระบบไม่เหลื่อมกัน

ในกรณีนี้ทุก ๆ บุคคลในการทดลองจะสวมเสื้อสีที่แตกต่างกันอย่างชัดเจน โดยที่ลักษณะของเสื้อที่สวมใส่จะเป็นสีเดียวกันตลอดทั้งตัว และไม่สวมเสื้อคลุมหรือสะพายกระเป๋า ซึ่งเป็นสภาพที่มักพบเจอบ่อยที่สุดจึงเรียกว่ากรณีทั่วไป การติดตั้งกล้องวิดีโอทัศนและทิศทางการเคลื่อนที่ของบุคคลเป็นไปดังรูปที่ 4.1(ก) โดยสีของเส้นแสดงทิศทางการเคลื่อนที่เป็นไปตามสีเสื้อส่วนใหญ่ของบุคคลที่ปรากฏ และแสดงตัวอย่างภาพจากวิดีโอทัศนดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ตัวอย่างภาพจากวิดีโอทัศนกรณีทั่วไปเมื่อมุมมองของกล้องวิดีโอทัศนในระบบการติดตามไม่เหลื่อมกัน













สถานการณ์	ตัวอย่างภาพจากกล้องวิดีโอทัศน		
	1	2	3
มุมมองปกติ			

สถานการณ์	ตัวอย่างภาพจากกล้องวีดิทัศน์		
	1	2	3
บุคคลเฝ้าชมพู่ เคลื่อนที่ภายใน มุมมองกล้อง วีดิทัศน์ตัวที่ 1			
บุคคลเสื่อน้ำตาล เคลื่อนที่ภายใน มุมมองกล้อง วีดิทัศน์ตัวที่ 2			
บุคคลเฝ้าชมพู่ เคลื่อนที่ภายใน มุมมองกล้อง วีดิทัศน์ตัวที่ 2			

4.2.1.2 กรณีทั่วไปเมื่อมุมมองของกล้องวีดิทัศน์ในระบบมีส่วนเหลื่อมกัน

กรณีนี้ทุก ๆ บุคคลในการทดลองจะสวมเสื้อสีที่แตกต่างกันอย่างชัดเจน เช่นเดียวกับกรณีแรก แต่เมื่อมุมมองของกล้องวีดิทัศน์ในระบบมีส่วนที่เหลื่อมกัน ทำให้มีประเด็นของการเลือกกล้องวีดิทัศน์ที่มีมุมมองต่อบุคคลที่สนใจดีที่สุดในการติดตาม การติดตั้งกล้องวีดิทัศน์และทิศทางการเคลื่อนที่ของบุคคลเป็นไปดังรูปที่ 4.1(ข) และแสดงตัวอย่างภาพจากวีดิทัศน์ดังตารางที่ 4.6













ตารางที่ 4.6 ตัวอย่างภาพจากวีดิทัศน์กรณีทั่วไปเมื่อมุมมองของกล้องวีดิทัศน์ในระบบการติดตามไม่เหมือนกัน

สถานการณ์	ตัวอย่างภาพจากกล้องวีดิทัศน์		
	1	2	3
มุมมองปกติ			
บุคคลเสื้อส้มและเขียวเคลื่อนที่ภายในมุมมองกล้องวีดิทัศน์ตัวที่ 3			
บุคคลเสื้อส้มและเขียวเคลื่อนที่ภายในมุมมองกล้องวีดิทัศน์ตัวที่ 1 และ 2			
บุคคลเสื้อเขียวเคลื่อนที่ภายในมุมมองกล้องวีดิทัศน์ตัวที่ 2			

4.2.1.3 กรณีที่ได้รับผลกระทบจากเงื่อนงำของลักษณะบุคคลที่ปรากฏ เมื่อมุมมองของกล้องวีดิทัศน์ในระบบไม่เหมือนกัน

กรณีนี้แต่ละบุคคลอาจสะพายกระเป๋าหรือสวมเสื้อคลุมที่มีสีแตกต่างจากสีเสื้อหลัก กรณีนี้อาจก่อให้เกิดการจับคู่ของบุคคลที่ผิดพลาดจากลักษณะของบุคคลที่เปลี่ยนไป ซึ่งเป็นกรณีที่เกิดขึ้นได้ง่ายเมื่อกำหนดกล้องวีดิทัศน์ที่ใช้ในการทดลองเป็นกล้องวีดิทัศน์แบบ PTZ ซึ่งสามารถปรับเปลี่ยนมุมมองได้ตลอดเวลา ด้วยเหตุนี้จึงอาจส่งผลกระทบต่อกระบวนการ








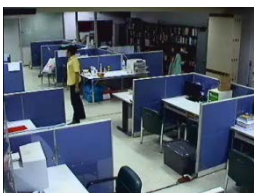

ระหว่างกล้องวีดิทัศน์และการติดตามบุคคลเกิดความผิดพลาดได้ การติดตั้งกล้องวีดิทัศน์และทิศทางเคลื่อนที่ของบุคคลเป็นไปดังรูปที่ 4.1(ค) และแสดงตัวอย่างภาพจากวีดิทัศน์ดังตารางที่ 4.7 ตารางที่ 4.7 ตัวอย่างภาพจากวีดิทัศน์กรณีที่ได้รับผลกระทบจากเงื่อนงำของลักษณะบุคคลที่ปรากฏ เมื่อมุมมองของกล้องวีดิทัศน์ในระบบไม่เหลื่อมกัน

สถานการณ์	ตัวอย่างภาพจากกล้องวีดิทัศน์		
	1	2	3
มุมมองปกติ			
บุคคลเสื้อเหลืองที่สะพายกระเป๋า และบุคคลชุดเขียวสวมที่เสื้อคลุมสีส้ม เคลื่อนที่ภายในมุมมองกล้องวีดิทัศน์ตัวที่ 2			
บุคคลเสื้อเหลืองที่สะพายกระเป๋า บุคคลชุดเขียวที่สวมเสื้อคลุมสีส้ม และบุคคลเสื้อชมพู เคลื่อนที่ภายในมุมมองกล้องวีดิทัศน์ตัวที่ 1			
บุคคลเสื้อชมพูเคลื่อนที่ภายในมุมมองกล้องวีดิทัศน์ตัวที่ 3			

4.2.1.4 กรณีที่ได้รับผลกระทบจากเงื่อนงำของลักษณะบุคคลที่ปรากฏ เมื่อมุมมองของกล้องวีดิทัศน์ในระบบมีส่วนเหลื่อมกัน

เช่นเดียวกับกรณีข้างต้นที่อาจส่งผลให้กระบวนการส่งต่อบุคคลระหว่างกล้องวีดิทัศน์และการติดตามบุคคลเกิดความผิดพลาดจากกระบวนการจับคู่ที่เกิดจากมุมมองของกล้องวีดิทัศน์ต่อบุคคลที่แตกต่างกัน ทั้งนี้เมื่อมุมมองกล้องวีดิทัศน์ในระบบมีส่วนที่เหลื่อมกันแล้ว จึงเกิดประเด็นของการเลือกกล้องวีดิทัศน์ที่มีมุมมองต่อบุคคลที่สนใจดีที่สุดในการติดตามด้วย การติดตั้งกล้องวีดิทัศน์และทิศทางการเคลื่อนที่ของบุคคลเป็นไปดังรูปที่ 4.1(ง) และแสดงตัวอย่างภาพจากวีดิทัศน์ดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 ตัวอย่างภาพจากวีดิทัศน์กรณีที่ได้รับผลกระทบจากเงื่อนงำของลักษณะบุคคลที่ปรากฏ เมื่อมุมมองของกล้องวีดิทัศน์ในระบบไม่เหลื่อมกัน

สถานการณ์	ตัวอย่างภาพจากกล้องวีดิทัศน์		
	1	2	3
มุมมองปกติ			
บุคคลเสื้อเหลืองและเขียว เคลื่อนที่ภายในมุมมองกล้องวีดิทัศน์ตัวที่ 3			
บุคคลเสื้อเหลืองและเขียว เคลื่อนที่ภายในมุมมองกล้องวีดิทัศน์ตัวที่ 1 และ 2			

สถานการณ์	ตัวอย่างภาพจากกล้องวีดิทัศน์		
	1	2	3
บุคคลเสียเที่ยวเคลื่อนที่ภายในมุมมองกล้องวีดิทัศน์ตัวที่ 1 และ 2 ขณะที่บุคคลเสียเหลือองเคลื่อนที่ภายในมุมมองกล้องวีดิทัศน์ตัวที่ 2			

4.2.2 ผลการเปรียบเทียบ

ในหัวข้อนี้จะแสดงผลการเปรียบเทียบวิธีการที่นำเสนอที่อาศัยเทคนิคการเก็บสะสมข้อมูลให้เป็นตัวแทนของบุคคล กับวิธีการอ้างอิง [20] ที่อาศัยเพียงข้อมูลเดียวที่ได้จากขั้นตอนการตรวจจับให้เป็นตัวแทนของบุคคล โดยการเปรียบเทียบจะแบ่งตามวีดิทัศน์ระแวงระวังในกรณีต่าง ๆ ตามหัวข้อที่ 4.2.1 ผลการเปรียบเทียบจะแสดงทั้งในเชิงคุณภาพ (Qualitative) ซึ่งเป็นตัวอย่างภาพจากวีดิทัศน์ และเชิงปริมาณ (Quantitative) ที่เป็นผลการทดลองที่ถูกแสดงด้วยค่าตัวเลขของค่าประสิทธิภาพโดยการนับบุคคลดังที่กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 3.7 แต่เนื่องจากลักษณะของวิทยานิพนธ์นี้เป็นในลักษณะงานวิจัยเชิงประยุกต์กับการใช้งานในเวลาจริง ทำให้ผลการทดลองส่วนใหญ่จะมีการวิเคราะห์ผลในเชิงคุณภาพเป็นส่วนใหญ่ สำหรับผลการเปรียบเทียบเชิงคุณภาพตามวีดิทัศน์ระแวงระวังในกรณีต่าง ๆ จะถูกแสดงด้วยตัวอย่างภาพผลการติดตามดังตารางที่ 4.9 4.11 และ 4.13 และแสดงผลลัพธ์ของการติดตามจากลำดับภาพที่สำคัญดังตารางที่ 4.10 4.12 และ 4.14 โดยกำหนดให้ตัวเลขที่แสดง คือ หมายเลขประจำตัวบุคคลที่สามารถทำการติดตามได้ และหากพบว่าบุคคลเดียวกันปรากฏอยู่ในมุมมองการรับภาพของกล้องวีดิทัศน์มากกว่าหนึ่งตัว จะกำหนดให้เครื่องหมาย * ซึ่งอยู่ด้านหลังหมายเลขประจำตัวบุคคล เป็นตัวแทนของกล้องวีดิทัศน์ที่มีมุมมองการรับภาพต่อบุคคลดังกล่าวที่ดีที่สุด

จากวีดิทัศน์กรณีทั่วไปเมื่อมุมมองของกล้องวีดิทัศน์ในระบบไม่เหลื่อมกัน ซึ่งประกอบด้วยสองบุคคลที่แต่ละบุคคลสวมเสื้อเป็นสีเนื้อเดียวกัน เคลื่อนที่ผ่านกล้องวีดิทัศน์ตัวที่ 1 และ 2 ด้วยทิศทางเคลื่อนที่ดังรูปที่ 4.1(ก) จะพบว่ากรณีนี้เป็นกรณีของการติดตามบุคคลด้วย

กล้องวิดีโอหลายตัวอย่างง่าย เนื่องจากกล้องวิดีโอที่ใช้ในการติดตามทั้งสองถูกติดตั้งอยู่ในห้อง การทดลองเดียวกัน จึงทำให้ไม่ได้รับผลกระทบที่เกิดจากสภาพแสงมากนัก อีกทั้งลักษณะการ เคลื่อนที่ของบุคคลยังทำให้ภาพที่ได้รับจากกล้องวิดีโอทั้งสองมีมุมมองต่อบุคคลที่เหมือนกันอีกด้วย ข้อมูลที่เป็นตัวแทนของบุคคลหรือค่าฮิสโทแกรมของสีที่ได้รับจากขั้นตอนการตรวจจับบุคคล เพียงข้อมูลเดียวจึงเพียงพอที่จะนำมาใช้ในการส่งต่อบุคคลระหว่างกล้องวิดีโอ วิธีการที่นำเสนอ และวิธีการอ้างอิงจึงให้ผลลัพธ์การติดตามบุคคลที่เหมือนกัน ดังผลลัพธ์ที่แสดงในตารางที่ 4.10 บุคคลที่ 1 ซึ่งถูกตรวจจับและเริ่มทำการติดตามด้วยกล้องวิดีโอตัวที่ 1 ณ ลำดับภาพที่ 98 จากนั้น จึงเคลื่อนที่ผ่านระยะการติดตาม ณ ลำดับภาพที่ 120 และปรากฏอีกครั้งที่กล้องวิดีโอตัวที่ 2 ณ ลำดับภาพที่ 622 ซึ่งระบบการติดตามสามารถทำการส่งต่อบุคคลระหว่างกล้องวิดีโอทั้งสองนี้ได้ อย่างถูกต้อง แม้จะมีบุคคลที่ 2 เคลื่อนที่เข้ามาก่อนในลำดับภาพที่ 400 ถึง 430 ก็ตาม

จากวิดีโอกรณีทั่วไปเมื่อมุมมองของกล้องวิดีโอในระบบมีส่วนเหลื่อมกัน ประกอบด้วยสองบุคคลที่แต่ละบุคคลสวมเสื้อเป็นสีเนื้อเดียวกัน เคลื่อนที่ผ่านกล้องวิดีโอตัวที่ 1 2 และ 3 ด้วยทิศทางเคลื่อนที่ดังรูปที่ 4.1(ข) พบว่าเมื่อบุคคลเคลื่อนที่ผ่านกล้องวิดีโอซึ่งถูก ติดตั้งต่างสถานที่กัน หากมีข้อมูลที่เป็นตัวแทนของบุคคลไม่เพียงพอจะทำให้การติดตามบุคคล ระหว่างกล้องวิดีโอล้มเหลวเนื่องจากสภาพแสงแต่ละสถานที่แตกต่างกัน ทั้งนี้การปรับปรุง ขั้นตอนวิธีการติดตามบุคคลที่นำเสนอด้วยการสร้างเงื่อนไขในการปรับเปลี่ยนขนาดของกรอบการ ติดตาม ยังช่วยให้ระบบสามารถติดตามบุคคลที่แม้จะเคลื่อนที่ออกจากมุมมองการรับภาพของกล้อง วิดีโอไปแล้ว ให้สามารถติดตามบุคคลเดิมได้เมื่อบุคคลดังกล่าวเคลื่อนที่กลับเข้ามาในมุมมองการ รับภาพเดิมอีกครั้ง ดังแสดงผลลัพธ์ของการติดตามดังตารางที่ 4.12 บุคคลที่ 1 และ 2 ถูกตรวจจับ และติดตามได้ที่กล้องวิดีโอตัวที่ 3 จากนั้นบุคคลทั้งสองได้เคลื่อนที่จากห้องทดลองชั้น 12 ขึ้นมาที่ห้องทดลองชั้น 13 ซึ่งขณะเคลื่อนที่ขึ้นมาไม่มีกล้องวิดีโอตัวใดทำการติดตามได้ จนกระทั่งบุคคลทั้งสองเคลื่อนที่เข้ามาในห้องทดลองชั้น 13 ณ ลำดับภาพที่ 875 ด้วยวิธีการที่ นำเสนอทำให้บุคคลที่ 2 สามารถถูกติดตามได้ด้วยกล้องวิดีโอตัวที่ 1 แต่วิธีการอ้างอิงกลับ ตรวจสอบและพบว่าเป็นบุคคลใหม่ที่ไม่เคยถูกติดตามมาก่อน เนื่องจากข้อมูลสีของบุคคลที่ได้จาก ขั้นตอนการตรวจจับบุคคลที่กล้องวิดีโอตัวที่ 2 นี้มีความแตกต่างกับข้อมูลที่เป็นตัวแทนของ บุคคลที่มีอยู่ในระบบ ซึ่งเป็นผลกระทบจากสภาพแสงของห้องทดลองที่แตกต่างกัน จากนั้น ณ

ลำดับภาพที่ 910 ด้วยวิธีการที่นำเสนอพบว่าบุคคลที่ 1 และ 2 ปรากฏอยู่ในกล้องวิดีโอตัวที่ 1 และ 2 โดยกล้องวิดีโอตัวที่ 1 มีมุมมองต่อบุคคลทั้งสองที่ดีกว่า ผลลัพธ์ของการติดตามที่กล้องวิดีโอตัวที่ 1 จึงแสดงด้วยเครื่องหมาย * ทั้งนี้สำหรับวิธีการอ้างอิงก็สามารถเลือกมุมมองของกล้องวิดีโอที่มีมุมมองการรับภาพดีที่สุดต่อบุคคลได้เช่นกัน แต่ไม่สามารถเชื่อมโยงได้ว่าเป็นบุคคลที่ 1 ได้จากขั้นตอนการส่งต่อบุคคลระหว่างกล้องวิดีโอที่ผลิตขาด

ณ ลำดับภาพที่ 910 แสดงให้เห็นว่าทั้งวิธีการที่นำเสนอและวิธีการอ้างอิงสามารถทำการติดตามบุคคลที่ 1 ได้อย่างถูกต้อง และสามารถเลือกกล้องวิดีโอที่มีมุมมองต่อบุคคลที่ 1 ที่ดีที่สุดได้ และพบว่าบุคคลที่ 1 นี้เคลื่อนที่ออกจากมุมมองการรับภาพของกล้องวิดีโอตัวที่ 2 ณ ลำดับภาพที่ 1295 จากนั้นจึงเคลื่อนที่กลับเข้ามาอีกครั้ง ณ ลำดับภาพที่ 1333 จากวิธีการที่นำเสนอสามารถทำการติดตามบุคคลที่ 1 นี้ได้อย่างต่อเนื่อง เพราะเงื่อนไขในการปรับเปลี่ยนขนาดกรอบการติดตามที่กำหนดให้ยังคงรักษขนาดไว้หากมีแนวโน้มว่าบุคคลที่ติดตามจะเคลื่อนที่ออกจากมุมมองการรับภาพ ดังนั้นเมื่อบุคคลเคลื่อนที่กลับเข้ามาในมุมมองการรับภาพจึงสามารถทำการติดตามต่อไปในทันที แต่วิธีการอ้างอิงไม่สามารถทำได้เนื่องจากภายหลังที่บุคคลเคลื่อนที่ออกจากมุมมองการรับภาพนั้นส่งผลให้กรอบการติดตามมีขนาดเล็กจนไม่สามารถติดตามได้ เมื่อบุคคลเคลื่อนที่กลับเข้ามาใหม่ หากไม่สามารถทำการตรวจจับบุคคลจากการเคลื่อนที่ได้ ก็จะทำให้ไม่สามารถติดตามบุคคลดังกล่าวได้อย่างต่อเนื่องนั่นเอง สำหรับวิดีโอ ณ ลำดับภาพที่ 1333 นี้ เหตุผลที่ไม่สามารถทำการตรวจจับบุคคลได้เนื่องมาจากบุคคลดังกล่าวถูกบดบังจากสิ่งกีดขวาง ส่งผลให้การเคลื่อนไหวที่เกิดขึ้นมีปริมาณไม่เพียงพอ จึงไม่ถูกตรวจสอบว่าเป็นบุคคลที่กำลังเคลื่อนที่เข้ามานั่นเอง

จากวิดีโอที่ 1 ได้รับผลกระทบจากเงื่อนไขของลักษณะบุคคลที่ปรากฏเมื่อมุมมองของกล้องวิดีโอในระบบไม่เหมือนกัน ประกอบด้วยสามบุคคลที่แต่ละบุคคลมีลักษณะสีบริเวณเสื้อไม่เป็นสีเนื้อเดียวกัน กล่าวคือ บุคคลแรกจะสวมเสื้อชุดสีฟ้าด้วยเสื้อคลุมแขนยาวสีส้ม บุคคลที่สองสวมเสื้อเหลืองพร้อมสะพายกระเป๋าสีเทา และบุคคลที่สามสวมเสื้อลวดลายที่มีสีหลักเป็นสีชมพูอ่อนพร้อมผ้าคลุมศีรษะสีชมพูเข้ม ทั้งสามบุคคลเคลื่อนที่ผ่านกล้องวิดีโอตัวที่ 2 1 และ 3 ตามลำดับ ด้วยทิศทางเคลื่อนที่ดังรูปที่ 4.1(ค) ซึ่งพบว่าหากมุมมองการรับภาพของกล้อง













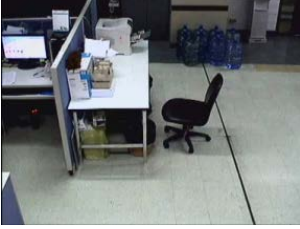


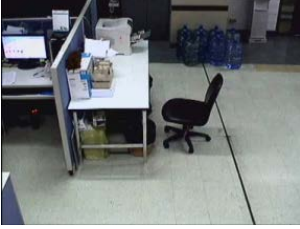


วิถีทัศนมิติศทางการมองเห็นไปยังบุคคลที่แตกต่างกัน จำเป็นต้องมีข้อมูลของบุคคลที่ทำการติดตามเพียงพอ ไม่เช่นนั้นจะไม่สามารถทำการติดตามบุคคลที่เคลื่อนที่จากกล้องวิถีทัศนมิติหนึ่งไปยังกล้องวิถีทัศนมิติอีกตัวหนึ่งมีความผิดพลาดได้ เช่น ณ ลำดับภาพที่ 571 เมื่อบุคคลที่สวมเสื้อชุดสีฟ้าถูกตรวจจับได้บริเวณกระโปรงจากกล้องวิถีทัศนมิติตัวที่ 2 และถูกตรวจจับได้อีกครั้งที่บริเวณกระโปรงเช่นกันด้วยกล้องวิถีทัศนมิติตัวที่ 1 พบว่าผลลัพธ์ของการติดตามด้วยวิธีการที่นำเสนอสามารถให้ผลลัพธ์ที่ถูกต้อง เนื่องจากขณะที่บุคคลที่ 2 เคลื่อนที่อยู่ภายในมุมมองการรับภาพของกล้องวิถีทัศนมิติตัวที่ 2 ได้มีการเก็บสะสมข้อมูลสีของบุคคล ดังนั้นเมื่อบุคคลที่ 2 นี้เคลื่อนที่เข้าสู่มุมมองของกล้องวิถีทัศนมิติตัวที่ 1 ซึ่งมีสภาพแสงที่แตกต่างกันจึงสามารถทำการส่งต่อบุคคลจากกล้องวิถีทัศนมิติตัวที่ 2 ได้อย่างถูกต้อง เช่นเดียวกับผลลัพธ์การติดตามบุคคลที่ 2 ณ ลำดับภาพที่ 1608 บุคคลที่ 2 ถูกระบบการติดตามที่นำเสนอเก็บสะสมข้อมูลเพิ่มเติมบริเวณเสื้อคลุมแขนยาวสีส้มเข้าไปด้วย เมื่อบุคคลที่ 2 นี้ปรากฏตัวอีกครั้งที่กล้องวิถีทัศนมิติตัวที่ 3 ซึ่งถูกตรวจจับการเคลื่อนไหวได้บริเวณด้านหลัง จึงทำให้ระบบส่งต่อบุคคลดังกล่าวนี้ให้เป็นบุคคลที่ 2 เช่นเดียวกับเป็นบุคคลที่เคยปรากฏให้เห็นในกล้องวิถีทัศนมิติตัวที่ 2 และ 1 ตามลำดับ ซึ่งวิธีการอ้างอิงไม่สามารถทำการส่งต่อบุคคลได้อย่างถูกต้องเนื่องจากมีข้อมูลสีซึ่งเป็นตัวแทนของบุคคลไม่เพียงพอนั่นเอง

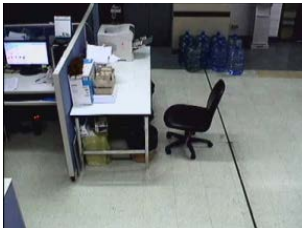

สำหรับกรณีสุดท้ายซึ่งเป็นกรณีที่ระบบการติดตามบุคคลได้รับผลกระทบจากเงื่อนไขของลักษณะบุคคลที่ปรากฏเมื่อมุมมองของกล้องวิถีทัศนมิติในระบบมีบางส่วนเหลื่อมกัน ประกอบด้วยสองบุคคล โดยบุคคลแรกสวมเสื้อสีเหลืองซึ่งเป็นสีเนื้อเดียวกันตลอดทั้งตัว และบุคคลที่สองสวมเสื้อชุดสีส้มพร้อมกับเสื้อคลุมแขนยาวสีเขียว ทั้งสองบุคคลเคลื่อนที่ผ่านกล้องวิถีทัศนมิติตัวที่ 3 ก่อน แล้วจึงปรากฏตัวให้เห็นในกล้องวิถีทัศนมิติตัวที่ 1 และ 2 ซึ่งมีมุมมองการรับภาพบางส่วนเหลื่อมกัน ดังแสดงด้วยทิศทางการเคลื่อนที่ของบุคคลและลักษณะการติดตั้งกล้องวิถีทัศนมิติที่ รูปที่ 4.1(ง) ผลลัพธ์ของการติดตามบุคคลกรณีนี้ให้ผลลัพธ์ที่คล้ายคลึงกับกรณีที่ได้รับผลกระทบจากเงื่อนไขของลักษณะบุคคลที่ปรากฏเมื่อมุมมองของกล้องวิถีทัศนมิติในระบบไม่เหลื่อมกัน เนื่องจากการเคลื่อนที่ของบุคคลที่เป็นอิสระส่งผลให้บุคคลปรากฏตัวให้กล้องวิถีทัศนมิติแต่ละตัวในระบบสังเกตเห็นได้ในมุมมองที่แตกต่างกัน หากระบบการติดตามมีข้อมูลของบุคคลที่ทำการติดตามเพียงพอก็จะทำให้การติดตามบุคคลอันเนื่องมาจากการส่งต่อบุคคลระหว่างกล้องวิถีทัศนมิติมีความถูกต้อง สำหรับกรณีนี้ซึ่งมุมมองการรับภาพของกล้องวิถีทัศนมิติบางส่วนที่เหลื่อมกัน ซึ่งทำให้

ระบบมีโอกาสในการเก็บสะสมข้อมูลที่เป็นตัวแทนของบุคคลมากขึ้น จึงทำให้โอกาสในการจับคู่บุคคลซึ่งเป็นบุคคลเดียวกันระหว่างกล้องวิดิทัศน์สูงขึ้นด้วย ยกตัวอย่างจากวิธีที่นำเสนอ ณ ลำดับภาพที่ 977 บุคคลสวมเสื้อชุดสีส้มพร้อมเสื้อคลุมแขนยาวสีเขียวเคลื่อนที่เข้ามายังมุมมองการรับภาพของกล้องวิดิทัศน์ตัวที่ 1 ซึ่งถูกระบุให้เป็นบุคคลที่ 5 แต่บุคคลดังกล่าวนี้เคยถูกติดตามได้จากกล้องวิดิทัศน์ตัวที่ 3 และถูกระบุให้เป็นบุคคลที่ 2 ณ ลำดับภาพที่ 89 มาก่อน การส่งต่อบุคคลจากกล้องวิดิทัศน์ที่ 3 สู่กล้องวิดิทัศน์ตัวที่ 1 นี้มีความผิดพลาดเนื่องจากที่กล้องวิดิทัศน์ตัวที่ 3 สามารถสะสมเก็บสะสมข้อมูลได้จากด้านหลังของบุคคลเท่านั้น กล่าวคือ มีเฉพาะข้อมูลสีเสื้อแขนยาวสีเขียว เมื่อบุคคลปรากฏให้เห็นด้านหน้าในมุมมองการรับภาพของกล้องวิดิทัศน์ตัวที่ 1 จึงไม่สามารถทำการส่งต่อบุคคลได้อย่างถูกต้อง แต่เมื่อพบว่ามิกกล้องวิดิทัศน์อีกหนึ่งตัวซึ่งเป็นกล้องวิดิทัศน์ตัวที่ 2 สามารถทำการติดตามบุคคลดังกล่าวนี้ได้ ณ ลำดับภาพที่ 1060 และสามารถส่งต่อบุคคลจากกล้องวิดิทัศน์ตัวที่ 3 สู่กล้องวิดิทัศน์ตัวที่ 2 ได้อย่างถูกต้องจากการจับคู่สีเสื้อแขนยาวสีเขียวได้เหมือนกัน ทำให้ระบบที่นำเสนอมีข้อมูลของบุคคลดังกล่าวนี้เป็นสีเสื้อแขนยาวสีเขียวที่สว่างกว่าเดิม ดังนั้นหากบุคคลดังกล่าวที่เคลื่อนที่อยู่ภายในมุมมองการรับภาพของกล้องวิดิทัศน์ตัวที่ 1 เคลื่อนที่ให้สังเกตเห็นสีเสื้อแขนยาวสีเขียวเป็นส่วนใหญ่ได้ การส่งต่อบุคคลระหว่างกล้องวิดิทัศน์ตัวที่ 2 สู่กล้องวิดิทัศน์ตัวที่ 1 ก็จะทำได้อย่างถูกต้อง ดังตัวอย่างภาพผลการติดตามบุคคล ณ ลำดับภาพที่ 1101 นั่นเอง บุคคลที่ 2 จึงถูกติดตามด้วยกล้องวิดิทัศน์ที่ 1 และ 2 ได้ โดยพบว่าที่กล้องวิดิทัศน์ตัวที่ 1 มีมุมมองการรับภาพที่ดีกว่า

จากตัวอย่างภาพผลลัพธ์ของการติดตามบุคคลด้วยวิธีการอ้างอิงจะเห็นได้ว่า เมื่อบุคคลเคลื่อนที่ไปยังบริเวณต่าง ๆ ซึ่งกระบวนการส่งต่อบุคคลระหว่างกล้องวิดิทัศน์อาศัยเพียงข้อมูลสีซึ่งเป็นข้อมูลแรกของการติดตามบุคคลในแต่ละกล้องวิดิทัศน์ ไม่สามารถนำมาใช้ในสถานการณ์ที่ลักษณะสีของบุคคลเปลี่ยนไป ทั้งจากลักษณะของบุคคลเอง เช่น การเคลื่อนที่ของบุคคลที่สวมเสื้อคลุมหรือสพายกระเป๋า และจากมุมมองของกล้องวิดิทัศน์แต่ละตัวที่แตกต่างกัน

ตารางที่ 4.9 ตัวอย่างภาพผลการติดตามบุคคลจากวิดีโอที่บันทึกไว้เมื่อมุมมองของกล้องวิดีโอในระบบไม่เหมือนกัน













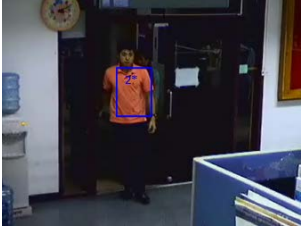


ลำดับภาพ	คำอธิบาย	วิธีการ	ตัวอย่างภาพจากกล้องวิดีโอ		
			1	2	3
1	มุมมองปกติ	นำเสนอ			
		อ้างอิง			
100	บุคคลที่ 1 ถูกติดตามด้วยกล้องวิดีโอตัวที่ 1	นำเสนอ			
		อ้างอิง			
415	บุคคลที่ 2 ถูกติดตามด้วยกล้องวิดีโอตัวที่ 2	นำเสนอ			
		อ้างอิง			

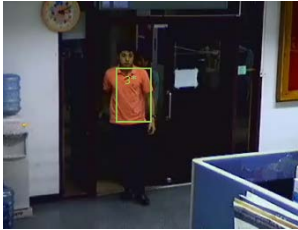
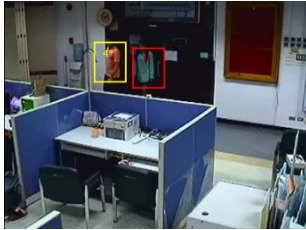

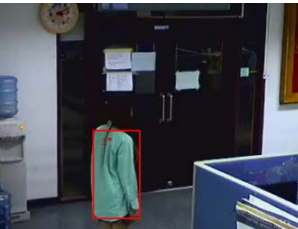
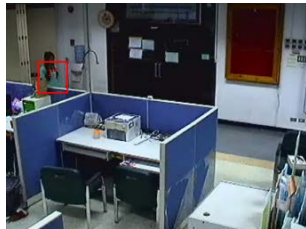

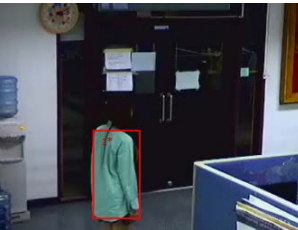


ลำดับภาพ	คำอธิบาย	วิธีการ	ตัวอย่างภาพจากกล้องวีดิทัศน์		
			1	2	3
628	บุคคลที่ 1 ถูกติดตามด้วยกล้องวีดิทัศน์ตัวที่ 2	นำเสนอ			
		อ้างอิง			

ตารางที่ 4.10 ผลลัพธ์ของการติดตามบุคคลจากวีดิทัศน์กรณีทั่วไปเมื่อมุมมองของกล้องวีดิทัศน์ในระบบไม่เหลื่อมกัน

ลำดับภาพ	ผลการติดตามจากกล้องวีดิทัศน์					
	1		2		3	
	นำเสนอ	อ้างอิง	นำเสนอ	อ้างอิง	นำเสนอ	อ้างอิง
98	1*	1*	-	-	-	-
119	1*	1*	-	-	-	-
120	-	-	-	-	-	-
400	-	-	2*	2*	-	-
430	-	-	2*	2*	-	-
622	-	-	1*	1*	-	-
636	-	-	1*	1*	-	-

ตารางที่ 4.11 ตัวอย่างภาพผลการติดตามบุคคลจากวีดิทัศน์กรณีทั่วไปเมื่อมุมมองของกล้องวีดิทัศน์ในระบบมีส่วนเหลื่อมกัน








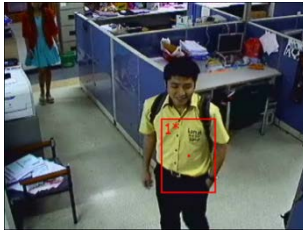


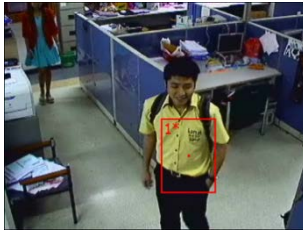







ลำดับภาพ	คำอธิบาย	วิธีการ	ตัวอย่างภาพจากกล้องวีดิทัศน์		
			1	2	3
1	มุมมองปกติ	นำเสนอ			
		อ้างอิง			
333	บุคคลที่ 1 และ 2 ถูกติดตามด้วยกล้องวีดิทัศน์ตัวที่ 3	นำเสนอ			
		อ้างอิง			
875	บุคคลที่ 1 ถูกติดตามด้วยกล้องวีดิทัศน์ตัวที่ 2 และบุคคลที่ 2 ถูกติดตามด้วยกล้องวีดิทัศน์ตัวที่ 1 และ 2 โดยกล้องวีดิทัศน์ตัวที่ 1 มีมุมมองต่อบุคคลที่ดีกว่า	นำเสนอ			






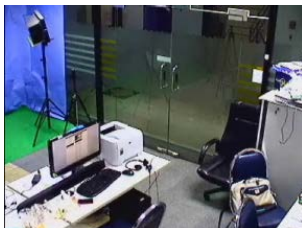


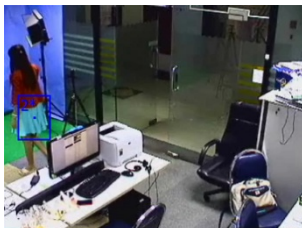
ลำดับภาพ	คำอธิบาย	วิธีการ	ตัวอย่างภาพจากกล้องวีดิทัศน์		
			1	2	3
875	บุคคลที่ 1 ถูกติดตามด้วยกล้องวีดิทัศน์ตัวที่ 2 และบุคคลที่ 3 ถูกติดตามด้วยกล้องวีดิทัศน์ตัวที่ 1 และ 2 โดยกล้องวีดิทัศน์ตัวที่ 1 มีมุมมองต่อบุคคลที่ดีกว่า	อ้างอิง			
1333	บุคคลที่ 1 ถูกติดตามด้วยกล้องวีดิทัศน์ตัวที่ 1 และ 2 โดยกล้องวีดิทัศน์ตัวที่ 1 มีมุมมองต่อบุคคลที่ดีกว่า	นำเสนอ			
1333	บุคคลที่ 1 ถูกติดตามด้วยกล้องวีดิทัศน์ตัวที่ 1 เท่านั้น	อ้างอิง			









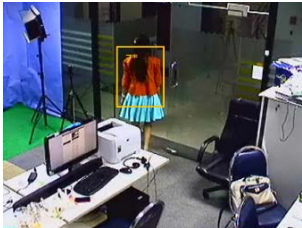
ตารางที่ 4.12 ผลลัพธ์ของการติดตามบุคคลจากวิถีทัศนักรณิทั่วไปเมื่อมุมมองของกล้องวิถีทัศนัในระบบมีส่วนเหลื่อมกัน

ลำดับภาพ	ผลการติดตามจากกล้องวิถีทัศนั					
	1		2		3	
	นำเสนอ	อ้างอิง	นำเสนอ	อ้างอิง	นำเสนอ	อ้างอิง
120	-	-	-	-	1*	1*
333	-	-	-	-	1*, 2*	1*, 2*
490	-	-	-	-	1*	1*
515	-	-	-	-	-	-
875	2*	3*	1*, 2	1*, 3	-	-
910	1*, 2*	1*, 3*	1, 2	1, 3	-	-
1013	1*, 2*	1*, 3*	1	1, 3	-	-
1210	1*	1*	1	1	-	-
1295	1*	1*	-	-	-	-
1333	1*	1*	1	-	-	-
1505	-	-	1*	-	-	-

ตารางที่ 4.13 ตัวอย่างภาพผลการติดตามบุคคลจากวีดิทัศน์กรณีที่ได้รับผลกระทบจากเงื่อนงำของลักษณะบุคคลที่ปรากฏ เมื่อมุมมองของกล้องวีดิทัศน์ในระบบไม่เหมือนกัน

ลำดับภาพ	คำอธิบาย	วิธีการ	ตัวอย่างภาพจากกล้องวีดิทัศน์		
			1	2	3
1	มุมมองปกติ	นำเสนอ			
		อ้างอิง			
169	บุคคลที่ 1 ถูกติดตามด้วยกล้องวีดิทัศน์ตัวที่ 2	นำเสนอ			
		อ้างอิง			
268	บุคคลที่ 2 ถูกติดตามด้วยกล้องวีดิทัศน์ตัวที่ 2	นำเสนอ			
		อ้างอิง			

ลำดับภาพ	คำอธิบาย	วิธีการ	ตัวอย่างภาพจากกล้องวีดิทัศน์		
			1	2	3
571	บุคคลที่ 2 และ 5 ถูกติดตามด้วยกล้องวีดิทัศน์ตัวที่ 1	นำเสนอ			
	บุคคลที่ 4 และ 5 ถูกติดตามด้วยกล้องวีดิทัศน์ตัวที่ 1	อ้างอิง			
1409	บุคคลที่ 2 ถูกติดตามด้วยกล้องวีดิทัศน์ตัวที่ 3	นำเสนอ			














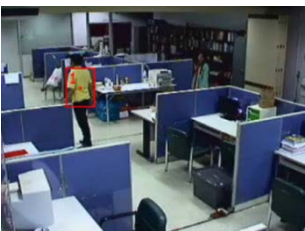

ลำดับภาพ	คำอธิบาย	วิธีการ	ตัวอย่างภาพจากกล้องวีดิทัศน์		
			1	2	3
1409	บุคคลที่ 6 ถูกติดตามด้วยกล้องวีดิทัศน์ตัวที่ 3	อ้างอิง			
1662	บุคคลที่ 2 ถูกติดตามด้วยกล้องวีดิทัศน์ตัวที่ 3	นำเสนอ			
	บุคคลที่ 7 ถูกติดตามด้วยกล้องวีดิทัศน์ตัวที่ 3	อ้างอิง			


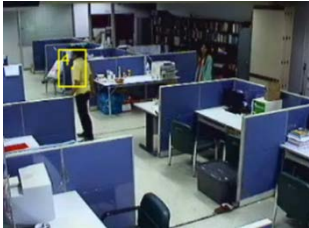







ตารางที่ 4.14 ผลลัพธ์ของการติดตามบุคคลจากวิถีทัศนักรณิที่ได้รับผลกระทบจากเงื่อนไปของลักษณะบุคคลที่ปรากฏ เมื่อมุมมองของกล้องวิถีทัศนัในระบบ ไม่เหลื่อมกัน


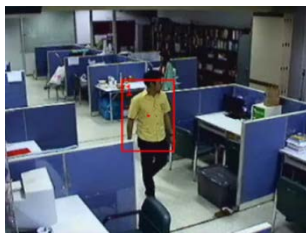


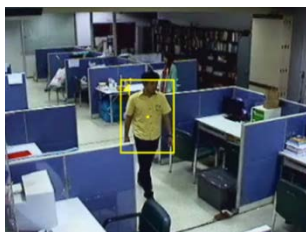


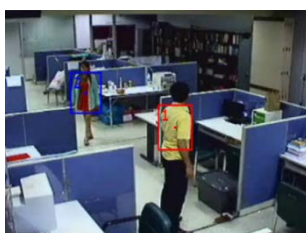

ลำดับภาพ	ผลการติดตามจากกล้องวิถีทัศนั					
	1		2		3	
	นำเสนอ	อ้างอิง	นำเสนอ	อ้างอิง	นำเสนอ	อ้างอิง
169	-	-	1*	1*	-	-
205	-	-	-	-	-	-
268	-	-	2*	2*	-	-
320	-	-	-	-	-	-
450	1*	1*	-	-	-	-
520	-	-	-	-	-	-
525	2*	4*	-	-	-	-
571	2*, 5*	4*, 5*	-	-	-	-
700	-	-	-	-	-	-
1409	-	-	-	-	2*	6*
1451	-	-	-	-	-	-

ลำดับภาพ	ผลการติดตามจากกล้องวิดีโอ					
	1		2		3	
	นำเสนอ	อ้างอิง	นำเสนอ	อ้างอิง	นำเสนอ	อ้างอิง
1608	-	-	-	-	2*	7*
1690	-	-	-	-	-	-
1877	-	-	-	-	8*	8*
2105	-	-	-	-	8*, 9*	8*, 9*
2140	-	-	-	-	5*, 8*	8*, 9*
2327	-	-	-	-	-	-
2425	-	-	-	-	1*	10*
2505	-	-	-	-	-	-

ตารางที่ 4.15 ตัวอย่างภาพผลการติดตามบุคคลจากวิดีโอที่บันทึกขณะที่ได้รับผลกระทบจากเงื่อนงำของลักษณะบุคคลที่ปรากฏ เมื่อมุมมองของกล้องวิดีโอในระบบมีส่วนเหลื่อมกัน

ลำดับภาพ	คำอธิบาย	วิธีการ	ตัวอย่างภาพจากกล้องวิดีโอ		
			1	2	3
1	มุมมองปกติ	นำเสนอ			
		อ้างอิง			
89	บุคคลที่ 1 และ 2 ถูกติดตามด้วยกล้องวิดีโอตัวที่ 3	นำเสนอ			
		อ้างอิง			
784	บุคคลที่ 1 ถูกติดตามด้วยกล้องวิดีโอตัวที่ 1 และ 2 โดยกล้องวิดีโอตัวที่ 1 มีมุมมองต่อบุคคลที่ 1 ที่ดีกว่า	นำเสนอ			

ลำดับภาพ	คำอธิบาย	วิธีการ	ตัวอย่างภาพจากกล้องวีดิทัศน์		
			1	2	3
784	บุคคลที่ 3 ถูกติดตามด้วยกล้องวีดิทัศน์ตัวที่ 1 และบุคคลที่ 4 ถูกติดตามด้วยกล้องวีดิทัศน์ตัวที่ 2	อ้างอิง			
977	บุคคลที่ 1 ถูกติดตามด้วยกล้องวีดิทัศน์ตัวที่ 1 และ 2 โดยกล้องวีดิทัศน์ตัวที่ 1 ยังคงมีมุมมองต่อบุคคลที่ 1 ที่ดีกว่า และบุคคลที่ 5 ถูกติดตามด้วยกล้องวีดิทัศน์ตัวที่ 1	นำเสนอ			
	บุคคลที่ 3 และ 5 ถูกติดตามด้วยกล้องวีดิทัศน์ตัวที่ 1 ส่วนบุคคลที่ 4 ยังคงถูกติดตามด้วยกล้องวีดิทัศน์ตัวที่ 2	อ้างอิง			

ลำดับภาพ	คำอธิบาย	วิธีการ	ตัวอย่างภาพจากกล้องวีดิทัศน์		
			1	2	3
1018	บุคคลที่ 5 ถูกติดตามด้วยกล้องวีดิทัศน์ตัวที่ 1 และบุคคลที่ 1 ถูกติดตามด้วยกล้องวีดิทัศน์ตัวที่ 2	นำเสนอ			
	บุคคลที่ 5 ถูกติดตามด้วยกล้องวีดิทัศน์ตัวที่ 1 และบุคคลที่ 4 ถูกติดตามด้วยกล้องวีดิทัศน์ตัวที่ 2	อ้างอิง			
1060	บุคคลที่ 5 ถูกติดตามด้วยกล้องวีดิทัศน์ตัวที่ 1 ส่วนบุคคลที่ 1 และ 2 ถูกติดตามด้วยกล้องวีดิทัศน์ตัวที่ 2	นำเสนอ			

ลำดับภาพ	คำอธิบาย	วิธีการ	ตัวอย่างภาพจากกล้องวีดิทัศน์		
			1	2	3
1060	บุคคลที่ 5 ยังคงถูกติดตามด้วยกล้องวีดิทัศน์ตัวที่ 1 ส่วนบุคคลที่ 4 และ 6 ถูกติดตามด้วยกล้องวีดิทัศน์ตัวที่ 2	อ้างอิง			
1101	บุคคลที่ 2 ถูกติดตามด้วยกล้องวีดิทัศน์ตัวที่ 1 และ 2 โดยที่กล้องวีดิทัศน์ตัวที่ 1 มีมุมมองที่ดีกว่า ส่วนบุคคลที่ 1 ยังคงถูกติดตามด้วยกล้องวีดิทัศน์ตัวที่ 2	นำเสนอ			
	บุคคลที่ 5 ยังคงถูกติดตามด้วยกล้องวีดิทัศน์ตัวที่ 1 ส่วนบุคคลที่ 4 และ 6 ถูกติดตามด้วยกล้องวีดิทัศน์ตัวที่ 2	อ้างอิง			

ตารางที่ 4.16 ผลลัพธ์ของการติดตามบุคคลจากวิถีทัศนักรณิที่ได้รับผลกระทบจากเงื่อนไปของลักษณะบุคคลที่ปรากฏ เมื่อมุมมองของกล้องวิถีทัศนัในระบบมีส่วนเชื่อมกัน

ลำดับภาพ	ผลการติดตามจากกล้องวิถีทัศนั					
	1		2		3	
	นำเสนอ	อ้างอิง	นำเสนอ	อ้างอิง	นำเสนอ	อ้างอิง
76	-	-	-	-	1*	1*
89	-	-	-	-	1*, 2*	1*, 2*
152	-	-	-	-	1*	1*
186	-	-	-	-	-	-
630	1*	3*	-	-	-	-
784	1*	3*	1	4*	-	-
977	1*, 5*	3*, 5*	1	4*	-	-
1018	5*	5*	1*	4*	-	-
1060	5*	5*	1*, 2*	4*, 6*	-	-
1069	5*	5*	1*, 2*	4*, 6*	-	-
1101	2*	5*	1*, 2*	4*, 6*	-	-
1192	-	5*	1*, 2*	4*, 6*	-	-

สำหรับผลการเปรียบเทียบในเชิงปริมาณสามารถหาได้จากการวัดประสิทธิภาพของระบบการติดตามจากการนับบุคคล วิธีการนี้จะให้ค่าความแม่นยำมากหากขั้นตอนการส่งต่อบุคคลระหว่างกล้องวิดีโอทัศนมีความรวดเร็วและถูกต้อง ซึ่งเป็นผลสืบเนื่องมาจากการติดตามบุคคลที่ถูกต้องนั่นเอง จากการวิธีการนับบุคคลดังที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 3.7 สามารถนำมานิยามตัวประเมินประสิทธิภาพจากลำดับภาพวิดีโอทัศนทั้งหมด โดยแต่ละลำดับภาพจะให้ผลลัพธ์ของตัวประเมินอย่างใดอย่างหนึ่งดังนี้

1. ความถูกต้องของการติดตามจากบุคคลที่มีอยู่จริง (True positive, *TP*) คือ จำนวนลำดับภาพที่สามารถนับบุคคลซึ่งปรากฏอยู่ได้อย่างถูกต้อง

2. ความผิดพลาดของการติดตามจากบุคคลที่ไม่ได้คาดหวัง (False positive, *FP*) คือ จำนวนลำดับภาพที่ผลลัพธ์ของการติดตามบุคคลผิดพลาดจากสัญญาณภาพรบกวน หรือ ถูกบดบังจากสิ่งกีดขวาง ทำให้ผลลัพธ์ของการติดตามคลาดเคลื่อนไป

3. ความผิดพลาดเมื่อไม่มีการติดตามบุคคล (False negative, *FN*) คือ จำนวนลำดับภาพที่มีบุคคลปรากฏอยู่ แต่ไม่มีผลลัพธ์ใด ๆ จากการติดตามเกิดขึ้น

จากนิยามของตัวประเมินประสิทธิภาพ สามารถนำมาคำนวณหาตัวชี้วัดประสิทธิภาพของระบบการติดตามวัตถุได้ดังนี้

1. ความแม่นยำในการติดตามวัตถุของระบบ (Precision) ตัวชี้วัดนี้แสดงถึงความสามารถของระบบการติดตามบุคคลที่สามารถทำงานได้อย่างถูกต้อง จากสัญญาณรบกวนและสิ่งกีดขวาง จึงอยู่ในรูปของอัตราส่วนระหว่างจำนวนผลลัพธ์จากการติดตามบุคคลที่ถูกต้องกับผลรวมของผลลัพธ์ของการติดตามที่ปรากฏทั้งหมดซึ่งคำนวณได้จากสมการที่ (4.1)

$$Precision = \frac{TP}{TP + FP} \quad (4.1)$$

2. ค่าเรียกกลับ (Recall) เป็นตัวชี้วัดที่แสดงถึงความสามารถในการทำงานที่ถูกต้องของระบบการติดตามที่สามารถติดตามบุคคลซึ่งปรากฏอยู่ได้จริง ดังนั้นค่าเรียกกลับนี้จึงเป็นอัตราส่วนของจำนวนผลลัพธ์จากการติดตามบุคคลที่ถูกต้องกับผลรวมของการติดตามบุคคลที่ควรทำการติดตามได้ดังสมการที่ (4.2)

$$Recall = \frac{TP}{TP + FN} \quad (4.2)$$

ตารางที่ 4.17 ผลการวัดประสิทธิภาพของระบบการติดตาม

กรณีวิดิทัศน์	วิธีการ	ค่าความแม่นยำ	ค่าเรียกกลับ
1. วิดิทัศน์ระแวงระวังทั่วไป เมื่อมุมมองของกล้องวิดิทัศน์ในระบบไม่เหลื่อมกัน	นำเสนอ	0.95	0.98
	อ้างอิง	0.95	0.98
2. วิดิทัศน์ระแวงระวังทั่วไป เมื่อมุมมองของกล้องวิดิทัศน์ในระบบมีส่วนเหลื่อมกัน	นำเสนอ	0.96	0.98
	อ้างอิง	0.96	0.98
3. วิดิทัศน์ระแวงระวังที่ได้รับผลกระทบจากเงื่อน ไขของลักษณะบุคคลที่ปรากฏ เมื่อมุมมองของกล้องวิดิทัศน์ในระบบไม่เหลื่อมกัน	นำเสนอ	0.87	0.82
	อ้างอิง	0.51	0.40
4. วิดิทัศน์ระแวงระวังที่ได้รับผลกระทบจากเงื่อน ไขของลักษณะบุคคลที่ปรากฏ เมื่อมุมมองของกล้องวิดิทัศน์ในระบบมีส่วนเหลื่อมกัน	นำเสนอ	0.95	0.98
	อ้างอิง	0.43	0.69

จากผลการนับบุคคลของวิธีการที่นำเสนอและวิธีอ้างอิง [20] ในกรณีทั่วไปทั้งมุมมองของกล้องวิดิทัศน์ที่ไม่เหลื่อมกันและมีส่วนเหลื่อมกันจะให้ค่าความแม่นยำที่สูง เนื่องจากระบบการติดตามสามารถใช้เพียงลักษณะบุคคลเพียงลักษณะเดียวก็สามารถทำการจับคู่และทำการติดตามต่อไปได้อย่างถูกต้อง อัตราความผิดพลาดที่เกิดขึ้นเล็กน้อยเนื่องจากขั้นตอนการจับคู่ที่

จำเป็นต้องใช้ระยะเวลาการประมวลผล แต่สำหรับสถานการณ์ที่บุคคลซึ่งอยู่ในอาคารซึ่งอาจมีลักษณะต่าง ๆ ติดตัว เช่น กระจ่างใสหลัง กระจ่างใสข้าง รวมถึงการสวมใส่เสื้อคลุมแขนยาว และแม้กระทั่งเสื้อผ้าที่แต่ละด้านมีสีไม่เหมือนกัน ปัจจัยเหล่านี้ล้วนทำให้ขั้นตอนการจับคู่วัตถุเกิดความผิดพลาด ผลการวัดประสิทธิภาพของระบบการติดตามชี้ให้เห็นว่าสามารถแก้ปัญหาดังกล่าวได้ แต่ก็ยังคงต้องการระยะเวลาการประมวลผลที่เกิดจากขั้นตอนการค้นหาลักษณะของบุคคลที่เหมือนกัน ซึ่งเป็นสาเหตุของอัตราความผิดพลาดที่เกิดขึ้น

4.3 ผลการควบคุมการถ่ายและกัมเมยของกล้องวิดิทัศน์แบบ PTZ จากวิธีการที่นำเสนอ




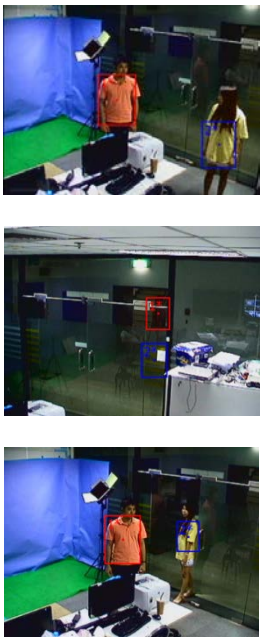
หัวข้อนี้เป็นการกำหนดให้กล้องวิดิทัศน์แบบ PTZ ทำการเคลื่อนที่ตามหนึ่งบุคคลด้วยการถ่ายและกัมเมยโดยใช้เทคนิคของการติดตามบุคคลที่นำเสนอ บุคคลที่จะถูกกล้องวิดิทัศน์ทำการเคลื่อนที่ตามนี้จะถูกเรียกว่าเป็นบุคคลที่สนใจจากการคัดเลือกด้วยมือ โดยจะแสดงผลลัพธ์ของการติดตามบุคคลด้วยการเคลื่อนที่ของกล้องวิดิทัศน์จากภาพตัวอย่าง 2 สถานการณ์ คือ เมื่อต้องการติดตามบุคคลที่สนใจท่ามกลางการติดตามบุคคลอื่น และเมื่อต้องการติดตามบุคคลที่สนใจจากการทำงานร่วมกันระหว่างกล้องวิดิทัศน์ด้วยการเลือกกล้องวิดิทัศน์ที่มีมุมมองต่อบุคคลที่สนใจดีที่สุด ซึ่งเป็นการต่อยอดจากวิธีการอ้างอิง [20] ในการใช้ผลลัพธ์ที่ได้จากการคัดเลือกกล้องวิดิทัศน์ที่มีมุมมองต่อบุคคลที่ดีที่สุด กำหนดให้เป็นกล้องวิดิทัศน์ที่ใช้เคลื่อนที่ตามบุคคลที่สนใจ ทั้งนี้เพื่อให้บุคคลที่สนใจอยู่บริเวณกึ่งกลางภาพเสมอ จะพบปัญหาที่เกิดขึ้นกับการแสดงผลวิดิทัศน์ที่อาศัยข้อมูลพิกัดภาพเป็นพื้นฐาน กล่าวคือ เมื่อจุดศูนย์กลางของบุคคลที่สนใจไม่ได้อยู่กึ่งกลางของภาพที่ได้จากกล้องวิดิทัศน์ จะทำให้กล้องวิดิทัศน์ดังกล่าวเคลื่อนที่ด้วยการถ่าย และกัมเมย เพื่อให้บุคคลที่สนใจอยู่บริเวณกึ่งกลางภาพก่อนที่จะแสดงผลวิดิทัศน์อีกครั้ง ส่งผลให้การประมวลผลภาพวิดิทัศน์ที่อาศัยข้อมูลพิกัดของภาพเป็นหลัก เช่น ตำแหน่งของกรอบการติดตามบุคคล และการตรวจจับบุคคลที่เคลื่อนไหวขณะที่กล้องวิดิทัศน์กำลังเคลื่อนที่นั้นทำงานผิดพลาดได้ ลักษณะการเคลื่อนที่ของกล้องวิดิทัศน์จึงถูกกำหนดไว้ด้วยเงื่อนไขต่าง ๆ เช่น การเคลื่อนที่ภายในขอบเขตการเปลี่ยนมุมมองกล้องวิดิทัศน์ การยกเลิกการตรวจจับบุคคลขณะกล้องวิดิทัศน์เคลื่อนที่ และการกำหนดขอบเขตการคำนวณการติดตามบุคคลภายหลังการเคลื่อนที่ของกล้องวิดิทัศน์ ซึ่งได้กล่าวไว้แล้วใน

หัวข้อที่ 3.5 สำหรับตัวอย่างภาพจากทั้ง 2 สถานการณ์แสดงดังตารางที่ 4.18 และตารางที่ 4.19 ตามลำดับ








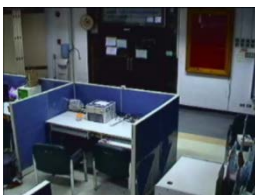







จากสถานการณ์การติดตามบุคคลที่สนใจท่ามกลางการติดตามบุคคลอื่น ภายหลังจากตรวจจับบุคคลจากการเคลื่อนที่และทำการติดตามบุคคลดังกล่าวแล้ว จะทำการกำหนดให้บุคคลดังกล่าวเป็นบุคคลที่สนใจการคัดเลือกบุคคลด้วยมือ โดยสถานการณ์ดังกล่าวสมมติให้บุคคลที่ 1 ลักลอบนำสิ่งของที่วางบนโต๊ะออกไป ผู้ดูแลระบบประเวระระวังจึงทำการกำหนดให้บุคคลที่ 1 นี้เป็นบุคคลที่สนใจ จากนั้นกล้องวิดิทัศน์ในระบบทั้งหมดที่สามารถมองเห็นบุคคลที่ 1 จะทำการเคลื่อนที่ด้วยการส่ายและก้มเงยตามบุคคลดังกล่าวทันที จากตัวอย่างภาพผลลัพธ์การติดตามตามตารางที่ 4.18 พบว่ามีเพียงกล้องวิดิทัศน์ตัวที่ 3 เท่านั้นที่มีบุคคลที่สนใจอยู่ในมุมมองการรับภาพกล้องวิดิทัศน์ตัวที่ 3 จึงถูกกำหนดให้เคลื่อนที่ตามบุคคลที่สนใจ ขณะเดียวกันระบบการติดตามที่นำเสนอก็สามารถทำการติดตามบุคคลอื่นได้เช่นเดียวกัน

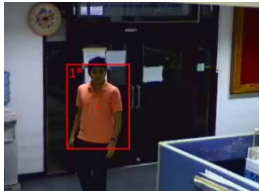





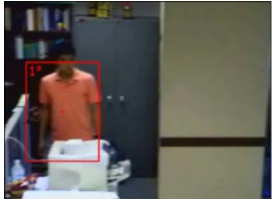


สำหรับสถานการณ์ที่ต้องการติดตามบุคคลที่สนใจจากการทำงานร่วมกันระหว่างกล้องวิดิทัศน์ เมื่อระบบการติดตามที่นำเสนอมีบุคคลที่สนใจซึ่งกล้องวิดิทัศน์ทุกตัวจะต้องทำการเคลื่อนที่ตามแล้ว หากพบว่าบุคคลดังกล่าวปรากฏให้อยู่ในมุมมองการรับภาพของกล้องวิดิทัศน์มากกว่าหนึ่งตัว ก็จะทำการคัดเลือกกล้องวิดิทัศน์ที่มีมุมมองต่อบุคคลที่สนใจที่ดีที่สุด ผลลัพธ์จากการคัดเลือกจะทำให้ได้รับกล้องวิดิทัศน์ที่มีความเหมาะสมในการเคลื่อนที่ตามบุคคลที่สนใจต่อไป ดังตารางที่ 4.19 บุคคลที่ 1 ถูกกำหนดให้เป็นบุคคลที่สนใจที่กล้องวิดิทัศน์ตัวที่ 3 จากนั้นกล้องวิดิทัศน์ตัวที่ 3 จึงทำการเคลื่อนที่ตามบุคคลที่สนใจดังกล่าวด้วยการส่ายและก้มเงย และเมื่อพบว่าบุคคลที่สนใจปรากฏอยู่ในมุมมองการรับภาพของกล้องวิดิทัศน์ตัวที่ 1 และ 2 จึงทำการคัดเลือกกล้องวิดิทัศน์ที่มีมุมมองที่ดีที่สุดซึ่งพบว่าเป็นกล้องวิดิทัศน์ตัวที่ 1 ระบบจึงให้กล้องวิดิทัศน์ตัวที่ 1 ทำการเคลื่อนที่ตามบุคคลที่สนใจตัวอย่างอัตโนมัติ

ตารางที่ 4.18 ตัวอย่างภาพผลลัพธ์การติดตามจากสถานการณ์ที่กล้องวิดิทัศน์ทำการเคลื่อนที่ตามบุคคลที่สนใจท่ามกลางการติดตามบุคคลอื่น

คำอธิบาย	ตัวอย่างภาพผลลัพธ์การติดตามจากกล้องวิดิทัศน์
	3
มุมมองปกติ	
บุคคลที่ 1 ถูกติดตามภายในมุมมองการรับภาพของกล้องวิดิทัศน์ตัวที่ 3	
กำหนดให้บุคคลที่ 1 เป็นบุคคลที่สนใจ และกล้องวิดิทัศน์ตัวที่ 3 เริ่มทำการเคลื่อนที่ตามบุคคลที่ 1	
บุคคลที่ 1 และ 2 ถูกติดตามภายในมุมมองการรับภาพของกล้องวิดิทัศน์ตัวที่ 3 ขณะที่กล้องวิดิทัศน์กำลังเคลื่อนที่ตามบุคคลที่ 1	

ตารางที่ 4.19 ตัวอย่างภาพผลลัพธ์การติดตามจากสถานการณ์ที่ต้องการติดตามบุคคลที่สนใจจากการทำงานร่วมกันระหว่างกล้องวิดีโอ

คำอธิบาย	ตัวอย่างภาพจากกล้องวิดีโอ		
	1	2	3
มุมมองปกติ			
บุคคลที่ 1 ถูกติดตามภายในมุมมองการรับภาพของกล้องวิดีโอตัวที่ 3			
กำหนดให้บุคคลที่ 1 เป็นบุคคลที่สนใจ กล้องวิดีโอตัวที่ 3 เริ่มทำการเคลื่อนที่ตามบุคคลที่ 1			
กล้องวิดีโอตัวที่ 3 ทำการเคลื่อนที่ตามบุคคลที่ 1			
บุคคลที่ 1 ถูกติดตามภายในมุมมองการรับภาพของกล้องวิดีโอตัวที่ 1 และ 2			

คำอธิบาย	ตัวอย่างภาพจากกล้องวิดิทัศน์		
	1	2	3
กล้องวิดิทัศน์ตัวที่ 1 ได้รับการคัดเลือกให้เคลื่อนที่ตามบุคคลที่ 1			
กล้องวิดิทัศน์ตัวที่ 1 ทำการเคลื่อนที่ตามบุคคลที่ 1			
กล้องวิดิทัศน์ตัวที่ 1 ทำการเคลื่อนที่ตามบุคคลที่ 1 และบุคคลที่ 2 ถูกติดตามด้วยกล้องวิดิทัศน์ตัวที่ 2			

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย

5.1 สรุปผลการวิจัย

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอระบบการติดตามบุคคลด้วยการทำงานร่วมกันระหว่างกล้องวิดีโอแบบ PTZ จำนวน 3 ตัว สิ่งที่วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้ความสนใจแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ การสร้างแบบจำลองลักษณะบุคคล การส่งต่อบุคคลระหว่างกล้องวิดีโอในระบบ และการควบคุมกล้องวิดีโอเพื่อเคลื่อนที่ตามบุคคลที่สนใจ

สรุปผลการวิจัยเกี่ยวกับการสร้างแบบจำลองลักษณะบุคคล แบบจำลองนี้ถูกสร้างขึ้นเพื่อใช้ในการลดผลกระทบที่เกิดจากมุมมองของกล้องวิดีโอที่เป็นอิสระจากบุคคลที่ติดตาม ข้อมูลสีของบุคคลขณะทำการติดตามจะถูกเก็บสะสมเพื่อเก็บไว้ใช้ในขั้นตอนการส่งต่อบุคคลระหว่างกล้องวิดีโอ ปริมาณข้อมูลที่เก็บสะสมแปรผันตรงกับประสิทธิภาพด้านความแม่นยำในการติดตาม แต่ต้องแลกกับระยะเวลาการประมวลผลวิดีโอที่มากขึ้น

สรุปผลการวิจัยเกี่ยวกับการส่งต่อบุคคลระหว่างกล้องวิดีโอในระบบ จากข้อมูลที่เป็นตัวแทนของบุคคลซึ่งถูกเก็บสะสมไว้ทำให้ประสิทธิภาพในการส่งต่อบุคคลระหว่างกล้องวิดีโอในระบบอย่างอัตโนมัติมีความถูกต้องมากขึ้น ผลการทดลองชี้ให้เห็นว่าสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้กับระบบการติดตามบุคคลด้วยกล้องวิดีโอแบบ PTZ หลายตัว ที่ให้ความสนใจกับมุมมองที่ดีที่สุดของกล้องวิดีโอในระบบที่มีต่อแต่ละบุคคลขณะทำการติดตาม

สรุปผลการวิจัยเกี่ยวกับการควบคุมกล้องวิดีโอเพื่อเคลื่อนที่ตามบุคคลที่สนใจในเวลาจริง เมื่อบุคคลที่ถูกติดตามถูกเลือกให้เป็นบุคคลที่อยู่ในความสนใจ กล้องวิดีโอที่มีมุมมองต่อบุคคลที่สนใจที่ดีที่สุดในระบบจะทำการเคลื่อนที่ตามบุคคลที่สนใจดังกล่าวด้วยการส่ายและก้มเงยอย่าง

อัตโนมัติ และสามารถทำการเคลื่อนที่ตามบุคคลที่สนใจได้แม้ว่าจะมีบุคคลอื่นถูกติดตามอยู่ในขณะนั้นด้วย

5.2 ข้อเสนอแนะ

ในการสร้างแบบจำลองลักษณะของบุคคล สามารถนำเทคนิคด้านการตรวจสอบความเหมือนของข้อมูลมาใช้คัดกรองได้อีก ทั้งนี้ก็เพื่อลดระยะเวลาการค้นหาสำหรับการส่งต่อบุคคลระหว่างกล้องวิดิทัศน์

เนื่องจากวิทยานิพนธ์นี้ทำการประมวลผลภาพวิดิทัศน์ที่ได้จากกล้องวิดิทัศน์ทุกตัวแบบรวมศูนย์ (Centralized video processing) ซึ่งจำเป็นต้องใช้ทรัพยากรคอมพิวเตอร์ในการประมวลผลสูงสำหรับการติดตามบุคคลในแต่ละกล้องวิดิทัศน์ และกระบวนการจับคู่เพื่อส่งต่อบุคคลระหว่างกล้องวิดิทัศน์ รูปแบบการประมวลผลวิดิทัศน์แบบแยกศูนย์ (Decentralized video processing) หรือแบบกระจาย (Distributed network) จึงอาจมีความเหมาะสมมากกว่า

รายการอ้างอิง

- [1] S.Lim, A.Elgammal, and S.Davis. Image-Based Pan-Tilt Camera Control in a Multi- Camera Surveillance Environment. Proceedings of the IEEE International Conference on Multimedia & Expo. (July 2003) : 645-648.
- [2] S.Lim, A.Elgammal, and S.Davis. A Scalable Image-Based Multi-Camera Visual Surveillance System. Proceedings of the IEEE Conference on Advanced Video and Signal Based Surveillance. (July 2003) : 205-212.
- [3] Y. Lu, and S. Payandeh. Cooperative hybrid multi-camera tracking for people surveillance. Canadian Journal of Electrical and Computer Engineering. (2008) : 145-152.
- [4] S. Khan, and M. Shah. Consistent Labeling of Tracked Objects in Multiple Cameras with Overlapping. Pattern Analysis and Machine Intelligence. (2003) : 1355-1360.
- [5] H.-C. Liao, and W.-Y. Chen. A dual-PTZ-camera system for visual tracking of a moving target in an open area. 11th International Conference on Advanced Communication Technology. (February 2009) : 440.
- [6] H.Hongo, M.Ohya, M.Yasumoto, Y.Niwa, and K.Yamamoto. Focus of Attention for Face and Hand Gesture Recognition using Multiple Cameras. Proceedings of the IEEE International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition. (March 2000) : 156-161.
- [7] P.Amnuaykanchanasin, S.Aramvith, and T.H.Chalidabhongse. Real-Time Face Identification using Two Cooperative Active Cameras. The 9th International Conference on Control, Automation, Robotics and Vision, 2006. (December 2006) : 1-6.

- [8] N.Soontranon, S.Aramvith, and T.H.Chalidabhongse. Face and Hand Localization and Tracking for Sign Language Recognition. International Symposium on Communication and Information Technologies (ISCIT'04). (October 2004) : 1246 - 1251.
- [9] N. Bumrungrat, S. Aramvith, and T. H. Chalidabhongse. Continuous Person Tracking across Multiple Active Cameras using Shape and Color Cues. Proceedings of the International Workshop on Advanced Image Technology. (2009).
- [10] K.Fukunaga, and L.Hosteler. The estimation of the gradient of a density function, with applications in pattern recognition. IEEE Transactions on Information Theory (January 1975) : 32-40.
- [11] G. R. Bradski. Computer vision face tracking as a component of a perceptual user interface. Proceeding of The IEEE Workshop on Applications of Computer Vision. (October 1998) : 214–219.
- [12] Z.Wen, and Z.Cai. Mean Shift algorithm and its Application in Tracking of Objects. Proceeding of The 5th International Conference on Machine Learning and Cybernetics. (August 2005).
- [13] G. R. Bradski, and S. Clara. Computer vision face tracking for use in a perceptual user interface. Intel Technology Journal. (1998).
- [14] F. Porikli, and A. Divakaran. Multi-Camera Calibration, Object Tracking and Query Generation. Multimedia and Expo. (2003).
- [15] O. Javed, Z. Rasheed, O. Alatas, and M. Shah. A real time surveillance system for multiple overlapping and non-overlapping cameras. Proceedings International Conference on Multimedia and Expo. (July 2003).

- [16] L. Zhu, J. Hwang, and H.Y. Cheng. Tracking of Multiple Objects Across Multiple Cameras with Overlapping and Non-Overlapping Views. IEEE International Symposium on Circuits and Systems. (May 2009).
- [17] I.-H. Chen, and S. J. Wang. Efficient Vision-based Calibration for Visual Surveillance Systems with Multiple PTZ Cameras. IEEE International Conference on Computer Vision Systems. (2006).
- [18] H. Li, and C. Shen. An LMI Approach for Reliable PTZ Camera Self-Calibration. IEEE International Conference on Advanced Video and Signal Based Surveillance. (November 2007).
- [19] I. Everts, N. Sebe, and G. A. Jones. Cooperative Object Tracking with Multiple PTZ Cameras. The 14th International Conference on Image Analysis and Processing. (September 2007).
- [20] Y. Li, and B. Bhanu. Utility-Based Camera Assignment in a Video Network: A Game Theoretic Framework. IEEE Sensors Journal. (March 2011) : 676-687.
- [21] Y. Cheng. Mean shift, mode seeking, and clustering. IEEE Transaction on Pattern Analysis, Machine Intelligence. (August 1995).

ภาคผนวก

ดัชนีคำศัพท์

Algorithm	ขั้นตอนวิธี
Background subtraction	การลบฉากหลัง
Bhattacharyya coefficient	สัมประสิทธิ์ Bhattacharyya
Bhattacharyya distance	ระยะ Bhattacharyya
Camera	กล้องวิดีโอ
Camera assignment	การกำหนดกล้องวิดีโอ
Camera control	การควบคุมกล้องวิดีโอ
Camera handoff	การส่งต่อวัตถุจากกล้องวิดีโอผู้กล้องวิดีโอ
Camera model	แบบจำลองกล้องวิดีโอ
Camera motion	การเคลื่อนที่ของกล้องวิดีโอ
Color bin	ถังสี
Computer vision	คอมพิวเตอร์วิทัศน์
Cropping	การตัดส่วนภาพ
Detection	การตรวจจับ
Dimension	มิติ
False Negative	ความผิดพลาดแบบลบ
False Positive	ความผิดพลาดแบบบวก
Feature	ลักษณะเด่น
Field of view	มุมมองการรับภาพ
Fixed view camera	กล้องวิดีโอแบบตรึงมุมมอง
Foreground	ฉากหน้า
Focal length	ความยาวโฟกัส
Frame Differencing	ผลต่างระหว่างลำดับภาพ

Frame rate	อัตราลําคับภาพ
Game theory	ทฤษฎีเกม
Ground Truth	ผลถูกต้องพื้นฐาน
Histogram	ฮิสโทแกรม
HSL color space	ปริภูมิสี HSL
Indoor	ภายในอาคาร
Intelligent surveillance system	ระบบระแวงระวังอัจฉริยะ
Monitor	เฝ้าสังเกต
Motion detection	การตรวจหาการเคลื่อนที่
Normalization	การทำให้เป็นบรรทัดฐาน
Pan-Tilt-Zoom camera	กล้องวิดีโอแบบ PTZ
Pan	การส่าย (ซ้ายหรือขวา)
Performance Evaluation	การประเมินค่าประสิทธิภาพ
Pixel	จุดภาพ
Precision	ความเที่ยง
Proposed algorithm	ขั้นตอนวิธีที่นำเสนอ
Recall	การเรียกกลับ
Real time	เวลาจริง
RGB color space	ปริภูมิสี RGB
Similarity	ความคล้าย
Spatial	เชิงพื้นที่
Surveillance	ระแวงระวัง
Threshold	ค่าขีดเริ่มเปลี่ยน
Tilt	การก้มเงย
Tracking	การติดตาม

True negative	ความถูกต้องแบบลบ
True positive	ความถูกต้องแบบบวก
Utility function	ฟังก์ชันอรรถประโยชน์

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายอดิศร ผาสุขมุล เกิดเมื่อวันที่ 18 เมษายน พ.ศ. 2530 สำเร็จการศึกษาหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ในปีการศึกษา 2541 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สังกัดห้องปฏิบัติการกรรมวิธีสัญญาณดิจิทัล ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2552 มีบทความทางวิชาการที่ได้รับการเผยแพร่ดังนี้

1. อดิศร ผาสุขมุล, สุภาวดี อร่ามวิทย์, ธนารัตน์ ชลิดาพงศ์ และศุภกร สิทธิไชย. การวิเคราะห์ขั้นตอนการติดตามวัตถุด้วยวิธีการย้ายตามค่าเฉลี่ยแบบปรับตัวได้อย่างต่อเนื่อง. ประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 35. (2555) : 865-868.
2. A. Pasukmoon, S. Aramvith, T. H. Chalidabhongse, and S. Siddhichai. Target Modeling for Tracking and Handoff in a Camera Network. The 7th International Conference on Ubiquitous Information Management and Communication. (2013).
3. A. Pasukmoon, S. Aramvith, T. H. Chalidabhongse, and S. Siddhichai. Improved CAMShift Tracking Algorithm for View-dependent Appearance problem. The International Symposium on Multimedia and Communication Technology. (2013).

เคยได้รับรางวัลและทุนการศึกษาที่สำคัญดังนี้

1. Certificate for Outstanding Student in Thailand Rescue Robot Championship 2005. Srinakharinwirot University. (2005).
2. Certificate for Outstanding Student in Extracurricular Activities for University and Society. Srinakharinwirot University. (2006).
3. Scholarship for Academic Excellence Student. Faculty of Engineering, Srinakharinwirot University. (2007).
4. Scholarship for financial support. Thailand Graduate Institute of Science and Technology. (2010).