

ระบบตรวจจับภาพคนเดินถนนด้วยเฟสสมมาตรมิติสี่ร่วม

นายจักรวาล จันทา

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ปีการศึกษา 2550

**A PEDESTRIAN DETECTION SYSTEM USING
CO-COLOR SYMMETRY PHASES**

Jakrawut Janta

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the

Degree of Master of Engineering in Electrical Engineering

Suranaree University of Technology

Academic Year 2007

ระบบตรวจจับภาพคนเดินถนนด้วยเฟสสมมาตรมิติสี่ร่วม

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาโทบริหารธุรกิจ

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

(รศ. ดร.กิตติ อรรถกิจมงคล)

ประธานกรรมการ

(ผศ. ดร.อาทิตย์ ศรีแก้ว)

กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)

(ผศ. ร.อ. ดร.ประโยชน์ คำสวัสดิ์)

กรรมการ

(ศ. ดร.ไพโรจน์ สัตยธรรม)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ

(รศ. น.อ. ดร.วรพจน์ จำพิศ)

คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

จักรวาล จันทา : ระบบตรวจจับภาพคนเดินถนนด้วยเฟสสมมาตรมิติสีร่วม
(A PEDESTRIAN DETECTION SYSTEM USING CO-COLOR SYMMETRY
PHASES) อาจารย์ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อาทิตย์ ศรีแก้ว, 152 หน้า

อุบัติเหตุทางจราจรทำให้เกิดความเสียหายทั้งชีวิตและทรัพย์สิน จึงได้มีการวิจัยระบบตรวจจับภาพคนเดินถนนเพื่อช่วยรักษาความปลอดภัยของทั้งผู้ขับขี่รถยนต์และคนเดินถนน การตรวจจับภาพคนเดินถนนออกจากภาพบริเวณถนน เพื่อระบุขนาดและตำแหน่งของภาพคนเดินถนนเป็นส่วนหนึ่งของระบบเสริมช่วยในการขับขี่รถยนต์ และระบบรถยนต์ขับเคลื่อนอัตโนมัติ โดยนำภาพจากกล้องถ่ายภาพดิจิทัลไปประมวลผลด้วยคอมพิวเตอร์วิทัศน์ (computer vision) ในงานวิจัยนี้เสนอแนวทางวิธีการเฟสสมมาตรสี (asymmetry and color symmetry phases) และเฟสสมมาตรสี (color symmetry phases) จากตัวกรองกาบอร์แบบลอการิทึม (log-Gabor filter) เพื่อดึงลักษณะเด่นของภาพคนเดินถนนซึ่งประกอบด้วยการดึงลักษณะเด่นทางเส้น (line feature extraction) และการดึงลักษณะเด่นทางสี (color feature extraction) ของภาพคนเดินถนน รวมถึงใช้เครื่องเวกเตอร์เกื้อหนุน (support vector machines) ที่ผ่านการฝึกสอนสามารถรู้จำและคัดแยกภาพที่ผ่านการดึงลักษณะเด่นตามสัดส่วนขนาดของคนได้ว่าเป็นภาพคนเดินถนนหรือไม่ จากผลการทดสอบพบว่าระบบเฟสสมมาตรมิติสีร่วม (co-color symmetry phases) ตามแนวทางวิธีการเฟสสมมาตรสีมีประสิทธิภาพในการตรวจจับภาพคนเดินถนนสูงเพียงพอในการนำไปใช้พัฒนาระบบจริงได้ สามารถตรวจจับภาพคนเดินถนนที่มีเครื่องแต่งกาย ขนาด รูปร่าง และท่าทางแตกต่างกันในสภาพที่มีภาพพื้นหลังซับซ้อนได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยสามารถตรวจจับได้อย่างถูกต้องแม่นยำด้วยอัตราสูงสุดถึง 96 เปอร์เซ็นต์

JAKRAWUT JANTA : A PEDESTRIAN DETECTION SYSTEM USING
CO-COLOR SYMMETRY PHASES. THESIS ADVISOR :
ASST. PROF. ARTHIT SRIKAEW, Ph.D., 152 PP.

PEDESTRIAN FEATURE EXTRACTION/ PEDESTRIAN CLASSIFICATION/
LOG-GABOR FILTER/ SYMMETRY PHASE/ SUPPORT VECTOR MACHINES.

This thesis presents a novel pedestrian detection system using co-color symmetry phases. Pedestrian detection is one of the most important research contents of road safety. The crucial idea behind such pedestrian safety systems is to protect the driver and pedestrian from any accident. In this work, a pedestrian feature extraction based on asymmetry and color symmetry phases (ACSP) and color symmetry phases (CSP) systems are presented. By examining asymmetry and symmetry phases in multiple color spaces, the segmentation of co-color symmetry phases (CCSP) in CSP results are significantly improved which allows better classification and recognition of pedestrian to be obtained. The proposed system is capable of detecting multiple pedestrians from complex background and providing size and position information of pedestrians within the image. Pedestrians with different sizes, shapes, postures, and clothes can be detected effectively. These allow the system to sufficiently achieve a desirable performance up to 96% of accuracy for using in the variety of real applications.

School of Electrical Engineering

Academic Year 2007

Student's Signature _____

Advisor's Signature _____

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้ดำเนินการสำเร็จลุล่วงด้วยดี ผู้วิจัยขอขอบพระคุณบุคคลและกลุ่มบุคคลต่าง ๆ ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำ รวมทั้งได้ให้ความช่วยเหลืออย่างดียิ่ง ทั้งด้านวิชาการและด้านการดำเนินงานวิจัย ซึ่งได้แก่

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อาทิตย์ ศรีแก้ว อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้คำปรึกษา แนะนำ และแนะแนวทางอันเป็นประโยชน์ยิ่งต่องานวิจัย รวมถึงได้ช่วยตรวจทานและแก้ไขรายงานวิทยานิพนธ์เล่มนี้จนทำให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น รวมทั้งเป็นกำลังใจให้กับผู้วิจัยเสมอมา

ศาสตราจารย์ นาวาอากาศโท ดร.สราวุธ สุจิตจร รองศาสตราจารย์ ดร.กิตติ อรรถกิจมงคล และอาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีทุกท่าน ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำและความรู้ทางด้านวิชาการอย่างดียิ่งมาโดยตลอด

ขอขอบคุณคุณอัญชลี รักด่านกลาง คุณภัทรวรรณ สิทธิกวินกุล และบุคลากรศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีทุกท่าน ที่อำนวยความสะดวกในการทำงานของข้าพเจ้า

ขอบคุณคุณกาญจนาพงษ์ เพชรเลิศ คุณรัฐรงค์ บุญวุฒิวิวัฒน์ พี่ ๆ เพื่อน ๆ น้อง ๆ บัณฑิตศึกษาทุกท่าน รวมถึงมิตรสหายที่คอยถามไถ่และให้กำลังใจในการทำวิจัยมาโดยตลอด

ท้ายนี้ผู้วิจัยขอขอบพระคุณอาจารย์ผู้สอนทุกท่าน ที่ประสิทธิ์ประสาทความรู้ทางด้านต่าง ๆ ทั้งในอดีตและปัจจุบัน ขอกราบขอบพระคุณคุณพ่อสวัสดิ์ คุณแม่ระเบียบ คุณป้าบุญ คุณย่ามี คุณตาใหญ่ คุณยายน้อย พี่อัฐวุฒิ รวมถึงญาติพี่น้องของผู้วิจัยทุกท่านที่ได้ให้ความรัก ความอบอุ่น ความห่วงใย การอบรมเลี้ยงดูและให้การสนับสนุนทางการศึกษาอย่างดียิ่งมาโดยตลอด และขอขอบคุณคุณจินต์จุฑา ปฐมภูมิพันธ์ ที่ได้ให้ความรัก ดูแล ห่วงใย ให้ความช่วยเหลือและความเสียสละทุกอย่าง รวมทั้งเป็นกำลังใจในยามที่ผู้วิจัยท้อและทุกข์ใจช่วยให้มีพลังเข้มแข็งพร้อมเผชิญกับปัญหาอุปสรรคต่าง ๆ จนทำให้ผู้วิจัยประสบความสำเร็จในชีวิตเรื่อยมา

จักราวุธ จันทา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย).....	ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ).....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูป.....	ฉ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ.....	ด
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	1
1.3 ข้อยกเว้นเบื้องต้น.....	1
1.4 ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย.....	2
1.6 คำอธิบายศัพท์.....	2
2 ปรัชญาบรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 กล่าวนำ.....	3
2.2 การแยกส่วนภาพ.....	3
2.2.1 การตรวจหาเส้นขอบของภาพ.....	3
2.2.2 การหาค่าขีดเริ่มเปลี่ยน.....	5
2.2.3 การปรับสมมูลสีโทแกรม.....	6
2.3 มิตีสี่ต่าง ๆ.....	7
2.3.1 มิตีสี่ RGB.....	9
2.3.2 มิตีสี่ YPbPr.....	10
2.3.3 มิตีสี่ YCbCr.....	11

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.3.4	มิตีสี JPEG-YCbCr.....	11
2.3.5	มิตีสี YDbDr.....	11
2.3.6	มิตีสี YUV.....	12
2.3.7	มิตีสี YIQ.....	12
2.3.8	มิตีสี HSV.....	12
2.3.9	มิตีสี HSL.....	14
2.3.10	มิตีสี XYZ.....	15
2.3.11	มิตีสี Lab.....	16
2.3.12	มิตีสี Luv.....	17
2.3.13	มิตีสี Lch.....	18
2.3.14	การใช้งานมิตีสีต่าง ๆ.....	19
2.4	ตัวกรองกบอร์แบบลอการิทึม.....	21
2.5	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	24
2.5.1	การแยกประเภทตามพื้นฐานการตัดแยกภาพคนเดินถนน หรือการดึงลักษณะเด่นภาพคนเดินถนน.....	27
2.5.2	การแยกประเภทตามพื้นฐานการคัดแยกภาพคนเดินถนน.....	30
2.6	สรุป.....	33
3	การดึงลักษณะเด่นภาพคนเดินถนน.....	34
3.1	กล่าวนำ.....	34
3.2	การดึงลักษณะเด่นทางเส้นของภาพคนเดินถนน.....	34
3.3.1	เส้นขอบแนวตั้ง.....	35
3.3.2	เฟสอสมมาตร.....	36
3.3	การดึงลักษณะเด่นทางสีของภาพคนเดินถนน.....	39
3.3.1	มิตีสีของภาพคนเดินถนน.....	40
3.3.2	เฟสสมมาตร.....	44
3.4	สรุป.....	65

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4	โครงสร้างระบบการตรวจจับภาพคนเดินถนน	66
4.1	กล่าวนำ.....	66
4.2	เฟสอสมมาตรสี.....	67
4.2.1	การประมวลผลก่อน.....	68
4.2.2	เฟสอสมมาตรสี.....	69
4.2.3	สัดส่วนภาพคนเดินถนน.....	73
4.2.4	เครื่องเวกเตอร์เกือบขนาน.....	75
4.3	เฟสสมมาตรสี.....	75
4.3.1	สัดส่วนภาพคนเดินถนน.....	76
4.3.2	มิติหลากหลาย.....	76
4.3.3	เฟสสมมาตรคียบ.....	77
4.3.4	ค่าสหสัมพันธ์ร่วม.....	78
4.2.5	เครื่องเวกเตอร์เกือบขนาน.....	79
4.4	สรุป.....	81
5	การวิเคราะห์ผลการทดสอบระบบ	82
5.1	กล่าวนำ.....	82
5.2	ผลการทดสอบข้อมูลภาพจากฐานข้อมูล.....	82
5.2.1	ผลการคัดแยกภาพคนเดินถนนด้วยการดึงลักษณะเด่นแบบต่าง ๆ ในโครงสร้างเฟสอสมมาตรสี.....	83
5.2.2	ผลการคัดแยกภาพคนเดินถนนด้วยการดึงลักษณะเด่นแบบต่าง ๆ ในโครงสร้างเฟสสมมาตรสี.....	86
5.2.3	ผลการคัดแยกภาพคนเดินถนนด้วยเฟสสมมาตรมิติสี่ย่อย.....	89
5.2.4	ผลการคัดแยกภาพคนเดินถนนด้วยเฟสสมมาตรมิติสี่ร่วม.....	92
5.2.5	เปรียบเทียบประสิทธิภาพการคัดแยกภาพคนเดินถนน ด้วยวิธีการต่าง ๆ.....	95
5.3	ผลการทดสอบข้อมูลภาพจากฐานข้อมูลภายในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.....	98

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

5.4 ผลการทดสอบจากข้อมูลวิทัศน์ภาพบริเวณถนนจริง.....	106
5.4.1 ผลการตรวจจับภาพคนเดินถนนด้วยเฟสสมมาตรสี	106
5.4.2 ผลการตรวจจับภาพคนเดินถนนด้วยเฟสสมมาตรมิติสีร่วม HSLabSP	113
5.5 วิเคราะห์และอภิปรายผลการทดสอบระบบ	120
5.6 สรุป.....	124
6 บทสรุปและข้อเสนอแนะ	125
6.1 สรุป.....	125
6.2 ข้อเสนอแนะ.....	126
รายการอ้างอิง.....	128
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก. เครื่องเวกเตอร์เกือบหมุน	133
ภาคผนวก ข. ตารางการจรและกราฟ ROC	136
ภาคผนวก ค. ภาพคนเดินถนนที่ใช้ฝึกสอนเครื่องเวกเตอร์เกือบหมุน	140
ภาคผนวก ง. ภาพผลการทดสอบระบบ	146
ภาคผนวก จ. บทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในขณะศึกษา.....	150
ประวัติผู้เขียน	152

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1	ชื่อย่อของมิตีลีต่าง ๆ9
2.2	การใช้งานมิตีลีในด้านต่าง ๆ20
2.3	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง32
5.1	จำนวนภาพที่ใช้ในการฝึกสอนและทดสอบระบบ83
5.2	ผลการคัดแยกภาพคนเดินถนนจากการดึงลักษณะเด่นแบบต่าง ๆ ในโครงแบบเฟสสมมาตรลี84
5.3	ผลการคัดแยกภาพคนเดินถนนจากการดึงลักษณะเด่นแบบต่าง ๆ ในโครงแบบเฟสสมมาตรลี86
5.4	ผลการคัดแยกภาพคนเดินถนนจากการดึงลักษณะเด่นด้วยเฟสสมมาตร มิตีลี้อยู่ในโครงแบบเฟสสมมาตรลี90
5.5	ผลการคัดแยกภาพคนเดินถนนจากการดึงลักษณะเด่นด้วยเฟสสมมาตร มิตีลีร่วมในโครงแบบเฟสสมมาตรลี93
5.6	เปรียบเทียบผลการคัดแยกภาพคนเดินถนนจากการดึงลักษณะเด่น ด้วยวิธีการต่าง ๆ95
5.7	เปรียบเทียบผลการคัดแยกภาพคนเดินถนนจากการดึงลักษณะเด่นด้วย เฟสสมมาตรมิตีลีร่วมแบบต่าง ๆ101
5.8	เปรียบเทียบจำนวนภาพที่ใช้ฝึกสอนเครื่องเวกเตอร์เกี่ยวหนุนแตกต่างกัน104
5.9	เปรียบเทียบประสิทธิภาพระบบตรวจจับภาพคนเดินถนน กับงานวิจัยในต่างประเทศ122

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	ค่าระดับเทา ค่าอนุพันธ์อันดับหนึ่งและสองของเส้นขอบ	4
2.2	ตัวอย่างการตรวจหาเส้นขอบของภาพโดยใช้วิธีต่าง ๆ (ก) ภาพต้นแบบ (ข) วิธี SB (ค) วิธี PW (ง) วิธี RB (จ) วิธี LOG (ฉ) วิธี ZC และ (ช) วิธี CN	4
2.3	ตัวอย่างการหาขีดเริ่มเปลี่ยนของภาพ (ก) ภาพต้นแบบ (ข) ฮิสโทแกรม ของค่าระดับเทา และ (ค) ภาพที่ทำการปรับขีดเริ่มเปลี่ยนแล้ว	6
2.4	ตัวอย่างการปรับสมดุลฮิสโทแกรม (ก) ฮิสโทแกรมของภาพระดับเทา และ (ข) ฮิสโทแกรมที่ทำการปรับสมดุลแล้ว.....	6
2.5	ตัวอย่างการปรับสมดุลฮิสโทแกรมภาพ (ก) ภาพต้นแบบ (ข) ภาพระดับเทา และ (ค) ภาพที่ทำการปรับสมดุลฮิสโทแกรมแล้ว.....	7
2.6	ผลกระทบของสีที่มีสีของภาพพื้นหลังที่แตกต่างกัน (ก) ภาพพื้นหลังสีดำ และ (ข) ภาพพื้นหลังสีขาว	7
2.7	แบบจำลองมิตติสีแบบต่าง ๆ	8
2.8	แบบจำลองมิตติสี RGB	9
2.9	แบบจำลองมิตติสี YPbPr.....	10
2.10	แบบจำลองมิตติสี HSV	13
2.11	แบบจำลองมิตติสี HSL.....	14
2.12	แบบจำลองปริภูมิสี CIE.....	16
2.13	แบบจำลองมิตติสี Lab	17
2.14	แบบจำลองมิตติสี Luv.....	18
2.15	แบบจำลองมิตติสี Lch.....	19
2.16	เปรียบเทียบตารางแถบสีในมิตติสีต่าง ๆ	20
2.17	ฟังก์ชันกานอร์ 1 มิติ.....	21
2.18	ลักษณะของตัวกรองกานอร์แบบลอกาทิม	23
2.19	การใช้ตัวกรองกานอร์แบบลอกาทิมกับภาพ 2 มิติ.....	23
2.20	ตัวอย่างเวกเตอร์ของภาพที่ผ่านตัวกรองซึ่งมีขนาดและมุมต่าง ๆ	24

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.1 ตัวอย่างการหาเส้นขอบของภาพคนเดินถนนด้วยวิธีการต่าง ๆ ได้แก่ SB PW RB LOG ZC และ CN เรียงตามลำดับจากซ้ายไปขวา	35
3.2 ตัวอย่างการหาเส้นขอบแนวตั้งของภาพคนเดินถนนด้วยวิธีการต่าง ๆ ได้แก่ SB PW RB LOG ZC และ CN เรียงตามลำดับจากซ้ายไปขวา	36
3.3 รูปแบบเวกเตอร์ที่มีความสมมาตร	37
3.4 ตัวอย่างการดึงลักษณะเด่นด้วยเฟสอสมมาตร (ก) ภาพในมิตีสี RGB (ข) ภาพระดับเทา (ค) ภาพเฟสอสมมาตร ที่ทิศทางตัวกรอง 90 และ 180 องศา.....	38
3.5 ตัวอย่างการดึงลักษณะเด่นด้วยเฟสอสมมาตร (ก) ภาพในมิตีสี RGB (ข) ภาพระดับเทา (ค) ภาพเฟสอสมมาตรที่ทิศทางตัวกรอง 90 องศา	38
3.6 เปรียบเทียบเฟสอสมมาตรที่จำนวนขนาดชุดตัวกรองเท่ากับ (ก) 1 (ข) 2 (ค) 3 (ง) 4 (จ) 5 (ฉ) 6 (ช) 7 (ซ) 8 (ฌ) 9 และ (ญ) 10.....	39
3.7 ตัวอย่างกลุ่มภาพคนเดินถนนที่สวมใส่เสื้อผ้าที่มีสีขาวและสีดำ	40
3.8 ตัวอย่างกลุ่มภาพคนเดินถนนที่สวมใส่เสื้อผ้าที่มีสีพื้นเป็นสีเดียว.....	41
3.9 ตัวอย่างกลุ่มภาพคนเดินถนนที่สวมใส่เสื้อผ้า ส่วนใหญ่มีสีซับซ้อนและหลากหลาย	41
3.10 ตัวอย่างกลุ่มภาพคนเดินถนนที่สวมใส่เสื้อผ้า แล้วเห็นลักษณะสีผิวมนุษย์ชัดเจน	41
3.11 ตัวอย่างภาพจากภาพคนเดินถนนกลุ่มที่ 1 ในมิตีสีต่าง ๆ	42
3.12 ตัวอย่างภาพจากภาพคนเดินถนนกลุ่มที่ 2 ในมิตีสีต่าง ๆ	43
3.13 ตัวอย่างภาพจากภาพคนเดินถนนกลุ่มที่ 3 ในมิตีสีต่าง ๆ	43
3.14 ตัวอย่างภาพจากภาพคนเดินถนนกลุ่มที่ 4 ในมิตีสีต่าง ๆ	44
3.15 รูปแบบเวกเตอร์ที่มีความสมมาตร	45
3.16 ตัวอย่างภาพคนเดินถนน (ก) มิตีสี RGB (ข) มิตีสีย่อย R (ค) มิตีสีย่อย G และ (ง) มิตีสีย่อย B	46
3.17 ตัวอย่างภาพเฟสสมมาตรของภาพคนเดินถนนใน (ก) มิตีสีย่อย R (ข) มิตีสีย่อย G และ (ค) มิตีสีย่อย B	46

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.18 ตัวอย่างภาพเฟสสมมาตรจุดสว่างของภาพคนเดินถนนจาก (ก) มิตีสี่ข้อย R (ข) มิตีสี่ข้อย G และ (ค) มิตีสี่ข้อย B	47
3.19 ตัวอย่างภาพเฟสสมมาตรจุดมืดของภาพคนเดินถนนจาก (ก) มิตีสี่ข้อย R (ข) มิตีสี่ข้อย G และ (ค) มิตีสี่ข้อย B	47
3.20 ตัวอย่างภาพคนเดินถนนที่มีสีชุดแต่งกายแตกต่างจากภาพพื้นหลังชัดเจน (ก) ภาพระดับเทา (ข) ภาพเฟสสมมาตร (ค) ภาพเฟสสมมาตรจุดสว่าง (ง) ภาพเฟสสมมาตรจุดมืด (จ) ภาพระดับเทา 3 ระดับ (ฉ) กลุ่มจุดภาพสว่าง และ (ช) กลุ่มจุดภาพมืด	48
3.21 ตัวอย่างภาพคนเดินถนนที่มีสีชุดแต่งกายใกล้เคียงกับภาพพื้นหลัง (ก) ภาพระดับเทา (ข) ภาพเฟสสมมาตร (ค) ภาพเฟสสมมาตรจุดสว่าง (ง) ภาพเฟสสมมาตรจุดมืด (จ) ภาพระดับเทา 3 ระดับ (ฉ) กลุ่มจุดภาพสว่าง และ (ช) กลุ่มจุดภาพมืด	49
3.22 ตัวอย่างเปรียบเทียบ (ก) ภาพมิตีสี่ข้อย G ภาพเฟสสมมาตรจุดสว่างที่ทิศทาง ตัวกรอง (ข) 90 องศา (ค) 90 และ 180 องศา (ง) 60, 120 และ 240 องศา และภาพ เฟสสมมาตรจุดมืดที่ทิศทางตัวกรอง (จ) 90 องศา (ฉ) 90 และ 180 องศา (ช) 60, 120 และ 240 องศา	50
3.23 เปรียบเทียบขนาดตัวกรองของภาพเฟสสมมาตรจุดสว่างที่ (ก) 2 (ข) 3 (ค) 4 (ง) 5 (จ) 10 และเฟสสมมาตรจุดมืดที่ (ฉ) 2 (ช) 3 (ซ) 4 (ฌ) 5 (ญ) 10	51
3.24 ตัวอย่างภาพ (ก) เฟสสมมาตร (ข) เฟสสมมาตรจุดสว่าง และ (ค) เฟสสมมาตรจุดมืด จากภาพมิตีสี่ RGB	52
3.25 ตัวอย่างภาพ (ก) เฟสสมมาตร (ข) เฟสสมมาตรจุดสว่าง และ (ค) เฟสสมมาตรจุดมืด จากภาพมิตีสี่ YPbPr	52
3.26 ตัวอย่างภาพ (ก) เฟสสมมาตร (ข) เฟสสมมาตรจุดสว่าง และ (ค) เฟสสมมาตรจุดมืด จากภาพมิตีสี่ YCbCr	53
3.27 ตัวอย่างภาพ (ก) เฟสสมมาตร (ข) เฟสสมมาตรจุดสว่าง และ (ค) เฟสสมมาตรจุดมืด จากภาพมิตีสี่ YDbDr	53
3.28 ตัวอย่างภาพ (ก) เฟสสมมาตร (ข) เฟสสมมาตรจุดสว่าง และ (ค) เฟสสมมาตรจุดมืด จากภาพมิตีสี่ JPEG-YCbCr	54

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.29 ตัวอย่างภาพ (ก) เฟสสมมาตร (ข) เฟสสมมาตรจุดสว่าง และ (ค) เฟสสมมาตรจุดมืด จากภาพมิตีสี YIQ	54
3.30 ตัวอย่างภาพ (ก) เฟสสมมาตร (ข) เฟสสมมาตรจุดสว่าง และ (ค) เฟสสมมาตรจุดมืด จากภาพมิตีสี YUV	55
3.31 ตัวอย่างภาพ (ก) เฟสสมมาตร (ข) เฟสสมมาตรจุดสว่าง และ (ค) เฟสสมมาตรจุดมืด จากภาพมิตีสี HSV	55
3.32 ตัวอย่างภาพ (ก) เฟสสมมาตร (ข) เฟสสมมาตรจุดสว่าง และ (ค) เฟสสมมาตรจุดมืด จากภาพมิตีสี HSL	56
3.33 ตัวอย่างภาพ (ก) เฟสสมมาตร (ข) เฟสสมมาตรจุดสว่าง และ (ค) เฟสสมมาตรจุดมืด จากภาพมิตีสี XYZ	56
3.34 ตัวอย่างภาพ (ก) เฟสสมมาตร (ข) เฟสสมมาตรจุดสว่าง และ (ค) เฟสสมมาตรจุดมืด จากภาพมิตีสี Lab	57
3.35 ตัวอย่างภาพ (ก) เฟสสมมาตร (ข) เฟสสมมาตรจุดสว่าง และ (ค) เฟสสมมาตรจุดมืด จากภาพมิตีสี Luv	57
3.36 ตัวอย่างภาพ (ก) เฟสสมมาตร (ข) เฟสสมมาตรจุดสว่าง และ (ค) เฟสสมมาตรจุดมืด จากภาพมิตีสี Lch	58
3.37 ตัวอย่างภาพเฟสสมมาตรจากมิตีสีย่อยต่างๆ จากกลุ่มภาพคนเดินถนนที่ 1	59
3.38 ตัวอย่างภาพเฟสสมมาตรจุดสว่างจากมิตีสีย่อยต่าง ๆ จากกลุ่มภาพคนเดินถนนที่ 1	59
3.39 ตัวอย่างภาพเฟสสมมาตรจุดมืดจากมิตีสีย่อยต่าง ๆ จากกลุ่มภาพคนเดินถนนที่ 1	60
3.40 ตัวอย่างภาพเฟสสมมาตรจากมิตีสีย่อยต่างๆ จากกลุ่มภาพคนเดินถนนที่ 2	60
3.41 ตัวอย่างภาพเฟสสมมาตรจุดสว่างจากมิตีสีย่อยต่าง ๆ จากกลุ่มภาพคนเดินถนนที่ 2	61
3.42 ตัวอย่างภาพเฟสสมมาตรจุดมืดจากมิตีสีย่อยต่าง ๆ จากกลุ่มภาพคนเดินถนนที่ 2	61
3.43 ตัวอย่างภาพเฟสสมมาตรจากมิตีสีย่อยต่าง ๆ จากกลุ่มภาพคนเดินถนนที่ 3	62

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
3.44	ตัวอย่างภาพเฟสสมมาตรจุดสว่างจากมิตีสีย่อยต่าง ๆ จากกลุ่มภาพคนเดินถนนที่ 3	62
3.45	ตัวอย่างภาพเฟสสมมาตรจุดมืดจากมิตีสีย่อยต่าง ๆ จากกลุ่มภาพคนเดินถนนที่ 3	63
3.46	ตัวอย่างภาพเฟสสมมาตรจากมิตีสีย่อยต่าง ๆ จากกลุ่มภาพคนเดินถนนที่ 4	63
3.47	ตัวอย่างภาพเฟสสมมาตรจุดสว่างจากมิตีสีย่อยต่าง ๆ จากกลุ่มภาพคนเดินถนนที่ 4	64
3.48	ตัวอย่างภาพเฟสสมมาตรจุดมืดจากมิตีสีย่อยต่าง ๆ จากกลุ่มภาพคนเดินถนนที่ 4	64
3.49	การดึงลักษณะเด่นทางสีของภาพคนเดินถนนด้วยเฟสสมมาตรจุดสว่าง และเฟสสมมาตรจุดมืดที่ใช้ในงานวิจัย	65
4.1	โครงสร้างระบบการตรวจจับภาพคนเดินถนน	66
4.2	ตำแหน่งติดตั้งกล้องภายในรถยนต์	67
4.3	แผนผังระบบการตรวจจับภาพคนเดินถนนด้วยเฟสสมมาตรสี	68
4.4	ตัวอย่างภาพในการประมวลผลก่อน (ก) ภาพระดับเทาจากมิตีสี RGB และ (ข) ภาพระดับเทาที่ผ่านการปรับสมดุลฮิสโทแกรม	69
4.5	แผนผังระบบการดึงลักษณะเด่นภาพคนเดินถนนด้วยเฟสสมมาตรสี	70
4.6	การดึงลักษณะเด่นทางเส้น โดยใช้เฟสสมมาตร	70
4.7	การดึงลักษณะเด่นทางสีด้วยเฟสสมมาตรภาพมิตีสี HSV เฉลี่ย	71
4.8	การดึงลักษณะเด่นภาพคนเดินถนนด้วยวิธีการต่าง ๆ (ก) ภาพ RGB (ข) ภาพระดับเทาจาก RGB (ค) ภาพ HSV (ง) ภาพ HSV เฉลี่ย (จ) ASP (ฉ) BPSP (ช) DPSP และ (ซ) ACSP	71
4.9	ตัวอย่างภาพเฟสสมมาตรสีจาก (ก) ภาพคนเดินถนน MITP และ (ข) ภาพที่ไม่มีคนเดินถนน	72
4.10	เปรียบเทียบตำแหน่งและสัดส่วนของภาพคนเดินถนนในภาพและในโลกจริง	73
4.11	การกำหนดตำแหน่งจุดภาพของเส้นขอบฟ้าและสัดส่วนภาพคนเดินถนน	74

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.12	การคัดแยกภาพคนเดินถนน โดยใช้เครื่องเวกเตอร์เกือบขนาน ในระบบเฟสสมมาตรสี.....75
4.13	แผนผังระบบการตรวจจับภาพคนเดินถนนด้วยเฟสสมมาตรสี.....76
4.14	ภาพคนเดินถนนในมิติสีต่าง ๆ ได้แก่ RGB G Cb S และ a เรียงตามลำดับจากซ้ายไปขวา77
4.15	ตัวอย่างภาพเฟสสมมาตรในมิติสีต่าง ๆ ได้แก่ มิติสีย่อย G Cb S และ a เรียงตามลำดับจากซ้ายไปขวา โดยแบ่งเป็น (ก) ภาพเฟสสมมาตร จุดสว่าง และ (ข) ภาพเฟสสมมาตรจุดมืด.....78
4.16	การสร้างภาพแผ่นแบบคนเดินถนน (ก) ภาพผลรวมภาพระดับเทา จากฐานข้อมูล MITP (ข) ภาพแผ่นแบบคนเดินถนน และ (ค) ตัวอย่างภาพเฟสสมมาตรสีคนเดินถนน78
4.17	ตัวอย่างภาพเฟสสมมาตรสีจาก (ก) ภาพคนเดินถนน MITP และ (ข) ภาพที่ไม่มีคนเดินถนน80
4.18	การคัดแยกภาพคนเดินถนน โดยใช้เครื่องเวกเตอร์เกือบขนาน ในระบบเฟสสมมาตรสี81
5.1	กราฟ ROC แสดงผลการคัดแยกภาพคนเดินถนนด้วยการดึงลักษณะเด่น แบบต่าง ๆ ในโครงแบบเฟสสมมาตรสี84
5.2	กราฟ ROC แสดงผลการคัดแยกภาพคนเดินถนนด้วยการดึงลักษณะเด่น แบบต่าง ๆ ในโครงแบบเฟสสมมาตรสี โดยมีแกนอนแบบลอการิทึม.....85
5.3	กราฟ ROC แสดงผลการคัดแยกภาพคนเดินถนนด้วยการดึงลักษณะเด่น แบบต่าง ๆ ในโครงแบบเฟสสมมาตรสี87
5.4	กราฟ ROC แสดงผลการคัดแยกภาพคนเดินถนนด้วยการดึงลักษณะเด่น แบบต่าง ๆ ในโครงแบบเฟสสมมาตรสี โดยมีแกนอนแบบลอการิทึม88
5.5	กราฟ ROC แสดงผลการคัดแยกภาพคนเดินถนนจากการดึงลักษณะเด่น ด้วยเฟสสมมาตรมิติสีย่อยในโครงแบบเฟสสมมาตรสี90

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.6 กราฟ ROC แสดงผลการคัดแยกภาพคนเดินถนนจากการดึงลักษณะเด่นด้วยเฟสสมมาตรมิติสี่ย่อยใน โครงแบบเฟสสมมาตรสี่ โดยมีแกนนอนแบบลอการิทึม	91
5.7 กราฟ ROC แสดงผลการคัดแยกภาพคนเดินถนนจากการดึงลักษณะเด่นด้วยเฟสสมมาตรมิติสี่ร่วมใน โครงแบบเฟสสมมาตรสี่	93
5.8 กราฟ ROC แสดงผลการคัดแยกภาพคนเดินถนนจากการดึงลักษณะเด่นด้วยเฟสสมมาตรมิติสี่ร่วมใน โครงแบบเฟสสมมาตรสี่ โดยมีแกนนอนแบบลอการิทึม	94
5.9 กราฟ ROC แสดงผลการคัดแยกภาพคนเดินถนนจากการดึงลักษณะเด่นด้วยวิธีการต่าง ๆ	96
5.10 กราฟ ROC แสดงผลการคัดแยกภาพคนเดินถนนจากการดึงลักษณะเด่นด้วยวิธีการต่าง ๆ โดยมีแกนนอนแบบลอการิทึม	97
5.11 ตัวอย่างผลภาพการดึงลักษณะเด่นคนเดินถนน (ก) ภาพคนเดินถนน (ข) ภาพมิติสี่ร่วม Hab และ (ค) ภาพเฟสสมมาตรมิติสี่ร่วม HabSP	99
5.12 ตัวอย่างภาพคนเดินถนนจากฐานข้อมูลภายในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี	100
5.13 ตัวอย่างภาพที่ไม่มีคนเดินถนนจากฐานข้อมูลภายในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี	100
5.14 กราฟ ROC แสดงผลการคัดแยกภาพคนเดินถนนจากการดึงลักษณะเด่นด้วยเฟสสมมาตรมิติสี่ร่วมใน โครงแบบเฟสสมมาตรสี่	102
5.15 กราฟ ROC แสดงผลการคัดแยกภาพคนเดินถนนจากการดึงลักษณะเด่นด้วยเฟสสมมาตรมิติสี่ร่วมใน โครงแบบเฟสสมมาตรสี่ โดยมีแกนนอนแบบลอการิทึม	103
5.16 กราฟ ROC แสดงผลการคัดแยกภาพคนเดินถนนจากการใช้จำนวนภาพในการฝึกสอนเครื่องเวกเตอร์เกื้อหนุนแตกต่างกัน	104
5.17 กราฟ ROC แสดงผลการคัดแยกภาพคนเดินถนนจากการใช้จำนวนภาพในการฝึกสอนเครื่องเวกเตอร์เกื้อหนุนแตกต่างกัน โดยมีแกนนอนแบบลอการิทึม	105

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.28 ผลการตรวจจับภาพวีดิทัศน์ชุดที่ 4 (ก) ตัวอย่างผลการตรวจจับภาพคนเดินถนน (ข) กราฟประสิทธิภาพการตรวจจับภาพคนเดินถนนถูกต้อง (TP) (ค) กราฟประสิทธิภาพการตรวจจับภาพคนเดินถนนผิดพลาด (FP)	118
5.29 ผลการตรวจจับภาพวีดิทัศน์ชุดที่ 5 (ก) ตัวอย่างผลการตรวจจับภาพคนเดินถนน (ข) กราฟประสิทธิภาพการตรวจจับภาพคนเดินถนนถูกต้อง (TP) (ค) กราฟประสิทธิภาพการตรวจจับภาพคนเดินถนนผิดพลาด (FP)	119
5.30 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนจุดภาพความสูงของภาพคนเดินถนนกับระยะห่าง ของคนเดินถนนและกล้องดิจิทัลซึ่งมีหน่วยเป็นเมตร	123
ก.1 เส้นแบ่งกลุ่มระนาบเกินระหว่างข้อมูลทั้ง 2 กลุ่มแบบเชิงเส้น	134
ข.1 โครงสร้างตารางการจรที่ถูกนำมาใช้พิจารณาประสิทธิภาพของระบบ	137
ข.2 ตัวอย่างจุดข้อมูลในกราฟ ROC แสดงประสิทธิภาพการคัดแยกกลุ่มข้อมูล	138
ข.3 ตัวอย่างประสิทธิภาพกราฟ ROC จากการคัดแยกกลุ่มข้อมูลของระบบแบบต่าง ๆ	139
ค.1 ภาพคนเดินถนนจาก MITP ที่ใช้ในการฝึกสอนเครื่องเวกเตอร์เกื้อหนุน	141
ค.2 ตัวอย่างภาพคนเดินถนนจากฐานข้อมูลภายในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ใช้ในการฝึกสอนเครื่องเวกเตอร์เกื้อหนุน	144
ง.1 ผลการทดสอบระบบด้วยเฟสสมมาตรมิติสี่ร่วม HSLabSP กับภาพบริเวณถนนต่าง ๆ	147

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

A	=	ขนาด (amplitude)
ACC	=	ความแม่นยำ (accuracy)
$ACSP$	=	เฟสอสมมาตรสี (asymmetry & color symmetry phase)
ASP	=	เฟสอสมมาตร (asymmetry phase)
AUC	=	พื้นที่ใต้กราฟ (area under curve)
$BPSP$	=	เฟสสมมาตรจุดสว่าง (bright point symmetry phase)
CC	=	สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient)
CIE	=	commission internationale de l'Eclairage
CFE	=	การดึงลักษณะเด่นทางสี (color feature extraction)
CN	=	Canny
CSP	=	เฟสสมมาตรสี (color symmetry phases)
$DPSP$	=	เฟสสมมาตรจุดมืด (dark point symmetry phase)
$e(x)$	=	ค่าส่วนจริงของภาพที่ผ่านตัวกรองแบบลอกการิทึมที่จุดภาพ x
$f(x, y)$	=	ฟังก์ชันที่จุดภาพ x, y
FE	=	การดึงลักษณะเด่น (feature extraction)
FN	=	false negative
FP	=	false positive
FPR	=	false positive rate
κ	=	ค่าคงที่ตัวปรับคุณภาพความสว่างของภาพ
k	=	ค่าคงที่ใช้ในการกำหนดค่า octave ของตัวกรอง
h_i	=	จำนวนจุดภาพความสูงของคนเดินถนนในภาพ
H	=	hue
i	=	ลำดับข้อมูล
l	=	lightness
LFE	=	การดึงลักษณะเด่นทางเส้น (line feature extraction)
LGF	=	ตัวกรองกาบอร์แบบลอกการิทึม (log-Gabor filter)

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

LOG	=	laplacian of Gaussian
(m, n)	=	ขนาดกว้างและยาวของภาพ (จุดภาพ)
MC	=	มิติหลากสี (multi-color spaces)
MCorr	=	ค่าสหสัมพันธ์รวม (mixed correlation)
MITP	=	MIT CBCL pedestrian database
n	=	จำนวนของชุดตัวกรอง
N	=	negative
$o(x)$	=	ค่าส่วนจินตภาพของภาพที่ผ่านตัวกรองแบบลอการิทึมที่จุดภาพ x
P	=	positive
PC	=	การคัดแยกภาพคนเดินถนน (pedestrian classification)
PFE	=	การดึงลักษณะเด่นภาพคนเดินถนน (pedestrian feature extraction)
PPS	=	สัดส่วนคนเดินถนน (proportional pedestrian sizes)
PT	=	ภาพแผ่นแบบคนเดินถนน (pedestrian template)
PW	=	Prewitt
RB	=	Roberts
RGB	=	red green blue
ROC	=	receiver operating characteristics
RSP	=	เฟสสมมาตรดิบ (raw symmetry phase)
S	=	saturation
SB	=	Sobel
SP	=	เฟสสมมาตร (symmetry phase)
SVM	=	เครื่องเวกเตอร์เกือหนุน (support vector machine)
T	=	threshold criterion
TN	=	true negative
TP	=	true positive
TPR	=	true positive rate
v_i	=	ตำแหน่งจุดภาพขอบล่างของคนเดินถนนในภาพ
v_0	=	ตำแหน่งจุดภาพของเส้นขอบฟ้าในภาพ

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

V	=	value
VASP	=	เฟสอสมมาตรแนวตั้ง (vertical asymmetry phase)
w_0	=	ความถี่ศูนย์กลางตัวกรอง
W	=	ความถี่มอดูเลต (modulation frequency)
x	=	จุดภาพ (pixel)
y_c	=	ความสูงของกล้องดิจิทัลในโลกจริง
y_i	=	ความสูงของวัตถุในโลกจริง
ZC	=	zero-cross
α, b	=	ค่าน้ำหนักการเรียนรู้ที่ได้จากการฝึกสอนเครื่องเวกเตอร์เกี่ยวพัน
$\zeta(\cdot)$	=	ฟังก์ชันแก่นกลาง (kernel function)
σ	=	ค่าคงที่กำหนดขนาดความกว้างของฟังก์ชัน
σ_x	=	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานตามแนวแกน x
σ_y	=	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานตามแนวแกน y
Φ	=	เฟส (phase)
ε	=	ค่าคงที่ที่มีค่าน้อยมาก
4CSP	=	เฟสสมมาตรหลากสี (four color symmetry phases)

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญของปัญหา

อุบัติเหตุทางจราจรทำให้เกิดความเสียหายทั้งชีวิตและทรัพย์สิน จึงได้มีการวิจัยเกี่ยวกับความปลอดภัยบนท้องถนนอย่างมากมา การตรวจจับภาพคนเดินถนนเป็นหนึ่งในหัวข้อวิจัยที่กำลังได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก เพื่อนำไปเป็นระบบเสริมเพิ่มความปลอดภัยของทั้งผู้ขับขี่ยานพาหนะและคนเดินถนน ช่วยสังเกตการณ์ช่วยเหลือในการขับขี่บนท้องถนน และเป็นส่วนหนึ่งของระบบขับเคลื่อนพาหนะอัตโนมัติ ลักษณะการทำงานของระบบตรวจจับภาพคนเดินถนนคือการระบุขนาดและตำแหน่งของภาพคนเดินถนนจากภาพบริเวณถนนทั้งหมด โดยทั่วไปแล้วภาพคนเดินถนนเป็นข้อมูลภาพที่มีความหลากหลายและซับซ้อน เนื่องจากปัจจัยต่างๆ ได้แก่ ปริมาณแสง แวดล้อมที่ไม่สามารถควบคุมได้จากสภาพแวดล้อมแบบกลางแจ้ง ภาพเบื้องหลังที่ซับซ้อนจากภาพบริเวณถนนที่มีการจราจรและมีวัตถุอื่นอยู่ในภาพมากมาย ได้แก่ อาคาร รถยนต์ ต้นไม้ เสาไฟฟ้า และป้ายต่าง ๆ เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีปัจจัยด้านความหลากหลายของลักษณะของรูปร่างมนุษย์ อันเนื่องมาจากเครื่องแต่งกาย ท่าทาง การเคลื่อนไหว ขนาดของร่างกาย และสีผิว ฯลฯ ถึงแม้จะมีความหลากหลายของปัจจัยดังกล่าว แต่ก็ได้มีการพัฒนางานวิจัยที่ทำทนายความหลากหลายของปัจจัยเหล่านี้อย่างต่อเนื่องด้วยเทคโนโลยีและตัวรับรู้ประเภทต่าง ๆ เพื่อค้นหาวิธีการที่สามารถตรวจจับภาพคนเดินถนนได้อย่างถูกต้อง สำหรับในประเทศไทยงานวิจัยด้านนี้ยังมีไม่มากนัก ในงานวิจัยนี้ได้นำเสนอวิธีการหนึ่งที่พัฒนาขึ้นเพื่อให้สามารถตรวจจับภาพคนเดินถนนได้อย่างมีประสิทธิภาพและครอบคลุมทุกปัจจัยที่เกี่ยวข้องให้ได้มากที่สุด

1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย

เพื่อศึกษาและพัฒนาระบบประยุกต์ใช้ตัวกรองกาบอร์แบบลอการิทึมในการตรวจจับภาพคนเดินถนน

1.3 ข้อตกลงเบื้องต้น

- 1.3.1 การตรวจจับภาพคนเดินถนนเป็นการทำงานแบบออฟไลน์
- 1.3.2 ใช้ภาพบริเวณถนนหลักภายในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

1.3.3 บันทึกภาพในเวลากลางวัน

1.3.4 ไม่พิจารณาสถานะของแสงที่แตกต่างกัน

1.3.5 มีข้อมูลตำแหน่งเส้นขอบฟ้าภายในภาพบริเวณถนนที่ถูกต้อง

1.4 ขอบเขตของงานวิจัย

1.4.1 สร้างระบบการตรวจจับภาพคนเดินถนนจากภาพบริเวณถนนโดยสามารถตรวจจับภาพคนเดินถนนได้มากกว่า 1 คน และภาพบริเวณถนนที่ใช้ทดสอบต้องเป็นภาพที่สามารถสังเกตภาพคนเดินถนนได้ด้วยสายตาก็อย่างชัดเจนและครบถ้วนทุกส่วนของร่างกาย

1.4.2 พัฒนาระบบการตรวจจับภาพคนเดินถนนโดยการประยุกต์ใช้ตัวกรองกาบอร์แบบลอการิทึมร่วมกับเครื่องเวกเตอร์เกือหนูจากภาพบริเวณถนนได้

1.4.3 พัฒนาอัลกอริทึมด้วยโปรแกรม MATLAB

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ได้วิธีการตรวจจับภาพคนเดินถนนโดยการประยุกต์ใช้ตัวกรองกาบอร์แบบลอการิทึมร่วมกับเครื่องเวกเตอร์เกือหนู ซึ่งสามารถนำไปพัฒนาเป็นระบบที่ทำงานได้อย่างอัตโนมัติ

1.5.2 ได้ซอฟต์แวร์สำหรับการตรวจจับภาพคนเดินถนนจากภาพบริเวณถนน

1.5.3 ได้โปรแกรมต้นแบบที่สามารถนำไปพัฒนาใช้ในงานต่าง ๆ เช่น ระบบเสริมช่วยขับขี่รถยนต์ ระบบสังเกตการณ์ช่วยเตือนภัยในการขับขี่ และระบบรถยนต์ขับเคลื่อนอัตโนมัติ เป็นต้น

1.6 คำอธิบายศัพท์

คนเดินถนน หมายถึง คนที่ยืน เดิน หรือเคลื่อนที่ในบริเวณถนนที่ใช้พิจารณา

บริเวณถนน หมายถึง บริเวณถนนที่ใช้ในการจราจรรวมถึงบริเวณรอบข้างถนนด้วย

การตัดแยกภาพคนเดินถนน หมายถึง การค้นหาส่วนของภาพที่คาดว่าจะจะเป็นภาพคนเดินถนนออกจากภาพบริเวณถนน

การดึงลักษณะเด่นภาพคนเดินถนน หมายถึง การดึงลักษณะสำคัญของภาพคนเดินถนนให้มีภาพผลลัพธ์ที่แตกต่างกับภาพที่ไม่มีคนเดินถนนมากที่สุด

การคัดแยกภาพคนเดินถนน หมายถึง การตัดสินใจว่าภาพที่พิจารณาอยู่เป็นภาพคนเดินถนนหรือไม่

การตรวจจับภาพคนเดินถนน หมายถึง การระบุขนาดและตำแหน่งของภาพคนเดินถนนจากภาพบริเวณถนน ซึ่งประกอบด้วยสองส่วน คือ การดึงลักษณะเด่นและการคัดแยกภาพคนเดินถนน

บทที่ 2

ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 กล่าวนำ

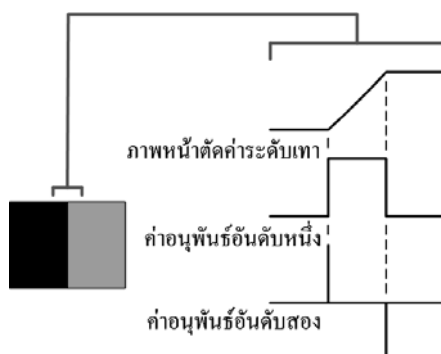
ในบทที่ 2 นี้ได้อธิบายถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการแยกส่วนภาพ มิติสี และตัวกรองกabor แบบลอการิทึม ซึ่งเป็นวิธีการที่วิทยานิพนธ์นี้ได้ใช้ในกระบวนการตรวจจับภาพคนเดินถนนในส่วนของ การดึงลักษณะเด่นภาพคนเดินถนน และได้นำเสนอผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการตรวจจับภาพคนเดินถนน ดังรายละเอียดต่อไปนี้

2.2 การแยกส่วนภาพ (image segmentation)

การประมวลผลภาพเพื่อพัฒนาและปรับปรุงข้อมูลที่เป็นภาพเพื่อให้สามารถแปลความหมายได้ดีขึ้น และเพื่อเตรียมข้อมูลฉาก (scene data) สำหรับให้คอมพิวเตอร์เข้าใจได้ ขบวนการประมวลผลภาพแบ่งออกได้เป็น 3 ขบวนการ คือ ขบวนการขั้นต้น เป็นการได้มาซึ่งภาพ และการปรับปรุงภาพให้ดีขึ้น ได้แก่ การแปลงสัญญาณภาพ การเพิ่มความคมชัดของภาพ การกู้คืนสัญญาณภาพ เป็นต้น ขบวนการขั้นกลาง คือ ส่วนของการแยกองค์ประกอบและการดึงเอาลักษณะที่สำคัญออกมา และขบวนการขั้นสูง คือ การตีความหมายและการจดจำภาพ ขั้นตอนที่สำคัญขั้นตอนหนึ่งของการประมวลผลภาพ (image processing) คือ การแยกส่วนต่าง ๆ ของรูปภาพออกจากกันตามลักษณะสำคัญที่เลือกพิจารณา เพื่อลดจำนวนข้อมูลในรูปภาพที่ไม่จำเป็นในการวิเคราะห์ จัดระเบียบข้อมูลในรูปภาพให้เป็นกลุ่ม และแสดงข้อมูลในรูปที่เข้าใจง่าย หลักการที่ใช้ในการแยกส่วนภาพมี 2 หลักการ คือ การแยกส่วนภาพจากความไม่ต่อเนื่อง (discontinuity) ขององค์ประกอบภาพ โดยดูจากความเปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจนของความเข้มขององค์ประกอบภาพ เช่น บริเวณที่เป็นเส้นขอบของภาพ และการแยกส่วนภาพตามความคล้ายกัน (similarity) ขององค์ประกอบภาพ โดยแยกส่วนภาพตามคุณสมบัติของจุดภาพ (pixel) ภายในพื้นที่เดียวกันที่มีความเหมือนกัน

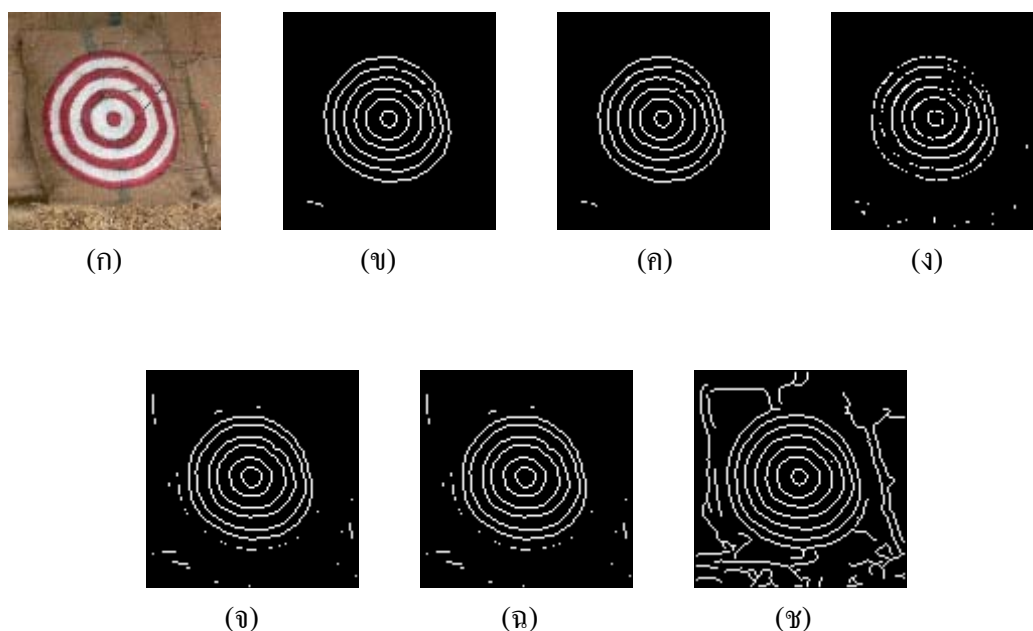
2.2.1 การตรวจหาเส้นขอบของภาพ (edge detection)

เส้นขอบ (edge) คือ ชุดของจุดภาพที่เชื่อมต่อกันวางตัวบนขอบระหว่าง 2 พื้นที่ (region) ที่มีค่าระดับเทาต่างกัน แบบจำลองของเส้นขอบหาได้จากการเปลี่ยนค่าระดับเทา (gray levels) ของจุดภาพ มีลักษณะของแบบจำลองเป็นรูปเส้นกราฟที่มีระดับต่างกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ค่าระดับเทา ค่าอนุพันธ์อันดับหนึ่งและสองของเส้นขอบ

จากรูปที่ 2.1 แสดงให้เห็นค่าระดับเทา ค่าอนุพันธ์อันดับหนึ่ง และค่าอนุพันธ์อันดับสอง จากพื้นที่ที่มีค่าระดับเทาต่างกัน ซึ่งค่าอนุพันธ์อันดับหนึ่งสามารถใช้ในการตรวจจับเส้นขอบในภาพ และเครื่องหมายของอนุพันธ์อันดับสอง สามารถใช้ในการตรวจสอบว่า จุดภาพทางด้านไหนของเส้นขอบมีค่าระดับเทาสูงกว่าหรือต่ำกว่า หรือจุดภาพทางด้านไหนเป็นจุดภาพที่สว่างกว่าหรือมืดกว่า (ชมพู ทรัพย์ปทุมสิน, 2548)



รูปที่ 2.2 ตัวอย่างการตรวจหาเส้นขอบของภาพโดยใช้วิธีต่าง ๆ (ก) ภาพต้นแบบ (ข) วิธี SB (ค) วิธี PW (ง) วิธี RB (จ) วิธี LOG (ฉ) วิธี ZC และ (ช) วิธี CN

รูปที่ 2.2 แสดงวิธีการที่ใช้ในการตรวจหาเส้นขอบของภาพที่ใช้ในปัจจุบัน ได้แก่ วิธีของโซเบล (Sobel method) หรือ SB วิธีของพรีวิทท์ (Prewitt method) หรือ PW วิธีของโรเบิร์ตส์ (Roberts method) หรือ RB วิธีลาปลาเซียนของเกาส์ (laplacian of Gaussian method) หรือ LOG วิธีซีโร-คลอส (zero-cross method) หรือ ZC วิธีของแคนนี่ (Canny method) หรือ CN เป็นต้น

2.2.2 การหาค่าขีดเริ่มเปลี่ยน (thresholding)

การหาค่าขีดเริ่มเปลี่ยนของภาพ เป็นกระบวนการในการสร้างพื้นที่ที่มีค่าความเข้มสีแตกต่างกัน ซึ่งแสดงดังสมการที่ (2-1) เมื่อ T เป็นฟังก์ชันของเกณฑ์ของค่าขีดเริ่มเปลี่ยน $f(x, y)$ เป็นค่าระดับเทาของจุดภาพที่ (x, y) และ $A(x, y)$ แทนคุณสมบัติของจุดภาพข้างเคียง

$$T = T\{x, y, A(x, y), f(x, y)\} \quad (2-1)$$

ภาพที่ทำการหาค่าขีดเริ่มเปลี่ยนแล้ว $g(x, y)$ มีค่าดังสมการที่ (2-2)

$$g(x, y) = \begin{cases} 1 & \text{if } f(x, y) \geq T \\ 0 & \text{if } f(x, y) \leq T \end{cases} \quad (2-2)$$

ค่าของฟังก์ชัน T สามารถแบ่งได้ 3 วิธีด้วยกันดังนี้

1) ค่าขีดเริ่มเปลี่ยนวงกว้าง (global threshold)

$$T = T\{f(x, y)\} \quad (2-3)$$

ค่าของ T ขึ้นอยู่กับค่าระดับเทาของแต่ละจุดภาพที่ (x, y) เท่านั้น

2) ค่าขีดเริ่มเปลี่ยนเฉพาะที่ (local threshold)

$$T = T\{A(x, y), f(x, y)\} \quad (2-4)$$

ค่าของ T ขึ้นอยู่กับจุดภาพข้างเคียงและค่าระดับเทาของจุดภาพที่ (x, y)

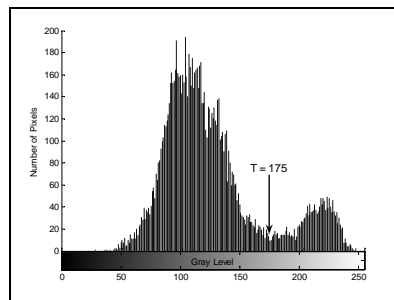
3) ค่าขีดเริ่มเปลี่ยนพลวัต (dynamic threshold)

$$T = T\{x, y, A(x, y), f(x, y)\} \quad (2-5)$$

ค่าของ T ขึ้นอยู่กับตำแหน่งของจุดภาพ จุดภาพข้างเคียง และค่าระดับเทาของจุดภาพที่ (x, y)



(ก)



(ข)

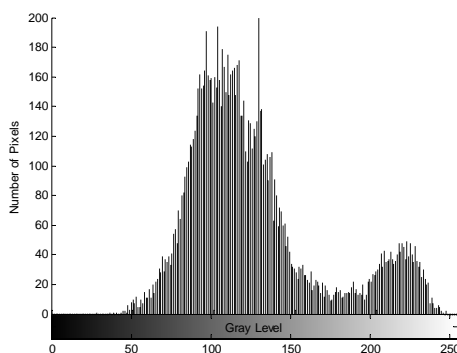


(ค)

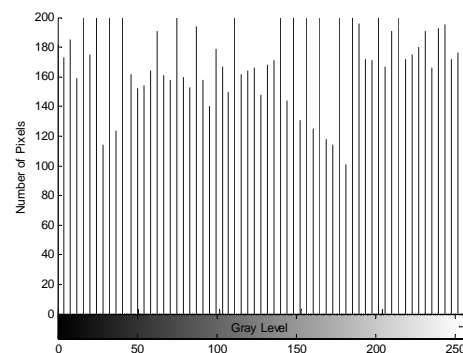
รูปที่ 2.3 ตัวอย่างการหาค่าขีดเริ่มเปลี่ยนของภาพ (ก) ภาพต้นแบบ (ข) ฮิสโทแกรมของค่าระดับเทา และ (ค) ภาพที่ทำการปรับค่าขีดเริ่มเปลี่ยนแล้ว

2.2.3 การปรับสมดุลฮิสโทแกรม (histogram equalization)

การปรับสมดุลฮิสโทแกรม เป็นการปรับฮิสโทแกรมของภาพให้มีการกระจายอย่างสม่ำเสมอ ดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 2.4 ทำให้ความหนาแน่นของจำนวนจุดภาพต่อค่าความเข้มแสงที่ตลอดย่านความเข้มแสง ส่งผลให้วัตถุในภาพมีความเข้มแสงแตกต่างกันจนเห็นได้อย่างชัดเจน สามารถนำไปใช้ได้กับทั้งภาพหรือส่วนใดส่วนหนึ่งของภาพ ดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 2.5 การปรับ



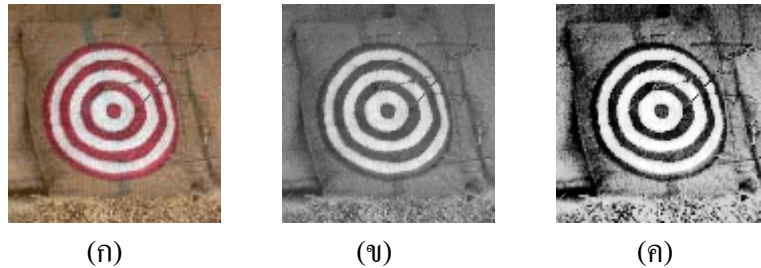
(ก)



(ข)

รูปที่ 2.4 ตัวอย่างการปรับสมดุลฮิสโทแกรม (ก) ฮิสโทแกรมของภาพระดับเทา และ (ข) ฮิสโทแกรมที่ทำการปรับสมดุลแล้ว

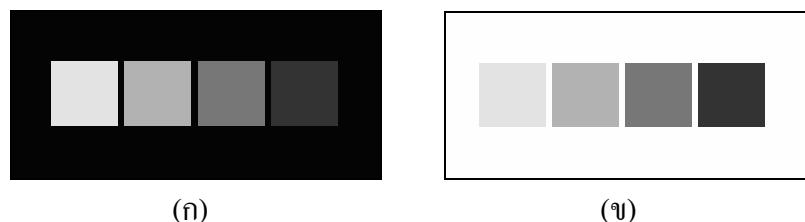
สมมูลฮิสโทแกรมสามารถคำนวณได้จากอัตราส่วนจำนวนจุดภาพรวมกันตั้งแต่ค่าความเข้มแสงต่ำสุดจนถึงค่าความเข้มแสงที่กำลังพิจารณาหารด้วยค่าความเข้มแสงที่จุดนั้น ๆ



รูปที่ 2.5 ตัวอย่างการปรับสมมูลฮิสโทแกรมภาพ (ก) ภาพต้นแบบ (ข) ภาพระดับเทา และ (ค) ภาพที่ทำการปรับสมมูลฮิสโทแกรมแล้ว

2.3 มิติสีต่าง ๆ

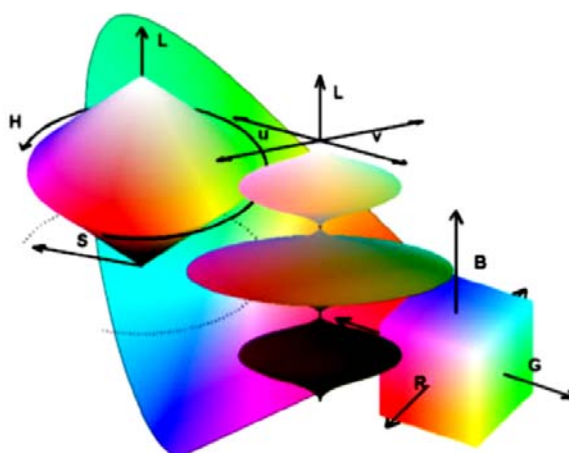
สี หมายถึง แสงที่มากกระทบวัตถุแล้วเกิดการสะท้อนแสงทำให้เห็นเป็นสีต่าง ๆ ประกอบด้วยสีที่สามารถสังเกตุได้ชัด เช่น สีเหลือง ส้ม น้ำตาล แดง ชมพู เขียว น้ำเงิน ม่วง และสีที่ไม่แสดงมีสี เช่น ขาว เทา ซึ่งมีคุณสมบัติ สว่าง ทึบ สุกใส และมีค เป็นต้น สีที่รับรู้ขึ้นอยู่กับการกระจายตัวของสเปกตรัมของสีที่เป็นตัวกระตุ้น ขนาด รูปร่าง โครงสร้าง และสิ่งแวดล้อมการปรับตัวของระบบการมองเห็นของผู้สังเกตุ ประสบการณ์ที่โน้มน้าวใจหรือที่คล้ายคลึงกัน ค่าของสีมีค่านิยมที่แตกต่าง และหลากหลายตามเกณฑ์ที่ใช้วัดต่างกัน ดังตัวอย่างการพิจารณารูปที่ 2.6 ภาพสีเหลืองสีเทา 4 ระดับที่มีสีของภาพพื้นหลังเป็นสีดำ รู้สึกว่ามีสีที่ค่อนข้างสว่างมากกว่าภาพสีเหลืองสีเทา 4 ระดับที่มีสีของภาพพื้นหลังเป็นสีขาว ทั้งที่เป็นภาพสีเหลืองที่มีค่าความเข้มแสงเท่ากัน ความแตกต่างที่เกิดขึ้นแสดงให้เห็นว่าการมองเห็นสีของมนุษย์นั้น นอกจากค่าความเข้มสีแล้วยังขึ้นอยู่กับสีของภาพพื้นหลังด้วย (Poynton, 1998)



รูปที่ 2.6 ผลกระทบของสีที่มีสีของภาพพื้นหลังที่แตกต่างกัน
(ก) ภาพพื้นหลังสีดำ และ (ข) ภาพพื้นหลังสีขาว

ค่าความเข้ม (intensity) ของสี มีหน่วยเป็นวัตต์ต่อหน่วยพื้นที่ที่พิจารณา (watts per unit area rendered) ทั้งนี้บางครั้งค่าความเข้มสีเท่ากันอาจมองเห็นความสว่าง (visual brightness) ของสีแตกต่างกัน ดังนั้นค่าความเข้มของสีจึงแตกต่างกับการมองเห็นความสว่างของสี และการมองเห็นความสว่างของสีใช้ค่าความสว่าง (luminance) ของสีเป็นหน่วยในการวัดปริมาณความสว่าง ค่าความเข้มของสีหรือค่าความสว่างของสีถูกใช้เป็นเกณฑ์ในการวัดค่าของสี ด้วยมาตรวัดที่แตกต่างกันจึงทำให้เกิดแบบจำลองมิตติสีแบบต่าง ๆ ที่หลากหลาย ดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 2.7

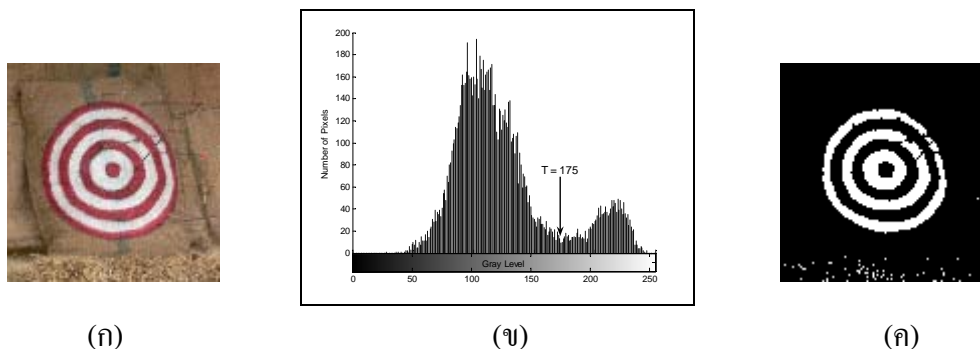
ในงานวิจัยนี้ได้แบ่งกลุ่มมิตติสีตามลักษณะของการนำไปใช้งานเป็น 4 หมวด ได้แก่ *หมวดที่ 1* มิตติสี RGB *หมวดที่ 2* มิตติสีในกลุ่มสี luma และ chroma ได้แก่ มิตติสี Y'P_bP_r หรือ YP_bPr Y'C_bC_r หรือ YCbCr Y'UV หรือ YUV Y'IQ หรือ YIQ Y'D_bD_r หรือ YDbDr และ JPEG-Y'C_bC_r หรือ JPEG-YCbCr *หมวดที่ 3* มิตติสีในกลุ่มสี HSV และ HSL และ *หมวดที่ 4* มิตติสีในกลุ่มสีมาตรฐาน CIE (commission internationale de L'Éclairage) ได้แก่ มิตติสี XYZ L*a*b* หรือ Lab L*u*v* หรือ Luv และ L*ch หรือ Lch และสามารถคำนวณมิตติสีต่าง ๆ (Getreuer, 2006) ได้ดังนี้



รูปที่ 2.7 แบบจำลองมิตติสีแบบต่าง ๆ (Getreuer, 2006)

$$T = T\{x, y, A(x, y), f(x, y)\} \quad (2-5)$$

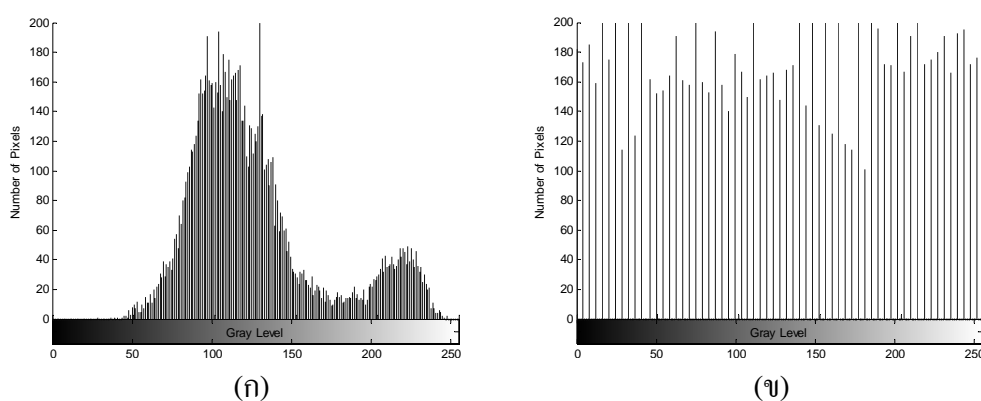
ค่าของ T ขึ้นอยู่กับตำแหน่งของจุดภาพ จุดภาพข้างเคียง และค่าระดับเทาของจุดภาพที่ (x, y)



รูปที่ 2.3 ตัวอย่างการหาค่าขีดเริ่มเปลี่ยนของภาพ (ก) ภาพต้นแบบ (ข) ฮิสโทแกรมของค่าระดับเทา และ (ค) ภาพที่ทำการปรับค่าขีดเริ่มเปลี่ยนแล้ว

2.2.3 การปรับสมดุลฮิสโทแกรม (histogram equalization)

การปรับสมดุลฮิสโทแกรม เป็นการปรับฮิสโทแกรมของภาพให้มีการกระจายอย่างสม่ำเสมอ ดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 2.4 ทำให้ความหนาแน่นของจำนวนจุดภาพต่อค่าความเข้มแสงที่ตลอดย่านความเข้มแสง ส่งผลให้วัตถุในภาพมีความเข้มแสงแตกต่างกันจนเห็นได้อย่างชัดเจน สามารถนำไปใช้ได้กับทั้งภาพหรือส่วนใดส่วนหนึ่งของภาพ ดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 2.5 การปรับ



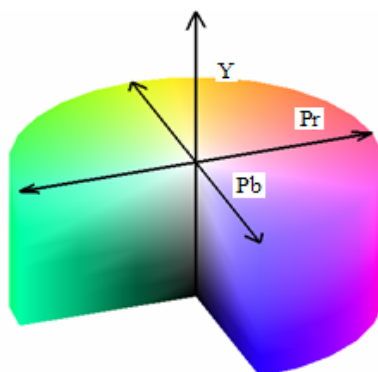
รูปที่ 2.4 ตัวอย่างการปรับสมดุลฮิสโทแกรม (ก) ฮิสโทแกรมของภาพระดับเทา และ (ข) ฮิสโทแกรมที่ทำการปรับสมดุลแล้ว

2.3.2 มิติสี YPbPr

YPbPr เป็นมิติสีในหมวดสี luma และ chroma ซึ่ง luma เป็นหมวดสีที่มีค่าความสว่างของมิติสี ซึ่งนิยามโดยสหภาพโทรคมนาคม (international telecommunication union) หรือ ITU ตามมาตรฐาน BT.601-4 ดังสมการที่ (2-6)

$$Y = 0.299 * R + 0.587 * G + 0.114 * B \quad (2-6)$$

มิติสีย่อย Y ใช้แทนหมวดสีของ luma ซึ่งมีค่าขึ้นอยู่กับสัดส่วนตัวคูณในแต่ละมิติสี ได้แก่ มิติสี YPbPr YCbCr JPEG-YCbCr YUV YIQ และ YDbDr ส่วนมิติสีย่อยที่เหลือในแต่ละมิติสีเป็นหมวดสี chroma ซึ่งเป็นหมวดสีที่มีค่าไม่ขึ้นกับค่าความสว่างของมิติสีหรือค่าของหมวดสี luma (Poynton, 1997)



รูปที่ 2.9 แบบจำลองมิติสี YPbPr (Getreuer, 2006)

มิติสีย่อย Y Pb และ Pr สามารถคำนวณจากมิติสีย่อย R G และ B ตามลำดับ ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง $[0, 1]$ ดังสมการที่ (2-7)

$$\begin{bmatrix} Y \\ Pb \\ Pr \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ -0.1687367 & -0.331264 & 0.5 \\ 0.5 & -0.418688 & -0.081312 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (2-7)$$

โดยที่ มิติสีย่อย Y มีค่าอยู่ในช่วง $[0, 1]$

มิติสีย่อย Pb และ Pr มีค่าอยู่ในช่วง $[-0.5, 0.5]$

2.3.3 มิตีสี YCbCr

มิตีสี YCbCr ประกอบด้วย มิตีสีย่อย Y แทนค่าความสว่างของสี มิตีสีย่อย Cb และ Cr แทนค่าความต่างของสีน้ำเงินและสีแดงเมื่อเทียบกับ Y ตามลำดับ กำหนดให้มิตีสีย่อย R G และ B มีค่าอยู่ในช่วง $[0, 255]$ มิตีสีย่อย Y Cb และ Cr สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (2-8)

$$\begin{bmatrix} Y \\ Cb \\ Cr \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 16 \\ 128 \\ 128 \end{bmatrix} + 1/256 \begin{bmatrix} 65.738 & 129.057 & 25.064 \\ -37.945 & 74.494 & 112.439 \\ 112.439 & -94.154 & 18.285 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (2-8)$$

โดยที่ มิตีสีย่อย Y มีค่าอยู่ในช่วง $[16, 235]$

มิตีสีย่อย Cb และ Cr มีค่าอยู่ในช่วง $[16, 240]$

2.3.4 มิตีสี JPEG-YCbCr

มิตีสี JPEG-YCbCr เป็นมิตีสีที่มีค่าจากการปรับสัดส่วนตัวคูณจากมิตีสี YPbPr นิยมใช้กับภาพประเภท JPEG ซึ่งแต่ละมิตีสีย่อยเป็นค่าชนิด 8 บิต ทำให้มีค่าอยู่ในช่วง $[0, 255]$ สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (2-9)

$$\begin{bmatrix} Y \\ Cb \\ Cr \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 128 \\ 128 \end{bmatrix} + 255 \begin{bmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ -0.1687367 & -0.331264 & 0.5 \\ 0.5 & -0.418688 & -0.081312 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (2-9)$$

โดยที่มิตีสีย่อย Y Cb และ Cr มีค่าอยู่ในช่วง $[0, 255]$

2.3.5 มิตีสี YDbDr

กำหนดให้มิตีสีย่อย R G และ B มีค่าอยู่ในช่วง $[0, 1]$ มิตีสีย่อย Y Db Dr นิยมใช้กับโทรทัศน์ในระบบ SECAM สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (2-10)

$$\begin{bmatrix} Y \\ Db \\ Dr \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ -0.450 & -0.883 & 1.333 \\ -1.333 & 1.116 & 0.217 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (2-10)$$

โดยที่ มิตีสีย่อย Y มีค่าอยู่ในช่วง $[0, 1]$
 มิตีสีย่อย D_b และ D_r มีค่าอยู่ในช่วง $[-1.333, 1.333]$

2.3.6 มิตีสีย่อย YUV

กำหนดให้มิตีสีย่อย R G และ B มีค่าอยู่ในช่วง $[0, 1]$ มิตีสีย่อย YUV นิยมใช้กับโทรทัศน์ในระบบ PAL สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (2-11)

$$\begin{bmatrix} Y \\ U \\ V \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ -0.14713 & -0.28886 & 0.436 \\ 0.615 & -0.51499 & 0.10001 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (2-11)$$

โดยที่ มิตีสีย่อย Y มีค่าอยู่ในช่วง $[0, 1]$
 มิตีสีย่อย U มีค่าอยู่ในช่วง $[-0.436, 0.436]$
 มิตีสีย่อย V มีค่าอยู่ในช่วง $[-0.615, 0.615]$

2.3.7 มิตีสีย่อย YIQ

กำหนดให้มิตีสีย่อย R G และ B มีค่าอยู่ในช่วง $[0, 1]$ มิตีสีย่อย YIQ นิยมใช้กับโทรทัศน์ในระบบ NTSC สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (2-12)

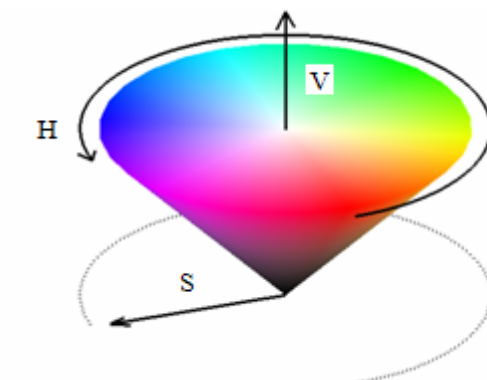
$$\begin{bmatrix} Y \\ I \\ Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ 0.595716 & -0.274453 & -0.321263 \\ 0.211456 & -0.522591 & 0.311135 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (2-12)$$

โดยที่ มิตีสีย่อย Y มีค่าอยู่ในช่วง $[0, 1]$
 มิตีสีย่อย I มีค่าอยู่ในช่วง $[-0.5957, 0.5957]$

2.3.8 มิตีสีย่อย HSV

มิตีสีย่อย HSV (hue saturation value) เป็นมิตีสีย่อยระบบหนึ่งประกอบด้วย มิตีสีย่อย H (hue) คือค่าความเข้มสี สามารถวัดได้จากมุมของแบบจำลองวงล้อมิตีสีย่อย HSV มิตีสีย่อย S (saturation) คือ

ค่าความอิ่มตัวของสี เป็นระดับความสดและความหมองที่เกิดขึ้นจากการผสมกัน และมิติสีย่อย V (value) คือ ค่าความสว่างของสี



รูปที่ 2.10 แบบจำลองมิติสี HSV (Getreuer, 2006)

กำหนดให้มิติสีย่อย R G และ B มีค่าอยู่ในช่วง $[0, 1]$ และกำหนดให้ค่า \max หมายถึงค่าที่มากที่สุดของมิติสีย่อย R G หรือ B และค่า \min หมายถึง ค่าที่น้อยที่สุดของมิติสีย่อย R G หรือ B มิติสี HSV สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (2-13) ถึง (2-15)

$$H = \left\{ \begin{array}{ll} \text{undefined} & \text{if } \max = \min \\ 60^\circ \times \frac{G - B}{\max - \min} + 0^\circ & \text{if } \max = R \text{ and } G \geq B \\ 60^\circ \times \frac{G - B}{\max - \min} + 360^\circ & \text{if } \max = R \text{ and } G < B \\ 60^\circ \times \frac{B - R}{\max - \min} + 120^\circ & \text{if } \max = G \\ 60^\circ \times \frac{R - G}{\max - \min} + 240^\circ & \text{if } \max = B \end{array} \right\} \quad (2-13)$$

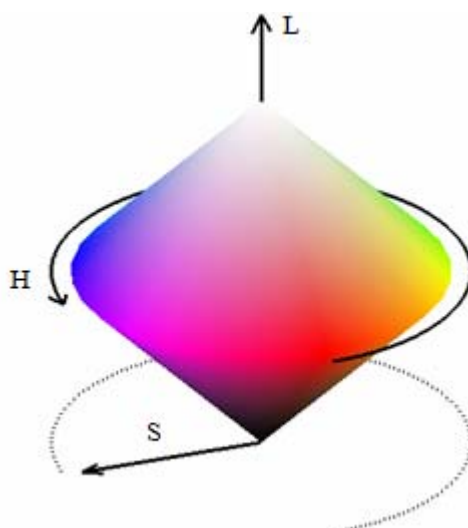
$$S = \left\{ \begin{array}{ll} 0 & \text{if } \max = 0 \\ \frac{\max - \min}{\max} = 1 - \frac{\min}{\max} & \text{otherwise} \end{array} \right\} \quad (2-14)$$

$$V = \max \quad (2-15)$$

โดยที่ มิติสีย่อย H มีค่าอยู่ในช่วง $[0, 360]$
 มิติสีย่อย S และ V มีค่าอยู่ในช่วง $[0, 1]$

2.3.9 มิติสี HSL

มิติสี HSL (hue saturation lightness) หรือมิติสี HSI (hue saturation intensity) มีนิยามใกล้เคียงกับมิติสี HSV ประกอบด้วยมิติสีย่อยทั้งหมด 3 มิติสีย่อย ได้แก่ มิติสีย่อย H (hue) แสดงความเข้มของสี มิติสีย่อย S (saturation) แสดงความอิ่มตัวของสี และมิติสีย่อย L (lightness) แสดงความขาวของสี



รูปที่ 2.11 แบบจำลองมิติสี HSL (Getreuer, 2006)

กำหนดให้มิติสีย่อย R G และ B มีค่าอยู่ในช่วง $[0, 1]$ และกำหนดให้ค่า \max หมายถึงค่าที่มากที่สุดของมิติสีย่อย R G หรือ B และค่า \min หมายถึงค่าที่น้อยที่สุดของมิติสีย่อย R G หรือ B มิติสี HSL สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (2-16) ถึง (2-18)

$$H = \left\{ \begin{array}{ll} \text{undefined} & \text{if } \max = \min \\ 60^\circ \times \frac{G - B}{\max - \min} + 0^\circ & \text{if } \max = R \text{ and } G \geq B \\ 60^\circ \times \frac{G - B}{\max - \min} + 360^\circ & \text{if } \max = R \text{ and } G < B \\ 60^\circ \times \frac{B - R}{\max - \min} + 120^\circ & \text{if } \max = G \\ 60^\circ \times \frac{R - G}{\max - \min} + 240^\circ & \text{if } \max = B \end{array} \right\} \quad (2-16)$$

$$S = \left\{ \begin{array}{ll} 0 & \text{if } L = 0 \text{ or } \max = \min \\ \frac{\max - \min}{\max + \min} = \frac{\max - \min}{2L} & \text{if } 0 < L \leq \frac{1}{2} \\ \frac{\max - \min}{2 - (\max + \min)} = \frac{\max - \min}{2 - 2L} & \text{if } L > \frac{1}{2} \end{array} \right\} \quad (2-17)$$

$$L = \frac{1}{2}(\max + \min) \quad (2-18)$$

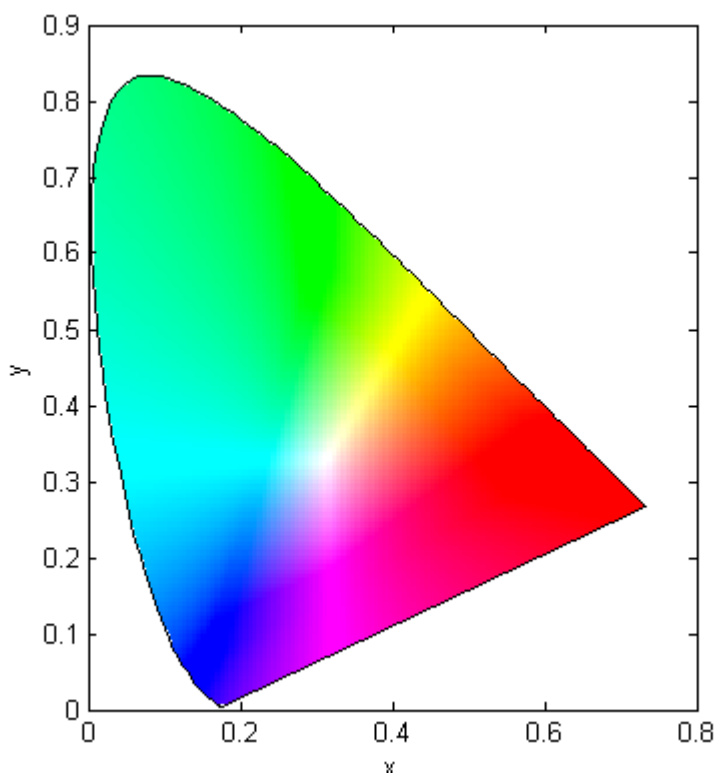
โดยที่ มิตีสีย่อย H มีค่าอยู่ในช่วง $[0, 360]$

มิตีสีย่อย S และ L มีค่าอยู่ในช่วง $[0, 1]$

2.3.10 มิตีสี XYZ

หมวดสีมาตรฐาน CIE ถูกกำหนดให้เป็นระบบสีมาตรฐานใช้สำหรับการพิมพ์ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1931 เพื่อให้ระบบการพิมพ์มีความแม่นยำของสีสูงเนื่องจากการแสดงสีไม่ขึ้นกับอุปกรณ์ มิตีสีที่อยู่ในหมวดสีมาตรฐาน CIE ได้แก่ มิตีสี XYZ Lab Luv และ Lch มิตีสี XYZ มีความสัมพันธ์เชิงเส้นกับมิตีสี RGB (Poynton, 1998) ดังสมการที่ (2-19)

หมวดสีมาตรฐาน CIE มีแบบจำลองปริภูมิสี ดังแสดงในรูปที่ 2.12 ซึ่งแกน x และ y สามารถคำนวณได้จาก $x = \frac{X}{X + Y + Z}$ และ $y = \frac{Y}{X + Y + Z}$



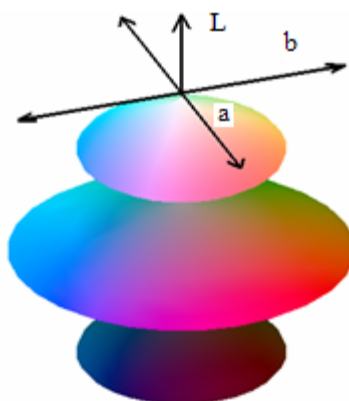
รูปที่ 2.12 แบบจำลองปริภูมิสี CIE (Getreuer, 2006)

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \frac{1}{0.17697} \begin{bmatrix} 0.49 & 0.31 & 0.20 \\ 0.17697 & 0.81240 & 0.01063 \\ 0.00 & -0.01 & 0.99 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (2-19)$$

นอกจากนี้มิติสี XYZ ยังเป็นพื้นฐานของมิติสีอื่น ได้แก่ มิติสี Lab (CIELAB) มิติสี Luv (CIELUV) และ มิติสี Lch เมื่อกำหนด X_n Y_n Z_n เป็นค่าอ้างอิงจากมิติสี XYZ ตามมาตรฐาน D_{65} โดยที่ X_n Y_n Z_n มีค่าเท่ากับ 0.950456 1 และ 1.088754 ตามลำดับ

2.3.11 มิติสี Lab

สามารถคำนวณมิติสีย่อย L (lightness) ซึ่งแสดงค่าความสว่างของสีและมีค่าอยู่ในช่วง $[0, 100]$ มิติสีย่อย a ซึ่งแสดงค่าสีเขียวถึงแดง มิติสีย่อย B ซึ่งแสดงค่าสีน้ำเงินถึงเหลืองได้ดังสมการที่ (2-20) ถึง (2-22)



รูปที่ 2.13 แบบจำลองมิติสี Lab (Getreuer, 2006)

$$L = 116f(Y/Y_n) - 16 \quad (2-20)$$

$$a = 500[f(X/X_n) - f(Y/Y_n)] \quad (2-21)$$

$$b = 200[f(Y/Y_n) - f(Z/Z_n)] \quad (2-22)$$

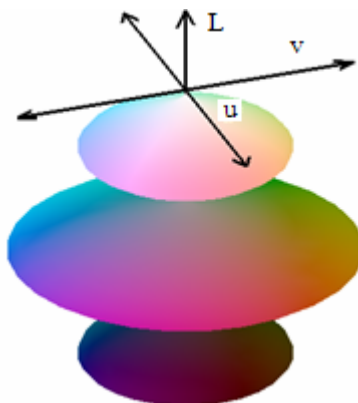
โดยที่กำหนด

$$f(t) = t^{1/3} \quad \text{เมื่อ } t > 0.008856$$

$$f(t) = 7.787t + 16/116 \quad \text{เมื่อ } t \leq 0.008856$$

2.3.12 มิติสี Luv

จากมาตรฐาน CIE 1976 มิติสี Luv (CIELUV) สามารถคำนวณได้จากมิติสี XYZ เป็นสมการที่ไม่เป็นเชิงเส้น ดังสมการที่ (2-23) ถึง (2-25)



รูปที่ 2.14 แบบจำลองมิติสี Luv (Getreuer, 2006)

$$L = 116 (Y/Y_n)^{1/3} - 16 \quad \text{เมื่อ } Y/Y_n > (6/29)^3 \quad (2-23)$$

$$u = 13L(u' - u'_n) \quad (2-24)$$

$$v = 13L(v' - v'_n) \quad (2-25)$$

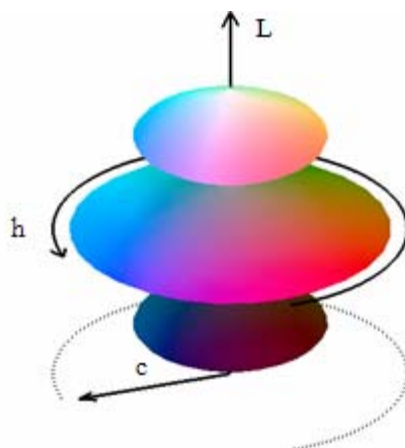
โดยกำหนด $u' = 4X / (X + 15Y + 3Z) = 4x / (-2x + 12y + 3)$

$$v' = 9Y / (X + 15Y + 3Z) = 9Y / (-2x + 12y + 3)$$

เมื่อค่า u'_n และ v'_n เป็นค่าพิกัดสีที่ได้จากจุดขาวสุด (white point) ตามมาตรฐาน CIE 1976

2.3.13 มิติสี Lch

สามารถคำนวณมิติสีย่อย L (lightness) ซึ่งแสดงค่าความสว่างของสีซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง [0, 100] มิติสีย่อย c และมิติสีย่อย h ได้จากมิติสี Lab ดังสมการที่ (2-26)



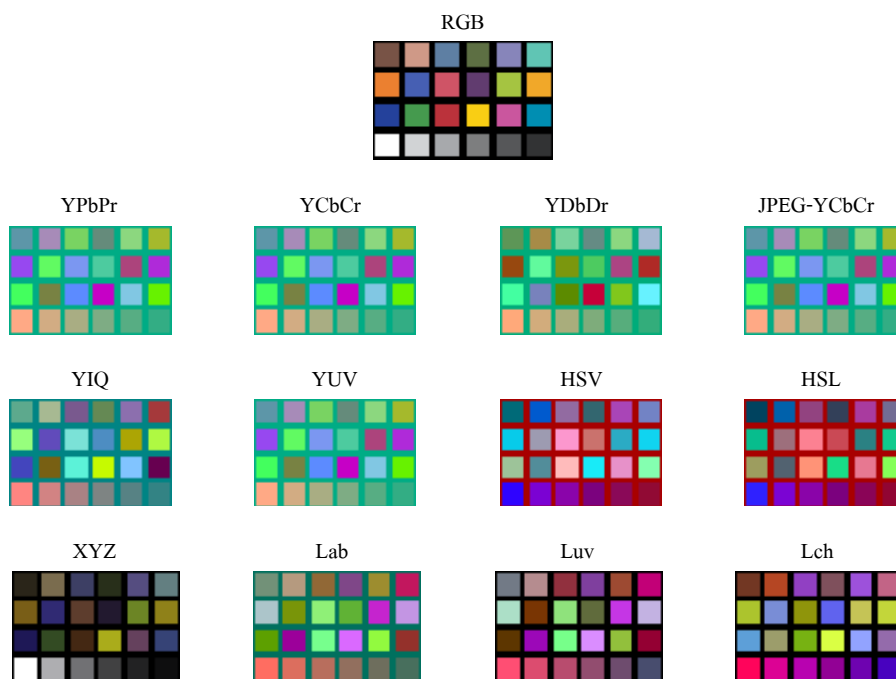
รูปที่ 2.15 แบบจำลองมิติสี Lch (Getreuer, 2006)

$$L = L \quad c = \sqrt{a^2 + b^2} \quad \text{และ} \quad h = \tan^{-1}\left(\frac{b}{a}\right) \quad (2-26)$$

เมื่อ h มีค่าน้อยกว่า 0° กำหนดให้ $h = h + 360^\circ$
 หรือ ถ้า h มีค่ามากกว่า 360° กำหนดให้ $h = h - 360^\circ$

2.3.14 การใช้งานมิติสีต่าง ๆ

มิติสีที่แตกต่างกันทำให้สามารถแสดงลักษณะของสีได้แตกต่างกัน ดังแสดงตัวอย่างเปรียบเทียบตารางแถบสีในมิติสีต่าง ๆ ในรูปที่ 2.16 เห็นได้ว่าตัวอย่างสีในตารางแถบสีจากมิติสี RGB แตกต่างกับสีในตารางแถบสีเดียวกันจากมิติอื่น ๆ ซึ่งความหลากหลายของมิติสีนี้เกิดจากการนำมิติสีไปใช้งานที่แตกต่างกันตามลักษณะของอุปกรณ์และจุดประสงค์ที่นำไปใช้งาน ดังแสดงตัวอย่างการใช้งานมิติสีต่าง ๆ ในตารางที่ 2.2



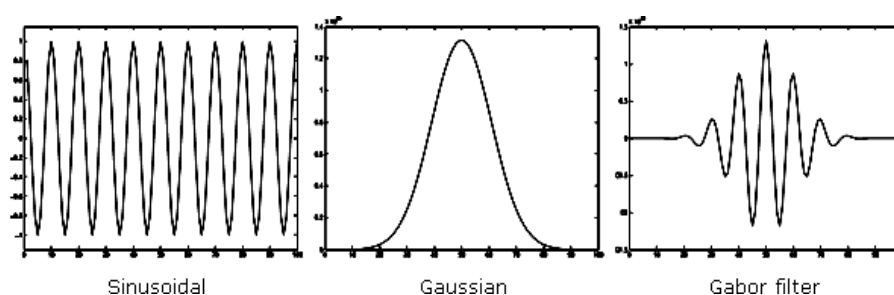
รูปที่ 2.16 เปรียบเทียบตารางแถบสีในมิติสีต่างๆ

ตารางที่ 2.2 การใช้งานมิติสีในด้านต่าง ๆ

มิติสี	การนำไปใช้งาน
RGB	ใช้งานแสดงผลกับจอคอมพิวเตอร์
YCbCr YUV YIQ YDbDr	ใช้งานในระบบกล้องดิจิทัลและใช้งานในระบบโทรทัศน์
HSV HSL	ใช้งานในด้านศิลปะและการระบุสีของมนุษย์
XYZ Lab Luv Lch	ใช้เป็นมาตรฐานสีที่สามารถจัดหมวดหมู่สี ซึ่งสัมพันธ์กับการมองเห็นของมนุษย์มากที่สุด

2.4 ตัวกรองกาบอร์แบบลอการิทึม (log-Gabor filters)

ตัวกรองกาบอร์ (gabor filter) หรือ GF เป็นเทคนิคการแปลงเวฟเลต (wavelet transform) รูปแบบหนึ่ง นำเสนอขึ้นเป็นครั้งแรกในปี ค.ศ. 1946 โดยชาวเยอรมัน (Gabor, 1946) เทคนิคดังกล่าวเป็นเทคนิคที่มีชื่อเสียงและได้รับการยอมรับอย่างกว้างขวางจนได้รับรางวัลโนเบลด้านการคิดค้นฮอโลกราฟี (inventing holography) ในเวลาต่อมาตัวกรองกาบอร์มีแนวคิดเริ่มต้นจากการพิจารณาระบบการมองเห็นของคนว่าเป็นระบบที่จำแนกพื้นผิวได้อย่างทันทานติเยี่ยม นำไปสู่การตั้งทฤษฎีการเข้าใจพื้นผิวของคน ซึ่งได้รับการสนับสนุนอย่างมากมายทั้งข้อมูลด้านจิตวิทยาและประสาทวิทยา ซึ่งมีแบบจำลองการคำนวณที่พัฒนามาจากการทดลองทางด้านชีววิทยาและจิตวิทยาที่เกี่ยวข้องกับระบบการมองเห็นที่มีส่วนใกล้เคียงกับสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม ทฤษฎีดังกล่าวมาจากการพิจารณาว่าโดยพื้นฐานแล้วข้อมูลภาพสามารถพิจารณาได้เป็น 2 แบบ คือ แบบที่หนึ่งพิจารณาในเชิงพื้นที่ (spatial domain) มองภาพว่าเป็นที่รวมของจุดภาพต่าง ๆ แต่ละจุดภาพมีระยะห่างจากจุดเริ่มต้นแตกต่างกัน และ แบบที่สองพิจารณาในเชิงความถี่ (frequency domain) มองภาพว่าเป็นผลรวมของสัญญาณรูปไซน์ที่มีอยู่อย่างไร้ขอบเขตจำกัด ในงานวิจัยได้พิจารณาภาพในเชิงพื้นที่และในเชิงความถี่เข้าด้วยกันเพื่อค้นหาดินแดนที่มีพื้นผิวแตกต่าง คล้ายคลึงหรือผิดเพี้ยนไปจากเดิม



รูปที่ 2.17 ฟังก์ชันกาบอร์ 1 มิติ

ตัวกรองกาบอร์สามารถอธิบายได้ด้วยฟังก์ชันผลตอบสนองอิมพัลส์ (impulse response function) ซึ่งได้จากฟังก์ชันเกาส์เซียนมอดูเลตกับสัญญาณรูปคลื่นไซน์ ฟังก์ชันกาบอร์ 2 มิติสามารถพิจารณาได้ตามสมการที่ (2-27) ทางเลือกหนึ่งของฟังก์ชันกาบอร์ คือ ฟังก์ชันกาบอร์แบบลอการิทึม (log Gabor function) หรือ LGF ซึ่งคิดค้นโดย Field (1987) ได้เสนอว่า สำหรับภาพโดยทั่วไปแล้วเมื่อผ่านตัวกรองที่มีฟังก์ชันเกาส์เซียนบนแกนความถี่แบบลอการิทึมให้ผล

การประมวลผลที่ดีกว่าการใช้ฟังก์ชันเกาส์เซียนแบบปกติซึ่งใช้แกนความถี่แบบเชิงเส้นฟังก์ชันกานอร์แบบลอการิทึมสามารถพิจารณาได้ตามสมการที่ (2-28)

$$GF(x, y) = \underbrace{\frac{1}{2\pi\sigma_x\sigma_y} \exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{x^2}{\sigma_x^2} + \frac{y^2}{\sigma_y^2}\right)\right)}_{\text{Gaussian envelope}} \underbrace{\exp(j2\pi Wx)}_{\text{sinusoid}} \quad (2-27)$$

โดยที่ W คือ ความถี่มอดูเลต (modulation frequency) ของฟังก์ชันกานอร์
 σ_x, σ_y คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของ Gaussian envelope ตามแนวแกน x และ y

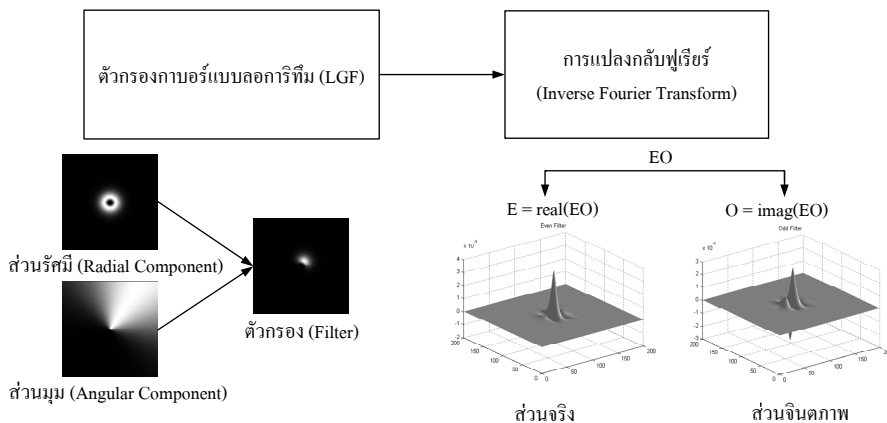
$$LGF(w) = \exp((- \log(w/w_0)^2)/(2(\log(k/w_0))^2)) \quad (2-28)$$

โดยที่ w_0 คือ ความถี่ศูนย์กลางตัวกรอง
 k/w_0 คือ อัตราส่วนที่ใช้ในการกำหนดค่า octave ของตัวกรอง

ที่อัตราส่วน k/w_0 เท่ากับ 0.74, 0.55 และ 0.41 ให้ความกว้างแถบความถี่ (bandwidth) ตัวกรองประมาณ 1, 2 และ 3 octave ตามลำดับ ซึ่ง octave เป็นหน่วยที่ใช้วัดความถี่เชิงมุม 2 ค่าใด ๆ โดยค่า 1 octave มีค่าเป็นสองเท่าหรือครึ่งหนึ่งของความถี่ที่พิจารณาอยู่ ลักษณะเด่นของการใช้ฟังก์ชันกานอร์แบบลอการิทึม คือ ไม่ทำให้เกิดองค์ประกอบ DC (DC component) และส่วนปลายของสัญญาณที่ได้จากฟังก์ชันแผ่ขยายไปที่ตำแหน่งความถี่สูงทำให้ตัวกรองกานอร์แบบลอการิทึมมีความสามารถในการประมวลผลภาพทั่วไปได้อย่างมีประสิทธิภาพมากกว่าการใช้ตัวกรองกานอร์แบบปกติที่มีฟังก์ชันเกาส์เซียนบนแกนความถี่แบบเชิงเส้น

ในการประมวลผลภาพนำชุดตัวกรองที่สร้างขึ้นทำการสังวัตนาการ (convolution) กับภาพที่ผ่านการแปลงฟูเรียร์ (Fourier transform) แล้ว ซึ่งเป็นการทำงานในโดเมนความถี่ จากนั้นนำภาพที่ได้ไปแปลงฟูเรียร์กลับ (inverse Fourier transform) เพื่อให้ข้อมูลภาพกลับมาอยู่ในโดเมนเวลา แต่ละจุดภาพ (pixel) หรือ x ที่ได้จากภาพผ่านการกรองเป็นจำนวนเชิงซ้อนซึ่งเกิดจากตัวกรองฟังก์ชันคู่ (even function filter) และตัวกรองฟังก์ชันคี่ (odd function filter) ภาพ $e_n(x)$ เป็นภาพที่ได้จากค่าส่วนจริงของภาพผ่านการกรองซึ่งเป็นผลมาจากตัวกรองฟังก์ชันคู่มีลักษณะภาพที่ตอบสนองต่อกลุ่มสีของวัตถุได้ดีทำให้ภาพกลุ่มสีของวัตถุมีลักษณะเด่นชัดเจนขึ้น ภาพ $o_n(x)$ เป็นภาพที่ได้จากค่าส่วน

จินตภาพของภาพผ่านการกรองซึ่งเป็นผลมาจากตัวกรองฟังก์ชันคี่ มีลักษณะตอบสนองต่อกลุ่มเส้นขอบของวัตถุได้ดี ดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 2.19 จากนั้นสามารถคำนวณขนาด (amplitude) หรือ A ของภาพที่ผ่านการกรองได้จากสมการที่ (2-29)

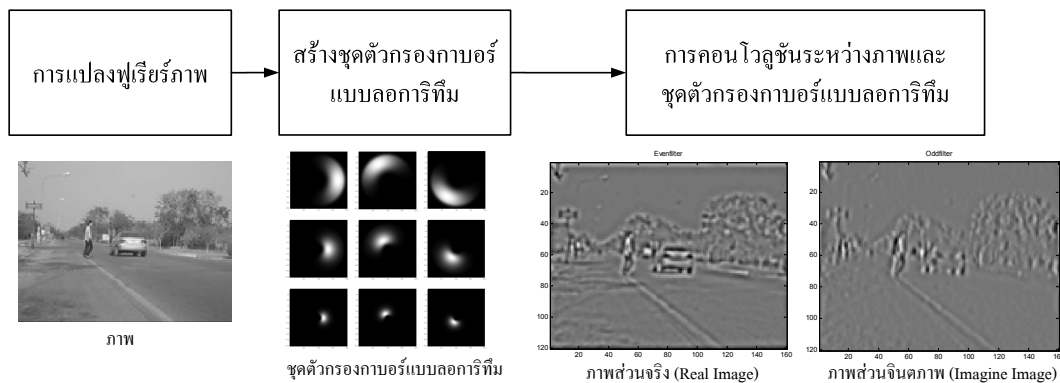


รูปที่ 2.18 ลักษณะของตัวกรองกาบอร์แบบลอการิทึม

$$A_n(x) = \sqrt{e_n(x)^2 + o_n(x)^2} \tag{2-29}$$

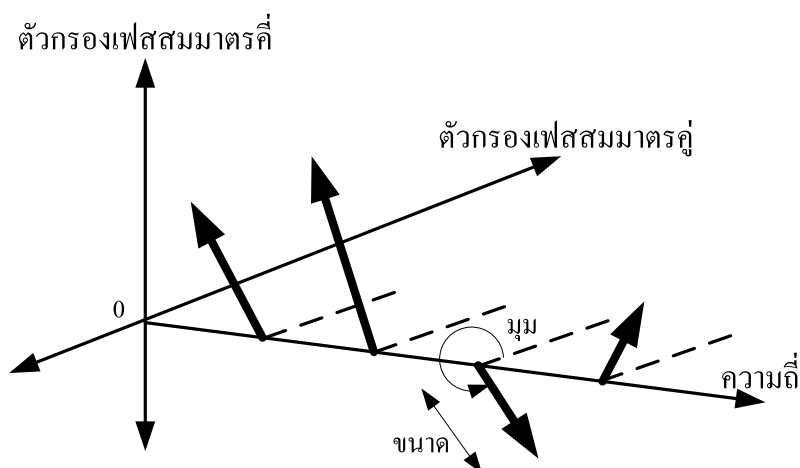
เมื่อ n คือ จำนวนตัวกรองที่ใช้และสามารถคำนวณเฟส (Φ) ของภาพได้จากสมการที่ (2-30)

$$\Phi_n(x) = \tan^{-1}(e_n(x)/o_n(x)) \tag{2-30}$$



รูปที่ 2.19 การใช้ตัวกรองกาบอร์แบบลอการิทึมกับภาพ

หลังจากนำภาพผ่านตัวกรองภาพแบบลอการิทึมได้ภาพในโดเมนความถี่ซึ่งประกอบด้วยจุดแฉกเวกเตอร์ที่มีขนาดและมุมต่าง ๆ รอบแกนความถี่ ซึ่งมีขนาดเท่ากับความยาวของเวกเตอร์และเฟสเท่ากับมุมของเวกเตอร์เมื่อเทียบกับแกนตัวกรองเฟสสมมาตรคู่ ดังแสดงในรูปที่ 2.20



รูปที่ 2.20 ตัวอย่างเวกเตอร์ของภาพที่ผ่านตัวกรองซึ่งมีขนาดและมุมต่าง ๆ

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เนื่องจากอุบัติเหตุทางจราจรทำให้เกิดความเสียหายทั้งชีวิตและทรัพย์สิน ดังนั้นจึงได้มีการวิจัยการตรวจจับภาพคนเดินถนนเพื่อช่วยรักษาความปลอดภัยของทั้งผู้ขับขี่และคนเดินถนนอย่างต่อเนื่องและมากมาย เทคโนโลยีและตัวรับรู้ (sensor) ประเภทต่าง ๆ ได้นำมาใช้ในงานวิจัย ได้แก่

1) ตัวรับรู้ตัวเก็บประจุ (capacitance sensor) และตัวรับรู้สนามไฟฟ้า (electric field sensor) มีจุดเด่น คือ สามารถตรวจจับได้โดยไม่ต้องสัมผัสวัตถุเป้าหมายและใช้วิธีการตรวจจับคุณสมบัติเฉพาะของวัตถุนั้น แต่มีข้อจำกัดด้านระยะเวลาใช้งานที่ต่ำเกินไปเมื่อนำไปใช้งานจริง

2) ตัวรับรู้เรดาร์ (radar sensor) มีจุดเด่น คือ สามารถตรวจจับความเร็วและทิศทางของวัตถุเป้าหมายได้จากการเลื่อนดอปเปลอร์ (doppler shift) วิเคราะห์ข้อมูลที่ได้ แต่มีข้อจำกัดคือไม่สามารถตรวจจับวัตถุเป้าหมายที่ไม่มีการเคลื่อนที่ได้ และคลื่นที่ใช้อาจส่งผลกระทบต่อวัตถุเป้าหมาย

3) ตัวรับรู้อัลตราโซนิก (ultrasonic sensor) มีจุดเด่น คือ สามารถตรวจจับวัตถุเป้าหมายได้แม้มีสิ่งกีดขวางอื่นปิดบัง สามารถใช้งานได้ทั้งระยะต่าง ๆ และไม่ส่งผลกระทบต่อวัตถุเป้าหมายแต่มีข้อจำกัดคือความเร็วของคลื่นเสียงซึ่งขึ้นอยู่กับปัจจัยด้านอุณหภูมิและความดันของตัวกลางที่ผ่านและไม่สามารถใช้งานได้เมื่อตัวกลางมีอุณหภูมิต่ำมาก

4) ตัวรับรู้อินฟราเรด (optical IR sensor) มีจุดเด่น คือ ไม่มีผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงของแสงสว่างและสามารถตรวจวัดอุณหภูมิของวัตถุเป้าหมายได้อีกด้วย แต่มีข้อจำกัดด้านการตรวจจับวัตถุเป้าหมายที่มีคุณสมบัติทางความร้อนใกล้เคียงกัน

5) ตัวรับรู้การวิเคราะห์เลเซอร์ (laser scanner sensor) และตัวรับรู้เลเซอร์เรดาร์ (laser radar sensor) มีจุดเด่นคือให้ข้อมูลภาพที่หลากหลาย และสามารถนำไปใช้งานได้มีประสิทธิภาพทั้งการตรวจจับวัตถุกีดขวางและการติดตามการเคลื่อนที่ของวัตถุเป้าหมาย แต่มีข้อจำกัดด้านราคาของอุปกรณ์

6) คอมพิวเตอร์วิทัศน์ (computer vision) ใช้กล้องเป็นเครื่องมือในการจับภาพและใช้การประมวลผลภาพ (image processing) ในการวิเคราะห์และประมวลผลภาพที่ได้ สามารถใช้ได้ทั้งภาพสีและภาพขาวดำ มีจุดเด่น คือ ให้ข้อมูลภาพที่หลากหลาย สามารถนำไปใช้งานได้มีประสิทธิภาพทั้งการตรวจจับวัตถุกีดขวางและการติดตามการเคลื่อนที่ของวัตถุเป้าหมาย และมีราคาของอุปกรณ์ที่ไม่สูงนัก แต่มีข้อจำกัดด้านผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงของแสง

เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลของตัวรับรู้ประเภทต่าง ๆ แล้วพบว่า การใช้คอมพิวเตอร์วิทัศน์โดยการใช้กระบวนการทางภาพเป็นเทคโนโลยีที่น่าสนใจ สะดวกในการนำไปติดตั้งและประยุกต์ใช้งานจริงและสามารถใช้เป็นวิธีการหลักในการช่วยเพิ่มความปลอดภัยในการขับขี่รถยนต์ เช่น การตรวจจับภาพคนเดินถนนการตรวจจับป้ายสัญญาณจราจร การตรวจจับถนนเส้นทางเดินรถ และการตรวจจับภาพรถยนต์ เป็นต้น

การตรวจจับภาพคนเดินถนนโดยรับภาพจากกล้องและใช้คอมพิวเตอร์ในการประมวลผลเป็นวิธีการที่มีพื้นฐานจากประสบการณ์การเรียนรู้ของคน ความสามารถในการรู้ เข้าใจ และคัดแยกความหมายของวัตถุต่าง ๆ ภายในภาพของคนถือเป็นตัวอย่างที่แสดงถึงประสิทธิภาพสูงสุดของระบบนี้ ถึงแม้ว่ากล้องสามารถบันทึกภาพได้ข้อมูลต่าง ๆ ที่หลากหลาย แต่ภาพที่ได้ไม่สามารถนำข้อมูลมาใช้ได้โดยตรงต้องอาศัยการกรองข้อมูลเพิ่มเติม ซึ่งการกรองข้อมูลจากภาพคนเดินถนนนั้นเป็นเรื่องที่ค่อนข้างยุ่งยากและซับซ้อนเนื่องมาจากปัจจัยต่าง ๆ ดังนี้

- การตรวจจับภาพคนเดินถนนอยู่ในสภาวะสิ่งแวดล้อมกลางแจ้งมีองค์ประกอบที่ซับซ้อนและไม่สามารถควบคุมได้ รวมถึงการเปลี่ยนแปลงของแสงสว่างภายในภาพซึ่งอาจเกิดจากสภาพอากาศ ตำแหน่งของดวงอาทิตย์ และส่วนมากคนเดินถนนพบในย่านที่มีการจราจรหนาแน่นในตัวเมืองมีพื้นหลังที่หลากหลายและซับซ้อน เช่น อาคาร รถยนต์ ต้นไม้ เสาและป้ายต่าง ๆ เป็นต้น
- ความหลากหลายของลักษณะรูปร่างคนอันเนื่องมาจาก ชุดแต่งกาย ท่าทาง การเคลื่อนไหว ขนาดของร่างกาย สีผิวและเงา

- ถ้าติดตั้งกล้องในรถยนต์ที่มีการเคลื่อนที่ ต้องพิจารณาเรื่องความเร็วในการเคลื่อนที่ของกล้องในการประมวลผลด้วยทำให้เพิ่มความยุ่งยากและซับซ้อนในการตรวจจับภาพคนเดินถนนออกจากภาพพื้นหลัง

- ในกระบวนการประมวลผลภาพนั้น ใช้การประมวลผลค่อนข้างสูง โดยเฉพาะการตรวจจับภาพคนเดินถนนในรถยนต์อัตโนมัติซึ่งต้องการการประมวลผลที่รวดเร็ว โดยต้องใช้เวลาในการประมวลผลน้อยที่สุด

งานวิจัยที่หลากหลายได้ถูกพัฒนาในการประมวลผลภาพเพื่อตรวจจับภาพคนเดินถนนด้วยกล้องประเภทต่าง ๆ สามารถแบ่งประเภทของกล้องตามการทำงานได้ดังนี้

- 1) กล้องที่ไม่มีการเคลื่อนที่ซึ่งติดตั้งบริเวณทางแยกจราจรเพื่อสังเกตการณ์ทั่วไปและกล้องที่มีการเคลื่อนที่ซึ่งติดตั้งภายในรถยนต์เพื่อเป็นอุปกรณ์เสริมช่วยเตือนผู้ขับขี่รถยนต์

- 2) กล้องแบบสเตอริโอ ถูกนำมาใช้แทนที่กล้องเดี่ยวเพื่อการคำนวณหาระยะทางของวัตถุต่าง ๆ ในภาพ

- 3) กล้องอินฟราเรด สามารถแก้ปัญหาที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของแสงในภาพได้

ในงานวิจัยนี้มุ่งเน้นการใช้กล้องดิจิทัลแบบธรรมดาเพียงตัวเดียวเป็นเครื่องมือในการรับภาพเนื่องจากได้ข้อมูลภาพที่หลากหลายและยังสามารถใช้เป็นอุปกรณ์ตัวรับรู้ร่วมกับระบบเสริมความปลอดภัยในการขับขี่และระบบขับเคลื่อนรถยนต์อัตโนมัติอื่น ๆ อีกด้วย แนวความคิดต่าง ๆ ได้ถูกนำมาใช้เพื่อตรวจจับภาพคนเดินถนน งานวิจัยในปัจจุบันแบ่งได้สองแนวความคิดหลัก คือ

- แนวความคิดหลักการเคลื่อนที่ (motion-based) เป็นวิธีการที่ใช้ข้อมูลภาพต่อเนื่องเพื่อตรวจจับท่าทางเดินของคนซึ่งมีลักษณะเป็นการเคลื่อนที่เข้าไปเข้ามา

- แนวความคิดหลักด้านรูปร่าง (shape-based) เป็นวิธีการที่ใช้ลักษณะเด่นของรูปร่างคนเพื่อใช้ในการตรวจจับภาพคนเดินถนน

ในงานวิจัยนี้ได้แบ่งวิธีการทั่วไปที่ใช้ในการตรวจจับภาพคนเดินถนนซึ่งเป็นการระบุขนาดและตำแหน่งของภาพคนเดินถนนจากภาพบริเวณถนน คืออันดับแรกตัดแยกภาพคนเดินถนน (pedestrian segmentation) หรือดึงลักษณะเด่นภาพคนเดินถนน (pedestrian feature extraction) จากภาพบริเวณถนนจากนั้นจึงคัดแยกภาพคนเดินถนน (pedestrian classification) โดยนิยามการตัดแยกภาพคนเดินถนน หมายถึง การค้นหาส่วนของภาพที่มีความน่าจะเป็นภาพคนเดินถนนออกจากภาพบริเวณถนน การดึงลักษณะเด่นภาพคนเดินถนน หมายถึง การดึงลักษณะสำคัญของภาพคนเดินถนนให้มีภาพผลลัพธ์ที่แตกต่างกับภาพที่ไม่มีคนเดินถนนมากที่สุด และนิยามการคัดแยกภาพคนเดินถนน หมายถึง การตัดสินใจว่าภาพที่พิจารณาอยู่เป็นภาพคนเดินถนนหรือไม่ การสำรวจงานวิจัยนี้แบ่งการตรวจจับประเภทต่าง ๆ ตามแนวความคิดไม่ได้แบ่งตามแต่ละงานวิจัย ดังนั้นในงานวิจัยแต่ละงานอาจแบ่งได้หลายประเภท ดังนี้

2.5.1 การแยกประเภทตามพื้นฐานการตัดแยกภาพคนเดินถนนหรือการดึงลักษณะเด่น

ภาพคนเดินถนน

1) การเคลื่อนที่ (motion)

การประมวลผลภาพจากการเคลื่อนที่เป็นวิธีการที่ใช้ทั่วไปในการตัดแยกส่วนภาพหรือดึงลักษณะเด่นส่วนภาพที่สนใจจากภาพบริเวณถนน ระบบต้องใช้ข้อมูลภาพต่อเนื่องและวิธีการต่าง ๆ ที่น่าเชื่อถือในการตัดแยกวัตถุที่มีการเคลื่อนที่ แต่ข้อเสียของระบบนี้คือไม่สามารถตัดแยกคนเดินถนนที่ยืนนิ่งและไม่มีการเคลื่อนที่ได้ รวมถึงให้ผลการประมวลผลหลังจากการใช้ข้อมูลภาพต่อเนื่องหลาย ๆ ลำดับภาพ ตัวอย่างงานวิจัยด้านนี้ ได้แก่ การตัดแยกการเคลื่อนที่โดยใช้วิธีการไหลของแสง (optical flow) ซึ่งใช้แนวความคิดพื้นฐานจากการตัดแยกกลุ่มภาพที่มีลักษณะรูปร่างหรือสีคล้ายกันในแต่ละลำดับภาพ และใช้วิธีการติดตามภาพเคลื่อนที่ในภาพลำดับถัดไปในงานวิจัยของ Yasutomi and Mori (1994) ใช้วิธีการหาค่าเอนโทรปีสูงสุดเพื่อค้นหาการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นของภาพซึ่งเกิดจากการเดิน ในงานวิจัยของ Bregler (1997) ใช้พื้นฐานการตัดแยกกลุ่มภาพเคลื่อนที่จากความคล้ายของสีของแต่ละจุดภาพ ซึ่งแสดงค่าความเหมือนของกลุ่มภาพที่ได้จากการตัดแยก ลักษณะการเคลื่อนที่ของกลุ่มภาพถูกนำไปวิเคราะห์เปรียบเทียบกับรูปแบบการเคลื่อนที่ของคนเพื่อใช้ในการคัดแยกภาพคนเดินถนนในลำดับต่อไป ในงานวิจัยของ Polana and Nelson (1997) วิเคราะห์ภาพด้วยวิธีการลูกบาศก์ XYT โดยเริ่มจากการหาบริเวณภาพที่คาดว่ามีความเคลื่อนไหวด้วยวิธีการการไหลของแสง ลูกบาศก์ XYT แสดงลำดับของภาพที่ (T-grabbed frame) เป็นวิธีการที่ใช้การวิเคราะห์ฟูเรียร์ร่วมด้วย วิธีการนี้ถูกนำมาใช้ประโยชน์ในการตัดแยกภาพสังเกตการณ์การเคลื่อนที่ของคน เช่น การเดินและการวิ่ง โดยติดตั้งกล้องอยู่กับที่ข้อดีสำหรับวิธีการไหลของแสงคือมีประสิทธิภาพในการตัดแยกภาพที่มีเคลื่อนที่ของวัตถุ ในระบบที่มีการติดตั้งกล้องแบบเคลื่อนที่ ในงานวิจัยของ McKenna and Gong (1997) เสนอการตัดแยกแบบวิธีการตัดขวางศูนย์ (zero crossing) โดยใช้วิธีสังวัตนาการของฟังก์ชันเกาส์เทียบกับภาพต่อเนื่องและใช้ตัวกรองแบบคาลมาน (Kalman filter) ด้วยอนุพันธ์อันดับสองซึ่งให้ผลตอบสนองกับภาพคนเดินถนนค่อนข้างดี ในงานวิจัยของ Iketani, Kuno, Shimada, and Shirai (1998) ใช้สมมติฐานที่ว่าคนเดินถนนมีการเคลื่อนที่เป็นรูปแบบเชิงเส้นและเป็นลำดับต่อเนื่อง สามารถทำนายทิศทางและการเคลื่อนที่ได้จากการวิเคราะห์ข้อมูลลำดับภาพ และสามารถตัดแยกภาพคนเดินถนนได้จากลำดับภาพต่อเนื่อง แต่มีข้อจำกัดคือไม่สามารถตัดแยกคนเดินถนนที่มีท่าทางและการเคลื่อนที่นอกเหนือจากการเคลื่อนที่เป็นแบบเชิงเส้น ในงานวิจัยของ Gavrilu and Philomin (1999) เสนอการวิเคราะห์การเคลื่อนที่แบบต่าง ๆ ของคนโดยใช้พื้นฐานแบบจำลอง 2 มิติและ 3 มิติที่มีโครงสร้างรูปทรงกระบอกและแฉกรูปร่างของร่างกายออกเป็นส่วน ๆ วิธีการนี้ใช้งานได้ดีในระบบ

สังเกตการณ์แต่ไม่เหมาะสมในการนำมาประยุกต์ใช้ในระบบขับเคลื่อนอัตโนมัติ ในงานวิจัยของ Cutler and Davis (2000) ใช้การลบภาพขณะเวลาที่เปลี่ยนไป โดยการตั้งค่าขีดเริ่มเปลี่ยนที่เหมาะสมสามารถตัดแยกภาพวัตถุเคลื่อนที่ภายในภาพได้ วิธีการนี้มีประสิทธิภาพดีทั้งการใช้กล้องที่มีการเคลื่อนที่และกล้องที่ไม่มี การเคลื่อนที่กับภาพพื้นหลังที่มีลักษณะภาพใกล้เคียงกันถึงแม้วิธีการหลักการเคลื่อนที่เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพสามารถลดอัตราการตัดแยกภาพคนเดินถนนผิดพลาดได้ แต่วิธีการนี้ยังมีข้อจำกัดในด้านต่าง ๆ ดังนี้

- วิธีการนี้ไม่สามารถตัดแยกภาพคนเดินถนนที่ไม่มี การเคลื่อนที่หรือเคลื่อนที่ในลักษณะท่าทางที่ต่างจากท่าเดินปกติ เช่น การกระโดด เป็นต้น
- ภาพเท้าและขาของคนเดินถนนต้องสามารถมองเห็นได้อย่างชัดเจนเพื่อใช้ในการค้นหารูปแบบการเคลื่อนที่ของภาพคนเดินถนน
- ในขั้นตอนการจดจำต้องใช้ภาพนิ่งต่อเนื่อง ซึ่งเกิดการหน่วงทางเวลาเพราะต้องใช้ภาพนิ่งจำนวนหลายภาพทำให้ใช้เวลาในการประมวลผลเพิ่มขึ้น

2) การลบภาพพื้นหลัง (background subtraction)

การลบภาพพื้นหลังเป็นวิธีการหนึ่งที่มีความน่าเชื่อถือในการตัดแยกภาพวัตถุเป้าหมาย นิยมใช้ในระบบสังเกตการณ์ที่ติดตั้งกล้องอยู่กับที่ ใช้รูปแบบของภาพพื้นหลังในการเปรียบเทียบกับภาพลำดับถัดไป บริเวณภาพที่แตกต่างกันถือว่าเป็นบริเวณของภาพวิธีการนี้สามารถตัดแยกคนเดินถนนที่ถึงแม้ไม่มี การเคลื่อนที่ แต่ก็มีข้อจำกัดคือไม่สามารถตัดแยกภาพวัตถุเป้าหมายที่การเปลี่ยนภาพพื้นหลังอย่างฉับไวได้ เพราะการปรับเปลี่ยนภาพพื้นหลังมีการคำนวณที่ซับซ้อนและยุ่งยาก ตัวอย่างงานวิจัยด้านนี้ได้แก่ ในงานวิจัยของ Rosales and Sclaroff (1998) ใช้แบบจำลองทางสถิติที่มีพื้นฐานจากโมเมนต์อันดับหนึ่งและอันดับสองของค่าความหนาแน่นจากแต่ละจุดภาพงานวิจัยของ Niyogi and Adelson (1994) ใช้วิธีการลูกบาศก์ XYT โดยพิจารณาบริเวณภาพพื้นหลังที่ไม่มี การเคลื่อนที่เป็นแถบแนวตั้งในแกน XT ขณะที่พิจารณาภาพวัตถุพื้นหลังที่มีการเคลื่อนที่ เช่น รถยนต์ เป็นแถบทิสทางทำให้สามารถตัดแยกบริเวณภาพวัตถุเป้าหมายได้จากการค้นหาภาพที่มีลักษณะเป็นคาบและไม่เป็นเชิงเส้นในลูกบาศก์ XYT เพื่อตัดแยกภาพขาของคนเดินถนน งานวิจัยของ Oliver, Rosario, and Pentland (2000) ใช้การวิเคราะห์ส่วนประกอบหลัก (principle component analysis) กับไอเกนเวกเตอร์ (eigenvectors) ภาพพื้นหลังเพื่อสร้างแบบจำลองที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น ในงานวิจัยของ Jabri, Duric, Wechsel, and Rosenfeld (2000) ประยุกต์การเพิ่มแบบจำลองทางสถิติเป็นแบบ 3 แขนที่ค่าเฉลี่ยเปลี่ยนแปลง (mean-variant map) ประกอบด้วยสี่ เส้นขอบแนวตั้ง และเส้นขอบแนวนอน

3) การใช้ช่วงขีดค่าเริ่มเปลี่ยน (range thresholding)

ในงานวิจัยของ Zhao and Thorpe (1999) ใช้ระยะห่างระหว่างกล้องกับวัตถุต่าง ๆ ในภาพความสัมพันธ์ของภาพซ้ายและภาพขวาจากกล้อง 2 ตัว ในระบบกล้องสเตอริโอสามารถหาระยะของวัตถุในภาพได้ สำหรับระบบนี้สัญญาณรบกวนไม่ค่อยมีผลต่อระบบ แต่มีข้อจำกัดคือภาพที่ได้จากการหาระยะภาพเป็นลักษณะกลุ่มภาพรวมหลายวัตถุที่อยู่ในระยะภาพเดียวกัน ดังนั้นระบบต้องวิเคราะห์โดยการแยกภาพหรือรวมภาพที่ได้จากระบบกล้องสเตอริโอ แล้วจึงนำภาพที่ได้ไปคัดแยกคนเดินถนนในระบบถัดไป ในงานวิจัยของ Beymer and Konolige (1999) ใช้วิธีการลบภาพพื้นหลังในการตัดแยกคนเดินถนนแต่ก็ใช้ระยะภาพเป็นหลักสำคัญ โดยตัดแยกจากความแตกต่างของภาพวัตถุเป้าหมายกับภาพพื้นหลัง ส่วนการคัดแยกนั้นทำในระบบพีระมิดเพื่อชดเชยภาพคนเดินถนน ที่ขนาดต่าง ๆ ระบบนี้มีประสิทธิภาพสูงแม้ว่ามีผลกระทบจากเงา การเปลี่ยนแปลงความสว่าง ภาพวัตถุบางส่วนถูกปิดบัง และกล้องมีการเคลื่อนที่ อย่างไรก็ตามภาพวัตถุที่ได้ต้องนำไปคัดแยกภาพคนเดินถนนจากภาพวัตถุอื่นที่อยู่ในระยะภาพเดียวกันกับภาพคนเดินถนน

4) รูปร่างของคน (human shape)

หลากหลายวิธีการตัดแยกภาพคนเดินถนนแบบขั้นตอนเดียวมีพื้นฐานจากการใช้ข้อมูลรูปร่างของคน วิธีการนี้สามารถแก้ปัญหาภาพพื้นหลังที่เปลี่ยนแปลง การเคลื่อนที่ของกล้อง และไม่ต้องใช้ข้อมูลภาพต่อเนื่องในการประมวลผล เนื่องจากรูปร่างของคนนั้นมีความหลากหลายมาก แต่ขั้นตอนวิธีที่ใช้ส่วนใหญ่มีฐานข้อมูลรูปร่างของคนแบบทั่วไปเท่านั้น ดังนั้นวิธีการนี้จึงมีโอกาสผิดพลาดในการประมวลผลและใช้การประมวลผลค่อนข้างสูง วิธีการหลักด้านรูปร่างสามารถตัดแยกภาพคนเดินถนนทั้งที่มีการเคลื่อนที่และไม่มีการเคลื่อนที่ ปัญหาหลักของวิธีการนี้คือทำอย่างไรจึงจัดการกับรูปร่างของคนที่มีความหลากหลายทั้งในด้านท่าทาง การเคลื่อนไหวส่วนต่าง ๆ ชุดแต่งกาย และสีผิว เป็นต้น โดยต้องคำนึงถึง

- การค้นหาชุดรูปแบบรูปร่างของคนเดินถนนให้มีจำนวนรูปแบบน้อยที่สุดที่สามารถครอบคลุมรูปร่างลักษณะต่าง ๆ ของคนเดินถนน
- ควบคุมความเหมาะสมระหว่างความแม่นยำของการตัดแยกหรือดึงลักษณะเด่น และระยะเวลาในการประมวลผล

ในงานวิจัยของ Gavrilu (2000) เสนอวิธีการแบบสองขั้นตอน ในขั้นตอนแรกได้ทำการค้นหาบริเวณทั้งหมดในภาพด้วยกลุ่มภาพรูปร่างต่าง ๆ ของคน โดยการใช้การแปลงระยะเปลี่ยนรูป (distance transform) ของภาพเส้นขอบ ซึ่งกลุ่มภาพรูปร่างต่าง ๆ ของคนที่ใช้ถูกจัดเก็บเป็นลำดับชั้นต่าง ๆ ด้วยการจัดเก็บภาพคนแบบหยาบ (รูปร่างคนทั่วไป) คู่ละเอียด (รูปร่างคนที่ซับซ้อน) ดังนั้นระบบจึงใช้กลุ่มชุดภาพคนแบบหยาบในการตัดแยกก่อนและนำไปพิจารณากลุ่มชุดภาพคนแบบละเอียดในลำดับต่อไป ขั้นตอนที่สองนั้นทำการคัดแยกซ้ำเพื่อให้ระบบมีความแม่นยำ

เพิ่มขึ้นในงานวิจัยของ Bertozzi, Broggi, Fascioli, and Sechi (2002) ค้นหารูปร่างเฉพาะ ที่มีลักษณะ สมมาตรของภาพคนเดินถนน วิธีการนี้ประยุกต์ใช้วิธีการสองขั้นตอน โดยในขั้นตอนแรกใช้การหา ความสมมาตรแนวตั้งในการตัดแยกภาพคนเดินถนนทั้งที่มีการเคลื่อนที่และไม่มีที่เคลื่อนที่ จากนั้นในขั้นตอนที่สองใช้ข้อมูลค่าความสมมาตรแนวนอนในการประมวลผลการตัดแยกคนเดินถนน งานวิจัยของ Curio, Edelbrunner, Kalinke, Tzomakas, and Seelen (2000) ใช้สนามกระตุ้นส่วนประกอบ ของภาพเอนโทรปีเฉพาะที่จากการจับคู่รูปแบบขาของคน ซึ่งนำข้อมูลที่ได้ออกไปวิเคราะห์ด้วยสนาม กระตุ้นพลวัตชั่วคราว (dynamic activation field) เพื่อคำนวณในลำดับต่อไป ในงานวิจัยของ Mohan, Papageorgiou, and Poggio (2001) นำภาพที่ได้จากกล้องแปลงด้วยการแปลงเวฟเลตแบบฮาร์ (Harr wavelet) แล้วนำไปวิเคราะห์ร่วมกับรูปแบบรูปร่างทั่วไปของคนจากการฝึกสอนและจดจำโดยใช้ เครื่องเวกเตอร์เกือหนุน (support vector machines) ซึ่งระบบนี้ใช้การพิจารณารูปร่างแบบแยกส่วน ได้แก่ แขน ขา และส่วนหัวของร่างกาย ตามลำดับขั้นที่กำหนดขึ้นเพื่อให้สามารถตัดแยกรูปร่างของ คนเดินถนนเมื่อวัตถุอื่นปิดบังบางส่วนได้ ในงานวิจัยของ Shashua, Gdalyahu, and Hayun (2004) ใช้ การตัดแยกด้วยภาพเดี่ยววิเคราะห์ร่วมกับการเคลื่อนที่ของวัตถุเพื่อลดอัตราความผิดพลาดของระบบ ในการตัดแยกภาพคนเดินถนน ในงานวิจัยของ Lombardi and Zavidovique (2004) นำองค์ความรู้ เกี่ยวกับตำแหน่งและสถานการณ์ เช่น สัญญาณไฟจราจร ลักษณะการเดินข้ามถนนมาใช้เป็นข้อมูล พื้นฐานในการปรับปรุงขั้นตอนวิธีการตัดแยกภาพคนเดินถนนเพื่อลดเวลาในการคำนวณและเพิ่ม ประสิทธิภาพยิ่งขึ้น แม้ว่าแนววิธีหลักด้านรูปร่างถูกนำมาใช้งานอย่างแพร่หลายแต่ก็มีข้อจำกัด ดังนี้คือ

- อัตราความผิดพลาดของระบบสูงเนื่องมาจากรูปร่างท่าทางที่หลากหลายของคน และผลจากการเปลี่ยนแปลงของแสง
- ใช้การประมวลผลสูงในการตัดแยก ถึงลักษณะเด่น และตัดแยกภาพคนเดินถนน

2.5.2 การแยกประเภทตามพื้นฐานการตัดแยกภาพคนเดินถนน (pedestrian classification)

งานวิจัยในปัจจุบันแบ่งแนวทางในการตัดแยกภาพคนเดินถนนได้สองแนวทางหลัก แนวทางแรกใช้การวิเคราะห์ข้อมูลต่อเนื่องในรูปแบบคาบการเคลื่อนที่จากท่าทางการเดินของคน แนวทางที่สองใช้การวิเคราะห์ข้อมูลด้านรูปร่างของคน ซึ่งทั้งสองแนวทางใช้พื้นฐานทางสถิติ ในการวิเคราะห์ข้อมูลและเลือกเฟ้นกลุ่มข้อมูลหลักในมิติตัวแปรอันหลากหลาย

1) ท่าทางการเดินของคน (human gait)

ลักษณะคาบการเดินที่ต่อเนื่องของคนถูกนำมาวิเคราะห์ใช้ในการตัดแยก โดยทั่วไประบบนี้ต้องติดตั้งกล้องในทิศทางที่ขนานกับทิศทางของคนกำลังเดินถนนให้สามารถเห็น

ภาพคนเดินถนนด้านข้างได้ชัดเจน ระบบต้องใช้ภาพต่อเนื่องจำนวนหนึ่งในการประมวลผลและใช้วิธีการติดตามภาพคนเคลื่อนที่ที่มีประสิทธิภาพ และมีข้อจำกัดคือไม่สามารถคัดแยกคนเดินถนนที่ไม่มี การเคลื่อนที่ได้ ในงานวิจัยของ Yasutomi and Mori (1994) ได้นำวิธีการพื้นฐานทางด้านรูปร่างมาใช้ร่วมกับการวิเคราะห์รูปแบบการติดตามภาพในมิติลูกบาศก์ XYT ตามบริเวณเข้าถึงเท้า โดยใช้ชุดแผ่น XYT บนหน้าจอที่จับได้เพื่อค้นหาบริเวณที่มีการเคลื่อนที่ และตีกรอบล้อมรอบร่างกายทั้งหมดที่คัดแยกได้ ในงานวิจัยของ Polana and Nelson (1997) ใช้วิธีการจำแนกประเภทคาบของสัญญาณด้วยวิธีการแปลงฟูเรียร์ ซึ่งทำงานในโดเมนความถี่เพื่อวิเคราะห์รูปแบบการเคลื่อนที่ และคัดแยกลักษณะเฉพาะตามท่าทางการเดินของคน ในการคัดแยกใช้วิธีการทางสถิติจากการเก็บรวบรวมข้อมูลหรือวิธีการตั้งค่าขีดเริ่มเปลี่ยนซึ่งมีกระบวนการคล้ายการกรองแถบผ่าน ในงานวิจัยของ Cutler and Davis (2000) ใช้การกรองฟูเรียร์ระยะเวลาสั้น (short-time fourier transform) เพื่อวิเคราะห์สัญญาณ โดยหาความสัมพันธ์ของภาพกับรูปแบบภาพที่ใช้คัดแยก ในงานวิจัยของ Wöhler, Kressler, and Anlauf (2000) ใช้โครงข่ายประสาทเทียม (neural network) เพื่อคัดแยกภาพคนเดินถนนโดยคัดแยกตามรูปแบบการเคลื่อนที่ ในงานวิจัยของ Curio et al. (2000) ใช้แนวความคิดการรวมรูปร่างหลายส่วนและการวิเคราะห์เชิงสถิติจากการตัดแยกแบบติดตามลำตัวของคนเดินถนน สามารถวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของขาจากบริเวณใต้ลำตัวใช้การคัดแยกคาบการเคลื่อนที่ของคนเดินถนน โดยเทียบความสัมพันธ์กับกราฟเส้นโค้งที่ได้จากการทดสอบหาค่าเฉลี่ยทางสถิติ ในงานวิจัยของ Ricquebourg and Bouthemy (2000) ได้พัฒนามิติลูกบาศก์ XYT ให้สามารถใช้ในระบบตามเวลาจริง (real-time) แต่ยังมีข้อจำกัดคือวิธีการนี้ไม่เหมาะกับการนำไปประยุกต์ใช้เมื่อติดตั้งกล้องบนรถยนต์

2) การวิเคราะห์รูปร่าง (shape analysis)

ระบบนี้ไม่ต้องการข้อมูลภาพต่อเนื่องและสามารถคัดแยกวัตถุเป้าหมายที่ไม่มี การเคลื่อนที่ได้ ในงานวิจัยของ Fujiyoshi and Lipton (1998) ใช้วิธีการหาเส้นแกนหลักของรูปร่างวัตถุในภาพที่ได้จากการตัดแยกโดยหาจุดศูนย์กลางของวัตถุและหาระยะห่างจากจุดศูนย์กลางของวัตถุถึงจุดต่าง ๆ บนเส้นขอบของภาพ กำหนดให้จุดที่มีค่าระยะห่างสูงสุดในแต่ละบริเวณเป็นจุดปลายของเส้นแกนหลักของวัตถุ และใช้ความสัมพันธ์ของเส้นแกนหลักของวัตถุแต่ละวัตถุไปประยุกต์ใช้ในการคัดแยกวัตถุได้ ซึ่งได้นำวิธีการนี้มาใช้กับภาพคนเดินถนน ในงานวิจัยของ Zhao and Thorpe (1999) ใช้เครือข่ายไปข้างหน้าสามชั้นหาภาพเกรเดียนหนาแน่น (intensity gradient image) แทนการใช้ภาพแบบธรรมดา ในงานวิจัยของ Gavrilu (1999) ใช้การวิเคราะห์การแปลงระยะภาพด้วยฟังก์ชันฐานหลักรัศมี (radial basis function) ซึ่งฝึกสอนด้วยกลุ่มภาพคนเดินถนน งานวิจัยของ Broggi et al. (2000) ใช้แบบจำลองรูปร่างส่วนบนของคนเดินถนนที่แตกต่างกันและใช้วิธีการคัดแยกแบบหยาบ

สู่ละเอียด ในงานวิจัยของ Mohan et al. (2001) ใช้ภาพแผ่นแบบเวฟเลต (wavelet template) แสดงรูปร่างลักษณะของคนเดินถนนและใช้การแปลงเวฟเลตทราดวิเคราะห์ (scan) ในภาพเพื่อการค้นหาตำแหน่งของภาพคนเดินถนน ในงานวิจัยของ Bertozzi et al. (2003) ใช้ตัวกรองคาลมาน (Kalman filter) ในการแปลงข้อมูลจากภาพเพื่อแสดงตำแหน่งของภาพคนเดินถนน Szarvas, Yoshizawa, Yamamoto, and Ogata (2003) ใช้โครงข่ายประสาทเทียมเชิงสังวัตนาการ (convolutional neural network) ในการคัดแยกภาพคนเดินถนน วิธีการนี้มีความแม่นยำในการคัดแยกค่อนข้างสูงและยังปรับจำนวนภาพฝึกสอนที่ใช้ให้มีจำนวนที่น้อยที่สุดโดยอัตโนมัติอีกด้วย ในงานวิจัยของ Suard, Rakotomamonjy, Bensrhair, and Guigue (2005) ใช้การคัดแยกภาพคนเดินถนนโดยใช้การวิเคราะห์ภาพจากกล้องสเตอริโอ (stereo vision) และการเปรียบเทียบกราฟแก่นกลาง (graph kernel) ในงานวิจัยของ Cheng, Zheng, and Qin (2005) ใช้ตัวกรองกอบอร์แบบบาง (sparse Gabor filters) ร่วมกับเครื่องเวกเตอร์เกี่ยวหนุ่นในการคัดแยกภาพคนเดินถนน โดยระบบนำค่าชุดตัวแปรที่เหมาะสมที่สุดของแต่ละภาพทดสอบที่ได้จากตัวกรองกอบอร์แบบบางซึ่งผ่านการเรียนรู้และจดจำตัวอย่างชุดภาพคนเดินถนนตัวอย่างมาแล้ว ให้เครื่องเวกเตอร์เกี่ยวหนุ่นคัดแยกภาพคนเดินถนน

วิธีการคัดแยกภาพคนเดินถนนจากท่าทางการเดินของคนมีประสิทธิภาพสูง โดยเฉพาะในสถานการณ์ที่คนเดินถนนกำลังข้ามถนน ส่วนวิธีการวิเคราะห์รูปร่างมีข้อจำกัดเรื่องการคัดแยกผิดพลาดและต้องการข้อมูลที่ฝึกสอนอย่างเพียงพอและเหมาะสม แต่ก็มีประสิทธิภาพในการคัดแยกภาพคนเดินถนนที่ไม่มีการเคลื่อนที่ได้

ตารางที่ 2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ค.ศ.	คณะผู้ทำวิจัย	วิธีการตรวจจับภาพคนเดินถนน
1997	Polana and Nelson	ลูกบาศก์ XYT
1997	McKenna and Gong	วิธีการตัดขวางศูนย์และตัวกรองคาลมาน
1997	Oren, Papageorgiou, Sinha, Osuna, and Poggio	การตรวจจับการเคลื่อนที่และการแปลงเวฟเลต
1998	Fujiyoshi and Lipton	เส้นแกนหลักของรูปร่างวัตถุ
1999	Zhao and Thorpe	ภาพสเตอริโอและความหนาแน่นเกร็ดเคียนของภาพ
2000	Curio et al.	ค่าเอนโทรปีภาพเฉพาะถิ่น การรวมรูปร่างหลายส่วนและการวิเคราะห์เชิงสถิติ
2000	Oliver et al.	การวิเคราะห์ส่วนประกอบหลักของภาพและไอเกนเวกเตอร์

ตารางที่ 2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (ต่อ)

ค.ศ.	คณะผู้ทำวิจัย	วิธีการตรวจจับภาพคนเดินถนน
2000	Cutler and Davis	การลบภาพระหว่างภาพขณะเวลาเปลี่ยนและการแปลงฟูเรียร์ระยะเวลาสั้น
2000	Zhao and Thorpe	ภาพสเตอริโอและโครงข่ายประสาทเทียม
2000	Broggi et al.	ความสมมาตรของเส้นขอบ ลักษณะ รูปร่างของส่วนหัว ระยะทาง ขนาด และสัดส่วน
2001	Mohan et al.	เวฟเลทแบบฮาร์และเครื่องเวกเตอร์เกือหนูน
2003	Bertozzi et al.	ความสมมาตรตามแนวตั้งและตัวกรองกาลมาน
2003	Viola, Jones, and Snow	การเคลื่อนที่ร่วมกับรูปร่างและการประมวลผลการตรวจจับหลายส่วน
2004	Qiming, Luo, and Dongcheng	ค่าขีดเริ่มเปลี่ยนแบบปรับตัวและเครื่องเวกเตอร์เกือหนูน
2004	Shashua et al.	การตรวจจับการเคลื่อนที่และเครื่องเวกเตอร์เกือหนูน
2004	Gavrila, Giebel, and Munder	ภาพสเตอริโอ การแปลงระยะภาพและโครงข่ายประสาทเทียม
2004	Abramson and Steux	ตรวจจับขาและส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย และการประมวลผลการตรวจจับหลายส่วน
2004	Grubb, Zelinsky, Nilsson, and Ribbe	ภาพสเตอริโอและเครื่องเวกเตอร์เกือหนูน

2.6 สรุป

บทที่ 2 นี้ ได้นำเสนอทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการแยกส่วนภาพ มิติสี และตัวกรองกาบอร์แบบลอการิทึม ซึ่งเป็นพื้นฐานสำคัญที่นำไปใช้ในงานวิจัย นอกจากนี้ได้นำเสนอรายงานงานวิจัยที่เกี่ยวข้องซึ่งได้รวบรวมมาจากแหล่งความรู้ต่าง ๆ ทำให้ทราบวิธีการและแนวความคิดที่หลากหลายที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในงานวิจัย รวมถึงจุดเด่นและข้อจำกัดของแต่ละวิธีการ ซึ่งเป็นข้อมูลที่มีประโยชน์ในการทำวิจัยในลำดับต่อไป

บทที่ 3

การดึงลักษณะเด่นภาพคนเดินถนน

3.1 กล่าวนำ

คนเดินถนน หมายถึง คนหรือกลุ่มคนที่ขึ้น เดิน เคลื่อนไหว หรือเคลื่อนที่ในบริเวณถนนที่มีการจราจร ซึ่งมีรูปร่างลักษณะที่ไม่เป็นรูปแบบตายตัวและมีความหลากหลาย แต่ถ้าพิจารณาโดยภาพรวมแล้วพบว่ามีลักษณะสำคัญบางอย่างคล้ายกัน เช่น คนเดินถนนเคลื่อนไหวในแนวตั้งฉากกับพื้นถนนและมีความสมมาตรในแนวซ้ายขวาของรูปร่าง ในขณะที่คนกำลังขึ้นหรือเดิน เป็นต้น ระบบการตรวจจับภาพคนเดินถนนในงานวิจัยนี้ใช้การดึงลักษณะเด่นภาพคนเดินถนน เพื่อดึงข้อมูลให้ภาพคนเดินถนนเกิดลักษณะภาพที่เด่นชัดมากกว่าภาพบริเวณถนนอื่น ๆ และนำภาพที่ได้ไปใช้ในการคัดแยกภาพคนเดินถนนในลำดับต่อไป ยิ่งลักษณะเด่นของภาพคนเดินถนนชัดเจนและแตกต่างจากภาพบริเวณถนนอื่น ๆ มากเท่าไร การคัดแยกภาพคนเดินถนนก็ยิ่งมีประสิทธิภาพสูงขึ้นตามไปด้วย ผลจากการดึงลักษณะเด่นของภาพอาจออกมาในรูปแบบของตัวแปรที่เหมาะสม เช่น ในงานวิจัยของ Mohan et al. (2001) หรือในรูปแบบของภาพใหม่ เช่น ในงานวิจัยของ Zhao and Thorpe (1999) เป็นต้น ทั้งนี้ต่างก็ขึ้นอยู่กับวิธีการที่ใช้ในการดึงลักษณะเด่น งานวิจัยนี้ได้เลือกใช้ตัวกรองกาบอร์แบบลอการิทึมเป็นพื้นฐานสำคัญในการดึงลักษณะเด่นทางเส้นและสีของภาพคนเดินถนน และใช้ภาพคนเดินถนนจากฐานข้อมูลภาพจากสถาบันเทคโนโลยีแห่งเมสซาชูเซตส์ (Massachusetts institute of technology pedestrian database #1 (MITP), Data File, 2000) เป็นฐานข้อมูลภาพคนเดินถนนหลักที่ใช้ทดสอบระบบต่าง ๆ ที่ได้พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้ ซึ่งฐานข้อมูลนี้มีภาพคนเดินถนนมีความหลากหลายทั้งทางด้านรูปร่าง ท่าทาง สีของชุดแต่งกาย และภาพพื้นหลัง จำนวนทั้งหมด 924 ภาพ ขนาด 128×64 จุดภาพ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นภาพด้านหน้าและด้านหลังของภาพคนเดินถนนที่สูงประมาณ 150 ถึง 200 เซนติเมตร และเป็นภาพที่สามารถเห็นภาพคนเดินถนนได้ชัดเจนไม่มีวัตถุอื่นปิดบัง ในงานวิจัยนี้แบ่งการดึงลักษณะเด่นภาพคนเดินถนนออกเป็นสองส่วนหลัก คือ การดึงลักษณะเด่นทางเส้นและทางสีเป็นหลัก ดังรายละเอียดต่อไปนี้

3.2 การดึงลักษณะเด่นทางเส้นของภาพคนเดินถนน

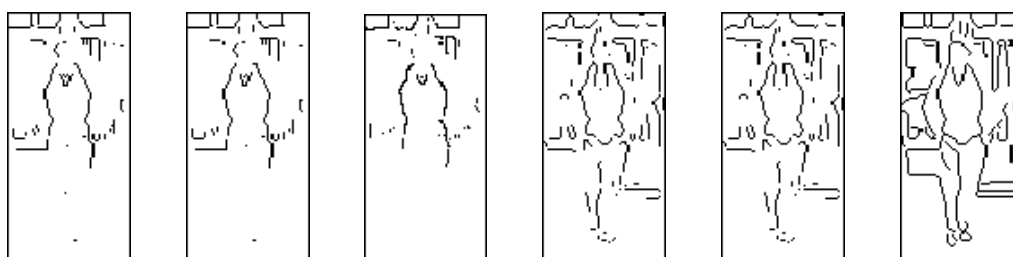
การดึงลักษณะเด่นทางเส้นเป็นการดึงลักษณะเด่นรูปแบบหนึ่งของภาพคนเดินถนนซึ่งใช้การดึงลักษณะเส้นขอบหรือกลุ่มเส้นขอบในแนวตั้งโดยเฉพาะ เนื่องจากคนเดินถนนส่วนใหญ่

เคลื่อนที่ในแนวตั้งฉากกับพื้นถนน ทำให้มีลักษณะของเส้นขอบในแนวตั้งจำนวนมากเป็นรูปแบบที่สามารถแสดงลักษณะเด่นของภาพคนเดินถนนได้ชัดเจน นอกจากนี้ภาพคนเดินถนนส่วนใหญ่ยังมีลักษณะเฉพาะอีกอย่างคือ ความสมมาตรด้านซ้ายขวาของร่างกายอันเนื่องมาจากลักษณะรูปร่างของมนุษย์นั่นเอง ดังตัวอย่างงานวิจัยของ Broggi et al. (2000) ที่ใช้ข้อมูลความสมมาตรด้านซ้ายขวาของคนเดินถนนเป็นประโยชน์ในการดึงลักษณะเด่นของภาพคนเดินถนน

ในงานวิจัยนี้ได้ใช้การดึงลักษณะเด่นทางเส้นของภาพคนเดินถนนโดยใช้เส้นขอบแนวตั้ง (vertical edge) หรือ VE ซึ่งเป็นวิธีการที่ไม่ซับซ้อนและมีประสิทธิภาพในการดึงลักษณะเด่นภาพคนเดินถนน ดังที่เคยใช้ในงานวิจัยของ Bertozzi et al. (2002) ภาพที่ได้มีลักษณะเป็นเส้นขอบที่แสดงผลเฉพาะในแนวตั้ง นอกจากนี้ในงานวิจัยนี้ได้นำเสนอการดึงลักษณะเด่นทางเส้นของภาพคนเดินถนนโดยใช้เฟสอสมมาตร (asymmetry phase) ซึ่งมีพื้นฐานการคำนวณจากตัวกรองกาบอร์แบบลอการิทึม ภาพที่ได้มีลักษณะเป็นกลุ่มเส้นขอบแนวตั้งที่แสดงการดึงลักษณะเด่นของภาพคนเดินถนนได้อย่างชัดเจน เนื้อหาและรายละเอียดดังนี้

3.2.1 เส้นขอบแนวตั้ง

เส้นขอบของภาพ หมายถึง ชุดของจุดภาพที่เชื่อมต่อกันวางตัวบนขอบระหว่าง 2 พื้นที่ที่มีค่าระดับเทาต่างกัน การหาเส้นขอบของภาพสามารถหาได้หลายวิธี ได้แก่วิธี SB PW RB LOG ZC และ CN ตามที่ได้นำเสนอไว้แล้วในหัวข้อที่ 2.2.1 แสดงการหาเส้นขอบด้วยวิธีการต่าง ๆ กับตัวอย่างภาพคนเดินถนนจากฐานข้อมูล MITP ซึ่งเป็นภาพระดับเทา (gray scale) หรือ GS จากมิติสี RGB ลักษณะของเส้นขอบที่ได้เป็นเส้นขอบทั้งหมดของภาพ ได้แก่ เส้นขอบในแนวตั้ง เส้นขอบในแนวนอน และเส้นขอบในแนวเฉียง เป็นต้น ดังแสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ตัวอย่างการหาเส้นขอบของภาพคนเดินถนนด้วยวิธีการต่าง ๆ ได้แก่ SB PW RB LOG ZC และ CN เรียงตามลำดับจากซ้ายไปขวา

การหาเส้นขอบแนวตั้งเป็นการดึงลักษณะเส้นขอบในแนวตั้งโดยเฉพาะออกจากภาพ เนื่องจากคนเดินถนนส่วนใหญ่เคลื่อนที่ในแนวตั้งฉากกับพื้นถนน ทำให้มีลักษณะของเส้นขอบในแนวตั้งเป็นรูปแบบที่ค่อนข้างชัดเจน นอกจากนี้ภาพวัตถุอื่นในภาพที่ตั้งฉากกับพื้นถนน เช่น รถยนต์ ต้นไม้ หรือป้ายต่าง ๆ ล้วนแต่มีเส้นขอบในแนวตั้งด้วยเช่นกัน แต่ก็มีรูปแบบที่แตกต่างกันออกไปตามรูปร่างของวัตถุ ดังแสดงในรูปที่ 3.2



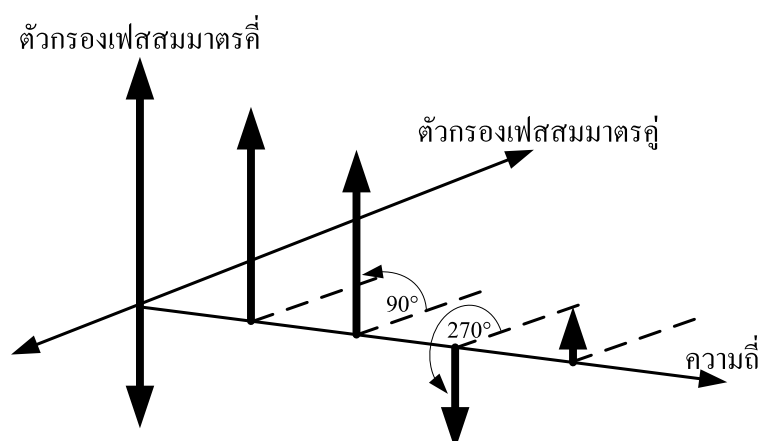
รูปที่ 3.2 ตัวอย่างการหาเส้นขอบแนวตั้งของภาพคนเดินถนนด้วยวิธีการต่าง ๆ ได้แก่ SB PW RB LOG ZC และ CN เรียงตามลำดับจากซ้ายไปขวา

3.2.2 เฟสอสมมาตร (asymmetry phase)

เฟสอสมมาตร หรือ ASP (Kovesi, 1997) คือ เวกเตอร์บนแกนความถี่ของภาพที่ได้จากการผ่านตัวกรองกาบอร์แบบลอการิทึมซึ่งมีมุม (เฟส) เท่ากับ 90 หรือ 270 องศา วางตัวตามแนวแกนตัวกรองเฟสสมมาตรคือ ดังแสดงในรูปที่ 3.3 เฟสอสมมาตรสามารถคำนวณได้โดยใช้ค่า $e_n(x)$ $o_n(x)$ และ $A_n(x)$ ที่ได้จากการคำนวณตัวกรองกาบอร์แบบลอการิทึม ดังที่แสดงไว้แล้วในหัวข้อที่ 2.4 เฟสอสมมาตรสามารถคำนวณได้ตามสมการที่ (3-1)

$$ASP(x) = \frac{\sum_n [|o_n(x)| - |e_n(x)|]}{\sum_n A_n(x) + \varepsilon} \quad (3-1)$$

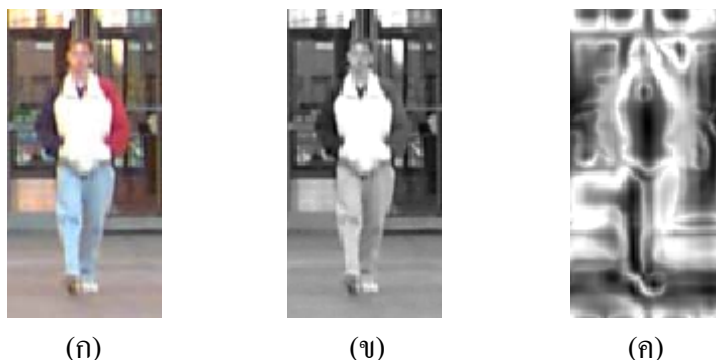
เฟสอสมมาตรคำนวณโดยใช้ผลรวมของค่าสัมบูรณ์ $o_n(x)$ ลบด้วยค่าสัมบูรณ์ $e_n(x)$ เนื่องจากเฟสอสมมาตรเกิดจาก ภาพ o_n ซึ่งเป็นภาพที่ได้จากค่าส่วนจินตภาพของภาพผ่านการกรอง ซึ่งเป็นผลมาจากตัวกรองฟังก์ชันคี่ มีลักษณะสัญญาณสมมาตรที่ตอบสนองต่อกลุ่มเส้นขอบของวัตถุได้ดี ดังนั้นภาพที่มีเฟสอสมมาตรมีค่าบ่งบอกความเป็นเส้นขอบ $o_n(x)$ มาก และมีค่าบ่งบอกความเป็นสี $e_n(x)$ น้อย จากนั้นหารด้วยขนาดของภาพผ่านการกรอง $A_n(x)$ เพื่อให้ค่าที่ออกมาปรับเป็นค่ามาตรฐาน (normalization) ให้มีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 1 ค่า ε คือ จำนวนจริงที่มีค่าน้อยมากในงานวิจัยใช้ค่า $\varepsilon = 0.01$ เพื่อป้องกันไม่ให้ค่าผลรวม $A_n(x) + \varepsilon$ ซึ่งเป็นตัวหารมีค่าเป็นศูนย์



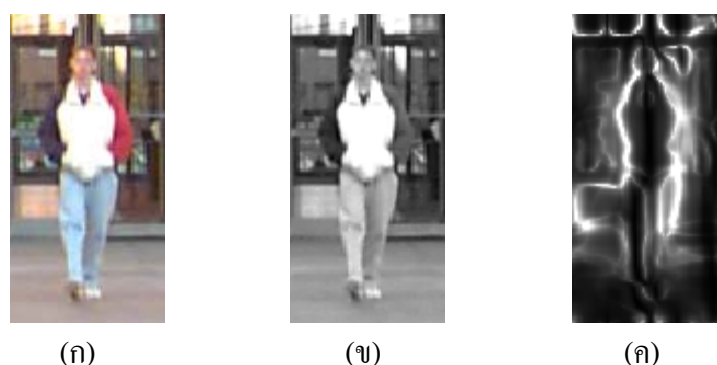
รูปที่ 3.3 รูปแบบเวกเตอร์ที่มีความสม่ำเสมอ

ในงานวิจัยใช้ค่า $\varepsilon = 0.01$ เพื่อป้องกันไม่ให้ค่าผลรวม $A_n(x) + \varepsilon$ ซึ่งเป็นตัวหารมีค่าเป็นศูนย์ ภาพเฟสอสมมาตรที่ได้จากการผ่านชุดตัวกรองมีลักษณะตอบสนองต่อความแตกต่างของค่าความเข้มสี ยังมีค่าความเข้มสีแตกต่างกันมากทำให้ภาพเฟสอสมมาตรมีผลตอบสนองชัดเจนมากขึ้น ผลตอบสนองที่ได้มีลักษณะเป็นกลุ่มเส้นที่กระจายความหนาแน่นจากแกนกลางเนื่องจากตัวกรองส่วนหลักเป็นตัวกรองอสมมาตร $o_n(x)$ ซึ่งเป็นคุณสมบัติของตัวกรองแบบฟังก์ชันคี่ (odd function) จึงทำให้มีผลตอบสนองต่อความแตกต่างของค่าความเข้มสีที่ชัดเจนทั้งนี้การตอบสนองของภาพเฟสอสมมาตรยังขึ้นอยู่กับค่าขนาดของตัวกรอง (scale) ทิศทางตัวกรอง (orient) ที่ใช้อีกด้วย รูปที่ 3.4 แสดงเฟสอสมมาตรของภาพคนเดินถนนซึ่งมีลักษณะเป็นกลุ่มเส้นสีขาวกระจายต่อเนื่องบนพื้นสีดำจากการกรองภาพระดับเทาจากภาพมิตีสี RGB โดยใช้การปรับขนาดของตัวกรองทั้งหมด 3 ขนาดและปรับทิศทางตัวกรองที่ 90 และ 180 องศา

เนื่องจากคนเดินถนนส่วนใหญ่เคลื่อนที่ในแนวตั้งฉากกับพื้นถนนหรือแนวระนาบ ทำให้มีลักษณะของกลุ่มเส้นขอบในแนวตั้งเป็นรูปแบบที่ค่อนข้างชัดเจน เพื่อดึงลักษณะกลุ่มเส้นขอบแนวตั้งให้แจ่มชัดยิ่งขึ้น ในงานวิจัยนี้เลือกใช้ทิศทางตัวกรองที่ 90 องศา เท่านั้นเพื่อให้ผลตอบสนองของชุดตัวกรองตอบสนองต่อความแตกต่างของค่าความเข้มสีระดับเทาในแนวตั้งฉากกับแนวระนาบชัดเจนมากขึ้นตามความสมมาตรด้านซ้ายขวาของภาพคนเดินถนน ดังตัวอย่างภาพเฟสอสมมาตรของภาพคนเดินถนนแสดงในรูปที่ 3.5

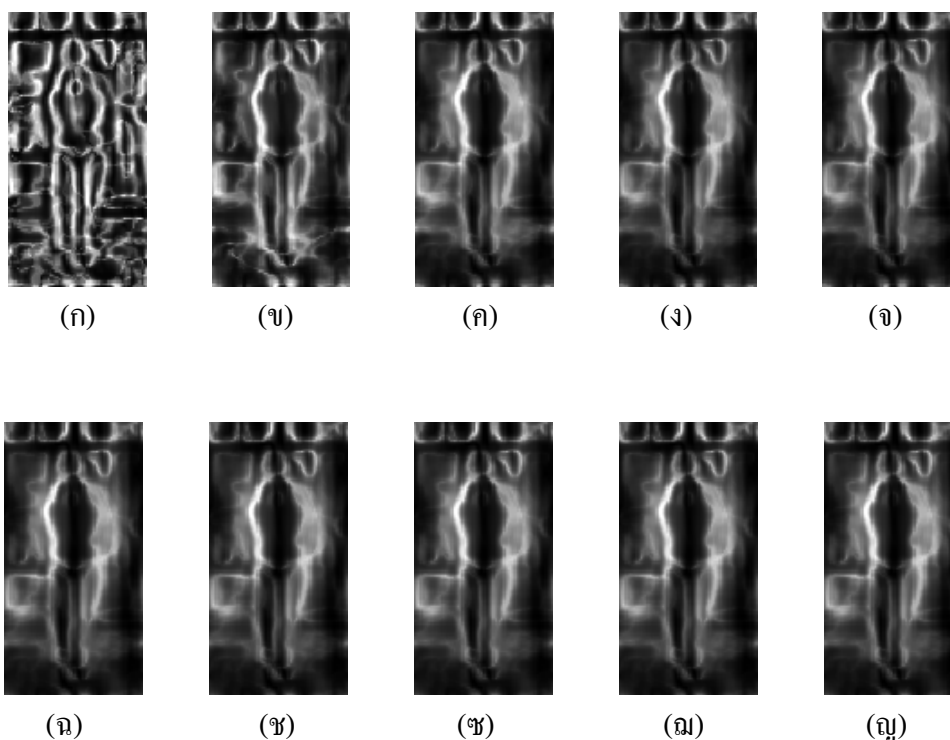


รูปที่ 3.4 ตัวอย่างการดึงลักษณะเด่นด้วยเฟสอสมมาตร (ก) ภาพ RGB (ข) ภาพระดับเทา
(ค) ภาพเฟสอสมมาตรที่ทิศทางตัวกรอง 90 และ 180 องศา



รูปที่ 3.5 ตัวอย่างการดึงลักษณะเด่นด้วยเฟสอสมมาตร (ก) ภาพ RGB (ข) ภาพระดับเทา
(ค) ภาพเฟสอสมมาตรที่ทิศทางตัวกรอง 90 องศา

ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการตอบสนองของภาพเฟสอสมมาตรนอกจากค่าความแตกต่างของระดับความเข้มสีแล้วยังขึ้นอยู่กับค่าจำนวนขนาดของชุดตัวกรองอีกด้วย จากการเปรียบเทียบจำนวนขนาดของชุดตัวกรอง ในงานวิจัยเลือกใช้จำนวนขนาดของชุดตัวกรองเท่ากับ 3 ดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 3.6 (ค) เนื่องจากให้ผลเฟสอสมมาตรที่ต่อเนื่องชัดเจน มีรายละเอียดเฟสอสมมาตรส่วนอื่นนอกเหนือจากภาพคนเดินถนนน้อย ให้ผลตอบสนองเฟสอสมมาตรที่ดีกว่าจำนวนขนาดของชุดตัวกรองเท่ากับ 1 และ 2 ดังแสดงในรูปที่ 3.6 (ก) และรูปที่ 3.6 (ข) และที่จำนวนขนาดของชุดตัวกรองมากกว่า 3 ให้ผลเฟสอสมมาตรใกล้เคียงกับจำนวนขนาดของชุดตัวกรองเท่ากับ 3 ดังแสดงในรูปที่ 3.6 (ง) ถึงรูปที่ 3.6 (ญ) ซึ่งมีจำนวนขนาดของชุดตัวกรองเท่ากับ 5, 6, 7, 8, 9 และ 10 ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับการทดสอบภาพคนเดินถนนอื่น ๆ จาก MITP



รูปที่ 3.6 เปรียบเทียบเฟสอสมมาตรที่จำนวนขนาดชุดตัวกรองเท่ากับ (ก) 1 (ข) 2
(ค) 3 (ง) 4 (จ) 5 (ฉ) 6 (ช) 7 (ซ) 8 (ฌ) 9 และ (ญ) 10

จากการปรับค่าชุดตัวแปรต่าง ๆ ที่เหมาะสมกับชุดตัวกรองแล้วทำให้ได้ภาพเฟสอสมมาตรของภาพคนเดินถนนที่มีความชัดเจนยิ่งขึ้น

3.3 การดึงลักษณะเด่นทางสีของภาพคนเดินถนน

นอกจากการดึงลักษณะเด่นทางเส้นของภาพคนเดินถนนแล้ว ในงานวิจัยนี้ยังใช้การดึงลักษณะเด่นทางสีซึ่งถือเป็นการดึงลักษณะเด่นภาพคนเดินถนนอีกรูปแบบหนึ่ง ดังแสดงตัวอย่างในงานวิจัยของ Seitner and Lovell (2005) ใช้หลักการพื้นฐานจากความแตกต่างของสีคนเดินถนนกับภาพพื้นหลัง ซึ่งประกอบด้วยสีผิวและสีของเสื้อผ้าคนเดินถนนซึ่งมีความแตกต่างกับสีของภาพพื้นหลัง เช่น สีของพื้นถนน เป็นต้น และจากคุณสมบัติความสมมาตรด้านซ้ายขวาจากสีเสื้อผ้าและสีผิวตามรูปร่างของคนนั่นเอง งานวิจัยนี้ได้นำข้อมูลเหล่านี้มาประยุกต์ใช้ในการดึงลักษณะเด่นของภาพคนเดินถนนทางด้านสีโดยใช้วิธีการเฟสสมมาตร และได้นำเสนอการพิจารณาเฟสสมมาตรจากมิติสีที่ต่างกัน เพื่อแสดงและเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการดึงลักษณะเด่นทางสีของภาพคนเดินถนนเนื้อหาและรายละเอียดดังนี้

3.3.1 มิติสี่ของภาพคนเดินถนน

เนื่องจากคนเดินถนนส่วนใหญ่สวมใส่เสื้อผ้าที่หลากหลายลวดลายและสีสันทัน ทำให้การดึงลักษณะเด่นทางสีของภาพคนเดินถนนเป็นเรื่องที่ค่อนข้างยุ่งยากและซับซ้อน โดยเฉพาะการพิจารณาจากมิติสีเพียงมิติสีเดียวอาจทำให้การดึงลักษณะเด่นทางสีไม่สามารถครอบคลุมสีของคนเดินถนนทุกภาพได้ และถ้าพิจารณาภาพระดับเทาจากมิติสีต่าง ๆ บางครั้งอาจทำให้ข้อมูลความแตกต่างระหว่างสีของคนเดินถนนและภาพพื้นหลังลดลง งานวิจัยนี้จึงได้เสนอแนวทางการดึงลักษณะเด่นทางสีของภาพคนเดินถนนด้วยการพิจารณามิติสีย่อยที่แตกต่างกัน

ภาพคนเดินถนนจาก MITP ที่ใช้ในงานวิจัยทั้งหมดมีความหลากหลายทางด้านสีของภาพคนเดินถนนมาก ผู้วิจัยจึงได้เสนอการจัดแบ่งเป็นกลุ่มภาพคนเดินถนนออกเป็น 4 กลุ่มหลัก เพื่อความสะดวกในการทดสอบและแสดงผล ดังนี้

กลุ่มที่ 1 คือ กลุ่มภาพคนเดินถนนที่สวมใส่เสื้อผ้าที่มีสีส่วนมากประกอบด้วยสีขาวและสีดำ ได้แก่ ภาพคนสวมใส่เสื้อสีขาวกางเกงสีดำ ดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 ตัวอย่างกลุ่มภาพคนเดินถนนที่สวมใส่เสื้อผ้าที่มีสีขาวและสีดำ

กลุ่มที่ 2 คือ กลุ่มภาพคนเดินถนนที่สวมใส่เสื้อผ้าส่วนใหญ่เป็นสีพื้นเป็นสีเดียว ได้แก่ ภาพคนเดินถนนที่สวมใส่เสื้อ กางเกง หรือกระโปรงเป็นโทนสีใดสีหนึ่งเพียงสีเดียวไม่มีลวดลายซับซ้อน ดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 ตัวอย่างกลุ่มภาพคนเดินถนนที่สวมใส่เสื้อผ้าที่มีสีพื้นเป็นสีเดียว

กลุ่มที่ 3 คือ กลุ่มภาพคนเดินถนนที่สวมใส่เสื้อผ้าส่วนใหญ่มีสีซับซ้อนและหลากหลาย ได้แก่ ภาพคนสวมใส่เสื้อผ้าลายตาราง เสื้อผ้าที่มีลวดลายหลากสีสัน ดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 3.9



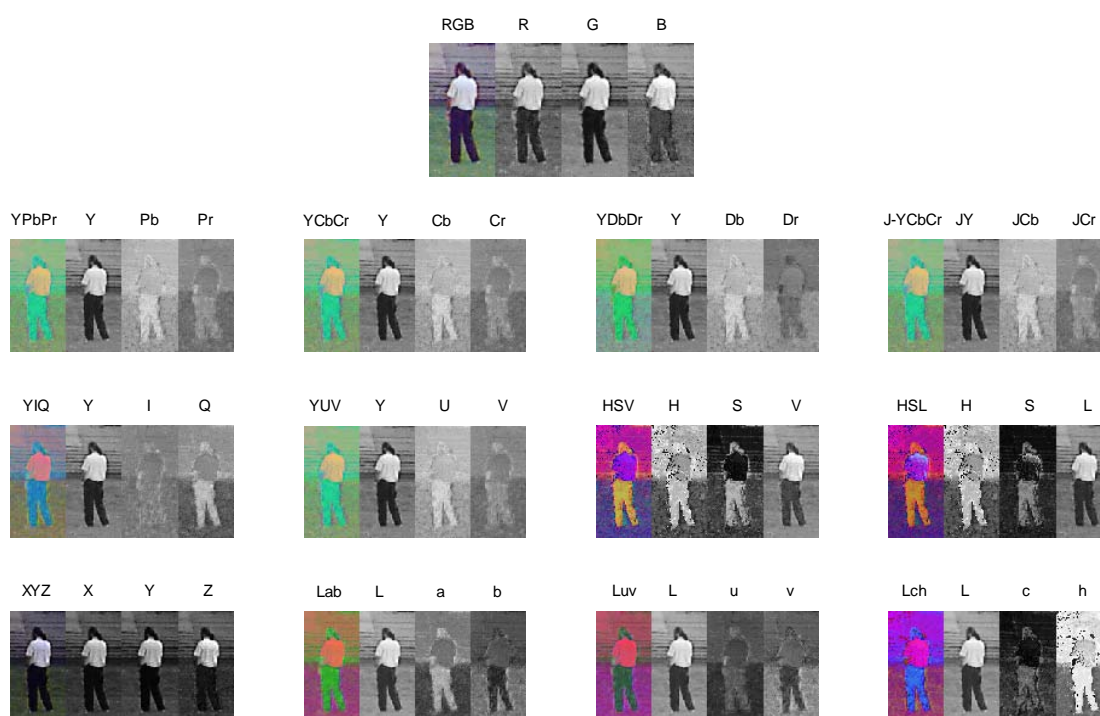
รูปที่ 3.9 ตัวอย่างกลุ่มภาพคนเดินถนนที่สวมใส่เสื้อผ้าส่วนใหญ่มีสีซับซ้อนและหลากหลาย

กลุ่มที่ 4 คือ กลุ่มภาพคนเดินถนนที่สวมใส่เสื้อผ้าแล้วเห็นลักษณะสีผิวมนุษย์ชัดเจน ได้แก่ ภาพคนวิ่งออกกำลังกาย ภาพคนเดินถนนใส่กางเกงขาสั้น ดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 3.10

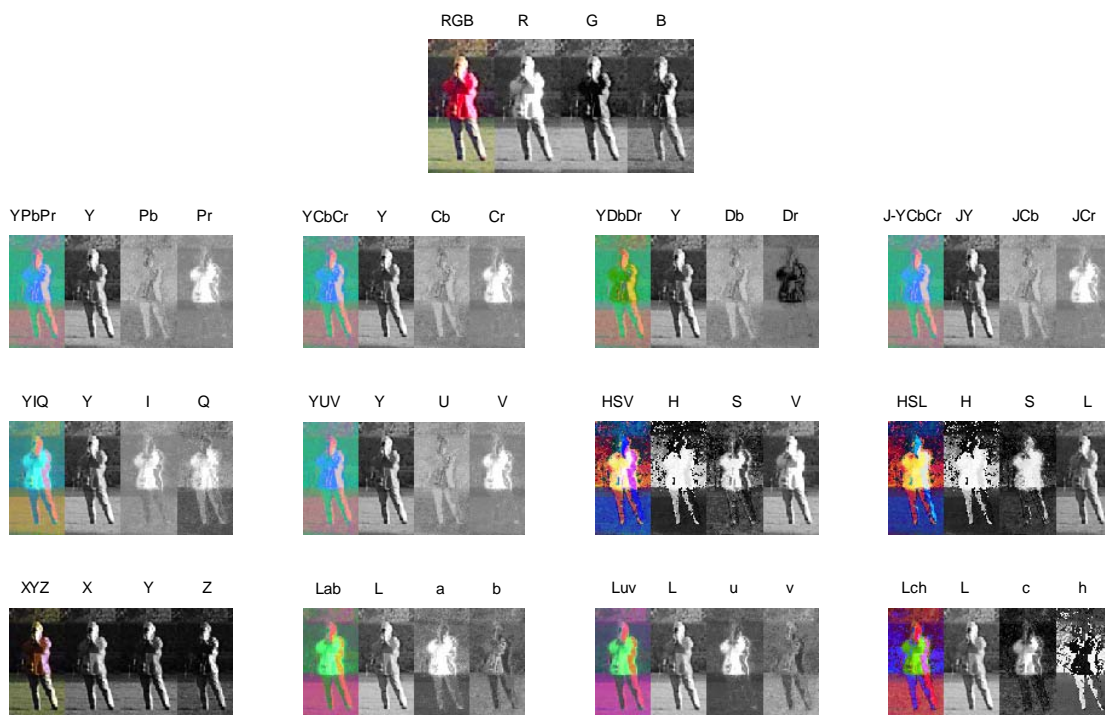


รูปที่ 3.10 ตัวอย่างกลุ่มภาพคนเดินถนนที่สวมใส่เสื้อผ้าแล้วเห็นลักษณะสีผิวมนุษย์ชัดเจน

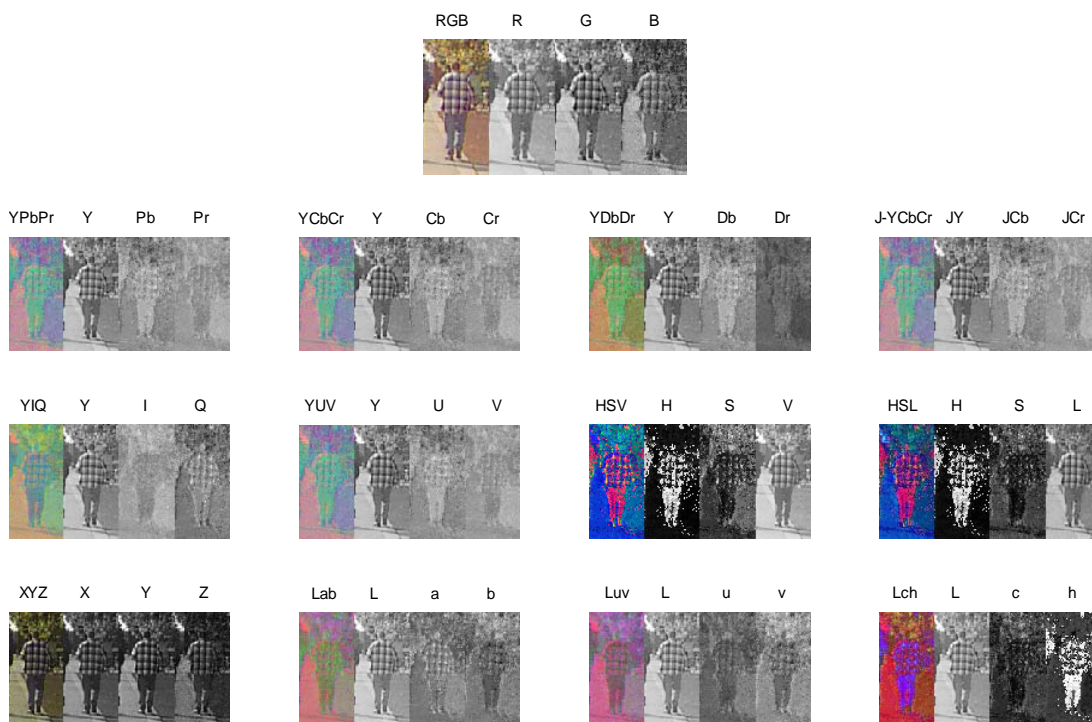
จากการพิจารณามิตีสีที่ต่างกันกับภาพคนเดินถนน ทำให้มีรูปแบบการจัดเรียงค่าสีแต่ละสีที่แตกต่างกันและได้ภาพระดับเทาของแต่ละมิตีสีย่อยที่หลากหลายแตกต่างกัน งานวิจัยนี้ได้นำเสนอการพิจารณาภาพคนเดินถนนที่มีมิตีสีย่อยแตกต่างกัน เพื่อนำภาพระดับเทาที่ได้แต่ละมิตีสีย่อยไปประมวลผลการหาเฟสสมมาตรในลำดับต่อไป ดังแสดงตัวอย่างภาพจากกลุ่มภาพคนเดินถนน MITP ทั้ง 4 กลุ่ม ในมิตีสีย่อยต่าง ๆ ดังแสดงในรูปที่ 3.11-3.15



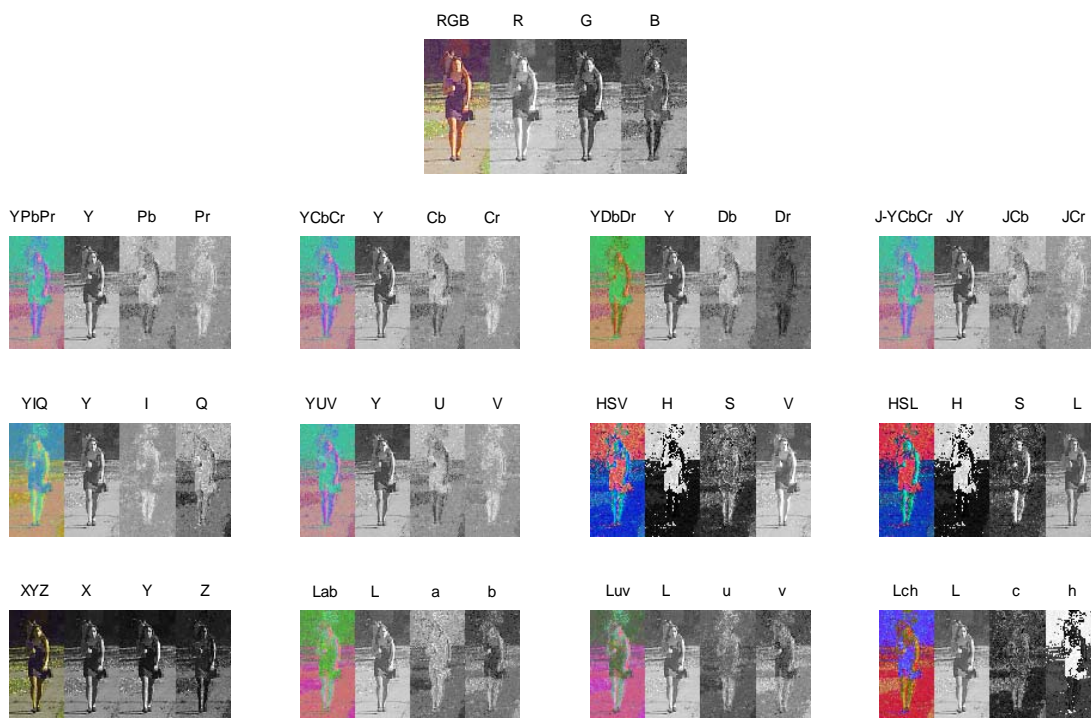
รูปที่ 3.11 ตัวอย่างภาพจากภาพคนเดินถนนกลุ่มที่ 1 ในมิตีสีต่าง ๆ



รูปที่ 3.12 ตัวอย่างภาพจากภาพคนเดินถนนกลุ่มที่ 2 ในมิติสีต่าง ๆ



รูปที่ 3.13 ตัวอย่างภาพจากภาพคนเดินถนนกลุ่มที่ 3 ในมิติสีต่าง ๆ



รูปที่ 3.14 ตัวอย่างภาพจากภาพคนเดินถนนกลุ่มที่ 4 ในมิติสีต่าง ๆ

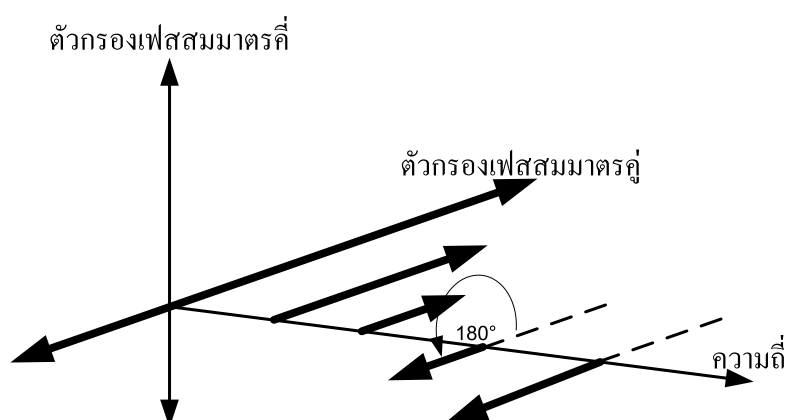
3.3.2 เฟสสมมาตร (symmetry phase)

เฟสสมมาตร หรือ SP (Kovesi, 1997) คือ เวกเตอร์บนแกนความถี่ของภาพที่ได้จากการผ่านตัวกรองกานอร์แบบลอการิทึมซึ่งมีมุม (เฟส) เท่ากับ 0 หรือ 180 องศา วางตัวตามแนวแกนตัวกรองเฟสสมมาตรคู่ ดังแสดงในรูปที่ 3.15 เฟสสมมาตรสามารถคำนวณได้จากพื้นฐานตัวกรองกานอร์แบบลอการิทึมเช่นเดียวกับการหาเฟสสมมาตร แต่ต่างกันตรงที่การคำนวณค่าพลังงานรวมต่างกัน การหาเฟสสมมาตรสามารถคำนวณได้ตามสมการที่ (3-2)

$$SP(x) = \frac{\sum_n [|e_n(x)| - |o_n(x)|]}{\sum_n A_n(x) + \varepsilon} \quad (3-2)$$

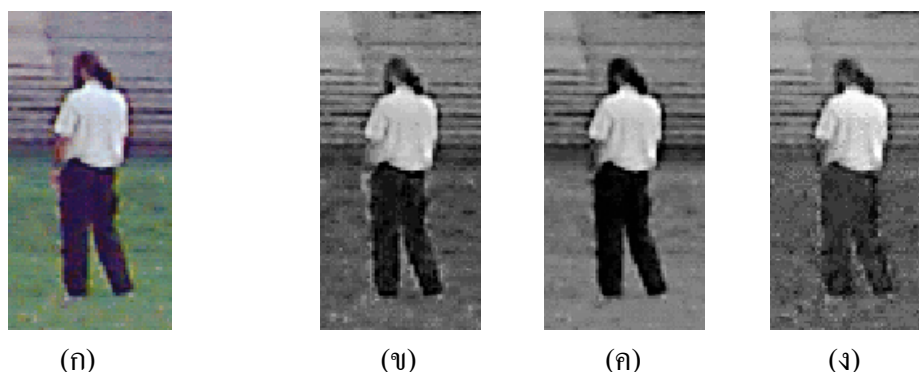
เฟสสมมาตรคำนวณจากผลรวมของค่าสัมบูรณ์ $e_n(x)$ ลบด้วยค่าสัมบูรณ์ $o_n(x)$ เนื่องจากเฟสสมมาตรเกิดจากภาพ e_n ซึ่งเป็นภาพที่ได้จากค่าส่วนจริงของภาพผ่านการกรอง ซึ่งเป็นผลมาจากตัวกรองฟังก์ชันคู่ซึ่งมีลักษณะสัญญาณสมมาตรที่ตอบสนองต่อกลุ่มสีของวัตถุได้ดี ดังนั้นภาพเฟสสมมาตรมีค่าบ่งบอกความเป็นสี $e_n(x)$ มากและมีค่าบ่งบอกความเป็นขอบ $o_n(x)$ น้อยจากนั้นหารด้วยขนาดของภาพผ่านการกรอง $A_n(x)$ และใช้ค่า $\varepsilon = 0.01$ เช่นเดียวกันกับการคำนวณ

หาเฟสอสมมาตร เฟสสมมาตรเป็นการพิจารณาภาพใน โดเมนความถี่ การหาเฟสสมมาตรโดยเฉพาะในแนวตั้งของภาพเป็นการเน้นการรวมกลุ่มของสีภายในภาพที่มีค่าใกล้เคียงกันและมีลักษณะสมมาตรในแนวตั้งด้วย งานวิจัยนี้ได้ประยุกต์นำเฟสสมมาตรมาใช้ในการดึงลักษณะเด่นทางสีของภาพคนเดินถนน เนื่องจากเหตุผลที่ว่าโดยทั่วไปคนแล้วมีรูปร่างที่สมมาตรในแนวตั้ง โดยเฟสสมมาตรดึงกลุ่มสีที่แตกต่างกันซึ่งเกิดจากเสื้อผ้า สีผิว วัตถุต่าง ๆ ในภาพ และภาพพื้นหลังที่ตอบสนองตามมิติสีย่อยต่าง ๆ ออกจากกันและเน้นกลุ่มสีที่แตกต่างกันนั้นให้เด่นชัด ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยด้านค่าความแตกต่างและความสมมาตรของกลุ่มสีในภาพตามแนวตั้งเป็นสำคัญ

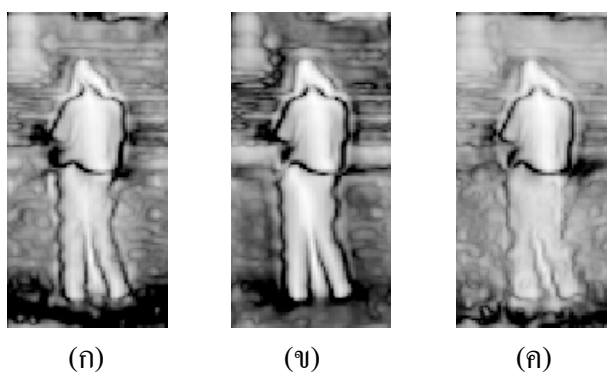


รูปที่ 3.15 รูปแบบเวกเตอร์ที่มีความสมมาตร

ภาพเฟสสมมาตรที่ได้จากการผ่านชุดตัวกรองมีลักษณะตอบสนองต่อความคล้ายกันของค่าความเข้มสี ยังมีค่าความเข้มสีมีค่าใกล้เคียงกันมากภาพเฟสสมมาตรมีผลตอบสนองได้ชัดเจน ผลตอบสนองที่ได้มีลักษณะเป็นกลุ่มจุดภาพที่กระจายความหนาแน่นจากแกนกลาง เนื่องจากตัวกรองส่วนหลักเป็นตัวกรองสมมาตร $e_n(x)$ ซึ่งเป็นคุณสมบัติของตัวกรองแบบฟังก์ชันคู่ (even function) จึงทำให้มีผลตอบสนองต่อความคล้ายกันของค่าความเข้มสีที่ชัดเจน ทั้งนี้การตอบสนองของภาพเฟสสมมาตรยังขึ้นอยู่กับค่าขนาดของตัวกรองและทิศทางตัวกรองเช่นเดียวกับเฟสอสมมาตร ดังแสดงตัวอย่างมิติสีย่อยในรูปที่ 3.16 ภาพมิติสีย่อย R G และ B ที่ได้มาจากภาพคนเดินถนนมิติสี RGB (รูปที่ 3.16 (ก)) เมื่อนำภาพมิติสีย่อยไปคำนวณเฟสสมมาตรที่มีการปรับทิศทางตัวกรองที่ 90 ได้ภาพเฟสสมมาตรดังแสดงในรูปที่ 3.17

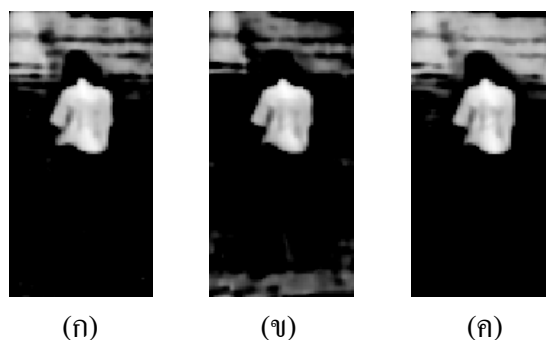


รูปที่ 3.16 ตัวอย่างภาพคนเดินถนน (ก) มิตีสี RGB (ข) มิตีสีย่อย R
(ค) มิตีสีย่อย G และ (ง) มิตีสีย่อย B



รูปที่ 3.17 ตัวอย่างภาพเฟสสมมาตรของภาพคนเดินถนนใน (ก) มิตีสีย่อย R
(ข) มิตีสีย่อย G และ (ค) มิตีสีย่อย B

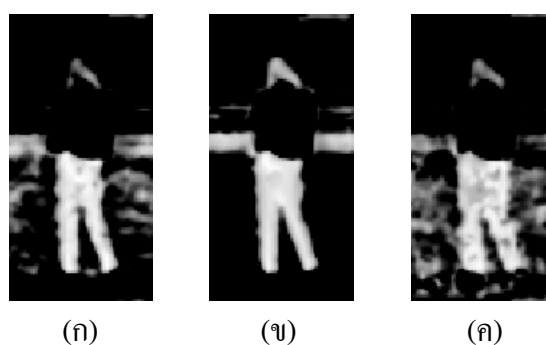
จากรูปที่ 3.17 พบว่าภาพเฟสสมมาตรโดยตรงไม่สามารถแสดงลักษณะเด่นของภาพคนเดินถนนได้ชัดเจน เนื่องจากภาพคนเดินถนนและภาพพื้นหลังให้ผลตอบสนองที่ใกล้เคียงกัน ดังนั้น จึงพิจารณาเฟสสมมาตรเป็นสองส่วนตามงานวิจัยของ Kovesei (1997) ได้แก่ ภาพจากเฟสสมมาตรจุดสว่าง (bright point symmetry phase) หรือ BPSP และภาพจากเฟสสมมาตรจุดมืด (dark point symmetry phase) หรือ DPSP ภาพที่ได้จากเฟสสมมาตรจุดสว่าง คือ ภาพที่พิจารณาเฉพาะเฟสสมมาตรที่มีค่า $e_n(x)$ เป็นบวก ดังแสดงในสมการที่ (3-3) ทำให้ภาพที่ได้มีลักษณะตอบสนองต่อสีที่มีค่าความเข้มสีมากกว่าค่าความเข้มสีเฉลี่ยของภาพที่ได้จากการผ่านตัวกรองกาบอร์แบบลอการิทึม ดังแสดงในรูปที่ 3.18



รูปที่ 3.18 ตัวอย่างภาพเฟสสมมาตรจุดสว่างของภาพคนเดินถนนจาก
(ก) มิตีสีย่อย R (ข) มิตีสีย่อย G และ (ค) มิตีสีย่อย B

$$BPSP(x) = \frac{\sum_n [e_n(x) - |o_n(x)|]}{\sum_n A_n(x) + \varepsilon} \quad (3-3)$$

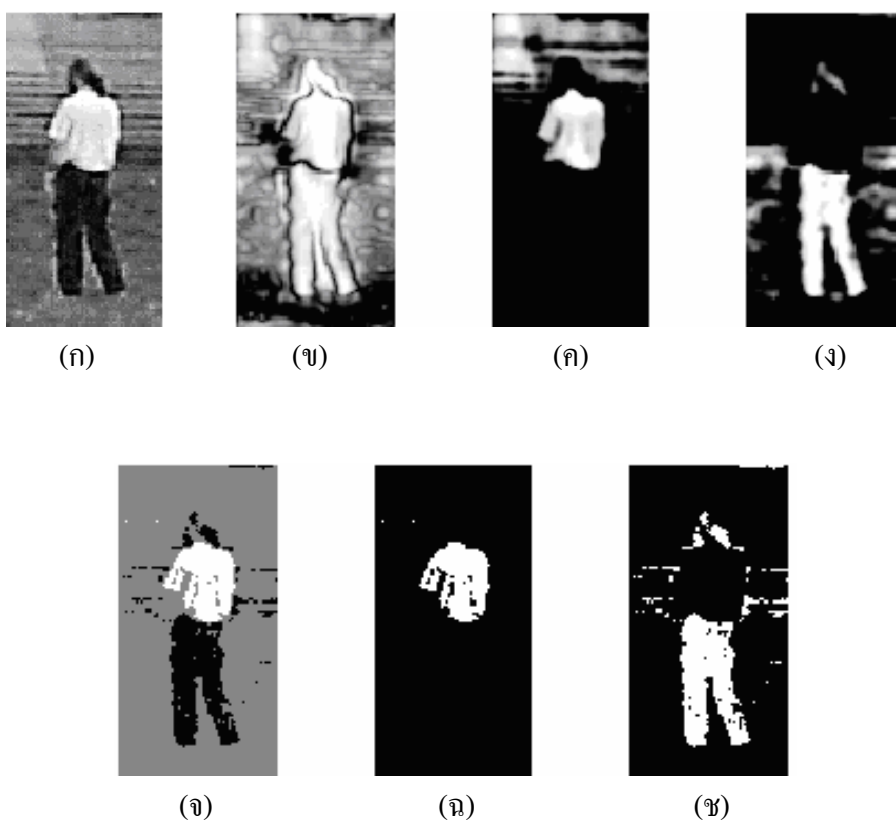
ภาพที่ได้จากเฟสสมมาตรจุดมืด คือ ภาพที่พิจารณาเฉพาะเฟสสมมาตรที่มีค่า $e_n(x)$ เป็นลบ ดังแสดงในสมการที่ (3-4) ทำให้ภาพที่ได้มีลักษณะเป็นที่ผลตอบสนองต่อสีที่มีค่าความเข้มสีน้อยกว่าค่าความเข้มสีเฉลี่ยของภาพที่ได้จากการผ่านตัวกรองกาเบอร์แบบลอการิทึม ดังแสดงในรูปที่ 3.19



รูปที่ 3.19 ตัวอย่างภาพเฟสสมมาตรจุดมืดของภาพคนเดินถนนจาก
(ก) มิตีสีย่อย R (ข) มิตีสีย่อย G และ (ค) มิตีสีย่อย B

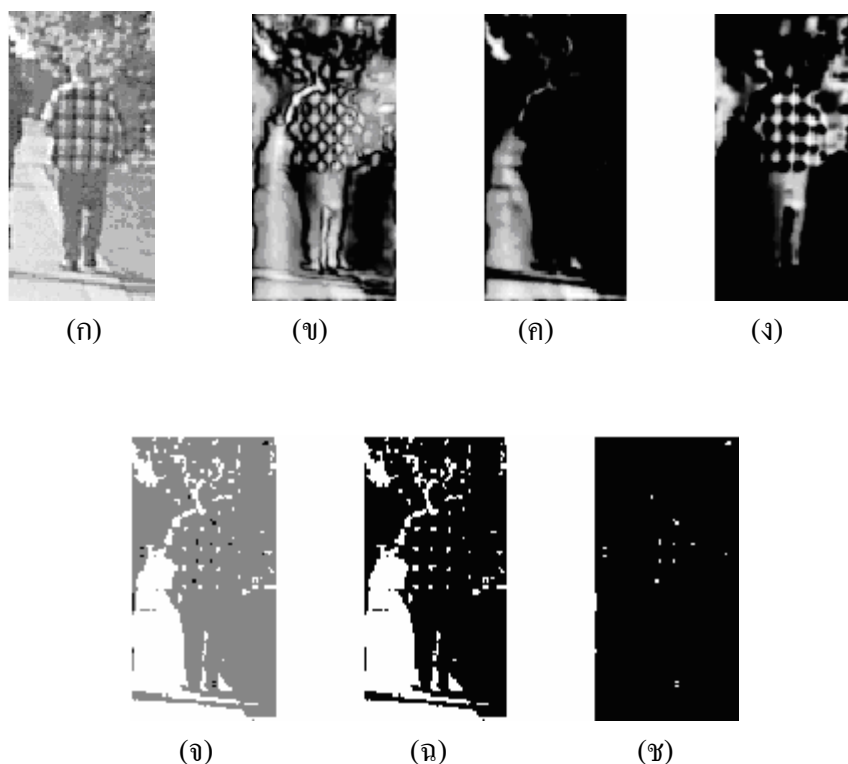
$$DPSP(x) = \frac{\sum_n [-e_n(x) - |o_n(x)|]}{\sum_n A_n(x) + \varepsilon} \quad (3-4)$$

ลักษณะของภาพที่ได้จากวิธีการเฟสสมมาตร เฟสสมมาตรจุดสว่าง และภาพเฟสสมมาตรจุดมืดของภาพ มีลักษณะคล้ายคลึงกับภาพที่ได้จากการแบ่งภาพระดับเทา 3 ระดับ ซึ่งเป็นวิธีการพื้นฐานในการประมวลผลภาพ โดยการใช้การปรับค่าขีดเริ่มเปลี่ยนแบ่งความเข้มสีออกเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ (1) *กลุ่มจุดภาพสว่าง* ซึ่งเป็นกลุ่มจุดภาพที่มีค่าความเข้มระดับเทามากกว่าค่าระดับเทาเฉลี่ยทั้งภาพ (2) *กลุ่มจุดภาพมืด* ซึ่งเป็นกลุ่มจุดภาพที่มีค่าความเข้มระดับเทาน้อยกว่าค่าระดับเทาเฉลี่ยทั้งภาพ และ (3) *กลุ่มจุดภาพเฉลี่ย* ซึ่งเป็นกลุ่มจุดภาพที่มีค่าความเข้มระดับเทาใกล้เคียงกับค่าระดับเทาเฉลี่ยทั้งภาพ เนื่องจากวิธีการทั้งสองมีหลักการพื้นฐานคล้ายคลึงกัน ดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 3.20



รูปที่ 3.20 ตัวอย่างภาพคนเดินถนนที่มีสีชุดแต่งกายแตกต่างจากภาพพื้นหลังชัดเจน (ก) ภาพระดับเทา (ข) ภาพเฟสสมมาตร (ค) ภาพเฟสสมมาตรจุดสว่าง (ง) ภาพเฟสสมมาตรจุดมืด (จ) ภาพระดับเทา 3 ระดับ (ฉ) กลุ่มจุดภาพสว่าง และ (ช) กลุ่มจุดภาพมืด

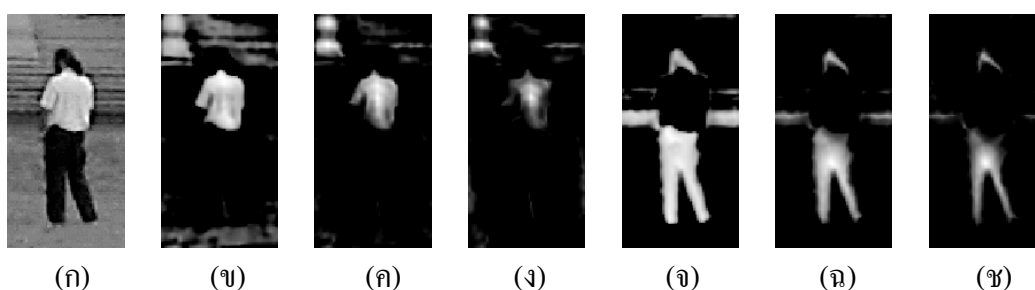
พบว่าภาพเฟสสมมาตรจุดสว่างมีลักษณะใกล้เคียงกับกลุ่มจุดภาพสว่าง และภาพเฟสสมมาตรจุดมืดมีลักษณะใกล้เคียงกับกลุ่มจุดภาพมืด ทั้งนี้เนื่องจากภาพคนเดินถนนที่ใช้พิจารณามีสีชุดแต่งกายระดับเทา 256 ระดับ แตกต่างจากภาพพื้นหลังชัดเจน แต่เมื่อพิจารณากับภาพอื่นหลาย ๆ ภาพพบว่าภาพเฟสสมมาตรจุดสว่างและภาพเฟสสมมาตรจุดมืดมีประสิทธิภาพในการดึงลักษณะความแตกต่างทางความเข้มสีระดับเทาของภาพคนเดินถนนที่ดีกว่ากลุ่มจุดภาพสว่างมืดและกลุ่มจุดภาพมืดจากภาพระดับเทา 3 ระดับ ตามลำดับ เนื่องจากภาพเฟสสมมาตรจุดสว่างและภาพเฟสสมมาตรจุดมืดมีความต่อเนื่องของกลุ่มสีมากกว่าและมีลักษณะเป็นกลุ่มสีที่ชัดเจนกว่า รวมถึงสามารถดึงลักษณะความแตกต่างทางความเข้มสีระดับเทาที่มีค่าใกล้เคียงกันได้ เพราะการคำนวณภาพเฟสสมมาตรไม่ได้แค่พิจารณาค่าความเข้มสีระดับเทาแต่รวมถึงการพิจารณาเฟสของจุดภาพที่มีความสมมาตรด้วย ดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 3.21



รูปที่ 3.21 ตัวอย่างภาพคนเดินถนนที่มีสีชุดแต่งกายใกล้เคียงกับภาพพื้นหลัง (ก) ภาพระดับเทา (ข) ภาพเฟสสมมาตร (ค) ภาพเฟสสมมาตรจุดสว่าง (ง) ภาพเฟสสมมาตรจุดมืด (จ) ภาพระดับเทา 3 ระดับ (ฉ) กลุ่มจุดภาพสว่าง และ (ช) กลุ่มจุดภาพมืด

เมื่อพิจารณาผลตอบแทนของภาพจากรูปที่ 3.21 พบว่าภาพสมมาตรจุดสว่างมีลักษณะใกล้เคียงกับกลุ่มจุดภาพสว่างจากภาพระดับเทา 3 ระดับ แต่ภาพเฟสสมมาตรจุดมืดมีประสิทธิภาพในการดึงลักษณะความแตกต่างทางความเข้มสีระดับเทาที่ดีกว่ากลุ่มจุดภาพมืดสามารถสังเกตเห็นลักษณะเด่นของกลุ่มสีเสื้อและกางเกงของภาพคนเดินถนนได้ชัดเจน ถึงแม้ว่าภาพผลตอบแทนจากภาพคนเดินถนนมีสีชุดแต่งกายระดับเทา 256 ระดับ มีสีชุดแต่งกายที่ใกล้เคียงกับภาพพื้นหลัง ดังนั้นการหาเฟสสมมาตรจึงมีประสิทธิภาพในการดึงลักษณะเด่นทางสีของภาพคนเดินถนนมากกว่าการใช้วิธีการแบ่งภาพระดับเทา 3 ระดับ

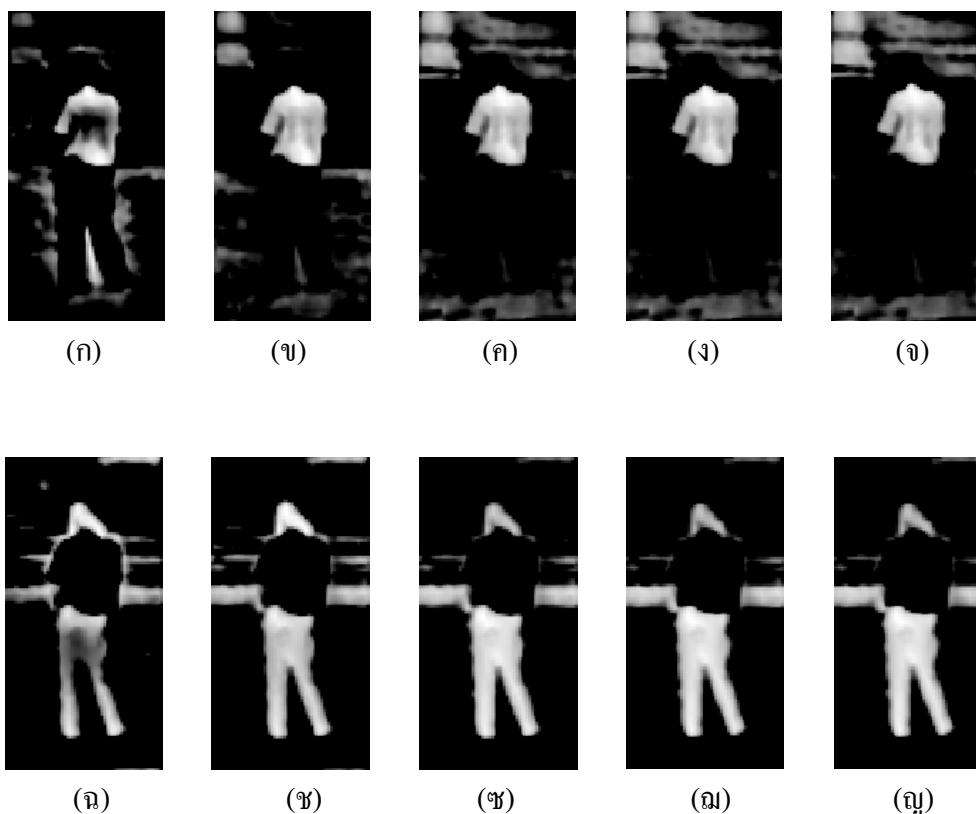
ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการตอบสนองของภาพเฟสสมมาตรนอกจากค่าความแตกต่างของระดับความเข้มสีแล้วยังขึ้นอยู่กับทิศทางตัวกรองและขนาดของตัวกรองอีกด้วย เช่นเดียวกับการตอบสนองของภาพเฟสสมมาตร จากการเปรียบเทียบทิศทางตัวกรองทั้งเฟสสมมาตรจุดสว่างและเฟสสมมาตรจุดมืด ดังแสดงในรูปที่ 3.22 งานวิจัยนี้เลือกใช้ทิศทางตัวกรองเท่ากับ 90 องศา ดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 3.22 (ข) และ รูปที่ 3.22 (จ) เนื่องจากให้ผลเฟสสมมาตรแนวตั้งที่ต่อเนื่องชัดเจนสอดคล้องกับผลตอบแทนความสมมาตรด้านซ้ายขวาของภาพคนเดินถนน และมีลักษณะของภาพที่ชัดเจนกว่าภาพที่ใช้ทิศทางตัวกรองเท่ากับ 90 และ 180 องศา และทิศทางตัวกรองเท่ากับ 60, 120 และ 240 องศา



รูปที่ 3.22 ตัวอย่างเปรียบเทียบ (ก) ภาพมิตติสีย่อย G ภาพเฟสสมมาตรจุดสว่างที่ทิศทางตัวกรอง (ข) 90 องศา (ค) 90 และ 180 องศา (ง) 60, 120 และ 240 องศา และภาพเฟสสมมาตรจุดมืดที่ทิศทางตัวกรอง (จ) 90 องศา (ฉ) 90 และ 180 องศา (ซ) 60, 120 และ 240 องศา

เมื่อพิจารณาขนาดของตัวกรองจากตัวอย่างการเปรียบเทียบจำนวนขนาดของชุดตัวกรองทั้งเฟสสมมาตรจุดสว่างและเฟสสมมาตรจุดมืด ดังแสดงในรูปที่ 3.23 งานวิจัยนี้เลือกใช้จำนวนขนาดของชุดตัวกรองเท่ากับ 3 ดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 3.23 (ข) และรูปที่ 3.23 (ซ) เนื่องจากให้ผลเฟสสมมาตรแนวตั้งที่ต่อเนื่องชัดเจน มีรายละเอียดเฟสสมมาตรส่วนอื่นนอกเหนือจากภาพ

คนเดินถนนน้อย ให้ผลตอบสนองเฟสสมมาตรแนวตั้งที่ดีกว่าจำนวนขนาดของชุดตัวกรองเท่ากับ 2 และที่จำนวนขนาดของชุดตัวกรองมากกว่า 3 ให้ผลเฟสสมมาตรแนวตั้งใกล้เคียงกับจำนวนขนาดของชุดตัวกรองเท่ากับ 3 ซึ่งมีจำนวนขนาดของชุดตัวกรองเท่ากับ 4, 5 และ 10 ตามลำดับ ซึ่งมีความสอดคล้องกับผลการทดสอบภาพคนเดินถนนอื่น ๆ จาก MITP

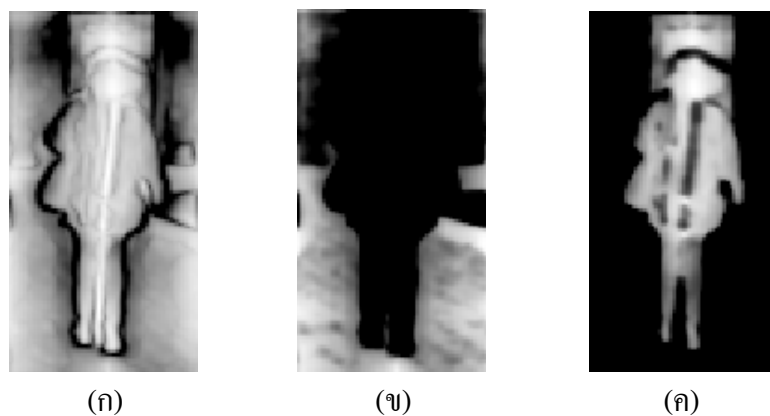


รูปที่ 3.23 เปรียบเทียบขนาดตัวกรองของภาพเฟสสมมาตรจุดสว่างที่ (ก) 2 (ข) 3 (ค) 4 (ง) 5 (จ) 10 และเฟสสมมาตรจุดมืดที่ (ฉ) 2 (ช) 3 (ฌ) 4 (ฉ) 5 (ญ) 10

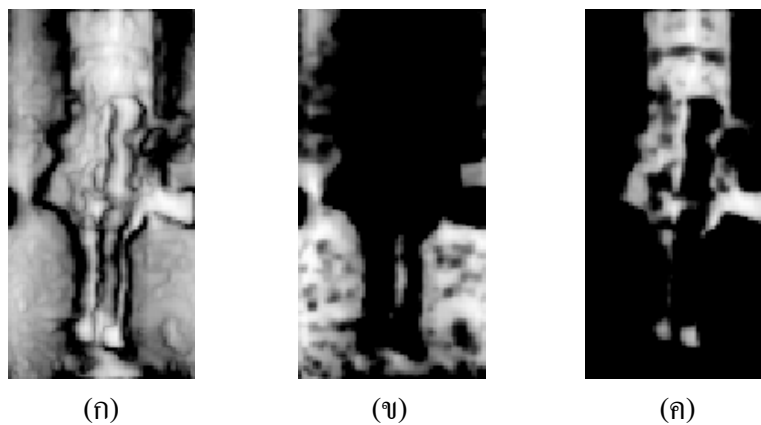
จากการปรับค่าชุดตัวแปรต่าง ๆ ที่เหมาะสมกับชุดตัวกรองแล้วได้ภาพเฟสสมมาตรจุดสว่างและเฟสสมมาตรจุดมืดของภาพคนเดินถนนที่มีความชัดเจนยิ่งขึ้น งานวิจัยนี้ได้นำเฟสสมมาตรทดสอบผลตอบสนองกับภาพตัวอย่างจากกลุ่มภาพคนเดินถนน MITP ในลักษณะแตกต่างกัน โดยทดสอบกับตัวอย่างภาพระดับเทาจากมิตีสีต่าง ๆ และทดสอบกับตัวอย่างภาพมิตีสีย่อยต่าง ๆ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1) การทดสอบเฟสสมมาตรจากภาพระดับเทาจากมิตีสีต่าง ๆ จากการนำภาพตัวอย่างจากกลุ่มภาพคนเดินถนน MITP ทั้ง 4 กลุ่ม ในมิตีสี RGB แปลงเป็นมิตีสีต่าง ๆ รวมทั้งหมด 13 มิตีสี

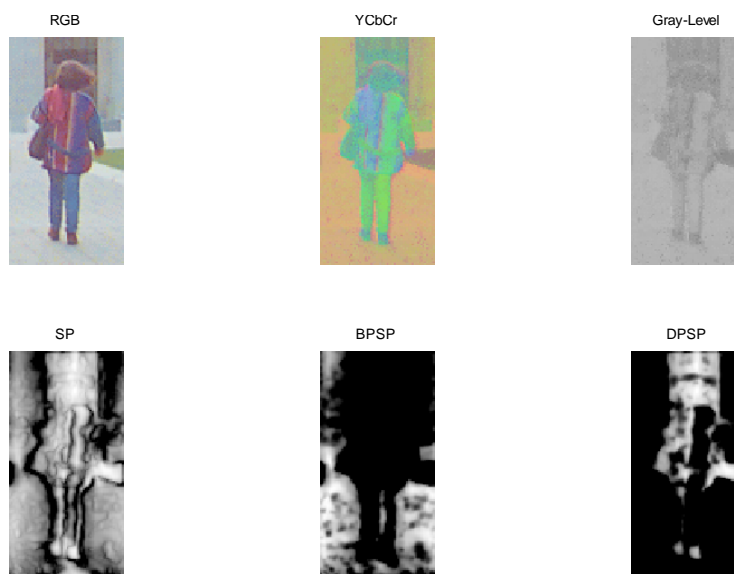
จากนั้นนำภาพไปแปลงเป็นภาพระดับเทา 256 ระดับ เพื่อคำนวณหาเฟสสมมาตร เฟสสมมาตรจุดสว่าง และเฟสสมมาตรจุดมืด ดังแสดงในรูปที่ 3.24 ถึงรูปที่ 3.37



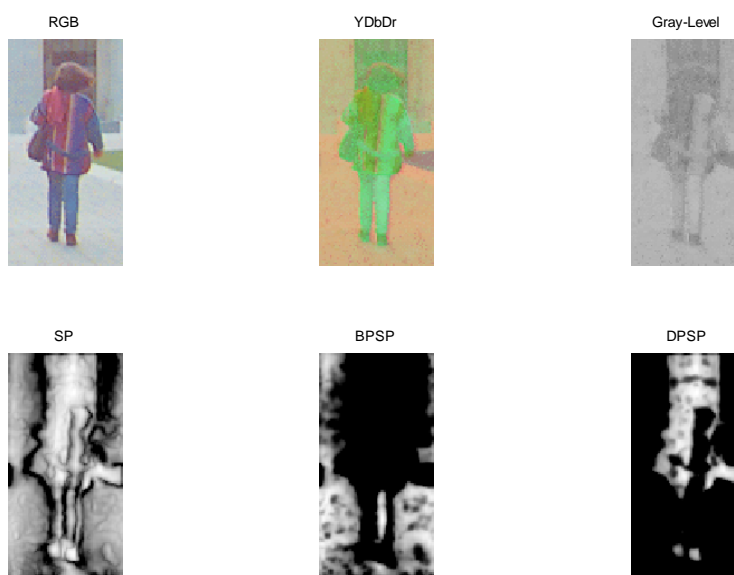
รูปที่ 3.24 ตัวอย่างภาพ (ก) เฟสสมมาตร (ข) เฟสสมมาตรจุดสว่าง และ (ค) เฟสสมมาตรจุดมืด จากภาพมิตีสี RGB



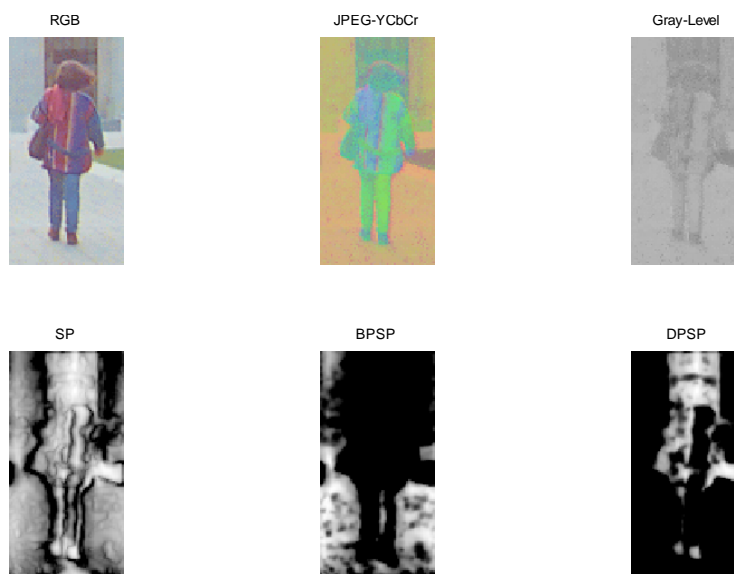
รูปที่ 3.25 ตัวอย่างภาพ (ก) เฟสสมมาตร (ข) เฟสสมมาตรจุดสว่าง และ (ค) เฟสสมมาตรจุดมืด จากภาพมิตีสี YPbPr



รูปที่ 3.26 ตัวอย่างภาพเฟสสมมาตร (SP) เฟสสมมาตรจุดสว่าง (BPSP) เฟสสมมาตรจุดมืด (DPSP) จากภาพระดับเทา (gray-level) จากมิติสี YCbCr



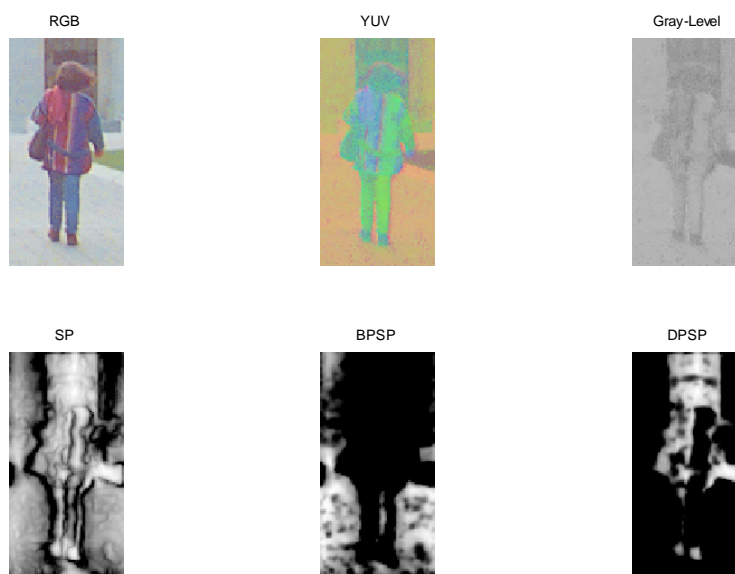
รูปที่ 3.27 ตัวอย่างภาพเฟสสมมาตร (SP) เฟสสมมาตรจุดสว่าง (BPSP) เฟสสมมาตรจุดมืด (DPSP) จากภาพระดับเทา (gray-level) จากมิติสี YDbDr



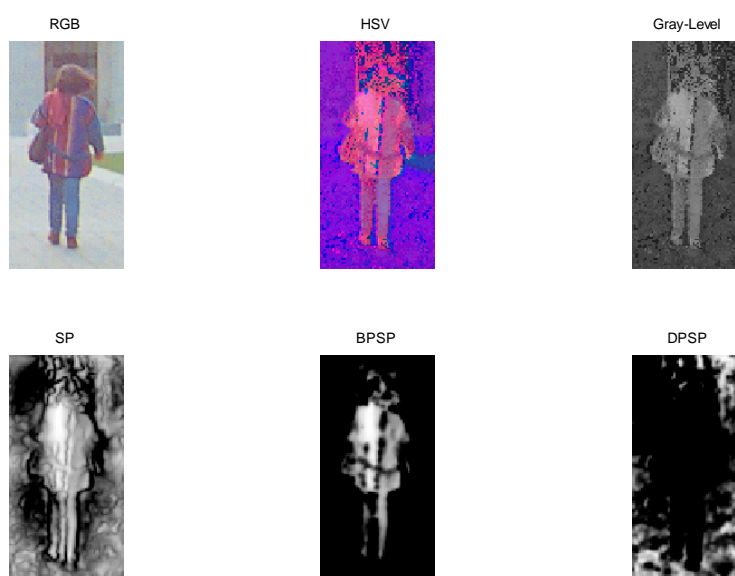
รูปที่ 3.28 ตัวอย่างภาพเฟสสมมาตร (SP) เฟสสมมาตรจุดสว่าง (BPSP) เฟสสมมาตรจุดมืด (DPSP) จากภาพระดับเทา (gray-level) จากมิติสี JPEG-YCbCr



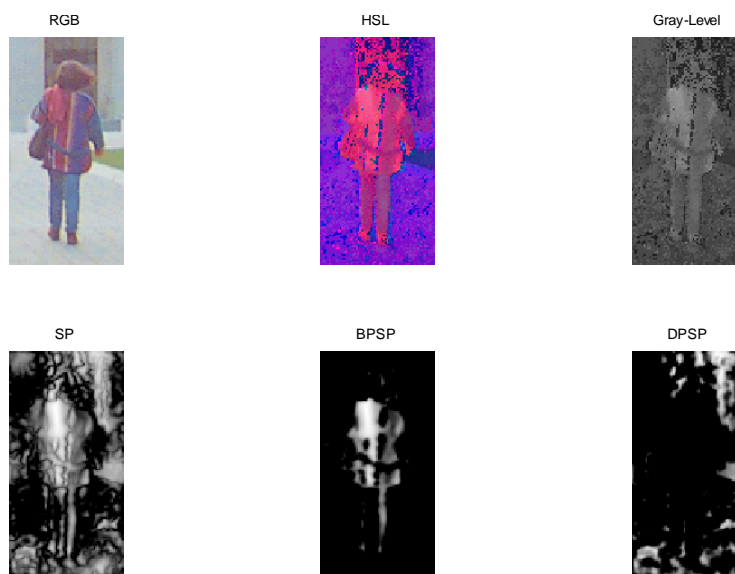
รูปที่ 3.29 ตัวอย่างภาพเฟสสมมาตร (SP) เฟสสมมาตรจุดสว่าง (BPSP) เฟสสมมาตรจุดมืด (DPSP) จากภาพระดับเทา (gray-level) จากมิติสี YIQ



รูปที่ 3.30 ตัวอย่างภาพเฟสสมมาตร (SP) เฟสสมมาตรจุดสว่าง (BPSP) เฟสสมมาตรจุดมืด (DPSP) จากภาพระดับเทา (gray-level) จากมิติสี YUV



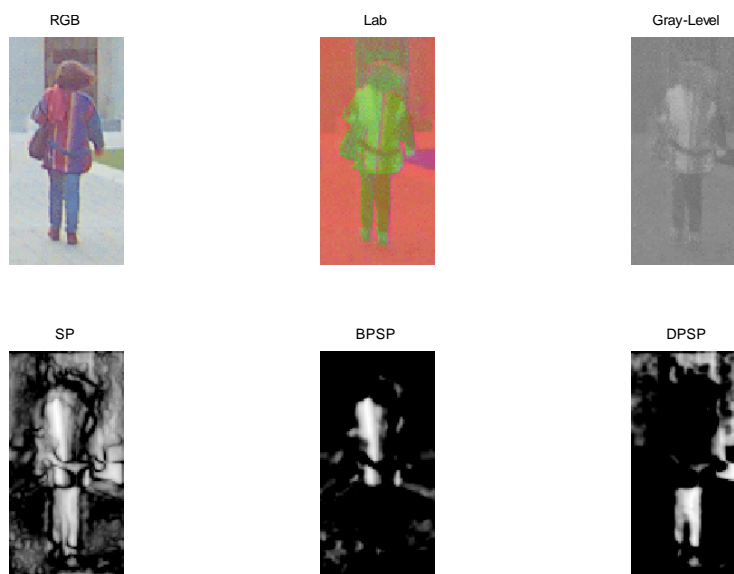
รูปที่ 3.31 ตัวอย่างภาพเฟสสมมาตร (SP) เฟสสมมาตรจุดสว่าง (BPSP) เฟสสมมาตรจุดมืด (DPSP) จากภาพระดับเทา (gray-level) จากมิติสี HSV



รูปที่ 3.32 ตัวอย่างภาพเฟสสมมาตร (SP) เฟสสมมาตรจุดสว่าง (BPSP) เฟสสมมาตรจุดมืด (DPSP) จากภาพระดับเทา (gray-level) จากมิติสี HSL



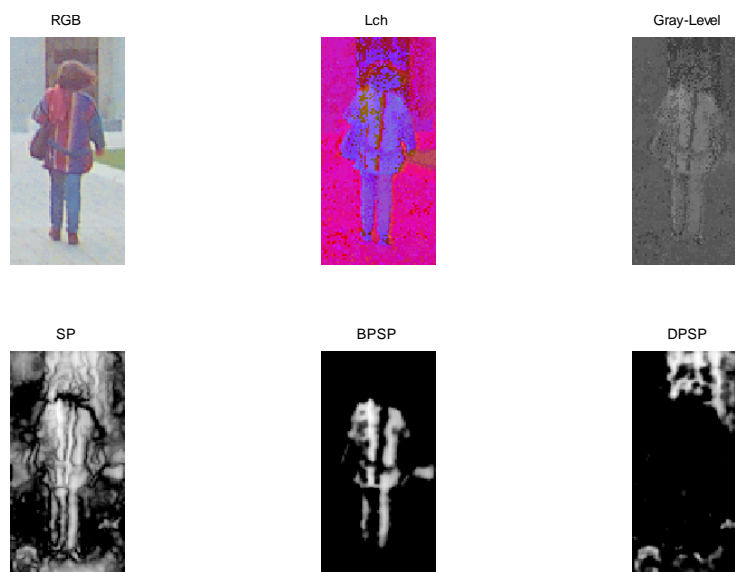
รูปที่ 3.33 ตัวอย่างภาพเฟสสมมาตร (SP) เฟสสมมาตรจุดสว่าง (BPSP) เฟสสมมาตรจุดมืด (DPSP) จากภาพระดับเทา (gray-level) จากมิติสี XYZ



รูปที่ 3.34 ตัวอย่างภาพเฟสสมมาตร (SP) เฟสสมมาตรจุดสว่าง (BPSP) เฟสสมมาตรจุดมืด (DPSP) จากภาพระดับเทา (gray-level) จากมิติสี Lab



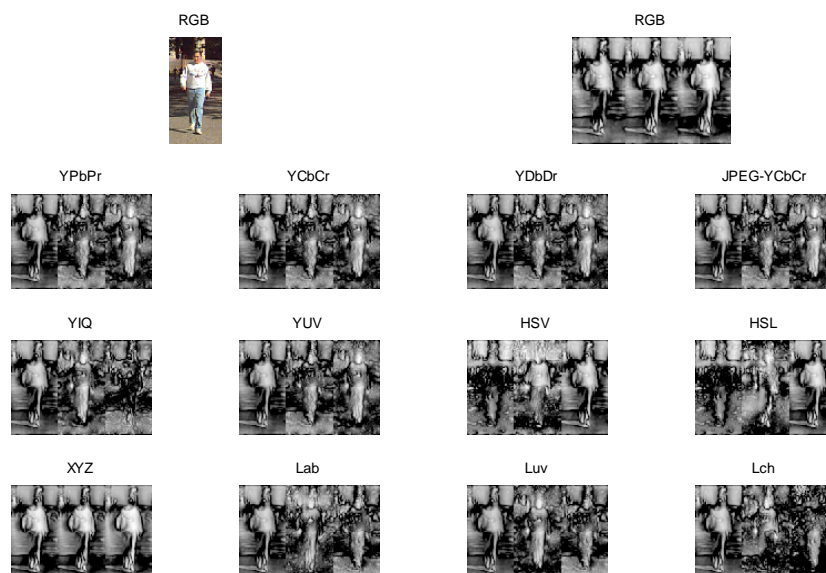
รูปที่ 3.35 ตัวอย่างภาพเฟสสมมาตร (SP) เฟสสมมาตรจุดสว่าง (BPSP) เฟสสมมาตรจุดมืด (DPSP) จากภาพระดับเทา (gray-level) จากมิติสี Luv



รูปที่ 3.36 ตัวอย่างภาพเฟสสมมาตร (SP) เฟสสมมาตรจุดสว่าง (BPSP) เฟสสมมาตรจุดมืด (DPSP) จากภาพระดับเทา (gray-level) จากมิติสี Lch

2) การทดสอบเฟสสมมาตรจากมิติสีย่อยต่าง ๆ จากการนำภาพตัวอย่างจากกลุ่มภาพคนเดินถนน MITP ทั้ง 4 กลุ่ม ในมิติสี RGB แปลงเป็นมิติสีต่าง ๆ และแยกเป็นภาพมิติสีย่อยต่าง ๆ เพื่อคำนวณหาเฟสสมมาตร เฟสสมมาตรจุดสว่าง และเฟสสมมาตรจุดมืด จากภาพมิติสีย่อยต่าง ๆ ดังแสดงตัวอย่างภาพมิติย่อยที่ผ่านการหาเฟสสมมาตรแบบต่าง ๆ แล้วเรียงจากซ้ายไปขวาในแต่ละมิติสี ดังแสดงในรูปที่ 3.37-3.48

• กลุ่มภาพคนเดินถนนที่ 1 เป็นกลุ่มภาพคนเดินถนนที่สวมใส่เสื้อผ้าที่มีสีส่วนใหญ่ประกอบด้วยสีขาวและสีดำ สามารถให้ผลตอบสนองเฟสสมมาตร เฟสสมมาตรจุดสว่าง และเฟสสมมาตรจุดมืด ดังแสดงในรูปที่ 3.37-3.39



รูปที่ 3.37 ตัวอย่างภาพเฟสสมมาตรจากมิตีสีย่อยต่าง ๆ จากกลุ่มภาพคนเดินถนนที่ 1

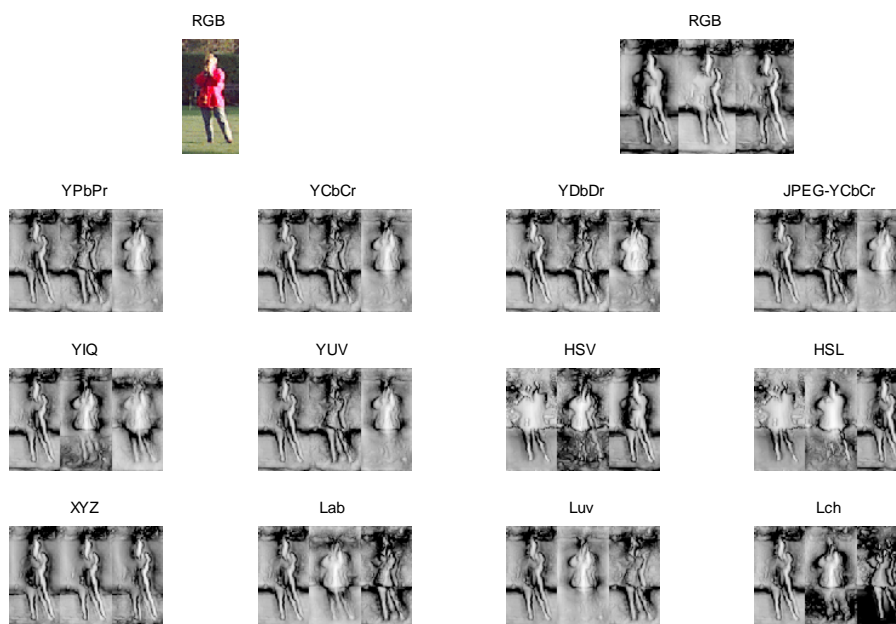


รูปที่ 3.38 ตัวอย่างภาพเฟสสมมาตรจุดสว่างจากมิตีสีย่อยต่าง ๆ จากกลุ่มภาพคนเดินถนนที่ 1



รูปที่ 3.39 ตัวอย่างภาพเฟสสมมาตรจุดมืดจากมิติสีย่อยต่าง ๆ จากกลุ่มภาพคนเดินถนนที่ 1

• กลุ่มภาพคนเดินถนนที่ 2 เป็นกลุ่มภาพคนเดินถนนที่สวมใส่เสื้อผ้าส่วนใหญ่เป็นสีพื้นเป็นสีเดียว สามารถให้ผลตอบสนองเฟสสมมาตร เฟสสมมาตรจุดสว่าง และเฟสสมมาตรจุดมืด ดังแสดงในรูปที่ 3.40-3.42



รูปที่ 3.40 ตัวอย่างภาพเฟสสมมาตรจากมิติสีย่อยต่าง ๆ จากกลุ่มภาพคนเดินถนนที่ 2

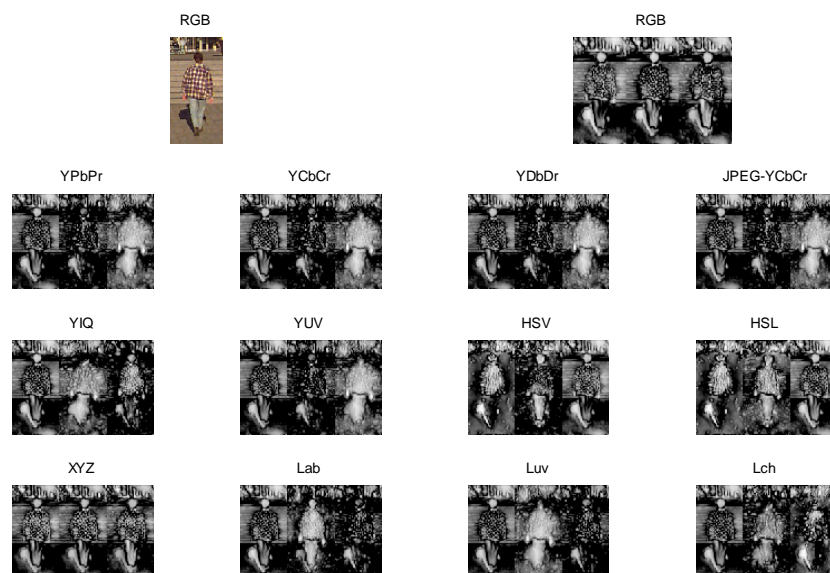


รูปที่ 3.41 ตัวอย่างภาพเฟสสมมาตรจุดสว่างจากมิติสีย่อยต่าง ๆ จากกลุ่มภาพคนเดินถนนที่ 2



รูปที่ 3.42 ตัวอย่างภาพเฟสสมมาตรจุดมืดจากมิติสีย่อยต่าง ๆ จากกลุ่มภาพคนเดินถนนที่ 2

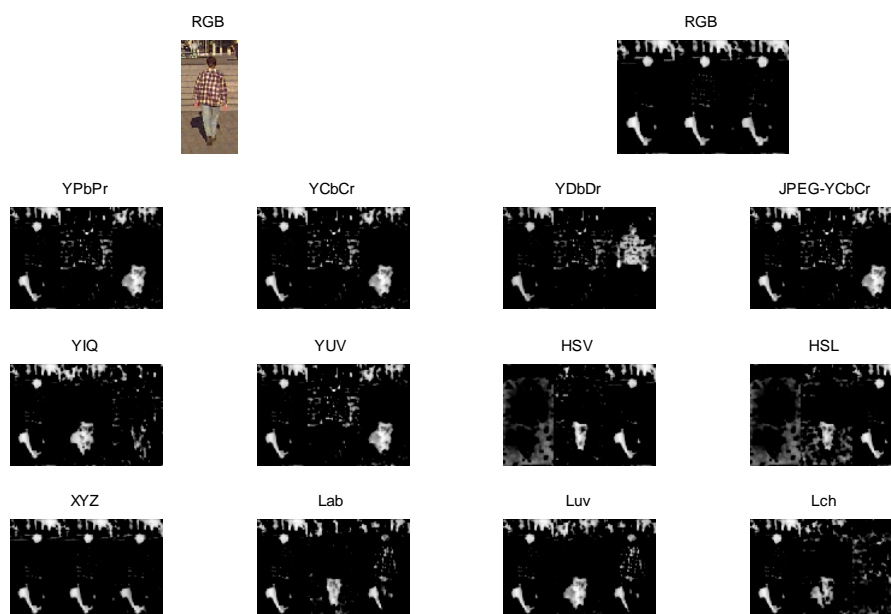
• กลุ่มภาพคนเดินถนนที่ 3 เป็นกลุ่มภาพคนเดินถนนที่สวมใส่เสื้อผ้าส่วนใหญ่ มีสีซับซ้อนและหลากหลาย สามารถให้ผลตอบสนองเฟสสมมาตร เฟสสมมาตรจุดสว่าง และ เฟสสมมาตรจุดมืด ดังแสดงในรูปที่ 3.43-3.45



รูปที่ 3.43 ตัวอย่างภาพเฟสสมมาตรจากมิติสีย่อยต่าง ๆ จากกลุ่มภาพคนเดินถนนที่ 3

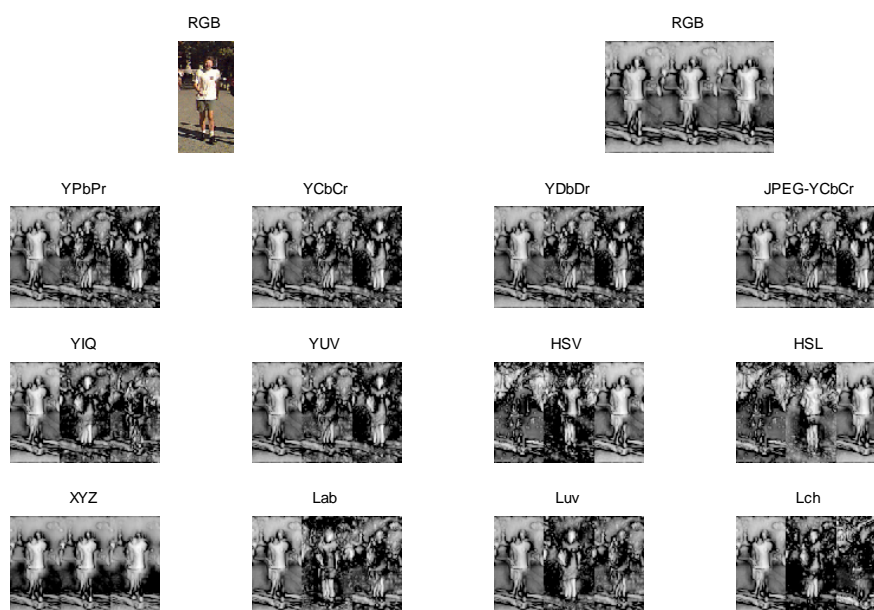


รูปที่ 3.44 ตัวอย่างภาพเฟสสมมาตรจุดสว่างจากมิติสีย่อยต่าง ๆ จากกลุ่มภาพคนเดินถนนที่ 3



รูปที่ 3.45 ตัวอย่างภาพเฟสสมมาตรจุดมืดจากมิติสีย่อยต่าง ๆ จากกลุ่มภาพคนเดินถนนที่ 3

• กลุ่มภาพคนเดินถนนที่ 4 เป็นกลุ่มภาพคนเดินถนนที่สวมใส่เสื้อผ้าแล้วเห็นลักษณะสีผิวมนุษย์ชัดเจน สามารถให้ผลตอบสนองเฟสสมมาตร เฟสสมมาตรจุดสว่าง และเฟสสมมาตรจุดมืด ดังแสดงในรูปที่ 3.46-3.48



รูปที่ 3.46 ตัวอย่างภาพเฟสสมมาตรจากมิติสีย่อยต่าง ๆ จากกลุ่มภาพคนเดินถนนที่ 4



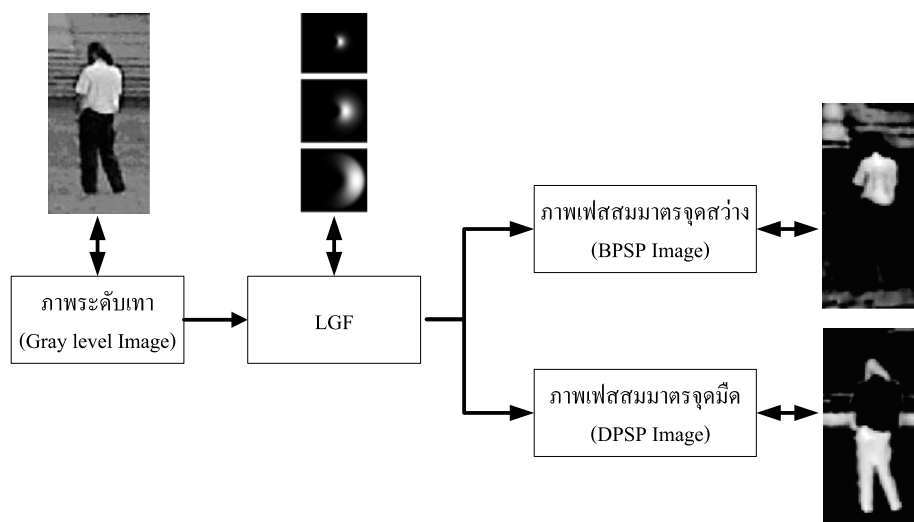
รูปที่ 3.47 ตัวอย่างภาพเฟสสมมาตรจุดสว่างจากมิติสีย่อยต่าง ๆ จากกลุ่มภาพคนเดินถนนที่ 4



รูปที่ 3.48 ตัวอย่างภาพเฟสสมมาตรจุดมืดจากมิติสีย่อยต่าง ๆ จากกลุ่มภาพคนเดินถนนที่ 4

เนื่องจากเฟสสมมาตรจุดสว่างและเฟสสมมาตรจุดมืดสามารถดึงลักษณะเด่นทางสีของภาพคนเดินถนนได้ชัดเจนมากกว่าเฟสสมมาตร โดยสามารถแสดงกลุ่มสีผิวและสีเสื้อผ้าส่วนใดส่วนหนึ่งหรือทั้งหมดของร่างกายคนเดินถนนได้เด่นชัดมากกว่าภาพบริเวณถนนเบื้องหลัง

ดังนั้นการดึงลักษณะเด่นทางสีในงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้เฉพาะเฟสสมมาตรจุดมืดและเฟสสมมาตรจุดสว่างของภาพคนเดินถนน ดังแสดงโครงสร้างในรูปที่ 3.49



รูปที่ 3.49 การดึงลักษณะเด่นทางสีของภาพคนเดินถนนด้วยเฟสสมมาตรจุดสว่างและเฟสสมมาตรจุดมืดที่ใช้ในงานวิจัย

3.4 สรุป

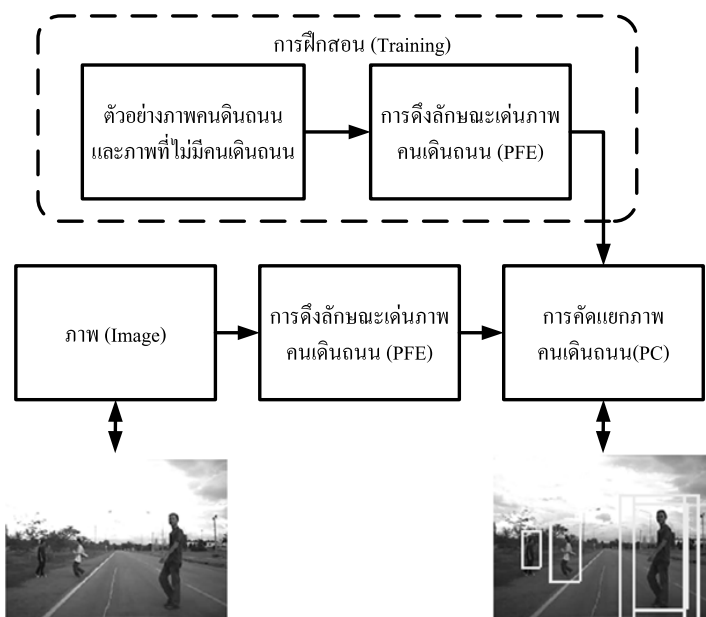
ตัวกรองกaborแบบลอการิทึมที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นพื้นฐานที่สำคัญในการคำนวณเฟสสมมาตรและเฟสสมมาตรเพื่อใช้ในการดึงลักษณะเด่นทางเส้นและสีของภาพคนเดินถนนในการดึงลักษณะเด่นทางเส้นผู้วิจัยได้นำเสนอการหาเส้นขอบแนวตั้งและเฟสสมมาตรเพื่อแสดงและเปรียบเทียบผลการตอบสนองทางเส้นจากภาพคนเดินถนน อีกทั้งยังใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นในการสร้างโครงแบบระบบการตรวจจับภาพคนเดินถนนในลำดับต่อไป ในทำนองเดียวกันสำหรับการดึงลักษณะเด่นทางสีที่ได้นำเสนอทั้งเฟสสมมาตรจุดสว่างและเฟสสมมาตรจุดมืดกับภาพระดับเทาจากมิติสีต่าง ๆ และภาพมิติสีย่อยต่าง ๆ เพื่อแสดงและเปรียบเทียบผลการตอบสนองทางสีจากภาพคนเดินถนน อีกทั้งยังใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นในการสร้างโครงแบบระบบการตรวจจับภาพคนเดินถนนในลำดับต่อไปเช่นเดียวกัน จากการปรับค่าชุดตัวแปรต่าง ๆ ที่เหมาะสมกับชุดตัวกรองแล้วได้ภาพเฟสสมมาตรและเฟสสมมาตรของภาพคนเดินถนนที่มีความชัดเจนยิ่งขึ้น

บทที่ 4

โครงแบบระบบการตรวจจับภาพคนเดินถนน

4.1 กล่าวนำ

โครงแบบระบบการตรวจจับภาพคนเดินถนน เป็นการออกแบบระบบรวมเพื่อใช้ตรวจจับภาพคนเดินถนน โครงแบบนี้ประกอบด้วยสองส่วนหลักคือการดึงลักษณะเด่นภาพคนเดินถนนและการคัดแยกภาพคนเดินถนน ในงานวิจัยนี้นำเสนอการสร้างโครงแบบด้วยการดึงลักษณะเด่นแบบต่าง ๆ เพื่อแสดงและเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการตรวจจับภาพคนเดินถนนทั้งกับภาพจากฐานข้อมูล MITP และภาพจากบริเวณถนนจริงในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ดังแสดงโครงสร้างของระบบรวมในรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 โครงสร้างระบบการตรวจจับภาพคนเดินถนน

ในการตรวจจับภาพคนเดินถนนจากชุดภาพบริเวณถนนต่าง ๆ แต่ละภาพมีขนาดเท่ากับ 640×480 จุดภาพ โดยใช้กล้องถ่ายภาพดิจิทัลติดตั้งภายในรถยนต์บริเวณตรงกลางกระจกหน้า ที่ระยะสูงจากพื้นดินประมาณ 1.1 เมตร ดังแสดงในรูปที่ 4.2 โดยให้กล้องขนานกับพื้นดินและบันทึกภาพ

บริเวณถนนเส้นหลักภายในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีในเวลากลางวัน ที่ความเร็วในการรับภาพ 30 เฟรมต่อวินาที เมื่อตัดภาพย่อยตามสัดส่วนของคนเดินถนนแล้วปรับภาพให้มีขนาดเท่ากับ 64×32 จุดภาพ เพื่อใช้ในการดึงลักษณะเด่นหรือคัดแยกภาพคนเดินถนนในลำดับต่อไป



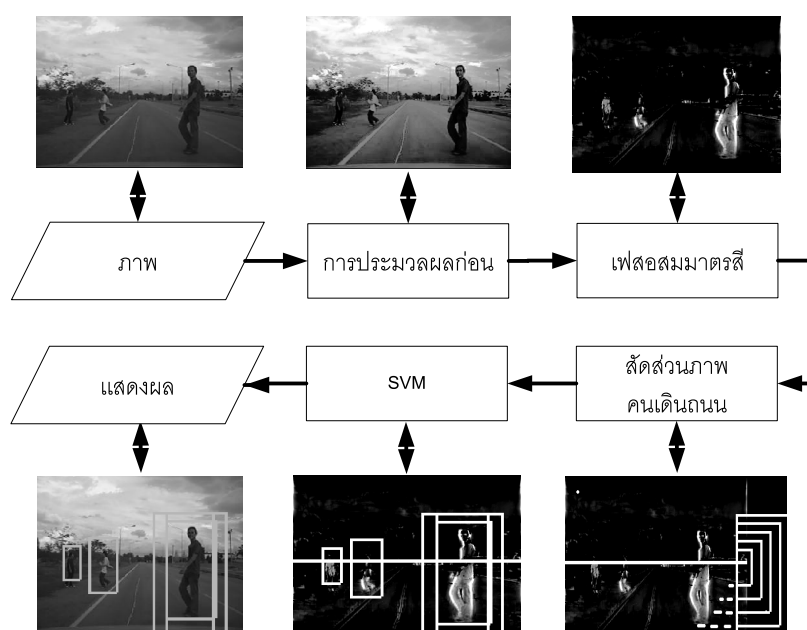
รูปที่ 4.2 ตำแหน่งติดตั้งกล้องภายในรถยนต์

ในงานวิจัยนี้นำเสนอโครงสร้างระบบการตรวจจับภาพคนเดินถนนทั้งหมด 2 ระบบ ได้แก่ เฟสอสมมาตรสี ซึ่งเป็นระบบที่แรกที่พัฒนาขึ้นเพื่อตรวจจับภาพคนเดินถนนโดยใช้การดึงลักษณะเด่นภาพคนเดินถนนทางเส้นเป็นวิธีการหลัก และเฟสสมมาตรสีซึ่งเป็นระบบที่สองที่พัฒนาขึ้นอย่างต่อเนื่องจากระบบแรก เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการตรวจจับภาพคนเดินถนนให้สูงขึ้น โดยใช้การดึงลักษณะเด่นภาพคนเดินถนนทางสีเป็นวิธีการหลัก ถึงแม้โครงสร้างระบบการตรวจจับภาพคนเดินถนนทั้ง 2 ระบบนี้มีวิธีการดึงลักษณะเด่นที่แตกต่างกัน แต่ก็ใช้พื้นฐานจากตัวกรองกabor แบบลอการิทึมเช่นเดียวกัน และใช้วิธีการคัดแยกภาพคนเดินถนนด้วยเครื่องเวกเตอร์เกือหนุนเช่นเดียวกัน มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.2 เฟสอสมมาตรสี

เฟสอสมมาตรสี หรือ ACSP ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ เป็นชื่อย่อของเฟสอสมมาตรและเฟสสมมาตรสี HSV เฉลี่ย (asymmetry and HSV color symmetry phases) ซึ่งเป็นระบบที่เน้นวิธีการดึงลักษณะเด่นภาพคนเดินถนนทางเส้นเป็นหลักด้วยวิธีการเฟสอสมมาตรรวมกับการดึงลักษณะเด่นทางสีด้วยวิธีการเฟสสมมาตรกับภาพมิติสี HSV เฉลี่ย สำหรับการทดสอบระบบด้วยภาพบริเวณถนนนั้น มีขั้นตอนการทำงาน โดยเริ่มจากการนำภาพบริเวณถนนระดับเทาจากมิติสี RGB และภาพมิติสี HSV เฉลี่ย เข้าสู่กระบวนการประมวลผลก่อน (preprocessing) จากนั้นจึงนำภาพไปคำนวณ

จึงนำภาพไปคำนวณเฟสอสมมาตรี และตัดภาพย่อยที่มีขนาดใกล้เคียงกับภาพคนเดินถนนทั่วไปตามระยะต่าง ๆ ออกจากภาพบริเวณถนน โดยใช้การคำนวณสัดส่วนภาพคนเดินถนนเพื่อให้เครื่องเวกเตอร์เกี่ยวพันคัดแยกภาพคนเดินถนนว่าเป็นภาพคนเดินถนนหรือไม่ ถ้าเป็นภาพคนเดินถนนระบบจะแสดงกรอบล้อมรอบภาพคนเดินถนนนั้น ดังแสดงในรูปที่ 4.3 สำหรับการทดสอบภาพด้วยภาพจากฐานข้อมูลนั้น มีขั้นตอนการทำงานเช่นเดียวกันกับการทดสอบระบบด้วยภาพจากบริเวณถนน แต่ตัดขั้นตอนการคำนวณสัดส่วนภาพคนเดินถนนออก เนื่องจากภาพจากฐานข้อมูลมีขนาดเท่ากับสัดส่วนภาพคนเดินถนนอยู่แล้ว



รูปที่ 4.3 แผนผังระบบการตรวจจับภาพคนเดินถนนด้วยเฟสอสมมาตรี

ระบบเฟสอสมมาตรีแบ่งการทำงานของระบบได้ 4 ขั้นตอน คือ การประมวลผลก่อนเฟสอสมมาตรี สัดส่วนภาพคนเดินถนน และเครื่องเวกเตอร์เกี่ยวพัน (SVMs) มีรายละเอียดดังนี้

4.2.1 การประมวลผลก่อน (preprocessing)

การประมวลผลก่อน เป็นกระบวนการปรับภาพให้มีความเหมาะสมกับระบบที่พิจารณา ในระบบเฟสอสมมาตรีใช้การปรับสมมูลสีโทแกรมกับภาพระดับเทาจากมิติสี RGB และภาพ HSV เฉลี่ย เพื่อปรับสีโทแกรมของภาพให้มีการกระจายอย่างสม่ำเสมอมากขึ้น ทำให้ภาพ

มีความคมชัดมากขึ้นส่งผลให้สามารถดึงลักษณะเด่นภาพคนเดินถนน ได้ชัดเจนมากขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4.4



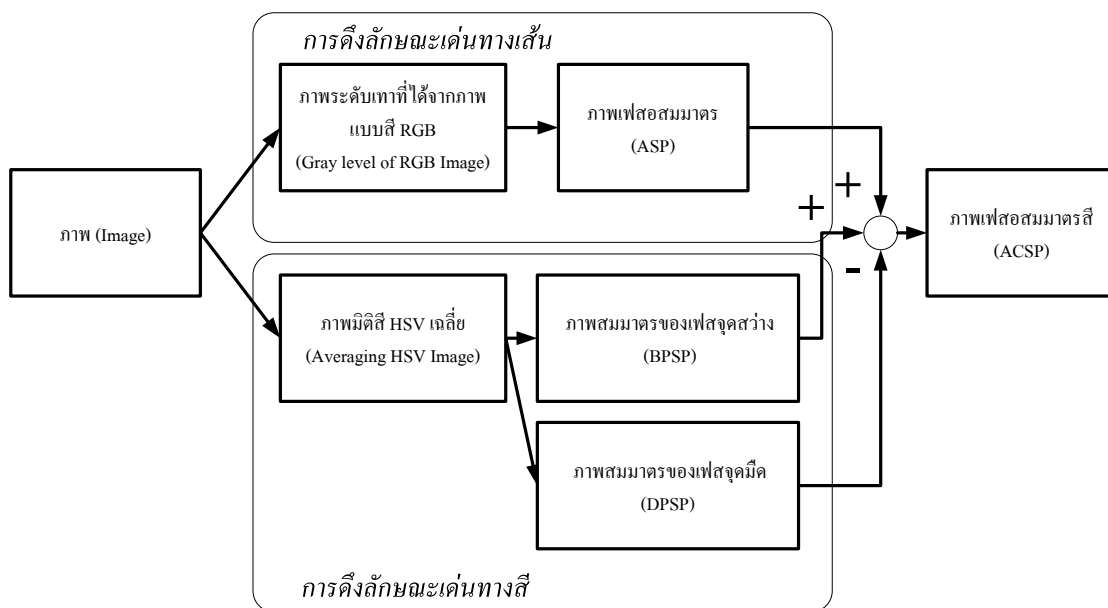
รูปที่ 4.4 ตัวอย่างภาพในการประมวลผลก่อน (ก) ภาพระดับเทาจากมิตีสี RGB และ (ข) ภาพระดับเทาที่ผ่านการปรับสมมูลฮิสโทแกรม

4.2.2 เฟสอสมมาตรลี

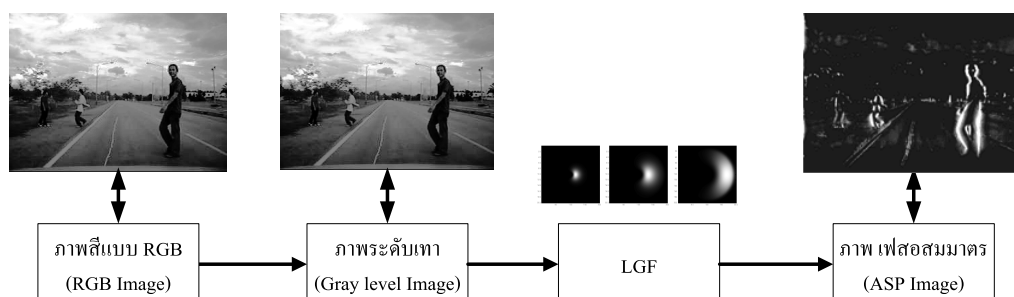
เฟสอสมมาตรลีเป็นการดึงลักษณะเด่นภาพคนเดินถนนจากการดึงลักษณะเด่นทางเส้นด้วยเฟสอสมมาตรร่วมกับการดึงลักษณะเด่นทางสีด้วยเฟสสมมาตรภาพมิตีสี HSV เฉลี่ย เพื่อเพิ่มลักษณะเด่นภาพคนเดินถนนให้ชัดเจนขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4.5

การดึงลักษณะเด่นทางเส้นด้วยเฟสอสมมาตรเป็นการนำเฟสอสมมาตรจากสมการที่ (3-1) ในหัวข้อที่ 3.2.2 มาใช้ในระบบ โดยเลือกใช้เฟสอสมมาตรกับภาพระดับเทาจากมิตีสี RGB ที่ผ่านการประมวลผลก่อนแล้ว ดังแสดงแผนผังการทำงานในรูปที่ 4.6 ภาพคนเดินถนนที่ได้จากเฟสอสมมาตรมีลักษณะเป็นกลุ่มเส้นเด่นชัดและเป็นรูปแบบตามรูปร่างคนที่ค่อนข้างชัดเจนมากกว่าวัตถุอื่นในภาพ

ส่วนการดึงลักษณะเด่นทางสีซึ่งใช้เฟสสมมาตรเป็นการนำเฟสสมมาตร จากหัวข้อที่ 3.3.2 มาใช้ในระบบด้วย โดยเลือกใช้เฟสสมมาตรจุดสว่าง จากสมการที่ (3-3) และเฟสสมมาตรจุดมืด จากสมการที่ (3-4) กับภาพมิตีสี HSV เฉลี่ย ที่ผ่านการประมวลผลก่อนแล้ว เนื่องจากเป็นมิตีสีที่ให้ภาพระดับเทาตอบสนองต่อการดึงลักษณะเด่นทางสีของภาพคนเดินถนนได้ดี ดังแสดงแผนผังการทำงานในรูปที่ 4.7 ภาพจากเฟสสมมาตรจุดสว่างที่ได้ส่วนใหญ่เป็นภาพที่มีลักษณะเด่นบริเวณสีของชุดแต่งกายของคนเดินถนน และภาพจากเฟสสมมาตรจุดมืดที่ได้ส่วนใหญ่เป็นภาพที่มีลักษณะเด่นบริเวณสีของต้นไม้ ส่วนสีของถนนและท้องฟ้าไม่มีผลตอบสนองกับเฟสสมมาตรจุดสว่างและเฟสสมมาตรจุดมืด เนื่องจากมีค่าระดับเทาที่ใกล้เคียงกับค่าเฉลี่ยของทั้งภาพ



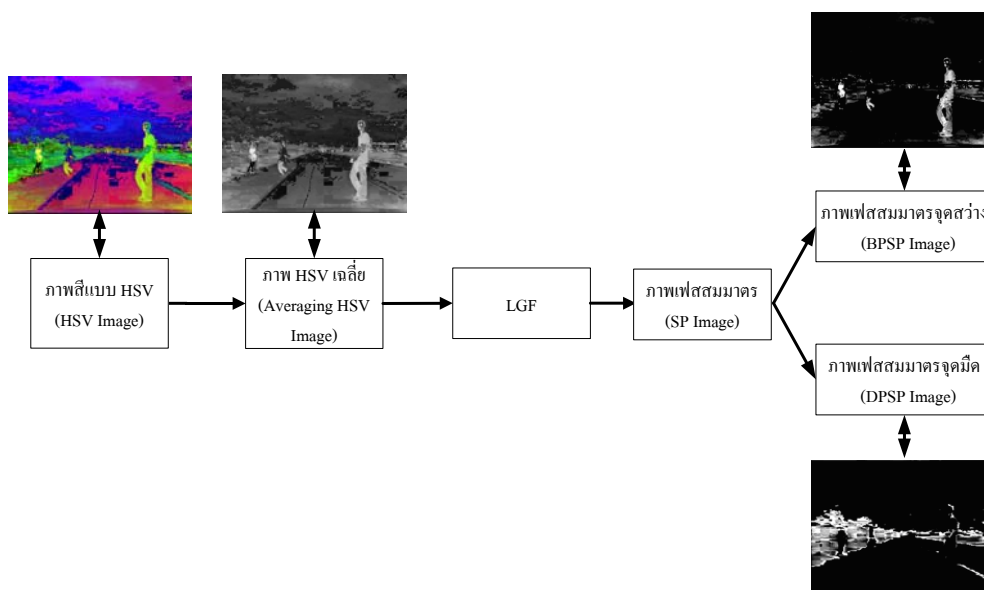
รูปที่ 4.5 แผนผังระบบการดึงลักษณะเด่นภาพคนเดินถนนด้วยเฟสอสมมาตรสี



รูปที่ 4.6 การดึงลักษณะเด่นทางเส้น โดยใช้เฟสอสมมาตร

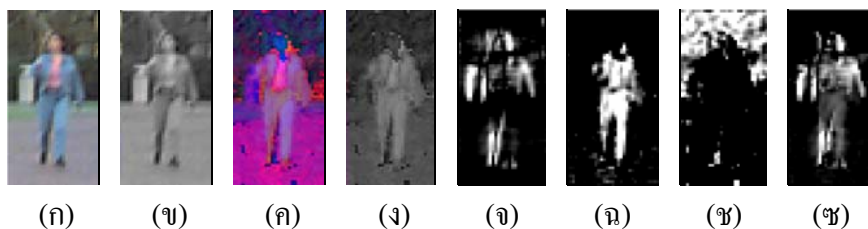
ระบบเฟสอสมมาตรสีนำภาพที่ผ่านการดึงลักษณะเด่นทางเส้นที่มีลักษณะเป็นภาพกลุ่มเส้นแนวตั้งของภาพคนเดินถนน (ASP) รวมกับภาพที่ได้จากเฟสสมมาตรจุดสว่าง (BPSP) ที่มีลักษณะเป็นภาพกลุ่มสีของภาพคนเดินถนนและลบกับภาพที่ได้จากเฟสสมมาตรจุดมืด (DPSP) ที่มีลักษณะเป็นภาพกลุ่มสีของต้นไม้ ซึ่งมีการปรับคณด้วยค่าคงที่ ν γ และ ϑ ที่เหมาะสม ซึ่งได้จากการทดสอบการคัดแยกภาพคนเดินถนน เรียกว่าภาพจากเฟสอสมมาตรสี (ACSP) ดังสมการที่ (4-1)

$$ACSP(x) = \nu * ASP(x) + \gamma * BPSP(x) - \vartheta * DPSP(x) \quad (4-1)$$



รูปที่ 4.7 การดึงลักษณะเด่นทางสีด้วยเฟสสมมาตรภาพมิติสี HSV เฉลี่ย

ภาพที่ได้จากระบบมีลักษณะเด่นของภาพคนเดินถนนชัดเจนทั้งทางด้านเส้นและสี มีลักษณะเป็นกลุ่มภาพรูปร่างคนสีขาวบนพื้นสีดำ ระบบนี้สามารถช่วยลดปัญหาข้อบกพร่องของการดึงลักษณะเด่นทางเส้นของภาพคนเดินถนน กล่าวคือ ลักษณะเด่นทางเส้นของภาพคนเดินถนนไม่ชัดเจนถ้าภาพคนเดินถนนมีสี RGB ที่ใกล้เคียงกับสีภาพบริเวณถนนเบื้องหลัง และยังช่วยลดปัญหาข้อบกพร่องของการดึงลักษณะเด่นทางสีของภาพคนเดินถนน กล่าวคือ ภาพบริเวณถนนแบบสี HSV เฉลี่ย ไม่ตอบสนองต่อสีขาวในระบบสี RGB ดังแสดงตัวอย่างผลภาพการดึงลักษณะเด่นตามขั้นตอนต่าง ๆ จากระบบนี้กับภาพจากฐานข้อมูลในรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 การดึงลักษณะเด่นภาพคนเดินถนนด้วยวิธีการต่าง ๆ (ก) ภาพ RGB (ข) ภาพระดับเทาจาก RGB (ค) ภาพ HSV (ง) ภาพ HSV เฉลี่ย (จ) ASP (ฉ) BPSP (ช) DPSP และ (ซ) ACSP



(ก)

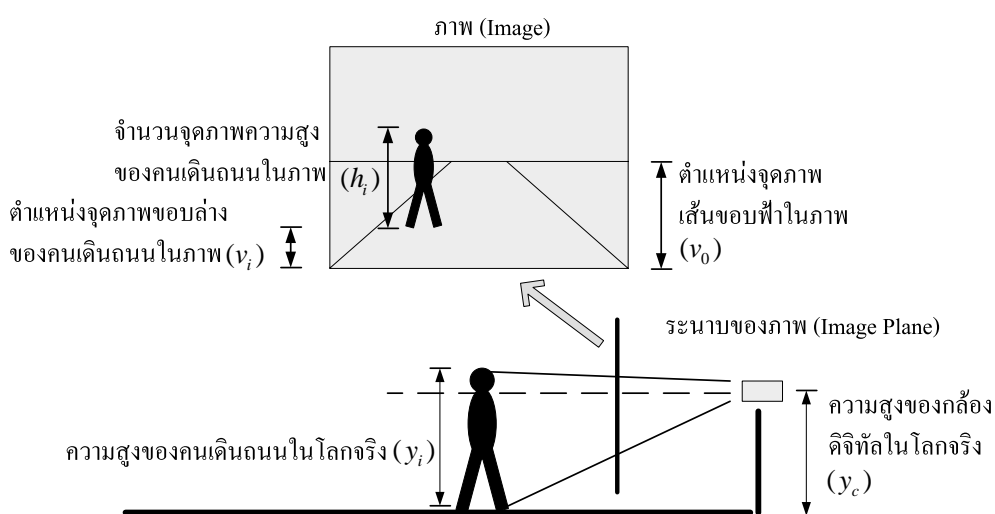


(ข)

รูปที่ 4.9 ตัวอย่างภาพเฟสอสมมาตรสีจาก (ก) ภาพคนเดินถนน MITP
และ (ข) ภาพที่ไม่มีคนเดินถนน

4.2.3 สัดส่วนภาพคนเดินถนน (proportional pedestrian sizes)

การคำนวณสัดส่วนภาพคนเดินถนนเป็นการลดพื้นที่ในการคำนวณการตรวจจับภาพคนเดินถนนจากภาพบริเวณถนน ด้วยการตัดชุดภาพย่อยเฉพาะบริเวณที่มีความน่าจะเป็นว่ามีคนเดินถนน แทนที่การตัดชุดภาพย่อยทั่วทั้งภาพบริเวณถนน ขนาดภาพคนเดินถนนโดยทั่วไปในภาพบริเวณถนน มีขนาดที่แตกต่างกัน แต่ก็มีความสัมพันธ์กับระยะห่างจากคนเดินถนนถึงกล้องเป็นสัดส่วนที่ค่อนข้างคงที่ ถ้ามีการติดตั้งกล้องความสูงจากพื้นดินคงที่ในแนวขนานกับพื้นดิน และกำหนดให้คนเดินถนนทั่วไปมีความสูงเฉลี่ยคงที่ (Hoiem, Efros and Hebert, 2006)



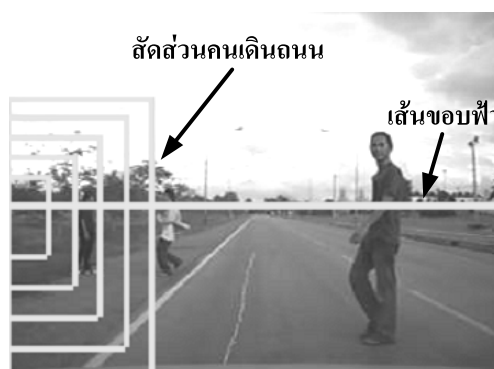
รูปที่ 4.10 เปรียบเทียบตำแหน่งและสัดส่วนของภาพคนเดินถนนในภาพและในโลกจริง

ในงานวิจัยนี้กำหนดระยะความสูงของกล้องที่ 110 เซนติเมตร คนเดินถนนทั่วไป มีความสูงเฉลี่ยที่ 180 เซนติเมตร ความกว้างของลำตัวด้านหน้าเป็นสัดส่วนครึ่งหนึ่งของความสูงเฉลี่ย มีค่าเท่ากับ 90 เซนติเมตร และกำหนดตำแหน่งจุดภาพเส้นขอบฟ้าในภาพด้วยสายตามนุษย์ ซึ่งกำหนดให้เป็นข้อมูลเบื้องต้นในการคำนวณสัดส่วนคนเดินถนน สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (4-2)

$$y_i = \frac{h_i y_c}{v_i - v_0} \quad (4-2)$$

- เมื่อ y_i คือ ความสูงของคนเดินถนนในโลกจริง
 h_i คือ จำนวนจุดภาพความสูงของคนเดินถนนในภาพ
 y_c คือ ความสูงของกล้องดิจิทัลในโลกจริง
 v_i คือ ตำแหน่งจุดภาพขอบล่างของคนเดินถนนในภาพ
 v_0 คือ ตำแหน่งจุดภาพของเส้นขอบฟ้าในภาพ

จากการคำนวณทำให้ได้ค่าจำนวนจุดภาพความสูงของคนเดินถนนในภาพ สามารถคำนวณจำนวนจุดภาพความกว้างของคนเดินถนนจากสัดส่วนครึ่งหนึ่งของจำนวนจุดภาพความสูงของคนเดินถนนในภาพได้ และสามารถตัดภาพย่อยที่ตำแหน่งจุดภาพขอบล่างของคนเดินถนนที่มีความกว้างเท่ากับจำนวนจุดภาพความกว้างของคนเดินถนนและความสูงเท่ากับจำนวนจุดภาพความสูงของคนเดินถนนที่ตำแหน่งจุดภาพต่าง ๆ ในภาพบริเวณถนนได้

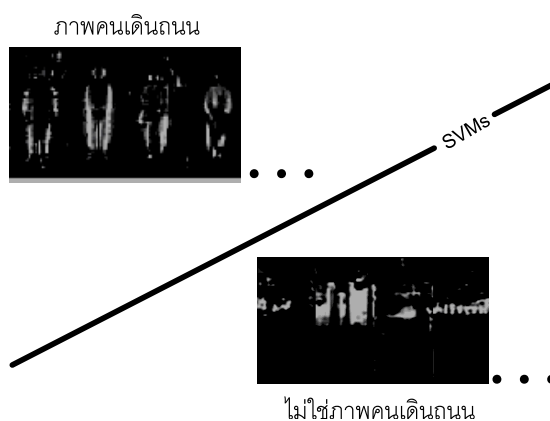


รูปที่ 4.11 การกำหนดตำแหน่งจุดภาพของเส้นขอบฟ้าและสัดส่วนภาพคนเดินถนน

ตำแหน่งจุดภาพของเส้นขอบฟ้าในงานวิจัยนี้ใช้การกำหนดค่าที่ถูกต้องให้ระบบโดยใช้สายตามนุษย์ ซึ่งมีความถูกต้องสูงเพื่อนำมาทดสอบประสิทธิภาพจากการดึงลักษณะเด่นภาพคนเดินถนนแบบต่าง ๆ ที่ใช้ในงานวิจัย และลดความผิดพลาดของระบบจากการคำนวณสัดส่วนคนเดินถนนผิดพลาด สัดส่วนภาพคนเดินถนนในระบบเฟสอสมมาตรสี่คำนวณจากภาพบริเวณถนนที่ผ่านการดึงลักษณะเด่นแล้วได้ชุดภาพย่อยที่ปรับให้มีขนาดเท่ากันที่ 64×32 จุดภาพเพื่อนำไปใช้ในการตัดแยกภาพคนเดินถนนในลำดับต่อไป

4.2.4 เครื่องเวกเตอร์เกือหนุน (SVMs)

การคัดแยกภาพคนเดินถนนในระบบนี้ นำภาพเฟสสมมาตรสีส่งให้เครื่องเวกเตอร์เกือหนุน (Sun, Bebis, and Miller, 2000) (ดูเพิ่มเติมในภาคผนวก ก.) ที่ผ่านการฝึกสอนด้วยกลุ่มภาพเฟสสมมาตรสีคนเดินถนนและกลุ่มภาพที่ไม่มีภาพคนเดินถนนแล้ว จากการรู้จำภาพคนเดินถนน เครื่องเวกเตอร์เกือหนุนสามารถคัดแยกภาพได้ว่าเป็นภาพคนเดินถนนหรือไม่ ดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 4.12

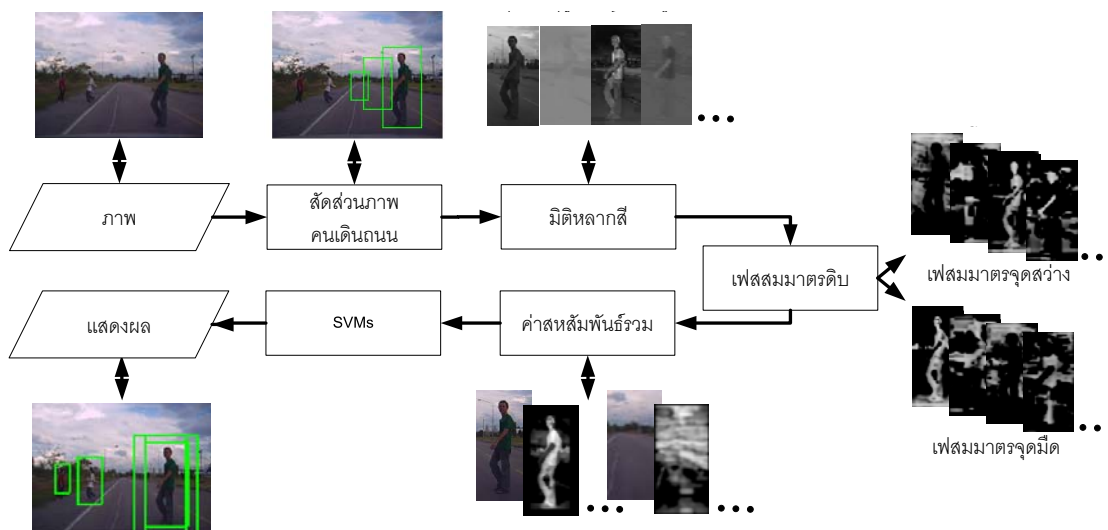


รูปที่ 4.12 การคัดแยกภาพคนเดินถนนโดยใช้เครื่องเวกเตอร์เกือหนุนในระบบเฟสสมมาตรสี

4.3 เฟสสมมาตรสี (color symmetry phases)

เฟสสมมาตรสี หรือ CSP เป็นการนำเฟสสมมาตรมาใช้กับภาพจากมิติสีย่อยต่าง ๆ เพื่อดึงลักษณะเด่นทางสีของภาพคนเดินถนน โดยเฉพาะ การทดสอบระบบกับภาพบริเวณถนน มีขั้นตอนการทำงาน โดยเริ่มจากการตัดภาพย่อยตามสัดส่วนภาพคนเดินถนนที่ระยะต่าง ๆ ออกจากภาพบริเวณถนนในมิติสี RGB และนำภาพที่ได้เข้าสู่ระบบการดึงลักษณะเด่นทางสีโดยการแปลงเป็นภาพมิติหลากสี (multi-color spaces) เพื่อให้เกิดความหลากหลายของกลุ่มสีในภาพ แล้วใช้เฟสสมมาตรซึ่งประกอบด้วยเฟสสมมาตรจุดสว่างและเฟสสมมาตรจุดมืดในการดึงกลุ่มสีที่แตกต่างกันออกจากกันให้ชัดเจนยิ่งขึ้น จากนั้นนำชุดภาพเฟสสมมาตรที่ได้ไปประมวลผลรวมเป็นภาพเฟสสมมาตรสีด้วยการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient) หรือ CC ระหว่างภาพเฟสสมมาตรและภาพแผ่นแบบคนเดินถนน (pedestrian template) หรือ PT เพื่อนำไปใช้ในการคำนวณค่าสหสัมพันธ์รวม (mixed correlation) หรือ MCorr จากนั้นนำภาพเฟสสมมาตรสีส่งให้เครื่องเวกเตอร์เกือหนุน (SVMs) คัดแยกภาพคนเดินถนนและแสดงผล ดังแสดงในรูปที่ 4.13 สำหรับการทดสอบระบบกับภาพจากฐานข้อมูลมีขั้นตอนการทำงานเช่นเดียวกันกับการทดสอบ

ระบบกับภาพจากบริเวณถนน แต่ตัดขั้นตอนการคำนวณสัดส่วนภาพคนเดินถนนออก เนื่องจากภาพจากฐานข้อมูลมีขนาดเท่ากับสัดส่วนภาพคนเดินถนนอยู่แล้ว



รูปที่ 4.13 แผนผังระบบการตรวจจับภาพคนเดินถนนด้วยเฟสสมมาตรสี

4.3.1 สัดส่วนภาพคนเดินถนน

ระบบเฟสสมมาตรสีใช้การคำนวณสัดส่วนภาพคนเดินถนนเช่นเดียวกับการคำนวณสัดส่วนคนเดินถนนในระบบเฟสสมมาตรสี ในหัวข้อที่ 4.2.3 แต่แตกต่างกัน โดยในระบบเฟสสมมาตรสีใช้การคำนวณสัดส่วนภาพคนเดินถนนจากภาพบริเวณถนนในมิติสี RGB แทนภาพเฟสสมมาตรในระบบเฟสสมมาตรสี

4.3.2 มิติหลากสี (multi-color spaces)

ภาพมิติหลากสีเป็นการแปลงภาพย่อยเป็นมิติสีต่าง ๆ นอกเหนือจากมิติสี RGB เนื่องจากคนเดินถนนส่วนใหญ่สวมใส่เสื้อผ้าที่หลากหลายและสีสั่น ทำให้การดึงลักษณะเด่นทางสีของภาพคนเดินถนนเป็นเรื่องยาก โดยเฉพาะการพิจารณาจากมิติสีเพียงมิติเดียว อาจทำให้การดึงลักษณะเด่นทางสีไม่ครอบคลุมสีของคนเดินถนนทั้งหมดได้ และถ้าพิจารณาเฉพาะภาพระดับเทาจากมิติสีต่าง ๆ บางครั้งอาจทำให้ข้อมูลความแตกต่างระหว่างสีของคนเดินถนนและภาพพื้นหลังลดลง

ในงานวิจัยเสนอการดึงลักษณะเด่นทางสีของภาพคนเดินถนน ด้วยการพิจารณามิติสีที่หลากหลายเพิ่มเติม เลือกใช้มิติสีหลักทั้งหมด 4 มิติสี ได้แก่ RGB YCbCr HSV และ Lab เนื่องจากเป็นมิติสีที่มีการจัดแยกมิติสีย่อยที่แตกต่างกันชัดเจนและเป็นตัวแทนของกลุ่มมิติสีที่นำไปใช้งานในลักษณะที่แตกต่างกัน โดยมิติสี RGB เป็นระบบสีที่ใช้งานแสดงผลในจอคอมพิวเตอร์ มิติสี YCbCr เป็นตัวแทนของมิติสีที่แยกระหว่างความสว่างและเนื้อสี ซึ่งเป็นมิติสีที่ใช้ทั่วไปในกล้องวิดีโอ ระบบดิจิทัล มิติสี HSV เป็นระบบสีที่ใช้ในการจำแนกสีของมนุษย์เพื่อใช้ในงานด้านต่าง ๆ เช่น สีหมึกพิมพ์ สีน้ำมัน เป็นต้น และมิติสี Lab ซึ่งเป็นมิติสีหนึ่งในมาตรฐานสี CIE แสดงสีตามการตอบสนองที่สอดคล้องกับสายตาของมนุษย์



รูปที่ 4.14 ภาพคนเดินถนนในมิติสีต่าง ๆ ได้แก่ มิติสี RGB มิติสีย่อย G Cb S และ a เรียงตามลำดับจากซ้ายไปขวา

มิติสีที่ต่างกันช่วยให้เกิดความหลากหลายของกลุ่มสีภายในภาพ จากความแตกต่างของกลุ่มสีภายในมิติสีย่อยต่าง ๆ ทำให้สามารถเพิ่มโอกาสในการดึงลักษณะเด่นทางสีของภาพคนเดินถนนออกจากภาพพื้นหลังมากขึ้น นอกจากมิติสีที่ได้เลือกใช้นี้แล้วยังมีมิติสีอื่น ๆ อีกมากมายที่ใช้งานกันอยู่ในปัจจุบัน แต่ไม่ได้นำมาพิจารณาในระบบเฟสสมมาตรสีด้วย หลังจากคำนวณมิติสีย่อยของภาพคนเดินถนนแล้วจึงส่งภาพมิติสีย่อยที่ได้ทั้งหมดไปคำนวณเฟสสมมาตรสีในลำดับต่อไป

4.3.3 เฟสสมมาตรดิบ (raw symmetry phase)

เฟสสมมาตรดิบ หรือ RSP เป็นการนำเฟสสมมาตรจุดสว่างและเฟสสมมาตรจุดมืดจากสมการที่ (3-3) และ (3-4) ในหัวข้อที่ 3.3.2 มาใช้ในการดึงลักษณะเด่นทางสีของภาพในมิติสีย่อยต่าง ๆ โดยเฟสสมมาตรจุดสว่างและเฟสสมมาตรจุดมืดทำหน้าที่ดึงกลุ่มสีที่แตกต่างกันซึ่งเกิดจากเสื้อผ้า สีผิว วัตถุต่าง ๆ ในภาพ และภาพพื้นหลังที่ตอบสนองตามมิติสีย่อยต่าง ๆ ออกจากกัน รวมถึงเน้นกลุ่มสีที่คล้ายกันให้เด่นชัดยิ่งขึ้น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับค่าความแตกต่างกันและความสมมาตร

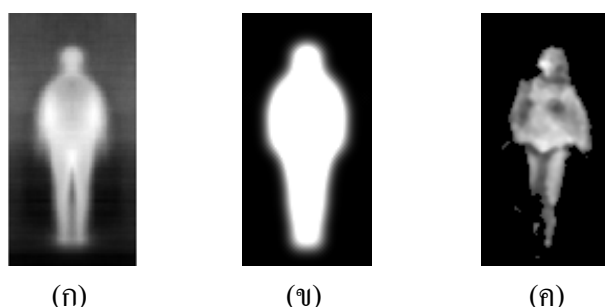
ตามแนวตั้งของกลุ่มสีในภาพด้วยจำนวนภาพเฟสสมมาตรคิบที่ได้มีจำนวนเป็น 2 เท่า ของจำนวนภาพมิตีลีย่อยทั้งหมด เนื่องจากการคำนวณทั้งเฟสสมมาตรจุดสว่างและเฟสสมมาตรจุดมืดของแต่ละมิตีลีย่อย



รูปที่ 4.15 ตัวอย่างภาพเฟสสมมาตรในมิตีลีย่อยต่าง ๆ ได้แก่ มิตีลีย่อย G Cb S และ a เรียงตามลำดับจากซ้ายไปขวา โดยแบ่งเป็น (ก) ภาพเฟสสมมาตรจุดสว่าง และ (ข) ภาพเฟสสมมาตรจุดมืด

4.3.4 ค่าสหสัมพันธ์ร่วม (mixed correlation)

เนื่องจากภาพเฟสสมมาตรคิบที่ได้มีลักษณะตอบสนองต่อสีของชุดภาพย่อยตามตำแหน่งที่ต่างกันจากมิตีลีย่อยที่ต่างกัน การปรับรวม (mixing and matching) ภาพเฟสสมมาตรคนเดินถนน สามารถคำนวณได้จากการค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (CC) ระหว่างชุดภาพเฟสสมมาตรและภาพแผ่นแบบคนเดินถนน (PT) ภาพแผ่นแบบคนเดินถนนสร้างจากการรวมภาพคนเดินถนนระดับเทาจากฐานข้อมูล MITP ทั้งหมด 924 ภาพ แล้วปรับค่าขีดเริ่มเปลี่ยนให้ภาพมีความชัดเจนยิ่งขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4.16



รูปที่ 4.16 การสร้างภาพแผ่นแบบคนเดินถนน (ก) ภาพผลรวมภาพระดับเทาจากฐานข้อมูล MITP (ข) ภาพแผ่นแบบคนเดินถนน และ (ค) ตัวอย่างภาพเฟสสมมาตรสีคนเดินถนน

$$CC = \frac{\sum_m \sum_n (PT_{mn} - \overline{PT})(RSP_{mn} - \overline{RSP})}{\sqrt{\left(\sum_m \sum_n (PT_{mn} - \overline{PT})^2\right) \left(\sum_m \sum_n (RSP_{mn} - \overline{RSP})^2\right)}} \quad (4-3)$$

สมการที่ (4-3) แสดงการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (CC) เมื่อ \overline{PT} และ \overline{RSP} คือค่าระดับเทาเฉลี่ยของภาพแผ่นแบบคนเดินถนนและภาพเฟสสมมาตรคิบ m คือจำนวนจุดภาพความกว้างของภาพ และ n คือจำนวนจุดภาพความยาวของภาพ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่ได้มีค่าตั้งแต่ -1 ถึง 1 จากนั้นนำค่า CC ไปคำนวณหาภาพเฟสสมมาตรสีคนเดินถนน (color symmetry phase) หรือ CSP ดังแสดงในสมการที่ (4-4)

$$CSP = \text{mean}(\kappa \times CC \times RSP) \quad (4-4)$$

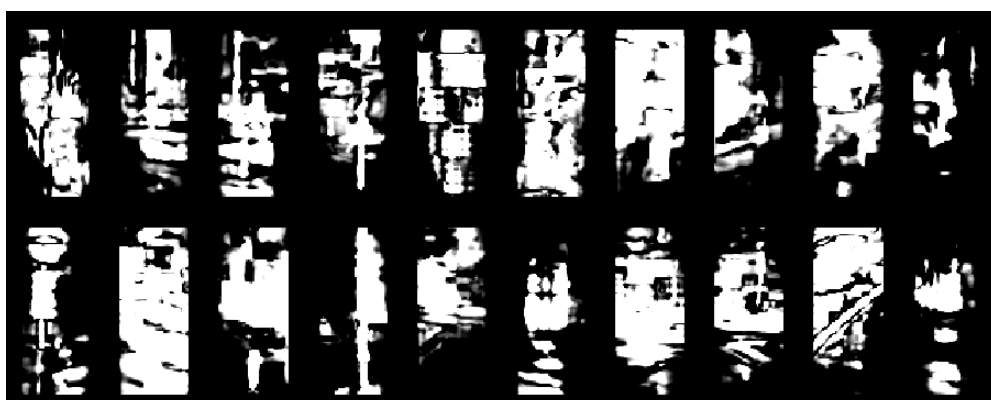
เมื่อ κ คือ ค่าคงที่ตัวปรับคุณภาพสว่างของภาพซึ่งได้จากการทดสอบการคัดแยกภาพคนเดินถนน ผลการปรับรวมกลุ่มเฟสสมมาตรคิบทำให้ได้ภาพเฟสสมมาตรสีที่ตอบสนองต่อภาพคนเดินถนนมีลักษณะเป็นกลุ่มภาพสีขาวแยกออกจากภาพเบื้องหลังซึ่งมีสีดำอย่างชัดเจนและมีลักษณะรูปร่างตามรูปแบบของคนอยู่บริเวณกลางภาพแตกต่างจากผลตอบสนองการรวมกลุ่มเฟสสมมาตรสีจากภาพบริเวณถนนที่ไม่มีภาพคนเดินถนนที่ถึงแม้มีผลตอบสนองเป็นลักษณะรูปร่างกลุ่มภาพสีขาวบนพื้นสีดำเหมือนกันแต่ก็มีลักษณะการจัดตัวของกลุ่มสีที่ไม่เป็นรูปแบบและกระจายกลุ่มสีในตำแหน่งต่าง ๆ ทั่วรูป ซึ่งเกิดขึ้นจากการตอบสนองเฟสสมมาตรสีของวัตถุอื่นหรือสีของภาพพื้นหลังในแต่ละภาพที่แตกต่างกัน ดังตัวอย่างแสดงในรูปที่ 4.17

4.3.5 เครื่องเวกเตอร์เกือหนุน (SVMs)

การคัดแยกภาพคนเดินถนนในระบบนี้มีหลักการทำงานเช่นเดียวกันกับการคัดแยกภาพคนเดินถนนในระบบเฟสสมมาตรสี โดยนำภาพเฟสสมมาตรสีส่งให้เครื่องเวกเตอร์เกือหนุนที่ผ่านการฝึกสอนด้วยกลุ่มภาพเฟสสมมาตรสีคนเดินถนนและกลุ่มภาพที่ไม่มีภาพคนเดินถนนแล้วจากการรู้จำภาพคนเดินถนน เครื่องเวกเตอร์เกือหนุนสามารถคัดแยกภาพที่เข้ามาได้ว่าเป็นภาพคนเดินถนนหรือไม่ ดังแสดงในรูปที่ 4.18

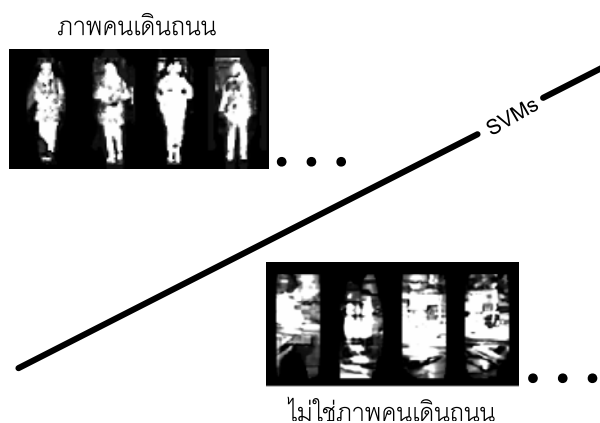


(ก)



(ข)

รูปที่ 4.17 ตัวอย่างภาพเฟสสมมาตรสีจาก (ก) ภาพคนเดินถนน MITP
และ (ข) ภาพที่ไม่มีคนเดินถนน



รูปที่ 4.18 การคัดแยกภาพคนเดินถนนโดยใช้เครื่องเวกเตอร์เกือหนุ่นในระบบเฟสสมมาตรสี่

4.4 สรุป

โครงสร้างระบบการตรวจจับภาพคนเดินถนนที่ใช้ในงานวิจัยแบ่งเป็น 2 ระบบ คือ ระบบเฟสสมมาตรสี่ และระบบเฟสสมมาตรสี่ ทั้งสองระบบนี้ใช้พื้นฐานจากตัวกรองกาบอร์แบบลอการิทึมในการดึงลักษณะเด่นภาพคนเดินถนน และใช้เครื่องเวกเตอร์เกือหนุ่นในการคัดแยกภาพคนเดินถนนเช่นเดียวกัน โครงแบบระบบการตรวจจับภาพคนเดินถนนนี้ใช้ทดสอบกับกลุ่มภาพจากฐานข้อมูลและกลุ่มภาพบริเวณถนนจริงเพื่อแสดงประสิทธิภาพของระบบในการตรวจจับภาพคนเดินถนนในลำดับไป

บทที่ 5

การวิเคราะห์ผลการทดสอบระบบ

5.1 กล่าวนำ

การวิเคราะห์ผลการทดสอบระบบการดึงลักษณะเด่นแบบต่าง ๆ จากโครงสร้างระบบการตรวจจับภาพคนเดินถนนทั้ง 2 ระบบ คือ ระบบเฟสอสมมาตรลี (ACSP) และระบบเฟสสมมาตรลี (CSP) จากบทที่ 4 ซึ่งใช้ทดสอบกับกลุ่มข้อมูลหลัก 3 กลุ่ม คือกลุ่มข้อมูลภาพจากฐานข้อมูล MITP กลุ่มข้อมูลภาพจากฐานข้อมูลภาพคนเดินถนนภายในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี และกลุ่มข้อมูลภาพจากบริเวณถนนจริงภายในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี เพื่อแสดงและเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการดึงลักษณะเด่นแบบต่าง ๆ จากโครงสร้างทั้งสอง รวมถึงค้นหากลุ่มมิติสีย่อยที่ให้ผลตอบสนองเหมาะสมกับการตรวจจับภาพคนเดินถนนกับระบบที่สุด ดังรายละเอียดต่อไปนี้

5.2 ผลการทดสอบข้อมูลภาพจากฐานข้อมูล MITP

การทดสอบข้อมูลภาพจากฐานข้อมูล ในงานวิจัยนี้ใช้ชุดกลุ่มข้อมูลภาพคนเดินถนนจาก MITP ซึ่งมีภาพคนเดินถนนขนาด 128×64 จุดภาพ จำนวนทั้งหมด 924 ภาพ เป็นภาพคนเดินถนนลักษณะเต็มตัวด้านหน้าและด้านหลังที่มีความหลากหลายทั้งทางด้านชุดแต่งกายและท่าทาง สำหรับชุดข้อมูลภาพที่ไม่มีคนเดินถนนใช้ข้อมูลภาพจากบริเวณถนนต่าง ๆ ภายในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จำนวน 924 ภาพ ด้วยเช่นกัน วิธีการประเมินประสิทธิภาพของการตรวจจับภาพคนเดินถนนหลากหลายวิธี วิธีการหนึ่งที่เป็นที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวางในงานวิจัยต่าง ๆ (Mohan et al, 2003) คือ การคำนวณค่าความแม่นยำของระบบ (accuracy) หรือ ACC อัตราการตรวจจับภาพคนเดินถนนที่พบว่าเป็นภาพคนเดินถนนถูกต้องตามจริง (true positive rate) หรือ TPR อัตราความผิดพลาดที่ระบบคัดแยกได้ว่าเป็นภาพคนเดินถนนแต่สถานะจริงไม่มีภาพคนเดินถนน (false positive rate) หรือ FPR เมื่อ true positive หรือ TP หมายถึง สถานะจริงเป็นภาพคนเดินถนนและคัดแยกได้ว่าเป็นภาพคนเดินถนน false positive หรือ FP หมายถึง สถานะจริงไม่เป็นภาพคนเดินถนนแต่คัดแยกได้ว่าเป็นภาพคนเดินถนน true negative หรือ TN หมายถึง สถานะจริงไม่เป็นภาพคนเดินถนนและคัดแยกได้ว่าไม่เป็นภาพคนเดินถนน และ false negative หรือ FN หมายถึง สถานะจริงเป็นภาพคนเดินถนนแต่คัดแยกได้ว่าไม่เป็นภาพคนเดินถนน นอกจากนี้สามารถประเมินประสิทธิภาพด้วยกราฟ receiver

operating characteristics หรือ ROC รวมถึงการพิจารณาลักษณะโค้งนูนของกราฟและค่าพื้นที่ใต้กราฟ (area under curve) หรือ AUC ซึ่งมีค่าสูงสุดเท่ากับ 1 เมื่อระบบสามารถคัดแยกภาพคนเดินถนนได้ถูกต้องทั้งหมด

ดำเนินการทดสอบระบบที่ได้พัฒนาขึ้นทั้งหมดโดยใช้ภาพคนเดินถนน MITP และภาพที่ไม่มีคนเดินถนนที่ไม่ได้ผ่านการฝึกสอนจำนวนทั้งหมด 1056 ภาพ กับเครื่องเวกเตอร์เกือหนุน ซึ่งผ่านการฝึกสอนแล้วด้วยภาพคนเดินถนน MITP จำนวน 132 ภาพ และภาพที่ไม่มีคนเดินถนนจำนวน 396 ภาพ ที่ผ่านการดึงลักษณะเด่นแล้ว ดังแสดงในตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 จำนวนภาพที่ใช้ในการฝึกสอนและทดสอบระบบ

ฝึกสอนและ ทดสอบ	ฝึกสอน		ทดสอบ	
	ภาพ คนเดินถนน	ไม่ใช่ภาพ คนเดินถนน	ภาพ คนเดินถนน	ไม่ใช่ภาพ คนเดินถนน
จำนวนและ อัตราส่วนภาพ				
จำนวน (ภาพ)	132	396	528	528
อัตราส่วนต่อจำนวนภาพ คนเดินถนนที่ใช้ฝึกสอน	1:1	1:3	1:4	1:4

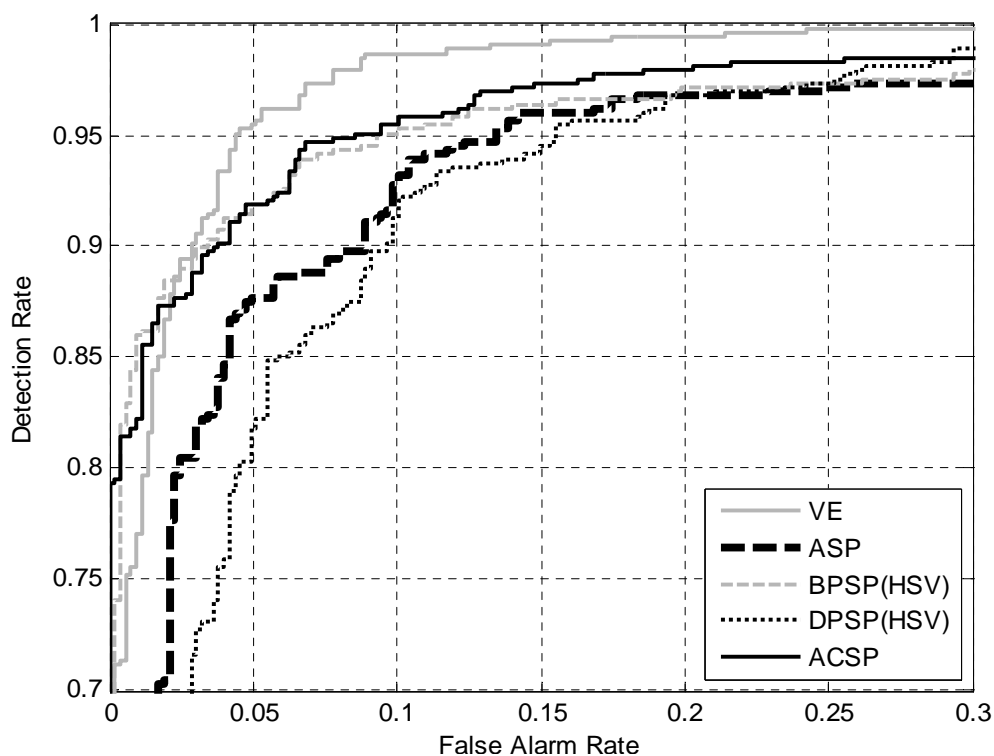
ผลการประเมินประสิทธิภาพการตรวจจับภาพคนเดินถนนโดยใช้ตารางการจร (contingency table) กราฟ ROC (Fawcett, 2003) (ดูเพิ่มเติมในภาคผนวก ข.) และกราฟ ROC ที่มีแกนนอนแบบลอการิทึมด้วยการดึงลักษณะเด่นภาพคนเดินถนนแบบต่าง ๆ ในโครงแบบเฟสอสมมาตรสี่และเฟสสมมาตรสี่ มีรายละเอียดดังนี้

5.2.1 ผลการคัดแยกภาพคนเดินถนนด้วยการดึงลักษณะเด่นแบบต่าง ๆ ในโครงแบบเฟสอสมมาตรสี่

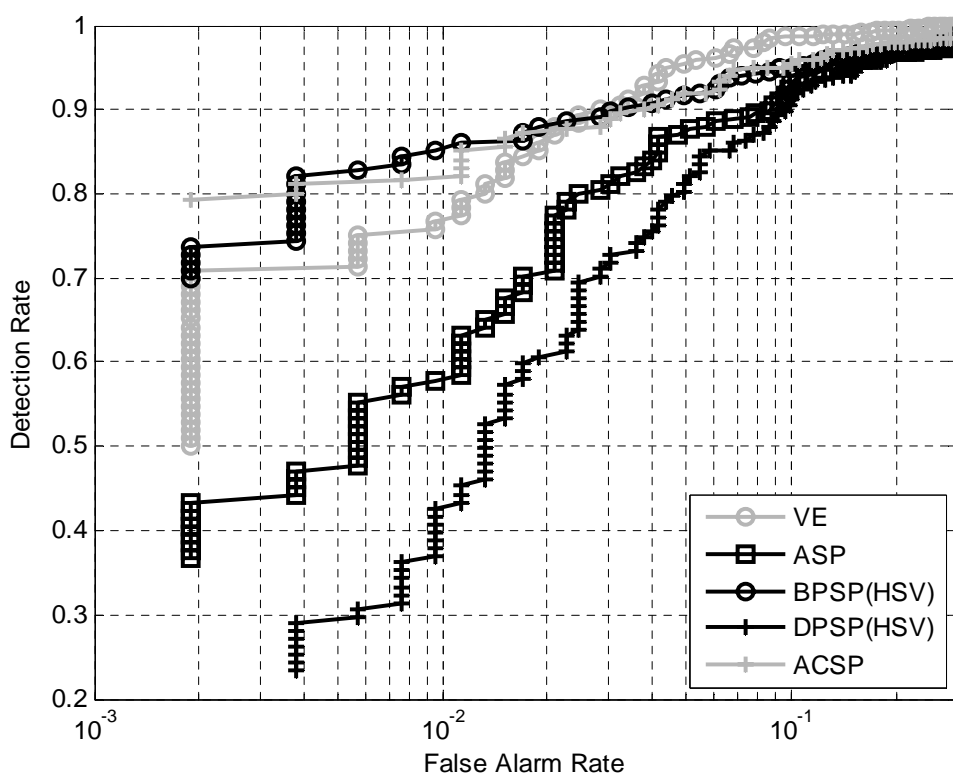
ประสิทธิภาพการคัดแยกผลภาพจากระบบเฟสอสมมาตรสี่โดยใช้เครื่องเวกเตอร์เกือหนุนแสดงผลด้วยตารางการจร ดังแสดงในตารางที่ 5.2 กราฟ ROC ดังแสดงในรูปที่ 5.1 และกราฟ ROC ที่มีแกนนอนแบบลอการิทึม เพื่อแสดงความแตกต่างของเส้นกราฟให้ชัดเจนยิ่งขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 5.2 โดยมีการเปรียบเทียบการดึงลักษณะเด่น (feature extraction) หรือ FE ด้วยวิธีการต่าง ๆ ในโครงแบบเฟสอสมมาตรสี่ ได้แก่ เส้นขอบแนวตั้ง (VE) เฟสอสมมาตร (ASP) เฟสสมมาตร จุดสว่างจากสีระดับเทา HSV หรือเรียกว่า BPSP (HSV) เฟสสมมาตรจุดมืดจากสีระดับเทา HSV หรือเรียกว่า DPSP (HSV) และเฟสอสมมาตรสี่ (ACSP) มีรายละเอียดดังนี้

ตารางที่ 5.2 ผลการคัดแยกภาพคนเดินถนนจากการดึงลักษณะเด่นแบบต่าง ๆ ในโครงแบบเฟสอสมมาตรสี่

FE	ผลการคัดแยก							
	ACC	TPR	FPR	AUC	TP (ภาพ)	FP (ภาพ)	TN (ภาพ)	FN (ภาพ)
VE	0.8731	0.7538	0.0076	0.9900	398	4	524	130
ASP	0.9138	0.8769	0.0492	0.9693	463	26	502	65
BPSP (HSV)	0.9328	0.9034	0.0379	0.9792	477	20	508	51
DPSP (HSV)	0.8939	0.8504	0.0625	0.9641	449	33	495	79
ACSP	0.9252	0.8674	0.0170	0.9816	458	9	458	70



รูปที่ 5.1 กราฟ ROC แสดงผลการคัดแยกภาพคนเดินถนนด้วยการดึงลักษณะเด่นแบบต่าง ๆ ในโครงแบบเฟสอสมมาตรสี่



รูปที่ 5.2 กราฟ ROC แสดงผลการคัดแยกภาพคนเดินถนนด้วยการดึงลักษณะเด่นแบบต่าง ๆ ในโครงแบบเฟสอสมมาตรสี่ โดยมีแกนนอนแบบลอการิทึม

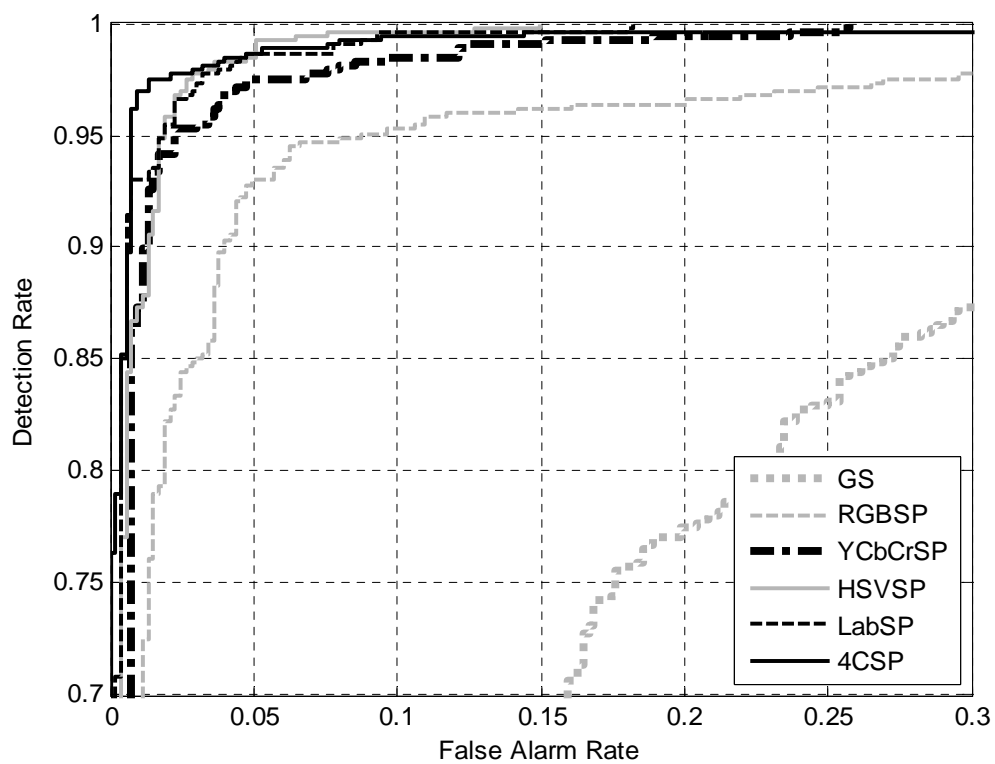
จากตารางที่ 5.2 พบว่าภาพเส้นขอบแนวตั้ง (VE) มีพื้นที่ใต้กราฟ (AUC) สูงสุดที่ 0.9900 แต่กลับมีค่าความแม่นยำต่ำสุดเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการดึงลักษณะเด่นแบบอื่น ๆ ในโครงแบบนี้เนื่องจากค่า TPR เท่ากับ 0.7538 ซึ่งเป็นค่าที่ไม่ค่อยสูงนัก บ่งบอกได้ว่าการคัดแยกภาพคนเดินถนนจากการดึงลักษณะเด่นด้วยเส้นขอบแนวตั้งมีประสิทธิภาพไม่สูงนัก นอกจากนี้เมื่อพิจารณาพื้นที่ใต้กราฟ ROC (AUC) อันดับรองลงมาพบว่า ACSP มีค่า 0.9816 และมีค่า TPR และ FPR ที่ 0.8674 และ 0.0170 ตามลำดับ ซึ่งแสดงถึงประสิทธิภาพในการคัดแยกที่ค่อนข้างสูง สามารถสังเกตได้จากกราฟ ROC ที่มีแกนนอนแบบลอการิทึมในรูปที่ 5.2 โดยกราฟของ ASCP มีค่าพื้นที่ใต้กราฟที่สามารถครอบคลุมการดึงลักษณะเด่นแบบอื่น ๆ ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าการดึงลักษณะเด่นภาพคนเดินถนนด้วยเฟสอสมมาตรสี่ (ACSP) มีประสิทธิภาพมากกว่าการใช้การดึงลักษณะเด่นทางเส้นด้วยเฟสอสมมาตร (ASP) เพียงอย่างเดียว เพราะมีการประมวลผลจากเฟสสมมาตรจุดสว่างและเฟสสมมาตรจุดมืดจากภาพระดับเทาในมิติสี HSV ร่วมด้วย และมีประสิทธิภาพสูงสุดเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับวิธีการดึงลักษณะเด่นแบบอื่น ๆ ในโครงแบบเฟสอสมมาตรสี่

5.2.2 ผลการคัดแยกภาพคนเดินถนนด้วยการดึงลักษณะเด่นแบบต่าง ๆ ในโครงแบบเฟสสมมาตรสี

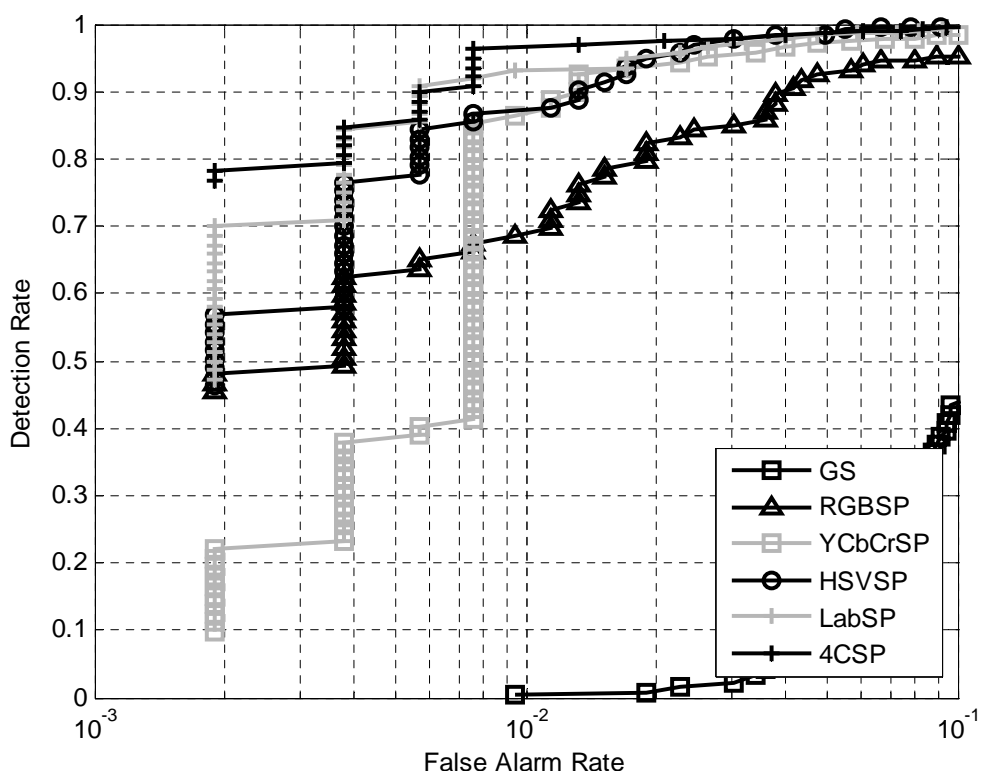
ประสิทธิภาพการคัดแยกผลภาพจากระบบเฟสสมมาตรสี โดยใช้เครื่องเวกเตอร์ เกือบหนึ่งแสดงผลด้วยตารางการจร ดังแสดงในตารางที่ 5.3 กราฟ ROC ดังแสดงในรูปที่ 5.3 และ กราฟ ROC ที่มีแกนนอนแบบลอการิทึม ดังแสดงในรูปที่ 5.4 โดยมีการเปรียบเทียบการดึงลักษณะเด่น ด้วยวิธีการต่าง ๆ ได้แก่ ภาพระดับเทา (GS) เฟสสมมาตรสี RGB (RGBSP) เฟสสมมาตรสี YCbCr (YCbCrSP) เฟสสมมาตรสี HSV (HSVSP) เฟสสมมาตรสี Lab (LabSP) และเฟสสมมาตรหลากสี (four color symmetry phases หรือ 4CSP) ซึ่งประกอบด้วยการพิจารณาเฟสสมมาตรมิติสี RGB YCbCr HSV และ Lab ร่วมกัน

ตารางที่ 5.3 ผลการคัดแยกภาพคนเดินถนนจากการดึงลักษณะเด่นแบบต่าง ๆ ในโครงแบบเฟสสมมาตรสี

FE	ผลการคัดแยก							
	ACC	TPR	FPR	AUC	TP (ภาพ)	FP (ภาพ)	TN (ภาพ)	FN (ภาพ)
GS	0.7206	0.9527	0.5114	0.8384	503	270	258	25
RGBSP	0.8864	0.7898	0.0170	0.9697	417	9	519	111
YCbCrSP	0.9527	0.9186	0.0133	0.9899	485	7	521	43
HSVSP	0.9650	0.9489	0.0189	0.9951	501	10	518	27
LabSP	0.9555	0.9186	0.0076	0.9956	485	4	524	43
4CSP	0.9593	0.9261	0.0076	0.9959	489	4	524	39



รูปที่ 5.3 กราฟ ROC แสดงผลการตัดแยกภาพคนเดินถนนด้วยการดึงลักษณะเด่นแบบต่างๆ ในโครงแบบเฟสสมมาตรสี่



รูปที่ 5.4 กราฟ ROC แสดงผลการคัดแยกภาพคนเดินถนนด้วยการดึงลักษณะเด่นแบบต่าง ๆ ในโครงแบบเฟสสมมาตรสี่ โดยมีแกนนอนแบบลอการิทึม

จากตารางที่ 5.3 พบว่าค่าความแม่นยำ (ACC) 3 อันดับสูงสุด ได้แก่ HSVSP LabSP และ 4CSP ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.9650, 0.9593 และ 0.9555 ตามลำดับ และค่าพื้นที่ใต้กราฟ (AUC) 3 อันดับสูงสุด ได้แก่ 4CSP LabSP และ HSVSP ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.9959, 0.9956 และ 0.9951 ตามลำดับ ค่าความแม่นยำ และพื้นที่ใต้กราฟ 3 อันดับสูงสุดมีความสอดคล้องและมีค่าใกล้เคียงกันเมื่อเปรียบเทียบผลการคัดแยกในโครงแบบนี้ และเมื่อพิจารณาจากลักษณะของกราฟ ROC จากรูปที่ 5.3 และรูปที่ 5.4 พบว่าลักษณะของกราฟ 4CSP มีประสิทธิภาพสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบผลการคัดแยกจากการดึงลักษณะเด่นแบบอื่น ๆ ในโครงแบบนี้ เนื่องจากกราฟมีลักษณะโค้งครอบคลุมกราฟอื่น ๆ ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าการดึงลักษณะเด่นภาพคนเดินถนนด้วยเฟสสมมาตรหลากสี (4CSP) มีประสิทธิภาพมากกว่าการดึงลักษณะเด่นทางเส้นด้วยเฟสสมมาตรจากมิติสี่เดียว ได้แก่ RGBSP YCbCrSP HSVSP และ LabSP อีกทั้งยังมีประสิทธิภาพมากกว่าการดึงลักษณะเด่นด้วยภาพระดับเทา (GS) มาก เนื่องจากใช้การคำนวณเฟสสมมาตรกับมิติสี่ที่หลากหลายนอกจากนี้ สำหรับการดึงลักษณะเด่นด้วยเฟสสมมาตรจากมิติสี่เดียว

พบว่า HSVSP และ LabSP มีประสิทธิภาพในการคัดแยกภาพคนเดินถนนสูงสุดใกล้เคียงกัน รองลงมาคือ YCbCrSP และ RGBSP ตามลำดับ

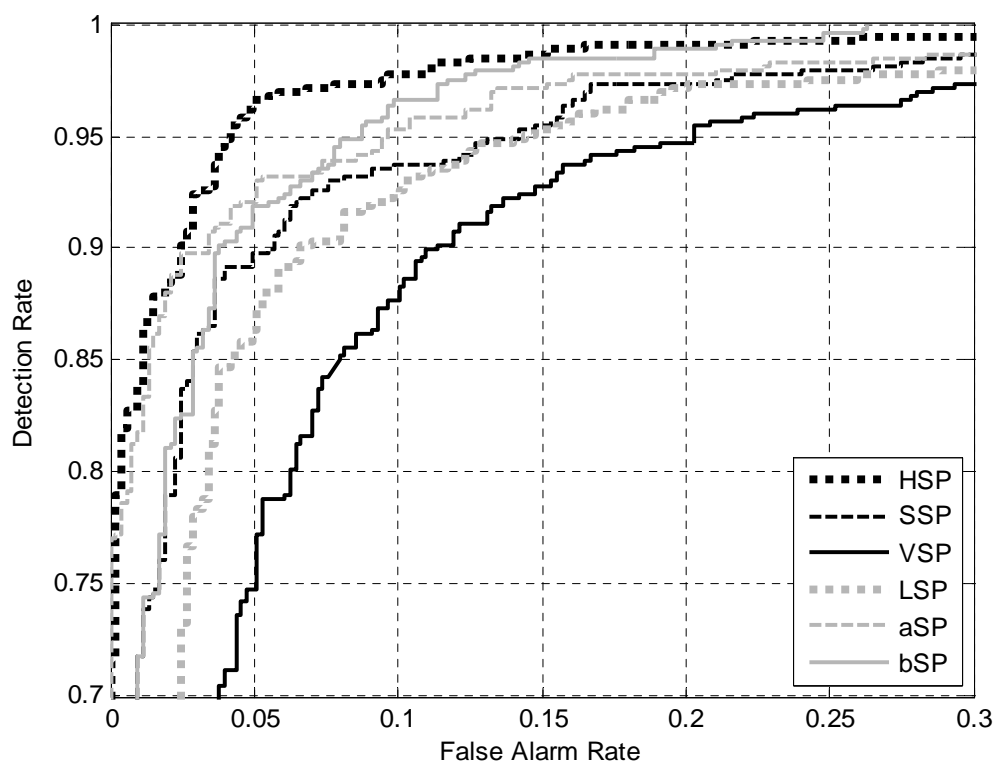
เนื่องจากเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการคัดแยกภาพคนเดินถนนด้วยวิธีการต่าง ๆ ในโครงแบบเฟสอสมมาตรสี่ (จากหัวข้อที่ 5.2.1) และ โครงแบบเฟสสมมาตรสี่ (จากหัวข้อที่ 5.2.2) พบว่าการดึงลักษณะเด่นด้วยเฟสสมมาตรหลักสี่ (4CSP) ในโครงแบบเฟสสมมาตรสี่มีประสิทธิภาพสูงสุดในการคัดแยกภาพคนเดินถนน ดังนั้นแนวโน้มการวิจัยในลำดับต่อไปจึงมุ่งเน้นการดึงลักษณะเด่นภาพคนเดินถนนด้วยโครงแบบเฟสสมมาตรสี่ และค้นหากลุ่มมิติสีย่อยที่น้อยที่สุดที่ให้ผลตอบสนองเฟสสมมาตรเหมาะสมกับการนำไปใช้ในระบบตรวจจับภาพคนเดินถนน เพื่อลดเวลาในการประมวลผลของระบบรวม โดยเริ่มจากการพิจารณาเฟสสมมาตรมิติสีย่อยจากมิติสีหลักที่ให้ผลตอบสนองเฟสสมมาตรเหมาะสมกับภาพคนเดินถนนและมีประสิทธิภาพในการคัดแยกภาพคนเดินถนนสูงสุด 2 อันดับแรก ดังแสดงในหัวข้อที่ 5.2.3 ในลำดับต่อไป จากนั้นจึงนำเฟสสมมาตรแต่ละมิติสีย่อยที่มีประสิทธิภาพในการคัดแยกภาพคนเดินถนนเรียงตั้งแต่สูงสุด ไปต่ำสุดมาประมวลผลร่วมกัน เรียกว่าเฟสสมมาตรมิติสีร่วม (co-color symmetry phases) หรือ CCSP ดังแสดงในหัวข้อที่ 5.2.4 ในลำดับต่อไป และนำผลประสิทธิภาพการคัดแยกภาพคนเดินถนนของกลุ่มเฟสสมมาตรมิติสีร่วมที่มีประสิทธิภาพสูงและเหมาะสมในการนำไปใช้ในระบบตรวจจับภาพคนเดินถนนจริงไปเปรียบเทียบกับ การดึงลักษณะเด่นแบบต่าง ๆ ที่ได้พัฒนาขึ้น ดังแสดงในหัวข้อที่ 5.2.6 ในลำดับต่อไป

5.2.3 ผลการคัดแยกภาพคนเดินถนนด้วยเฟสสมมาตรมิติสีย่อย

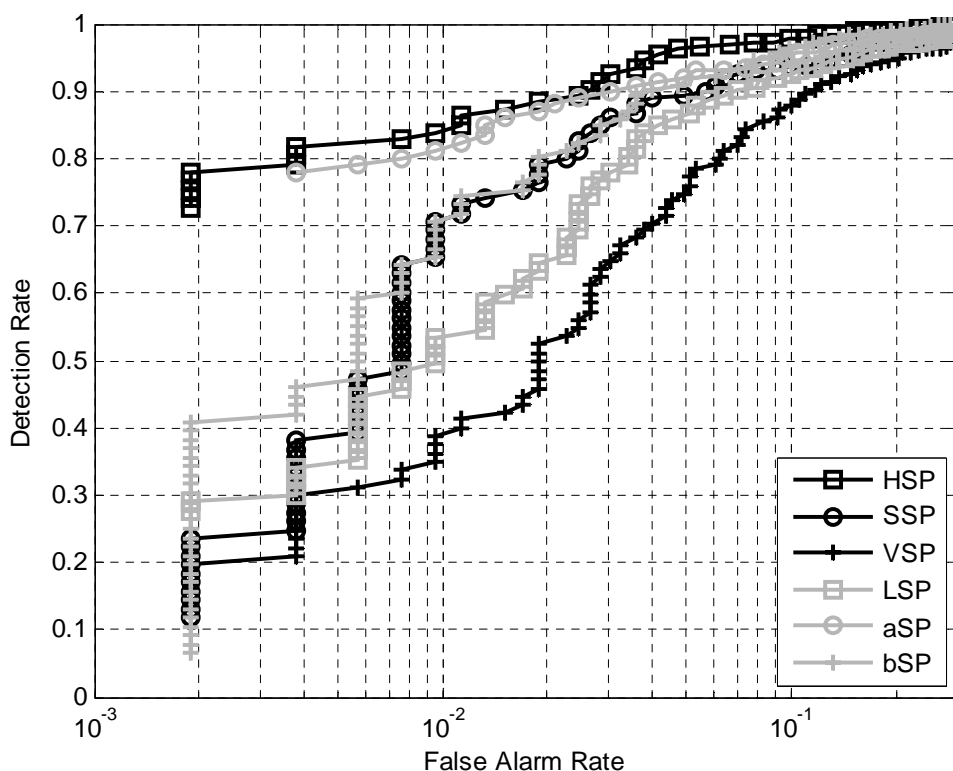
เฟสสมมาตรมิติสีย่อย เป็นการพิจารณาคัดเลือกมิติสีย่อยจากมิติสีหลักในกระบวนการเฟสสมมาตรมิติสี ดังที่แสดงในตารางที่ 5.3 เพื่อค้นหามิติสีย่อยที่มีประสิทธิภาพในการดึงลักษณะเด่นภาพคนเดินถนนด้วยเฟสสมมาตรสี่ที่ดีที่สุด โดยเลือกพิจารณาจากค่าความแม่นยำ (ACC) ของเฟสสมมาตรมิติสีหลักเพียงสี่เดียวที่ให้ผลตอบสนองดีที่สุดในอันดับแรก ได้แก่ HSVSP และ LabSP ซึ่งให้ค่าความแม่นยำเท่ากับ 0.9650 และ 0.9555 ตามลำดับ นอกจากนี้เมื่อพิจารณาโดยรวมแล้ว HSVSP และ LabSP ยังให้ค่าประสิทธิภาพด้านอื่น ๆ สูงอีกด้วย จากเฟสสมมาตรมิติสีหลัก HSV และ Lab สามารถคำนวณประสิทธิภาพการคัดแยกภาพคนเดินถนน โดยแบ่งเป็นเฟสสมมาตรจากมิติสีย่อยต่าง ๆ ได้แก่ เฟสสมมาตรจากมิติสีย่อย H (HSP) เฟสสมมาตรจากมิติสีย่อย S (SSP) เฟสสมมาตรจากมิติสีย่อย V (VSP) เฟสสมมาตรจากมิติสีย่อย L (LSP) เฟสสมมาตรจากมิติสีย่อย a (aSP) และเฟสสมมาตรจากมิติสีย่อย b (bSP) แสดงผลด้วยตารางการจร ดังแสดงในตารางที่ 5.4 กราฟ ROC ดังแสดงในรูปที่ 5.5 และกราฟ ROC ที่มีแกนนอนแบบลอการิทึม ดังแสดงในรูปที่ 5.6

ตารางที่ 5.4 ผลการคัดแยกภาพคนเดินถนนจากการดึงลักษณะเด่นด้วยเฟสสมมาตรมิติสี่ย่อย
ในโครงแบบเฟสสมมาตรสี่

FE	ผลการคัดแยก							
	ACC	TPR	FPR	AUC	TP (ภาพ)	FP (ภาพ)	TN (ภาพ)	FN (ภาพ)
HSP	0.9337	0.8920	0.0246	0.9895	471	13	515	57
SSP	0.9233	0.8826	0.0360	0.9758	466	19	509	62
VSP	0.8939	0.8996	0.1117	0.9537	475	59	469	53
LSP	0.9110	0.9356	0.1136	0.9680	494	60	468	34
aSP	0.9337	0.8883	0.0208	0.9825	469	11	517	59
bSP	0.9129	0.8542	0.0284	0.9827	451	15	513	77



รูปที่ 5.5 กราฟ ROC แสดงผลการคัดแยกภาพคนเดินถนนจากการดึงลักษณะเด่นด้วยเฟสสมมาตร
มิติสี่ย่อยในโครงแบบเฟสสมมาตรสี่



รูปที่ 5.6 กราฟ ROC แสดงผลการคัดแยกภาพคนเดินถนนจากการดึงลักษณะเด่นด้วยเฟสสมมาตร มิติสี่ข้อยในโครงแบบเฟสสมมาตรสี่ โดยมีแกนนอนแบบลอการิทึม

จากตารางที่ 5.4 เมื่อพิจารณาด้านค่าความแม่นยำ (ACC) พบว่าเฟสสมมาตรมิติสี่ข้อย HSP และ aSP มีค่าความแม่นยำสูงสุดเท่ากันที่ 0.9337 รองลงมาคือ SSP ซึ่งมีค่าความแม่นยำเท่ากับ 0.9233 แต่ถ้าพิจารณาด้านค่าพื้นที่ใต้กราฟ (AUC) พบว่า เฟสสมมาตรมิติสี่ข้อย HSP bSP และ aSP มีค่าพื้นที่ใต้กราฟสูงสุดเป็นอันดับ 1, 2 และ 3 โดยมีค่าเท่ากับ 0.9895, 0.9827 และ 0.9825 ตามลำดับ ดังนั้นค่า 3 อันดับสูงสุดของค่าความแม่นยำและพื้นที่ใต้กราฟจึงไม่สัมพันธ์กันทั้งหมด จึงได้นำลักษณะของเส้นกราฟทั้ง HSP SSP aSP และ bSP มาพิจารณาร่วมด้วย จากรูปที่ 5.5 พบว่าลักษณะของกราฟเฟสสมมาตรมิติสี่ข้อย 3 อันดับสูงสุด สอดคล้องกับค่าพื้นที่ใต้กราฟมากกว่าค่าความแม่นยำ ดังนั้นเมื่อพิจารณาโดยภาพรวมแล้ว สรุปว่าเฟสสมมาตรมิติสี่ข้อย HSP aSP bSP SSP LSP และ VSP มีประสิทธิภาพในการคัดแยกภาพคนเดินถนนเรียงจากสูงสูดมาต่ำสุดตามลำดับจากการพิจารณาเฟสสมมาตรมิติสี่ข้อยในโครงแบบเฟสสมมาตรสี่

ในลำดับต่อไปจะดำเนินการพิจารณาเฟสสมมาตรแต่ละมิติสีย่อยมาประมวลผลร่วมกันในการดึงลักษณะเด่นภาพคนเดินถนน เพื่อหาเฟสสมมาตรมิติสีย่อยร่วมหรือเฟสสมมาตรมิติสีร่วมที่มีประสิทธิภาพในการดึงลักษณะเด่นและคัดแยกภาพคนเดินถนนสูง โดยใช้จำนวนมิติสีย่อยในการคำนวณน้อย ซึ่งทำให้ลดความซับซ้อนของมิติสีและเวลาในการคำนวณ

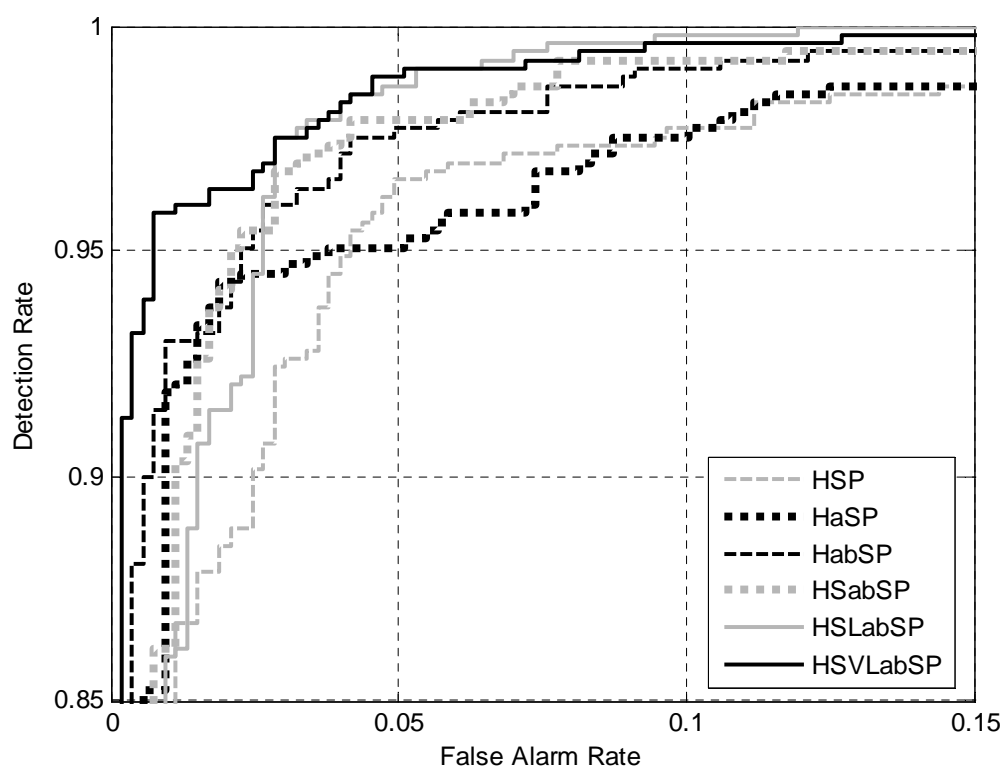
5.2.4 ผลการคัดแยกภาพคนเดินถนนด้วยเฟสสมมาตรมิติสีร่วม (co-color symmetry phases)

ถึงแม้ประสิทธิภาพของเฟสสมมาตรมิติสีย่อยจากมิติสีย่อยเพียงสีเดียวมีประสิทธิภาพสูง แต่ก็ยังไม่เพียงพอสำหรับการตรวจจับภาพคนเดินถนนที่มีความแตกต่างและหลากหลายทางด้านสีของชุดแต่งกายทั้งหมดได้ การนำมิติสีย่อยอื่นมาคำนวณร่วมด้วยเป็นการช่วยเพิ่มความแตกต่างของกลุ่มสี ช่วยให้มีโอกาสเพิ่มประสิทธิภาพในการตรวจจับภาพคนเดินถนนมากขึ้น แต่อย่างไรก็ตามการใช้มิติสีมากเกินไปในการคำนวณทำให้ต้องใช้เวลาในการคำนวณมากตามไปด้วย ดังนั้นควรพิจารณาจำนวนมิติสีย่อยที่ใช้และประสิทธิภาพในการตรวจจับภาพคนเดินถนนควบคู่กันด้วย

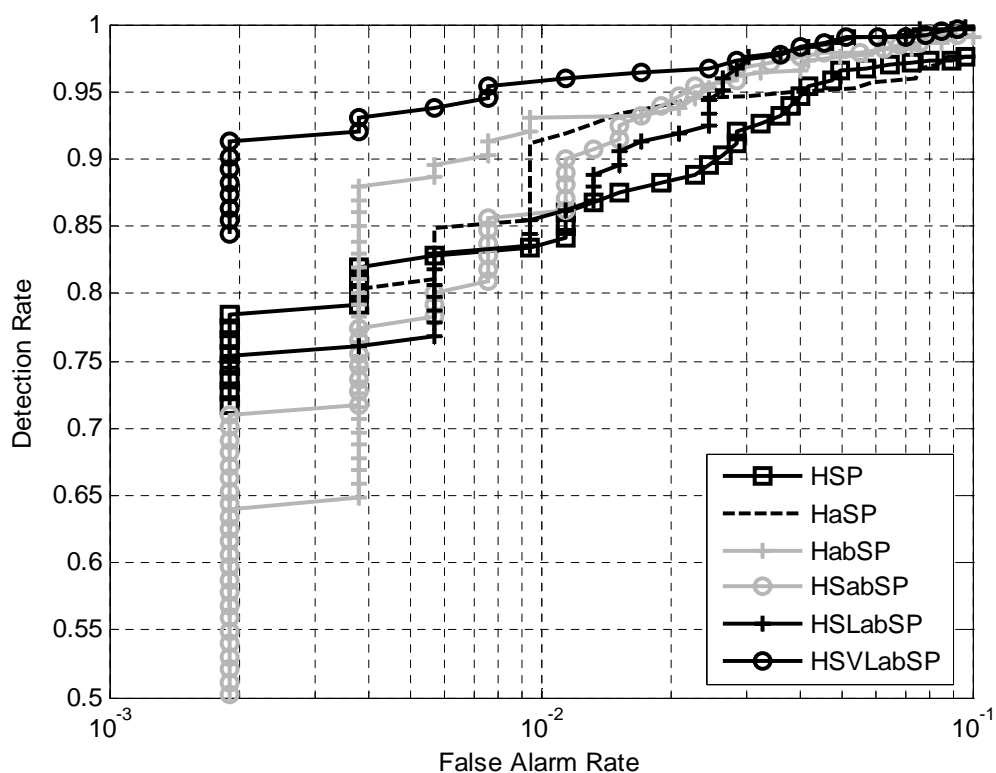
การคัดแยกภาพคนเดินถนนด้วยเฟสสมมาตรมิติสีร่วม (CCSP) เป็นการนำเอาเฟสสมมาตรมิติสีย่อยจากหัวข้อที่ 5.2.3 ที่เรียงลำดับประสิทธิภาพในการตรวจจับภาพคนเดินถนนจากสูงสุดไปสู่ต่ำสุดได้แก่ เฟสสมมาตรมิติสีย่อย HSP aSP bSP SSP LSP และ VSP ตามลำดับ มาพิจารณาร่วมกัน โดยให้เพิ่มจำนวนมิติสีย่อยขึ้นทีละหนึ่งมิติสีย่อยตามลำดับประสิทธิภาพสูงสุดไปถึงต่ำสุดดังนี้ เฟสสมมาตรจากมิติสีย่อย H (HSP) เฟสสมมาตรจากมิติสีย่อยร่วม H และ a (HaSP) เฟสสมมาตรจากมิติสีย่อยร่วม H a และ b (HabSP) เฟสสมมาตรจากมิติสีย่อยร่วม H a b และ S (HSabSP) เฟสสมมาตรจากมิติสีย่อยร่วม H a b S และ L (HSLabSP) เฟสสมมาตรจากมิติสีย่อยร่วม H a b S L และ V (HSVLabSP) สามารถแสดงผลด้วยตารางการจร ดังแสดงในตารางที่ 5.5 กราฟ ROC ดังแสดงในรูปที่ 5.7 และกราฟ ROC ที่มีแกนนอนแบบลอการิทึม ดังแสดงในรูปที่ 5.8

ตารางที่ 5.5 ผลการคัดแยกภาพคนเดินถนนจากการดึงลักษณะเด่นด้วยเฟสสมมาตรมิติสี่ร่วม
ในโครงแบบเฟสสมมาตรสี่

FE	ผลการคัดแยก							
	ACC	TPR	FPR	AUC	TP (ภาพ)	FP (ภาพ)	TN (ภาพ)	FN (ภาพ)
HSP	0.9337	0.8920	0.0246	0.9895	471	13	515	57
HaSP	0.9545	0.9186	0.0095	0.9923	485	5	523	43
HabSP	0.9631	0.9508	0.0246	0.9945	502	13	515	26
HSabSP	0.9545	0.9242	0.0152	0.9932	488	8	520	40
HSLabSP	0.9545	0.9337	0.0246	0.9955	493	13	515	35
HSVLabSP	0.9347	0.8712	0.0019	0.9976	460	1	527	68



รูปที่ 5.7 กราฟ ROC แสดงผลการคัดแยกภาพคนเดินถนนจากการดึงลักษณะเด่นด้วยเฟสสมมาตร
มิติสี่ร่วมในโครงแบบเฟสสมมาตรสี่



รูปที่ 5.8 กราฟ ROC แสดงผลการคัดแยกภาพคนเดินถนนจากการดึงลักษณะเด่นด้วยเฟสสมมาตร มิติสี่ร่วมในโครงแบบเฟสสมมาตรสี่ โดยมีแกนนอนแบบลอการิทึม

จากตารางที่ 5.5 พิจารณาด้านค่าความแม่นยำ (ACC) พบว่า เฟสสมมาตรมิติสี่ร่วม HabSP มีค่าความแม่นยำสูงสุดที่ 0.9631 ตามด้วย HaSP HSabSP และ HSLabSP ซึ่งมีค่าเท่ากัน โดยเท่ากับ 0.9545 แต่ถ้าพิจารณาด้านค่าพื้นที่ใต้กราฟ (AUC) พบว่า เฟสสมมาตรมิติสี่ร่วม HSVLabSP HSLabSP และ HabSP มีค่าพื้นที่ใต้กราฟสูงสุดเป็นอันดับ 1, 2 และ 3 โดยมีค่าเท่ากับ 0.9976, 0.9955 และ 0.9945 ตามลำดับ ดังนั้นค่า 3 อันดับสูงสุดของค่าความแม่นยำและพื้นที่ใต้กราฟจึงไม่สัมพันธ์กันทั้งหมด จึงได้นำลักษณะของเส้นกราฟทั้ง HSVLabSP HSLabSP HSabSP และ HabSP มาพิจารณาร่วมด้วยจากรูปที่ 5.7 พบว่า ลักษณะความโค้งของกราฟเฟสสมมาตรมิติสี่ร่วมแสดงให้เห็นว่า HSVLabSP HSLabSP HSabSP และ HabSP มีประสิทธิภาพสูงใกล้เคียงกัน แต่ HSVLabSP มีประสิทธิภาพสูงสุด และเมื่อพิจารณาจากรูปที่ 5.8 พบว่า ลักษณะการกระจายตัวของกราฟเฟสสมมาตรมิติสี่ย่อย HSVLabSP มีประสิทธิภาพสูงสุด รองลงมาคือ HabSP ดังนั้นเมื่อพิจารณาโดยภาพรวมทั้งค่าผลการคัดแยกภาพและลักษณะของกราฟ ROC แล้ว พบว่าเฟสสมมาตรมิติสี่ร่วม HabSP มีประสิทธิภาพในการคัดแยกภาพคนเดินถนนสูงสุด เนื่องจากมีประสิทธิภาพผล

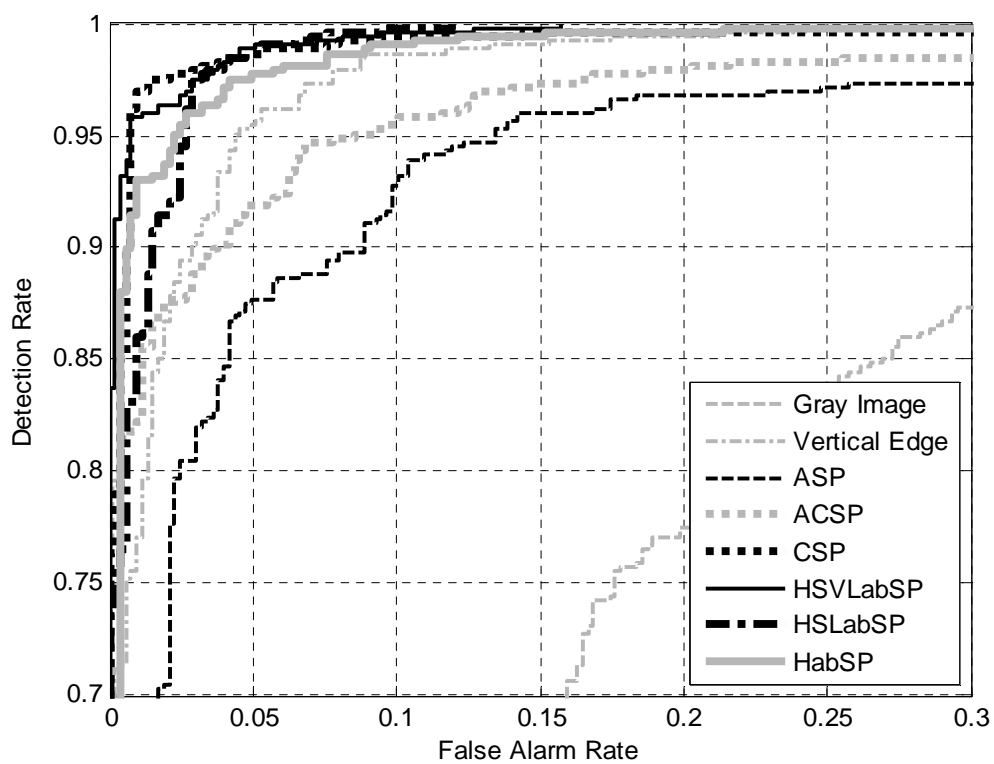
การตรวจจับที่ให้ค่าความแม่นยำ (ACC) สูงสุด เมื่อเปรียบเทียบกับเฟสสมมาตรมิติสีร่วมอื่น ทั้งที่ใช้มิติสีย่อยเพียง 3 มิติสีเท่านั้น และให้ลักษณะของกราฟ ROC ที่แสดงถึงประสิทธิภาพในการตรวจจับภาพคนเดินถนนสูง ซึ่งถึงแม้ประสิทธิภาพโดยรวมของ HabSP นั้นน้อยกว่า HSVLabSP และ HSLabSP แต่ก็ใช้มิติสีย่อยและเวลาในการคำนวณน้อยกว่าด้วยเช่นกัน ในงานวิจัยนี้สรุปว่าเฟสสมมาตรมิติสีร่วม HSVLabSP HSLabSP และ HabSP เป็นกลุ่มเฟสสมมาตรมิติสีร่วมที่มีประสิทธิภาพในการดึงลักษณะเด่นและคัดแยกภาพคนเดินถนนสูง

5.2.5 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการคัดแยกภาพคนเดินถนนด้วยวิธีการต่าง ๆ

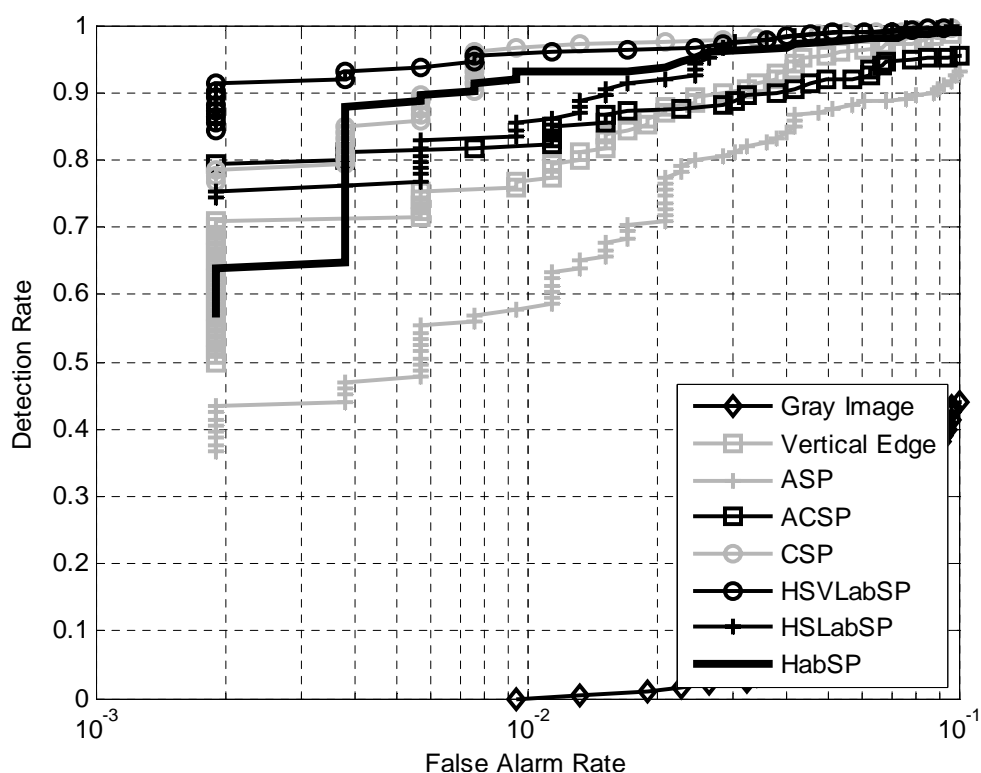
จากการทดสอบประสิทธิภาพการคัดแยกภาพคนเดินถนนด้วยการดึงลักษณะเด่นแบบต่าง ๆ จากหัวข้อที่ 5.2.2 ถึง 5.2.4 ซึ่งประกอบด้วย การดึงลักษณะเด่นทางเส้นในโครงแบบเฟสสมมาตรสี ได้แก่ ภาพเส้นขอบแนวตั้ง (VE) ภาพเฟสสมมาตร (ASP) ภาพเฟสสมมาตรสี (ACSP) และการดึงลักษณะเด่นทางสีในโครงแบบเฟสสมมาตรสี ได้แก่ ภาพระดับเทาจากมิติสี RGB (GS) ภาพเฟสสมมาตรหลากมิติสี (4CSP) ภาพเฟสสมมาตรมิติสีร่วม H S V L a และ b (HSVLabSP) ภาพเฟสสมมาตรมิติสีร่วม H S L a และ b (HSLabSP) ภาพเฟสสมมาตรมิติสีร่วม H a และ b (HabSP) สามารถแสดงผลด้วยตารางการจร ดังแสดงในตารางที่ 5.6 กราฟ ROC ดังแสดงในรูปที่ 5.9 และกราฟ ROC ที่มีแกนนอนแบบลอการิทึม ดังแสดงในรูปที่ 5.10

ตารางที่ 5.6 เปรียบเทียบผลการคัดแยกภาพคนเดินถนนจากการดึงลักษณะเด่นด้วยวิธีการต่าง ๆ

FE	ผลการคัดแยก							
	ACC	TPR	FPR	AUC	TP (ภาพ)	FP (ภาพ)	TN (ภาพ)	FN (ภาพ)
VE	0.8731	0.7538	0.0076	0.9900	398	4	524	130
ASP	0.9138	0.8769	0.0492	0.9693	463	26	502	65
ACSP	0.9252	0.8674	0.0170	0.9816	458	9	458	70
GS	0.7206	0.9527	0.5114	0.8384	503	270	258	25
4CSP	0.9593	0.9261	0.0076	0.9959	489	4	524	39
HSVLabSP	0.9347	0.8712	0.0019	0.9976	460	1	527	68
HSLabSP	0.9545	0.9337	0.0246	0.9955	493	13	515	35
HabSP	0.9631	0.9508	0.0246	0.9945	502	13	515	26



รูปที่ 5.9 กราฟ ROC แสดงผลการตัดแยกภาพคนเดินถนนจากการดึงลักษณะเด่นด้วยวิธีการต่างๆ



รูปที่ 5.10 กราฟ ROC แสดงผลการคัดแยกภาพคนเดินถนนจากการดึงลักษณะเด่นด้วยวิธีการต่าง ๆ โดยมีแกนอนแบบลอการิทึม

จากตารางที่ 5.2 ในการดึงลักษณะเด่นทางเส้นของภาพคนเดินถนนจากโครงแบบเฟสอสมมาตรสี่ ซึ่งประกอบด้วย VE จากการดึงลักษณะเด่นโดยใช้วิธีพื้นฐาน ASP และ ASCP จากการดึงลักษณะเด่นโดยใช้วิธีเฟสอสมมาตรเป็นหลัก ซึ่งเป็นผลการทดลองจากหัวข้อที่ 5.2.2 พบว่า เมื่อพิจารณาโดยภาพรวมแล้ว ACSP มีประสิทธิภาพในการตรวจจับคนเดินถนนสูงสุดเนื่องจาก ACSP มีค่าความแม่นยำสูงสุดที่ 0.9252 และมีค่าพื้นที่ใต้กราฟ (AUC) สูงสุดเป็นอันดับสอง ส่วน VE ที่ถึงแม้มีค่าความแม่นยำ (AUC) สูงสุด แต่ก็มีค่า ACC ต่ำ ซึ่งเกิดจากค่า FN สูง มีจำนวนถึง 130 ภาพ จากทั้งหมด 524 ภาพ บ่งบอกว่า VE มีประสิทธิภาพตรวจจับภาพคนเดินถนนได้ถูกต้องไม่สูงนัก

จากตารางที่ 5.3-5.5 ในการดึงลักษณะเด่นทางสีของภาพคนเดินถนนจากโครงแบบเฟสสมมาตรสี่ ซึ่งประกอบด้วย GS จากการดึงลักษณะเด่นโดยใช้วิธีพื้นฐาน เฟสสมมาตรมิติสี่ร่วม 4CSP HSVLabSP HSLabSP และ HabSP จากการดึงลักษณะเด่นโดยใช้วิธีเฟสสมมาตรมิติสี่ร่วมเป็นหลัก ซึ่งเป็นผลการทดลองจากหัวข้อที่ 5.2.3 และ 5.2.4 พบว่า เมื่อพิจารณาโดยภาพรวมแล้ว

4CSP HSVLabSP และ HSLabSP มีประสิทธิภาพในการตรวจจับคนเดินถนนสูงสุดใกล้เคียงกัน รองลงมาคือ HabSP

จากตารางที่ 5.6 รูปที่ 5.9 และรูปที่ 5.10 เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพจากการดึงลักษณะเด่นทางเส้นและสีของภาพคนเดินถนน พบว่าโดยภาพรวมแล้วการดึงลักษณะเด่นทางสีของภาพคนเดินถนนมีประสิทธิภาพสูงกว่าการดึงลักษณะเด่นทางเส้น โดยเฉพาะการดึงลักษณะเด่นภาพคนเดินถนนด้วยเฟสสมมาตรมิตีสีร่วม เนื่องจากผลภาพจากการดึงลักษณะเด่นด้วยวิธีนี้ทำให้เครื่องเวกเตอร์เกี่ยวพันที่ผ่านการฝึกสอน สามารถคัดแยกภาพคนเดินถนนได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังตัวอย่างประสิทธิภาพการคัดแยกภาพคนเดินถนนจากการดึงลักษณะเด่นด้วยเฟสสมมาตรมิตีสีร่วม HabSP ที่ให้ค่า ACC สูงสุดเท่ากับ 0.9631 ค่า TPR และ FPR เท่ากับ 0.9508 และ 0.0246 ตามลำดับ จากผลการทดสอบภาพคนเดินถนนจาก MITP 524 ภาพ และภาพที่ไม่มีคนเดินถนนจำนวน 524 ภาพ เท่ากัน ซึ่งมีรายละเอียดผลการคัดแยกภาพคนเดินถนนดังต่อไปนี้ สถานะจริงเป็นภาพคนเดินถนนและคัดแยกได้ว่าเป็นภาพคนเดินถนน (TP) 502 ภาพ สถานะจริงไม่เป็นภาพคนเดินถนนและคัดแยกได้ว่าเป็นภาพคนเดินถนน (TN) 515 ภาพ สถานะจริงไม่เป็นภาพคนเดินถนนแต่คัดแยกได้ว่าเป็นภาพคนเดินถนน (FP) 13 ภาพ และสถานะจริงเป็นภาพคนเดินถนนแต่คัดแยกได้ว่าเป็นภาพคนเดินถนน (FN) 26 ภาพ นอกจากนี้ ค่า AUC ของ HabSP ยังมีค่าเท่ากับ 0.9945 ซึ่งถือเป็นประสิทธิภาพรวมของระบบที่สูงมาก ภาพที่ได้จากการดึงลักษณะเด่นด้วยเฟสสมมาตรมิตีสีย่อยร่วม มีลักษณะเป็นกลุ่มจุดภาพสีขาวที่มีรูปร่างตามลักษณะรูปร่างของภาพคนเดินถนนที่ใช้ทดสอบ เป็นรูปแบบสามารถมองเห็นได้อย่างชัดเจนและมีผลตอบสนองของภาพส่วนอื่นที่ไม่ใช่ภาพคนเดินถนนน้อย ดังแสดงในรูปที่ 5.11 และแตกต่างจากภาพที่ไม่มีคนเดินถนนซึ่งให้ผลตอบสนองเป็นกลุ่มจุดภาพสีขาวกระจายตามลักษณะของภาพที่ใช้ทดสอบมีลักษณะที่ไม่เป็นรูปแบบตามลักษณะรูปแบบของภาพคนเดินถนน ทำให้เมื่อส่งภาพเฟสสมมาตรมิตีสีร่วมจากภาพที่มีคนเดินถนนและไม่มีภาพคนเดินถนนที่มีลักษณะของภาพที่แตกต่างกันชัดเจนให้เครื่องเวกเตอร์เกี่ยวพันคัดแยกภาพคนเดินถนน เครื่องเวกเตอร์เกี่ยวพันจึงสามารถคัดแยกภาพคนเดินถนนได้อย่างมีประสิทธิภาพ ถึงแม้ว่ามีภาพคนเดินถนนและภาพพื้นหลังที่แตกต่างกัน

5.3 ผลการทดสอบข้อมูลภาพจากฐานข้อมูลภายในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

จากการทดสอบระบบที่ได้พัฒนาขึ้นกับภาพคนเดินถนนจากฐานข้อมูล MITP ทำให้รู้แนวโน้มประสิทธิภาพการคัดแยกภาพคนเดินถนนจากการดึงลักษณะเด่นแบบต่าง ๆ ในโครงแบบเฟสสมมาตรสีและโครงแบบเฟสสมมาตรสี เพื่อใช้ทดสอบระบบการตรวจจับภาพคนเดินถนน



รูปที่ 5.11 ตัวอย่างผลภาพการดึงลักษณะเด่นคนเดินถนน (ก) ภาพคนเดินถนน
(ข) ภาพมิติสี่ร่วม Hab และ (ค) ภาพเฟสสมมาตรมิติสี่ร่วม HabSP

กับข้อมูลวิดิทัศน์จากภาพบริเวณถนนเส้นหลักภายในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีในลำดับต่อไป งานวิจัยนี้ได้เสนอการทดสอบภาพคนเดินถนนจากฐานข้อมูลภายในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ร่วมกับ เนื่องจากภาพจากฐานข้อมูลคนเดินถนน MITP เพียงอย่างเดียวไม่เพียงพอในการฝึกสอน ให้กับระบบ เพราะมีภาพคนเดินถนนเพียงเฉพาะด้านหน้าและด้านหลัง ไม่มีข้อมูลภาพคนเดินถนน ด้านข้าง ในงานวิจัยนี้จึงได้จัดทำฐานข้อมูลภาพคนเดินถนนภายในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ซึ่งประกอบด้วยภาพคนเดินถนนที่มีความหลากหลายทางด้านท่าทาง รูปร่าง และสีของชุดแต่งกาย ทั้งหมด 1,000 ภาพ และภาพที่ไม่มีคนเดินถนนที่แตกต่างกันทั้งหมด 5,000 ภาพ โดยแต่ละภาพ มีขนาด 64×32 จุดภาพ ดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 5.12 และ 5.13

จากแนวโน้มประสิทธิภาพการคัดแยกภาพคนเดินถนนจากการดึงลักษณะเด่นแบบต่าง ๆ ในโครงแบบเฟสสมมาตรสี่และ โครงแบบเฟสสมมาตรสี่ที่ใช้กับภาพคนเดินถนนจากฐานข้อมูล MITP พบว่า การดึงลักษณะเด่นด้วยเฟสสมมาตรสี่มีประสิทธิภาพสูงสุดในโครงแบบเฟสสมมาตรสี่



รูปที่ 5.12 ตัวอย่างภาพคนเดินถนนจากฐานข้อมูลภายในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



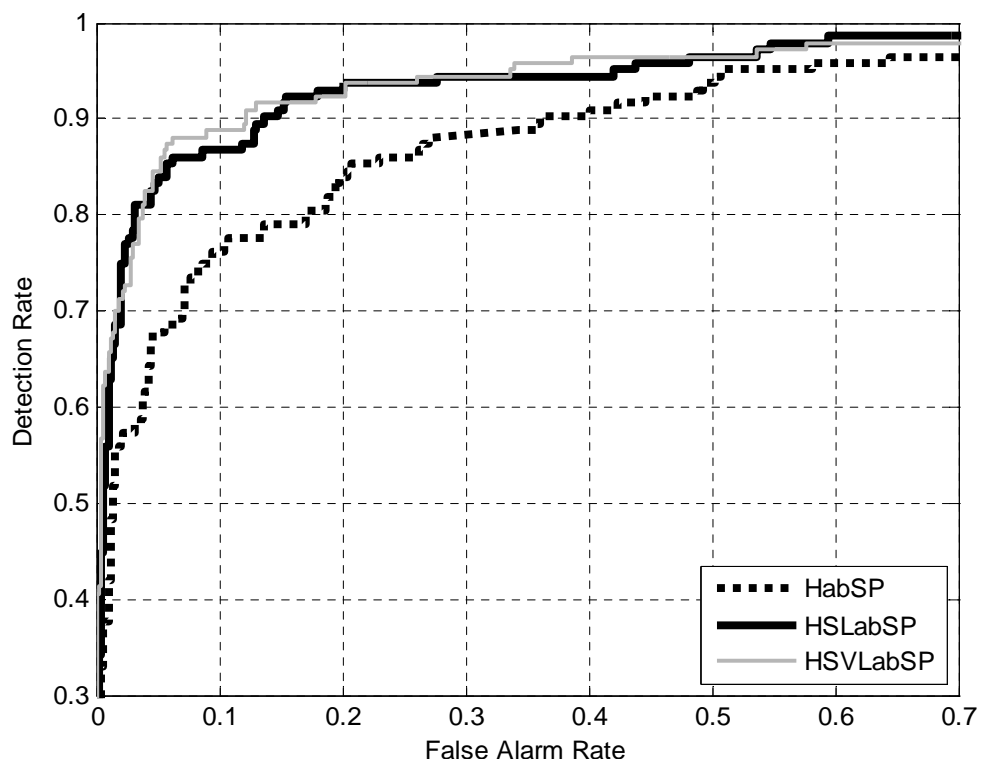
รูปที่ 5.13 ตัวอย่างภาพที่ไม่มีคนเดินถนนจากฐานข้อมูลภายในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ส่วนการดึงลักษณะเด่นด้วยเฟสสมมาตรมิติสี่ร่วม 4CSP HSVLabSP HSLabSP และ HabSP เป็นกลุ่มเฟสสมมาตรมิติสี่ร่วมที่มีประสิทธิภาพสูงสุดในโครงแบบเฟสสมมาตรสี่ ในงานวิจัยนี้ ได้เลือกทดสอบเฉพาะเฟสสมมาตรมิติสี่ร่วม HSVLabSP HSLabSP และ HabSP กับภาพคนเดินถนน จากฐานข้อมูลภายในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี เพื่อหาเฟสสมมาตรมิติสี่ย่อยร่วมที่เหมาะสมกับฐานข้อมูลนี้ และเหมาะสมแก่การนำไปใช้คำนวณการตรวจจับภาพคนเดินถนนจากข้อมูลวิดีโอที่สั้น ภาพบริเวณถนนจริงโดยใช้โครงแบบเฟสสมมาตรสี่ เนื่องจาก 4CSP ใช้มิติสี่ย่อยจำนวนมากจึงไม่เหมาะสมสำหรับการคำนวณกับภาพบริเวณถนน

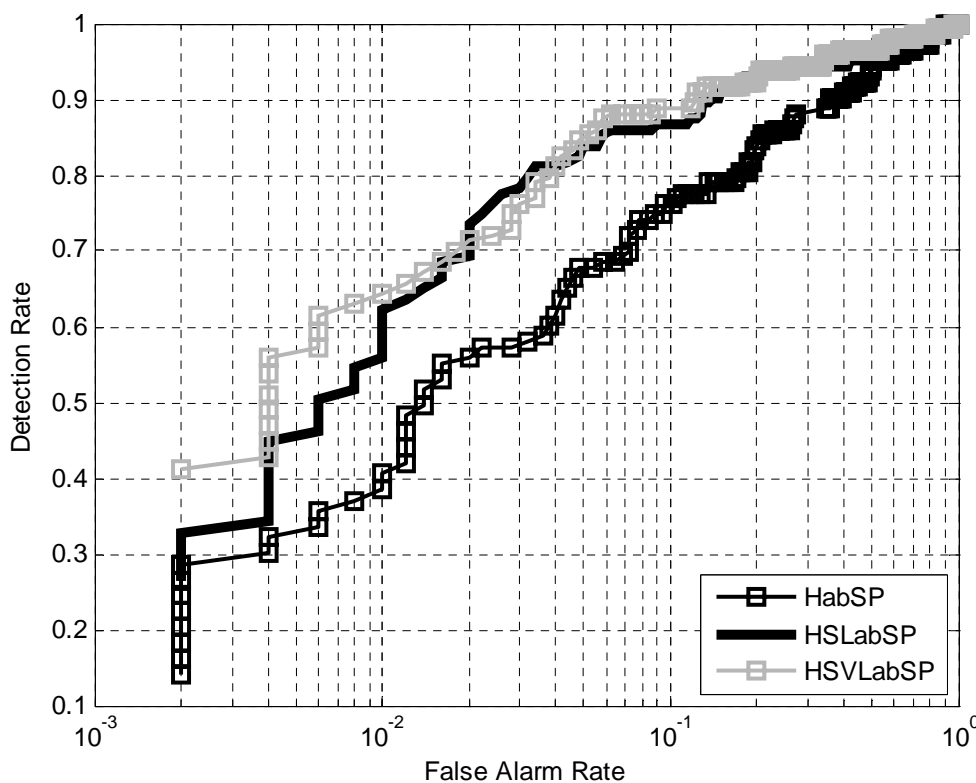
ดำเนินการทดสอบในระบบโครงแบบเฟสสมมาตรสี่โดยใช้ภาพคนเดินถนนภายในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จำนวน 143 ภาพ และภาพที่ไม่มีคนเดินถนนจำนวน 500 ภาพ ซึ่งไม่ได้ผ่านการฝึกสอน และใช้การฝึกสอนเครื่องเวกเตอร์เกื้อหนุนด้วยภาพคนเดินถนนภายในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จำนวน 857 ภาพ และภาพที่ไม่มีคนเดินถนนจำนวน 1000 ภาพ ที่ผ่านการดึงลักษณะเด่นแล้ว สามารถแสดงผลด้วยตารางการจร ดังแสดงในตารางที่ 5.7 กราฟ ROC ดังแสดงในรูปที่ 5.14 และกราฟ ROC ที่มีแกนนอนแบบลอการิทึม ดังแสดงในรูปที่ 5.15

ตารางที่ 5.7 เปรียบเทียบผลการคัดแยกภาพคนเดินถนนจากการดึงลักษณะเด่นด้วยเฟสสมมาตรมิติสี่ร่วมแบบต่าง ๆ

FE	ผลการคัดแยก							
	ACC	TPR	FPR	AUC	TP (ภาพ)	FP (ภาพ)	TN (ภาพ)	FN (ภาพ)
HSVLabSP	0.9253	0.8811	0.0620	0.9488	126	31	469	17
HSLabSP	0.8942	0.8671	0.0980	0.9459	124	49	451	19
HabSP	0.8258	0.7902	0.1640	0.8964	113	82	418	30



รูปที่ 5.14 กราฟ ROC แสดงผลการคัดแยกภาพคนเดินถนนจากการดึงลักษณะเด่นด้วยเฟสสมมาตร
มิติสี่ร่วมใน โครงแบบเฟสสมมาตรสี่



รูปที่ 5.15 กราฟ ROC แสดงผลการคัดแยกภาพคนเดินถนนจากการดึงลักษณะเด่นด้วยเฟสสมมาตร มิติสี่ร่วมในโครงแบบเฟสสมมาตรสี่ โดยมีแกนอนแบบลอการิทึม

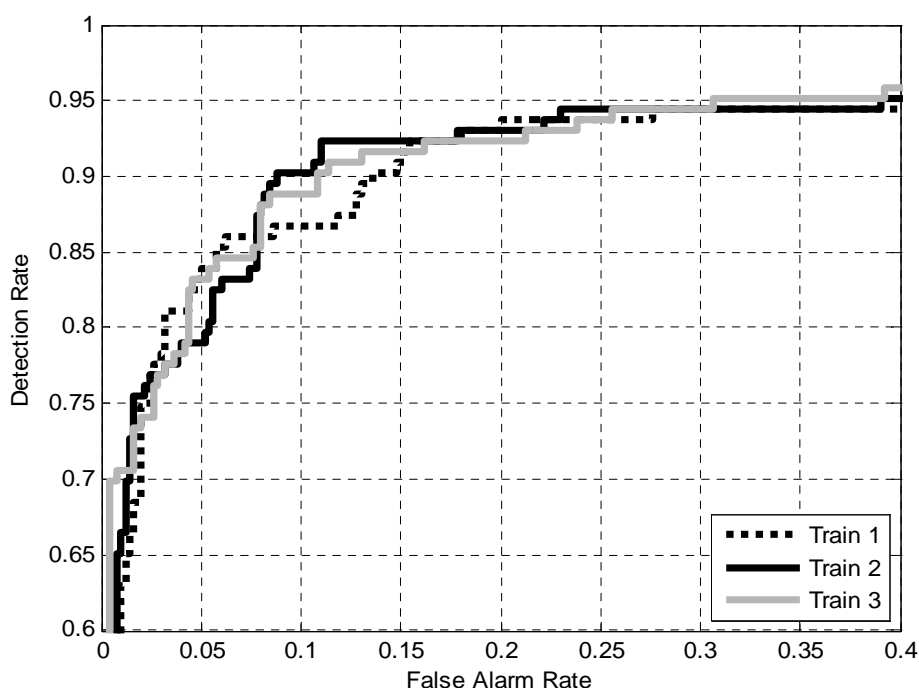
เมื่อพิจารณาผลการทดสอบโดยภาพรวมจากตารางที่ 5.7 รูปที่ 5.14 และรูปที่ 5.15 พบว่าการดึงลักษณะเด่นด้วยเฟสสมมาตรมิติสี่ร่วม HSVLabSP และ HSLabSP มีประสิทธิภาพสูงใกล้เคียงกัน โดยมีค่าพื้นที่ใต้กราฟ (AUC) เท่ากับ 0.9488 และ 0.9459 ตามลำดับ มีประสิทธิภาพมากกว่า HabSP ที่มีค่าพื้นที่ใต้กราฟ (AUC) เท่ากับ 0.8964 ในงานวิจัยเลือกเฟสสมมาตรมิติสี่ร่วม HSLabSP เป็นเฟสสมมาตรมิติสี่ร่วมที่เหมาะสมกับฐานข้อมูลนี้และเหมาะสมแก่การนำไปใช้ทดสอบกับข้อมูลวิดีโอที่สนับบริเวณถนนภายในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีในลำดับต่อไป เนื่องจากใช้มิติสี่น้อยกว่า HSVLabSP แต่ให้ประสิทธิภาพการคัดแยกภาพคนเดินถนนสูงใกล้เคียงกัน อีกทั้งมิติสี่ย่อย V และ L ต่างก็เป็นมิติสี่ย่อยที่แสดงถึงค่าความสว่างของสี จึงเลือกใช้มิติสี่ย่อย L เป็นตัวแทนเพียงมิติสี่เดียวและมีประสิทธิภาพมากกว่า HabSP

เพื่อทดสอบประสิทธิภาพการคัดแยกภาพคนเดินถนนจากจำนวนภาพที่ใช้ฝึกสอนเครื่องเวกเตอร์เกี่ยวหน้าต่างกัน ในงานวิจัยนี้จึงได้สร้างชุดข้อมูลการฝึกสอนทั้งหมด 3 ชุด ได้แก่ ชุดภาพ

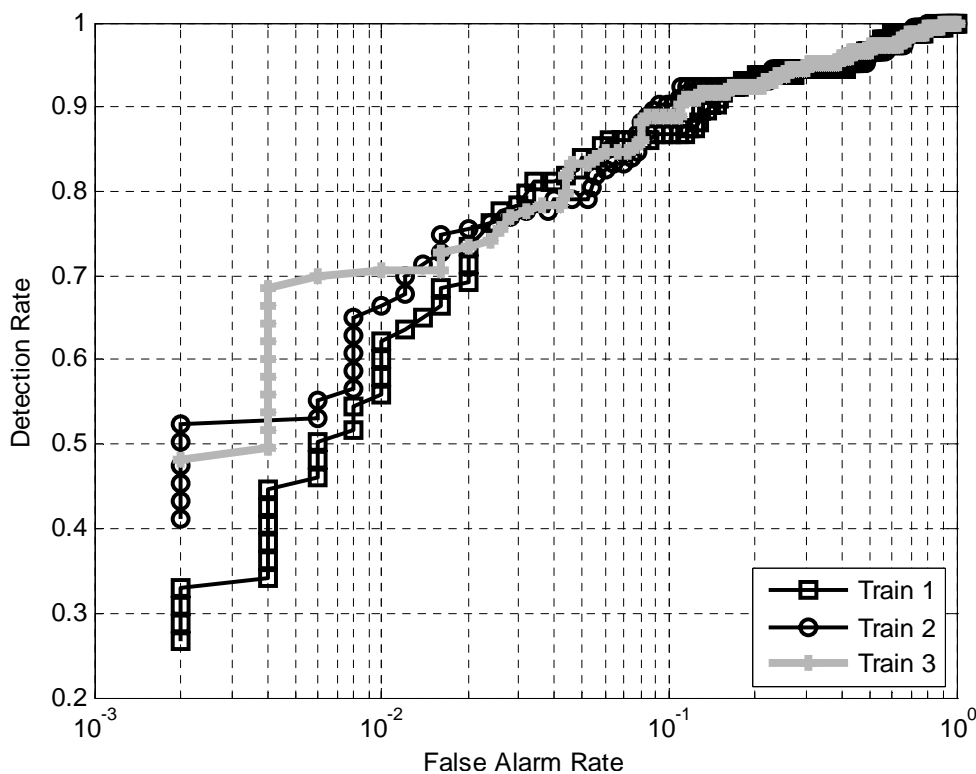
คนเดินถนนที่ 1 (Train 1) ชุดภาพคนเดินถนนที่ 2 (Train 2) และชุดภาพคนเดินถนนที่ 3 (Train 3) จากการดึงลักษณะเด่นด้วยเฟสสมมาตรมิติสีร่วม HSVLabSP ที่มีจำนวนภาพที่ไม่มีคนเดินถนนแตกต่างกันซึ่งใช้ทดสอบกับภาพคนเดินถนนและภาพที่ไม่มีคนเดินถนนที่ใช้ทดสอบจำนวน 144 และ 500 ภาพ ตามลำดับ สามารถแสดงผลด้วยตารางการจร ดังแสดงในตารางที่ 5.8 กราฟ ROC ดังแสดงในรูปที่ 5.16 และกราฟ ROC ที่มีแกนอนแบบลอการิทึม ดังแสดงในรูปที่ 5.17

ตารางที่ 5.8 เปรียบเทียบจำนวนภาพที่ใช้ฝึกสอนเครื่องเวกเตอร์เกือหนุ่นแตกต่างกัน

ชุดการฝึกสอนที่	จำนวนภาพที่ใช้ในการฝึกสอน (ภาพ)		ผลการคัดแยก							
	คนเดินถนน	ไม่มีคนเดินถนน	ACC	TPR	FPR	AUC	TP (ภาพ)	FP (ภาพ)	TN (ภาพ)	FN (ภาพ)
1	857	1000	0.8942	0.8671	0.0980	0.9459	124	49	451	19
2	857	2000	0.9082	0.8182	0.0660	0.9397	117	33	467	26
3	857	3000	0.9253	0.7413	0.0220	0.9495	106	11	489	37



รูปที่ 5.16 กราฟ ROC แสดงผลการคัดแยกภาพคนเดินถนนจากการใช้จำนวนภาพในการฝึกสอนเครื่องเวกเตอร์เกือหนุ่นแตกต่างกัน



รูปที่ 5.17 กราฟ ROC แสดงผลการคัดแยกภาพคนเดินถนนจากการใช้จำนวนภาพในการฝึกสอน เครื่องเวกเตอร์เกือหนุ่นแตกต่างกัน โดยมีแกนนอนแบบลอการิทึม

เมื่อพิจารณาผลการทดสอบจากตารางที่ 5.8 รูปที่ 5.16 และรูปที่ 5.17 พบว่าการใช้จำนวนภาพในการฝึกสอนเครื่องเวกเตอร์เกือหนุ่นที่แตกต่างกันมีประสิทธิภาพโดยรวมสูงใกล้เคียงกัน แต่เมื่อพิจารณาค่าความแม่นยำ (ACC) พบว่าการเพิ่มจำนวนภาพที่ไม่มีคนเดินถนนมากขึ้นทำให้ประสิทธิภาพความแม่นยำสูงขึ้น ดังค่าความแม่นยำของชุดภาพคนเดินถนนที่ 3 (Train 3) มีค่ามากกว่าค่าความแม่นยำของชุดภาพคนเดินถนนที่ 2 (Train 2) และ 1 (Train 1) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.9253, 0.9082 และ 0.8942 ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากการเพิ่มจำนวนภาพที่ไม่มีคนเดินถนนในการฝึกสอนมากขึ้นทำให้เครื่องเวกเตอร์เกือหนุ่นสามารถรู้จำภาพที่ไม่มีคนเดินถนนเพิ่มขึ้น ทำให้เมื่อคัดแยกภาพคนเดินถนนส่งผลให้ค่าอัตราการตรวจจับผิดพลาด FPR ลดลง ในงานวิจัยนี้เลือกใช้จำนวนชุดภาพคนเดินถนนที่ 3 (Train 3) จากการดึงลักษณะเด่นด้วยเฟสสมมาตรมิติสี่ร่วม HSLabSP ฝึกสอนเครื่องเวกเตอร์เกือหนุ่นในโครงแบบเฟสสมมาตรสี่เพื่อทดสอบการตรวจจับภาพคนเดินถนนกับข้อมูลวีดิทัศน์จากภาพบริเวณถนนภายในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีในลำดับต่อไป

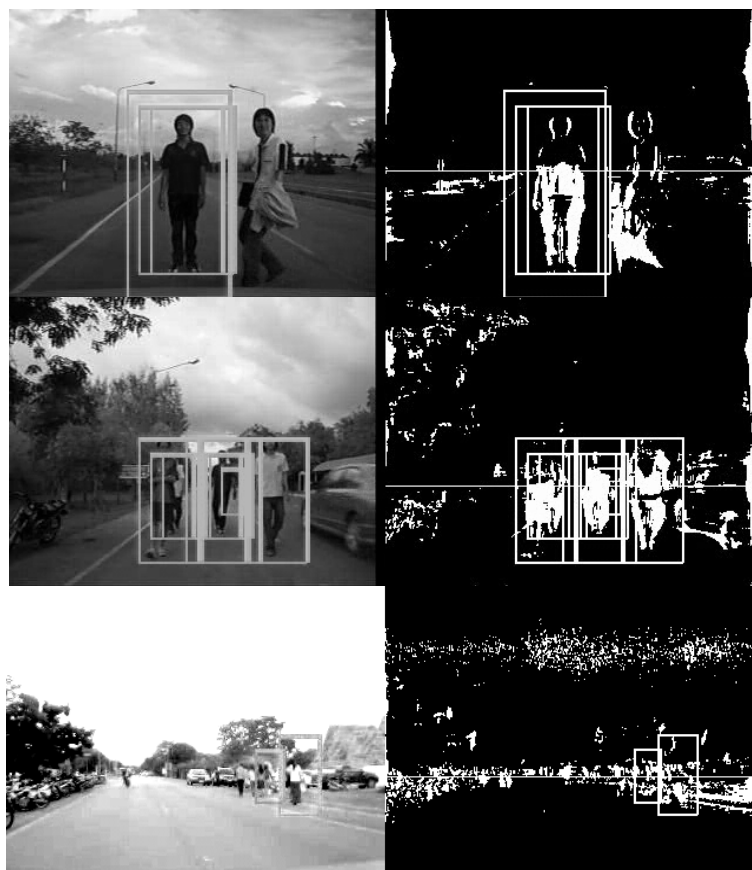
5.4 ผลการทดสอบจากข้อมูลวิดีโอทัศนภาพบริเวณถนนจริง

การทดสอบข้อมูลวิดีโอทัศนภาพบริเวณถนนเส้นหลักภายในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ในเวลากลางวัน ซึ่งเป็นข้อมูลภาพเคลื่อนไหวที่มีความเร็วในการรับภาพ 30 เฟรมต่อวินาที จากการติดตั้งกล้องดิจิทัลบริเวณตรงกลางกระจกหน้าภายในรถยนต์ที่ระยะสูงจากพื้นดินประมาณ 1 เมตร นำมาสกัดภาพนิ่งได้ภาพขนาด 640×480 จุดภาพ และตัดเป็นชุดภาพย่อยตามสัดส่วนคนเดินถนน ให้แต่ละภาพย่อยมีขนาด 64×32 จุดภาพ เพื่อทดสอบระบบการตรวจจับภาพคนเดินถนนในโครงแบบเฟสอสมเมตริสซึ่งเลือกใช้เฟสอสมเมตริส (ASCP) และในโครงแบบเฟสอสมเมตริสซึ่งเลือกใช้เฟสอสมเมตริสรวม HSLabSP ที่ได้พัฒนาขึ้นจากงานวิจัยนี้

5.4.1 ผลการตรวจจับภาพคนเดินถนนด้วยเฟสอสมเมตริส



รูปที่ 5.18 ตัวอย่างผลการตรวจจับภาพคนเดินถนนด้วยเฟสอสมเมตริส
(ซ้าย) ภาพบริเวณถนน (ขวา) ภาพเฟสอสมเมตริส



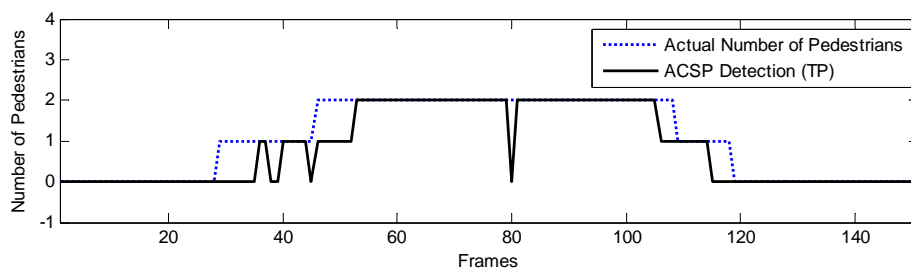
รูปที่ 5.18 ตัวอย่างผลการตรวจจับภาพคนเดินถนนด้วยเฟสอสมมาตรลี
(ซ้าย) ภาพบริเวณถนน (ขวา) ภาพเฟสอสมมาตรลี (ต่อ)

ผลการตรวจจับภาพคนเดินถนนจากข้อมูลวิดีโอในระบบเฟสอสมมาตรลี สามารถแสดงผลประสิทธิภาพเป็นลำดับเฟรมต่อเนื่องในระยะเวลาหนึ่ง ที่มีการเปรียบเทียบกราฟซึ่งมีแกนตั้งเป็นจำนวนภาพคนเดินถนนที่เกิดขึ้นจริงในภาพตามบริเวณถนนต่าง ๆ และแกนนอนแสดงผลการทดสอบการตรวจจับภาพคนเดินถนนด้วยเฟสอสมมาตรลี (ACSP) แบ่งเป็นชุดภาพวิดีโอที่บันทึกตามบริเวณถนนต่าง ๆ ในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี มีรายละเอียดดังนี้

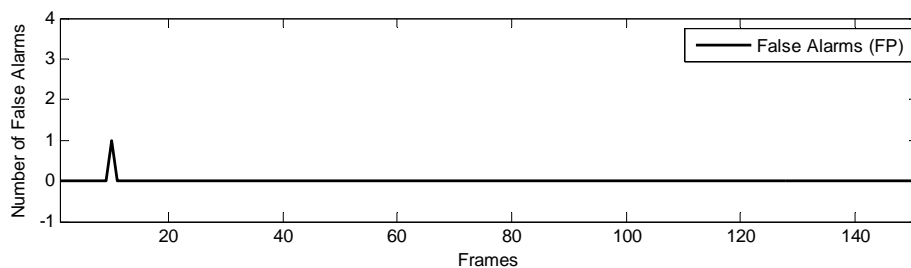
- ชุดภาพวิดีโอที่ 1 บันทึกภาพบริเวณถนนหน้าอาคารสุรพัฒน์ 1 จำนวน 150 เฟรม
- ชุดภาพวิดีโอที่ 2 บันทึกภาพบริเวณถนนหน้าโรงอาหารกลาง จำนวน 78 เฟรม
- ชุดภาพวิดีโอที่ 3 บันทึกภาพบริเวณถนนหน้าอาคารสุรสัมมนาการ จำนวน 72 เฟรม
- ชุดภาพวิดีโอที่ 4 บันทึกภาพบริเวณถนนหน้าอาคารส่วนกิจการนักศึกษาจำนวน 150 เฟรม
- ชุดภาพวิดีโอที่ 5 บันทึกภาพบริเวณถนนหน้าโรงอาหารกลาง จำนวน 134 เฟรม



(ก)



(ข)



(ค)

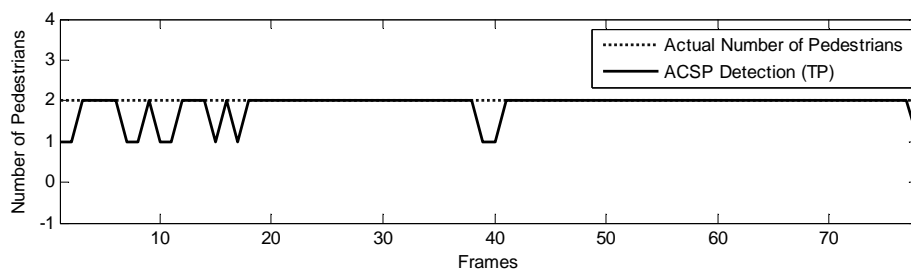
รูปที่ 5.19 ผลการตรวจจับภาพวีดิทัศน์ชุดที่ 1 (ก) ตัวอย่างผลการตรวจจับภาพคนเดินถนน

(ข) กราฟประสิทธิภาพการตรวจจับภาพคนเดินถนนถูกต้อง (TP)

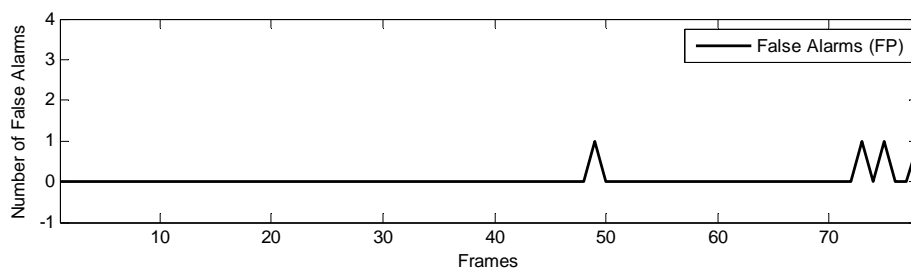
(ค) กราฟประสิทธิภาพการตรวจจับภาพคนเดินถนนผิดพลาด (FP)



(ก)



(ข)

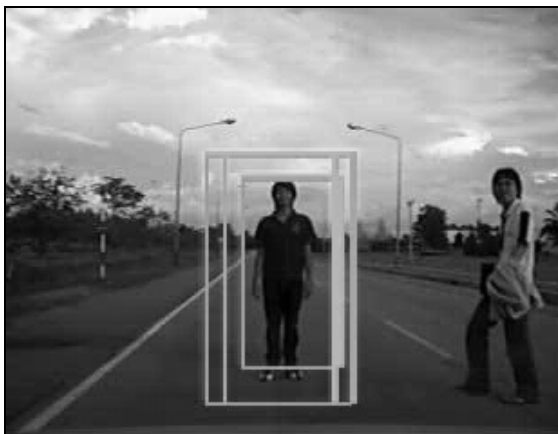


(ค)

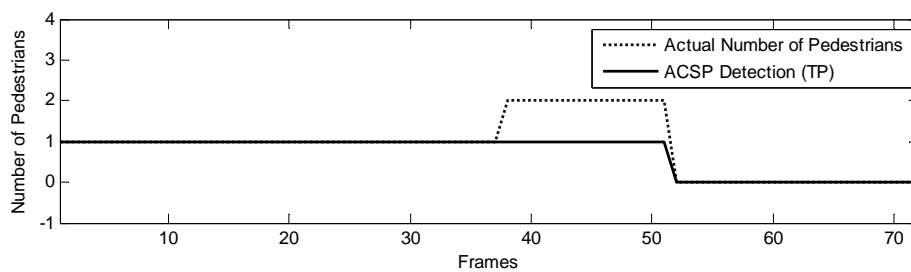
รูปที่ 5.20 ผลการตรวจจับภาพวีดิทัศน์ชุดที่ 2 (ก) ตัวอย่างผลการตรวจจับภาพคนเดินถนน

(ข) กราฟประสิทธิภาพการตรวจจับภาพคนเดินถนนถูกต้อง (TP)

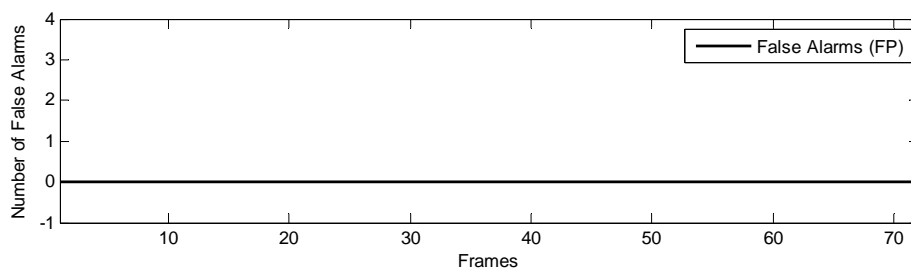
(ค) กราฟประสิทธิภาพการตรวจจับภาพคนเดินถนนผิดพลาด (FP)



(ก)



(ข)

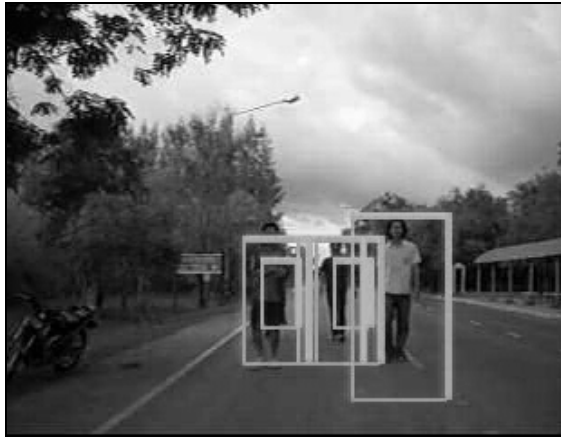


(ค)

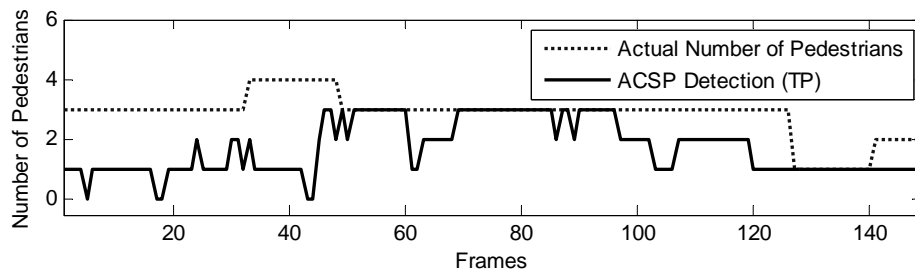
รูปที่ 5.21 ผลการตรวจจับภาพวีดิทัศน์ชุดที่ 3 (ก) ตัวอย่างผลการตรวจจับภาพคนเดินถนน

(ข) กราฟประสิทธิภาพการตรวจจับภาพคนเดินถนนถูกต้อง (TP)

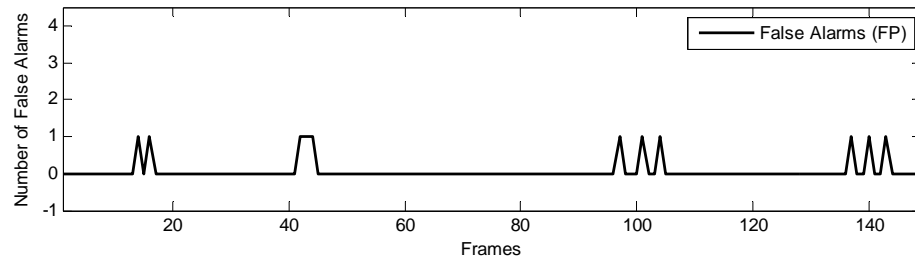
(ค) กราฟประสิทธิภาพการตรวจจับภาพคนเดินถนนผิดพลาด (FP)



(ก)



(ข)



(ค)

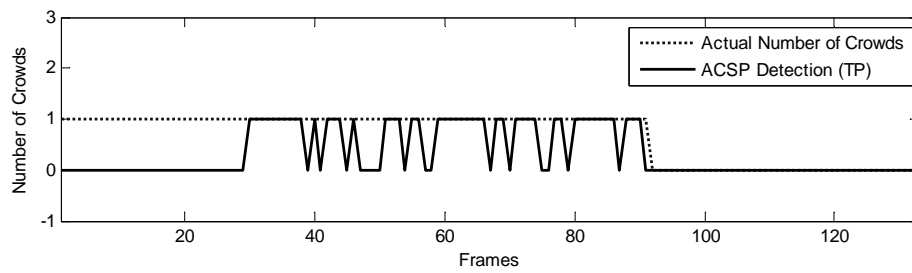
รูปที่ 5.22 ผลการตรวจจับภาพวีดิทัศน์ชุดที่ 4 (ก) ตัวอย่างผลการตรวจจับภาพคนเดินถนน

(ข) กราฟประสิทธิภาพการตรวจจับภาพคนเดินถนนถูกต้อง (TP)

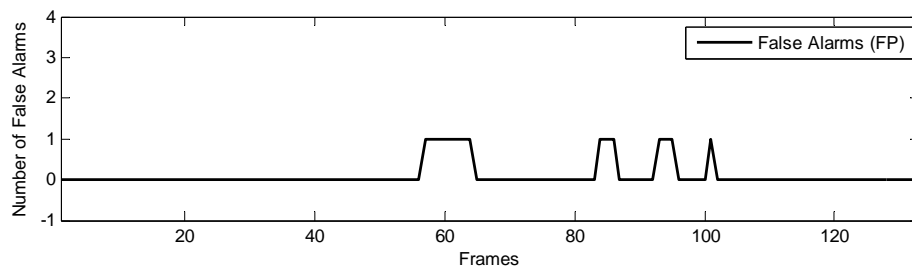
(ค) กราฟประสิทธิภาพการตรวจจับภาพคนเดินถนนผิดพลาด (FP)



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 5.23 ผลการตรวจจับภาพวิดีโอที่ศูนย์ชุดที่ 5 (ก) ตัวอย่างผลการตรวจจับภาพคนเดินถนน

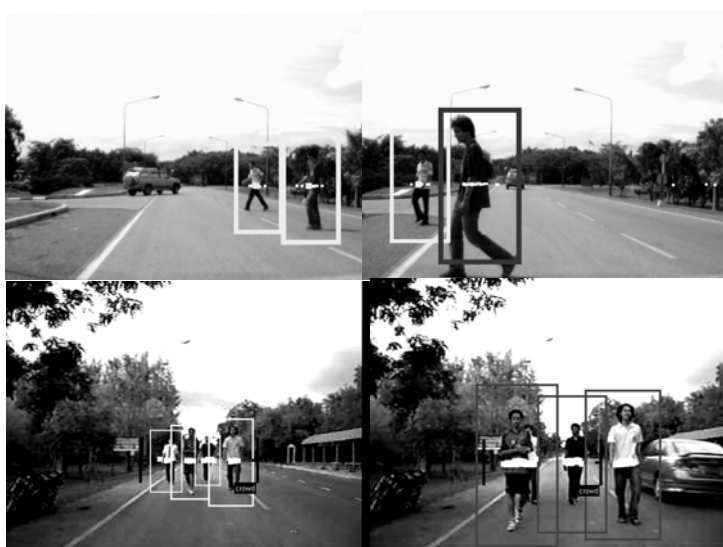
(ข) กราฟประสิทธิภาพการตรวจจับภาพคนเดินถนนถูกต้อง (TP)

(ค) กราฟประสิทธิภาพการตรวจจับภาพคนเดินถนนผิดพลาด (FP)

ผลการทดสอบพบว่า ระบบการตรวจจับภาพคนเดินถนนจากข้อมูลวิดีโอที่ศูนย์ภาพบริเวณถนนจริง ด้วยการดึงลักษณะเด่นด้วยเฟสอสมมาตรดี มีประสิทธิภาพในการตรวจจับถูกต้องสูง โดยเฉพาะภาพคนเดินถนนที่มีชุดแต่งกายแตกต่างจากพื้นหลังชัดเจน สังเกตได้จากกราฟประสิทธิภาพ

การตรวจจับภาพคนเดินถนนถูกต้อง (TP) จากเฟสอสมมาตรสี (ACSP Detection) มีลักษณะคู่ตามกราฟของจำนวนคนเดินถนนหรือกลุ่มคนเดินถนนจริง (actual number of crowds or pedestrians) ดังแสดงในรูปที่ 5.19 (ข) ถึง 5.20 (ข) และมีประสิทธิภาพการตรวจจับภาพคนเดินถนนผิดพลาดน้อย ซึ่งเป็นชุดภาพวิดีโอที่มีภาพพื้นหลังไม่ซับซ้อนมากนัก สำหรับชุดภาพวิดีโอที่มีคนเดินถนนจำนวนมากกว่า 1 คน คนเดินถนนที่มีสีของชุดแต่งกายแตกต่างจากสีของพื้นหลังมากที่สุดให้ผลตอบแทนเฟสอสมมาตรสีชัดเจนมากที่สุด และเช่นเดียวกันสำหรับคนเดินถนนที่มีสีของชุดแต่งกายแตกต่างจากสีของพื้นหลังน้อยที่สุดจะมีผลตอบแทนเฟสอสมมาตรสีชัดเจนน้อยที่สุด เนื่องจากโครงสร้างเฟสอสมมาตรสีนี้ใช้การคำนวณเฟสอสมมาตรสีกับภาพบริเวณถนนทั้งหมด จึงทำให้บางครั้งการตรวจจับภาพคนเดินถนนไม่สามารถตรวจจับภาพคนเดินได้ถูกต้องทั้งหมด ซึ่งได้แก่ ชุดภาพวิดีโอที่ 3 4 และ 5 พบว่าระบบมีประสิทธิภาพการตรวจจับภาพคนเดินถนนได้ถูกต้องแต่ไม่ครบตามจำนวนคนเดินถนนทั้งหมด สังเกตได้จากกราฟประสิทธิภาพการตรวจจับภาพคนเดินถนนถูกต้อง (TP) จากเฟสอสมมาตรสีมีลักษณะไม่คู่ตามกราฟของจำนวนคนเดินถนนหรือกลุ่มคนเดินถนนจริงทั้งหมด ดังแสดงในรูปที่ 5.21 (ข) ถึง 5.23 (ข) แต่อย่างไรก็ตามระบบนี้มีประสิทธิภาพการตรวจจับภาพคนเดินถนนผิดพลาดน้อย สังเกตได้จากกราฟประสิทธิภาพการตรวจจับภาพคนเดินถนนผิดพลาด (false alarms หรือ FP) ดังแสดงในรูปที่ 5.19 (ค) ถึง 5.23 (ค)

5.4.2 ผลการตรวจจับภาพคนเดินถนนด้วยเฟสอสมมาตรมิติสีร่วม HSLabSP



รูปที่ 5.24 ตัวอย่างผลการตรวจจับภาพคนเดินถนนด้วยเฟสอสมมาตรมิติสีร่วม HSLabSP



รูปที่ 5.24 ตัวอย่างผลการตรวจจับภาพคนเดินถนนด้วยเฟสสมมาตรมิติสี่ร่วม HSLabSP (ต่อ)

ผลการตรวจจับภาพคนเดินถนนในระบบเฟสสมมาตรสี่จากข้อมูลวีดิทัศน์ สามารถแสดงผลประสิทธิภาพเป็นลำดับเฟรมต่อเนื่องในระยะเวลาหนึ่ง ที่มีการเปรียบเทียบกราฟ ซึ่งมีแกนตั้งเป็นจำนวนภาพคนเดินถนนที่เกิดขึ้นจริงในภาพตามบริเวณถนนต่าง ๆ และแกนอนแสดงผลการทดสอบการตรวจจับภาพคนเดินถนนด้วยเฟสสมมาตรมิติสี่ร่วม HSLabSP แบ่งเป็นชุดภาพวีดิทัศน์ตามบริเวณถนนต่าง ๆ มีรายละเอียดดังนี้

ชุดภาพวีดิทัศน์ที่ 1 บันทึกภาพบริเวณถนนหน้าอาคารสุรพัฒน์ 1 จำนวน 150 เฟรม

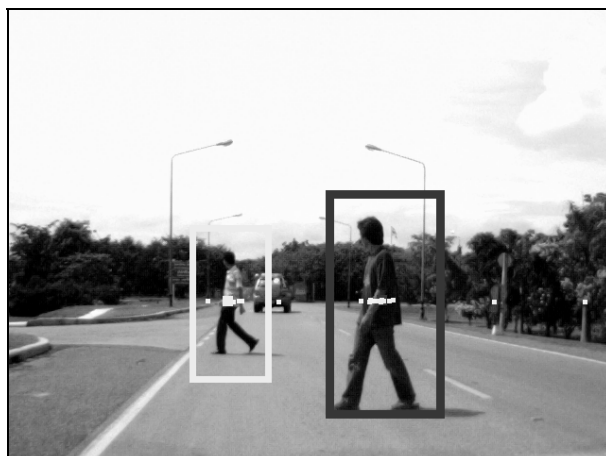
ชุดภาพวีดิทัศน์ที่ 2 บันทึกภาพบริเวณถนนหน้าอาคารส่วนกิจการนักศึกษา

จำนวน 301 เฟรม

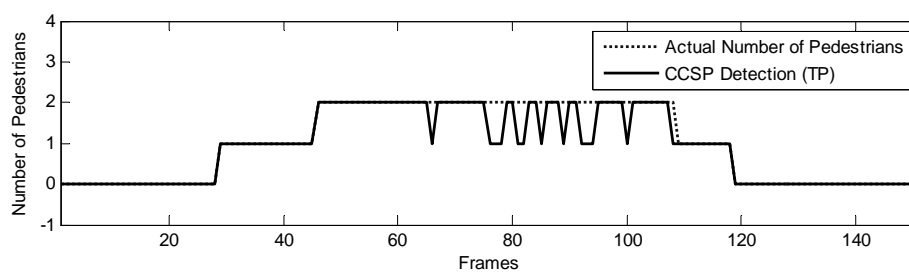
ชุดภาพวีดิทัศน์ที่ 3 บันทึกภาพบริเวณถนนหน้าโรงอาหารกลาง จำนวน 209 เฟรม

ชุดภาพวีดิทัศน์ที่ 4 บันทึกภาพบริเวณถนนหน้าโรงอาหารกลาง จำนวน 100 เฟรม

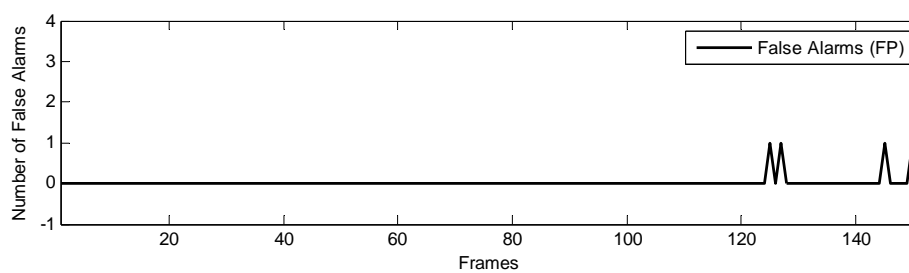
ชุดภาพวีดิทัศน์ที่ 5 บันทึกภาพบริเวณถนนหน้าโรงอาหารกลาง จำนวน 100 เฟรม



(ก)



(ข)

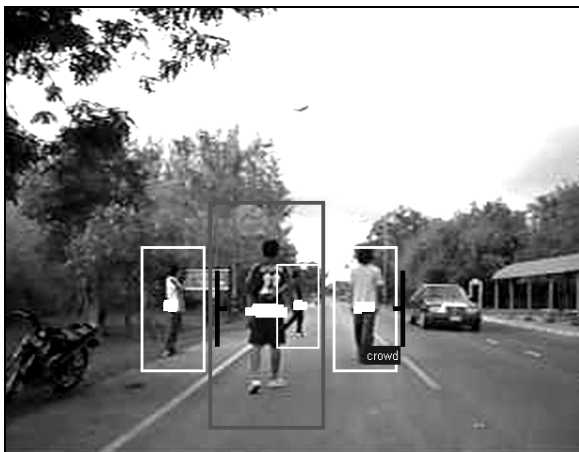


(ค)

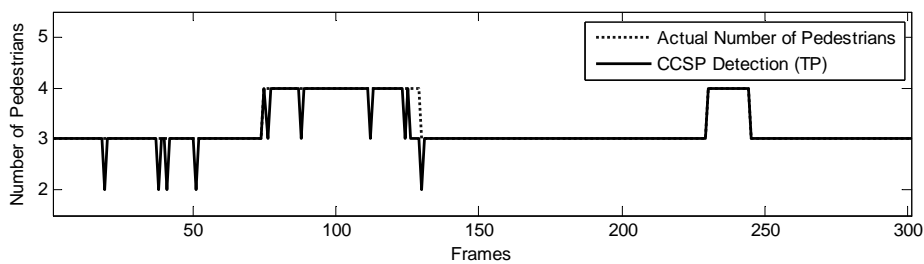
รูปที่ 5.25 ผลการตรวจจับภาพวิดีโอที่ศูนย์ชุดที่ 1 (ก) ตัวอย่างผลการตรวจจับภาพคนเดินถนน

(ข) กราฟประสิทธิภาพการตรวจจับภาพคนเดินถนนถูกต้อง (TP)

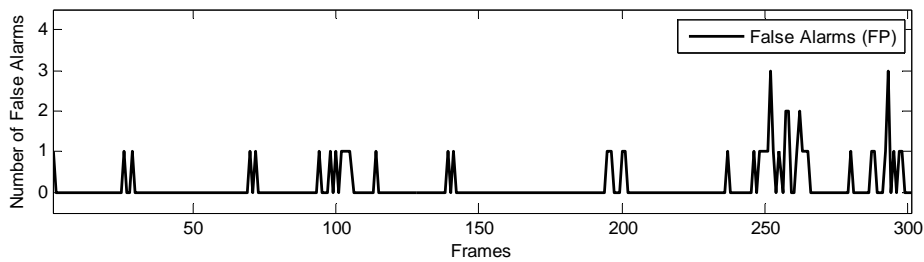
(ค) กราฟประสิทธิภาพการตรวจจับภาพคนเดินถนนผิดพลาด (FP)



(ก)



(ข)



(ค)

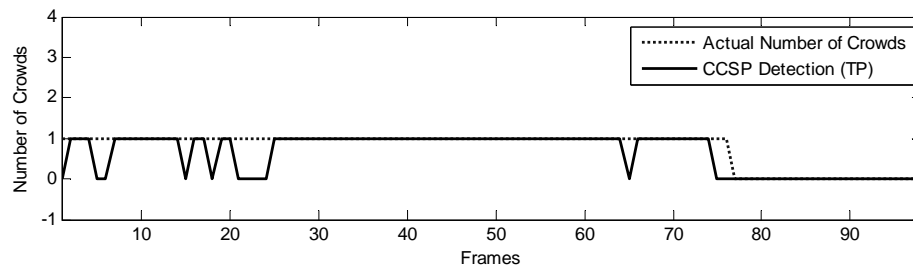
รูปที่ 5.26 ผลการตรวจจับภาพวีดิทัศน์ชุดที่ 2 (ก) ตัวอย่างผลการตรวจจับภาพคนเดินถนน

(ข) กราฟประสิทธิภาพการตรวจจับภาพคนเดินถนนถูกต้อง (TP)

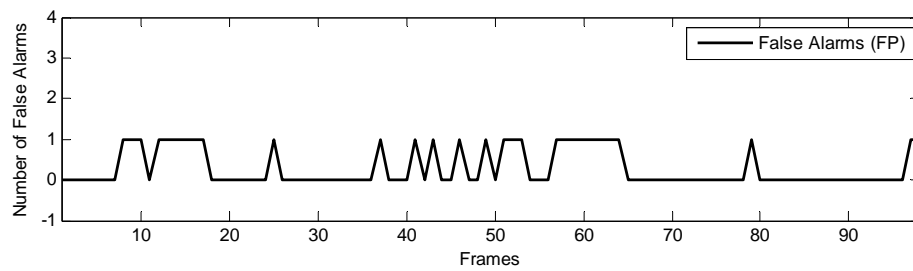
(ค) กราฟประสิทธิภาพการตรวจจับภาพคนเดินถนนผิดพลาด (FP)



(ก)



(ข)

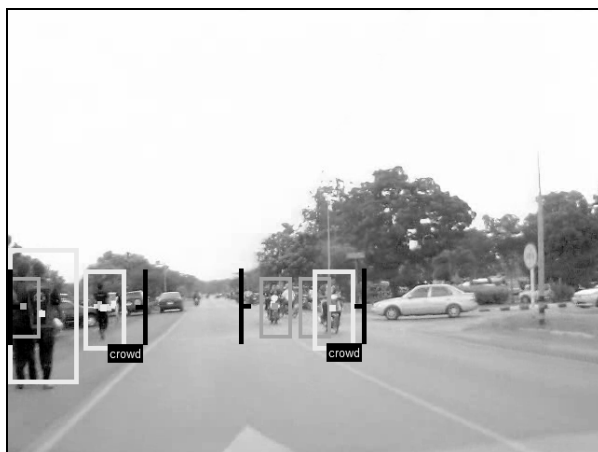


(ค)

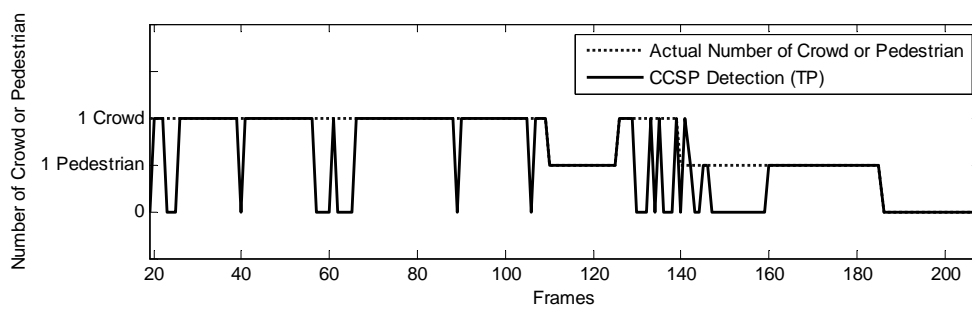
รูปที่ 5.27 ผลการตรวจจับภาพวีดิทัศน์ชุดที่ 3 (ก) ตัวอย่างผลการตรวจจับภาพคนเดินถนน

(ข) กราฟประสิทธิภาพการตรวจจับภาพคนเดินถนนถูกต้อง (TP)

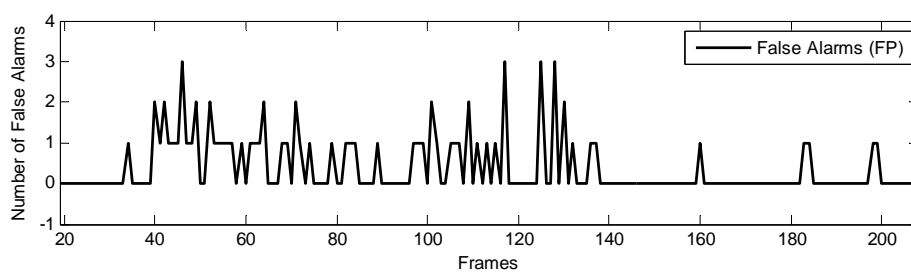
(ค) กราฟประสิทธิภาพการตรวจจับภาพคนเดินถนนผิดพลาด (FP)



(ก)



(ข)

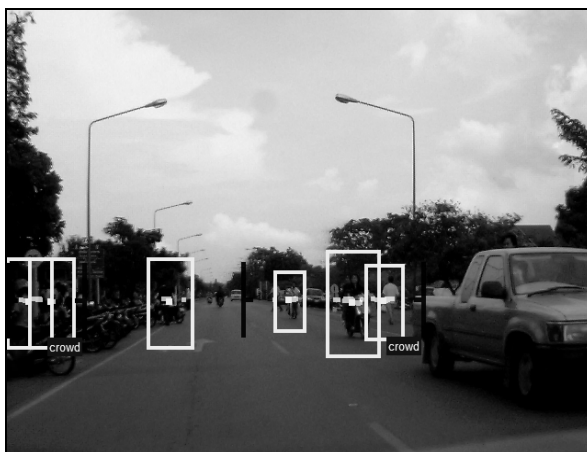


(ค)

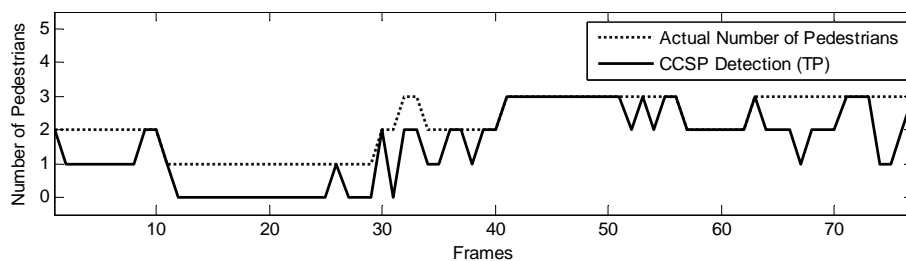
รูปที่ 5.28 ผลการตรวจจับภาพวิดีโอที่ 4 (ก) ตัวอย่างผลการตรวจจับภาพคนเดินถนน

(ข) กราฟประสิทธิภาพการตรวจจับภาพคนเดินถนนถูกต้อง (TP)

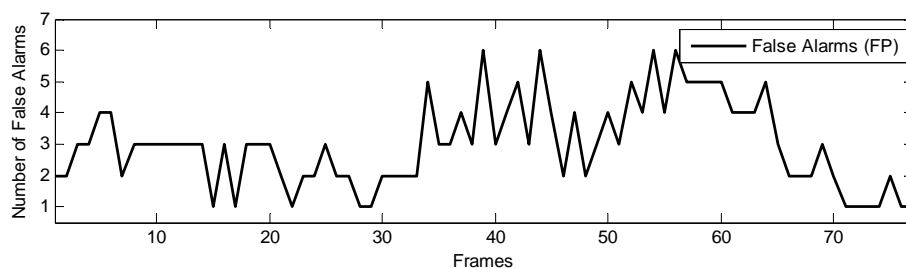
(ค) กราฟประสิทธิภาพการตรวจจับภาพคนเดินถนนผิดพลาด (FP)



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 5.29 ผลการตรวจจับภาพวีดิทัศน์ชุดที่ 5 (ก) ตัวอย่างผลการตรวจจับภาพคนเดินถนน

(ข) กราฟประสิทธิภาพการตรวจจับภาพคนเดินถนนถูกต้อง (TP)

(ค) กราฟประสิทธิภาพการตรวจจับภาพคนเดินถนนผิดพลาด (FP)

ผลการทดสอบพบว่า ระบบการตรวจจับภาพคนเดินถนนจากข้อมูลวีดิทัศน์ภาพบริเวณถนนจริงด้วยการดึงลักษณะเด่นด้วยเฟสสมมาตรมิติสี่ร่วม HSLabSP มีประสิทธิภาพในการตรวจจับถูกต้องสูง สังเกตได้จากกราฟประสิทธิภาพการตรวจจับภาพคนเดินถนนถูกต้อง (TP)

จากเฟสสมมาตรมิติสี่ร่วม HSLabSP (CCSP Detection) มีลักษณะคู่ตามกราฟของจำนวนคนเดินถนนหรือกลุ่มคนเดินถนนจริง (actual number of crowds or pedestrians) ดังแสดงในรูปที่ 5.25 (ข) ถึง 5.29 (ข) และมีประสิทธิภาพการตรวจจับภาพคนเดินถนนผิดพลาดน้อย ในชุดภาพวิดีโอที่พื้นหลังไม่ซับซ้อนมากนัก ได้แก่ ชุดภาพวิดีโอที่ 1 และ 2 สำหรับชุดภาพวิดีโอที่พื้นหลังซับซ้อนมาก ได้แก่ ชุดภาพวิดีโอที่มีภาพวัตถุอื่นนอกจากภาพคนเดินถนนมากมาย เช่น ภาพรถยนต์ ภาพรถจักรยานยนต์ ภาพคนขี่จักรยานยนต์ และภาพป้ายจราจร เป็นต้น เนื่องจากเป็นบริเวณถนนที่มีการจราจรหนาแน่น ได้แก่ ชุดภาพวิดีโอที่ 3, 4 และ 5 พบว่าระบบมีประสิทธิภาพการตรวจจับภาพคนเดินถนนผิดพลาดมาก สังเกตได้จากกราฟประสิทธิภาพการตรวจจับภาพคนเดินถนนผิดพลาด (false alarms หรือ FP) ดังแสดงในรูปที่ 5.25 (ค) ถึง 5.29 (ค) แต่ทั้งนี้ภาพคนเดินถนนที่ตรวจจับผิดพลาดส่วนใหญ่เป็นภาพคนขี่จักรยานยนต์ ซึ่งถือเป็นความผิดพลาดในเชิงบวกเนื่องจากการนำไปใช้ในระบบจริง ถือเป็นความช่วยเหลือคนผู้ขับขี่รถยนต์ให้ระวังคนขี่จักรยานยนต์นอกจากคนเดินถนนอีกด้วย ได้แก่ ชุดภาพวิดีโอที่ 3 และ 4 มีผลการตรวจจับผิดพลาดที่เป็นภาพคนขี่รถจักรยานยนต์สูงถึง 96.55% และ 72.24% ของการตรวจจับผิดพลาดทั้งหมดตามลำดับ นอกจากนี้ภาพที่ตรวจจับผิดพลาดนอกจากภาพคนขี่จักรยานยนต์แล้ว ยังมีภาพที่เกิดจากวัตถุอื่นที่ให้ผลตอบสนองเฟสสมมาตรมิติสี่ร่วมคล้ายกับภาพคนเดินถนน ได้แก่ ภาพช่องว่างระหว่างคนเดินถนนที่ระยะใกล้กัน ภาพต้นไม้ และภาพเสาต่าง ๆ เป็นต้น

5.5 วิเคราะห์และอภิปรายผลการทดสอบระบบ

การพิจารณาประสิทธิภาพการคัดแยกภาพคนเดินถนนในงานวิจัย ได้แก่ การพิจารณาค่า ACC TPR FPR และ AUC พร้อมทั้งการพิจารณาลักษณะรูปร่างความโค้งของกราฟ ROC พบว่าควรพิจารณาในภาพรวม โดยพิจารณาค่าทั้งหมดและความสอดคล้องในแต่ละค่าเพราะการพิจารณาที่ค่าใดค่าหนึ่งทำให้ทราบประสิทธิภาพเพียงด้านเดียวไม่ครอบคลุมประสิทธิภาพทั้งหมดของระบบ จากการทดสอบข้อมูลภาพจากฐานข้อมูล MITP พบว่า การดึงลักษณะเด่นด้วยเฟสสมมาตรมิติสี่มีประสิทธิภาพสูงสุดใน โครงแบบเฟสสมมาตรสี่ ส่วนการดึงลักษณะเด่นด้วยเฟสสมมาตรมิติสี่ร่วม 4CSP HSVLabSP HSLabSP และ HabSP เป็นกลุ่มเฟสสมมาตรมิติสี่ร่วมที่มีประสิทธิภาพสูงสุดใน โครงแบบเฟสสมมาตรสี่ สำหรับการเปรียบเทียบประสิทธิภาพระบบตรวจจับภาพคนเดินถนนกับงานวิจัยในต่างประเทศที่ได้มีการพัฒนาอยู่ในปัจจุบัน ซึ่งได้รวบรวมไว้ในงานวิจัยของ Gavrilu and Munder (2007) ซึ่งแต่ละงานวิจัยใช้ตัวรับรู้ต่างกัน ได้แก่ กล้องถ่ายภาพเดี่ยว (mono visible camera) กล้องถ่ายภาพอินฟราเรดระยะไกล (far infrared camera หรือ FIR camera) และกล้องถ่ายภาพคู่สเตอริโอ (stereo visible camera) ความเร็วในการประมวลผลของคอมพิวเตอร์ที่ใช้คำนวณต่างกัน สภาพลักษณะพื้นที่ของถนนที่ใช้ทดสอบต่างกัน ภาพคนเดินถนน

ที่ใช้ฝึกสอนและทดสอบระบบที่แตกต่างกัน ดังนั้นจึงไม่สามารถเปรียบเทียบกันได้โดยตรง พิจารณาได้เฉพาะภาพรวมของระบบ ในงานวิจัยนี้ได้เสนอผลประสิทธิภาพรวมของระบบเฟสสมมาตรมิติสี่ร่วม HabSP ที่ได้พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้ เนื่องจากมีประสิทธิภาพในการตรวจจับภาพคนเดินถนนมีค่าความแม่นยำ (ACC) สูงสุดที่ 0.9631 เมื่อใช้ทดสอบกับภาพจากฐานข้อมูล MITP ซึ่งเป็นภาพคนเดินถนนจากฐานข้อมูลเดียวกันกับที่ใช้ในงานวิจัยของ Mohan et al. (2001) และ Papageorgiou and Poggio (2000) ดังแสดงในตารางที่ 5.9 โดยถ้าพิจารณาเฉพาะประสิทธิภาพการตรวจจับภาพคนเดินถนนได้ถูกต้อง พบว่ามีค่า TPR ประมาณ 95% ซึ่งเป็นค่าที่สูงเป็นอันดับสองรองจากงานวิจัย Shashua et al. (2004) ซึ่งมีค่า TPR ประมาณ 96% ในขณะที่กล้องมีการเคลื่อนที่ขณะประมวลผล (inward moving) จากผลการทดสอบชี้ให้เห็นว่าวิธีการเฟสสมมาตรมิติสี่ร่วม HabSP นี้มีประสิทธิภาพในการตรวจจับภาพคนเดินถนนสูงและน่าเชื่อถือ

จากการทดสอบการคัดแยกภาพคนเดินถนนข้อมูลภาพจากฐานข้อมูลภายในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี พบว่าการดึงลักษณะเด่นด้วยเฟสสมมาตรมิติสี่ร่วม HSLabSP มีประสิทธิภาพสูงและเหมาะสมในการนำไปฝึกสอนเครื่องเวกเตอร์เกือหนุ่นเพื่อนำไปใช้ในโครงแบบเฟสสมมาตรสี่สำหรับตรวจจับภาพคนเดินถนนจากข้อมูลวีดิทัศน์จากภาพบริเวณถนนจริงภายในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี และพบว่าการฝึกสอนเครื่องเวกเตอร์เกือหนุ่นด้วยจำนวนภาพคนเดินถนนเพิ่มขึ้นทำให้เครื่องเวกเตอร์เกือหนุ่นสามารถคัดแยกภาพคนเดินถนนได้ถูกต้องแม่นยำยิ่งขึ้น

จากผลการทดสอบข้อมูลภาพจากฐานข้อมูลทั้งสองพบว่า การใช้จำนวนมิติสี่ย่อยร่วมกันในการประมวลผลในโครงแบบเฟสสมมาตรสี่มากขึ้น จะทำให้สามารถดึงลักษณะเด่นภาพคนเดินถนนได้ชัดเจนยิ่งขึ้น ส่งผลให้เครื่องเวกเตอร์เกือหนุ่นสามารถคัดแยกภาพคนเดินถนนได้มีประสิทธิภาพมากขึ้น แต่ทั้งนี้มิติสี่ย่อยที่เลือกใช้ในการประมวลผลต้องมีความแตกต่างกันทางด้านสีสัน และการใช้จำนวนมิติสี่ย่อยเพิ่มขึ้นก็จะใช้เวลาในการประมวลผลเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน ดังนั้นการพิจารณานำเฟสสมมาตรมิติสี่ร่วมไปใช้ในระบบจริงควรคำนึงถึงประสิทธิภาพควบคู่กับเวลาที่ใช้ในการคำนวณด้วย

จากการทดสอบจากข้อมูลวีดิทัศน์จากภาพบริเวณถนนจริงภายในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี พบว่าการดึงลักษณะเด่นด้วยเฟสสมมาตรมิติสี่ร่วม HSLabSP ในโครงแบบเฟสสมมาตรสี่มีประสิทธิภาพในการตรวจจับภาพคนเดินถนนถูกต้องสูงกว่าการดึงลักษณะเด่นด้วยเฟสสมมาตรสี่ในโครงแบบเฟสสมมาตรสี่ แต่ก็ใช้เวลาในการประมวลผลมากกว่าด้วยเช่นกัน เนื่องจากเฟสสมมาตรมิติสี่ย่อยร่วมต้องใช้มิติสี่ย่อยจำนวนหลายมิติสี่ร่วมกันในการประมวลผล แต่อย่างไรก็ตามประสิทธิภาพการตรวจจับภาพคนเดินถนนด้วยเฟสสมมาตรมิติสี่ย่อยร่วม HSLabSP มีประสิทธิภาพในการตรวจจับภาพคนเดินถนนสูง น่าเชื่อถือ และเพียงพอสำหรับนำไปพัฒนาใช้งานตามเวลาจริง

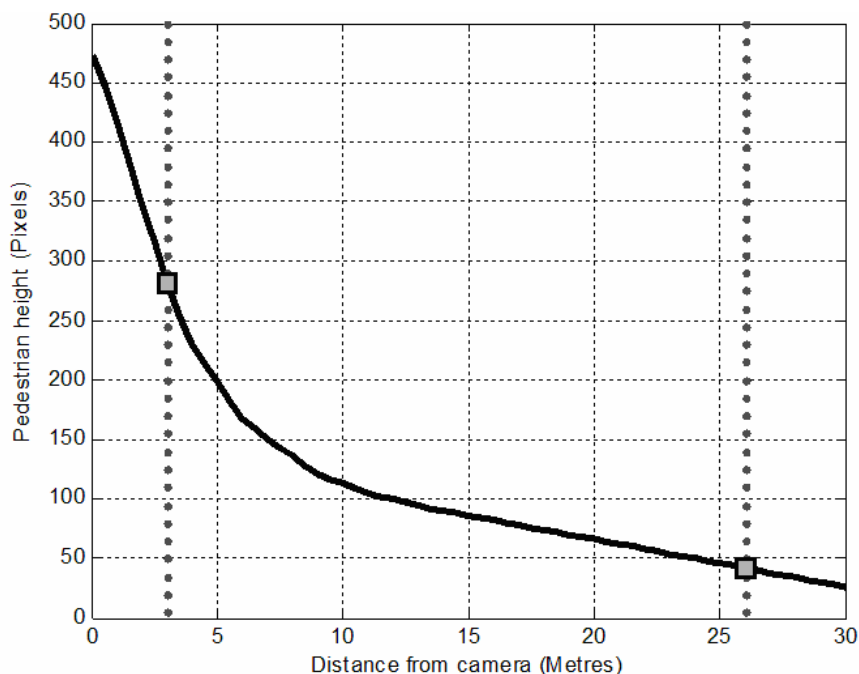
ตารางที่ 5.9 เปรียบเทียบประสิทธิภาพระบบตรวจจับภาพคนเดินถนนกับงานวิจัยในต่างประเทศ

ผู้ทำวิจัย	ชนิดของกล้อง	กรอบกลุ่มพื้นที่	ประสิทธิภาพการตรวจจับ	ระบบติดตามวัตถุเป้าหมาย	เวลาในการคำนวณ	ชุดภาพทดสอบ
Shashua et al. (2004)	mono, visible	3–25 m	96% TPR, 5.6×10^{-6} FPR (inward moving) 93% TPR, 8.3×10^{-5} FPR (stationary in-path) 85% TPR, 2.9×10^{-3} FPR (stationary out-path)	มี	10 Hz	1–5 hrs urban drive
HabSP (2007)	mono, visible	–	95% TPR, 0.025 FPR 96% accuracy	ไม่มี	0.3s (2.66 GHz PC)	528 ped. images 528 non-ped images
Mohan et al. (2001)	mono, visible	–	85% TPR, 0.03 FPR	ไม่มี	–	123 ped. images 50 non-ped all images
Viola et al. (2003)	mono, visible	–	80% TPR, 0.5 FPR	ไม่มี	4 Hz (2.8 GHz PC)	2 sequences of 2000 images (stat.camera)
Papageorgiou and Poggio (2000)	mono, visible	–	70% TPR, 0.15 FPR. (full set color wavelets) 70% TPR, 3 FPR. (red. grey wavelet set)	ไม่มี	20 min (200 MHz PC) 10 Hz	123 ped. images, 50 non-ped. all images
Elzein, Lakshmanan, and Watta. (2003)	mono, visible	–	69% TPR, 61% precision	ไม่มี	95s (500 MHz PC)	16 ped. images + few sequences
Fang, Yamada, Ninomiya, Horn, and Masaki (2003)	mono, FIR	–	84% TPR, 19% FPR (summer) 92% TPR, 3% FPR (winter)	ไม่มี	–	289 ped. images
Zhao and Thorpe (2000)	stereo, visible	–	85% TPR, 3% FPR (per stereo ROI)	ไม่มี	3–12 Hz (450 MHz PC)	–
Bertozzi, Broggi, Grisleri, Tibaldi, and Rose. (2004)	stereo, visible	–	83% TPR, 0.46 FPR	ไม่มี	–	1500 images, 1897 ped. instances
Grubb, Zelinsky, Nilsson, and Ribbe (2004)	stereo, visible	–	84% TPR, 0.004 FPR	มี	23 Hz (2.4 GHz PC)	2500 images, 14 different peds.
Gavrila and Munder (2007)	stereo, visible	10–25 m in front up to 4 m lateral	61–81% TPR, $[0.7–23] \times 10^{-3}$ FPR (speed unoptimized) 59–75% TPR, $[1.0–27] \times 10^{-3}$ FPR (speed optimized)	78–100% cor., 0.3–3.5 FPR/min 78–100% cor., 0.4–5.1 FPR/min	3–7 Hz 7–15 Hz (2.4 GHz PC)	sequence of 17390 images, 694 ped. instances 17067 non-ped. images

หมายเหตุ : HabSP เป็นวิธีการที่พัฒนาขึ้นจากงานวิจัยนี้

เนื่องจากสามารถตรวจจับภาพคนเดินถนนที่มีรูปร่าง ขนาด ท่าทาง สีของชุดแต่งกาย และภาพเบื้องหลังที่แตกต่างกันได้ รวมถึงสามารถตรวจจับภาพคนเดินถนนจากภาพบริเวณถนนที่สภาวะแสงแตกต่างกันได้ ระบุขนาดและตำแหน่งของภาพคนเดินถนนหรือภาพกลุ่มคนเดินถนนได้อย่างถูกต้องแม่นยำ โดยเฉพาะภาพคนเดินถนนที่มีสีชุดแต่งกายแตกต่างจากสีของพื้นหลังชัดเจนและมีภาพพื้นหลังไม่ซับซ้อนมากนักทำให้ระบบตรวจจับได้ถูกต้องแม่นยำยิ่งขึ้น สำหรับภาพคนเดินถนนที่ระบบตรวจจับไม่ได้ อาจเกิดจากภาพคนเดินถนนมีขนาดเล็กเกินไป ผลกระทบจากแสงสะท้อนของกระจกทำให้ภาพพร่ามัวเนื่องจากติดตั้งกล้องภายในรถยนต์ ภาพคนเดินถนนมีกลุ่มสีไม่ชัดเจนและมีสีใกล้เคียงกับสีของภาพพื้นหลัง เป็นต้น

ข้อมูลภาพที่ได้จากการตรวจจับภาพคนเดินถนนสามารถบอกถึงระยะห่างระหว่างกล้องดิจิทัลถึงคนเดินถนนในโลกจริงจากการประมาณค่าจากเส้นกราฟในรูปที่ 5.30 ซึ่งได้มาจากการเก็บข้อมูลทางสถิติระหว่างจำนวนจุดภาพความสูงของภาพคนเดินถนน (pedestrian height) กับระยะห่างของคนเดินถนนและกล้องดิจิทัล (distance from camera) ซึ่งมีหน่วยเป็นเมตร ข้อมูลที่ได้เป็นข้อมูลที่สำคัญสำหรับระบบเสริมช่วยขับที่รถยนต์ ระบบเตือนภัยขณะขับจี๋ หรือระบบรถยนต์ขับเคลื่อนอัตโนมัติ ซึ่งสามารถบอกระยะห่างระหว่างรถยนต์และคนเดินถนน เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการประมวลผลในลำดับต่อไป ระบบการตรวจจับภาพคนเดินถนนในงานวิจัยนี้สามารถตรวจจับภาพคนเดินถนน



รูปที่ 5.30 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนจุดภาพความสูงของภาพคนเดินถนนกับระยะห่างของคนเดินถนนและกล้องดิจิทัลซึ่งมีหน่วยเป็นเมตร

ได้ที่ระยะประมาณ 3 ถึง 26 เมตร หรือที่ความสูงของภาพคนเดินถนนที่ประมาณ 40 ถึง 280 จุดภาพ เมื่อประมวลกับภาพขนาด 640×480 จุดภาพ ดังแสดงช่วงของจุดประแนวตั้งทั้งสองเส้นภายใน รูปที่ 5.30 ซึ่งในงานวิจัยได้ใช้ตัวรับรู้กล้องดิจิทัล SAMSUNG รุ่น Digimax S600 เป็นตัวรับรู้เพื่อรับ ข้อมูลภาพเคลื่อนไหวขนาด 640×480 จุดภาพ ที่ความเร็วในการรับภาพ 30 เฟรมต่อวินาที ชนิดภาพ AVI ที่ระยะโฟกัสอัตโนมัติระหว่าง 80 เซนติเมตร ถึงระยะอนันต์ ติดตั้งกล้องภายในรถยนต์บริเวณ ตรงกลางกระจกหน้าให้ขนานกับพื้นดินและสูงจากพื้นดิน 110 เซนติเมตร รวมถึงกำหนดให้ความสูง ของคนทั่วไปมีค่าเฉลี่ยที่ 180 เซนติเมตร

5.6 สรุป

จากผลการทดสอบระบบการตรวจจับคนเดินถนนด้วยการดึงลักษณะเด่นแบบต่าง ๆ ทั้งทางเส้นและทางสี พบว่าการดึงลักษณะเด่นทางสีด้วยเฟสสมมาตรมิติสีร่วม HSLabSP จากโครงสร้าง เฟสสมมาตรสีสามารถดึงลักษณะเด่นของภาพคนเดินถนนได้อย่างมีประสิทธิภาพเหมาะสมแก่การ นำไปพัฒนาเป็นระบบใช้งานจริง และมีประสิทธิภาพมากกว่าการดึงลักษณะเด่นทางเส้นแบบต่าง ๆ ในโครงสร้างเฟสสมมาตรสี ซึ่งเป็นผลมาจากการกรองข้อมูลที่มีประสิทธิภาพด้วยตัวกรองกบอร์ แบบลอการิทึม ระบบที่ได้นำเสนอนี้เป็นระบบที่มีประสิทธิภาพในการตรวจจับภาพคนเดินถนนที่มี ชุดแต่งกาย ขนาด รูปร่าง และท่าทางแตกต่างกันได้ แต่ยังมีข้อจำกัดในการตรวจจับภาพคนเดินถนน ที่เห็นเพียงบางส่วนของร่างกายและวัตถุอื่นในภาพที่มีลักษณะรูปร่างและสีคล้ายคลึงกับภาพคนเดินถนน นอกจากนี้แล้วระบบสามารถที่นำไปใช้งานได้อย่างหลากหลายถ้ามีข้อมูลที่ใช้ในการฝึกสอน ที่หลากหลาย และมีจำนวนเพียงพอที่ชี้แทนกลุ่มข้อมูลได้ทุกกลุ่ม

บทที่ 6

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุป

งานวิจัยวิทยานิพนธ์นี้ได้ดำเนินการศึกษาและพัฒนาโครงสร้างระบบการตรวจจับภาพคนเดินถนนเพื่อให้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในระบบเสริมช่วยขับขี่รถยนต์ ระบบสังเกตการณ์และเตือนภัยในการขับขี่ รวมถึงระบบรถยนต์ขับเคลื่อนอัตโนมัติ ซึ่งระบบที่ได้พัฒนาขึ้นประกอบด้วย การติดตั้งกล้องเด่นและการคัดแยกภาพคนเดินถนน การดำเนินงานวิจัยวิทยานิพนธ์ดังกล่าวสำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์ โดยสามารถสรุปผลการศึกษาวิจัยและพัฒนาทางวิศวกรรมเป็นข้อสรุปได้ดังต่อไปนี้

การปรับทัศนวิสัยและการงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ได้รับการรายงานไว้ในบทที่ 2 ซึ่งพบว่า ได้มีการนำตัวรับรู้ประเภทต่างๆ มาใช้ในการตรวจจับภาพคนเดินถนน ได้แก่ กล้องดิจิทัล กล้องสเตอริโอ กล้องอินฟราเรด เรดาร์ ตัวรับรู้อัลตราโซนิก และตัวรับรู้กราดวิเคราะห์เลเซอร์ เป็นต้น และแบ่งแนวความคิดหลักในการตรวจจับภาพคนเดินถนนได้สองทาง คือ แนวความคิดหลักการเคลื่อนที่และแนวความคิดหลักด้านรูปร่าง รวมถึงแบ่งขั้นตอนหลักในการตรวจจับภาพคนเดินถนน คือ การตัดแยกหรือการติดตั้งกล้องเด่นภาพคนเดินถนนและการคัดแยกภาพคนเดินถนน งานวิจัยนี้ดำเนินการพัฒนาวิธีการตรวจจับภาพคนเดินถนน โดยใช้กล้องถ่ายภาพดิจิทัลเพียง 1 ตัวตามแนวความคิดหลักด้านรูปร่าง

ในบทที่ 3 แสดงรายละเอียดของการติดตั้งกล้องเด่นภาพคนเดินถนน ซึ่งแบ่งออกเป็น การติดตั้งกล้องเด่นทางเส้นและสีของภาพคนเดินถนน โดยใช้ตัวกรองกบอร์แบบลอการิทึมเป็นพื้นฐานที่สำคัญในการคำนวณเฟสอสมมาตรและเฟสสมมาตร ในการติดตั้งกล้องเด่นทางเส้น ใช้การหาเส้นขอบแนวตั้งและเฟสอสมมาตรเพื่อแสดงและเปรียบเทียบผลการตอบสนองทางเส้นจากภาพคนเดินถนน ในการติดตั้งกล้องเด่นทางสีใช้เฟสสมมาตรจุดสว่างและเฟสสมมาตรจุดมืดเพื่อแสดงและเปรียบเทียบผลการตอบสนองทางสีจากภาพคนเดินถนน และได้ทดสอบชุดตัวแปรต่างๆ ที่เหมาะสมกับชุดตัวกรอง ทำให้ได้ภาพเฟสอสมมาตรและเฟสสมมาตรของภาพคนเดินถนนที่มีความชัดเจนยิ่งขึ้น

ในบทที่ 4 แสดงรายละเอียดของโครงสร้างระบบการตรวจจับภาพคนเดินถนน ซึ่งเป็นระบบรวมที่นำการติดตั้งกล้องเด่นด้วยวิธีการต่างๆ จากบทที่ 3 มาใช้ร่วมกับการคัดแยกภาพคนเดินถนน

ด้วยเครื่องเวกเตอร์เกือบหนึ่ง เพื่อใช้ในการตรวจจับภาพคนเดินถนนในงานวิจัยนี้ใช้โครงแบบเฟสอสมมาตรสี่และโครงแบบเฟสสมมาตรสี่ เพื่อแสดงและเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการตรวจจับภาพคนเดินถนนจากการดึงลักษณะเด่นทางเส้นและสีของภาพคนเดินถนนที่แตกต่างกันทั้งกับภาพจากฐานข้อมูลและภาพจากบริเวณถนนจริง

ในบทที่ 5 แสดงรายละเอียดของการวิเคราะห์ผลการทดสอบระบบการดึงลักษณะเด่นแบบต่าง ๆ จากโครงแบบระบบการตรวจจับภาพคนเดินถนนทั้ง 2 ระบบ คือ ระบบเฟสอสมมาตรสี่และระบบเฟสสมมาตรสี่ ซึ่งใช้ทดสอบกับกลุ่มข้อมูลภาพจากฐานข้อมูล MITP ฐานข้อมูลภาพคนเดินถนนในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี และข้อมูลภาพวิดีโอจากบริเวณถนนจริง พบว่าการดึงลักษณะเด่นด้วยเฟสสมมาตรสี่ร่วม HSLabSP ในโครงแบบเฟสสมมาตรสี่มีประสิทธิภาพสูงในการตรวจจับภาพคนเดินถนนและมีความเหมาะสมที่สุดในการนำไปพัฒนาเป็นระบบใช้งานจริงซึ่งสามารถตรวจจับภาพคนเดินถนนที่มีชุดแต่งกาย ขนาด รูปร่าง และท่าทางแตกต่างกันได้ ทั้งนี้เฟสสมมาตรสี่ร่วม HSLabSP ยังมีประสิทธิภาพมากกว่าประสิทธิภาพที่ได้จากการดึงลักษณะเด่นแบบต่าง ๆ ในโครงแบบเฟสอสมมาตรสี่อีกด้วย

6.2 ข้อเสนอแนะ

จากการดำเนินงานวิจัยวิทยานิพนธ์ที่ผ่านมาและผลที่ได้ทำให้เกิดแนวคิดและข้อเสนอแนะในการดำเนินงานวิจัยต่อไปในอนาคต ดังต่อไปนี้

1. การฝึกสอนข้อมูลภาพคนเดินถนนที่เห็นเพียงบางส่วนและภาพคนเดินถนนที่มีขนาดต่างจากขนาดทั่วไปกับระบบ จะทำให้ระบบมีประสิทธิภาพในการตรวจจับภาพคนเดินถนนที่หลากหลายมากขึ้น
2. เพื่อพัฒนาระบบตรวจจับภาพคนเดินถนนให้เป็นระบบอัตโนมัติ ควรเพิ่มวิธีการคำนวณหาตำแหน่งเส้นขอบฟ้าที่ถูกต้องให้แก่ระบบ เพื่อให้ระบบสามารถคำนวณสัดส่วนภาพคนเดินถนนได้อย่างอัตโนมัติและถูกต้องแม่นยำยิ่งขึ้น
3. เพื่อให้ระบบสามารถใช้งานได้หลากหลาย จำเป็นต้องมีข้อมูลที่ใช้ในการฝึกสอนที่หลากหลาย และมีจำนวนเพียงพอที่จะใช้แทนกลุ่มข้อมูลได้ทุกกลุ่ม
4. ประสิทธิภาพของการตรวจจับภาพคนเดินถนนสามารถปรับปรุงได้ โดยเพิ่มวิธีการจัดการกับข้อมูลภาพที่ได้จากการดึงลักษณะเด่นภาพคนเดินถนนก่อนเข้าสู่การคัดแยกภาพคนเดินถนนให้เกิดความแตกต่างระหว่างข้อมูลที่ได้จากการดึงลักษณะเด่นจากภาพคนเดินถนนและภาพที่ไม่มีคนเดินถนนมากขึ้น ทำให้ระบบสามารถคัดแยกภาพคนเดินถนนได้ง่ายขึ้นและมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น

5. เพื่อพัฒนาระบบตรวจจับภาพคนเดินถนนให้สามารถใช้งานตามเวลาจริง ควรนำวิธีการที่ได้นำเสนอในงานวิจัยนี้ซึ่งใช้การประมวลผลค่อนข้างสูงไปเขียนโปรแกรมที่มีการประมวลผลเร็ว เช่น เขียนโปรแกรมด้วยภาษาซี เป็นต้น จนสามารถคำนวณและแสดงผลการตรวจจับคนเดินถนนตามเวลาจริง และสามารถพัฒนาระบบไปใช้งานจริงได้

รายการอ้างอิง

- ชมพู ทรัพย์ปทุมสิน (2548). วิธีการใหม่แบบพันทางในการแยกส่วนมือจากภาพสี. **วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.**: 3-11.
- Abramson, Y., and Steux, B. (2004). Hardware-Friendly Pedestrian Detection and Impac Prediction. **In IEEE Intelligent Vehicle Symposium**, pp. 590-595.
- Bertozzi, M., Broggi, A., Carletti, M., Fascioli, A., Graf, T., Grisleri, P. and Meinecke, M. (2003). IR Pedestrian Detection for Advanced Driver Assistance Systems. **Proc. of 25th Pattern Recognition Symposium.**
- Bertozzi, M., Broggi, A., Grisleri, P., Tibaldi, and Rose, M.D. (2004). A Tool for Vision Based Pedestrian Detection Performance Evaluation. **In Proc. of the IEEE Intelligent Vehicle Symposium**, Parma, Italy, pp. 784–789.
- Beymer, D. and Konolige, K. (1999). Real-time tracking of multiple people using continuous detection. **Proc. Int. Conf. Comp. Vis.**
- Bregler, C. (1997). Learning and recognizing human dynamics in video sequences. **IEEE Conf. Comp. Vis. Patt. Rec.**, San Juan, Puerto Rico, pp. 568-574.
- Broggi, A., Bertozzi, M., Fascioli, A. and Sechi, M. (2000). Shape-based pedestrian detection. **Proc. IEEE Intell. Veh. Symp.**, pp 215-220.
- Cheng, H., Zheng, N. and Qin, J. (2005). Pedestrian detection using spare Gabor filters and support vector machine. **IEEE Trans. Int. Transp. Sys.**, 2(13), pp. 583-587.
- Curio, C., Edelbrunner, J., Kalinke, T., Tzomakas, C. and Von Seelen, W. (2000). Walking pedestrian recognition. **IEEE Trans Int Transp. Sys**, vol. 1(3), pp.155-163.
- Cutler, R. and Davis, L.S. (2000). Robust real-time periodic motion detection, analysis and applications. **IEEE Trans. Patt. An. Mach. Int.**, vol. 22(8), pp. 781-796.
- Elzein, H., Lakshmanan, S., and Watta. P. (2003). A motion and shape-based pedestrian detection algorithm. **In Proc. Of the IEEE Intelligent Vehicle Symposium**, Ohio, USA, pp. 500-504.
- Fang, Y., Yamada, K., Ninomiya, Y., Horn, B., and Masaki, I. (2003). Comparison between infrared-image-based and visible-imagebased approaches for pedestrian detection. **In Proc. of the IEEE Intelligent Vehicle Symposium**, Ohio, USA, pp. 505–510.

- Fawcett, T. (2003). ROC Graphs: Notes and Practical Considerations for Data Mining Researchers, **Tech. rep.**, HP Laboratories.
- Field, D.J. (1987). Relations between the statistics of natural images and the response properties of cortical cells. **Journal of The Optical Society of America A**, 4(12):2379-2394.
- Fuerstenberg, K. and Willhoeft, V. (2001). Pedestrian Recognition in Urban Traffic Using Laser Scanners. **Proc. of ITS 2001, 8th World Congress on Intelligent Transport Systems**, paper 551.
- Fujiyoshi, H. and Lipton, A. (1998). Real-time human motion analysis by image Skeletonisation. **Proc. IEEE WACV'98.**, pp 15-21.
- Gabor D. (1946). Theory of communication. **Journal of the Institute of Electrical Engineer**, vol. 93, pp. 429-549.
- Gavrila, D.M. (2000). Pedestrian Detection from a Moving Vehicle. **Proc. Eur. Conf. Comp. Vis.**, vol.2, pp. 37-49.
- Gavrila, D.M. and Munder S, (2007). Multi-cue Pedestrian Detection and Tracking from a Moving Vehicle. **International Journal of Computer Vision**, 73(1), pp. 41–59.
- Gavrila, D.M. and Philomin, V. (1999). Real-Time Object detection for SMART Vehicles. **Proc. of IEEE Intl. Conference on Computer Vision**, pp. 87-93
- Gavrila, D. M., Giebel, J., and Munder, S. (2004). Vision-based Pedestrian Detection: the PROTECTOR System, **Proc. of the IEEE Intelligent Vehicles Symposium**, Parma, Italy
- Getreuer, P. (2007). Colorspace [On-line]. Available: <http://www.mathworks.com/matlabcentral/files/7744/content/colorspace/doc/colorspace.html>
- Grubb, G., Zelinsky, A., Nilsson, L., and Ribbe, M. (2004). Pedestrian detection for driver assistance systems: Single-frame classification and system level performance. **In Proc. of the IEEE Intelligent Vehicle Symposium**, Parma, Italy, pp. 19–24.
- Hoiem, D., Efros, A. and Hebert, M. (2006). Putting Objects in Perspective, Computer Vision and Pattern Recognition, **IEEE Computer Society Conference**, vol. 2, 2006, pp. 2137-2144.
- Iketani, A., Kuno, Y., Shimada N. and Shirai Y. (1999). Real-time surveillance system detecting persons in complex scenes. **Proc. IAPR Int. Conf. Image An. and Processing**, Venice, Italy, pp. 1112-1115.

- Jabri, S., Duric, Z., Wechsel, H. and Rosenfeld, A. (2000). Detection and localisation of people in video images using adaptive fusion of color and edge information. **Proc. IEEE Int. Conf. Patt. Rec.**, Fairfax, USA, pp. 627-630.
- Kovesi, P. (1996). Invariant Measures of Image Features From Phase Information. **PhD thesis**. The University of Western Australia.
- Kovesi, P. (1997). Symmetry and Asymmetry From Local Phase, **AI'97, Tenth Australian JointConference on Artificial Intelligence. Proceedings - Poster Papers**, pp. 185-190.
- Lombardi, P. and Zavidovique, B. (2004). A Context-Dependent Vision System for Pedestrian Detection. **IEEE Intelligent Vehicle Symposium**, pp. 578-583.
- McKenna, S. and Gong, S. (1997). Non-intrusive person authentication for access control by visual tracking and face recognition. **Int. Conf Audio and Video Authentication**, pp. 177-184.
- MIT CBCL Pedestrian Database #1 (MITP), [On-line], (2000). Available : <http://cbcl.mit.edu/cbcl/software-datasets/PedestrianData.html>
- Mohan, A., Papageorgiou C. and Poggio, T. (2001). Example-based object detection in images by components. **IEEE Trans. Patt. An. Mach. Int.**, vol. 23(4), pp. 349-361.
- Niyogi, S.A. and Adelson, E.H. (1994). Analysing and recognising walking figures in XYT. **IEEE Conf. Comp. Vis. Patt. Rec.**, pp. 469-474.
- Oliver, N., Rosario, B. and Pentland, A. (2000). A bayesian computer vision system for modeling human interaction. **IEEE Trans.Patt. An. Mach. Int.**, vol. 22(8), pp. 831-843.
- Oren, M., Papageorgiou, C., Sinha, P., Osuna, E., Poggio, T. (1997). Pedestrian detection using wavelet templates. **CVPR**, 193-199.
- Pai, C., Tyan, H., Liang, Y., Liao, H. and Chen, S. (2003). Pedestrian Detection and Tracking at Crossroads. **Proc. of IEEE Intl. Conference on Image Processing**: 101-104.
- Papageorgiou, C. and Poggio, T. (2000). A trainable system for object detection. **Int. J. of Computer Vision**, 38(1):15-33.
- Polana, R. and Nelson, R.C. (1997). Detection and recognition of periodic, non-rigid Motion. **Int. J. Comp. Vis.**, vol. 23(3), pp. 261-282.
- Poynton, C. (1997) Frequently Asked Questions about Color [On-line]. Available : <http://www.poynton.com/PDFs/ColorFAQ.pdf>

- Poynton, C. (1998) Frequently Asked Questions about Gamma [On-line]. Available : <http://www.poynton.com/PDFs/GammaFAQ.pdf>
- Qiming, T., Yupin, L., and Dongcheng, H.(2004). Pedestrian Detection in Nighttime Driving. **In Proc. of the Third international Conference on Image and Graphics**
- Ricquebourg, Y. and Bouthemy, P. (2000). Real-time tracking of moving persons by exploiting spatio-temporal image slices. **IEEE Trans. Patt. An. Mach. Int.**, pp. 797-808.
- Rosales, R. and Sclaroff, S. (1998). Improved tracking of multiple humans with trajectory prediction and Occlusion modeling. **IEEE Conf. Comp. Vis. Patt. Rec.**, Santa Barbara, CA.
- Seitner, F.H. and Lovell, B.C. (2005). Pedestrian Tracking Based on Colour and Spatial Information. **In Digital Image Computing: Techniques and Applications**, December 6-8, 1(1).
- Shashua, A., Gdalyahu, Y. and Hayun, G. (2004). Pedestrian Detection for Driving Assistance Systems: Single-frame Classification and System Level Performance. **Proc. of IEEE Intelligent Vehicle Symposium.**
- Suard, F., Rakotomamonjy, A., Bensrhair, A. and Guigue, V. (2005). Pedestrian Detection using Stereo-vision and Graph Kernels. **Proceedings of 2005 IEEE Intelligent Vehicles Symposium**, Las Vegas.
- Sun, Z., Bebis, G. and Miller, R. (2002). Quantized Wavelet Features and Support Vector for On-Road Vehicle Detection, **ICARCV 2002**, Singapore.
- Szarvas, M., Yoshizawa, A., Yamamoto, M. and Ogata, J. (2005). Pedestrian Detection with Convolutional Neural Networks. **Proceedings of 2005 IEEE Intelligent Vehicles Symposium**, Las Vegas.
- Viola, P., Jones, M., and Snow, D. (2003). Detecting Pedestrians Using Patterns of Motion and Appearance. **ICCV 2**, 734–741.
- Wöhler, C., Kressler U. and Anlauf, J.K. (2000). Pedestrian recognition by classification of image sequences. Global Approaches vs local spatio-temporal processing. **Proc. IEEE Int. Conf. Patt. Rec.**, Barcelona, Spain.
- Yasutomi, S. and Mori, H. (1994). A Method for Discriminating of Pedestrian Based on Rhythm. **Proc. of IEEE Intl. Conference on Intelligent Robots and Systems**: 988-995.

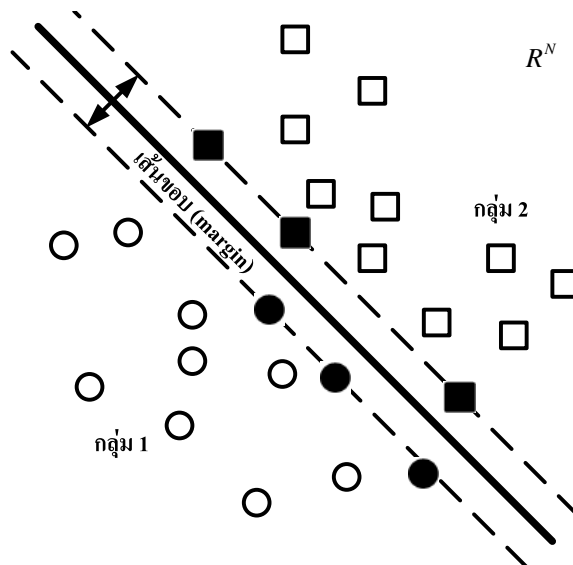
- Zhao, L. and Thorpe, C. (1999). Stereo and neural network based pedestrian detection. **IEEE Trans. Int. Transp. Sys.**, 1(3), pp. 148-154.
- Zhao, L. and Thorpe, C. (2000). Stereo- and neural network-based pedestrian detection. **IEEE Trans. on Intelligent Transportation Systems**, 1(3).
- Zhao, L. (2001). Dressed Human Modeling, Detection and Parts Localization. **Ph.D. Thesis**, The Robotics Institute, Carnegie Mellon University.
- Zhitao, X., Chengming, G., Ming, Y. and Qiang, L. (2002). Research on Log Gabor Wavelet and Its Application in Image Edge Detection, **In: Proc. 6th Int. Conf. on Signal Processing**, Beijing, pp. 592–595.

ภาคผนวก ก

เครื่องเวกเตอร์เกือหนูน

เครื่องเวกเตอร์เกือหนุน

พื้นฐานของเครื่องเวกเตอร์เกือหนุน หรือ SVMs คือการออกแบบให้เป็นเครื่องมือที่สามารถแยกกลุ่มชุดข้อมูลออกเป็น 2 กลุ่ม โดยสามารถใช้งานได้ทั้งระบบที่เป็นเชิงเส้นและไม่เป็นเชิงเส้น เครื่องเวกเตอร์เกือหนุนมีขั้นตอนวิธีในการหาระนาบเกิน (hyper plane) เพื่อใช้แยกจุดข้อมูลที่อยู๋กลุ่มเดียวกันให้อยู่ฝั่งเดียวกันโดยที่ให้มีระยะห่างระหว่างข้อมูลทั้ง 2 กลุ่มกับระนาบเกินมีค่ามากที่สุด ดังรูปที่ ก.1



รูปที่ ก.1 เส้นแบ่งกลุ่มระนาบเกินระหว่างข้อมูลทั้ง 2 กลุ่มแบบเชิงเส้น

สมมติให้มีข้อมูล L ชุดจากทั้งสองกลุ่ม ได้แก่

$$(x_1, y_1)(x_2, y_2) \dots (x_L, y_L) \text{ เมื่อ } x_L \in R^N \quad y \in (-1, +1) \quad (\text{ก.1})$$

และในการหาระนาบเกินใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมที่สุดของสมการดังต่อไปนี้

$$f(x) = \sum_{i=1}^N y_i \alpha_i \zeta(x, x_i) + b \quad (\text{ก.2})$$

- เมื่อ N คือ จำนวนชุดของข้อมูลที่ใช้ฝึกสอน
 (x_i, y_i) คือ ชุดข้อมูลที่ i
 α_i และ b คือ ค่าน้ำหนักการเรียนรู้ที่ได้จากการฝึกสอน
 $\zeta(\cdot)$ คือ ฟังก์ชันแก่นกลาง (kernel function)

ระบบการคัดแยกภาพคนเดินถนนในงานวิจัยนี้ใช้เครื่องเวกเตอร์เกือหนุนเป็นเครื่องมือในการรู้จำและแยกแยะภาพคนเดินถนน โดยใช้การฝึกสอนด้วยภาพคนเดินถนนและภาพบริเวณถนนที่ไม่มีคนเดินถนนจำนวนหนึ่ง โดยแต่ละภาพจะมีขนาดเท่ากัน หลังจากการฝึกสอนจะได้ชุดเวกเตอร์เกือหนุน (support vector) ที่มีจำนวนตามการเลือกใช้ฟังก์ชันแก่นกลางของเครื่องเวกเตอร์เกือหนุนที่แตกต่างกัน ซึ่งได้แก่ ฟังก์ชันแก่นกลางแบบเชิงเส้น (liner kernel) ฟังก์ชันแก่นกลางแบบพหุนาม (polynomial kernel) ฟังก์ชันแก่นกลางฐานหลักกรีสมิ (radial basis function kernel) หรือ RBF kernel และฟังก์ชันแก่นกลาง MLP (MLP kernel) เพื่อความเหมาะสมในการนำไปใช้งานเครื่องเวกเตอร์เกือหนุนในด้านที่ต่างกัน ในงานวิจัยเลือกใช้ฟังก์ชันแก่นกลางฐานหลักกรีสมิ ดังแสดงในสมการที่ (ก.3) เนื่องจากมีประสิทธิภาพในการตรวจจับภาพคนเดินถนนที่เหมาะสมกับภาพในงานวิจัย

$$\zeta(x, y) = \exp(-\|x - y\|^2 / (2\sigma^2)) \quad (\text{ก.3})$$

เมื่อ σ คือ ค่าคงที่กำหนดขนาดความกว้างของฟังก์ชัน

ภาคผนวก ข

ตารางการจรและกราฟ ROC

ตารางการจรและกราฟ ROC

การประเมินประสิทธิภาพของการตรวจจับภาพคนเดินถนนในงานวิจัยนี้ ใช้การคำนวณค่า true positive rate (TPR) false positive rate (FPR) และกราฟ receiver operating characteristics (ROC) ของระบบ โดยอาศัยหลักการพิจารณาตามตารางการจร (contingency table) ดังแสดงในรูปที่ ข.1 เมื่อนำชุดข้อมูลภาพคนเดินถนนและภาพที่ไม่มีภาพคนเดินถนนผ่านการคัดแยกจากระบบ

		สถานะจริง	
		เป็น	ไม่เป็น
คัดแยก	เป็น	True Positives (TP)	False Positive (FP)
	ไม่เป็น	False Negative (FN)	True Negative (TN)
		P	N

รูปที่ ข.1 โครงสร้างตารางการจรที่ถูกนำมาใช้พิจารณาประสิทธิภาพของระบบ

เมื่อ true positive (TP) หรือ detection rate หรือ hit หมายถึง สถานะจริงเป็นภาพคนเดินถนน และคัดแยกได้ว่าเป็นภาพคนเดินถนน ส่วน false positive (FP) หรือ false alarm หมายถึงสถานะจริงไม่เป็นภาพคนเดินถนน แต่คัดแยกได้ว่าเป็นภาพคนเดินถนน true negative (TN) หรือ correct rejection หมายถึง สถานะจริงไม่เป็นภาพคนเดินถนน และคัดแยกได้ว่าไม่เป็นภาพคนเดินถนนและ false negative (FN) หรือ miss หมายถึง สถานะจริงเป็นภาพคนเดินถนน แต่คัดแยกได้ว่าไม่เป็นภาพคนเดินถนน ทั้งนี้ positive และ negative จะบ่งบอกถึงผลการคัดแยก ส่วน true และ false บ่งบอกถึงสถานะจริงของข้อมูลที่ใช้พิจารณา นอกจากนี้ positive (P) หมายถึง จำนวนภาพคนเดินถนนทั้งหมด และ negative (N) หมายถึง จำนวนภาพที่ไม่ใช่คนเดินถนนทั้งหมด จากนั้นนำค่าที่ได้ไปคำนวณ TPR FPR และ accuracy ของระบบ ได้ดังสมการที่ (ข.1)-(ข.3)

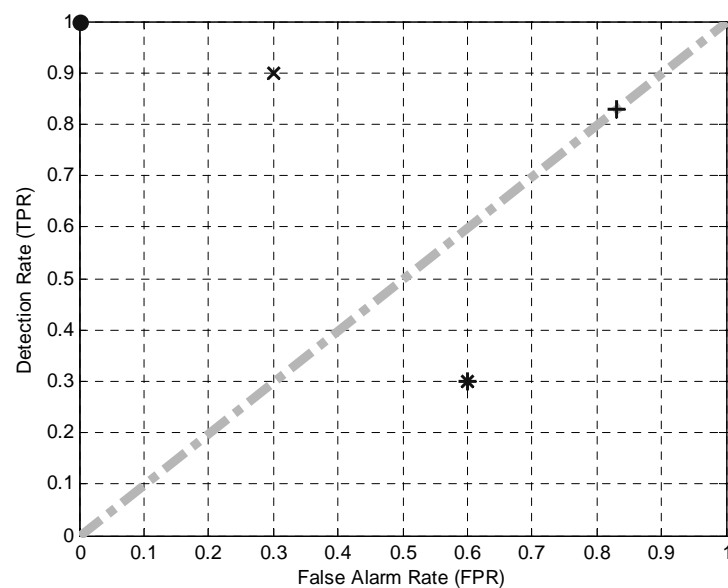
$$\text{false positive rate (FPR)} = \frac{FP}{N} \quad (\text{ข.1})$$

$$\text{true positive rate (TPR)} = \frac{TP}{P} \quad (\text{ข.2})$$

$$\text{accuracy (ACC)} = \frac{TP + TN}{P + N} \quad (\text{ข.3})$$

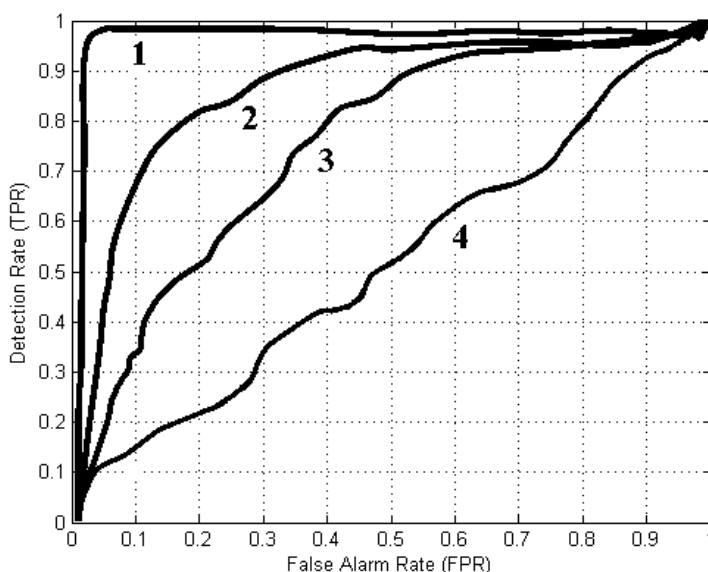
เมื่อ FPR หมายถึง อัตราความผิดพลาดที่ระบบคัดแยกได้ว่าเป็นภาพคนเดินถนนแต่สถานะจริงไม่มีภาพคนเดินถนน ส่วน TPR หรือเรียกอีกอย่างว่า detection rate หมายถึง อัตราการตรวจจับภาพคนเดินถนนที่พบว่าเป็นภาพคนเดินถนนถูกต้องตามจริง และ ACC หมายถึง ค่าความแม่นยำของระบบนอกจากนี้ ยังแสดงประสิทธิภาพของระบบในรูปแบบของกราฟ ROC ซึ่งคำนวณได้จากการปรับเปลี่ยนค่าขีดเริ่มเปลี่ยนของการคัดแยก (classifier thresholds) ที่ได้จากเครื่องเวกเตอร์เกื้อหนุน โดยแกนตั้งของกราฟคือ TPR และแกนนอนของกราฟคือ FPR แต่ละจุด ROC บนกราฟเกิดขึ้นขณะใช้ค่าขีดเริ่มเปลี่ยนที่ค่าใดค่าหนึ่งสามารถบ่งบอกถึงประสิทธิภาพการคัดแยกของระบบได้ ดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ ข.2

- โดยสัญลักษณ์
- แสดงการคัดแยกที่มีประสิทธิภาพสูงสุด
 - × แสดงการคัดแยกที่มีประสิทธิภาพสูง
 - + แสดงการคัดแยกที่มีประสิทธิภาพแบบสุ่ม
 - * แสดงการคัดแยกที่มีประสิทธิภาพต่ำ



รูปที่ ข.2 ตัวอย่างจุดข้อมูลในกราฟ ROC แสดงประสิทธิภาพการคัดแยกกลุ่มข้อมูล

เส้นประที่อยู่ในรูปที่ ข.2 หมายถึงค่าประสิทธิภาพแบบสุ่มของระบบ เนื่องจากมีจุด ROC ที่มีค่า TPR เท่ากับ FPR ตลอด ซึ่งเป็นการตัดแยกที่ไม่น่าเชื่อถือดังนั้นระบบการตัดแยกที่ดีควรมีจุด ROC ที่อยู่เหนือเส้นประ เมื่อปรับเปลี่ยนค่าขีดเริ่มเปลี่ยนของการตัดแยกจะทำให้ได้ชุดข้อมูล ROC สามารถนำมาสร้างกราฟได้ ซึ่งกราฟ ROC ที่ได้จะสามารถแสดงประสิทธิภาพของระบบได้ชัดเจนและถูกต้องมากกว่าการใช้จุด ROC ประสิทธิภาพการตัดแยกของระบบสามารถสังเกตได้จากลักษณะการโค้งงอหรือเว้าของกราฟและพื้นที่ใต้กราฟ (area under curve) หรือ AUC ซึ่งมีค่าสูงสุดเท่ากับ 1 ดังแสดงตัวอย่างเส้นกราฟที่แสดงประสิทธิภาพการตัดแยกของระบบในรูปที่ ข.3 เส้นกราฟที่ 1 มีลักษณะโค้งงอและมีพื้นที่ใต้กราฟมากบ่งบอกว่าระบบมีประสิทธิภาพในการตัดแยกสูงเส้นกราฟที่ 2 แสดงประสิทธิภาพการตัดแยกกลุ่มข้อมูลของระบบค่อนข้างดีและมีลักษณะกราฟค่อนข้างโค้งงอ เส้นกราฟที่ 3 แสดงประสิทธิภาพการตัดแยกกลุ่มข้อมูลของระบบปานกลางและมีลักษณะกราฟค่อนข้างโค้งงอบางส่วน และเส้นกราฟที่ 4 แสดงประสิทธิภาพการตัดแยกกลุ่มข้อมูลของระบบเป็นแบบสุ่ม มีความน่าเชื่อถือต่ำ



รูปที่ ข.3 ตัวอย่างประสิทธิภาพกราฟ ROC จากการตัดแยกกลุ่มข้อมูลของระบบแบบต่าง ๆ

ภาคผนวก ค

ภาพคนเดินถนนที่ใช้ฝึกสอนเครื่องเวกเตอร์เกือหนุน



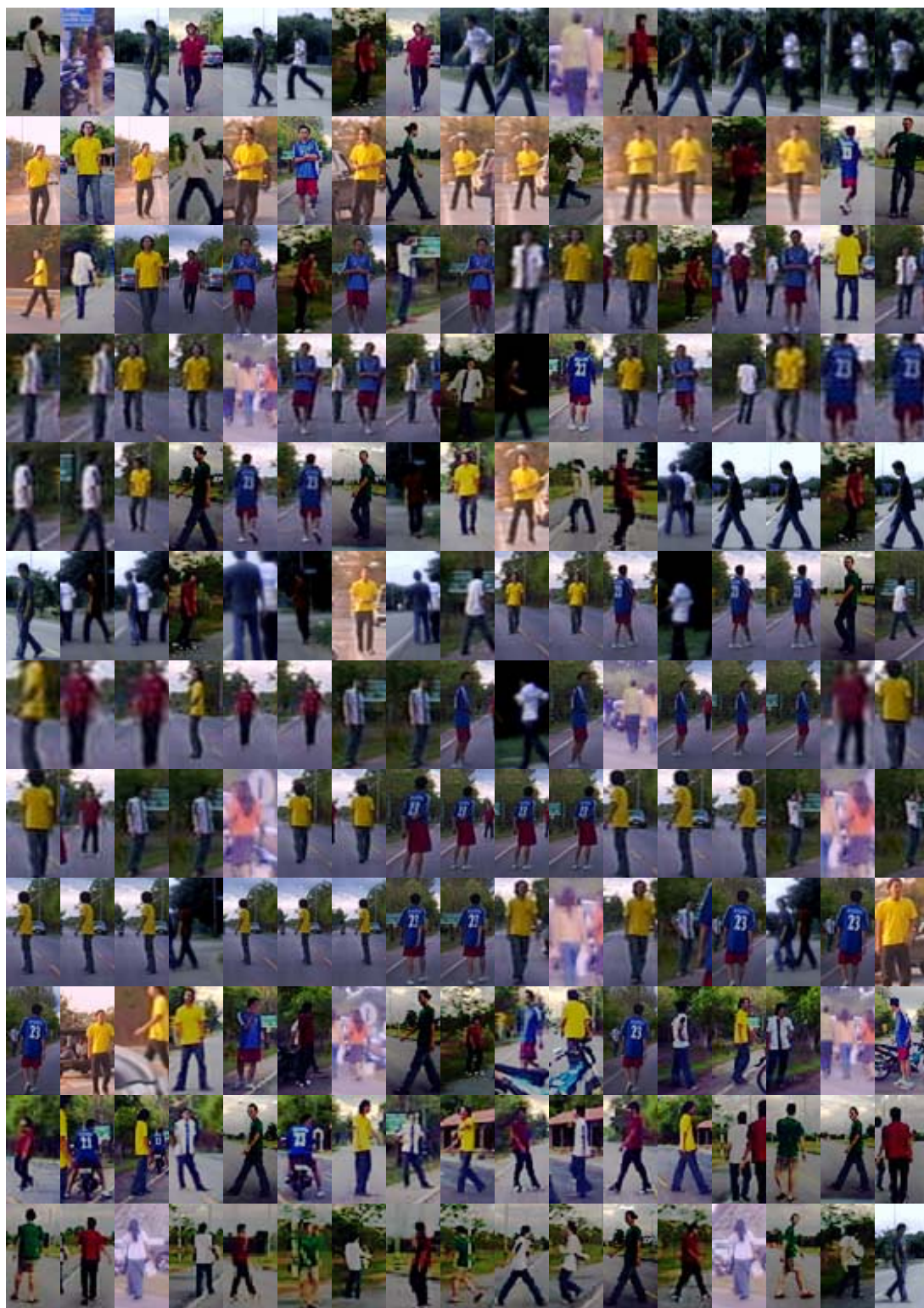
รูปที่ ก.1 ภาพคนเดินถนนจาก MITP ที่ใช้ในการฝึกสอนเครื่องเวกเตอร์เกือหนุน



รูปที่ ค.1 ภาพคนเดินถนนจาก MITP ที่ใช้ในการฝึกสอนเครื่องเวกเตอร์เกือหนุน (ต่อ)



รูปที่ ค.1 ภาพคนเดินถนนจาก MITP ที่ใช้ในการฝึกสอนเครื่องเวกเตอร์เกือหนุน (ต่อ)



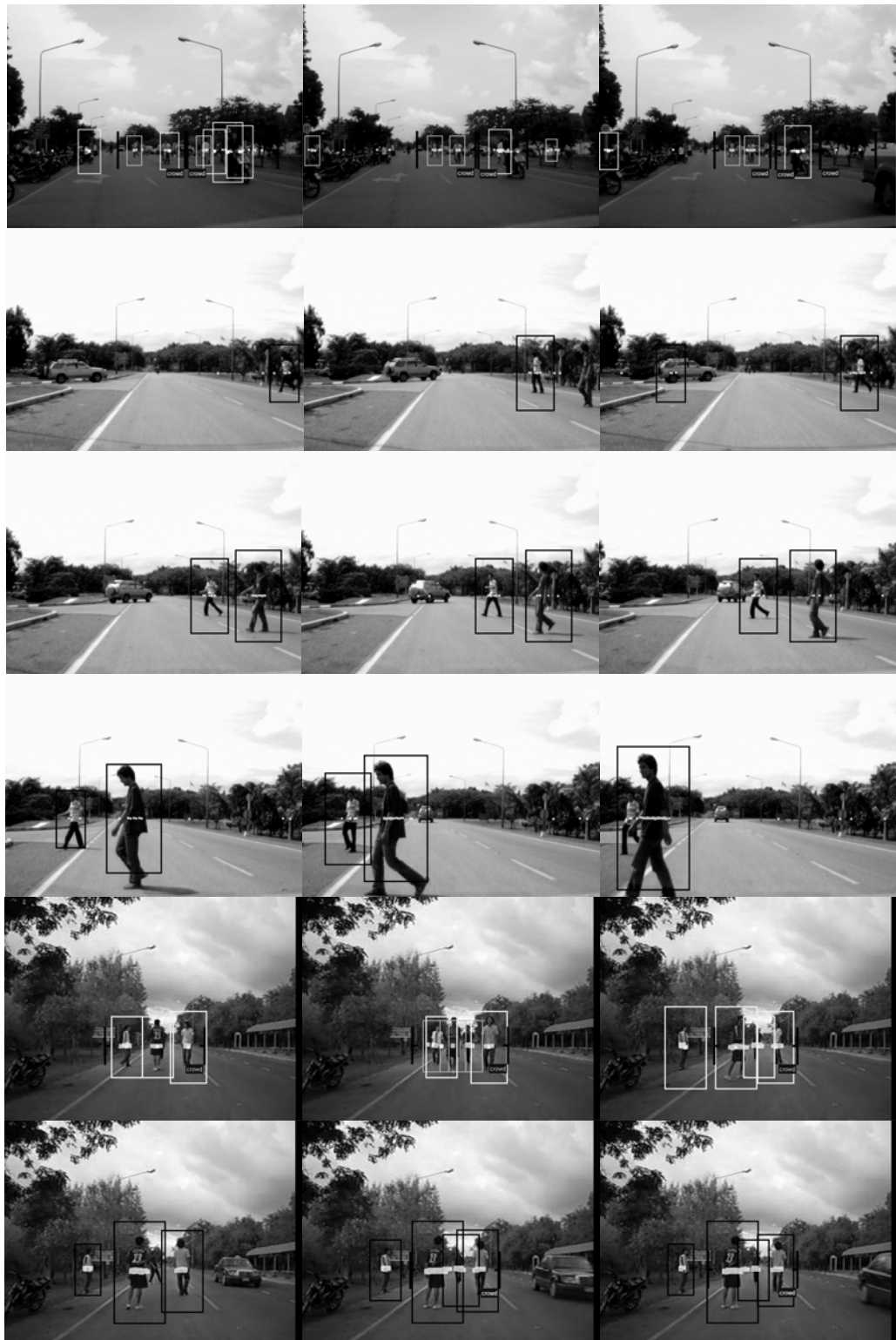
รูปที่ ค.2 ตัวอย่างภาพคนเดินถนนจากฐานข้อมูลภายในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ที่ใช้ในการฝึกสอนเครื่องเวกเตอร์เกี่ยวพัน



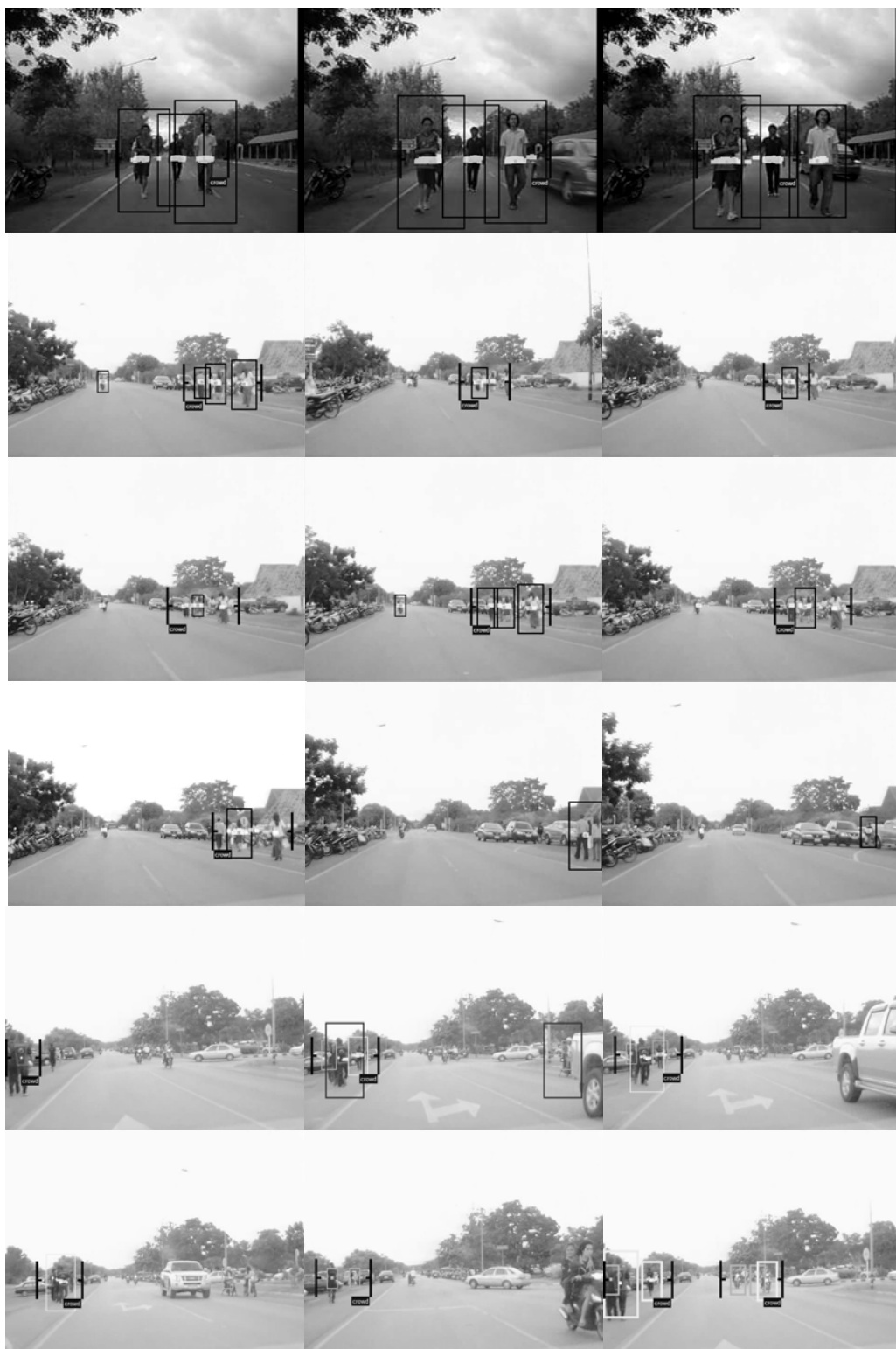
รูปที่ ค.2 ตัวอย่างภาพคนเดินถนนจากฐานข้อมูลภายในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ที่ใช้ในการฝึกสอนเครื่องเวกเตอร์เกี่ยวพัน (ต่อ)

ภาคผนวก ง

ภาพผลการทดสอบระบบ



รูปที่ ง.1 ผลการทดสอบระบบด้วยเฟสสมมาตรมิติสี่ร่วม HSLabSP กับภาพบริเวณถนนต่าง ๆ



รูปที่ ง.1 ผลการทดสอบระบบด้วยเฟสสมมาตรมิติสี่ร่วม HSLabSP กับภาพบริเวณถนนต่าง ๆ (ต่อ)



รูปที่ ง.1 ผลการทดสอบระบบด้วยเฟสสมมาตรมิติสี่ร่วม HSLabSP กับภาพบริเวณถนนต่าง ๆ (ต่อ)

ภาคผนวก จ

บทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในขณะศึกษา

รายชื่อบทความที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในขณะศึกษา

Janta, J., Kumsawat, P., Attakitmongcol, K., and Srikaew, A. (2007). **A Pedestrian Detection System using Applied Log-Gabor Filters**. Proceedings of the 7th WSEAS International Conference on Signal, Speech and Image Processing, pp. 55-60, Beijing, China, September 15-17.

Janta, J. and Srikaew, A. (2007). **A Pedestrian Detection System Using Applied Log-Gabor Filters**. Proceedings of 30th Electrical Engineering Conference (EECON-30) on Signal, Speech and Image Processing, Karnchanaburee, Thailand, October 25-26.

Janta, J., Kumsawat, P., Attakitmongcol, K., and Srikaew, A. (2008). **A Pedestrian Detection System using Color Symmetry Phase**. Proceedings of the 2008 Electrical Engineering/ Electronics, Computer, Telecommunications, and Information Technology (ECTI) International Conference, vol.1, pp. 437-440, Krabi, Thailand, May 14-17.

ประวัติผู้เขียน

นายจักรวาล จันทา เกิดเมื่อวันที่ 5 กันยายน พ.ศ. 2525 ที่อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา เริ่มการศึกษาระดับประถมศึกษาที่โรงเรียนเมืองนครราชสีมา จังหวัดนครราชสีมา ระดับมัธยมศึกษาที่โรงเรียนบุญเหลือวิทยานุสรณ์ จังหวัดนครราชสีมา และสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า) สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา เมื่อ พ.ศ. 2548 หลังสำเร็จการศึกษาได้เข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโท

ขณะศึกษาในระดับปริญญาโทได้รับทุนอุดหนุนวิจัยจากหน่วยวิจัยและสร้างหุ่นยนต์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ได้เข้าร่วมกิจกรรมต่าง ๆ เกี่ยวกับหุ่นยนต์ ได้แก่ ร่วมแข่งขันหุ่นยนต์ robocup จัดค่าย e-camp จัดทำหุ่นยนต์ไดโนเสาร์เคลื่อนไหวที่อุทยานไดโนเสาร์ภูเวียง จังหวัดขอนแก่น มีผลงานทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในขณะศึกษา ดังรายชื่อที่ปรากฏในภาคผนวก ฉ. ทั้งนี้ผู้เขียนมีความสนใจในงานทางด้านการประมวลผลสัญญาณภาพ การมองเห็นของคอมพิวเตอร์ ไมโครคอนโทรลเลอร์ และระบบหุ่นยนต์อัตโนมัติ