



ระบบตรวจจับและคัดแยกรถสำหรับกล้องวงจรปิดบนท้องถนน
Vehicle Detection and Classification System for Traffic Video Surveillance

ไทรวิทย์ อินทจักร

Traiwit Intachak

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

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

2556

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์



ระบบตรวจจับและคัดแยกรถสำหรับกล้องวงจรปิดบนท้องถนน
Vehicle Detection and Classification System for Traffic Video Surveillance

ไทรวิทย์ อินทจักร

Traiwit Intachak

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

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

2556

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชื่อวิทยานิพนธ์ ระบบตรวจจับและคัดแยกสำหรับกล่องวงจรปิดบนท้องถนน

ผู้เขียน นายไตรวิทย์ อินทจักร

สาขาวิชา วิศวกรรมคอมพิวเตอร์

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

คณะกรรมการสอบ

.....

..... ประธานกรรมการ

(ดร.วชรินทร์ แก้วอภิชัย)

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พรชัย พุกภัยภัทรานนท์)

..... กรรมการ

(ดร.ประกาศิต กายะสิทธิ์)

..... กรรมการ

(ดร.วชรินทร์ แก้วอภิชัย)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้นำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรม
คอมพิวเตอร์

.....

(รองศาสตราจารย์ ดร.ธีระพล ศรีชนะ)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ขอรับรองว่า ผลงานวิจัยชิ้นนี้เป็นผลมาจากการศึกษาวิจัยของนักศึกษาเอง และขอแสดงความ
ขอบคุณบุคคลที่มีส่วนเกี่ยวข้อง

.....

(ดร.วชรินทร์ แก้วอภิชัย)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

.....

(นายไตรวิทย์ อินทจักร)

นักศึกษา

ข้าพเจ้าขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้ไม่เคยเป็นส่วนหนึ่งในการอนุมัติปริญญาในระดับใดมาก่อน
และไม่ได้ถูกใช้ในการยื่นขออนุมัติปริญญาในขณะนี้

.....

(นายไตรวิทย์ อินทจักร)

นักศึกษา

ชื่อวิทยานิพนธ์	ระบบตรวจจับและคัดแยกกรดสำหรับกล้องวงจรปิดบนท้องถนน
ผู้เขียน	นายไตรวิทย์ อินทจักร
สาขาวิชา	วิศวกรรมคอมพิวเตอร์
ปีการศึกษา	2555

บทคัดย่อ

งานวิจัยชิ้นนี้ได้นำเสนอระบบตรวจจับและคัดแยกประเภทกรดสำหรับกล้องวงจรปิดบนท้องถนนโดยใช้กล้องวิดีโอบนพื้นฐานของความสะดวกในการใช้งานและสามารถทำงานบนสภาพแวดล้อมจริงได้ ซึ่งในงานวิจัยชิ้นนี้ได้พัฒนากระบวนการหลากหลายรูปแบบเพื่อลดผลกระทบจากสภาพแวดล้อมโดยรอบ การลบภาพพื้นหลังที่มีการวิเคราะห์ปริมาณแสง การกรองเงาของวัตถุที่เกิดขึ้นในภาพ การแก้ไขภาพพื้นหลังในระบบ การตรวจจับขอบของวัตถุที่ไม่สามารถบ่งบอกรูปร่างได้ที่มีความใกล้เคียงกับลักษณะของวัตถุจริงในภาพ และการคัดแยกลักษณะขอบของวัตถุเป็นยานพาหนะประเภทต่างๆ โดยในแต่ละกระบวนการจะส่งผลทำให้กระบวนการถัดไปทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ผลของการทำงานของระบบจากสถานที่ทดสอบ 4 สถานที่ที่มีความถูกต้องมากที่สุด คือ รถยนต์ส่วนบุคคล (98.44%) ความถูกต้องน้อยที่สุด คือ รถกระบะ (91.80%) และประสิทธิภาพของการทำงานอยู่ที่ 8 เฟรมต่อวินาทีจากการพัฒนาโปรแกรมและทดสอบบนซอฟต์แวร์ Matlab

คำสำคัญ: การวิเคราะห์ปริมาณแสงในภาพ, การกรองข้อมูลส่วนที่เป็นเงาในภาพ, การหาขอบของวัตถุที่ไม่สามารถบ่งบอกรูปร่างได้, การคัดแยกประเภทของยานพาหนะจากลักษณะของขอบวัตถุ

Thesis Title	Vehicle Detection and Classification System for Traffic Video Surveillance
Author	Mr.Traiwit Intachak
Major Program	Computer Engineering
Academic Year	2012

Abstract

In this research, we present a system to vehicles detection and classification by a CCD camera. The system works well with outdoor condition. Many algorithms are developed to handle with the condition, such as back ground subtraction, luminance approximation, shadow removing, background learning, object detection, and cars classification. All developed algorithms work excellent. The best efficiency of the system is 98.44% (personal cars), and the worst is 91.80% (mini-pickup). Speed of system is 8 frames/ second, working on Matlab.

Keyword: Adaptive Background Subtraction, Shadow Removing, Deformable Object Detection, Snake, Vehicle Classification.

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ ดร.วชรินทร์ แก้วอภิชัย อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ที่ได้ให้คำปรึกษา ชี้แนะแนวทาง และให้ความรู้ในด้านต่างๆ ตลอดจนการตรวจและแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้เป็นไปอย่างสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ และบุคลากรในภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ทุกท่านที่ให้คำปรึกษา ความช่วยเหลือ และอำนวยความสะดวกในระหว่างการทำวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์นี้ได้รับทุนศึกษยก้นกฐิ คณะวิศวกรรมศาสตร์และทุนอุดหนุนวิจัยจากทางมหาวิทยาลัย

และสุดท้ายนี้ ขอน้อมระลึกถึงพระคุณบิดา มารดา และครอบครัว ที่ส่งเสริมให้กำลังใจ และให้การสนับสนุนในเรื่องต่างๆ จนกระทั่งข้าพเจ้าประสบความสำเร็จในการศึกษา

ไตรวิทย์ อินทจักร

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ.....	8
รายการตาราง.....	10
รายการภาพประกอบ.....	11
สัญลักษณ์คำย่อและตัวย่อ.....	14
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความสำคัญและที่มาของหัวข้อวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 ขอบเขตงานวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
1.5 ทรัพยากรที่ใช้ในระบบ.....	3
1.6 ภาพรวมของระบบ.....	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	
2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	6
2.2 วิเคราะห์กระบวนการที่เกี่ยวข้อง.....	8
2.2.1 Preprocessing.....	8
2.2.2 Feature Extraction.....	9
2.2.3 Classification.....	11
2.3 กระบวนการที่เกี่ยวข้องอื่นๆ.....	12
2.3.1 การแปลงภาพสีเป็นภาพระดับสีเทา.....	12
2.3.2 การเปลี่ยนแปลงลักษณะของวัตถุ.....	12
บทที่ 3 การออกแบบและพัฒนาระบบ	
3.1 การติดตั้งกล้องวิดีโอ.....	15
3.2 การวิเคราะห์วัตถุ.....	16

3.2.1 Background Subtraction.....	16
3.2.2 Edge Detection.....	23
3.2.3 Graph Matching.....	28
บทที่ 4 ผลการวิจัย	
4.1 การติดตั้งกล้องวิดีโอ.....	31
4.2 การบันทึกวิดีโอ.....	33
4.3 การสร้างข้อมูลเริ่มต้นให้กับระบบ.....	34
4.3.1 การเรียนรู้ภาพพื้นหลัง.....	34
4.3.2 การกำหนดบริเวณที่สนใจในภาพ.....	34
4.3.3 สร้างกราฟของยานพาหนะที่เป็นไปได้ในระบบ.....	35
4.4 วิเคราะห์กระบวนการ.....	37
4.4.1 การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแสงของภาพ.....	37
4.4.2 การประยุกต์การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแสงของภาพ.....	39
4.4.3 การกรองเงาของวัตถุที่อยู่ในภาพ.....	40
4.4.4 พลังงานภายในจุดควบคุม.....	42
4.4.5 พลังงานภายนอก.....	44
4.4.6 การคัดแยกประเภทของยานพาหนะ.....	45
4.5 ผลการทดลอง.....	45
4.6 ความผิดพลาดในการทำงานของระบบ.....	46
บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ	
5.1 บทสรุป.....	48
5.2 สรุปและวิเคราะห์ผลการดำเนินงาน.....	48
5.3 ข้อเสนอแนะ.....	49
เอกสารอ้างอิง.....	50
ภาคผนวก งานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์.....	55
ประวัติผู้เขียน.....	71

รายการตาราง

ตาราง 4-1 การเปรียบเทียบลักษณะการติดตั้งกล้องในแต่ละรูปแบบ.....	31
ตาราง 4-2 รายละเอียดการแบ่งประเภทของยานพาหนะ.....	36
ตาราง 4-3 ผลของการทดลองระบบ.....	46
ตาราง 4-4 เปอร์เซ็นต์ความสำเร็จของการทดลองระบบ.....	46

รายการภาพประกอบ

ภาพประกอบ 1-1 กล้องวิดีโอ Microsoft LifeCam Studio รุ่น Q2F-0001.....	3
ภาพประกอบ 1-2 ภาพรวมของระบบ.....	4
ภาพประกอบ 2-1 กระบวนการในการทำงาน.....	8
ภาพประกอบ 2-2 Preprocessing.....	8
ภาพประกอบ 2-3 Feature Extraction.....	10
ภาพประกอบ 2-4 Classification.....	11
ภาพประกอบ 2-5 3x3 pixels Closing Operation.....	13
ภาพประกอบ 2-6 Fill Holes 4-connectivity Operation.....	13
ภาพประกอบ 2-7 Fill Holes 8-connectivity Operation.....	14
ภาพประกอบ 2-8 การเลือกกลุ่มของข้อมูลที่มีมากกว่า 20 พิกเซล.....	14
ภาพประกอบ 3-1 การออกแบบอุปกรณ์ตรวจจับและคัดแยกประเภทของยานพาหนะ.....	15
ภาพประกอบ 3-2 ลักษณะการมองเห็นในมุมมองต่างๆ.....	16
ภาพประกอบ 3-3 กระบวนการที่ใช้วิเคราะห์วัตถุ.....	16
ภาพประกอบ 3-4 Adaptive Background Subtraction.....	17
ภาพประกอบ 3-5 พื้นที่ที่น่าสนใจในภาพ.....	17
ภาพประกอบ 3-6 ผลลัพธ์กระบวนการเรียนรู้ภาพพื้นหลัง.....	18
ภาพประกอบ 3-7 การหาวัตถุภายในบริเวณที่น่าสนใจในภาพ.....	18
ภาพประกอบ 3-8 ไม่มีวัตถุภายในบริเวณที่น่าสนใจในภาพ.....	20
ภาพประกอบ 3-9 มีวัตถุภายในบริเวณที่น่าสนใจในภาพ.....	20
ภาพประกอบ 3-10 ค่าของความแตกต่างที่สามารถวิเคราะห์เป็นเงาของวัตถุ.....	21
ภาพประกอบ 3-11 ผลลัพธ์กรองส่วนที่เป็นเงาออกจากภาพ.....	22
ภาพประกอบ 3-12 การเปลี่ยนแปลงลักษณะของวัตถุในรูปภาพ.....	22
ภาพประกอบ 3-13 Edge Detection.....	23
ภาพประกอบ 3-14 Harris Corner Detection.....	24

ภาพประกอบ 3-15 การเลือกจุดที่เหมาะสมที่อยู่รอบนอกเส้นอ้างอิง	24
ภาพประกอบ 3-16 ค่าความแตกต่างในแต่ละแนวแกน	25
ภาพประกอบ 3-17 การเคลื่อนที่ของจุดควมคุม	26
ภาพประกอบ 3-18 พลังงานภายในของจุดควมคุม	27
ภาพประกอบ 3-19 ลักษณะการเพิ่มหรือลดจุดควมคุมของกระบวนการ Interpolation	28
ภาพประกอบ 3-20 Graph Matching	28
ภาพประกอบ 3-21 การหาระยะห่างระหว่างจุดกึ่งกลางกับขอบของยานพาหนะในแต่ละมุมมอง	29
ภาพประกอบ 3-22 ข้อมูลของยานพาหนะในรูปแบบกราฟ	29
ภาพประกอบ 3-23 พื้นที่ของความแตกต่างที่เกิดขึ้นระหว่างกราฟสองเส้น	30
ภาพประกอบ 4-1 ลักษณะการติดตั้งกล้อง	32
ภาพประกอบ 4-2 รูปร่างของยานพาหนะที่ได้จากการติดตั้งกล้องในงานวิจัย	33
ภาพประกอบ 4-3 ผลจากการบันทึกวิดีโอในแต่ละสถานที่	33
ภาพประกอบ 4-4 ผลการเรียนรู้ภาพพื้นหลังของระบบในแต่ละสถานที่	34
ภาพประกอบ 4-5 ภาพบริเวณที่สนใจสำหรับวิดีโอในแต่ละสถานที่	35
ภาพประกอบ 4-6 บริเวณที่สนใจของระบบเมื่อเริ่มทำงาน	35
ภาพประกอบ 4-7 ตัวอย่างของยานพาหนะที่ใช้สร้างกราฟ	36
ภาพประกอบ 4-8 กราฟที่ได้จากการวิเคราะห์ตัวอย่างของยานพาหนะ	37
ภาพประกอบ 4-9 กราฟปริมาณแสงของบริเวณที่สนใจในภาพพื้นหลังในระบบ	38
ภาพประกอบ 4-10 กราฟปริมาณแสงของบริเวณที่สนใจในภาพวิดีโอ	38
ภาพประกอบ 4-11 กราฟค่าความน่าเชื่อถือของภาพที่ได้จากกล้องวิดีโอ	39
ภาพประกอบ 4-12 กราฟค่าความน่าเชื่อถือของภาพพื้นหลังในระบบ	39
ภาพประกอบ 4-13 กราฟปริมาณแสงของภาพพื้นหลังในระบบ	40
ภาพประกอบ 4-14 กราฟเปรียบเทียบขนาดของวัตถุ	41
ภาพประกอบ 4-15 กราฟเปรียบเทียบผลจากการตรวจจับวัตถุ	41
ภาพประกอบ 4-16 ลักษณะของค่าพลังงานภายในของจุดควมคุม	42
ภาพประกอบ 4-17 ผลจากการทดสอบการหาขอบของวัตถุ	43

ภาพประกอบ 4-18 กราฟเปรียบเทียบประสิทธิภาพพลังงานภายในของจุดควบคุม	43
ภาพประกอบ 4-19 กราฟเปรียบเทียบประสิทธิภาพพลังงานภายนอกจากภาพ	44
ภาพประกอบ 4-20 ตัวอย่างผลของการทดลองระบบ	45
ภาพประกอบ 4-21 การทำงานที่ผิดพลาดของระบบ	47

สัญลักษณ์คำย่อและตัวย่อ

ROI Region of Interest

GVF Gradient Vector Flow

Snake Active Contour

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของหัวข้อวิจัย

ในการคัดแยกประเภทของยานพาหนะเพื่อใช้ในระบบการจัดการจราจร การจัดเก็บค่าผ่านทางและการวิเคราะห์ปริมาณการใช้งานในปัจจุบันนั้น จำเป็นต้องจ้างบุคลากรจำนวนมากในการให้บริการ ซึ่งเป็นการสิ้นเปลืองทรัพยากรในการดำเนินงานทั้งงบประมาณและเวลาอย่างมาก จึงทำให้มีความพยายามในการพัฒนาอุปกรณ์และกระบวนการเพื่อเป็นการลดทรัพยากรเหล่านั้น

ในปัจจุบันการพัฒนาระบบวิเคราะห์เพื่อคัดแยกประเภทของยานพาหนะนั้น จำเป็นต้องหาลักษณะเด่นที่น่าสนใจในยานพาหนะเหล่านั้น เช่น เสียง รูปร่าง อัตราส่วนต่างๆ ของวัตถุต่างๆ ในยานพาหนะ ทำให้มีงานวิจัยออกมาหลายหลายรูปแบบ ซึ่งมีข้อดีและข้อด้อยแตกต่างกันไปตามลักษณะของวิธีการและกระบวนการ โดยหลักๆ แล้วการวิเคราะห์เพื่อคัดแยกประเภทของยานพาหนะนั้นสามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มหลักๆ คือ กลุ่มที่หนึ่งเป็นการคัดแยกประเภทของยานพาหนะด้วยลักษณะของเสียงที่เกิดขึ้น [1] เป็นการวัดค่าของเสียงที่เกิดจากเครื่องยนต์ เพื่อวิเคราะห์หาลักษณะของเสียงในยานพาหนะแต่ละประเภท แต่กระบวนการดังกล่าวจำเป็นต้องทำในห้องที่มีการควบคุมเสียง หรือจำเป็นต้องให้เสียงที่ออกมาจากเครื่องยนต์มีความชัดเจนนั่นเอง ทำให้กระบวนการนี้ไม่สามารถให้ผลลัพธ์ที่จะนำไปใช้งานกับสภาพแวดล้อมจริงได้ เพราะมีเสียงรบกวนจากสภาพแวดล้อมโดยรอบมากมาย

กลุ่มที่สองเป็นการคัดแยกประเภทของยานพาหนะด้วยลักษณะของวัตถุที่เกิดขึ้นในภาพ ซึ่งเป็นกลุ่มที่ได้รับความนิยมมาก เพราะลักษณะการเก็บข้อมูลที่มีประสิทธิภาพมากกว่า อีกทั้งการรบกวนจากสภาพแวดล้อมโดยรอบน้อยกว่ากลุ่มที่หนึ่ง การพัฒนารูปแบบดังกล่าวจำเป็นต้องมีความสามารถพื้นฐานในการแยกแยะบริเวณที่เป็นวัตถุที่สนใจ และสามารถคัดแยกวัตถุเหล่านั้นออกเป็นยานพาหนะประเภทต่างๆ โดยระบบตรวจจับที่นิยมในการทำงานนั้น มักจะมี

กล้องวิดีโอ ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวรับภาพของสิ่งแวดล้อมเพื่อใช้ในการทำงานเป็นองค์ประกอบหลัก เพราะมีความยืดหยุ่นในการใช้งานสูง ติดตั้งอุปกรณ์ได้สะดวก และสามารถประยุกต์ใช้งานกับสภาพแวดล้อมที่มีความหลากหลายได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับวิธีการและมีข้อจำกัดทางด้านการประมวลผลข้อมูล และยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับงานด้านอื่นๆ ได้ ทำให้มีงานวิจัยเกี่ยวกับการประมวลผลภาพออกมามากมาย โดยภาพรวมแล้ว กลุ่มดังกล่าวจะใช้การหาลักษณะเด่นที่น่าสนใจในยานพาหนะภายในภาพ เช่น จำนวนล้อ [2] อัตราส่วนระหว่างวัตถุต่างๆ ในยานพาหนะ รูปร่าง รูปทรง และอื่นๆ [5] ซึ่งทำให้สามารถระบุออกมาเป็นประเภทของยานพาหนะได้อย่างมีประสิทธิภาพ

แต่อย่างไรก็ดี ในกระบวนการเหล่านี้ ส่วนใหญ่ยังมีปัญหาในเรื่องของการทำงานในสภาพแวดล้อมจริง เนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงลักษณะสภาพของยานพาหนะ การเปลี่ยนแปลงลักษณะของอุปกรณ์ในเครื่องยนต์ ทำให้เสียงเปลี่ยนแปลงไป หรือการติดลายสติกเกอร์ต่างๆ หรือแม้กระทั่ง ปัญหาที่เกิดจากการทำงานเนื่องจากสภาวะแวดล้อมโดยรอบไม่คงที่ เช่น มีแสงมากหรือน้อยและเงาที่เกิดจากแสงในแต่ละช่วงเวลา หรือแม้กระทั่งลักษณะของการติดตั้งอุปกรณ์เพื่อให้ได้มาซึ่งข้อมูลที่ต้องการ ในงานวิจัยชิ้นนี้จะใช้การคัดแยกประเภทของยานพาหนะด้วยลักษณะรูปร่างของวัตถุที่เกิดขึ้นในภาพ โดยมีการวิเคราะห์ผลกระทบที่เกิดขึ้นจากสภาพแวดล้อมโดยรอบ เพื่อให้การทำงานมีประสิทธิภาพมากขึ้น และการติดตั้งอุปกรณ์ที่สะดวกกับการใช้งาน

1.2 วัตถุประสงค์

1. สร้างระบบตรวจจับวัตถุที่เกิดขึ้นในภาพที่ได้จากกล้องวิดีโอ
2. สร้างระบบคัดแยกประเภทของยานพาหนะจากวัตถุที่เกิดขึ้นภายในภาพ

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

1. นำภาพที่ได้จากกล้องวิดีโอมาใช้ในการตรวจจับวัตถุที่เกิดขึ้น โดยมีข้อจำกัดดังนี้

- 1.1. มีระยะห่างระหว่างกล้องวิดีโอกับวัตถุที่เหมาะสม เพื่อสามารถตรวจจับวัตถุในภาพได้ทั้งชิ้น
- 1.2. ลักษณะวัตถุภายในภาพที่ได้จากกล้องวิดีโอต้องไม่เกิดการซ้อนทับกัน
- 1.3. สภาพแวดล้อมโดยรอบมีปริมาณแสงที่เพียงพอต่อการทำงาน
- 1.4. ลักษณะของวัตถุที่เกิดขึ้นภายในภาพ ต้องมีขอบของวัตถุชัดเจน
2. สร้างรูปแบบในการคัดแยกวัตถุเป็นยานพาหนะประเภทต่างๆ โดยอ้างอิงจากลักษณะการติดตั้งกล้องวิดีโอ

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. พัฒนาการตรวจจับวัตถุและคัดแยกประเภทของยานพาหนะภายในภาพได้อย่างมีประสิทธิภาพและประสิทธิผล
2. สามารถนำระบบไปประยุกต์ใช้งานตามความเหมาะสมได้ เช่น ระบบเก็บเงินทางด่วนอัตโนมัติ, ระบบวิเคราะห์ปริมาณการใช้ยานพาหนะ, ระบบจอดยานพาหนะในอาคาร เป็นต้น

1.5 ทรัพยากรที่ใช้ในระบบ

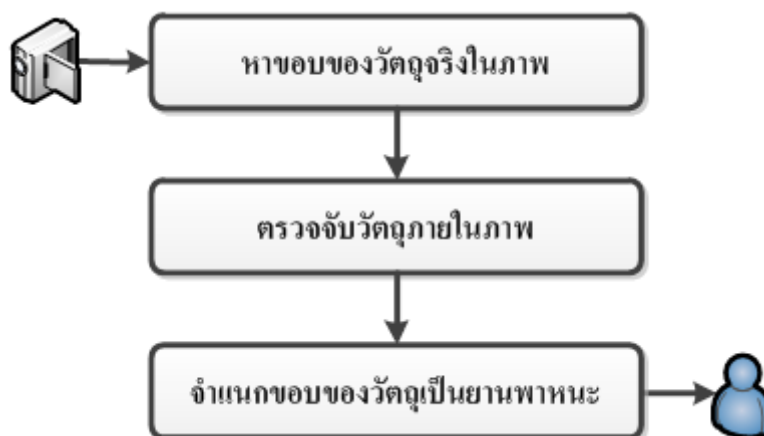
1. คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลความถี่สัญญาณนาฬิกา 3.3 GHz และหน่วยความจำ 8 GB
2. โปรแกรม Matlab 2011b
3. กล้องวิดีโอ Microsoft LifeCam Studio รุ่น Q2F-00001



ภาพประกอบ 1-1 กล้องวิดีโอ Microsoft LifeCam Studio รุ่น Q2F-0001

1.6 ภาพรวมของระบบ

ระบบที่ใช้ในการทำงานวิจัยชิ้นนี้ สามารถอธิบายการทำงานออกเป็นขั้นตอนได้ ดังนี้ ระบบนำภาพจากกล้องมาวิเคราะห์หารูปร่างของวัตถุที่เกิดขึ้น นำรูปร่างของวัตถุที่ได้ไปหาขอบของวัตถุจริงที่เกิดขึ้นในภาพ ผลที่ได้จากการหาขอบของวัตถุ และนำไปเทียบกับลักษณะของยานพาหนะในระบบ เพื่อวิเคราะห์หาประเภทของยานพาหนะแสดงผลแก่ผู้ใช้งาน แสดงดังภาพประกอบ 1-2



ภาพประกอบ 1-2 ภาพรวมของระบบ

งานวิจัยชิ้นนี้ได้พัฒนาและออกแบบระบบให้พร้อมใช้งานในสภาพแวดล้อมจริง โดยนำเสนอวิธีการตรวจจับและคัดแยกประเภทของยานพาหนะบนท้องถนนด้วยกล้องวีดีโอดังนี้

1. การคำนวณภาพปริมาณแสงที่เปลี่ยนแปลงในแต่ละช่วงเวลาที่เกิดขึ้นภายในภาพ
2. ประยุกต์สมการในการคำนวณปริมาณแสงเข้าไปในระบบ เพื่อสร้างพารามิเตอร์ความน่าเชื่อถือของภาพพื้นหลังในระบบ
3. ปรับค่าความเหมาะสมของค่าความน่าเชื่อถือในการแก้ไขภาพพื้นหลังในระบบในแต่ละช่วงเวลา
4. เพิ่มประสิทธิภาพการกรองข้อมูลในส่วนที่เป็นเงาของวัตถุที่เกิดขึ้นในภาพ

5. ปรับค่าพลังงานในกระบวนการตรวจจับวัตถุภายในภาพ ให้เหมาะสมกับการตรวจจับ
ขอบของวัตถุที่ไม่สามารถบ่งบอกรูปร่างในลักษณะของยานพาหนะ
6. สร้างลักษณะโดยรวมของขอบวัตถุเพื่อใช้แยกเป็นยานพาหนะประเภทต่างๆ

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

ในบทนี้จะกล่าวถึงงานวิจัยที่ผ่านมาและกระบวนการที่เกี่ยวข้องในการพัฒนางานวิจัย
ชิ้นนี้ ซึ่งจะช่วยให้เห็นข้อดีและข้อด้อยของกระบวนการในลักษณะต่างๆ

2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1 Classification of Moving Vehicles using Image Processing Techniques [2]
นำเสนอวิธีการคัดแยกยานพาหนะโดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาพ ซึ่งมีการจำแนกประเภทของ
ยานพาหนะออกเป็น 3 ประเภท ตามจำนวนของล้อ โดยใช้ข้อมูลระยะห่างระหว่างล้อหน้ากับล้อ
หลังและรัศมีของล้อในการคัดแยกประเภทของยานพาหนะโดยใช้พีชคณิตที่มีความแม่นยำ
ปานกลาง แต่มีข้อด้อยเกี่ยวกับการแบ่งประเภทของยานพาหนะที่มีจำนวนล้อเท่ากันอีกทั้งลักษณะ
การติดตั้งระบบที่มีเนื้อที่ในการทำงานมาก

2 Automobile Classification Based on GVF-Snake Model & Inertia Ellipse
Principle [3] นำเสนอวิธีการคัดแยกยานพาหนะโดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาพเพื่อนับจำนวน
รถ ใช้การตรวจจับการเคลื่อนไหวของวัตถุ (Object Tracking) จากเกาส์เซียน (Gaussian) นำผลที่
ได้มาหาขอบของวัตถุจริงโดยใช้แอ็กทีฟคอนทัวร์ (Active Contour: Snake) และทำการหา
อัตราส่วนของวัตถุเพื่อระบุว่าวัตถุนั้นเป็นยานพาหนะหรือไม่ ผลลัพธ์ที่ได้ มีความแม่นยำปานกลาง
เพราะไม่สามารถแก้ไขปัญหาลักษณะของสภาพแวดล้อม

3 Automatic Vehicle Classification Based on Video with BP Neural Networks [4]
นำเสนอวิธีการคัดแยกยานพาหนะโดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาพเพื่อหาประเภทของ
ยานพาหนะจากการหาพื้นที่ที่ได้จากวัตถุ ส่งผลให้แบคพรอพพาเกชั่นนิเวรอนเน็ตเวิร์ค (Back-

Propagation Neural Networks) เพื่อหาความเป็นไปได้ของประเภทยานพาหนะ ซึ่งเป็นเทคนิคที่ประยุกต์ใช้งานได้ดี แต่มีปัญหาเกี่ยวกับเงาที่เกิดขึ้นซึ่งทำให้ลักษณะของวัตถุเปลี่ยนแปลง

4 Shape-based Recognition and Classification for Common Objects - An Application in Video Scene Analysis [5] นำเสนอวิธีการคัดแยกยานพาหนะโดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาพเพื่อลักษณะของวัตถุไว้ใช้ในการแบ่งแยกประเภทของวัตถุนั้นๆ การหาลักษณะของวัตถุ เช่น ความกว้าง ความสูง อัตราส่วนต่างๆ แล้วทำการเรียนรู้ข้อมูลนั้นๆ เข้าสู่ระบบ การทำงานด้วยวิธีดังกล่าว มีความยืดหยุ่นสูง แต่จำเป็นต้องใช้ข้อมูลจำนวนมากเพื่อใช้ในการแบ่งแยกประเภทของวัตถุ

5 Robust Classification of Vehicle based on Fusion of TSRP and Wavelet Fractal Signature [6] นำเสนอวิธีการคัดแยกยานพาหนะโดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาพเพื่อคัดแยกประเภทของยานพาหนะโดยอาศัยการหารัศมีโดยรอบของวัตถุที่เกิดขึ้น เพื่อหาความเป็นไปได้ของลักษณะวัตถุนั้นๆ กระบวนการดังกล่าวสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ประยุกต์ใช้งานง่าย แต่ยังคงมีปัญหาเกี่ยวกับลักษณะการตั้งกล้องที่ต้องมีระยะห่างจากรถพอสมควรเพื่อที่สามารถถ่ายภาพรถได้ทั้งคัน

6 Vehicle Detection Using Morphological Image Processing Technique [7] นำเสนอวิธีการคัดแยกยานพาหนะโดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาพเพื่อคัดแยกประเภทของยานพาหนะ โดยใช้การหาพื้นที่สนใจเพื่อวิเคราะห์วัตถุออกมาในลักษณะภาพไบนารี ใช้การเปลี่ยนแปลงลักษณะของรูปภาพ (Morphological Operation) เพื่อปรับปรุงผลวัตถุที่เป็นผลลัพธ์ และใช้การหาอัตราส่วนในการคัดแยกวัตถุเป็นยานพาหนะประเภทต่างๆ เป็นกระบวนการที่ประยุกต์ใช้งานได้ง่าย แต่ไม่สามารถบอกรายละเอียดของยานพาหนะที่มีขนาดใกล้เคียงกันได้

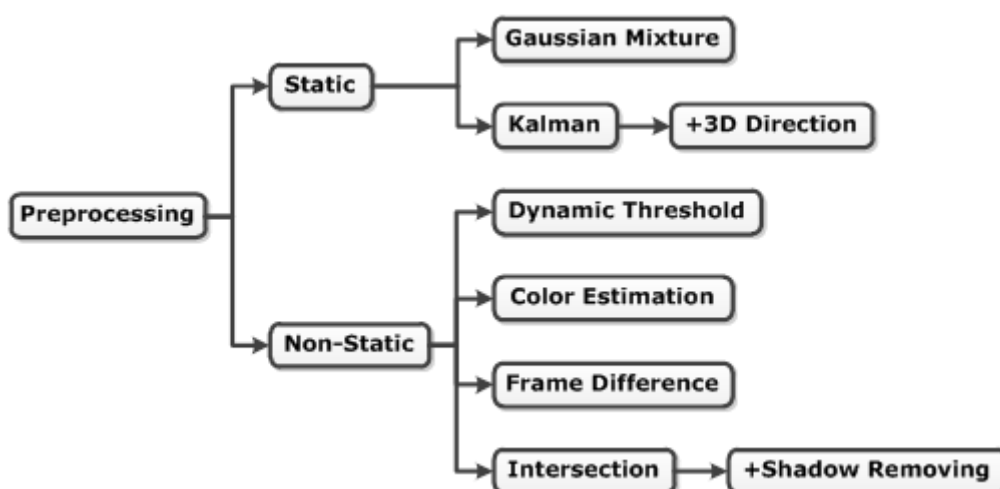
2.2 วิเคราะห์กระบวนการที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยชิ้นนี้มีจุดประสงค์เพื่อพัฒนาระบบตรวจจับและคัดแยกประเภทของยานพาหนะ โดยใช้ภาพที่ได้จากกล้องวิดีโอ ซึ่งเมื่อมองภาพรวมของการทำงานแล้ว สามารถแบ่งระบบการทำงานออกเป็น 3 ส่วนหลักๆ คือ ส่วนแรกเป็นการหาบริเวณของวัตถุที่สนใจในภาพ และนำบริเวณที่ได้ส่งไปยังส่วนที่สอง ซึ่งทำหน้าที่ให้การวิเคราะห์วัตถุที่ได้ แล้วส่งไปยังส่วนที่สามเพื่อหาวัตถุเพื่อคัดแยกประเภทของวัตถุนั้นๆ แสดงผลให้แก่ผู้ใช้ ดังภาพประกอบ 2-1



ภาพประกอบ 2-1 กระบวนการในการทำงาน

2.2.1 Preprocessing เป็นการประมวลผลภาพที่ได้รับจากกล้องวิดีโอเพื่อคัดแยกพื้นหลังและวัตถุ (Background Subtraction) เพื่อหาบริเวณที่สนใจภายในภาพ จากงานวิจัยที่ผ่านมาสามารถแบ่งลักษณะการทำงานออกได้เป็นสองกลุ่มตามกระบวนการในการสร้างข้อมูลภาพพื้นหลัง คือ Static Background Subtraction และ Non-Static Background Subtraction ดังภาพประกอบ 2-2



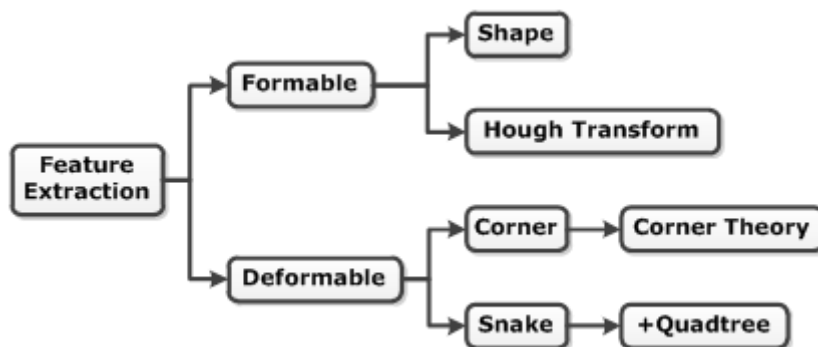
ภาพประกอบ 2-2 Preprocessing

Static Background Subtraction เป็นกลุ่มที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย เพราะสามารถประยุกต์ใช้งานง่าย มีตัวอย่างโปรแกรมพัฒนาออกมามากมาย โดยกระบวนการหลักๆ คือ การสร้างองค์ความรู้ภาพพื้นหลังให้กับระบบ (Background Learning) เพื่อสร้างเป็น โมเดลเริ่มต้นในการคัดแยกวัตถุออกจากภาพ ซึ่งลักษณะของกระบวนการที่เป็นที่นิยมในการสร้างโมเดล สามารถแบ่งออกเป็นสองกลุ่ม คือ เกาส์เซียนมิกเจอร์ (Gaussian Mixture) [8-11], เคมีน (K-Means) [9] และแคลแมน (Kalman) [11] หรือวิธีการคำนวณปริมาณสีที่เกิดขึ้นในเพื่อจดจำข้อมูลภาพพื้นหลัง [12] โดยระบบการทำงานสามารถทำงานในสภาวะแวดล้อมที่มีสภาวะคงที่หรือมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยได้อย่างมีประสิทธิภาพ และตอบสนองด้านความเร็วได้อย่างดี แต่อย่างไรก็ดีในการทำงานจะมีปัญหาเมื่ออยู่ภายใต้สภาพแวดล้อมที่มีการเปลี่ยนแปลงของปริมาณแสงอย่างฉับพลัน และยังต้องใช้ข้อมูลจำนวนมากในการเทรนนิ่งภาพพื้นหลัง

non-Static Background Subtraction เป็นกลุ่มที่ได้รับความนิยมไม่น้อยไปกว่ากลุ่มแรกเช่นกัน เนื่องจากการทำงานที่มีความยืดหยุ่น และประยุกต์ใช้งานได้ง่าย เช่น การเพิ่มกระบวนการในการหาค่าของแสง (Light Approximation) เพื่อนำไปใช้ในการหาวัตถุ [13, 14] การรวมค่าของสีที่เกิดขึ้นในภาพ เพื่อหาการเปลี่ยนแปลงของวัตถุ [15] การหาวัตถุจากการหาความแตกต่างของภาพก่อนและหลัง [16] การประยุกต์การตัดเงาของวัตถุโดยใช้ตำแหน่งของวัตถุที่มีการซ้อนกัน [17, 18] แต่อย่างไรก็ดี กระบวนการโดยส่วนใหญ่แล้วยังไม่สามารถแก้ไขปัญหามืออยู่ภายใต้สภาพแวดล้อมที่มีการเปลี่ยนแปลงของปริมาณแสงอย่างฉับพลันได้ ทำให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับการใช้งานในสภาพแวดล้อมจริง เพราะปัญหาดังกล่าว จะเกิดมาจากการที่มีเมฆมาบดบังทิศทางของแสง ซึ่งเป็นสภาพที่ไม่สามารถควบคุมได้ ในงานวิจัยชิ้นนี้ได้นำเสนอวิธีการแก้ไขปัญหามืออยู่ภายใต้สภาพแวดล้อมที่มีการเปลี่ยนแปลงของปริมาณแสงอย่างฉับพลัน ซึ่งผู้วิจัยได้ทำการปรับปรุงข้อเสียโดยแสดงในหัวข้อ 3.2.1

2.2.2 Feature Extraction เป็นกระบวนการตรวจจับลักษณะของวัตถุ ซึ่งในงานวิจัยชิ้นนี้มุ่งเน้นไปที่การตรวจจับขอบของวัตถุ ซึ่งสามารถแบ่งการทำงานออกได้เป็น 2 กลุ่มตามรูปแบบของกระบวนการที่ใช้ในการตรวจจับ คือ รูปร่างที่สามารถกำหนดได้ด้วยสมการทาง

คณิตศาสตร์ (Formable Model) และ รูปร่างที่ไม่สามารถกำหนดได้ด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ (Deformable Model) ดังภาพประกอบ 2-3



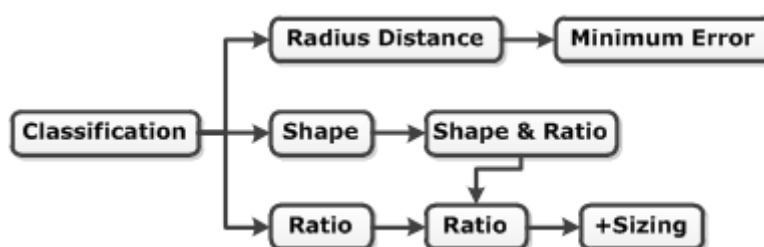
ภาพประกอบ 2-3 Feature Extraction

Formable Model เป็นการหาขอบของวัตถุโดยอาศัยรูปทรงทางเลขาคณิตศาสตร์ในการตรวจจับ [19] เช่น รูปสามเหลี่ยม รูปสี่เหลี่ยม รูปวงกลม เป็นต้น ซึ่งกระบวนการดังกล่าวไม่สามารถทำงานกับการตรวจจับยานภาพหนะได้ เพราะเมื่อมองภาพรวมลักษณะขอบของยานพาหนะที่เกิดขึ้นในภาพไม่สามารถบ่งบอกรูปร่างที่แน่นอนได้ ซึ่งการทำ Formable Model นั้นความนิยมจะตกไปอยู่ในกลุ่มของ Hough Transform [20] มากกว่า เพราะสามารถหารูปแบบของเส้นได้เช่นกันและประยุกต์ใช้ได้ดีกว่าการกำหนดรูปร่างของวัตถุจากรูปเลขาคณิตศาสตร์ แต่อย่างไรก็ดีการทำงานจะต้องมีความซับซ้อนมากเกินความจำเป็น เพราะขอบของยานพาหนะนั้นจะต้องใช้เส้นหลายๆ รูปแบบมาต่อกันจนเกิดเป็นขอบของวัตถุ ทำให้ความนิยมในการหาขอบของวัตถุที่มีรูปร่างไม่แน่นอนตกไปอยู่อีกกลุ่มหนึ่ง คือ Deformable Model

Deformable Model เป็นการหาขอบของวัตถุที่ไม่สามารถบ่งบอกรูปร่างได้อย่างมีประสิทธิภาพมากกว่า Formable Model โดยลักษณะกระบวนการนั้นมีสองรูปแบบ คือ การทำแบ็คกราวชั้บแทรกซัน [21] นำไปรวมกับการหาความเป็นไปได้ของมุมที่เกิดขึ้นในภาพ [22] เพื่อบ่งบอกลักษณะของวัตถุที่เกิดขึ้น และอีกรูปแบบคือ การทำเอ็กทิฟคอนทัวร์ (Active Contour:Snake) [3, 23] ซึ่งในกระบวนการของกลุ่มนี้ใช้พลังงานที่เกิดขึ้นในภาพ ซึ่งเกิดจากความแตกต่างของปริมาณแสง เพื่อใช้ในการระบุขนาดและทิศทางการเดินของจุดควบคุม (Control Point) และมีการเพิ่มประสิทธิภาพในการเดินโดยการคำนวณข้อมูลแบบคอร์ดทรีอัลกอริทึม (Quadtree Algorithm)

ในพลังงานของภาพ [24] ทำให้กลุ่มดังกล่าวมีความยืดหยุ่นในการตรวจจับวัตถุที่ไม่สามารถบ่งบอกรูปร่างได้ด้วยรูปเลขาคณิตศาสตร์ต่างๆ ไปได้ แต่อย่างไรก็ดีปัญหาหลักๆ ของกลุ่มนี้คือ เวลาที่ใช้ในการคำนวณ ซึ่งผู้วิจัยได้ทำการปรับปรุงข้อเสียโดยแสดงในหัวข้อ 3.2.2

2.2.3 Classification เมื่อได้ลักษณะของรูปร่างของวัตถุจากการตรวจจับขอบของวัตถุ การคัดแยกเพื่อบอกประเภทของยานพาหนะสามารถแบ่งออกเป็นสามกลุ่ม ดังภาพประกอบ 2-4



ภาพประกอบ 2-4 Classification

Ratio ใช้การหาอัตราส่วนของความกว้างและความยาวของวัตถุและนำขนาดของวัตถุมาช่วยในการคำนวณความเป็นไปได้ในการคัดแยก [3, 25] ซึ่งเป็นกลุ่มที่ประยุกต์ใช้ได้ง่ายแต่มีความผิดพลาดมาก **Shape** ใช้รูปร่างของวัตถุที่เกิดขึ้นไปคำนวณในแบบพหุพหุภาคเช่นนิเวรอนเน็ตเวิร์ค [4] ซึ่งทำให้ต้องมีข้อมูลจำนวนมากแต่มีประสิทธิภาพในการทำงานสูง **Radius Distance** จะใช้การหาระยะห่างที่เกิดขึ้นจากขอบของวัตถุเทียบกับจุดศูนย์กลางของวัตถุ หาค่าความแตกต่างที่น้อยที่สุดเมื่อเทียบกับข้อมูลในระบบ [5] ซึ่งให้ประสิทธิภาพและประสิทธิผลที่ตอบสนองกับในใช้งานในการคัดแยกประเภทของยานพาหนะได้เป็นอย่างดี

งานวิจัยชิ้นนี้ได้นำข้อดีและข้อเสียจากการวิเคราะห์กระบวนการต่างๆมาระบุวิธีการและหลักการที่ใช้ในระบบที่ผู้วิจัยต้องออกแบบเพื่อใช้ในการตรวจจับและคัดแยกประเภทของยานพาหนะ โดยคำนึงถึงการติดตั้งอุปกรณ์และกระบวนการทำงานที่สามารถประยุกต์ใช้ได้ง่าย แต่ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ และสามารถใช้งานในสภาพแวดล้อมจริงได้

2.3 กระบวนการที่เกี่ยวข้องอื่นๆ

2.3.1 การแปลงภาพสีเป็นภาพระดับสีเทา (Gray-Scale Image Transform) เป็นการแปลงค่าข้อมูลภาพสีในระบบ RGB ให้แสดงถึงค่าความสว่างของภาพเพียงอย่างเดียว โดยปราศจากค่าข้อมูลของสีภาพ โดยทั่วไปภาพระดับสีเทาจะประกอบด้วยค่าความสว่างที่แตกต่างกัน 256 ระดับ มีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 255 นั่นคือได้ระดับความสว่างจากมืดไปจนขาว และความสัมพันธ์การแปลงภาพสีเป็นภาพระดับสีเทา ดังสมการ

$$Gray = 0.299(Red) + 0.587(Green) + 0.114(Blue) \quad (2-1)$$

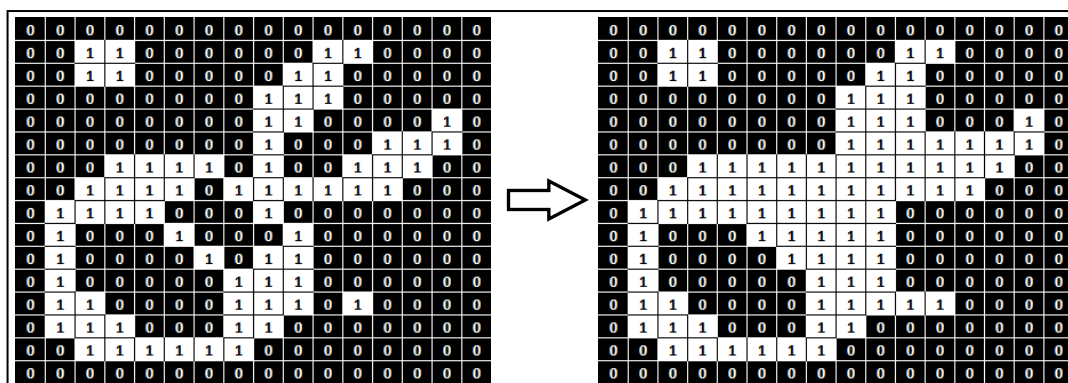
โดยที่ *Red* คือ ค่าของสีแดงในระบบสี RGB

Green คือ ค่าของสีเขียวในระบบสี RGB

Blue คือ ค่าของสีฟ้าในระบบสี RGB

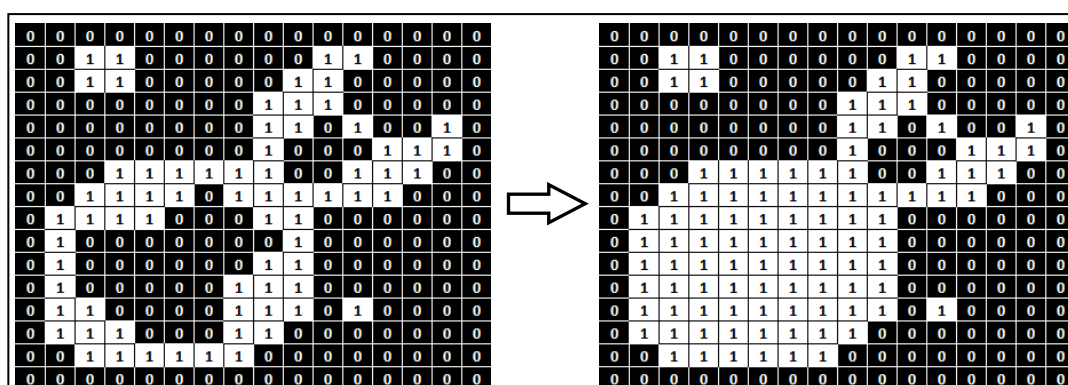
2.3.2 การเปลี่ยนแปลงลักษณะของวัตถุ (Morphological Operation) เป็นโอเปอเรชันในข้อมูลภาพแบบไบนารี เพื่อตกแต่งให้ลักษณะของวัตถุให้มีความสมบูรณ์มากขึ้น [26] **Closing Operation** เป็นการนำ Erosion Operation ตามด้วย Dilation Operation เพื่อให้ส่วนแคบๆ ของ Region ต่อกัน สามารถอธิบายดังสมการ

$$A \cdot B = (A \oplus B) \ominus B \quad (2-2)$$

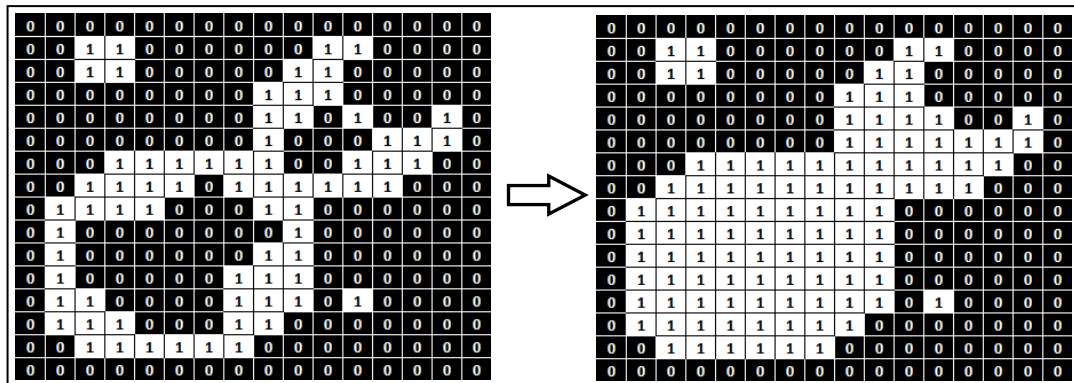


ภาพประกอบ 2-5 3x3 pixels Closing Operation

Fill Holes Operation เป็นการเติมส่วนที่เป็นช่องว่างที่เกิดขึ้นในวัตถุจากการหาพิเซลที่ถูกล้อมรอบ โดยอาศัยการหาจุดเชื่อมต่อระหว่างขอบของวัตถุที่เกิดขึ้นกับขอบของวัตถุข้างเคียง ซึ่งสามารถแบ่งจุดเชื่อมต่อได้ 2 ลักษณะ คือ 4-connectivity และ 8-connectivity

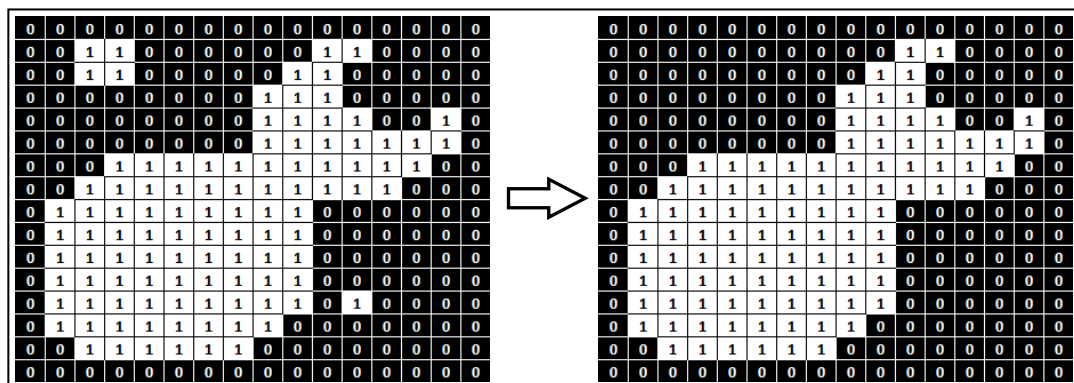


ภาพประกอบ 2-6 Fill Holes 4-connectivity Operation



ภาพประกอบ 2-7 Fill Holes 8-connectivity Operation

Region Selection ใช้ในการเลือกกลุ่มของข้อมูลที่ต้องการ โดยอาศัยการหาจุดเชื่อมต่อกันระหว่างขอบของวัตถุที่เกิดขึ้นกับขอบของวัตถุข้างเคียง ซึ่งสามารถแบ่งจุดเชื่อมต่อได้ 2 ลักษณะ คือ 4-connectivity และ 8-connectivity เพื่อใช้ในการตรวจสอบขนาดของกลุ่มข้อมูลให้ได้ตามต้องการ

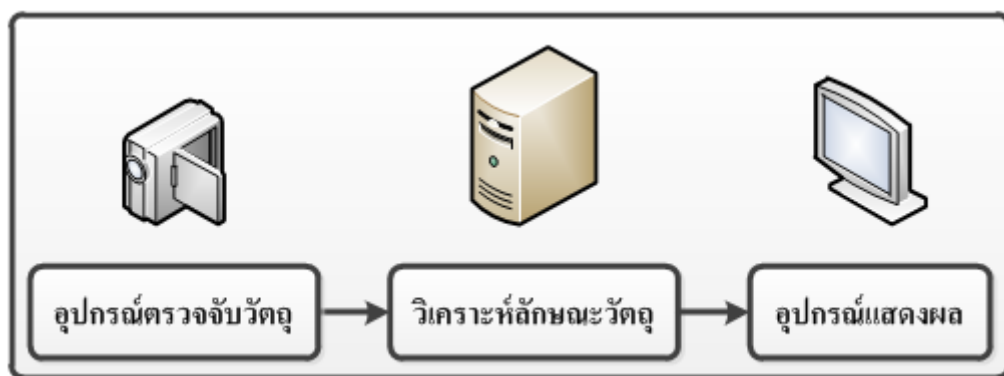


ภาพประกอบ 2-8 การเลือกกลุ่มของข้อมูลที่มากกว่า 20 พิกเซล

บทที่ 3

การออกแบบและพัฒนาระบบ

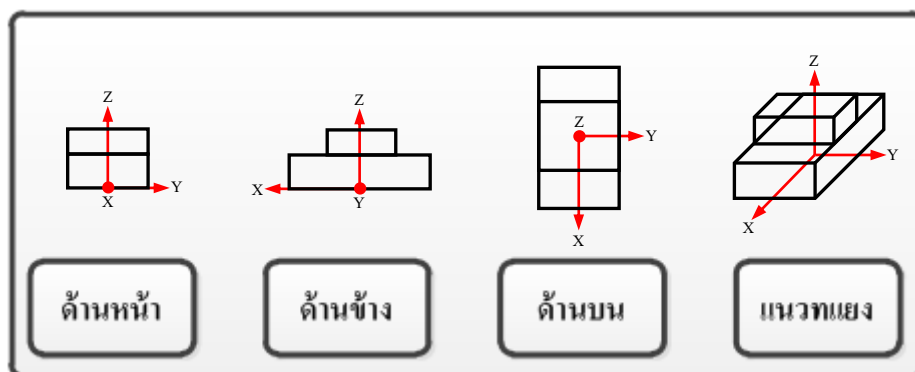
งานวิจัยชิ้นนี้มุ่งเน้นการพัฒนาระบบตรวจจับและคัดแยกประเภทของยานพาหนะจากภาพที่ได้จากกล้องวิดีโอ การออกแบบอุปกรณ์ประกอบไปด้วยอุปกรณ์ตรวจหาวัตถุซึ่งเป็นกล้องวิดีโอและใช้คอมพิวเตอร์มาทำหน้าที่ในการประมวลผลภาพ ส่งผลลัพธ์ออกทางหน้าจอไปยังผู้ใช้งาน ดังแสดงในภาพประกอบ 3-1



ภาพประกอบ 3-1 การออกแบบอุปกรณ์ตรวจจับและคัดแยกประเภทของยานพาหนะ

3.1 การติดตั้งกล้องวิดีโอ

ลักษณะในการติดตั้งกล้องวิดีโอเพื่อให้สามารถมองเห็นวัตถุได้ทั้งชิ้น สามารถติดตั้งได้หลากหลายลักษณะ ดังภาพประกอบ 3-2 ซึ่งการติดตั้งในแต่ละรูปแบบจะให้ข้อดีและข้อด้อยแตกต่างกันไป



ภาพประกอบ 3-2 ลักษณะการมองเห็นในมุมต่างๆ

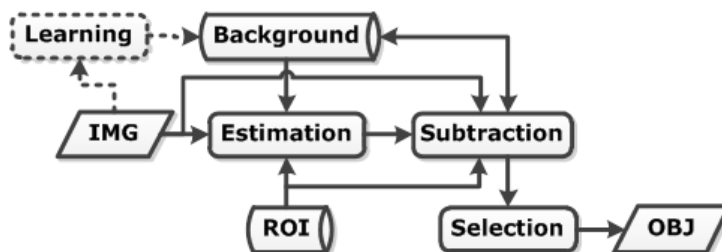
3.2 การวิเคราะห์วัตถุ

กระบวนการที่ใช้วิเคราะห์วัตถุ เพื่อให้ได้มาซึ่งประเภทของยานพาหนะที่ต้องการสามารถแบ่งกระบวนการออกเป็น 3 ส่วน คือ Background Subtraction หาวัตถุที่สนใจในภาพเพื่อที่สามารถนำรูปร่างของวัตถุไปตรวจจับขอบของวัตถุที่มีความใกล้เคียงมากที่สุดจากวัตถุจริงในกระบวนการ Edge Detection และนำขอบของวัตถุที่ได้ตัดแยกเป็นประเภทของยานพาหนะใน Graph Matching ดังภาพประกอบ 3-3



ภาพประกอบ 3-3 กระบวนการที่ใช้วิเคราะห์วัตถุ

3.2.1 Background Subtraction เป็นการหาวัตถุที่เกิดขึ้นภายในบริเวณที่สนใจในภาพซึ่งในงานวิจัยขั้นนี้มีการเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการ โดยมีการวิเคราะห์ปริมาณแสงในภาพ, การแก้ไขภาพพื้นหลังในระบบ, การกรองส่วนที่เป็นเงาออกจากผลลัพธ์ของการหาวัตถุ, และการกรองสัญญาณรบกวนของผลลัพธ์ ทำให้ลักษณะของกระบวนการเป็นในรูปแบบของ Adaptive Background Subtraction ดังภาพประกอบ 3-4



ภาพประกอบ 3-4 Adaptive Background Subtraction

ในกระบวนการ Background Subtraction นั้นจำเป็นต้องมีการกำหนดค่าเริ่มต้น 2 ค่าให้กับระบบ คือ การกำหนดบริเวณที่สนใจภายในภาพ (Region of Interest: ROI) เพื่อลดปริมาณในการคำนวณบริเวณที่ไม่มีความจำเป็น



ภาพประกอบ 3-5 พื้นที่ที่สนใจในภาพ

และอีกค่าหนึ่ง คือ ภาพพื้นหลังเริ่มต้น (Background Image) ในกระบวนการ Learning อาศัยภาพนำเข้าจำนวน 20 ภาพ บนสมมุติฐาน ไม่มีวัตถุอยู่ในบริเวณที่สนใจภายในภาพ ที่นำมาสร้างภาพพื้นหลัง [27] มาคำนวณในสมการเพื่อหาค่าเฉลี่ยของภาพ

$$B_0 = (\sum_{n=1}^{20} I_n) / 20 \quad (3-1)$$

เมื่อ I คือ ภาพนำเข้า ที่มีรูปแบบเป็นสีในระบบ RGB ที่มีค่าระหว่าง 0 – 255



ภาพประกอบ 3-6 ผลลัพธ์กระบวนการเรียนรู้ภาพพื้นหลัง

กระบวนการ **Subtraction** ที่ใช้เพื่อหาวัตถุจะหาความแตกต่างระหว่างภาพพื้นหลังในระบบกับภาพที่ได้จากกล้องวิดีโอ นำค่าผลต่างที่ได้ในแต่ละแนวแกนไปคำนวณหาระยะของความแตกต่างที่เกิดขึ้น และทำการคัดแยกพิกเซลที่เป็นวัตถุโดยใช้ค่าขีดแบ่ง (Threshold)

$$S_{x,y,t} = I_{x,y,t} - B_{x,y,t} \quad (3-2)$$

$$F_{x,y,t} = \sqrt{S_{x,y,tRed}^2 + S_{x,y,tGreen}^2 + S_{x,y,tBlue}^2} \quad (3-3)$$

$$Bi_{x,y,t} = \begin{cases} 1; & F_{x,y,t} > 25 \\ 0; & \text{other} \end{cases} \quad (3-4)$$

- เมื่อ I คือ ค่าของพิกเซลในภาพที่ได้จากกล้องวิดีโอในระบบ RGB
 B คือ ค่าของพิกเซลในภาพพื้นหลังแบบ RGB ในระบบ
 x, y คือ ตำแหน่งของพิกเซลในบริเวณที่สนใจ
 25 คือ ค่าความแตกต่างของระยะความต่างเพื่อใช้ในการเลือกส่วนที่เป็นวัตถุ



ภาพประกอบ 3-7 การหาวัตถุภายในบริเวณที่สนใจในภาพ

ผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณหาพิเซลที่เป็นวัตถุเป็นภาพไบนารี (B_i) โดยส่วนของภาพไบนารีที่มีค่าเท่ากับ 0 ถูกจัดให้เป็นพิเซลพื้นหลังที่จะอัปเดตให้เป็นภาพพื้นหลังใหม่เพื่อใช้ในรอบถัดไป ($t + 1$) โดยใช้สมการ

$$B_{t+1} = (\beta_t(I_{x,y,t}) + \alpha_t(B_{x,y,t}))/2 \quad (3-5)$$

- เมื่อ I คือ ค่าของพิเซลในภาพที่ได้จากกล้องวิดีโอในระบบ RGB
 B คือ ค่าของพิเซลในภาพพื้นหลังแบบ RGB ในระบบ
 x, y คือ ตำแหน่งของค่าไบนารี (B_i) ที่มีค่าเท่ากับ 0
 β คือ ค่าความน่าเชื่อถือของภาพที่ได้จากกล้องวิดีโอ
 α คือ ความความน่าเชื่อถือของภาพพื้นหลังในระบบ

การคำนวณค่าความน่าเชื่อถือของภาพ (α, β) จะใช้การหาความแตกต่างของปริมาณแสงที่เกิดขึ้นภายในภาพระหว่างภาพพื้นหลังในระบบและภาพที่ได้จากกล้องวิดีโอในกระบวนการ **Estimation** โดยใช้สมการ

$$L_t = \sum |G_{I_t} - G_{B_t}|/R \quad (3-6)$$

- เมื่อ I คือ ค่าของพิเซลในภาพที่ได้จากกล้องวิดีโอในระบบ RGB
 B คือ ค่าของพิเซลในภาพพื้นหลังแบบ RGB ในระบบ
 G คือ ภาพในระบบสีเทา (Gray Scale) ที่แปลงมาจากภาพสีในระบบ GBR
 R คือ จำนวนพิเซลของบริเวณที่สนใจ (ROI)



ภาพประกอบ 3-8 ไม่มีวัตถุภายในบริเวณที่สนใจในภาพ



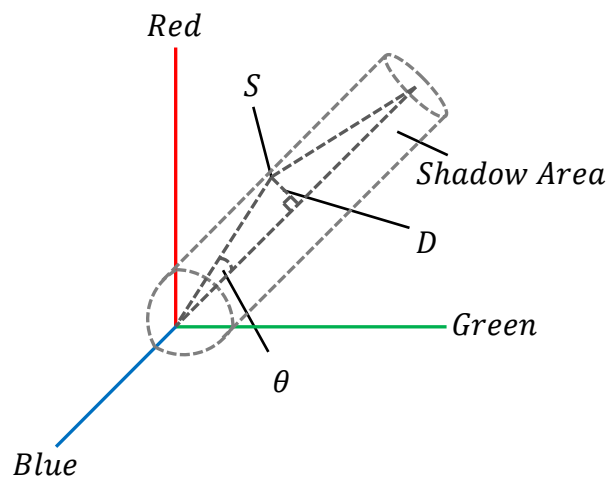
ภาพประกอบ 3-9 มีวัตถุภายในบริเวณที่สนใจในภาพ

โดยปกติแล้ว ลักษณะของการเปลี่ยนแปลงปริมาณของแสงภาพในภาพ สามารถเกิดขึ้นได้สองลักษณะ คือ การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแสงตามเวลาหรือแบบฉับพลันซึ่งได้รับผลกระทบจากการที่มีเมฆเคลื่อนที่บังทิศทางของแสงและการเปลี่ยนแปลงปริมาณแสงจากการที่มีวัตถุเข้ามาในบริเวณที่สนใจ [27] ทำให้เราสามารถกำหนดช่วงของความแตกต่างเพื่อใช้ในการกำหนดค่าความน่าเชื่อถือให้กับภาพพื้นหลังในระบบ (α) ได้โดย

$$\alpha_t = \begin{cases} 1.90; & L_t > 2 \\ 1.70; & \text{others} \end{cases} \quad (3-7)$$

- เมื่อ L_t คือ ความแตกต่างของปริมาณแสงระหว่างภาพที่ได้จากวิดีโอกับภาพพื้นหลังในระบบ
- 2 คือ ค่าความแตกต่างของปริมาณแสงเพื่อใช้เลือกค่าความน่าเชื่อถือของภาพพื้นหลัง
- 1.7 คือ การเปลี่ยนแปลงปริมาณแสงตามเวลา
- 1.9 คือ การเปลี่ยนแปลงปริมาณแสงจากวัตถุ

ค่าความน่าเชื่อถือของภาพที่ได้จากกล้องวิดีโอคำนวณได้จาก $\beta = 2 - \alpha$ และใน ส่วนของภาพไบนารี (Bi) ที่มีค่าเท่ากับ 1 เมื่อนำมาวิเคราะห์แล้ว จะประกอบไปด้วยส่วนที่เป็น วัตถุ และส่วนที่เป็นเงาของวัตถุ โดยเงาของวัตถุนั้นสามารถบ่งบอกลักษณะได้ คือ ค่าความแตกต่าง ของพิกเซลในแต่ละเลเยอร์ (S) จะมีค่าติดลบ และค่าที่ติดลบนั้นมีค่าไม่ออกห่างจากแนวแกนที่เป็นสี เทาในระบบ RGB มากนัก เมื่อมองพฤติกรรมทั้งสองลักษณะที่เกิดขึ้นสามารถวาดเป็นรูป สามเหลี่ยมได้ดังภาพประกอบ 3-10



ภาพประกอบ 3-10 ค่าของความแตกต่างที่สามารถวิเคราะห์เป็นเงาของวัตถุ

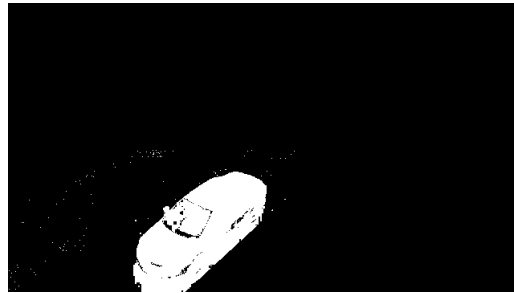
เมื่อกำหนด จุดใดๆ บนแนวแกนสีเทา (ในงานวิจัยชิ้นนี้กำหนดให้เป็น $[-1 \ -1 \ -1]$) และนำค่าความแตกต่างของพิกเซลในระบบ RGB ทำการหามุมที่เกิดขึ้น นำค่ามุมที่ได้คำนวณหา ระยะห่างระหว่างจุดกับแนวแกนและทำการตัดแยกส่วนที่เป็นวัตถุและส่วนที่เป็นเงาออก โดยใช้ สมการ

$$\theta(x, y)_t = \cos^{-1}(-1 * S(x, y)_t / 1.732 * \|S(x, y)_t\|) \quad (3-8)$$

$$D(x, y)_t = F(x, y)_t \sin(\theta(x, y)_t) \quad (3-9)$$

$$O(x, y)_t = \begin{cases} 1, & D(x, y)_t > 12.5 \\ 0, & \text{other} \end{cases} \quad (3-10)$$

- เมื่อ S คือ ความแตกต่างระหว่างภาพที่ได้จากวีดีโอกับภาพพื้นหลังในระบบ
- F คือ ระยะห่างของความแตกต่างระหว่างภาพที่ได้จากวีดีโอกับภาพพื้นหลังในระบบ
- x, y คือ ตำแหน่งของค่าไบนารี (Bi) ที่มีค่าเท่ากับ 1
- 12.5 คือ ค่าที่ใช้ตัดแยกส่วนที่เป็นวัตถุและส่วนที่เป็นเงาของวัตถุ



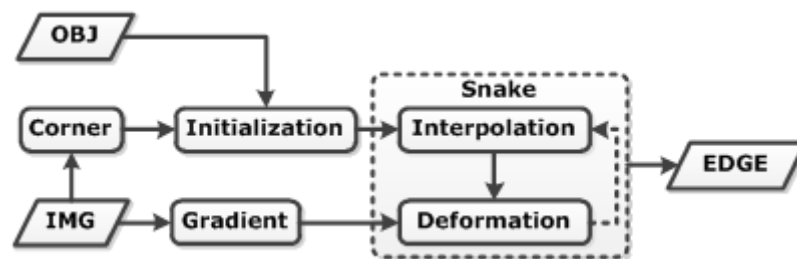
ภาพประกอบ 3-11 ผลลัพธ์กรองส่วนที่เป็นเงาออกจากภาพ

ผลลัพธ์ที่ได้จากการหาวัตถุและกรองส่วนที่เป็นเงาจะถูกนำไปกรองส่วนที่เป็นสัญญาณรบกวนในกระบวนการ **Morphological** โดยทำการใช้การเปลี่ยนแปลงลักษณะของวัตถุภายในภาพ (Morphological Image operation) [26] สองลักษณะคือ Closing operation และ Fill Holes operation จากนั้นเลือกกลุ่มของวัตถุที่ต้องการ (Region Selection) ไปใช้ในการตรวจจับขอบของวัตถุในกระบวนการถัดไป



ภาพประกอบ 3-12 การเปลี่ยนแปลงลักษณะของวัตถุในรูปภาพ

3.2.2 Edge Detection เป็นการหาขอบของวัตถุที่สนใจภายในภาพ งานวิจัยชิ้นนี้ได้นำกระบวนการเอ็กทิวคอนทัวร์ (Snake) ซึ่งมีจุดเด่นในด้านการตรวจจับขอบของวัตถุที่ไม่สามารถบ่งบอกรูปร่างที่มีความใกล้เคียงกับขอบของวัตถุจริงในภาพมากที่สุด โดยปรับปรุงลักษณะของค่าพลังงานที่เกิดขึ้นในภาพ และปรับปรุงเทคนิคในการกำหนดจุดควบคุม (Control Point) เพื่อให้เวลาในการเคลื่อนที่เข้าสู่ขอบของวัตถุมีความรวดเร็วมากขึ้น โครงสร้างของกระบวนการแสดงดังภาพประกอบ 3-13



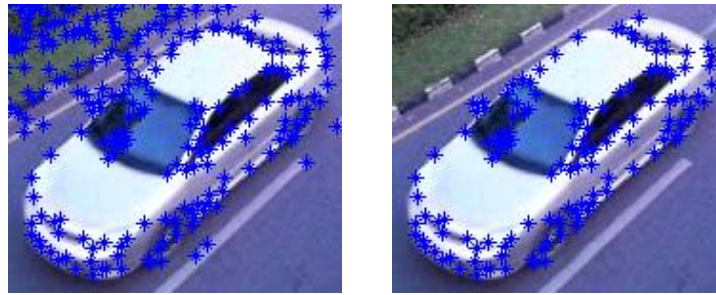
ภาพประกอบ 3-13 Edge Detection

ก่อนการทำกระบวนการ Snake จำเป็นต้องมีการกำหนดค่าเริ่มต้นคือ การกำหนดจุดควบคุม (Control Point) ซึ่งในงานวิจัยชิ้นนี้ได้มีการประยุกต์ทฤษฎีการหามุมที่เกิดขึ้นในภาพจากความเป็นไปได้ของเส้นที่อยู่ในภาพ (Harris Corner Detection) [22] โดยนำมาใช้กับภาพที่ได้จากกล้องวิดีโอและผลที่ได้จากการทำ Background Subtraction ในกระบวนการ **Initialization** ตามสมการ

$$P_t = B_{i_t} \cap H_{I_t} \quad (3-11)$$

เมื่อ B_i คือ ผลลัพธ์จากการทำ Background Subtraction

H_I คือ Harris Corner Detection ของภาพที่ได้จากกล้องวิดีโอ

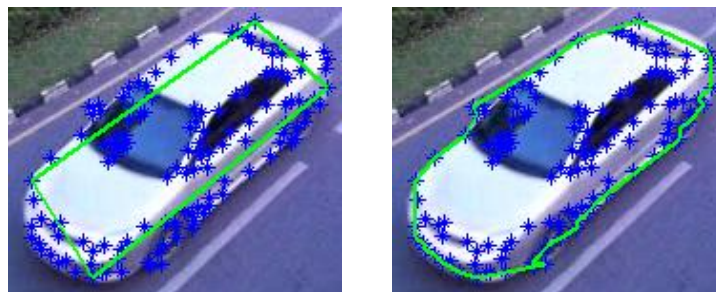


(ก)

(ข)

ภาพประกอบ 3-14 ผลลัพธ์ (ก) Harris Corner Detection และ (ข) ผลลัพธ์จาก
การลบพื้นหลังออกจากวัตถุที่สนใจตามสมการ 3-11

ทำการหาค่าแห่งรอบนอกของมุมที่ได้ 4 จุด (ตำแหน่งที่ใกล้และไกลที่สุดในแต่ละ
แนวแกน) โดยมุมบนซ้ายของภาพเป็นตำแหน่ง 0,0 เพื่อใช้เป็นเส้นอ้างอิงเบื้องต้น และทำการหา
จุดที่เหมาะสมที่อยู่รอบนอกของเส้นอ้างอิงในแต่ละด้าน จุดทั้งหมดที่ได้เลือกไว้จะถูกใช้เป็นจุด
ควบคุม (Control Point) ของเอ็กทิฟคอนทัวร์ (Snake) ในกระบวนการถัดไป



(ก)

(ข)

ภาพประกอบ 3-15 (ก) สร้างเส้นอ้างอิง (ข) เลือกจุดที่เหมาะสมที่อยู่รอบนอกเส้นอ้างอิง

และอีกค่าหนึ่ง คือ การคำนวณพลังงานที่เกิดขึ้นภายในภาพ (Image Energy) ใน
กระบวนการ **Gradient** ซึ่งการคำนวณจะใช้ผลต่างค่าของแสงที่เกิดขึ้นภายในภาพเป็นตัวกำหนด
ขนาดและทิศทาง (Gradient Vector Flow) [23] ในการเคลื่อนที่ของจุดควบคุม (Control Point)
เพื่อให้สามารถเคลื่อนที่เข้าสู่ขอบของวัตถุที่อยู่ในภาพได้ และทำการปรับค่าความแตกต่างของ

ผลลัพธ์ที่ได้เพื่อลดทอนส่วนของข้อมูลที่มีผลกระทบต่อผลการเคลื่อนที่ของจุดควบคุมที่มีค่าน้อย โดยมีการคำนวณตามสมการ

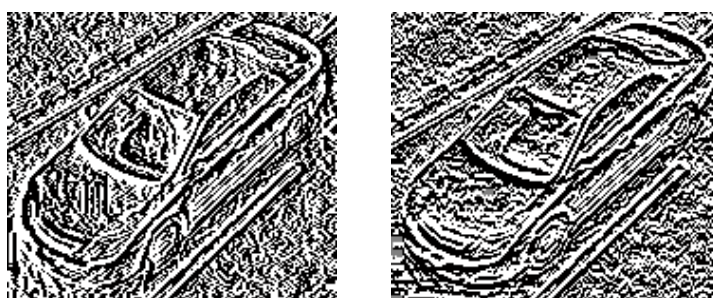
$$GVF(x, y)_t = \sqrt{f_x^2(x, y)_t + f_y^2(x, y)_t} \quad (3-12)$$

$$GVF(x, y)_t = GVF(x, y)_t / \text{MAX}(GVF(x, y)_t) \quad (3-13)$$

$$GVF_{adj}(x, y)_t = \begin{cases} 0; & -0.01 < GVF(x, y)_t < 0.01 \\ GVF(x, y)_t; & \text{others} \end{cases} \quad (3-14)$$

เมื่อ f_x คือ ค่าความแตกต่างของแสงแนวนอนที่เกิดขึ้นในภาพ

f_y คือ ค่าความแตกต่างของแสงแนวตั้งที่เกิดขึ้นในภาพ



(ก)

(ข)

ภาพประกอบ 3-16 (ก) ค่าความแตกต่างในแกนนอน (ข) ค่าความแตกต่างในแกนตั้ง

กระบวนการ **Deformation** ใน Snake เป็นการจัดรูปแบบของจุดควบคุมขณะเคลื่อนที่เข้าสู่ขอบของวัตถุในแต่ละรอบการทำงาน กล่าวคือ ถ้าทำกระบวนการ Deform ซ้ำๆ หลายๆ ครั้ง จะทำให้จุดควบคุมสามารถเคลื่อนที่เข้าสู่ขอบของวัตถุจริงได้มากยิ่งขึ้น สำหรับงานวิจัยชิ้นนี้ได้จากผลจากกระบวนการ **Initialization** มาใช้เป็นจุดควบคุม โดยใช้ผลจากกระบวนการ **Gradient** มาเป็นค่าในการบังคับขนาดและทิศทางในการเคลื่อนที่ของจุดควบคุม (Control Point) โดยใช้สมการ

$$P_{i,t} = \delta E(P_{i,t})_{int} + \gamma E(P_{i,t})_{ext} \quad (3-15)$$

- เมื่อ P คือ จุดควบคุม (Control Point)
 δ คือ ค่าน้ำหนักของพลังงานภายในของจุดควบคุม
 γ คือ ค่าน้ำหนักของพลังงานภายนอก (พลังงานของภาพ)
 i คือ รอบของการทำกระบวนการ **Deformation**
 E_{int} คือ พลังงานภายในของจุดควบคุม (Control Point)
 E_{ext} คือ พลังงานภายนอกของภาพ (GVF)



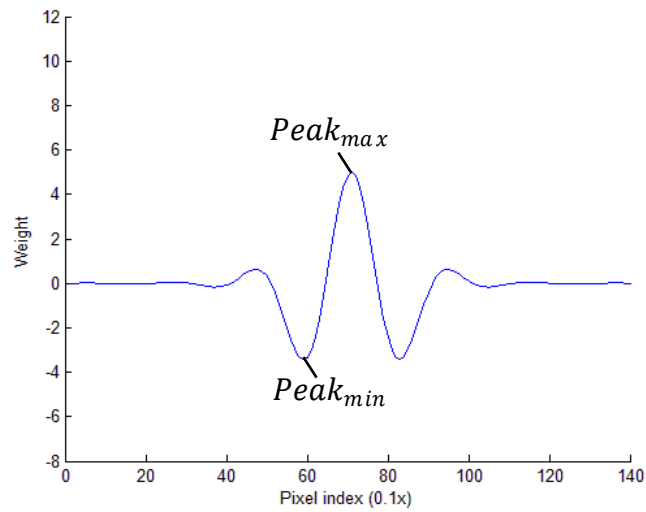
(ก)

(ข)

ภาพประกอบ 3-17 (ก) การกำหนดจุดควบคุม (ข) ผลการเคลื่อนที่ของจุดควบคุม

25 รอบการทำงาน

ในงานวิจัยชิ้นนี้ ได้กำหนดให้ค่าน้ำหนักทั้งสองค่า (δ, γ) มีค่าเท่ากับ 1 ซึ่งหมายถึงให้ค่าพลังงานทั้งหมดที่เกิดขึ้นมีผลโดยตรงกับการเคลื่อนที่ของจุดควบคุม และกำหนดค่า E_{int} ดังภาพประกอบ 3-18



ภาพประกอบ 3-18 พลังงานภายในของจุดควบคุม (E_{int})

การใช้เส้นโค้งลักษณะดังกล่าวเพื่อสร้างความต่อเนื่องของจุดควบคุมทุกๆ จุดให้มีความราบเรียบไม่เกิดการกระโดดมากเกินไป ลักษณะเส้นโค้งจะอยู่ในรูปของ Spline ซึ่งสามารถคำนวณได้ตามสมการ

$$Peak_{min} = -a - 4b \quad (3-16)$$

$$Peak_{max} = 2a + 6b + c \quad (3-17)$$

เมื่อ c คือ ค่าน้ำหนักของจุดควบคุม

a, b คือ ค่าน้ำหนักของจุดควบคุมที่อยู่ข้างเคียง

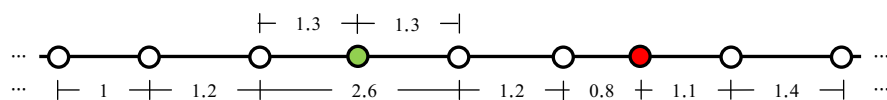
โดยมีกระบวนการ **Interpolation** ในการเพิ่มหรือลดจำนวนของจุดควบคุม เพื่อช่วยในการสร้างความต่อเนื่องของจุดควบคุมที่ใช้ในการเคลื่อนที่เข้าสู่ขอบของวัตถุ โดยมีสมการในการคำนวณหาระยะห่างระหว่างจุดควบคุม

$$dist = \sqrt{\Delta_x^2 + \Delta_y^2} \quad (3-18)$$

ในงานวิจัยชิ้นนี้ได้กำหนดความเป็นไปได้ของระยะห่างระหว่างจุดควบคุมไว้ 2 กรณี

1. ลบจุดควบคุมออกเมื่อมีระยะห่างระหว่างจุดน้อยกว่า 1
2. เพิ่มจุดควบคุมระหว่างกลางเมื่อมีระยะห่างระหว่างจุดมากกว่า 2 โดยมีสมการในการคำนวณจุดควบคุมใหม่

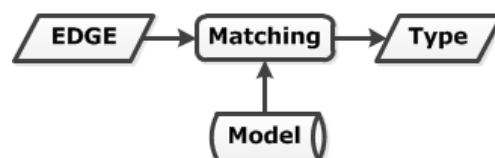
$$y = y_0 + (y_1 - y_0) * (x - x_0) / (x_1 - x_0) \quad (3-19)$$



ภาพประกอบ 3-19 ลักษณะการเพิ่มหรือลดจุดควบคุมของกระบวนการ **Interpolation**

ผลลัพธ์จากการทำกระบวนการ Deform จะได้เป็นจุดที่ถูกคำนวณความเป็นไปได้ว่ามีขอบของวัตถุอยู่ในตำแหน่งนั้น ซึ่งทำให้สามารถนำข้อมูลนี้ไปวิเคราะห์เพื่อหาคัดแยกประเภทของยานพาหนะในการทำงานส่วนถัดไป

3.2.3 Graph Matching เป็นการนำผลที่ได้จากการทำ Edge Detection มาวิเคราะห์เพื่อหาความเป็นไปได้ในการคัดแยกวัตถุเป็นยานพาหนะประเภทต่างๆ โดยมีโครงสร้างของกระบวนการดังภาพประกอบ 3-20

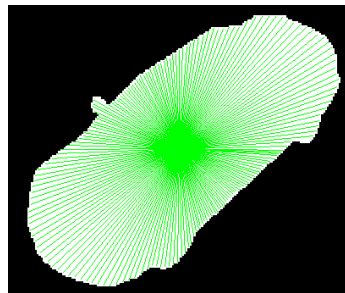


ภาพประกอบ 3-20 Graph Matching

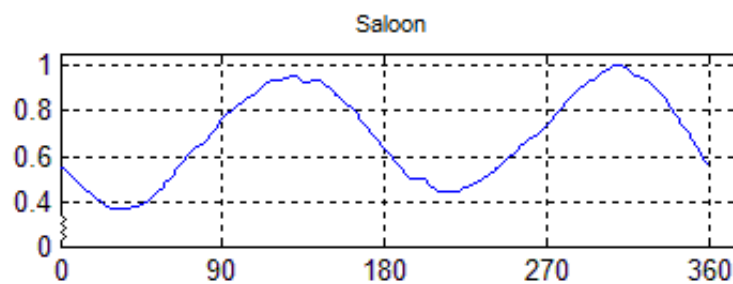
ก่อนทำกระบวนการ **Matching** จำเป็นต้องมีการกำหนดข้อมูลเริ่มต้น ซึ่งเป็นข้อมูลของยานพาหนะแต่ละประเภทที่เก็บระยะห่างระหว่างจุดกึ่งกลางกับขอบของยานพาหนะในแต่ละมุมและ หาค่าที่มากที่สุดเพื่อปรับขนาดของวัตถุให้เป็นกลาง (**Normalization**) ในเรื่องของระยะห่างระหว่างกล้องวิดีโอกับวัตถุที่ต้องการ นำมาใช้เป็นข้อมูลอ้างอิงในกระบวนการ

$$M = R_{\theta} / \text{MAX}(R_{\theta}) \quad (3-20)$$

เมื่อ R คือ ระยะห่างระหว่างจุดกึ่งกลางกับขอบของยานพาหนะ
 θ คือ มุมที่ใช้ในการหาระยะห่างมีค่า 0 - 359



ภาพประกอบ 3-21 การหาระยะห่างระหว่างจุดกึ่งกลางกับขอบของยานพาหนะในแต่ละมุม



ภาพประกอบ 3-22 ข้อมูลของยานพาหนะในรูปแบบกราฟ

ในกระบวนการ **Matching** นำข้อมูลที่ได้จากการทำ Edge Detection มาทำการหมุนตำแหน่งของจุดใหม่ เพื่อให้จุดแรกมีจุดเริ่มที่ 0 องศาในตำแหน่งเดียวกับ (แกนนอนเท่ากับ 0) จากนั้นทำการคำนวณจุดใหม่ในแต่ละองศาตามสมการ 3-20 และคำนวณหาความแตกต่างกับค่าที่

อยู่ในระบบ เพื่อหาค่าความแตกต่างที่น้อยที่สุด โดยคิดพื้นที่ของความแตกต่างที่เกิดขึ้นตามสมการ 3-21 ผลลัพธ์ที่ได้เป็นประเภทของยานพาหนะ

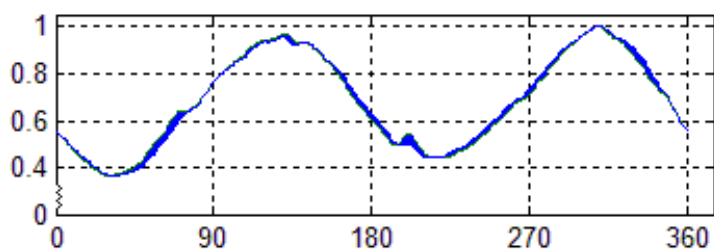
$$\text{Car Type} = \min_{\mu} (\sum_{\theta=0}^{359} |M_{\mu,\theta} - P_{\theta}|) \quad (3-21)$$

เมื่อ M คือ ค่าของโมเดลตัวอย่างในระบบ

P คือ จุดควบคุม (Control Point)

θ คือ มุมที่ใช้ในการหาระยะห่างมีค่า 0 – 359

μ คือ ประเภทของโมเดลในระบบ



ภาพประกอบ 3-23 พื้นที่ของความแตกต่างที่เกิดขึ้นระหว่างกราฟสองเส้น

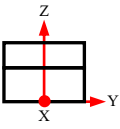
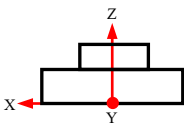
บทที่ 4

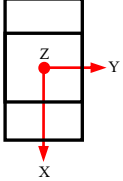
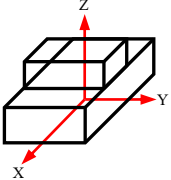
ผลการวิจัย

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลลัพธ์จากการทดลองซึ่งได้จากการเก็บข้อมูลเพื่อแสดงให้เห็นว่าระบบที่ได้พัฒนาขึ้นนั้นมีผลการทำงานเป็นอย่างไร ในส่วนของการทดสอบระบบ จะทำการทดสอบด้วยลักษณะของรถที่มีรูปร่างแตกต่างกัน และสภาพแวดล้อมที่มีความหลากหลาย เช่น สภาพที่มีแสงแดดจัด, สภาพที่มีร่มเงาบนวัตถุ, สภาพที่มีแสงแดดน้อยลง เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมกับการทำงานของระบบและนำผลการทดสอบมาเปรียบเทียบเพื่อตรวจสอบประสิทธิภาพที่เพิ่มขึ้นในด้านความถูกต้องแม่นยำ หลังจากนั้นจะเป็นการวิเคราะห์และสรุปผลการทดลองเพื่อให้เข้าใจได้ง่ายและเป็นแนวทางในการศึกษาและนำไปพัฒนาต่อยอดต่อไป

4.1 การติดตั้งกล้องวิดีโอ

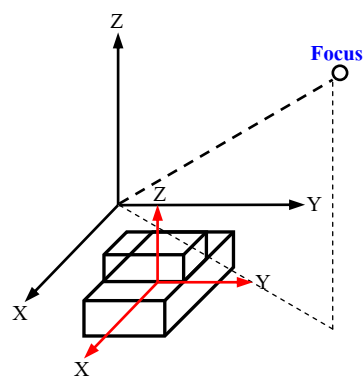
เมื่อมองถึงการใช้ในสภาพแวดล้อมจริงแล้ว จำเป็นต้องคำนึงถึงวิธีการติดตั้งที่สะดวกสามารถมองเห็นยานพาหนะได้ทั้งคัน และลักษณะของยานพาหนะในภาพมีรูปร่างที่ชัดเจน ซึ่งทำให้ลักษณะมุมมองหลายรูปแบบเกิดข้อดีและข้อด้อย ดังนี้

มุมมอง	ลักษณะวัตถุ	การติดตั้งกล้อง	รูปร่างของวัตถุ
ด้านหน้า		ไม่สามารถติดตั้งได้จริง	รูปร่างของวัตถุไม่ชัดเจน
ด้านข้าง		สิ้นเปลืองพื้นที่ในการใช้งาน	รูปร่างของวัตถุชัดเจน

ด้านบน		ติดตั้งได้ง่าย	รูปร่างของวัตถุไม่ชัดเจน
แนวทแยง		ติดตั้งได้ง่าย	รูปร่างของวัตถุชัดเจน

ตาราง 4-1 การเปรียบเทียบลักษณะการติดตั้งกล้องในแต่ละรูปแบบ

มุมมองด้านหน้า ไม่สามารถใช้งานจริงได้ เนื่องจากทิศทางของยานพาหนะจะเคลื่อนเข้ามา และไม่สามารถมองเห็นรูปร่างของวัตถุได้อย่างชัดเจน หามุมมองด้านบน ติดตั้งได้ง่าย แต่ไม่สามารถมองเห็นรูปร่างของวัตถุได้อย่างชัดเจนเช่นกัน มุมมองด้านข้าง สามารถมองเห็นรูปร่างของวัตถุได้อย่างชัดเจน แต่ระยะระหว่างกล้องวิดีโอกับยานพาหนะต้องห่างกันพอสมควร ทำให้สิ้นเปลืองพื้นที่ในการใช้งาน จึงเป็นที่มาในการเลือกมุมมองแนวทแยง เพราะการติดตั้งที่สะดวกและด้านข้าง สามารถมองเห็นรูปร่างของวัตถุได้อย่างชัดเจน แสดงดังภาพประกอบ 4-1



ภาพประกอบ 4-1 ลักษณะการติดตั้งกล้อง

และระยะห่างในการติดตั้งเพื่อที่สามารถตรวจจับยานพาหนะได้ทั้งหมด โดยในงานวิจัยนี้ใช้ระยะห่างระหว่างถนนไปถึงตัวกล้อง 6 เมตร และจากกลางสะพานไปถึงตัวกล้อง 6

เมตร มุมเอียงและมุมก้มของกล้องวิดีโอ 45 องศา ดังภาพประกอบ 4-2 ซึ่งทำให้ลักษณะการติดตั้งนั้นตรวจจับวัตถุได้ง่าย และการคำนวณขนาดของวัตถุจะมีการหาค่าเฉลี่ย ทำให้วัตถุที่มีขนาดใหญ่หรือเล็กนั้นมีผลกับการใช้งานเพียงเล็กน้อย



ภาพประกอบ 4-2 รูปร่างของยานพาหนะที่ได้จากการติดตั้งกล้องในงานวิจัย

4.2 การบันทึกวิดีโอ

ในการทดลองของงานวิจัยชิ้นนี้ ได้ทำการบันทึกวิดีโอ 4 สถานที่โดยมีการติดตั้งกล้องในลักษณะเดียวกันเพื่อใช้เป็นตัวอย่างในการทดลอง โดยมีความละเอียดในการบันทึกภาพ 640x360 พิกเซล, ความเร็วในการบันทึกภาพ 30 frame/second ปิดฟังก์ชันการทำระบบออโต้โฟกัส (Auto Focus) และไวท์บาลานซ์ (White Balance)



ภาพประกอบ 4-3 ผลจากการบันทึกวิดีโอในแต่ละสถานที่

4.3 การสร้างข้อมูลเริ่มต้นให้กับระบบ

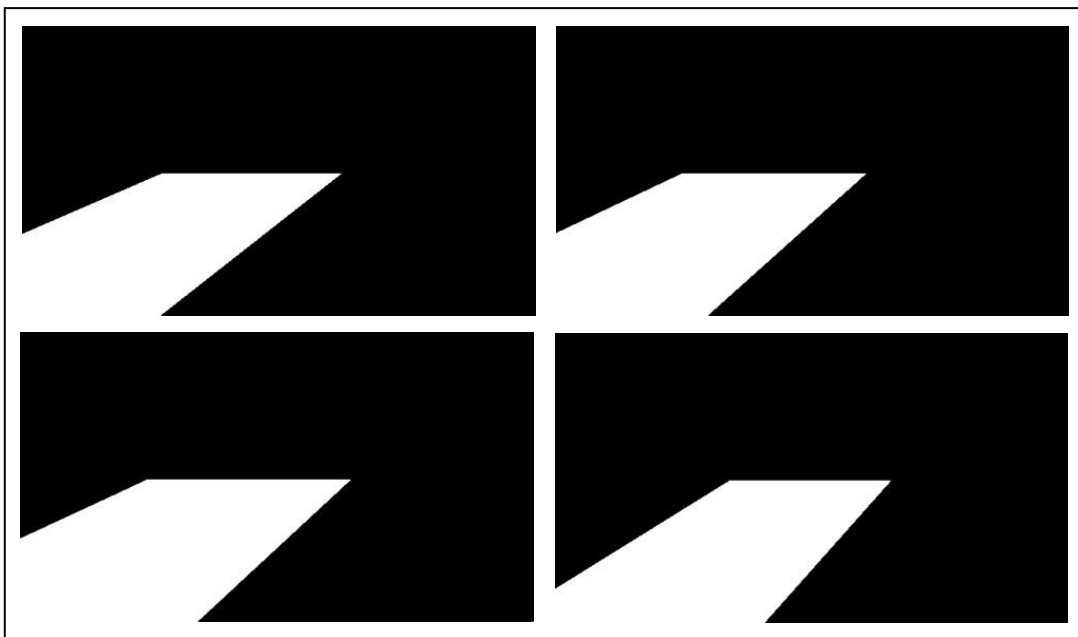
เพื่อให้ระบบสามารถทำงานได้อย่างถูกต้องนั้น ในงานวิจัยชิ้นนี้จำเป็นต้องกำหนดข้อมูลพื้นฐานในระบบสามค่า คือ

4.3.1 การเรียนรู้ภาพพื้นหลัง ได้นำภาพจำนวน 20 ภาพที่ได้จากวิดีโอ ภายใต้เงื่อนไขไม่มีวัตถุอยู่ในบริเวณที่สนใจภายในภาพที่นำมาสร้างภาพพื้นหลัง มาใช้ในการหาค่าเฉลี่ยเพื่อใช้ในการสร้างข้อมูลของสภาพแวดล้อมเริ่มต้นให้กับระบบ

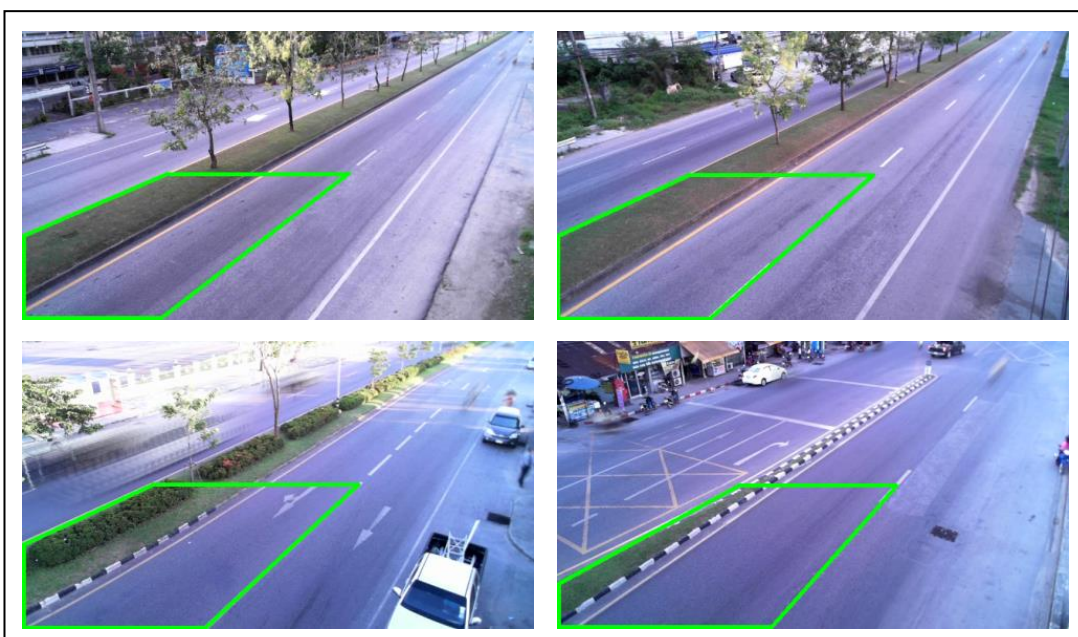


ภาพประกอบ 4-4 ผลการเรียนรู้ภาพพื้นหลังของระบบในแต่ละสถานที่

4.3.2 การกำหนดบริเวณที่สนใจในภาพ สร้างเวกเตอร์ข้อมูลของบริเวณที่สนใจให้กับระบบสำหรับวิดีโอในแต่ละสถานที่ เมื่อมีวัตถุเข้ามาจะทำการตรวจหารูปร่างของวัตถุที่เกิดขึ้นเพื่อส่งข้อมูลให้กระบวนการอื่นๆ ซึ่งเป็นการลดปริมาณที่ต้องใช้ในการคำนวณที่ไม่มีความจำเป็นออก



ภาพประกอบ 4-5 ภาพบริเวณที่สนใจสำหรับวิดีโอในแต่ละสถานที่

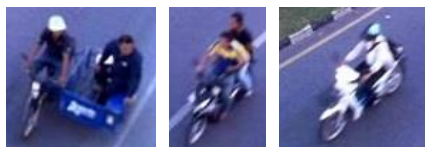


ภาพประกอบ 4-6 บริเวณที่สนใจของระบบเมื่อเริ่มทำงาน

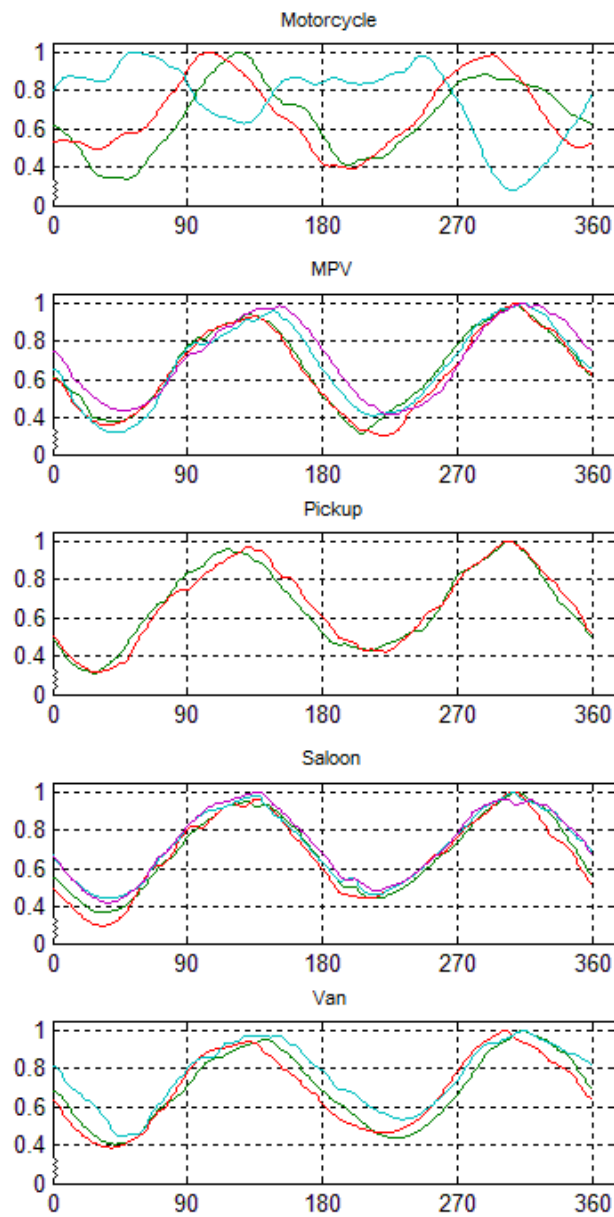
4.3.3 สร้างกราฟของยานพาหนะที่เป็นไปได้ในระบบ ในงานวิจัยชิ้นนี้ได้แบ่งลักษณะของยานพาหนะออกเป็น 5 ประเภทตามจำนวนที่นั่งและลักษณะการบรรทุก คือ รถจักรยานยนต์ส่วนบุคคล, รถฟอร์จูนเนอร์, รถกระบะ, รถเก๋ง, และรถตู้ แสดงดังตารางประกอบ 4-2

ประเภท	ชื่อ	รายละเอียด	รูปแบบยานพาหนะ
1	Motorcycle (Moto)	ประมาณ 2 ที่นั่ง	รถจักรยานยนต์ส่วนบุคคล
2	Multi Personal Vehicle (MPV)	ประมาณ 7 ที่นั่ง	รถฟอร์จูนเนอร์, รถกระบะเสริมที่นั่ง
3	Pickup	ประมาณ 4 ที่นั่ง + บรรทุก	รถกระบะ
4	Saloon	ประมาณ 4 ที่นั่ง	รถเก๋ง
5	Van	ประมาณ 11 ที่นั่ง	รถตู้/รถตู้, รถตู้

ตาราง 4-2 รายละเอียดการแบ่งประเภทของยานพาหนะ



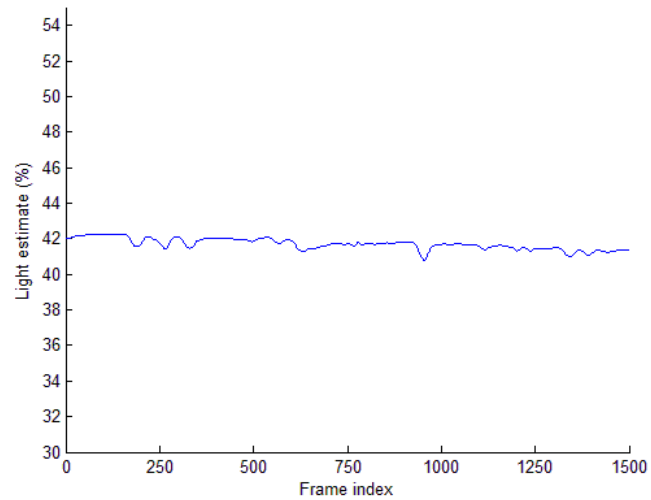
ภาพประกอบ 4-7 ตัวอย่างของยานพาหนะที่ใช้สร้างกราฟ



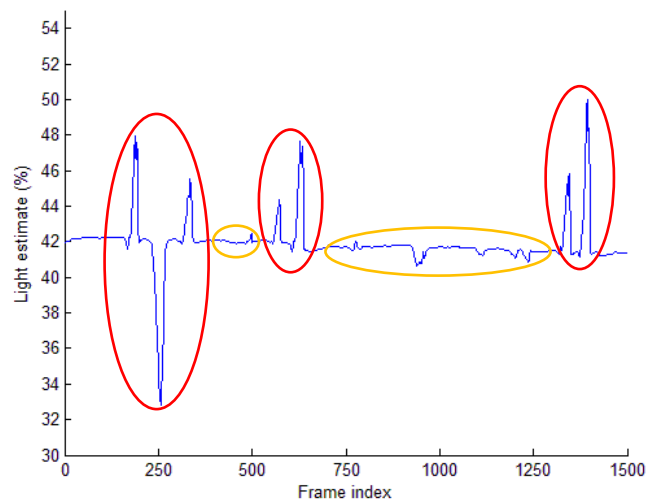
ภาพประกอบ 4-8 กราฟที่ได้จากการวิเคราะห์ตัวอย่างของยานพาหนะ

4.4 วิเคราะห์กระบวนการ

4.4.1 การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแสงของภาพ เนื่องจากลักษณะการเปลี่ยนแปลงที่เกิดจากสภาพแวดล้อมหรือเกิดจากยานพาหนะในบริเวณที่สนใจ



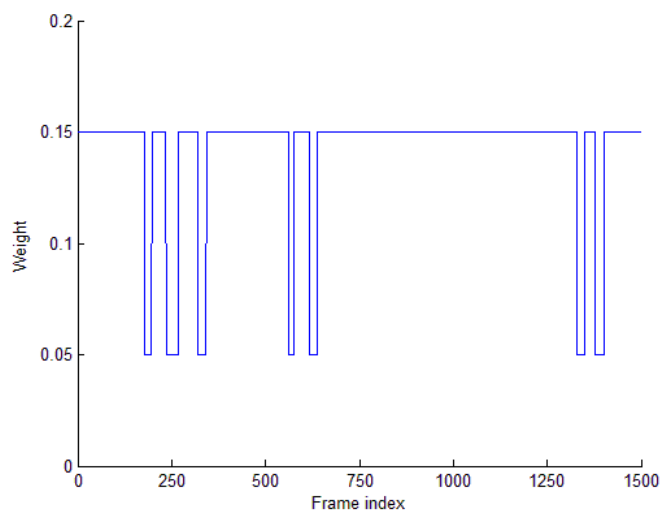
ภาพประกอบ 4-9 กราฟปริมาณแสงของบริเวณที่สนใจในภาพพื้นหลังในระบบ



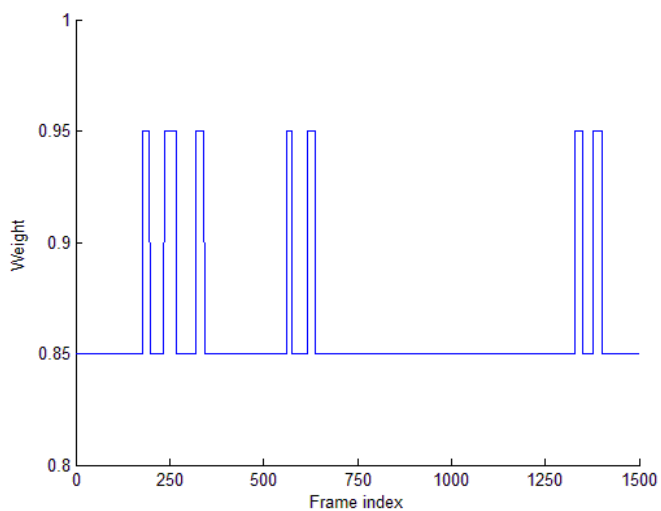
ภาพประกอบ 4-10 กราฟปริมาณแสงของบริเวณที่สนใจในภาพวิดีโอ

จากภาพประกอบ 4-10 สามารถวิเคราะห์ลักษณะของปริมาณแสงที่เกิดขึ้นได้เป็น 2 กรณี คือ ปริมาณแสงเกิดการเปลี่ยนแปลงจากพาหนะเข้ามาในบริเวณที่สนใจ (วงสีแดง) และ ปริมาณแสงเกิดการเปลี่ยนแปลงจากสภาพแวดล้อมโดยรอบ (วงสีส้ม)

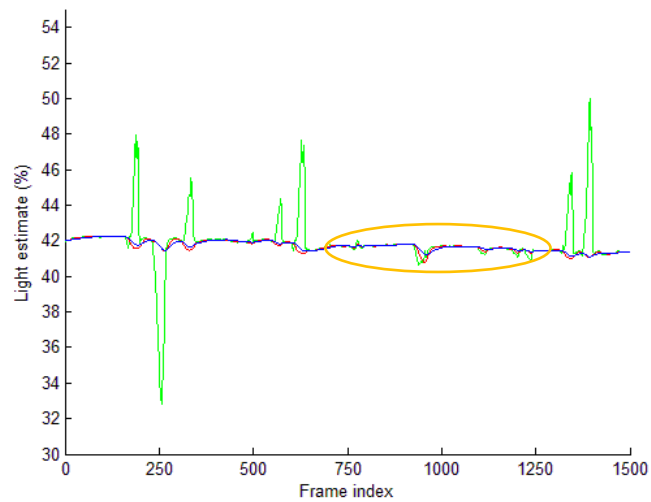
4.4.2 การประยุกต์การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแสงของภาพ เพื่อสามารถไปกำหนดค่าความน่าเชื่อถือที่ใช้ในการแก้ไขภาพพื้นหลัง ตามสมการ 3-5 (α, β) ให้เปลี่ยนแปลงตามลักษณะของปริมาณแสงที่เกิดขึ้นได้



ภาพประกอบ 4-11 กราฟค่าความน่าเชื่อถือของภาพที่ได้จากกล้องวิดีโอ



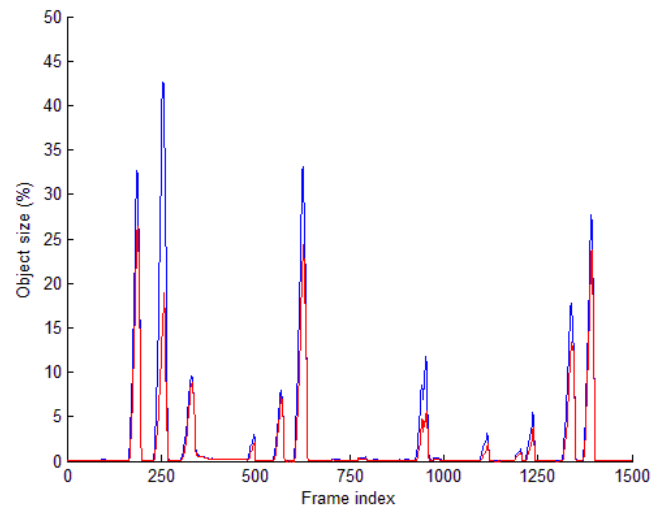
ภาพประกอบ 4-12 กราฟค่าความน่าเชื่อถือของภาพพื้นหลังในระบบ



ภาพประกอบ 4-13 กราฟปริมาณแสงของภาพพื้นหลังในระบบ

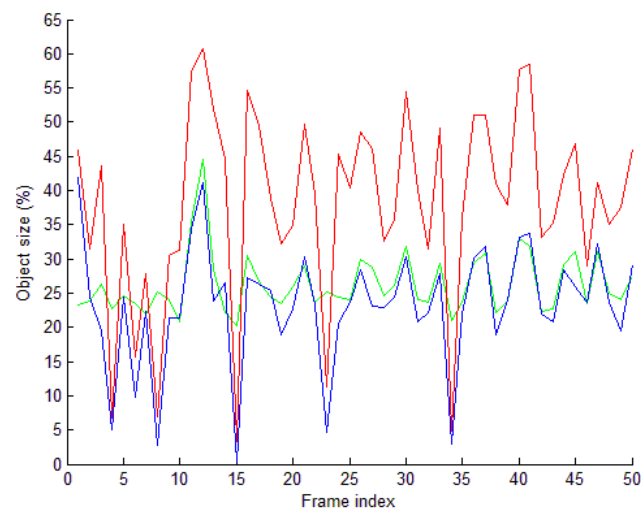
เมื่อนำข้อมูลจากภาพประกอบ 4-13 (เส้นสีเขียว) มาใช้ในการเทียบข้อมูลแล้ว (วงสีส้ม) ส่วนที่เกิดการเปลี่ยนแปลงของแสงอย่างฉับพลัน (เส้นสีแดง) การที่ระบบสามารถวิเคราะห์ปริมาณแสงและกำหนดค่าความน่าเชื่อถือที่ใช้ในการแก้ไขภาพพื้นหลัง สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากกว่าการใช้ค่าคงที่ในการกำหนดค่าความน่าเชื่อถือที่นำไปใช้ในการแก้ไขภาพพื้นหลังในระบบ (เส้นที่น้ำเงิน) เมื่อนำไปใช้ในการตรวจจับวัตถุที่อยู่ในภาพที่ได้จากกล้องวิดีโอ

4.4.3 การกรองเงาของวัตถุที่อยู่ในภาพ เพื่อใช้ในการเลือกส่วนที่ไม่มีความเกี่ยวข้องกับวัตถุออกจากผลลัพธ์ ตามสมการ 3-8, 3-9, 3-10 ทำให้สามารถล้อมกรอบส่วนที่วัตถุได้อย่างมีประสิทธิภาพ



ภาพประกอบ 4-14 กราฟเปรียบเทียบขนาดของวัตถุ

จากภาพประกอบ 4-14 เป็นการเปรียบเทียบขนาดของวัตถุ (เส้นสีน้ำเงิน) และผลลัพธ์ของขนาดของวัตถุที่ได้จากการกรองส่วนที่เป็นเงาออก (เส้นสีแดง) จะเห็นได้ว่าผลที่ได้จากการกรองเงาออกนั้น จะมีขนาดของผลลัพธ์ที่เล็กกว่าขนาดของวัตถุที่ไม่ได้กรองเงาออก

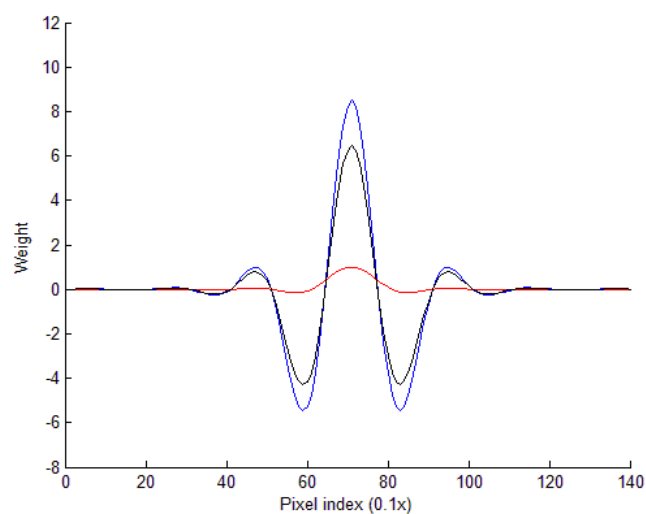


ภาพประกอบ 4-15 กราฟเปรียบเทียบผลจากการตรวจจับวัตถุ

เมื่อนำข้อมูลที่ใช้การหาวัตถุด้วยสายตา (เส้นสีเขียว) 50 ตัวอย่างมาเปรียบเทียบในการตรวจจับวัตถุ การที่ระบบสามารถกรองเงาออกจากผลลัพธ์ที่ได้จากการตรวจจับวัตถุ (เส้นสีน้ำเงิน)

จะมีขนาดที่ใกล้เคียงมากกว่าระบบที่ไม่สามารถกรองเงาออกจากผลลัพธ์ที่ได้จากการตรวจจับวัตถุ (เส้นสีแดง)

4.4.4 พลังงานภายในจุดควบคุม (E_{int}) ที่ใช้ในกระบวนการการตรวจจับของวัตถุที่ไม่สามารถบ่งบอกรูปร่างได้ ตามสมการ 3-15 ซึ่งในงานวิจัยชิ้นนี้ ได้ทดลองโดยกำหนดพฤติกรรมของพลังงานภายในจุดควบคุมไว้ 3 ลักษณะดังภาพประกอบ 4-16

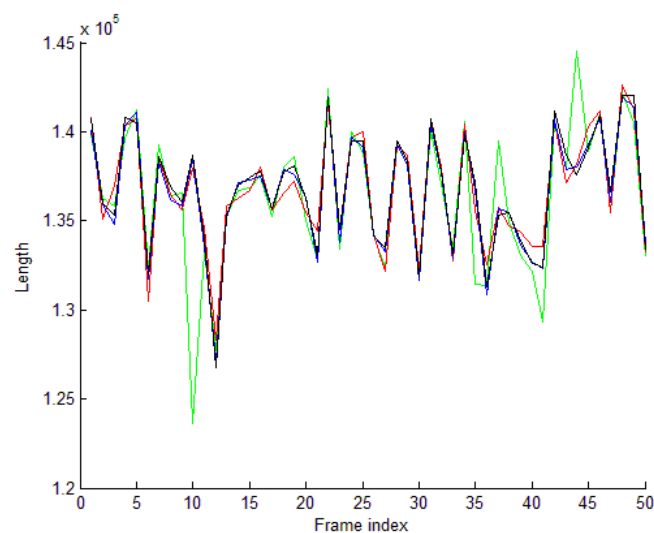


ภาพประกอบ 4-16 ลักษณะของค่าพลังงานภายในของจุดควบคุม

ลักษณะการให้ค่าพลังงานภายในกับจุดควบคุม **เส้นสีแดง**เป็นการเน้นน้ำหนักของจุดที่อยู่กึ่งกลาง ($a = 0, b = 0, c = 1$) **เส้นสีน้ำเงิน**เป็นการกระจายน้ำหนักโดยเน้นน้ำหนักของจุดที่อยู่ข้างเคียง ($a = 0.75, b = 1, c = 1$) และเส้นสีดำ ($a = -0.25, b = 1, c = 1$) เป็นการกระจายน้ำหนักโดยเน้นน้ำหนักของจุดที่อยู่ตรงกลางมากกว่าจุดที่อยู่ข้างเคียง



ภาพประกอบ 4-17 ผลจากการทดสอบการหาขอบของวัตถุ

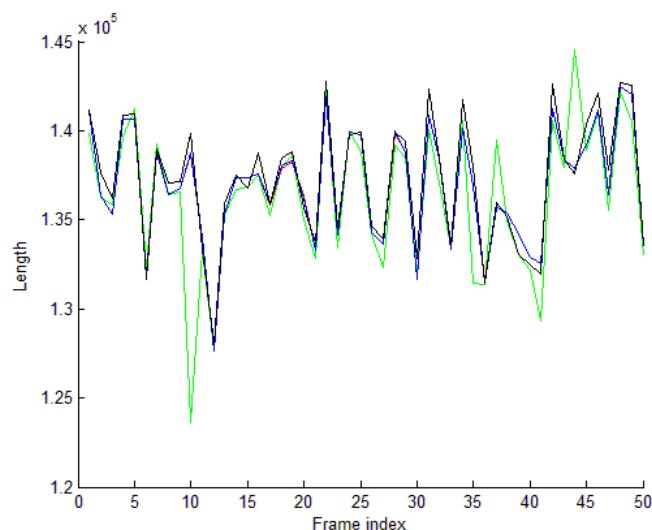


ภาพประกอบ 4-18 กราฟเปรียบเทียบประสิทธิภาพพลังงานภายในของจุดควบคุม

เมื่อนำข้อมูลที่ใช้การหาวัตถุด้วยสายตา (เส้นสีเขียว) 50 ตัวอย่างมาเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการตรวจจับขอบของวัตถุ การให้ค่าน้ำหนักกับจุดควบคุม (เส้นสีแดง) จะทำให้เกิดการกระโดดของจุดที่มากจนเกินไป ซึ่งผลที่ได้จะทำให้ขอบของวัตถุที่ตรวจจับได้ไม่มีความราบเรียบผลที่ได้จะมีความคลาดเคลื่อนกับความเป็นจริง การให้ค่าน้ำหนักกับจุดควบคุมและจุดควบคุมที่อยู่ข้างเคียง (เส้นสีน้ำเงิน) ซึ่งทำให้ผลของจุดควบคุมข้างเคียงมีน้ำหนักมากเกินไป การตรวจจับขอบของวัตถุมีความราบเรียบมากกว่า ให้ผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงกับความเป็นจริง

มากกว่า แต่จะเกิดความผิดพลาดกับการตรวจจับลักษณะขอบที่เป็นมุมของวัตถุไม่ได้ และ การให้ค่าน้ำหนักกับจุดควบคุมและจุดควบคุมที่อยู่ข้างเคียง (เส้นสีดำ) ซึ่งกำหนดค่าน้ำหนักของจุดควบคุมข้างเคียงไว้เล็กน้อย ทำให้ได้ผลของการตรวจจับขอบของวัตถุที่มีประสิทธิภาพมากกว่าทั้งสองแบบ สามารถตรวจจับส่วนที่เป็นมุมของวัตถุได้ และให้ผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงกับวัตถุจริงมากที่สุด

4.4.5 พลังงานภายนอก (E_{ext}) ที่ใช้ในกระบวนการตรวจจับของวัตถุตามสมการ 3-15 ซึ่งในงานวิจัยชิ้นนี้ ได้ทดลองโดยกำหนดพฤติกรรมของพลังงานภายในจุดควบคุมไว้ 3 ลักษณะ ซึ่งให้ผลลัพธ์ดังภาพประกอบ 4-19



ภาพประกอบ 4-19 กราฟเปรียบเทียบประสิทธิภาพพลังงานภายนอกจากภาพ

เมื่อนำข้อมูลที่ใช้การหาวัตถุด้วยสายตา (เส้นสีเขียว) 50 ตัวอย่างมาเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการตรวจจับขอบของวัตถุ การที่พลังงานภายนอกมีเพียงทิศทางของการเดิน การเคลื่อนที่ของจุดควบคุมมีขนาดเป็น 1 (เส้นสีดำ) จะทำให้การเคลื่อนที่ของจุดควบคุมมีความเร็วมาก แต่อย่างไรก็ตาม ความผิดพลาดที่เกิดขึ้นมีมากเช่นกัน ซึ่งไม่เหมาะสมกับการใช้งานในสภาวะแวดล้อมในงานวิจัยชิ้นนี้ พลังงานภายนอกที่มีการปรับปรุงค่าโดยการหารด้วยค่าที่มากที่สุด เพื่อลดขนาดในการเคลื่อนที่ของจุดควบคุม (เส้นสีน้ำเงิน) ให้ผลตอบสนองที่ดีกว่า สามารถทำงานบนสภาพแวดล้อมในงานวิจัยชิ้นนี้ได้ แต่อย่างไรก็ดีเพราะขนาดการเคลื่อนที่ที่มีขนาดเล็ก ทำให้การ

ทำงานในการจัดรูปแบบของจุดควบคุมตามสมการ 3-15 ต้องใช้หลายรอบการทำงานเช่นกัน และพลังงานภายนอกที่มีการปรับปรุงค่าโดยการหารด้วยค่าที่มากที่สุด และกรองส่วนที่มีขนาดของการเคลื่อนที่ของจุดควบคุมที่มีค่าน้อยมากๆ ออก (เส้นสีแดง) ซึ่งให้ผลลัพธ์ที่มีความใกล้เคียงกับพลังงานภายนอกที่มีการปรับปรุงค่าโดยการหารด้วยค่าที่มากที่สุด เพื่อลดขนาดในการเคลื่อนที่ของจุดควบคุม (เส้นสีน้ำเงิน) มาก และเพิ่มโอกาสของการหยุดการเคลื่อนที่ของจุดควบคุม ทำให้มีรอบของการทำงานที่น้อยลงและกระบวนการในการคำนวณมีปริมาณที่ลดลง

4.4.6 การตัดแยกประเภทของยานพาหนะ เนื่องจากลักษณะการติดตั้งกล้องแบบแนวทแยงของระบบเพื่อให้ได้มาซึ่งลักษณะที่ต้องการ ทำให้การใช้วิธีการหาอัตราส่วนของวัตถุไม่สามารถวิเคราะห์ได้ เนื่องจากอัตราส่วนของยานพาหนะในแนวทแยงมีค่าใกล้เคียงกันมาก การใช้ลักษณะรูปทรงของวัตถุจึงเป็นทางออกของการวิเคราะห์เพื่อการตัดแยกประเภทของยานพาหนะที่ดีกว่า

4.5 ผลการทดลอง

วิเคราะห์ค่าต่างๆ ที่ได้จากการทดลองเพื่อนำไปใช้ในระบบกับสภาพแวดล้อมจริง โดยช่วงเวลาที่ทำการทดสอบ จะอยู่ในช่วง 16.00 นาฬิกา จนถึง 18.30 นาฬิกา ซึ่งเป็นช่วงที่มีการจราจรหนาแน่นและมีปริมาณแสงที่ไม่คงที่มากที่สุด



ภาพประกอบ 4-20 ตัวอย่างผลของการทดลองระบบ

	<i>Real</i>	<i>Moto</i>	<i>MPV</i>	<i>Pickup</i>	<i>Saloon</i>	<i>Van</i>	<i>FALSE</i>
<i>Moto</i>	393	375	8	4	3	0	3
<i>MPV</i>	438	0	423	0	10	3	2
<i>Pickup</i>	695	0	37	638	14	0	6
<i>Saloon</i>	1024	0	11	1	1008	0	4
<i>Van</i>	104	0	0	0	0	104	0

ตาราง 4-3 ผลของการทดลองระบบ

	<i>Moto</i>	<i>MPV</i>	<i>Pickup</i>	<i>Saloon</i>	<i>Van</i>
<i>Real</i>	393	438	695	1024	104
<i>Predict</i>	375	479	643	1035	107
<i>True</i>	375	423	638	1008	104
<i>Success</i>	95.42%	96.58%	91.80%	98.44%	100.00%

ตาราง 4-4 เปอร์เซนต์ความสำเร็จของการทดลองระบบ

จากตาราง 4-3 เป็นตารางที่ใช้ในการคัดแยกประเภทของยานพาหนะ โดยมีการคัดแยกสองลักษณะ คือ การคัดแยกด้วยสายตา (คอลัมน์ *Real*) และผลจากการคัดแยกของระบบ และตาราง 4-4 เป็นตารางเปอร์เซนต์ความสำเร็จในการทำงานของระบบในการคัดแยกยานพาหนะ ในแต่ละประเภท ซึ่งผลลัพธ์ของการทำงานอาจจะมีผลผิดพลาดตามสภาพแวดล้อมและลักษณะของยานพาหนะ

4.6 ความผิดพลาดในการทำงานของระบบ

การทำงานที่ผิดพลาดอันเนื่องมาจากยานพาหนะ สามารถแบ่งออกได้เป็น

1. ยานพาหนะ มีการเบี่ยงเลนเข้ามาสู่บริเวณที่สนใจ
2. เงาสะท้อนบนยานพาหนะที่เป็นสีดำ
3. ขนาดของยานพาหนะใหญ่เกินกว่าบริเวณที่สนใจภายในภาพ

4. การซ้อนทับกันของยานพาหนะเนื่องจากขนาดหรือการเปลี่ยนเลน
5. ยานพาหนะวิ่งชิดกันมาจนเกินไป

โดยแสดงดั่งภาพประกอบ 4-21 ที่เกิดจากการซ้อนทับกันของยานพาหนะในเฟรมที่ 7357 ในวิดีโอการทดลองที่ 3 และยานพาหนะวิ่งชิดกันมาจนเกินไปในเฟรมที่ 3749 ในวิดีโอการทดลองที่ 3



ภาพประกอบ 4-21 การทำงานที่ผิดพลาดของระบบ

บทที่ 5

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยชิ้นนี้นำเสนอระบบตรวจจับและคัดแยกประเภทของยานพาหนะจากกล้องวิดีโอ โดยในส่วนของบทนี้จะกล่าวถึงผลสรุปผลข้อเสนอแนะที่ได้จากการทำงานวิจัย

5.1 บทสรุป

งานวิจัยชิ้นนี้ได้พัฒนาและออกแบบระบบให้พร้อมใช้งานในสภาพแวดล้อมจริง โดยนำเสนอวิธีการตรวจจับและคัดแยกประเภทของยานพาหนะบนท้องถนนด้วยกล้องวิดีโอ ดังนี้

1. การคำนวณภาพปริมาณแสงที่เปลี่ยนแปลงในแต่ละช่วงเวลาที่เกิดขึ้นในภาพ
2. การประยุกต์สมการในการคำนวณปริมาณแสงเข้าไปในระบบ เพื่อสร้างพารามิเตอร์ความน่าเชื่อถือของภาพพื้นหลังในระบบ
3. ปรับค่าความเหมาะสมของค่าความน่าเชื่อถือในการแก้ไขภาพพื้นหลังในระบบ
4. เพิ่มกระบวนการกรองข้อมูลในส่วนที่เป็นเงาของวัตถุในผลลัพธ์ในการทำงาน
Background Subtraction
5. ปรับค่าพลังงานในกระบวนการตรวจจับวัตถุภายในภาพ ให้เหมาะสมกับการตรวจจับวัตถุที่ไม่สามารถบ่งบอกรูปร่างในลักษณะของยานพาหนะ
6. สร้างลักษณะโดยรวมของขอบวัตถุเพื่อแยกเป็นยานพาหนะประเภทต่างๆ

5.2 สรุปและวิเคราะห์ผลการดำเนินงาน

งานวิจัยชิ้นนี้นำเสนอระบบตรวจจับและคัดแยกประเภทของยานพาหนะจากกล้องวิดีโอ ซึ่งระบบสามารถระบุประเภทของยานพาหนะที่อยู่ในบริเวณที่สนใจภายในภาพ โดยการประยุกต์ใช้อัลกอริทึมเพื่อแก้ปัญหาคำการใช้งานในสภาพแวดล้อมจริงที่ได้รับผลกระทบจากสิ่งต่างๆ เช่น สภาพแสงในแต่ละช่วงเวลา การเคลื่อนที่ของเมฆ และอื่นๆ โดยผลลัพธ์ของการวัด

ประสิทธิภาพในการทำงาน สูงสุดคือยานพาหนะประมาณ 4 ที่นั่ง (Saloon) ที่ 98.44% และต่ำสุดคือยานพาหนะประมาณ 4 ที่นั่งรวมบรรทุก (Pickup) ที่ 91.80% เนื่องจากยานพาหนะประเภทนี้มีการบรรทุกสิ่งของ ทำให้รูปร่างโดยรอบนั้นเกิดการเปลี่ยนแปลง และเนื่องจากลักษณะการเลือกอุปกรณ์ในการใช้งานและวิธีติดตั้ง ทำให้การทำงานที่ผิดพลาดอันเนื่องมาจากการที่ยานพาหนะเกิดการชนทับกันนั้น เป็นตัวอย่างทดสอบที่ไม่สามารถแก้ไขได้

5.3 ข้อเสนอแนะ

ผลลัพธ์ที่ได้จากงานวิจัยชิ้นนี้สามารถนำไปต่อยอดได้หลายๆ ลักษณะ เช่น การวิเคราะห์ปริมาณการใช้งานของยานพาหนะในแต่ละพื้นที่ การสร้างระบบจัดเก็บค่าทางด่วนและอื่นๆ แต่เนื่องจากงานวิจัยชิ้นนี้ยังไม่ได้พัฒนาระบบให้ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพในด้านความเร็วในการทำงาน ด้วยความเร็วในการประมวลผล 8 เฟรมต่อวินาที จึงไม่สามารถรองรับกับยานพาหนะที่แล่นมาด้วยความเร็วสูงมากได้ การได้รับการพัฒนา เช่น การเขียนระบบด้วยภาษาที่มีความเร็วในการประมวลผลมากกว่า Matlab จะเป็นการเพิ่มทั้งประสิทธิภาพและประสิทธิผลให้กับงานวิจัยนี้ได้

เอกสารอ้างอิง

- [1] J.Jian-wei, Q.Xiao-xuan, H.Xiao-wei, and Y.Zhong-hu, "An Approach of Automatic Vehicle Classification by Acoustic Wave Based on PCA-RBF", *Information Engineering and Computer Science (ICIECS)*, pp. 1-4, Dec. 2009
- [2] พันธุ์พงษ์ คงกระพันธ์, มนต์รี กาญจนเดชะ, "Classification of Moving Vehicle Using Image Processing Technique", การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า (EECON), Oct. 2005
- [3] D. Tian-min, L. Baichuan, and Y. Yong, "Automobile Classification Based on GVF-Snake Model & Inertia Ellipse Principle", *Intelligent Control and Automation, 2008. WCICA 2008. 7th*, pp. 3005-3008, June 2008.
- [4] L. Xiaobin, F. Hui and X. Jianmin, "Automatic Vehicle Classification Based on Video with BP Neural Networks", *Wireless Communications, Networking and Mobile Computing, 2008. WiCOM '08. 4th*, pp. 1 - 3, October 2008.
- [5] K.K. Zhi, F.N. Chee, and W.K Siak, "Shape-based recognition and classification for common objects - an application in video scene analysis", *Computer Engineering and Technology (ICCET)*, vol. 3, pp. V3-13 - V3-16, April 2011.
- [6] Z. Daqi, Q. Shiru, and L. Zhenzheng, "Robust Classification of Vehicle based on Fusion of TSRP and Wavelet Fractal Signature", *Networking, Sensing and Control, 2008. ICNSC 2008*, pp. 1788-1793, April 2008.
- [7] A. Ajmal, P. Karachi, I.M. Hussain, "Vehicle detection using morphological image processing technique", *Multimedia Computing and Information Technology (MCIT)*, 2010, pp. 65- 68, March 2010.
- [8] Z. Zivkovic, "Improved adaptive Gaussian mixture model for background subtraction", *Pattern Recognition, 2004. ICPR 2004. Proceedings of the 17th*, vol. 2, pp. 28-31, August 2004.

- [9] T. Charoenpong, A. Supasuteekul, and C. Nuthong, "Adaptive background modeling from an image sequence by using K-Means clustering", *Electrical Engineering/Electronics Computer Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON)*, pp. 880-883, May 2010.
- [10] W. Chao and Z. Song, "Vehicle detection based on spatial-temporal connection background subtraction", *Information and Automation (ICIA)*, pp. 320-323, June 2011.
- [11] K.A. Ahmad, Z. Saad, N. Abdullah, Z. Hussain, and M.H. Mohd Noor, "Moving Vehicle Segmentation in a Dynamic Background using Self-adaptive Kalman Background Method", *Signal Processing and its Applications (CSPA), 2011 IEEE 7th*, pp. 439-442, March 2011.
- [12] L. Unzueta, M. Nieto, A. Cortes, J. Barandiaran, O. Otaegui, and P.Sanchez, "Adaptive Multicue Background Subtraction for Robust Vehicle Counting and Classification", *Intelligent Transportation Systems*, vol. 13, issue 2, pp. 527-540, June 2012.
- [13] Z. Fei, "A Video-based Traffic Congestion Monitoring System Using Adaptive Background Subtraction", *Electronic Commerce and Security, 2009. ISECS '09*, vol. 2, pp. 73-77, May 2009.
- [14] Z.F. Liu and Z. You, "A Real-time Vision-based Vehicle Tracking and Traffic Surveillance", *Software Engineering, Artificial Intelligence, Networking, and Parallel/Distributed Computing, 2007. SNPD 2007. Eighth ACIS*, vol. 1, pp.174-179, August 2007.
- [15] O. Rostamianfar, F. Janabi-Sharifi, and I. Hassanzadeh, "Visual Tracking System for Dense Traffic Intersection", *Electrical and Computer Engineering, 2006. CCECE '06. Canadian*, pp.2000-2004, May 2006.
- [16] X. Lian, T. Zhang, and Z. Liu, "A Novel Method on Moving-Objects Detection Based on Background Subtraction and Three Frames Differencing", *Measuring Technology and Mechatronics Automation (ICMTMA)*, vol. 1, pp.252-256, March 2010.

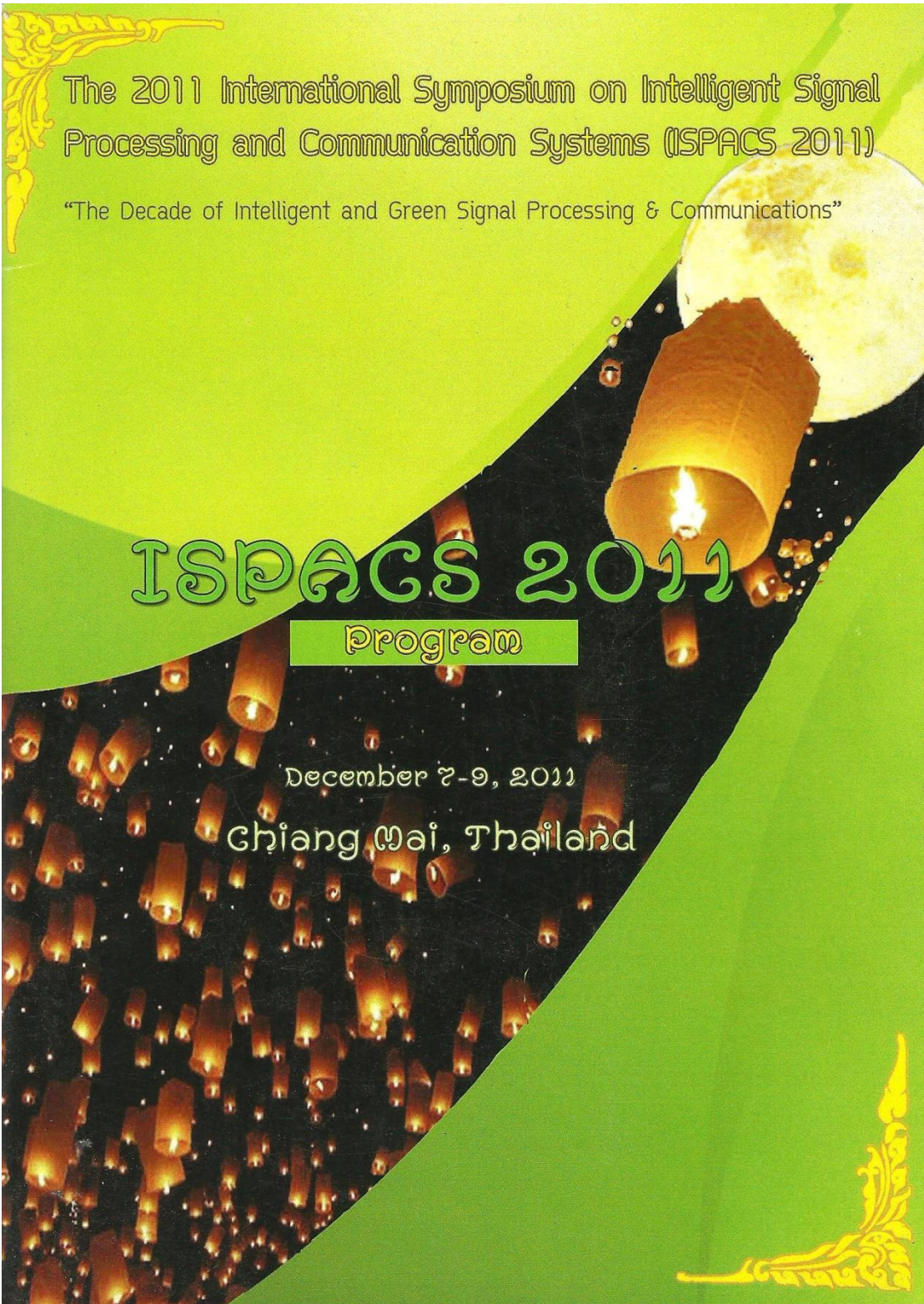
- [17] T. Jianguo and Y. Changhong, "Real-time detection and tracking of moving object", *Intelligent Information Technology Application, 2008. IITA '08*, vol. 2, pp. 860-863, December 2008.
- [18] Y. Chao, Y. Chenhui and X. Zhiming, "Simple Vehicle Detection with Shadow Removal at Intersection", *Multimedia and Information Technology (MMIT)*, vol. 2, pp. 188-191, April 2010.
- [19] H. Moon, R. Chellappa, and A. Rosenfeld, "Optimal Edge-Based Shape Detection", *Image Processing*, vol. 11, issue 11, pp. 1209-1227, November 2002.
- [20] L. Zhihong, X. Deyun, and C. Yueming "Displacement fault detection of bearing weight saddle in TFDS based on hough transform and symmetry validation", *Fuzzy Systems and Knowledge Discovery (FSKD), 2012 9th*, pp. 1404 – 1408, 29-31 May 2012
- [21] B. Wang, Y.J. Feng, H.F. Guo, and G.J. Zhang, "An Effective Shadow Detection Approach in Traffic Scenes", *Control Conference (CCC), 2011 30th Chinese*, pp. 3088-3093, July 2011.
- [22] S. Jianbo and C. Tomasi, "Good Feature to Track", *Computer Vision and Pattern Recognition, 1994. Proceedings CVPR '94*, pp. 593-600, Jun 1994.
- [23] X. Chenyang and J.L. Prince, "Snakes, Shapes, and Gradient Vector Flow", *Image Processing*, vol. 7, issue 3, pp.359-369, March 1998.
- [24] A. Hajdu and I. Pitas, "Content Adaptive Heterogeneous Snakes", *Image Processing, 2007. ICIP 2007*, vol. 1, pp. 253-256, October 2007.
- [25] L. Jin-Cyuan, H. Shih-Shinh, and T. Chien-Cheng, "Image-based vehicle tracking and classification on the highway", *Green Circuits and Systems (ICGCS)*, pp. 666 - 670, June 2010.
- [26] P. Soille, "Morphological Image Analysis: Principles and Applications", *Springer-Verlag*, pp. 173-174, 1999.

- [27] T. Intachak and W. Keawahichai, "Real-time illumination feedback system for adaptive background subtraction working in traffic video monitoring", *Intelligent Signal Processing and Communications Systems (ISPACS)*, pp. 1-5, December 2011.

ภาคผนวก

ภาคผนวก

งานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์



The 2011 International Symposium on Intelligent Signal
Processing and Communication Systems (ISPACS 2011)

“The Decade of Intelligent and Green Signal Processing & Communications”

ISPACS 2011

Program

December 7-9, 2011

Chiang Mai, Thailand

Real-Time Illumination Feedback System for Adaptive Background Subtraction Working in Traffic Video Monitoring

Traiwit Intachak

Department of Computer Engineering
Prince of Songkla University
Songkhla, Thailand
nut.underground@gmail.com

Watcharin Kaewapichai

Department of Computer Engineering
Prince of Songkla University
Songkhla, Thailand
watcharin@coe.phuket.psu.ac.th

Abstract—In this paper, we presents a real-time adaptive background subtraction algorithm working in traffic video monitoring to solve a classic problem of background subtraction “sudden illuminance changing”. We design an illumination feedback kinematics to update a background image. It consists of two main phases, illumination approximation for feedback and background image adjusting. In the illumination approximation, illumination difference between a current image and the background image is calculated. Then, two weight parameters for the background image adjusting are introduced to improve performance of background subtraction. The real background pixels from background subtraction are updated to a new background image for next iteration, in the background image adjusting phases. The system achieved a high performance with maximum 0.959% false negative detecting (foreground pixels are justified as background pixels), and high effectiveness with 121.3 frames per second (CPU Intel i5). The experimental results show the efficiency and effectiveness of our algorithm working in traffic video monitoring in real-time condition.

Keywords—Adaptive Background Subtraction; Real-Time; Light Approximation Image

I. INTRODUCTION

In real-time working and outdoor condition on the day, many parameters in real environment such as clouds movement, background motion, gradual changes, and others are classical problems of image background subtraction algorithms. Those parameters affect illuminance changing in a current image. Especially, in case of sudden

changes from clouds movement, it is the direct parameter impacting the illumination. Tradition background subtraction algorithms, the background image is created from a set of static images (10-20 first frames), whose illumination of each pixel is extracted. In this paper, we aim to solve the classical problem of sudden illumination change. We propose an adaptive background subtraction algorithm with illumination feedback working in real-time and outdoor condition on the day. Efficiency of our method applied to gray scale and RGB video scenes are shown in the Experimental Results chapter. However, a problem “shadow overlaps on object” is not solved by our algorithm.

II. LITERATURE REVIEW

Previous research on background subtraction algorithms are divided into 2 main groups: Semi-static and Feedback background subtraction. A method to classify previous work into two groups is what there is/there is no feedback kinematics to update background model. First, Semi-static background subtraction, a threshold value to classify pixels of current image, background or foreground, is fix or adaptive, but there is no feedback kinematics for background model updating. This group is very popular used in controlled and low variant environment, which is applied to many research fields. Reference [1] introduced an adaptive background subtraction using illumination level from images including

current image, previous image, and background image. The illumination level from those images is used to approximate a threshold value for background subtraction by second order formulation. Reference [2] applied K-Means and Gaussian Mixture Model algorithms to gray-scale histogram of each pixel for created background modeling. Reference [3] developed Adaptive Gaussian Mixture Model applying to each pixel for background modeling. The algorithms in this group are work in real-time condition with satisfy speed, however they are not deal with the problems of outdoor environment.

Second, Feedback background subtraction group, reference [4] applied Probabilities color model of objects (RGB color) to increase performance of background subtraction and feedback the current background information to the background model. Reference [5] and [6] introduced weight parameters for current and the first background to update background image. Reference [7] applied Kalman filter to create background and noise model for background subtraction creating. Reference [8] improved the performance of Gaussian mixtures for background subtraction working excellent adaptability and robustness. However, the main problem of background subtraction, clouds movement, is not solved for those previous works. The cloud movement affects to very fast illuminance changing. In this paper, we introduced a novel method to solve very fast (sudden) illuminance changing problem.

III. BACKGROUND SUBTRACTION WITH FEEDBACK SYSTEM

Fig. 1 outlines the steps needed to achieve our goal which is the sudden illuminance changing. The first 20 images in video scene are corrected to create a background image (Im_B) in the Background Learning process. From our assumption, there is no object in the first 20 images. The background image and current image (Im_C) are fed to the Light Approximation process to calculate the different value of illuminance between them. Weight parameters (β, α) are introduced to an

updated image (Im_u) dealing with sudden illuminance changing in the Parameter Adjustment process. In the Adaptive Background Subtraction process, a variable (*threshold*) is applied to classify pixels in the updated image (Im_u) whose pixels are background or foreground. A new background image is generated from the Background Feedback process. Output results of this process are the new background image for next iteration (k), and an output image of our algorithm is the Object Image (binary image).

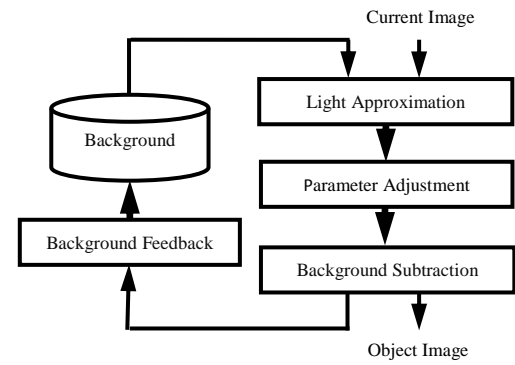


Figure 1. Flowchart System

A. Background Learning

The first 20 images ($z = 20$) in a video scene, based on the assumption “there is no object in this image set”, are selected as dataset to create background image (Im_B) defined mathematically by

$$Im_{B_{x,y}} = \frac{\sum_{z=1}^{20} I_{x,y,z}}{20}. \quad (1)$$

where x, y are image pixel position; $x \in m, y \in n$ (image $m \times n$ pixels). $I_{x,y,z} = (R + G + B)/3$; gray scale scene. $I_{x,y,z} = [R \ G \ B]_{x,y,z}^T$; color scene, R, G, B are red, green, blue color level (0-255) at pixel x, y .

B. Light Approximation

Input images for this process are the current image (Im_C) and the background image (Im_B). The illuminance of an image (Ill) is calculated by

$$Ill = \frac{\sum_{x,y \in m,n} Gray_{x,y}}{m \times n \times 255}. \quad (2)$$

where
 $Gray_{x,y} = 0.299(R_{x,y}) + 0.587(G_{x,y}) + 0.114(B_{x,y})$; RGB color to gray scale image converting.

The current image illuminance (Ill_C) and background image illuminance (Ill_B) are calculated by (2) and will be used to calculate the illuminance changing by the next process.

C. Parameter Adjustment

The different illuminance ($Diff$) between current image illuminance (Ill_C) and background image illuminance (Ill_B) is calculated by

$$Diff = |Ill_C - Ill_B|. \quad (3)$$

Normally, during a day, illuminance changing can be separated into two events: slow changing and sudden changing. The two weight parameters (β, α) to response these illuminance changing are introduced. These parameters are performed to deal with the slow and sudden illuminance changing problem, show in (4).

$$\alpha = \begin{cases} 1.85 & ; Diff > 0.001 \\ 1.70 & ; others \end{cases} \quad (4)$$

An updated image (Im_u) working in this iteration is

$$Im_u = \frac{\beta Im_C + \alpha Im_B}{2}. \quad (5)$$

where $\beta = 2 - \alpha$.

The updated image from this process is used as a background image for the Adaptive Background Subtraction process.

D. Adaptive Background Subtraction

The current image (Im_C) and updated background image (Im_B) from the last process are used in this process to find the foreground/object pixels in the current image. The pixel operation ($\forall x, \forall y \in m, n$) to find the foreground pixels in image is

$$G_{x,y} = |Im_{C,x,y} - Im_{B,x,y}|. \quad (6)$$

Then, the object pixels in the current image are represented by white pixels, and black pixels are used to represent the real background in a binary image (B) defined mathematically by

$$B_{x,y} = \begin{cases} 1 & ; G_{x,y} > threshold \\ 0 & ; others \end{cases}. \quad (7)$$

where $threshold$ is a parameter for foreground and background classification. "1" is object pixel in an image. "0" is background pixel in an image.

An output image from this process is the Object Image (binary image (B)) whose black pixels represent background image.

E. Background Feedback

The binary image (B) from previous process is used to feedback to update the background model. The pixels justified as background from the last process are used as information for background image updating in the Background Model process. It is used as the background image in the next iteration ($k + 1$).

$$Im_B^{k+1} = \begin{cases} Im_{u,x,y}^k & ; B_{x,y} = 0 \\ Im_{B,x,y}^k & ; B_{x,y} = 1 \end{cases} \quad (8)$$

where k is iteration sequence.

The new updated background pixels in the background image for next iteration (Im_B^{k+1}) are verified by the background binary image (B). The main problem of sudden illuminance changing from clouds movement is solved by the introduced algorithms.

IV. EXPERIMENTAL RESULT

Three video scenes (500 frames/scene) are recorded by a webcam camera for testing. The video scene size is 640 pixels width and 360 pixels height. We design three averaging measurement parameters to explain efficiency of our algorithm: *False positive*, *False negative*, and *Error rate*. False positive description is the number of *foreground pixels* classified as *background pixels* per image size

(640×360). False negative explains the total *background pixels* classified as *foreground pixels* per *image size*. The last parameter, Error rate shows a ratio of *number of false negative pixels* per *number of object pixels*. The two main parameters used to show the efficiency of our algorithm are the false negative and the error rate. Traditionally, the false positive is used to refer the background movement problem. In our study case, the background movement is leaf movement. There are many simple image processing algorithms to solve this problem such as salt and pepper noise removing, minimum object size thresholding, and others. The weight parameter (α) is a main key parameter to cop the sudden illuminance changing by cloud movement. This parameter direct variations illuminance in image. Table I and II show the efficiency of our algorithm working with gray scale scenes and color scenes, respectively.

TABLE I. THE EXPERIMENTAL RESULT OF OUR ALGORITHM WORKING WITH GRAY SCALE SCENES

Scence No.	Gray Scale Video			
	threshold	False Positive (%)	False Negative (%)	Error Rate (%)
Scene 1	23	1.021	0.915	17.596
Scene 2	25	1.253	0.740	10.042
Scene 3	18	4.782	0.243	7.128

TABLE II. THE EXPERIMENTAL RESULT OF OUR ALGORITHM WORKING WITH COLOR SCENES

Scence No.	Color Video (red, green and blue)			
	threshold	False Positive (%)	False Negative (%)	Error Rate (%)
Scene 1	28	1.055	0.931	17.742
Scene 2	28	0.957	0.959	12.874
Scene 3	33	0.381	0.513	15.154

We setup two personal computer (PC) systems for real-time testing: the first system; CPU i5-2500k (3.3GHz) and 4 Gigabytes RAM, the second system; CPU Core2-Duo (2.4GHz) and 4 Gigabytes RAM. The averaging frame speed of our algorithm is

shown in Table III. The algorithm is developed by Visual C# 2010.

TABLE III. THE AVERAGE SYSTEM SPEED OF OUR ALGORITHM

PC	Frame Speed (frames per second)			
	Gray		RGB	
	Display	Not Display	Display	Not Display
System 1	69.7	121.3	48.6	69.7
System 2	34.2	62.3	22.9	32.9

Meaning of *Display* is what the system shows result image “background subtraction image result (*B*)” while working. In the other hands, *Not Display* means what it is not show the background subtraction image results while working. These experimental results are used to verify the system speed that work in real-time with high effectiveness.

Fig. 2 shows the background models of three scenes (RGB and Gray scale images).

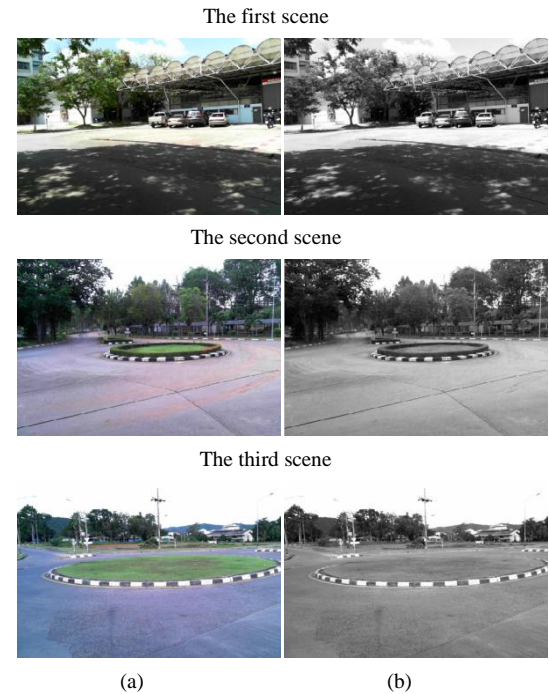


Figure 2. Background image (Im_B) working in color (a) and gray scale image (b) of three scenes



(a)

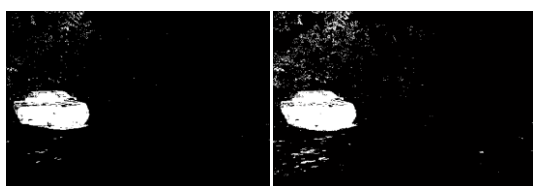


(b)



(c)

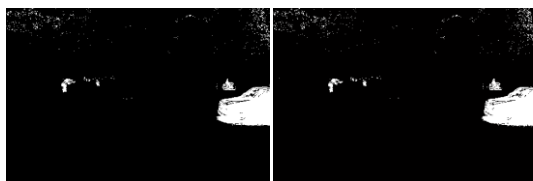
Figure 3. (a) a testing image 355th of the first scene (b) a testing image 161th of the second scene (c) a testing image 82th of the third scene



(a)

(b)

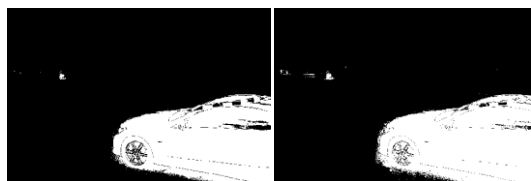
Figure 4. Background subtraction result (B) working on color image (a) and gray scale image (b) of Fig. 3(a), respectively



(a)

(b)

Figure 5. Background subtraction result (B) working on color image (a) and gray scale image (b) of Fig. 3(b), respectively



(a)

(b)

Figure 6. Background subtraction result (B) working on color image (a) and gray scale image (b) of Fig. 3(c), respectively

From our experimental results (Fig. 4, 5, and 6) show the efficiency of our algorithm working with gray scale and color image in the sudden illuminance changing situation. Noticeably, almost of false negative detected pixels are on transparent and reflective material especially windows. The illuminance changing of these materials is not easy to describe. However, other algorithms can be applied to refine object shape. The false positive detected pixels are leaf movements shown in Fig. 4, 5, and 6. For the background movement problem, salt and pepper noise filtering can be applied to solve this problem. The averaging error rate of gray scale is better than RGB frame work. However, in case of sudden illuminance changing, the RGB frame work is better than gray scale frame work, shown in Fig. 4, 5, and 6. Fig. 8 shows background subtraction image results of gray and RGB frame work of image sequence 491 (in the first scene), in case of no object in image. The different illuminance ($Diff$) of sequence 200th and 491th, shown in Fig. 7, is 0.007. False positive of gray scale scene is 6.32% and RGB scene is 1.50%.

In a special case, another classic problem “shadow overlapping on object” is shown in Fig. 9. In this paper, the *threshold* parameter in Fig. 9. In this paper, the *threshold* parameter in (7) is constant (23, 25 and 18 in gray scale and 28, 28 and 33 in RGB for the first, second, and third scene). In this case, the dynamic threshold algorithm can be applied to improve efficiency of system. However, the computation cost is increasing.



Figure 7. Testing images 200th (a) and 491th (b) of the first scene for testing in a case of sudden illuminance changing

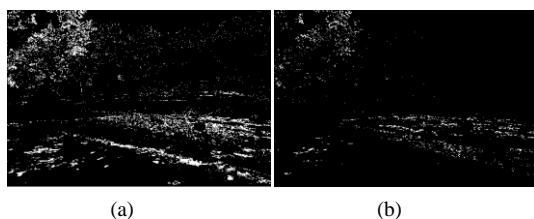
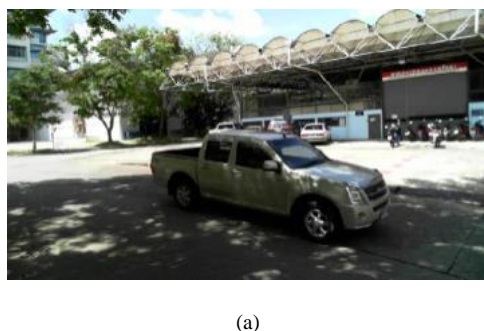


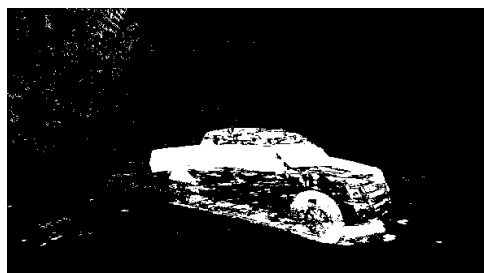
Figure 8. Background subtraction result (B) of 491th (the first scene) in Gray (a) and RGB (b) scene



(a)



(b)



(c)

Figure 9. (a) a testing image 399th of the first scene (b) and (c) background subtraction result working on color image and gray scale image, respectively

V. CONCLUSION

In this paper, we introduced a real time adaptive background subtraction method to deal with sudden illuminance changing problem in traffic video monitoring, working in gray scale and RGB image videos with high performance. From our experimental result, the maximum average false negative detection (the first scene) are 0.915% and 0.931%, and error rate are 17.596% and 17.742% working with gray scale and color videos, respectively. An averaging speed of the algorithm is 121.3 and 69.7 frames per second for gray and color videos by PC system 1, respectively. The output binary image (B) is usefully for future works such as types of car classification, traffic analysis, and others.

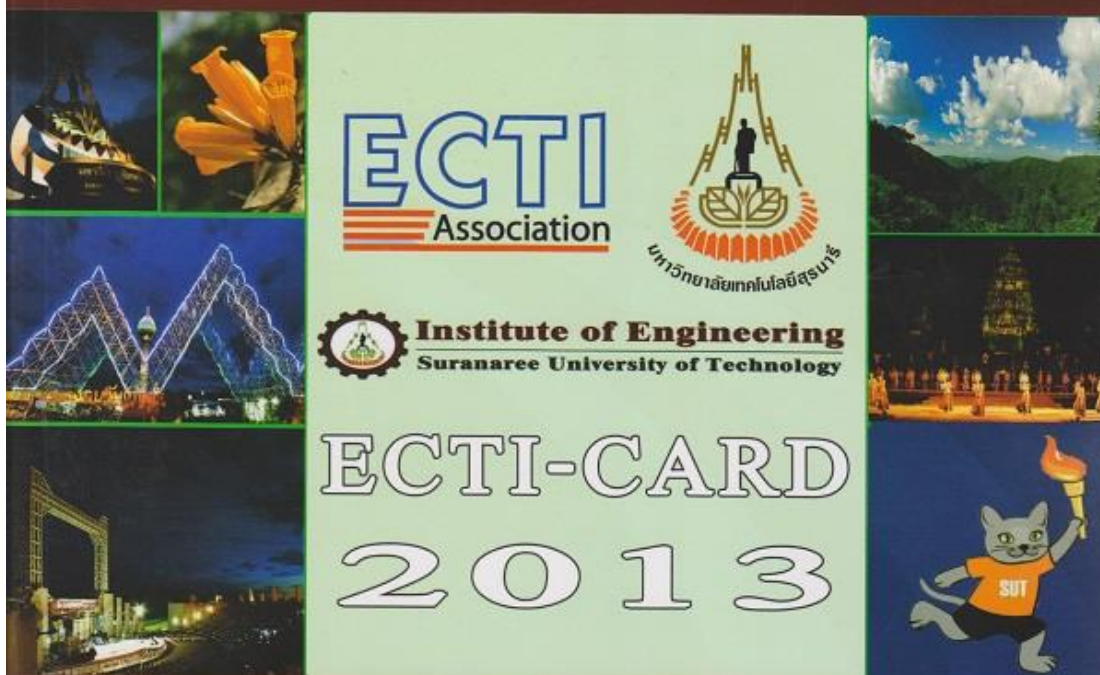
REFERENCE

- [1] Fei Zhu, "A Video-based Traffic Congestion Monitoring System Using Adaptive Background Subtraction", IEEE, 2009.
- [2] Theekapun Charoenpong, Ajaree Supasuteekul, Chaiwat Nuthong, "Adaptive Background Modeling from an Image Sequence by Using K-Means Clustering", IEEE, 2010.
- [3] Zoran Zivkovic, "Improved Adaptive Gaussian Mixture Model for Background Subtraction", IEEE, 2004.
- [4] Qin Wan and Yaonan Wang, "Background Subtraction Based on Adaptive Non-parametric Model", IEEE, 2008.
- [5] LIU Zhi-fang, YOU Zhisheng, "A Real-time Vision-based Vehicle Tracking and Traffic Surveillance", IEEE, 2007.
- [6] Jianguo Tao, Changhong Yu, "Real-time detection and tracking of moving object", IEEE, 2008.
- [7] K.A. Ahmad, Z. Saad, Noramalina Abdullah, Z. Hussain, M.H. Mohd Noor, "Moving Vehicle Segmentation in a Dynamic Background using Self-adaptive Kalman Background Method", IEEE, 2011.
- [8] KaewTraKulPong, P. and Bowden, R., "An Improved Adaptive Background Mixture Model for Real-time Tracking with Shadow Detection", Proceedings of the 2nd European Workshop on Advanced Video Based Surveillance Systems, 1-5, 2001.

การประชุมวิชาการ งานวิจัย และพัฒนาเชิงประยุกต์ ครั้งที่ 5

ระหว่างวันที่ 8 - 10 พฤษภาคม 2556

ณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา



Sponsored by



Vehicle Detection and Classification System for Traffic Video Surveillance

Traiwit Intachak
 Department of Computer Engineering
 Prince of Songkla University
 Songkhla, Thailand
 5310120055@email.psu.ac.th

Wacharin Kaewapichai
 Department of Computer Engineering
 Prince of Songkla University
 Songkhla, Thailand
 watcharin@coe.psu.ac.th

Abstract—In this paper, we introduce a real-time vehicle classification algorithm to solve a classical problem “computation cost and time consumption” for traffic video monitoring during on the day in application of Intelligent Transportation System (ITS). Our algorithm consists of three parts: adaptive background subtraction with sudden illumination change handling, object detection by improved active contour detection (Snake), and vehicle classification by shape matching using shape context. This system achieved a high performance with 100% minivan and 89.21% average classification. In experimental results show efficiency and effectiveness of our algorithm which worked in traffic video monitoring in real-time condition (5 cars per second).

Keyword—image processing; traffic video monitoring; object detection; adaptive background subtraction; active contour detection; vehicle classification;

I. INTRODUCTION

An automatic vehicle classification system is very useful system for highway monitoring to verify types of vehicles and automatic tolls collection. Normally, a lot of workers are applied to intelligent transportation system (ITS) in manual toll correction and manual road charging sections. In this research, we focus on image processing algorithms (object detection and vehicle classification) working in case of sudden illumination change and real-time condition to solve a classical image processing problem: “computation cost and time consumption”.

II. LITERATURE REVIEW



Figure 1. Sequence system review.

Normally, image processing process can be divided to three main processes: Preprocessing, Feature Extraction, and Classification.

“Preprocessing” is a method to separate background and foreground/object in current image, which is called *background subtraction*. From previous researches, it can be divided to two main groups: Static and non-Static background subtraction. Static background subtraction, this group is used in controlled and low variant environment, which is applied to many research fields. Gaussian Mixture [1-4], K-Means [2], and Kalman filter [4], [5] algorithms are applied on gray-scale histogram of training image set to recognize and create a static background image. The algorithms in this group work in real-time condition with satisfy speed, however they are not deal with the problems of outdoor environment especially sudden illumination change. Second, non-Static background subtraction, Reference [6], [7] use dynamic threshold parameters calculated from light approximation to classify foreground/object pixels. Reference [8] uses graph of summation pixels to detect object. Reference [9] create the background image from three back frames (two previous and current frames). Reference [10], [11] introduce an algorithm to detect object and shadow removing, which is a technique “intersection of object positions from two current images”. The object position in two current images is extracted by normal background subtraction. However, the problem “sudden illumination change” is not solved by those techniques. A cause of sudden illumination change (outdoor environment) is cloud movement affecting to very fast illumination

change. It is a main problem of background subtraction process. In this research, we introduced a method to solve very fast (sudden) illumination change problem explained in III.A “Background Subtraction”.

“Feature Extraction” used to extract object(s)’s shape in current image are edge detection algorithms. They can be classified to two main groups: Formable model and Deformable model. A method to classify feature extraction methods to Formable and Deformable model is what shape of object(s) [12] can or cannot be described with simple mathematical shapes such as triangular, circle, ellipse, and others, respectively. First, Formable model, Hough transform [13] is a popular method used to detect simple shape in current image. It is not work in traffic monitoring system because car shape cannot be described with the basic shapes. Second, Deformable model, Reference [14] implements background subtraction algorithm and integrates corner detection algorithm improved by [15] to extract possible deformable object in current image. Reference [16], [17] applies “Active contour detection algorithm” called Snake to extract object from current image. They improve performance of Snake by adjust external energy term of the algorithm to handle moving of Snake control points. Reference [18] applies Quadtree algorithm to the external energy term of Snake dealing with moving of Snake control points. In this group, deformable model (Snake) is suitable to detect car in an image because of its shape. However a main problem of Snake is “computational costs”. It is improved in this paper show in III.B “Edge Detection”.

“Classification”, the shape description of objects (cars) from Feature Extraction process is used to separtate car types. Basic information such as aspect ratio, shape, size, and radius is popular used as input of classification algorithms to classify. Thresholding of car size and aspect ratio is introduced to classify the car types by [17], [19]. Aspect ratio and size of object are used as information for classification by feeding to Back-propagation Neural Network Model (BPNNM) [20]. From previous works, car aspect ratio and object size are popular used as

information for classification which is robustness [21]. However, a lot of data set requirement in training process is a problem. Shape radius, distance between centroid to shape contour in 0-359 degree, is another good feature which is used by shape matching classification. Reference [22] creates a model of shape radius for training and testing set comparing. A minimum difference rate of training and testing data is applied to classify car types in a current image. This method is very high efficiency and effectiveness working in intelligent transportation system (ITS), explained in III.C “Graph Matching”.

III. SYSTEM DESIGN

This research consists of three main steps: Preprocessing “Background Subtraction”, Feature Extraction “Edge Detection”, and Classification “Graph Matching”.

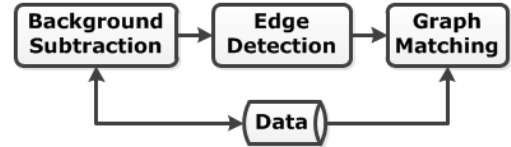


Figure 2. Overview system design.

A. Background Subtraction

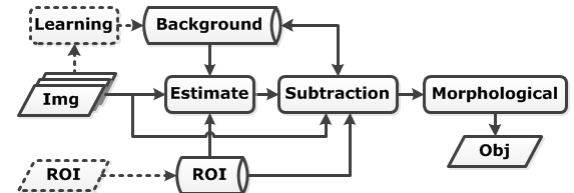


Figure 3. Background subtraction flow chart.

The first process, we manually initial region of interest (ROI) area in image to reduce computation costs. A **Learning** process uses the 20 first images ($T = 20$) in a video scene to create background image model (B). It is based on an assumption “there is no foreground/object in ROI of this image set”, defined mathematically by

$$B = (\sum_{t=1}^T I_t) / T \quad (1)$$

where I_t is a color image scene [Red Green Blue]



Figure 4. Sample learning background image and ROI.

Estimate process computes illuminance difference (L_t) between current image (I_t) and the background image (B) in ROI, defined mathematically by

$$L_t = \sum |G_{I_t} - G_B| / R \quad (2)$$

where G is gray scale image;

$$G = 0.299(\text{Red}) + 0.587(\text{Green}) + 0.114(\text{Blue})$$

R is number of pixels in ROI area.



Figure 5. Testing image without object in ROI.



Figure 6. Testing Image with object in ROI.

Normally, during a day and no object in ROI, illuminance changing can be separated into two events: slow changing and sudden changing [23]. Noticeably, from our experimental result, L_t is can be used to refer illuminance changing behaviors: $L_t < 2$ slow changing and $L_t > 2$ sudden changing. Thus, two weight parameters (α, ρ) for background updating to response illuminance changing are introduced. These parameters are performed to deal with the slow and sudden illuminance changing problems, show in

$$\alpha_t = \begin{cases} 1.90; & L_t > 2 \text{ and no object in ROI} \\ 1.70; & \text{others} \end{cases} \quad (3)$$

where α is a weight parameter of background image.

ρ is a weight parameter of current image;

$$\rho_t = 2 - \alpha_t.$$

Pixels classified as background by **Subtraction** process will be used to update background image (B) by (5) with the weight from equation (3).

Subtraction process computes the foreground/object pixels in a current image (I_t) which is subtracted from the background image (B). The operation to create a binary image (Bi) is defined mathematically by

$$Bi_{x,y} = \begin{cases} 1; & f_{x,y} > THS \text{ (foreground pixel)} \\ 0; & \text{other (background pixel)} \end{cases} \quad (4)$$

where x, y are position of pixels in ROI.

$$f_{x,y} = \sqrt{S_{x,y,Red}^2 + S_{x,y,Green}^2 + S_{x,y,Blue}^2}$$

$$S_{x,y} = I_{x,y} - B_{x,y}$$

A threshold parameter (THS) is set to 25 for object pixels and background pixels separating in ROI.

The current binary image (Bi_t) from (4) is feedbacked to update the background model. Binary pixels ($Bi_{x,y} = 0$) which are justified as background pixels in the current binary image (Bi_t) are used as information for the background model (B_t) updating in this step. The updated background (B) image are used as background image for the next iteration ($t + 1$), mathematically defined by

$$B_{t+1} = \{\rho(Bi_t) + \alpha_t(B_t)\} / 2 \quad (5)$$

A sub-process of **Subtraction** process is shadow removing. Normally, a basic background subtraction process is not provide a satisfy result. A main problem of background subtraction is what a threshold for object and background pixels separation is fixed (in this research $THS = 25$). Thus, we apply a basic idea to solve this problem. A color of shadow pixels travels on a diagonal line in Red-Green-Blue color plans shown in fig. 7.

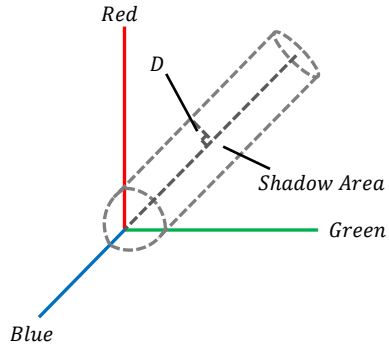


Figure 7. Shadow color in RGB color plain.

The pixels which are classified as object from (4) will be considered as shadow or real object pixels in this step. All object pixels ($Bi_{x,y} = 1$) is classified as shadow pixels, if distance (D) of color pixels x,y to the diagonal line is less than 12.5, shown in fig. 7. So, an updated binary image called object image (O) is defined by

$$O_{x,y} = \begin{cases} 0; & D_{x,y} < 12.5 \\ Bi_{x,y}; & \text{others} \end{cases} \quad (6)$$

An image morphological ‘‘Hole Filling’’ algorithm is applied to object in **Morphological** process [24]. The output of Background Subtraction process is filled image (H_t), and passed to next process.

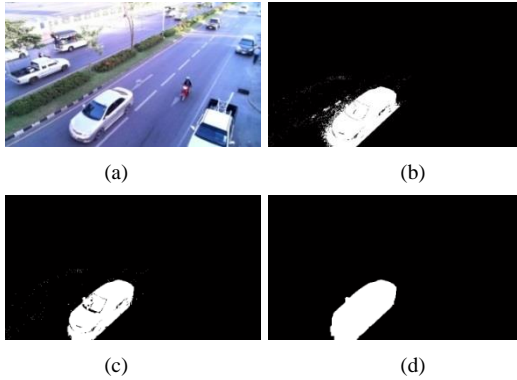


Figure 7. (a) Current image (b) Result of Background Subtraction process (c) Shadow removing (d) Morphological operation (holes filling).

B. Edge Detection

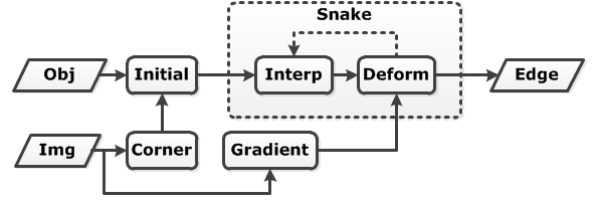


Figure 8. Edge Detection sequence.

In this process, edge of object is extracted and smoothed. The extracted object edge is passed to *Graph Matching* for car classification.

Corner process is a corner detection algorithm (Harris’s operator), which is applied to the current image (I_t) and provides possibility corner points (C_t) in the current image. Corner points in ROI (C_r) are selected by (7). They passed to **Initial** process.

$$C_r = C_t \cap H_t \quad (7)$$

The corner points on perimeter of object are selected as initial control points for Snake algorithm working in **Snake** process.

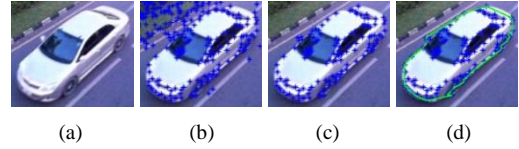


Figure 9. (a) An input image (b) Corner points in the image (c) Selected corner points in ROI (d) Initial control points of Snake

Classically, Snake is essentially a minimization energy function. The energy function without constraint can be represented by $E = E_{internal} + E_{external}$. Internal energy ($E_{internal}$) is used to represent contour elasticity and smoothness of control points and external energy $E_{external}$ is used to perform texture of object. In this research, we solve a classic problem of Snake which is computation time for minimization energy function. Basically, a good option of external energy term for Snake is gradient vector flow (GVF) (8) [16], so we reduce time of the minimize function by GVF adjusting (GVF_{adj}) defined by (9)

$$GVF(x, y)_t = \sqrt{f_x^2(x, y)_t + f_y^2(x, y)_t} \quad (8)$$

where $f(x, y)$ is $-\lvert\nabla(Ga_\sigma(x, y) * G(x, y))\rvert$; $Ga_\sigma(x, y)$ is a two-dimensional Gaussian function with σ standard deviation, and ∇ is gradient operator.

$$GVF_{adj}(x, y)_t = \begin{cases} 0 & ; -1 < GVF(x, y)_t < 1 \\ GVF(x, y)_t & ; \text{others} \end{cases} \quad (9)$$

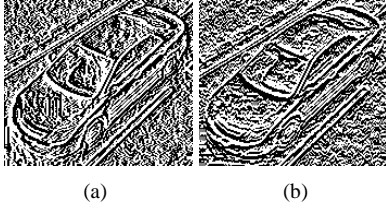


Figure 10. (a) Gradient vector image in x-axis, (b) Gradient vector image in y-axis.

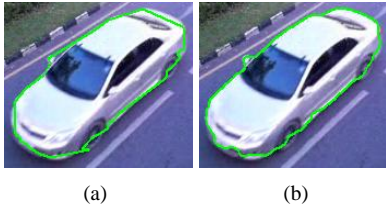


Figure 11. (a) Edge points in *Initial* method in first iteration (b) Edge points from active contour in *Deform* method in 25 iterations.

The output result of Edge Detection process is a list of control points called *edge of object* (E_t) in ROI. It will be passed to next process for car classification.

C. Graph Matching

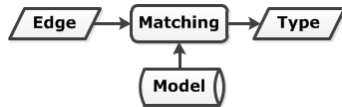


Figure 12. Graph Matching sequence

To create *Car Models*(CM): Motorcycle, MPV, Pickup, Saloon, and Van, a few sample cars of each set is selected as training set for model creation. The edge of object from last process is used to create *Car graph* (M), mathematically defined in (10). Average radius of the object edge on its angle (R_θ) from the training set is extracted to create the car graph model (10) in training process shown in fig. 14.

$$M = R_\theta \quad (10)$$

where R is Average radius of the object edge on its angle; $\theta = 0^\circ - 359^\circ$

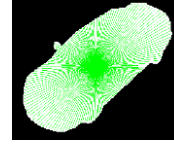


Figure 13. Compute object in an image to graph.

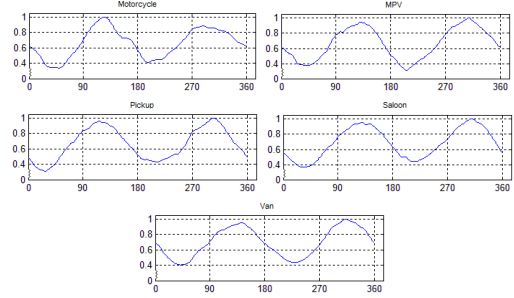


Figure 14. Vehicle type graph models of each class.

In *Matching* process, the testing car graph extracted from the current image (M) is classified to any types of five possible car models (CM_y), thus y means car type including Motorcycle, MPV, Pickup, Saloon, and Van.

$$\text{Car Type} = \min_{y_y} \left(\sum_{\theta=0}^{359} |CM_{y_\theta} - M_{y_\theta}| \right) \quad (11)$$

IV. EXPERIMENTAL RESULT

Four video scenes are recorded by a webcam camera for testing. The video scene size is 640 pixels width, 360 pixels height, and fixed angle 45° to the object.

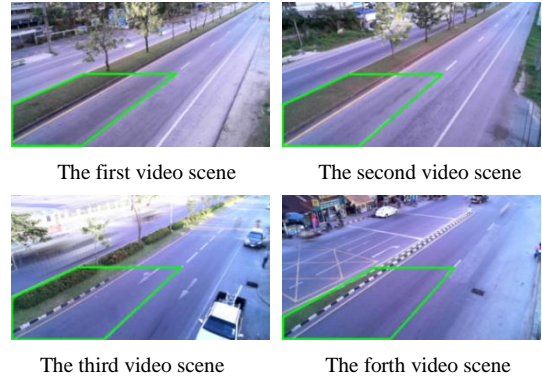


Figure 17. Color background image model in system (B_0) of four scenes and their ROI.



(a) Class 1: Motorcycle (Moto)

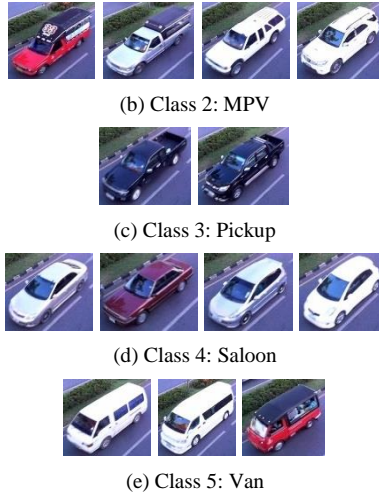


Figure 18. Cars for training set.

Fig. 18 shows a few selected cars of each type are selected to create the car graph model shown fig 19.

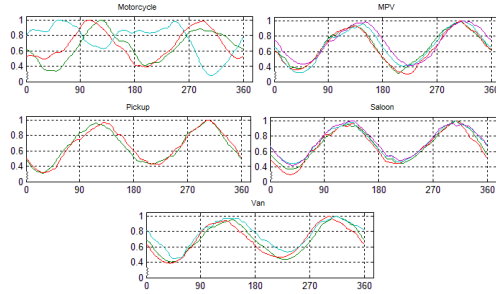


Figure 19. Car graphs extracted from the training set

Figure 20. Testing frame 669th of the third video scene.

The number of testing cars is 575 extracted from all four video scenes. Table II is a confusion matrix showing performance of our car classification system.

TABLE I. COUNTING VEHICLE FOR FOUR VIDEO SCENES

	Moto	MPV	Pickup	Saloon	Van	False
Moto	75	2	2	3	0	6
MPV	0	85	0	3	3	2
Pickup	0	13	130	6	0	6
Saloon	0	11	1	202	0	4
Van	0	0	0	0	21	0

TABLE II. PERCENTAGE OF VEHICLE CLASSIFIED IN FOUR VIDEO SCENES

	Moto	MPV	Pickup	Saloon	Van
Real	88	93	155	218	21
Predict	75	111	133	214	24
Success	91.46%	94.39%	87.24%	93.41%	100%

Figure 21. False to detection object in the third video scene (a) Objects are closely together in 7357th frame (b) Objects are overlap in 3749th frame

V. CONCLUSION

In this research, we introduced a real-time vehicle detected and vehicle classification with many concepts and algorithms to solve problem of outdoor traffic monitoring on the day. From our experimental results, the best performance of classification is Van (100%) class and the worst of classification is Pickup (87.24%). Accessories on the testing car, especially on the roof, affect to performance of our system. However, the average system efficiency is 89.21% and effectiveness is 5 cars per second (working on Matlab 2012). The output of our system (vehicle class/types) is usefully results for future works such as traffic monitoring and others.

REFERENCE

- [1] Z. Zivkovic, "Improved adaptive Gaussian mixture model for background subtraction", *Pattern Recognition, 2004. ICPR 2004. Proceedings of the 17th*, vol. 2, pp. 28-31, August 2004.
- [2] T. Charoenpong, A. Supasuteekul, and C. Nuthong, "Adaptive background modeling from an image sequence by using K-Means clustering", *Electrical Engineering/Electronics Computer Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON)*, pp. 880-883, May 2010.
- [3] W. Chao and Z. Song, "Vehicle detection based on spatial-temporal connection background subtraction", *Information and Automation (ICIA)*, pp. 320-323, June 2011.
- [4] K.A. Ahmad, Z. Saad, N. Abdullah, Z. Hussain, and M.H. Mohd Noor, "Moving Vehicle Segmentation in a Dynamic Background using Self-adaptive Kalman Background Method", *Signal Processing and its Applications (CSPA), 2011 IEEE 7th*, pp. 439-442, March 2011.
- [5] L. Unzueta, M. Nieto, A. Cortes, J. Barandiaran, O. Otaegui, and P. Sanchez, "Adaptive Multicue Background Subtraction for Robust Vehicle Counting

- and Classification”, *Intelligent Transportation Systems*, vol. 13, issue 2, pp. 527-540, June 2012.
- [6] Z. Fei, “A Video-based Traffic Congestion Monitoring System Using Adaptive Background Subtraction”, *Electronic Commerce and Security, 2009. ISECS '09*, vol. 2, pp. 73-77, May 2009.
- [7] Z.F. Liu and Z. You, “A Real-time Vision-based Vehicle Tracking and Traffic Surveillance”, *Software Engineering, Artificial Intelligence, Networking, and Parallel/Distributed Computing, 2007. SNPDC 2007. Eighth ACIS*, vol. 1, pp.174-179, August 2007.
- [8] O. Rostamianfar, F. Janabi-Sharifi, and I. Hassanzadeh, “Visual Tracking System for Dense Traffic Intersection”, *Electrical and Computer Engineering, 2006. CCECE '06. Canadian*, pp.2000-2004, May 2006.
- [9] X. Lian, T. Zhang, and Z. Liu, “A Novel Method on Moving-Objects Detection Based on Background Subtraction and Three Frames Differencing”, *Measuring Technology and Mechatronics Automation (ICMTMA)*, vol. 1, pp.252-256, March 2010.
- [10] T. Jianguo and Y. Changhong, “Real-time detection and tracking of moving object”, *Intelligent Information Technology Application, 2008. IITA '08*, vol. 2, pp. 860-863, December 2008.
- [11] Y. Chao, Y. Chenhui and X. Zhiming, “Simple Vehicle Detection with Shadow Removal at Intersection”, *Multimedia and Information Technology (MMIT)*, vol. 2, pp. 188-191, April 2010.
- [12] H. Moon, R. Chellappa, and A. Rosenfeld, “Optimal Edge-Based Shape Detection”, *Image Processing*, vol. 11, issue 11, pp. 1209-1227, November 2002.
- [13] L. Zhihong, X. Deyun, and C. Yueming “Displacement fault detection of bearing weight saddle in TFDS based on hough transform and symmetry validation”, *Fuzzy Systems and Knowledge Discovery (FSKD), 2012 9th*, pp. 1404 – 1408, 29-31 May 2012
- [14] B. Wang, Y.J. Feng, H.F. Guo, and G.J. Zhang, “An Effective Shadow Detection Approach in Traffic Scenes”, *Control Conference (CCC), 2011 30th Chinese*, pp. 3088-3093, July 2011.
- [15] S. Jianbo and C. Tomasi, “Good Feature to Track”, *Computer Vision and Pattern Recognition, 1994. Proceedings CVPR '94*, pp. 593-600, Jun 1994.
- [16] X. Chenyang and J.L. Prince, “Snakes, Shapes, and Gradient Vector Flow”, *Image Processing*, vol. 7, issue 3, pp.359-369, March 1998.
- [17] D. Tian-min, L. Baichuan, and Y. Yong, “Automobile Classification Based on GVF-Snake Model & Inertia Ellipse Principle”, *Intelligent Control and Automation, 2008. WCICA 2008. 7th*, pp. 3005-3008, June 2008.
- [18] A. Hajdu and I. Pitas, “Content Adaptive Heterogeneous Snakes”, *Image Processing, 2007. ICIP 2007*, vol. 1, pp. 253-256, October 2007.
- [19] L. Jin-Cyuan, H. Shih-Shinh, and T. Chien-Cheng, “Image-based vehicle tracking and classification on the highway”, *Green Circuits and Systems (ICGCS)*, pp. 666 - 670, June 2010.
- [20] L. Xiaobin, F. Hui and X. Jianmin, “Automatic Vehicle Classification Based on Video with BP Neural Networks”, *Wireless Communications, Networking and Mobile Computing, 2008. WiCOM '08. 4th*, pp. 1 - 3, October 2008.
- [21] K.K. Zhi, F.N. Chee, and W.K Siak, “Shape-based recognition and classification for common objects - an application in video scene analysis”, *Computer Engineering and Technology (ICCET)*, vol. 3, pp. V3-13 - V3-16, April 2011.
- [22] Z. Daqi, Q. Shiru, and L. Zhenzheng, “Robust Classification of Vehicle based on Fusion of TSRP and Wavelet Fractal Signature”, *Networking, Sensing and Control, 2008. ICNSC 2008*, pp. 1788-1793, April 2008.
- [23] T. Intachak and W. Keawahichai, “Real-time illumination feedback system for adaptive background subtraction working in traffic video monitoring”, *Intelligent Signal Processing and Communications Systems (ISPACS)*, pp. 1-5, December 2011
- [24] P. Soille, “Morphological Image Analysis: Principles and Applications”, *Springer-Verlag*, pp. 173-174, 1999.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ สกุล ไตรวิทย์ อินทจักร

รหัสประจำตัวนักศึกษา 5310120055

วุฒิการศึกษา

วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมคอมพิวเตอร์)	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	2553

ทุนการศึกษา (ที่ได้รับระหว่างการศึกษา)

1. ศิษย์ก้นกุฎิ คณะวิศวกรรมศาสตร์
2. ทุนอุดหนุนวิจัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

การตีพิมพ์เผยแพร่ผลงาน (ถ้ามี)

1. T. Intachak and W. Keawahichai, "Real-time illumination feedback system for adaptive background subtraction working in traffic video monitoring", *Intelligent Signal Processing and Communications Systems (ISPACS)*, pp. 1-5, December 2011
2. T. Intachak and W. Keawahichai, "Vehicle Detection and Classification System for Traffic Video Surveillance", งานประชุมวิชาการ งานวิจัย และพัฒนาเชิงประยุกต์ ครั้งที่ 5 (ECTI-CARD), May 2013