

เทคนิคการประมาณค่าระยะห่างของรถยนต์ด้วยการประมวลผลภาพ  
จากมุมมองผกผัน

CAR DISTANCE ESTIMATION TECHNIQUE USING IMAGE PROCESSING  
WITH INVERSE PERSPECTIVE



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2561

KMITL-2018-EN-M-010-148

เทคนิคการประมาณค่าระยะห่างของรถยนต์ด้วยการประมวลผลภาพ  
จากมุมมองผกผัน

CAR DISTANCE ESTIMATION TECHNIQUE USING IMAGE PROCESSING  
WITH INVERSE PERSPECTIVE



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พ.ศ.2561

KMITL-2018-EN-M-010-148

CAR DISTANCE ESTIMATION TECHNIQUE USING IMAGE PROCESSING  
WITH INVERSE PERSPECTIVE



PREAW WONGSAREE

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF  
MASTER OF ENGINEERING IN TELECOMMUNICATIONS ENGINEERING  
FACULTY OF ENGINEERING

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG อนุญาตให้นำไปใช้  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้  
2018

KMITL-2018-EN-M-010-148



**COPYRIGHT 2018**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

**FACULTY OF ENGINEERING**

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีเหตุผลแบบสงวนเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

หัวข้อวิทยานิพนธ์	เทคนิคการประมาณค่าระยะห่างของรถยนต์ด้วยการประมวลผลภาพจากมุมมองผกผัน
ชื่อนักศึกษา	นางสาวเปรี๊ยะ วงษ์เสรี
รหัสประจำตัว	60601131
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมโทรคมนาคม
พ.ศ.	2561
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รศ.ดร.ปราโมทย์ วาดเขียน

### บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอเทคนิคการหาค่าระยะห่างของรถยนต์โดยใช้รูปภาพที่ถ่ายได้จากกล้องด้านหน้าที่มีการเพิ่มประสิทธิภาพก่อนด้วยการปรับความสว่างรูปภาพอัตโนมัติ และการกำหนดพื้นที่ที่สนใจก่อนการหาค่าระยะทาง กระบวนการที่นำเสนอจะประกอบด้วย 3 กระบวนการหลักคือ การเตรียมรูปภาพ การตรวจจับวัตถุ และการหาค่าระยะทาง เมื่อภาพผ่านทั้ง 3 กระบวนการแล้วจะได้ค่าระยะทางออกมาในหน่วยเมตร กระบวนการเตรียมรูปภาพประกอบด้วย 3 ขั้นตอนคือ การปรับขนาดรูปภาพ การปรับความสว่างรูปภาพ และการกำหนดพื้นที่ที่สนใจ สำหรับกระบวนการตรวจจับวัตถุได้เลือกใช้อัลกอริทึมการลบพื้นถนนเนื่องจากรถยนต์ที่สนใจอยู่บนถนน เมื่อลบพื้นถนนจะทำให้เหลือเพียงรถยนต์เท่านั้น จากนั้นจึงเข้าสู่กระบวนการการหาค่าระยะทางที่จะคำนวณระยะทางจากภาพที่ถูกแปลงให้อยู่ในมุมมองแบบตานก (Bird's eye view) เนื่องจากเป็นมุมมองที่ไม่มีการบิดเบือนของระยะทาง จากการทดลองจำนวน 90 ภาพ (18 ระยะ ระยะละ 5 ภาพ) พบว่าเทคนิคที่นำเสนอสามารถหาค่าระยะทางได้จริง โดยให้ค่าความแม่นยำเฉลี่ยในการวัดค่าระยะทางของระบบ 92% และความเที่ยงตรงเฉลี่ยในการวัดค่าระยะทางเดิมซ้ำๆ ของระบบ 95%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<b>Thesis</b>	Car Distance Estimation Technique Using Image Processing with Inverse Perspective
<b>Student</b>	Miss Preaw Wongsaree
<b>Student ID.</b>	60601131
<b>Degree</b>	Master of Engineering
<b>Program</b>	Telecommunications Engineering
<b>Year</b>	2018
<b>Thesis Advisor</b>	Assoc. Prof. Dr. Paramote Wardkein

## ABSTRACT

This thesis presents distance detection technique that enhances images from forward mono camera before calculating distance. The proposed method consists of 3 procedures, namely, image preparation, object detection, and distance calculation. After the image passed through these procedures, the distance in meter unit is the result of the proposed method. The image preparation step consists of image resizing, brightness adjustment, and Region of Interest (ROI) determination, which helps the system not only to increase accuracy but also to reduce processing time. Road removal algorithm is used in object detection to subtract road surface resulting in only the object. Then distance calculation algorithm will determine the distance from the transform bird's eye view image. The distance is finally calculated from the IPM image. The experimental results from 90 images that captured in various situation of light (low/medium/high) indicated that the proposed technique can be applied for distance detection whose accuracy and precision are about 92% and 95% respectively.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.ปราโมทย์ วาดเขียน ที่คอยให้ความช่วยเหลือ ให้คำปรึกษาและชี้แนะแนวทางแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้น ตลอดจนให้ความรู้ในเรื่องที่แปลกใหม่และยังให้ประสบการณ์ในการทำงานที่ดีแก่ข้าพเจ้า

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.จิรสุตา โกษิยาภรณ์ ที่ให้ความช่วยเหลือในเรื่องการตีพิมพ์บทความวิชาการ และยังคอยให้คำปรึกษาสำหรับปัญหาที่เกิดขึ้น

ขอขอบพระคุณคุณพ่อ คุณแม่ และพี่ชาย รวมถึงญาติพี่น้อง ที่คอยให้การสนับสนุนแก่ข้าพเจ้าในทุกๆ ด้านมาโดยตลอด รวมถึงคอยให้กำลังใจในวันที่ข้าพเจ้าท้อแท้ หรือหมดกำลังใจ ทำให้การศึกษาค้นคว้าวิจัยในครั้งนี้สำเร็จได้

ขอขอบคุณ นายศักรินทร์ สินไชย ที่ได้ให้ความช่วยเหลือในส่วนของแนวคิดและคำปรึกษาในการทำงานวิจัย

ขอขอบคุณเพื่อนๆ ทุกคนที่อยู่เคียงข้างข้าพเจ้ามาโดยตลอด คอยช่วยเหลือยามที่ข้าพเจ้ามีปัญหา คอยให้กำลังใจเสมอว่าเราจะผ่านช่วงเวลาที่ยากลำบากนี้ไปด้วยกัน ขอขอบคุณที่เข้ามาเป็นสื่อสันทำให้การเรียนปริญญาโทในครั้งนี้มีความหมายมากกว่าแค่การศึกษาหาความรู้

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้รับการสนับสนุนการทำวิจัยจากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้กับบิดามารดา ซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่ง ตลอดจนครูอาจารย์ที่เคารพทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่ข้าพเจ้า

เปรี๊ยะ วงษ์เสรี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 จุดมุ่งหมาย และวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	1
1.3 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการศึกษา.....	2
1.4 สมมติฐานของการศึกษา.....	2
1.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	2
1.6 ขอบเขตของการศึกษา.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีพื้นฐานที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 กล่าวนำ.....	4
2.2 การสุ่มตัวอย่างภาพ (Image Sampling) .....	4
2.3 การประมวลผลภาพดิจิทัล (Digital Image Processing) .....	5
2.3.1 รูปร่างและขนาดของภาพ (Image Shape and Size) .....	6
2.3.2 ชนิดของภาพ (Image Types) .....	6
2.4 การแก้ไขแกมมา (Gamma Correction) .....	9
2.5 พื้นที่ที่สนใจ (Region of Interest: ROI) .....	11
2.6 ทิศนมิติของภาพ (Perspective of Image) .....	12
2.6.1 ระดับมุมมองของทัศนมิติ.....	12
2.6.2 การแปลงภาพมุมมองผกผัน (Inverse Perspective Mapping: IPM).....	14
2.7 การวิเคราะห์การถดถอยแบบเชิงเส้น (Linear Regression Analysis).....	16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 การออกแบบและการดำเนินงาน.....	18
3.1 กล่าวนำ.....	18
3.2 ส่วนการเตรียมรูปภาพ.....	19
3.2.1 การปรับขนาดรูปภาพ (Image Resizing) .....	19
3.2.2 การปรับความสว่างรูปภาพ (Brightness Adjustment) .....	19
3.2.3 การกำหนดพื้นที่ที่สนใจ (Region of Interest Determination)	20
3.3 ส่วนการตรวจจับวัตถุ .....	21
3.4 ส่วนการคำนวณระยะทาง.....	22
3.3.1 การแปลงภาพมุมมองผกผัน (Inverse Perspective Mapping: IPM) .....	22
3.3.2 การประมาณค่าระยะทาง (Distance Determination) .....	23
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง.....	26
4.1 กล่าวนำ.....	26
4.2 ผลการทดลองการหาค่าระยะทาง.....	26
4.2.1 ส่วนการเตรียมรูปภาพ.....	26
4.2.2 ส่วนการตรวจจับวัตถุ.....	29
4.2.3 ส่วนการหาระยะทาง.....	29
4.3 ผลการทดลองที่สภาวะแสงต่างๆ.....	33
4.3.1 ผลการทดลองที่สภาวะแสงมาก.....	33
4.3.2 ผลการทดลองที่สภาวะแสงน้อย.....	34
4.4 ผลการทดสอบเพิ่มเติม.....	36
4.5 การเปรียบเทียบการหาค่าระยะทาง.....	40
4.5.1 ผลการทดลองที่สภาวะแสงมาก.....	40
4.5.2 ผลการทดลองที่สภาวะแสงปานกลาง.....	42
4.5.3 ผลการทดลองที่สภาวะแสงน้อย.....	43
4.6 ระยะเวลาในการประมวลผล.....	45
บทที่ 5 ผลสรุปงานวิจัย และข้อเสนอแนะ.....	47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5.1 ผลสรุปรงานวิจัย.....	47
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	47
เอกสารอ้างอิง.....	49
ภาคผนวก.....	51
ประวัติผู้เขียน.....	68



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
3.1	ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์การถดถอย.....	25
4.1	ผลการหาค่าระยะทางของระบบที่นำเสนอในสภาวะแสงปานกลาง.....	31
4.2	ค่าที่ระบบประมาณได้ในแต่ละระยะทาง.....	32
4.3	ผลการหาค่าระยะทางของระบบที่นำเสนอในสภาวะแสงมาก.....	34
4.4	ผลการหาค่าระยะทางของระบบที่นำเสนอในสภาวะแสงน้อย.....	35
4.5	ผลการทดสอบระบบที่นำเสนอในบริเวณที่มีเงาบนพื้นถนน.....	37
4.6	ผลการทดสอบความละเอียดของระบบที่นำเสนอ.....	39
4.7	ผลการเปรียบเทียบการหาค่าระยะทางเฉลี่ยของวิธีการที่นำเสนอและวิธีการต่างๆ ในสภาวะแสงมาก.....	41
4.8	ผลการเปรียบเทียบการหาค่าระยะทางเฉลี่ยของวิธีการที่นำเสนอและวิธีการต่างๆ ในสภาวะแสงปานกลาง.....	42
4.9	ผลการเปรียบเทียบการหาค่าระยะทางเฉลี่ยของวิธีการที่นำเสนอและวิธีการต่างๆ ในสภาวะแสงน้อย.....	44
4.10	ระยะเวลาที่ใช้ในการประมวลผลระหว่างวิธีการที่นำเสนอกับวิธีการของ S.Tuohy.....	45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	อิมพัลส์ของการสุ่มตัวอย่างภาพ.....	4
2.2	วิธีการสุ่มตัวอย่างภาพ.....	5
2.3	ภาพไบนารีและองค์ประกอบ.....	7
2.4	ภาพดัดขึ้นและองค์ประกอบ.....	7
2.5	ภาพความเข้มและองค์ประกอบ.....	8
2.6	การรวมระนาบสีภาพ RGB.....	9
2.7	ภาพสีจริงและองค์ประกอบ.....	9
2.8	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มต้นฉบับและค่าความเข้มหลังจากใช้ งาน Gamma Correction.....	11
2.9	ROI ที่เป็นกรอบสี่เหลี่ยม.....	12
2.10	Bird's eye view.....	13
2.11	Worm's eye view.....	13
2.12	หลักการแปลง IPM.....	14
2.13	การแปลงภาพมุมมองผกผัน.....	16
3.1	บล็อกไดอะแกรมภาพรวมของระบบที่นำเสนอ.....	18
3.2	มาส์กรูปลี่เหลี่ยมผืนผ้าผนวกกับสี่เหลี่ยมคางหมู.....	21
3.3	บล็อกไดอะแกรมของอัลกอริทึมการลบพื้นถนน.....	22
4.1	ผลการปรับรูปภาพให้ได้ขนาด 640x480.....	27
4.2	ผลการปรับความสว่างรูปภาพ.....	27
4.3	ผลการปรับความสว่างภาพที่มีความสว่างน้อย.....	28
4.4	ผลการปรับความสว่างภาพที่มีความสว่างมาก.....	28
4.5	ผลการกำหนดพื้นที่ที่สนใจ.....	29
4.6	ผลการตรวจจับวัตถุด้วยวิธีการลบพื้นถนน.....	29
4.7	ผลการแปลง IPM.....	30
4.8	ผลการหาค่าระยะทางของระบบที่นำเสนอ.....	31
4.9	ภาพที่ถ่ายได้ในสภาวะแสงมาก.....	33
4.10	ภาพที่ถ่ายได้ในสภาวะแสงน้อย.....	35
4.11	ตัวอย่างภาพที่มีเงาบนพื้นถนน.....	36
4.12	ผลการทดสอบบริเวณที่มีเงา.....	36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับศึกษาใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิได้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า	
4.13	ตัวอย่างภาพการทดสอบที่สภาพถนนหลายช่องทางเดินรถ.....	37
4.14	ผลการทดสอบระบบที่สภาพถนนหลายช่องทางเดินรถ.....	38
4.15	ผลการกำหนด ROI ที่ทดสอบในสภาพถนนหลายช่องทางเดินรถ.....	38
4.16	การทดสอบความละเอียดของการวัด.....	39
4.17	กราฟความสัมพันธ์ของการหาค่าระยะทางด้วยวิธีการต่างๆ ในสถานะแสง มาก.....	40
4.18	กราฟความสัมพันธ์ของการหาค่าระยะทางด้วยวิธีการต่างๆ ในสถานะแสง ปานกลาง.....	43
4.19	กราฟความสัมพันธ์ของการหาค่าระยะทางด้วยวิธีการต่างๆ ในสถานะแสง น้อย.....	44



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

จากสรุปรายงานสถานการณ์โลกด้านความปลอดภัยทางท้องถนน ปีค.ศ. 2015 โดยองค์การอนามัยโลก อันดับ 1 ของสาเหตุสำคัญของการเสียชีวิตของผู้ที่มีอายุ 15-29 ปี ในปีค.ศ. 2012 คือ การบาดเจ็บจากอุบัติเหตุทางท้องถนน และเกือบครึ่งหนึ่งของอัตราการเสียชีวิตเกิดกับการถูกรถชนของคนขี่จักรยานยนต์ คนปั่นจักรยาน และคนเดินเท้า [1] ส่งผลให้ผู้ผลิตรถยนต์รายใหญ่หลายรายมองเห็นถึงความสำคัญของปัญหานี้ จึงได้นำระบบตรวจจับการชนมาใช้ในการช่วยรักษาความปลอดภัยแก่ผู้ขับขี่และผู้ที่ใช้ถนนร่วมกัน [2] และยังช่วยลดอัตราการเกิดอุบัติเหตุทางท้องถนนได้

ระบบตรวจจับการชนแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือระบบแอคทีฟ (Active System) และระบบพาสซีฟ (Passive System) ซึ่งระบบแอคทีฟจะประกอบไปด้วยตัวรับและตัวส่งสัญญาณ แต่ระบบพาสซีฟจะประกอบได้ด้วยตัวรับสัญญาณเพียงอย่างเดียว ในปัจจุบันผู้ผลิตรถยนต์หลายรายได้ใช้เรดาร์ในการตรวจจับการชน [2] ซึ่งใช้หลักการที่ค่อนข้างง่าย และได้ผลที่ดีในการตรวจจับวัตถุที่เป็นโลหะ แต่อย่างไรก็ตามปัญหาของเรดาร์คือการตรวจจับคนเดินเท้าไม่สามารถทำได้ และเนื่องจากเรดาร์ใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในการทำงานจึงทำให้มีปัญหาด้านสัญญาณรบกวนค่อนข้างมาก [3] จากปัญหาดังกล่าวการตรวจจับด้วยระบบพาสซีฟเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่มีความน่าสนใจ

ตัวอย่างของการตรวจจับการชนด้วยระบบพาสซีฟคือ การใช้กล้องถ่ายภาพ ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท นั่นคือ การใช้กล้องหลายตัว (ส่วนใหญ่ใช้ 2 ตัว) และการใช้กล้องตัวเดียว เป็นที่ทราบกันดีว่าการใช้กล้องสองตัวนั้นจะทำให้สิ้นเปลืองค่าใช้จ่าย ดังนั้นวิทยานิพนธ์นี้จึงได้นำเสนอการหาค่าระยะทางโดยใช้สัญญาณภาพที่ได้จากกล้องด้านหน้ารถยนต์ที่ทำการเพิ่มประสิทธิภาพการแปลงภาพมุมมองผกผัน

### 1.2 จุดมุ่งหมาย และวัตถุประสงค์ของการศึกษา

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีจุดมุ่งหมายที่จะนำเสนอการคำนวณและแสดงผลระยะทางระหว่างวัตถุที่อยู่ด้านหน้ายานพาหนะกับกล้องด้านหน้า โดยที่ระบบจะมีการเพิ่มกระบวนการเตรียมรูปภาพเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการคำนวณหาค่าระยะทางให้ดีมากยิ่งขึ้น โดยที่กระบวนการเตรียมรูปภาพนั้นหมายถึงขั้นตอนการปรับขนาดรูปภาพ การปรับความสว่างรูปภาพ และการกำหนดพื้นที่ที่สนใจ ทั้งนี้เพื่อความแม่นยำในการคำนวณ และระยะเวลาในการประมวลผลที่น้อยลง

### 1.3 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการศึกษา

วิธีการที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์นี้เกิดจากแนวคิดที่ว่าเมื่อเปรียบเทียบระยะทางจริงกับระยะของวัตถุในภาพจะพบว่าที่วัตถุระยะใกล้ ระยะในภาพมีการเปลี่ยนแปลงมาก แต่เมื่อระยะวัตถุไกลออกไป ระยะทางในภาพมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย ทำให้การหาค่าระยะทางจากสัญญาณภาพโดยตรงเป็นไปได้ยากเนื่องจากความไม่เป็นเชิงเส้นระหว่างระยะทางจริงกับระยะทางในภาพที่ได้กล่าวข้างต้น ดังนั้นจึงต้องทำการแปลงมุมมองภาพเพื่อกำจัดความไม่เป็นเชิงเส้นนี้ เพื่อให้การแปลงมุมมองภาพไม่มีการผิดเพี้ยนจะต้องมีการปรับรูปร่างภาพให้พร้อมก่อนการประมวลผล

### 1.4 สมมติฐานของการศึกษา

การปรับปรุงการแปลงภาพมุมมองผกผันด้วยการปรับความสว่างรูปภาพก่อนการประมวลผล จะช่วยให้การหาค่าระยะทางมีความแม่นยำมากยิ่งขึ้น

การปรับปรุงการแปลงภาพมุมมองผกผันด้วยการปรับขนาดรูปภาพและการกำหนดพื้นที่ที่สนใจก่อนการประมวลผล จะช่วยให้การหาค่าระยะทางมีความรวดเร็วมากยิ่งขึ้น

การแปลงภาพมุมมองผกผันสามารถกำจัดความไม่เป็นเชิงเส้นระหว่างระยะทางในภาพและระยะทางจริง และยังทำให้สามารถหาค่าระยะทางด้วยการใช้สมการเส้นตรงได้

### 1.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการค้นคว้าพบว่า การตรวจจับวัตถุโดยการใช้กล้องด้านหน้าสามารถแบ่งออกได้เป็นประเภทกล้องคู่และกล้องเดี่ยว โดยการใช้กล้องคู่จะติดตั้งกล้องด้านซ้ายและขวาในระดับความสูงที่เท่ากันเพื่อลดความไม่เป็นเชิงเส้นของระยะทางในภาพ [4] ในปี 2012 Diego Botero และคณะได้ใช้กล้องสองตัวที่มีการปรับปรุงประสิทธิภาพการคำนวณ IPM ด้วยการใช้ FPGA มาตรวจจับสิ่งกีดขวาง [5] ซึ่งการใช้กล้องสองตัวสามารถให้ผลลัพธ์การตรวจจับที่มีความแม่นยำ แต่ในทางกลับกันการใช้กล้องสองตัวก็มีความสิ้นเปลือง

ต่อมาจึงได้มีการตรวจจับระยะทางด้วยกล้องถ่ายภาพด้านหน้าเพียงตัวเดียว [6][7] โดยการใช้การเรียนรู้ด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ (Machine Learning) เช่น โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network) [6] และ Cascade Classifier [7] ทั้งสองวิธีมีหลักการคล้ายกันในการฝึกสอน โดยจะต้องใช้ภาพตัวอย่างเชิงบวก (ข้อมูลตัวอย่างที่สนใจ) และเชิงลบ (ข้อมูลตัวอย่างที่ไม่สนใจ) ในการฝึกสอน จึงจะสามารถตรวจจับวัตถุได้อย่างแม่นยำ แต่อย่างไรก็ตามในการฝึกสอนจะต้องใช้ภาพตัวอย่างข้อมูลจำนวนมากจึงทำให้ฐานข้อมูลของระบบมีขนาดใหญ่ อีกทั้งยังส่งผลให้ไม่มีความหลากหลายในการ

เอกสารนี้เป็นตรวจจับวัตถุ งานไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้ง ต่อมาได้มีงานวิจัยที่นำเสนอการตรวจจับระยะทางโดยการใช้การแปลงภาพมุมมองผกผัน (Inverse Perspective Mapping: IPM) จากกล้องด้านหน้าตัวเดียว [8-11] เพื่อลดความไม่เป็นเชิงเส้นของ

ระยะทางในภาพและยังมีอัลกอริทึมในการตรวจจับวัตถุที่มีความแม่นยำ ทำให้การตรวจจับระยะทางของวัตถุออกมาถูกต้อง งานวิจัยส่วนใหญ่ใช้ IPM เป็นพื้นฐานในการหาค่าระยะทางแต่จะใช้วิธีการตรวจจับวัตถุที่แตกต่างกันออกไป อย่างเช่น ในปี 2010 มีงานวิจัยที่ใช้การลบถนนในการตรวจจับวัตถุ [8] ในปี 2014 Ashwini Bharade ได้นำเสนอการแมพระหว่างพิกเซลในรูปกับค่าระยะทางจริงโดยการทำให้ Regression [9] ปี 2015 A. R. Mondal ได้นำเสนอการปรับ Threshold ภาพโดยการแยกภาพเป็นสองส่วนคือส่วนสีขาวและสีดำเพื่อใช้ในการตรวจจับวัตถุ และสร้างสมการเชิงเส้นในการคำนวณหาค่าระยะทาง [10] และในปี 2017 Rodrigo Adamshuk ได้นำเสนอการตรวจจับวัตถุด้วยการใช้ HSV Colormap และการหาค่า ROI เพื่อลดปริมาณการคำนวณ [11] อย่างไรก็ตามการประมวลผลภาพที่ดีจะต้องพิจารณาองค์ประกอบของภาพ นั่นคือระดับความสว่างจะต้องมีความเหมาะสม อย่างเช่นภาพที่ถ่ายได้ในเวลากลางคืน (แสงน้อย) จะส่งผลให้ระดับความสว่างต่ำ ทำให้การประมวลผลมีประสิทธิภาพไม่ดีเท่าที่ควร และเนื่องจากการตรวจจับระยะทางจะสนใจการตรวจจับเพียงแค่วัตถุที่อยู่บนพื้นถนนเท่านั้น การใช้ทั้งภาพมาประมวลผลจะทำให้ใช้ระยะเวลาในการประมวลผลที่นานเกินความจำเป็น

## 1.6 ขอบเขตของการศึกษา

1.6.1 วิธีการนี้นำเสนอการหาค่าระยะทางโดยใช้กล้อง 1 ตัวที่ติดตั้งภายในรถยนต์ส่วนบุคคล และสามารถหาระยะทางได้ตั้งแต่ 3 - 20 เมตร

1.6.2 วิธีการที่นำเสนอสามารถทำงานได้ในบริเวณที่มีความเข้มแสงตั้งแต่ 100 - 150000 LUX

1.6.3 กล้องที่ใช้ในการถ่ายภาพคือ Raspberry Pi camera module มีความละเอียดอยู่ที่ 2529x1944 pixels การประมวลผลเกิดขึ้นบน Raspberry Pi 3 model B แรม 1 GB ซีพียู Broadcom BCM2837 64-bit ARM Quad-core 1.2GHz สั่งการด้วยภาษา Python ใน OpenCV

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

# ทฤษฎีพื้นฐานที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 กล่าวนำ

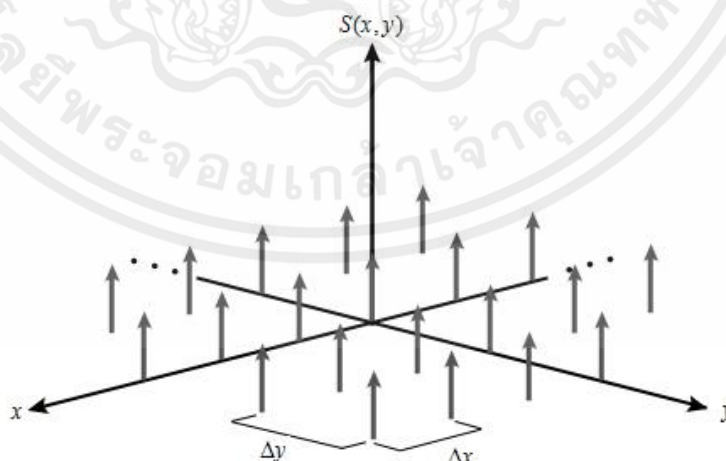
ในบทที่ 2 จะประกอบไปด้วยทฤษฎีและหลักการพื้นฐานต่างๆ โดยจะเริ่มต้นด้วยการอธิบายทฤษฎีการสุ่มตัวอย่างอย่างอย่างสัญญาณที่จะใช้ในการเก็บภาพ จากนั้นจะกล่าวถึงการประมวลผลภาพดิจิทัล (Digital Image Processing) เพื่อเป็นการเชื่อมโยงระหว่างกระบวนการทางคณิตศาสตร์และการประมวลผลภาพได้ รวมถึงหลักการปรับค่าความสว่างภาพและ ROI ของภาพที่นำมาใช้ในการเพิ่มประสิทธิภาพ จากนั้นจะกล่าวถึงทัศนมิติของภาพเพื่อให้เข้าใจมุมมองของภาพมากยิ่งขึ้น สุดท้ายจะกล่าวถึงการวิเคราะห์การถดถอยที่เป็นเทคนิคทางสถิติในการสร้างสมการ

### 2.2 การสุ่มตัวอย่างภาพ (Image Sampling)

การสุ่มตัวอย่างภาพ คือวิธีการที่ใช้ในการแปลงภาพต่อเนื่องเป็นภาพดิจิทัล วิธีการในการสุ่มตัวอย่างภาพสามารถทำได้โดยการนำภาพที่เป็นสัญญาณต่อเนื่องคูณด้วยอิมพัลส์ของการสุ่มตัวอย่าง กำหนดให้อิมพัลส์ของการสุ่มตัวอย่างภาพดังสมการที่ 2.1

$$S(x, y) = \sum_{m=-\infty}^{\infty} \sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta(x - m\Delta x, y - n\Delta y) \quad (2.1)$$

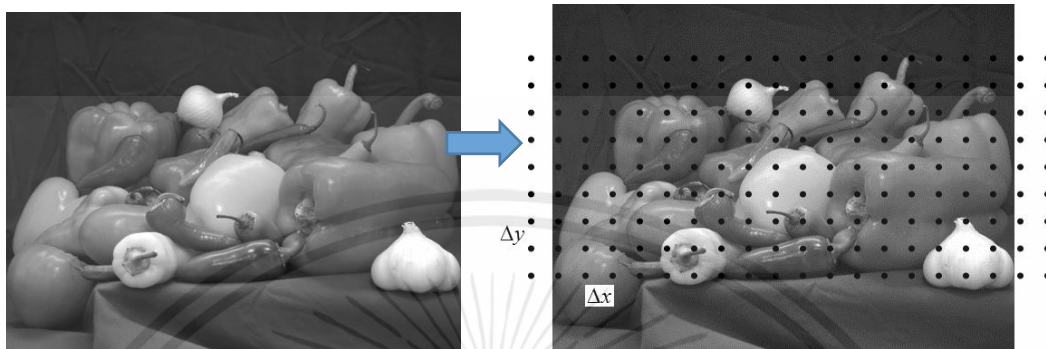
โดยที่  $\Delta x$  และ  $\Delta y$  คือความห่างระหว่างอิมพัลส์ในแกน  $x$  และแกน  $y$  ที่ต้องการ ดังแสดงในรูปที่ 2.1 นำอิมพัลส์และสัญญาณภาพมาคูณกันสามารถแสดงได้ดังสมการที่ 2.2



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
รูปที่ 2.1 อิมพัลส์ของการสุ่มตัวอย่างภาพ  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแบบสงวนเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$f_s(x, y) = f(x, y)S(x, y) = \sum_{m=-\infty}^{\infty} \sum_{n=-\infty}^{\infty} f(m\Delta x, n\Delta y)\delta(x - m\Delta x, y - n\Delta y) \quad (2.2)$$

สำหรับการสุ่มตัวอย่างภาพให้ได้ประสิทธิภาพนั้นจะต้องกำหนดค่า  $\Delta x$  และ  $\Delta y$  ให้มีค่ามากกว่า 2 เท่าของความถี่สูงสุดของสัญญาณเริ่มต้น วิธีการสุ่มตัวอย่างภาพแสดงดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 วิธีการสุ่มตัวอย่างภาพ

ภาพด้านซ้ายมือคือสัญญาณต้นฉบับ ภาพด้านขวามือคือการนำภาพต้นฉบับมาคูณกับสัญญาณอิมพัลส์ (จุดสีดำ) ผลของการสุ่มตัวอย่างภาพจะได้ส่วนที่ทับกันระหว่างภาพต้นฉบับและอิมพัลส์

### 2.3 การประมวลผลภาพดิจิทัล (Digital Image Processing)

การมองเห็นสิ่งต่างๆ ของมนุษย์เป็นสิ่งที่สำคัญและถือเป็นกลไกการรับภาพที่ซับซ้อนอย่างหนึ่ง โดยที่ภาพ (Image) คือสัญญาณสองมิติ ซึ่งสามารถแสดงให้อยู่ในรูปของฟังก์ชัน  $f(x, y)$  โดยมีค่า  $x$  และ  $y$  เป็นค่าพิกัดโดเมนเชิงพื้นที่และค่าแอมพลิจูดของฟังก์ชันนี้ที่ตำแหน่งใดๆ ก็คือค่าความเข้ม (Intensity) ซึ่งจะเป็นสิ่งที่ระบุถึงสีของจุดภาพ (Pixel) นั่นๆ สิ่งที่น่าสนใจของข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการมองเห็นหรือข้อมูลภาพนั้นก็คือกระบวนการประมวลผลภาพ (Image Processing) ด้วยการใช้อุปกรณ์คอมพิวเตอร์

การประมวลผลภาพ คือการคำนวณใดๆ ที่เกิดขึ้นกับภาพ เช่น การย่อขยายภาพ (Resizing), การปรับความสว่าง (Brightness) และความคมชัด (Contrast), การกรองภาพ (Filtering), การหมุนภาพ (Rotation) รวมไปถึงการตรวจจับวัตถุในภาพ (Object Detection) และการแปลงทัศนมิติของภาพ (Perspective Transformation) ซึ่งกระบวนการต่างๆ ที่กล่าวมานี้ คือกระบวนการทางคณิตศาสตร์ที่กระทำต่อฟังก์ชันสองมิติของภาพ  $f(x, y)$  นั่นเอง

การประมวลผลภาพดิจิทัลจึงจะเกี่ยวกับการแปลงข้อมูลภาพให้อยู่ในรูปแบบของข้อมูลดิจิทัล (Digital format) ซึ่งสามารถที่จะนำเอาข้อมูลนี้ผ่านกระบวนการต่าง ๆ ด้วยดิจิทัลคอมพิวเตอร์ได้ในระบบของดิจิทัล อินพุตและเอาต์พุตของระบบจะอยู่ในรูปแบบดิจิทัลเท่านั้น ในการประมวลผลภาพจึงต้องพิจารณาถึงองค์ประกอบที่สำคัญของภาพดังนี้

### 2.3.1 รูปร่างและขนาดของภาพ (Image Shape and Size)

วัตถุที่มีอยู่ตามธรรมชาติและที่มนุษย์สร้างขึ้นมีรูปร่างที่แตกต่างกันออกไป ทั้งที่เป็นรูปทรงเรขาคณิตและไม่เป็นรูปทรงเรขาคณิต ในกระบวนการประมวลผลภาพนั้น วิธีที่นิยมใช้มากที่สุดคือการกำหนดขอบเขตของภาพทุกภาพให้อยู่ในรูปสี่เหลี่ยม เนื่องจากทำให้การอ่านภาพ การจัดเก็บข้อมูลภาพในหน่วยความจำ และการแสดงภาพออกทางอุปกรณ์ต่าง ๆ เป็นไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ สมมุติให้ภาพเป็นตัวแทนแบบอาร์เรย์ขนาด  $M \times N$  ที่ใช้เก็บภาพขนาด  $M \times N$  เนื้อที่ในการเก็บภาพสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.3

$$M \times N \times g \quad (2.3)$$

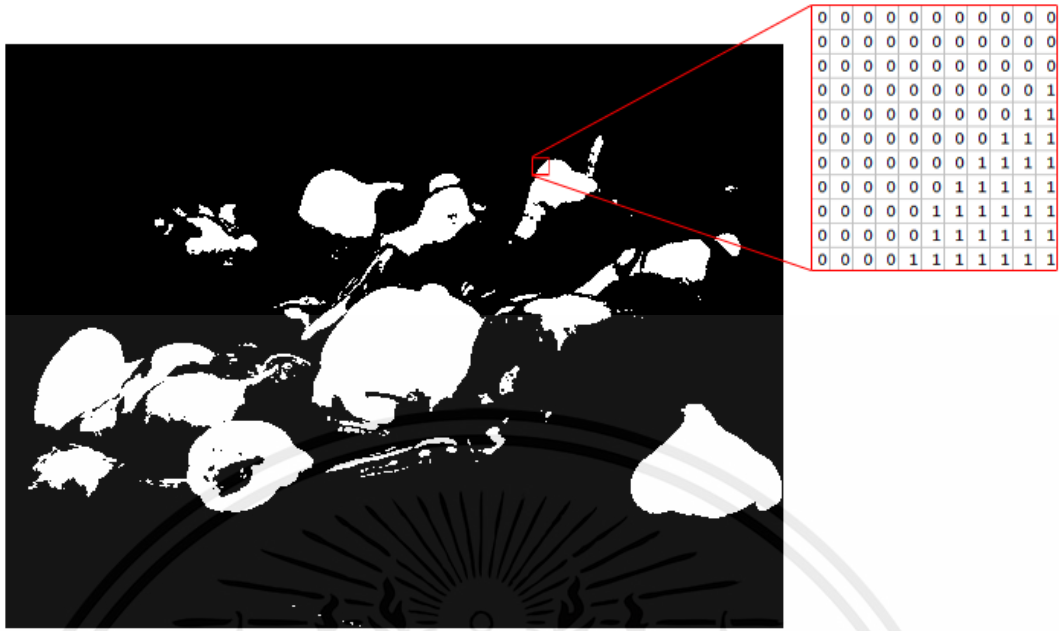
โดยที่  $M$  คือจำนวนจุดภาพในแนวนอน  $N$  คือจำนวนจุดภาพในแนวตั้ง และ  $g$  คือจำนวนเต็มที่แทนจำนวนบิตของข้อมูลในแต่ละจุดภาพ ถ้า  $g$  มีค่าเท่ากับ 8 บิตจะสามารถเก็บความแตกต่างของระดับสีที่เป็นไปสูงสุด 256 ระดับ ( $2^8=256$ ) ระดับ ค่า  $M$  และ  $N$  จะเป็นตัวบอกถึงความละเอียดของภาพ สำหรับคอมพิวเตอร์ทั่วไปในระบบ VGA (Video Graphic Array) จะมีขนาด 640x480, 800x600 และ 1024x768 จุด เป็นต้น

### 2.3.2 ชนิดของภาพ (Image Types)

ชนิดของภาพที่ใช้ในปัจจุบันมีอยู่หลายชนิดด้วยกัน ทั้งนี้การเลือกใช้จะขึ้นอยู่กับการทำงาน แต่โดยทั่วไปแล้วทุกชนิดมีแนวคิดเดียวกันคือ การแทนค่าในแต่ละพิกเซลเพื่อบ่งบอกถึงสีของภาพ ในแต่ละชนิดของภาพมีความแตกต่างกันดังนี้

#### 2.3.2.1 ภาพไบนารี (Binary Image)

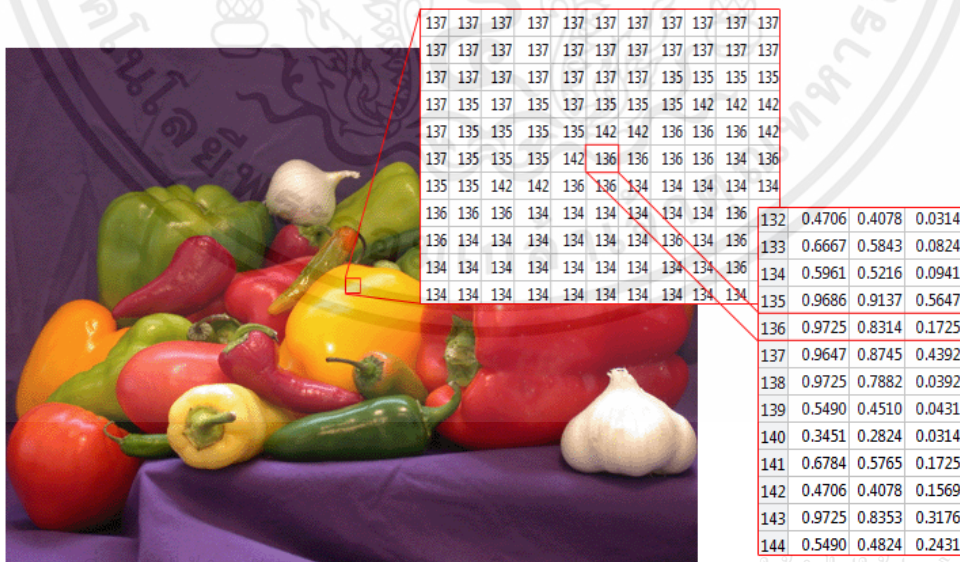
ภาพไบนารี หรือภาพขาว-ดำ เป็นภาพที่ใช้เนื้อที่เพียง 1 บิตต่อพิกเซล โดยค่าสีจะมีเพียงแค่สองค่าคือ 0 สำหรับสีดำ และ 1 สำหรับสีขาว ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 ภาพไบนารีและองค์ประกอบ

2.3.2.2 ภาพดัชนี (Indexed Image)

ภาพดัชนีเป็นภาพที่มีรูปแบบการเก็บค่าดัชนี กล่าวคือภาพประเภทนี้จะเก็บค่าสีเป็นค่าดัชนีและในแต่ละช่องอาร์เรย์ จะเก็บตำแหน่งของสีในดัชนีนั้นๆ ไว้ โดยจะนำค่าจำนวนเต็มของแต่ละพิกเซลไปเทียบกับแผนภูมิสี เพื่อนำสีของค่าดัชนีนั้น ไปแสดงผล ตัวอย่างของภาพชนิดนี้จะแสดงดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 ภาพดัชนีและองค์ประกอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบริการเชิงพาณิชย์เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.3.2.3 ภาพความเข้ม (Intensity Image)

ภาพความเข้มเป็นภาพที่ค่าของพิกเซลของแต่ละตำแหน่งในภาพจะแสดงถึงระดับความเข้มของพิกเซลนั้นๆ ตัวอย่างที่เห็นได้ชัดของภาพชนิดนี้คือภาพระดับสีเทา (Grayscale Image) ซึ่งเป็นภาพที่เก็บโดยใช้รูปแบบของอาร์เรย์ 2 มิติ โดยค่าที่เก็บจะมีค่าอยู่ในช่วงๆ หนึ่ง ระดับของสีจะขึ้นอยู่กับขนาดของบิตที่ใช้ ซึ่งหากภาพมีระดับที่อยู่ในช่วง 0 ถึง 255 แล้ว หมายความว่าค่า 0 คือสีดำ และค่า 255 คือสีขาว ส่วนค่าอื่นๆ จะเป็นสีเทาที่ไล่ระดับความเข้ม ตัวอย่างของภาพชนิดนี้จะแสดงดังรูปที่ 2.5



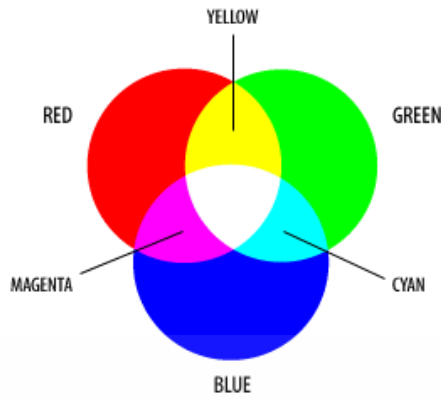
รูปที่ 2.5 ภาพความเข้มและองค์ประกอบ

### 2.3.2.4 ภาพสีจริง (True Color Image)

ค่าของพิกเซลในภาพสีจริงเป็นค่าที่แทนด้วยสีต่างๆ ความละเอียดของสีจะขึ้นอยู่กับขนาดจำนวนของบิตข้อมูล ตามมาตรฐานทั่วไปแล้ว 1 พิกเซลจะต้องแทนด้วย 24 บิต (องค์ประกอบ 3 มิติ มิติละ 8 บิต) ทำให้มีสีสันมากถึง 16 ล้านสี

ภาพชนิดนี้ที่นิยมใช้งานมากที่สุด คือภาพ RGB (Red-Green-Blue Image) ซึ่งเป็นภาพที่เก็บโดยใช้อาร์เรย์ 3 มิติ จะมีการกำหนดองค์ประกอบของสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงินในแต่ละพิกเซล โดยที่สีของแต่ละพิกเซลจะพิจารณาจากการรวมระนาบความเข้มของสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน ที่เก็บไว้ในระนาบแต่ละสีที่ตำแหน่งพิกเซลนั้นๆ ซ้อนกัน การรวมระนาบสีสามารถแสดงให้เห็นได้ดังรูปที่ 2.6 และตัวอย่างของภาพ RGB แสดงดังรูปที่ 2.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ผลเป็นลบเนื่องจากการละเมิดลิขสิทธิ์ของเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 การรวมระนาบสีภาพ RGB



รูปที่ 2.7 ภาพสีจริงและองค์ประกอบ

## 2.4 การแก้ไขแกมมา (Gamma Correction)

การแก้ไขแกมมาเป็นการแก้ไขความสว่างอย่างไม่เป็นเชิงเส้นด้วยฟังก์ชันยกกำลังในระบบวิดีโอหรือภาพนิ่ง โดยที่ความสว่างของภาพคือ ค่าเฉลี่ยของค่าระดับความเข้มในแต่ละพิกเซลของภาพทั้งหมด ซึ่งถ้าสมมติให้ภาพมีขนาด  $M \times N$  และ  $f(x, y)$  คือค่าระดับความเข้มของแต่ละพิกเซลใดๆ ที่พิจารณา ความสว่างของภาพสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.4

$$B_r = \frac{1}{MN} \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x, y) \tag{2.4}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ การปรับความสว่างของภาพโดยใช้วิธีการแก้ไขแกมมา (Gamma Correction) หลักการที่สำคัญคือ ทุกจุดพิกเซลของภาพต้นฉบับจะถูกยกกำลังด้วยตัวแปรแกมมา ( $\gamma$ ) เพื่อให้ภาพมีความสว่างและความคมชัดที่เหมาะสม ฟังก์ชันยกกำลังสามารถอธิบายได้จากสมการที่ 2.5

$$B_r' = (B_r)^\gamma \quad (2.5)$$

โดยที่  $B_r$  และ  $B_r'$  คือค่าระดับความเข้มของภาพต้นฉบับและของภาพหลังจากการใช้สมการ ซึ่งจะมีค่าอยู่ในช่วง  $[0 \ 1]$  และ  $\gamma$  คือค่าคงที่ใดๆ

สำหรับค่า  $\gamma$  ที่น้อยกว่า 1 จะทำให้ได้ค่าระดับความเข้มของผลลัพธ์มีค่ามากขึ้นเมื่อเทียบกับค่าระดับความเข้มของต้นฉบับ ดังนั้น จะทำให้ผลลัพธ์ของภาพมีความสว่างมากขึ้น ซึ่งจะเรียกว่า “การขยายตัวแกมมา (Gamma Expansion)”

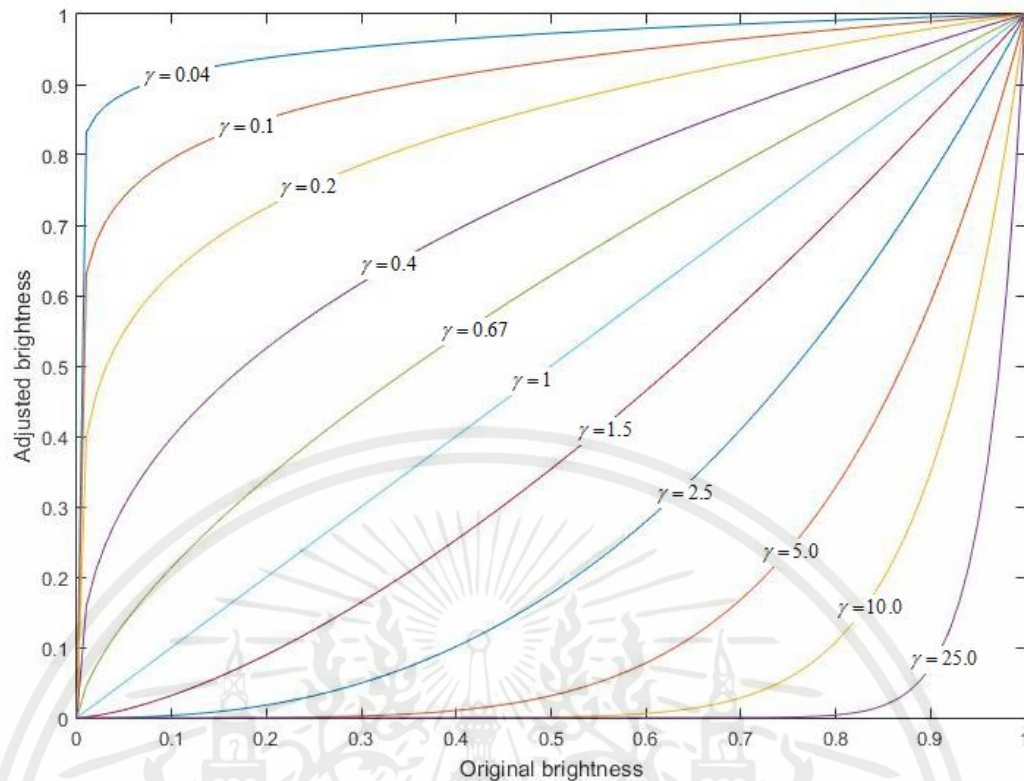
สำหรับค่า  $\gamma$  ที่มากกว่า 1 จะทำให้ได้ค่าระดับความเข้มของผลลัพธ์มีค่าน้อยลงเมื่อเทียบกับค่าระดับความเข้มของต้นฉบับ ดังนั้น จะทำให้ผลลัพธ์ของภาพมีความมืดมากขึ้น ซึ่งจะเรียกว่า “การบีบอัดแกมมา (Gamma Compression)”

การปรับความสว่างของภาพโดยใช้วิธีการแก้ไขแกมมาสามารถทำได้โดยใช้สมการที่ 2.6 โดยที่  $f(x, y)$  คือค่าความเข้มของจุดภาพต้นฉบับ จะเห็นว่าถูกทำให้เป็นบรรทัดฐานด้วยการหาร 255 (กรณีนี้ใช้ระดับสี 8 บิต) ก่อนที่จะใช้งานฟังก์ชันแกมมา หลังจากนั้นจะถูกคูณกลับด้วย 255 อีกครั้ง เพื่อให้ค่า  $f_B(x, y)$  มีค่าความเข้มสูงสุดอยู่ที่ 255

$$f_B(x, y) = 255 \times \left( \frac{f(x, y)}{255} \right)^\gamma \quad (2.6)$$

การแปลงค่าโดยใช้ฟังก์ชันแกมมาตามค่าแกมมาที่แตกต่างกันสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.8 ซึ่งเกิดจากการคำนวณโดยเปลี่ยนค่าแกมมาดังนี้ 0.04, 0.1, 0.2, 0.4, 0.67, 1, 1.5, 2.5, 5.0, 10.0 และ 25.0 โดยที่แกน  $x$  คือค่าความเข้มของจุดภาพต้นฉบับ  $f(x, y)$  และแกน  $y$  คือค่าความเข้มของจุดภาพที่ผ่านฟังก์ชันแกมมา  $f_B(x, y)$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

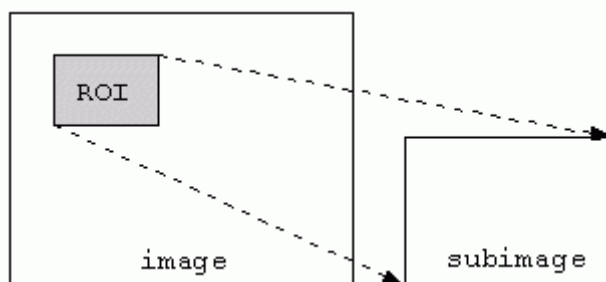


รูปที่ 2.8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มต้นฉบับและค่าความเข้มหลังจากใช้งาน Gamma Correction

## 2.5 พื้นที่ที่สนใจ (Region of Interest: ROI)

ROI คือบริเวณที่สนใจ อาจจะเป็นบริเวณใดภายในภาพก็ได้ การกำหนด ROI ทำได้โดยการตีกรอบล้อมรอบบริเวณที่สนใจ ด้วยวงกลม กรอบสี่เหลี่ยม กรอบวงรี หรือกรอบรูปเหลี่ยมใดๆ เพื่อนำภาพเฉพาะส่วนดังกล่าวมาประมวลผล หรือเปลี่ยนแปลงภาพตามต้องการ โดยการประมวลผลจะไม่มีผลกระทบต่อส่วนอื่นๆ ซึ่งใน 1 ภาพ สามารถกำหนดได้หลายๆ ROI เมื่อกำหนดตำแหน่งต่างๆ แล้ว จะสร้าง Mask ที่เป็น Binary Mask สำหรับใช้ในการกำหนดขอบเขตที่จะมีการเปลี่ยนแปลงภายในรูปภาพนั้นๆ โดยให้ค่าส่วนที่สนใจเป็น 1 หรือสีขาว และให้ส่วนอื่นๆ เป็น 0 หรือสีดำ โดยตัวอย่างของ ROI ที่เป็นกรอบสี่เหลี่ยมสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.9 มีแค่ subimage เท่านั้นที่จะถูกนำมาประมวลผลภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.9 ROI ที่เป็นกรอบสี่เหลี่ยม

## 2.6 ทิศนมิติของภาพ (Perspective of Image)

ทิศนมิติของภาพคือรูปแบบมุมมองที่ลึกซึ้งของเราชนิด ซึ่งจะไม่แสดงให้เห็นในแบบที่ภาพหรือวัตถุเป็นแต่จะแสดงให้เห็นถึงมุมมองที่ตาเห็นภาพและวัตถุนั้นๆ หรือหมายถึงการเขียนภาพให้ปรากฏออกมาในลักษณะที่เหมือนการมองเห็นจริง โดยจะพูดถึงรายละเอียดของทิศนมิติดังนี้

### 2.6.1 ระดับมุมมองของทิศนมิติ

ระดับมุมมองของทิศนมิติเป็นการมองภาพที่มุมมองต่างๆ โดยมีระดับมุมมองดังนี้

#### 2.6.1.1 มุมมองในระดับสายตาตามมนุษย์ (Human's eye view)

มุมมองในระดับสายตาตามมนุษย์เป็นมุมมองที่อยู่ตรงกลาง เพื่อมองวัตถุต่างๆ โดยมีมุมมองราวกับผู้สังเกตการณ์เป็นมนุษย์ โดยลักษณะของทิศนมิติที่สามารถสังเกตได้ คือวัตถุ หรือสิ่งของต่างๆ ที่มีขนาดเท่ากันเมื่ออยู่ไกลตัวออกไปจะมีขนาดเล็ก และเมื่ออยู่ใกล้ตัวจะมีขนาดใหญ่ขึ้น วัตถุ หรือสิ่งของต่างๆ เมื่ออยู่ไกลตัวออกไป จะมีรายละเอียดและความชัดเจนลดลงไปตามลำดับ เส้น หรือสิ่งของที่คู่ขนานกัน เมื่อระยะห่างไกลออกไปจะมีลักษณะพุ่งเข้าหากัน และระยะที่เท่ากันเมื่ออยู่ใกล้ตัวออกไปจะมีระยะที่ใกล้ขึ้นเรื่อยๆ จนรวมเป็นจุดเดียวกันที่สุดสายตา เรียกว่าจุดสุดสายตา (Vanishing Point) เป็นต้น

#### 2.6.1.2 มุมมองระดับสายตานก (Bird's eye view)

มุมมองสายตาของนกเป็นมุมมองที่สูงขึ้น เพื่อมองวัตถุต่างๆ จากด้านบนโดยมีมุมมองราวกับผู้สังเกตการณ์เป็นนก นิยมใช้ในการทำพิมพ์เขียวแผนผังชั้นและแผนที่ ตัวอย่างของภาพมุมมองนี้แสดงดังรูปที่ 2.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.10 Bird's eye view

### 2.6.1.3 มุมมองระดับสายตาหนอน (Worm's eye view)

มุมมองสายตาระดับสายตาหนอนคือมุมมองของวัตถุจากด้านล่างราวกับว่าผู้สังเกตการณ์เป็นหนอน ตรงกันข้ามกับมุมมองของสายตาดนก เปรียบเสมือนกล้องเงยตั้งฉาก 90 องศากับระนาบพื้นดิน บอกตำแหน่งของกล้องอยู่ต่ำสุด มองเห็นพื้นหลังเป็นเพดานหรือท้องฟ้า ตัวอย่างของภาพมุมมองนี้แสดงดังรูปที่ 2.11

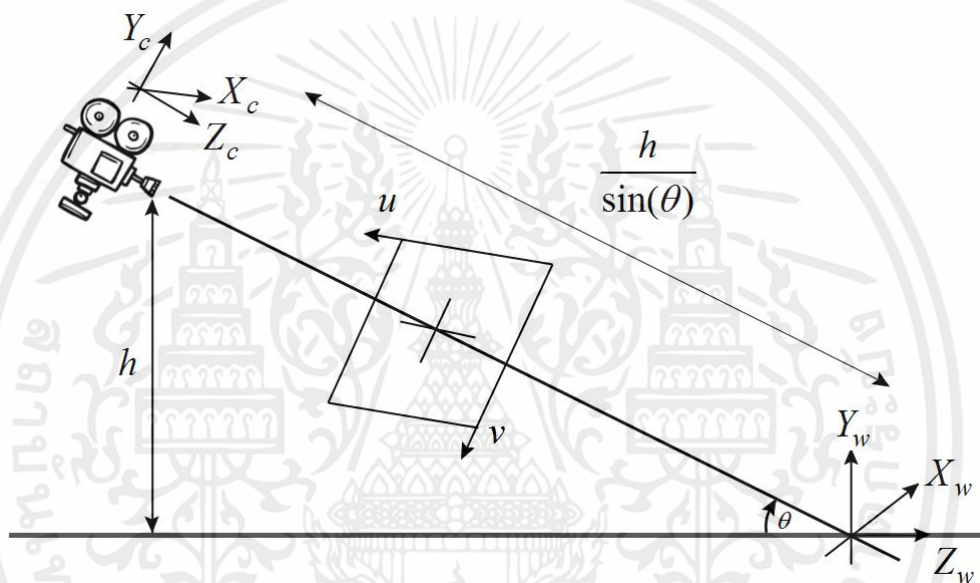


รูปที่ 2.11 Worm's eye view

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.6.2 การแปลงภาพมุมมองผกผัน (Inverse Perspective Mapping: IPM)

การแปลงภาพมุมมองผกผันคือเทคนิคทางคณิตศาสตร์อย่างหนึ่งที่ใช้งานในการแปลงระนาบ (2 มิติ) จากมุมมองหนึ่งไปสู่ภาพอีกมุมมองหนึ่ง เพื่อกำจัดผลกระทบของมุมมองที่บิดเบือนของภาพ ในที่นี้ได้เลือกใช้การสร้างภาพมุมมองตานก เนื่องจากเป็นมุมมองนำเสนอระยะทางของวัตถุได้อย่างเป็นเชิงเส้น ในการสร้างมุมมองระดับสายตาตนก เราต้องหาจุดบนพื้นถนน  $(X_w, Y_w, Z_w)$  ที่ฉายไปยังระนาบภาพ  $(u, v)$  โดยหลักการฉายภาพแสดงดังรูปที่ 2.12 จะเห็นว่าเราต้องการทราบมุมการหมุน  $(\theta)$  ซึ่งเป็นมุมการหมุนของกล้องหรือเป็นมุมที่กล้องกระทำกับพื้นถนน การแปลงภาพมุมมองผกผันสามารถแสดงได้ดังสมการที่ 2.7



รูปที่ 2.12 หลักการแปลง IPM

$$(u, v, 1)^T = R \cdot T \cdot K(X_w, Y_w, Z_w, 1)^T \quad (2.7)$$

โดยที่  $R$  คือ เมทริกซ์การหมุน ดังสมการที่ 2.8

$$R = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(\theta) & -\sin(\theta) & 0 \\ 0 & \sin(\theta) & \cos(\theta) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (2.8)$$

$T$  คือ เมทริกซ์การแปลง ดังสมการที่ 2.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$T = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -\frac{h}{\sin(\theta)} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (2.9)$$

โดยที่  $h$  คือความสูงจากพื้นดินถึงกล้อง และ  $K$  คือ เมทริกซ์พารามิเตอร์ของกล้อง ดังสมการที่ 2.10

$$K = \begin{pmatrix} f & s & u_o & 0 \\ 0 & f & v_o & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix} \quad (2.10)$$

ค่า  $f$  และค่า  $s$  เป็นค่าพารามิเตอร์ที่ขึ้นอยู่กับชนิดของกล้อง โดยที่  $f$  คือความยาวโฟกัสของกล้อง  $s$  คือสควินเนสพารามิเตอร์ (Skewness parameter) หรือค่าสัมประสิทธิ์ความเบ้ของการแจกแจงข้อมูล  $u_o$  และ  $v_o$  คือจุดตัดที่เกี่ยวข้องกับระนาบภาพและระนาบของกล้อง หรืออาจเรียกได้ว่าเป็นจุดกึ่งกลางของรูปภาพ แทนค่าสมการที่ 2.8 2.9 และ 2.10 ลงในสมการที่ 2.7 จะได้สมการที่ 2.11

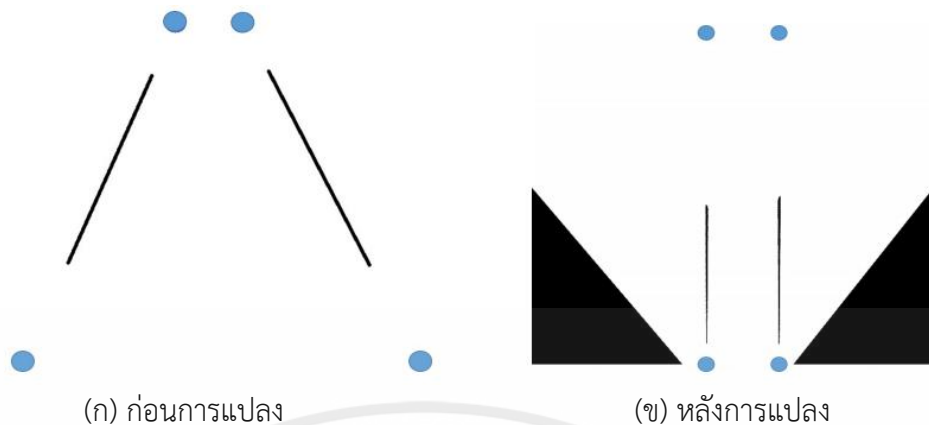
$$\begin{pmatrix} u \\ v \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} p_{11} & p_{12} & p_{13} & p_{14} \\ p_{21} & p_{22} & p_{23} & p_{24} \\ p_{31} & p_{32} & p_{33} & p_{34} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X_w \\ Y_w \\ Z_w \\ 1 \end{pmatrix} \quad (2.11)$$

แต่เนื่องจากเราสนใจระนาบถนน ( $Y_w = 0$ ) ทำให้สามารถลดขนาดของสมการที่ 2.11 ให้เหลือเพียง สมการที่ 2.12

$$\begin{pmatrix} u \\ v \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} p_{11} & p_{13} & p_{14} \\ p_{21} & p_{23} & p_{24} \\ p_{31} & p_{33} & p_{34} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X_w \\ Z_w \\ 1 \end{pmatrix} \quad (2.12)$$

สามารถใช้สมการที่ 2.12 มาช่วยในการสร้างภาพมุมมองผกผันได้ การทำ IPM จะช่วยให้ภาพถ่ายจากกล้องด้านหน้าที่มีการบิดเบือนของช่องทางเดินรถ ดังรูปที่ 2.13(ก) สามารถมองเห็นช่องทางเดินรถเป็นเส้นขนาน ดังแสดงในรูปที่ 2.13(ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) ก่อนการแปลง

(ข) หลังการแปลง

รูปที่ 2.13 การแปลงภาพมุมมองผกผัน

จากรูปที่ 2.13 จะเห็นว่าเส้น หรือสิ่งของที่อยู่ระยะห่างไกลออกไปจะมีลักษณะพุ่งเข้าหากัน หลังจากการแปลงมุมมองผกผันแล้วจะกลายเป็นเส้นขนานตามทีเส้น หรือสิ่งของนั้นๆ เป็น จะเห็นได้ว่าการบิดเบือนของรูปภาพสามารถถูกแก้ไขได้ด้วยการแปลงมุมมองผกผัน

## 2.7 การวิเคราะห์การถดถอยแบบเชิงเส้น (Linear Regression Analysis)

การวิเคราะห์การถดถอยเป็นเทคนิคทางสถิติที่ใช้ในการอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรกรณีที่ยากที่สุดที่จะตรวจสอบ คือตัวแปรหนึ่ง ( $y$ ) ซึ่งเรียกว่าตัวแปรที่ขึ้นอยู่กับเป้าหมาย อาจเกี่ยวข้องกับตัวแปรหนึ่ง ( $x$ ) เรียกว่าตัวแปรอิสระ ถ้าความสัมพันธ์ระหว่าง  $y$  กับ  $x$  เป็นเส้นตรงแล้ว สมการของเส้นสามารถอธิบายได้ดังสมการที่ 2.13

$$y = ax + b \quad (2.13)$$

โดยที่  $a$  คือสัมประสิทธิ์ความชัน และ  $b$  คือจุดที่เส้นตรงนี้ตัดแกน  $y$  โดยถ้าหากให้ค่า  $x = 0$  จะเห็นสมการนี้อยู่ในรูปแบบ  $y = b$  จุดประสงค์ของการวิเคราะห์การถดถอยแบบเชิงเส้นคือการหาเส้นตรงที่ดีที่สุด หรือสมการที่บ่งบอกถึงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร  $y$  และ  $x$  ได้

ในการการวิเคราะห์การถดถอยแบบเชิงเส้นจะต้องพิจารณาคู่ลำดับ  $(x_i, y_i)$  โดยกำหนดให้  $\hat{y}_i$  คือค่าการคาดการณ์ของ  $y_i$  ที่สัมพันธ์กับ  $x_i$  และให้  $e_i = y_i - \hat{y}_i$  เป็นค่าความผิดพลาดที่หลงเหลืออยู่ เพื่อการวิเคราะห์ที่มีประสิทธิภาพจะต้องมีเกณฑ์มาตรฐานในการวิเคราะห์ วิธีการที่ใช้บ่อยที่สุดคือ วิธีกำลังสองน้อยที่สุด (Least Squares) จากค่าความผิดพลาด แทนค่า  $\hat{y}_i = ax_i + b$  จะได้สมการที่ 2.14

$$\sum_{i=1}^n e_i = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i) \quad \text{ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า}$$

$$\sum_{i=1}^n e_i^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - ax_i - b)^2 \quad (2.14)$$

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้นำไปเผยแพร่หรือแจ้งถึงเจ้าเราออกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ  $n$  เป็นจำนวนเต็มที่บ่งบอกถึงจำนวนข้อมูล จากสมการที่ 2.14 หาค่าของ  $a$  และ  $b$  ที่นำไปสู่การหาค่ากำลังสองที่น้อยที่สุด แสดงดังสมการที่ 2.15 และ 2.16 ตามลำดับ

$$\frac{\partial \sum_{i=1}^n e_i^2}{\partial a} = -2 \sum_{i=1}^n x_i (y_i - ax_i - b) = 0 \quad (2.15)$$

$$\frac{\partial \sum_{i=1}^n e_i^2}{\partial b} = -2 \sum_{i=1}^n (y_i - ax_i - b) = 0 \quad (2.16)$$

จากสมการที่ 2.16 นำ 2 ทหารทั้งสองฝั่งและคูณผลรวมกระจายในสมการ จะได้สมการที่ 2.17

$$\sum_{i=1}^n -y_i + a \sum_{i=1}^n x_i + \sum_{i=1}^n b = 0 \quad (2.17)$$

ในการแก้สมการได้อาศัยวิธีการทางสถิติมาช่วย โดยส่วนที่เลือกนำมาใช้เป็นการหาค่าเฉลี่ยของข้อมูล โดยมีสมการดังสมการที่ 2.18 และ 2.19 โดยจะค่าเฉลี่ยของตัวแปร  $x_i$  คือ  $\bar{x}$  และค่าเฉลี่ยของตัวแปร  $y_i$  คือ  $\bar{y}$

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (2.18)$$

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i \quad (2.19)$$

แทนค่าสมการที่ 2.18 และ 2.19 ลงในสมการที่ 2.17 จะได้สมการที่ใช้ในการหาค่า  $b$  ดังสมการที่ 2.20

$$b = \bar{y} - a\bar{x} \quad (2.20)$$

จากสมการที่ 2.14 นำ 2 ทหารทั้งสองฝั่ง คูณผลรวมกระจายในสมการ และแทนค่าจากสมการที่ 2.20 จะได้สมการที่ 2.21 ย้ายข้างเพื่อหาค่า  $a$  ได้ดังสมการที่ 2.22

$$-\sum_{i=1}^n x_i y_i + a \sum_{i=1}^n x_i^2 + (\bar{y} - a\bar{x}) \sum_{i=1}^n x_i = 0$$

$$-\sum_{i=1}^n x_i y_i + a \sum_{i=1}^n x_i^2 + \sum_{i=1}^n x_i \bar{y} - a \sum_{i=1}^n x_i \bar{x} = 0 \quad (2.21)$$

$$a = \frac{\sum_{i=1}^n x_i (y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^n x_i (x_i - \bar{x})} \quad (2.22)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกสิ่งนี้ออกไปและต้องยกย่องถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำมาใช้  
วิเคราะห์การถดถอยแบบเชิงเส้นต่อไป

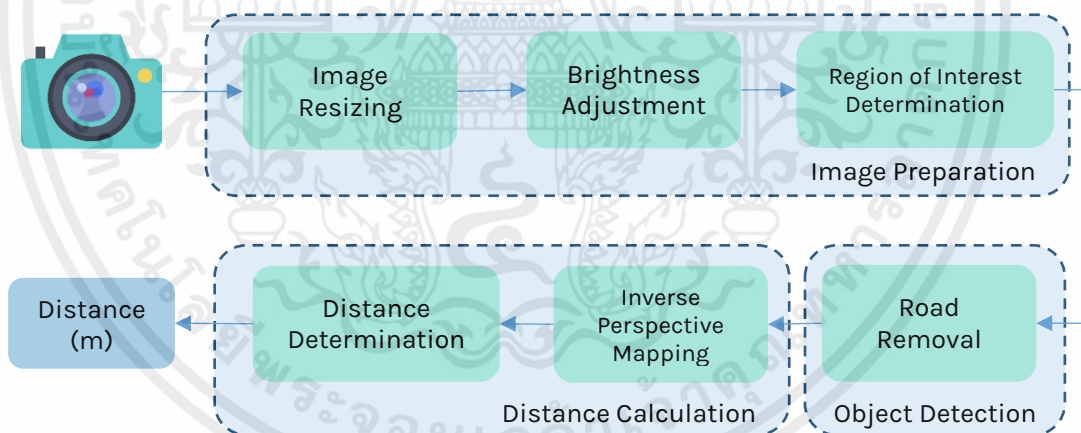
## บทที่ 3

### การออกแบบและการดำเนินงาน

#### 3.1 กล่าวนำ

บทนี้เป็นการนำเสนอการนำหลักการที่ได้กล่าวในบทที่ 2 มาใช้ในงานวิจัย รวมถึงรายละเอียดในการออกแบบระบบการประมาณค่าระยะทางจากสัญญาณภาพที่ได้จากกล้องด้านหน้ารถยนต์ ซึ่งสามารถแสดงบล็อกไดอะแกรมได้ดังรูปที่ 3.1 โดยที่ระบบที่นำเสนอนี้จะประกอบด้วย 3 ส่วนใหญ่ๆ คือ ส่วนการเตรียมรูปภาพ (Image Preparation) ส่วนการตรวจจับวัตถุ (Object Detection) และส่วนการคำนวณระยะทาง (Distance Calculation) แต่ก่อนที่จะประมวลผลภาพตามกระบวนการได้จะต้องมีขั้นตอนการเก็บภาพเสียก่อน

วิทยานิพนธ์นี้ได้ใช้ Raspberry Pi Camera Module เป็นกล้องในการถ่ายภาพ ความละเอียดสูงสุด 2592x1944 pixels เชื่อมต่อกับ Raspberry Pi 3 model B ซึ่งเป็นส่วนที่ใช้ในการประมวลผลสั่งการด้วยด้วยภาษา Python ใน Open CV กล้องจะถูกติดตั้งอยู่ที่กระจกมองหลังที่อยู่ด้านหน้าของรถยนต์ มีความสูงตั้งแต่พื้นถนนจนถึงกล้องที่ 1.3 เมตร มุมกล้องเอียงลง 30°



รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมภาพรวมของระบบที่นำเสนอ

จากบล็อกไดอะแกรมภาพรวมของระบบ จะเห็นว่าภายในระบบจะประกอบด้วยกระบวนการทำงานทั้งหมด 6 กระบวนการ ได้แก่ การปรับขนาดรูปภาพ (Image Resizing) การปรับความสว่างรูปภาพ (Brightness Adjustment) การกำหนดพื้นที่ที่สนใจ (Region of Interest Determination) การลบพื้นถนน การแปลงภาพมุมมองผกผัน และการประมาณค่าระยะทาง โดยท้ายที่สุดแล้วจะได้ผลลัพธ์ออกมาเป็นระยะทางของวัตถุที่ตรวจจับได้ในหน่วยเมตร ซึ่งกระบวนการทำงานทั้งหมดจะถูกอธิบายในหัวข้อถัดไป

## 3.2 ส่วนการเตรียมรูปภาพ (Image Preparation)

ส่วนการเตรียมรูปภาพจะประกอบด้วย 3 กระบวนการ คือ การปรับขนาดรูปภาพ การปรับความสว่างรูปภาพ และการกำหนดพื้นที่ที่สนใจ สัญญาณภาพจะต้องผ่านการเตรียมรูปภาพเป็นขั้นตอนแรกก่อนที่จะเข้าสู่ขั้นตอนการตรวจจับวัตถุ โดยในตอนนี้จะกล่าวรายละเอียดในแต่ละขั้นตอนของการเตรียมรูปภาพโดยละเอียด ดังนี้

### 3.2.1 การปรับขนาดรูปภาพ (Image Resizing)

การปรับขนาดภาพเป็นสิ่งที่จำเป็นต้องทำในขั้นตอนแรก ใช้ในการเพิ่มหรือลดจำนวนจุดภาพ (พิกเซล) ทั้งหมด โดยจะต้องทำการปรับขนาดของภาพให้มีค่าเดียวในทุกๆ ภาพก่อนที่จะเข้ากระบวนการ การซูมตัวอย่างจะช่วยลดจำนวนจุดภาพให้น้อยลงแต่ยังคงแสดงรายละเอียดของภาพได้อย่างครบถ้วนเพื่อการประมวลผลที่รวดเร็ว

การปรับขนาดรูปภาพใช้การลดอัตราการซูม (Downsampling) โดยสามารถแสดงได้ดังสมการที่ 3.1

$$f(x, y) = f_o(Kx, Ky) \quad (3.1)$$

ถ้า  $K=1$   $f_o(Kx, Ky) = f_o(x, y)$  โดยที่  $f_o(x, y)$  คือ พิกเซลของภาพต้นฉบับ และ  $K$  คือ พารามิเตอร์ที่กำหนดอัตราการซูม โดยขนาดของภาพที่วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เลือกใช้คือ  $640 \times 480$  ( $K=4$ ) เป็นขนาดไม่เล็กจนทำให้รายละเอียดของภาพหาย และไม่ใหญ่จนต้องใช้เวลาในการประมวลผลนาน

### 3.2.2 การปรับความสว่างรูปภาพ (Brightness Adjustment)

ความสว่างของภาพเป็นปัจจัยสำคัญในการประมวลผลภาพที่นำไปสู่ผลลัพธ์ที่ดี ด้วยข้อจำกัดทางเทคนิคของอุปกรณ์การถ่ายภาพทำให้เกิดผลกระทบต่อบทภาพ ค่าของการแก้ไขแกมมาจะถูกกำหนดโดยการนำค่าเฉลี่ยระดับความเข้มไปอยู่ที่ศูนย์กลางของฮิสโตแกรมโดยจะกำหนดให้ค่าความสว่างหลังการปรับมีค่าเป็น  $\frac{1}{2}$  เมื่อทราบค่าเฉลี่ยของระดับความเข้มภาพแล้วทำให้สามารถหาค่าแกมมาได้จากสมการที่ 3.2

$$r' = \frac{1}{2}$$

$$\gamma = \frac{\log_{10} \frac{1}{2}}{\log_{10} r}$$

$$\gamma = \frac{-0.3}{\log_{10} r} \quad (3.2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่  $r$  คือค่าเฉลี่ยระดับความเข้มของภาพต้นฉบับ และ  $r \in [0 \ 1]$

เมื่อได้ค่าแกมมาสำหรับใช้ในการปรับแต่ละภาพแล้ว จะต้องทำการแยกภาพออกเป็น 3 ช่องสี จากนั้นนำค่าในแต่ละช่องสีคำนวณตามสมการที่ 3.3, 3.4 และ 3.5 สำหรับช่องสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงินตามลำดับ

$$f'_R(x, y) = 255 \times \left( \frac{f_R(x, y)}{255} \right)^{\gamma} \quad (3.3)$$

$$f'_G(x, y) = 255 \times \left( \frac{f_G(x, y)}{255} \right)^{\gamma} \quad (3.4)$$

$$f'_B(x, y) = 255 \times \left( \frac{f_B(x, y)}{255} \right)^{\gamma} \quad (3.5)$$

โดยที่  $f'_R(x, y)$   $f'_G(x, y)$  และ  $f'_B(x, y)$  คือค่าระดับความเข้มในแต่ละพิกเซลของช่องสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน ตามลำดับ จากสมการที่ 3.3 3.4 และ 3.5 จะเห็นว่ามี การทำให้ภาพเป็นบรรทัดฐาน (Normalization) ด้วยการหารด้วยค่าคงที่ 255 (กรณีความละเอียด 8 บิต) จากนั้นนำไปเข้าสู่ฟังก์ชัน Gamma Correction สุดท้ายปรับสเกลด้วยการคูณด้วยค่าคงที่ 255 เพื่อให้ค่าระดับความเข้มสูงสุดเท่ากับภาพต้นฉบับ หลังจากคำนวณค่าในแต่ละช่องสีใหม่แล้ว นำทั้ง 3 ช่องสีมาผสมรวมกันได้เป็นภาพ RGB ใหม่ที่ทำการปรับค่าความสว่างเรียบร้อยแล้ว

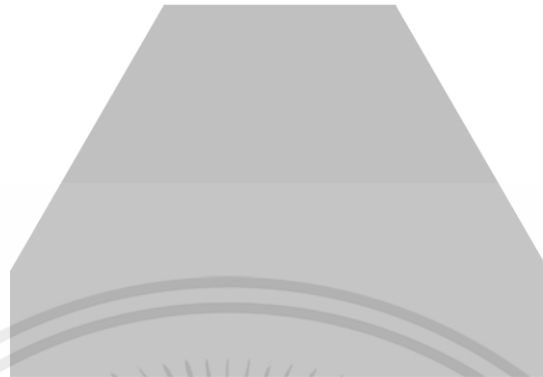
### 3.2.3 การกำหนดพื้นที่ที่สนใจ (Region of Interest Determination)

ภาพที่ถ่ายได้จากกล้องที่ติดอยู่ด้านหน้าของรถ จะประกอบไปด้วย ถนน วัตถุที่อยู่บนถนน และอื่นๆ ขึ้นอยู่กับสิ่งแวดล้อมภายในบริเวณนั้นๆ เนื่องจากเราสนใจการตรวจจับวัตถุที่อยู่บนถนนเท่านั้น เพื่อให้ง่ายต่อการประมวลผลเราจึงต้องกำหนด ROI

ในงานวิทยานิพนธ์นี้ได้ใช้กรอบสี่เหลี่ยมผืนผ้าผนวกกับสี่เหลี่ยมคางหมูขนาด 114800 pixels ในการกำหนด ROI โดยที่ ROI ที่วิทยานิพนธ์นี้ออกแบบจะมีขนาดเดียวและเป็นขนาดที่ตายตัว ใช้สำหรับทุกภาพเนื่องจากกล้องจะต้องถูกติดตั้งอยู่ที่ตำแหน่งเดิมทำให้ได้ภาพที่มุมมองเดิม ดังนั้นบริเวณที่มีนัยสำคัญจะอยู่ที่เดิม ROI จะเป็นบริเวณภาพทั้งหมดที่มีความเป็นไปได้ว่าจะเป็นพื้นถนนที่อยู่ทางด้านหน้าของรถ และบริเวณที่อยู่นอกเหนือจากถนนหรือบริเวณที่เป็นวิวทิวทัศน์ในภาพจะถูกละทิ้งออกจากกรอบ ROI ขั้นตอนการกำหนดพื้นที่ที่สนใจสามารถทำได้ตามขั้นตอนดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. สร้างมาสก์พื้นที่สีเหลี่ยมผืนผ้าผนวกกับสีเหลี่ยมคางหมูแสดงดังรูปที่ 3.2
2. นำมาสก์ในขั้นตอนที่ 1 มาซ้อนทับกับภาพที่จะใช้ประมวลผล



รูปที่ 3.2 มาสก์รูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าผนวกกับสี่เหลี่ยมคางหมู

3. เลือกเฉพาะพื้นที่ที่ซ้อนทับกันจากขั้นตอนที่ 1 และ 2 พื้นที่ที่นอกเหนือจากนี้จะถูกทำการลบออก เหลือเพียงพื้นที่ที่สนใจเท่านั้น

### 3.3 ส่วนการตรวจจับวัตถุ (Object Detection)

วิธีในการตรวจหาวัตถุส่วนใหญ่เป็นวิธีการเรียนรู้ด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ (Machine Learning) จึงต้องการข้อมูลตัวอย่างทั้งในเชิงบวกและเชิงลบเพื่อใช้ในการฝึกสอนคอมพิวเตอร์ [2] อย่างไรก็ตาม เนื่องจากต้องใช้ข้อมูลในการฝึกสอนจำนวนมาก จึงต้องใช้ฐานข้อมูลที่มีขนาดใหญ่ในการเก็บข้อมูล ตัวอย่าง อีกทั้งยังไม่มี ความหลากหลายในการตรวจจับวัตถุ

วิธีที่ทำให้การตรวจจับวัตถุมีประสิทธิภาพมากขึ้น คือการใช้อัลกอริธึมการลบผิวถนน (Road Removal) เนื่องจากวัตถุที่เราต้องตรวจจับเป็นส่วนที่ใกล้ที่สุดของภาพซึ่งไม่ใช่พื้นผิวถนนโดยตรงที่ด้านหน้าของรถ ดังนั้นวิธีที่ง่ายที่สุดในการตรวจจับวัตถุได้อย่างถูกต้องและแม่นยำ คือการลบพื้นผิวถนนออกจากภาพเหลือไว้เพียงวัตถุที่ต้องการเท่านั้น ขั้นตอนของกระบวนการการลบถนน สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.3

ขั้นตอนการลบพื้นถนนในบล็อกไดอะแกรมรูปที่ 3.3 สามารถอธิบายได้ดังนี้

1. ภาพจะถูกแยกออกเป็น 3 ช่องสี คือ สีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน
2. เลือก 1 ช่องสีมาหาค่าเฉลี่ยความเข้ม ( $A_i$ ) จากพื้นที่ด้านหน้าของรถที่เป็นส่วนของถนน
3. สร้างภาพไบนารีใหม่  $b_i(x, y)$  โดยที่บิต 0 แสดงถึงพื้นที่ที่เป็นถนน บิต 1 แสดงถึงพื้นที่

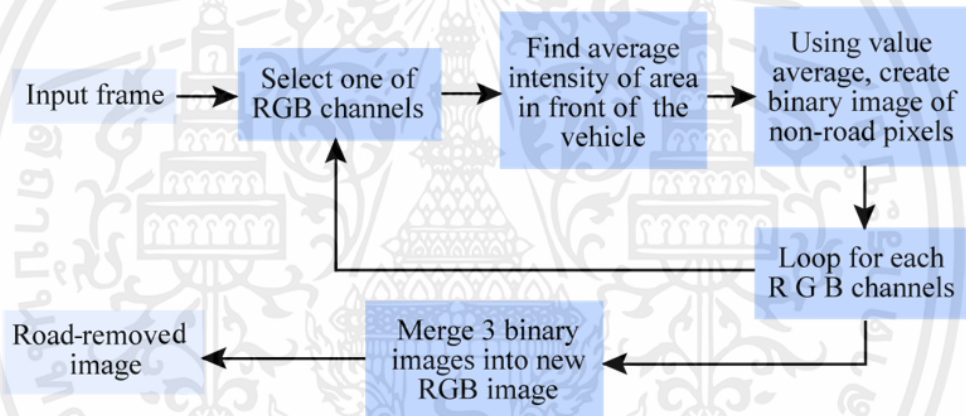
ที่ไม่ใช่ถนน การตัดสินใจได้เลือกใช้ค่า Threshold เป็นค่าที่ได้จากการทดลองหาค่าความเข้มพิกเซลของบริเวณที่เป็นพื้นถนน (จำนวน 10 ภาพ) และนำมาคำนวณค่าทางสถิติ คือ ค่าเฉลี่ย (Mean) และค่าส่วนเบี่ยงเบนจากค่าเฉลี่ย (Standard Deviation:

SD) พบว่าบริเวณที่เป็นพื้นถนนมีค่า SD อยู่ในช่วง  $\pm 35$  พื้นที่ส่วนที่เป็นถนนจะบ่งบอกเมื่อพื้นที่ตรงนั้นมีค่าอยู่ในช่วง  $\pm 35$  ของค่าเฉลี่ยในขั้นตอนที่ 2 พื้นที่ส่วนที่นอกเหนือจากนี้จะถูกแทนที่ด้วยบิต 1 เพื่อบ่งบอกว่าไม่ใช่ส่วนของพื้นถนน เพื่อให้ง่ายต่อการทำความเข้าใจ วิธีการตัดสินใจสามารถแสดงได้ดังสมการที่ 3.6

$$b_i(x, y) = \begin{cases} 0, & \text{if } |f'_i(x, y) - A_i| \leq 35 \\ 1, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3.6)$$

โดยที่  $i$  คือช่องสีแต่ละช่อง

4. ทำซ้ำขั้นตอนที่ 2 และ 3 สำหรับช่องสีที่เหลืออีก 2 ช่อง
5. ขั้นตอนสุดท้าย รวม 3 ภาพไบนารีเข้าด้วยกัน แล้วคูณด้วยค่าคงที่ 255 เพื่อสร้างภาพ RGB ใหม่



รูปที่ 3.3 บล็อกไดอะแกรมของอัลกอริทึมการลบพื้นถนน

### 3.4 ส่วนการคำนวณระยะทาง

หลังจากสัญญาณภาพผ่านขั้นตอนการตรวจจับวัตถุแล้ว ต้องทำการคำนวณค่าระยะทางเป็นลำดับสุดท้าย เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ค่าระยะทางของวัตถุที่ตรวจจับได้ออกมา โดยในส่วนนี้จะทำการกล่าวถึงวิธีการในการคำนวณระยะทาง ซึ่งประกอบด้วย 2 กระบวนการ คือ การแปลงภาพมุมมองผกผัน และการประมาณค่าระยะทาง ในแต่ละกระบวนการจะถูกอธิบายโดยละเอียด ดังนี้

#### 3.3.1 การแปลงภาพมุมมองผกผัน (Inverse Perspective Mapping: IPM)

จากที่ได้กล่าวมาในบทที่ 2 การแปลงภาพมุมมองผกผันจะต้องทราบค่าตัวแปรต่างๆ ที่ใช้ในการคำนวณ ไม่ว่าจะเป็นค่ามุมกล้อง  $\theta$  (ซึ่งเป็นมุมกล้องที่เอียงลง)  $30^\circ$  ลงในสมการที่ 2.8 จะได้

$$R = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(30^\circ) & -\sin(30^\circ) & 0 \\ 0 & \sin(30^\circ) & \cos(30^\circ) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (3.7)$$

ในการหาค่าเมทริกซ์  $T$  ต้องทราบค่า  $\theta$  และ  $h$  ที่เป็นความสูงระหว่างพื้นถนนกับกล้อง ในงานวิจัยนี้ได้ติดตั้งกล้องที่ความสูง 1.3 เมตร ดังนั้นจากสมการที่ 2.9 จะได้ว่า

$$T = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & \frac{1.3}{\sin(30^\circ)} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (3.8)$$

สำหรับค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของกล้องที่ใช้ในการถ่ายภาพ งานวิจัยนี้ได้เลือกใช้ความยาวโฟกัสของกล้อง  $f = 500\text{mm}$ ,  $s = 0$ , สำหรับ  $u_0$  และ  $v_0$  ซึ่งเป็นค่ากึ่งกลางของภาพถ่าย กรณีนี้ได้เลือกใช้ภาพขนาด  $640 \times 480$  ดังนั้น  $u_0 = 320$  และ  $v_0 = 240$  เมื่อแทนค่าลงในสมการที่ 2.10 จะได้

$$K = \begin{pmatrix} 500 & 0 & 320 & 0 \\ 0 & 500 & 240 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix} \quad (3.9)$$

และจะได้การแปลงภาพมุมมองผกผันดังสมการที่ 3.10

$$\begin{pmatrix} u \\ v \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 500 & 49.36 & 421.04 \\ 0 & 531.04 & 315.78 \\ 0 & 0.15 & 1.32 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X_w \\ Z_w \\ 1 \end{pmatrix} \quad (3.10)$$

### 3.3.2 การประมาณค่าระยะทาง (Distance Determination)

เมื่อสัญญาณภาพได้ถูกแปลงให้อยู่ในมุมมองแบบตานก ซึ่งเป็นการแก้ปัญหาความไม่เป็นเชิงเส้นระหว่างระยะทางในภาพกับระยะทางจริง จะสังเกตเห็นว่าเมื่อสัญญาณภาพถูกแปลงเรียบร้อยแล้ว เส้นขอบริมถนนเป็นเส้นอยู่ในรูปแบบเส้นขนาน ส่งผลให้การหาค่าระยะทางสามารถทำได้โดยใช้สมการเส้นตรงได้ทันที ในกระบวนการนี้มีการทำงานตามขั้นตอนดังนี้

1. คำนวณค่าเฉลี่ยความเข้มของพิกเซลภาพเป็นแถว เริ่มที่แถวล่างสุด

2. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความเข้มพิกเซลของแต่ละแถวกับค่า threshold นั่นคือ 50 ได้มาจากการทดลองด้วยการใช้ภาพที่มีวัตถุที่ต้องการตรวจจับในระยะที่แตกต่างกันจำนวน 10 ภาพ พบว่าแถวที่มีความเข้มพิกเซลเฉลี่ยมากกว่า 50 จะเป็นตำแหน่งเริ่มต้นของวัตถุ

หากค่าเฉลี่ยความเข้มฟลักซ์ที่แฉะนั้นมีค่าน้อยกว่า 50 ให้ย้อนกลับไปทำขั้นตอนที่ 1 โดยลำดับการคำนวณจะไล่จากแฉะล่างขึ้นแฉะบน ตำแหน่งเริ่มต้นของวัตถุจะถูกบ่งชี้เมื่อค่าเฉลี่ยความเข้มฟลักซ์ที่แฉะนั้นมีค่ามากกว่า 50 และค่าลำดับของแฉะนั้น ( $p$ ) จะถูกเก็บเพื่อนำไปใช้คำนวณค่าระยะทาง

3. จากสมการเส้นตรง จะต้องทำการหาค่า  $a$  และ  $b$  ในสมการที่ 2.13 โดยการหาค่าจะทำการวิเคราะห์การถดถอย (Linear Regression) โดยใช้ข้อมูลจากการทดลองที่ทำการวัดค่าระยะทางจริงและเก็บภาพจากกล้องหน้ารถทุกๆ 1 เมตร เริ่มต้นที่ 3 เมตรถึง 20 เมตร ซึ่งข้อมูลที่ได้ทำการเก็บผลการทดลองสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 3.1 ข้อมูลจากตารางที่ 3.1 ใช้การวิเคราะห์การถดถอยเข้ามาช่วยในการสร้างสมการเส้นตรง ซึ่งได้ค่า  $a = 0.03174$  และ  $b = 3.235$  ส่งผลให้ระยะทางระหว่างวัตถุที่ตรวจจับกับยานพาหนะสามารถคำนวณได้จากสมการเส้นตรงดังสมการที่ 3.11

$$d = 0.03174p + 3.235 \quad (3.11)$$

โดยที่  $d$  คือระยะทางระหว่างวัตถุที่ตรวจจับกับยานพาหนะในหน่วยเมตร และ  $p$  คือระยะฟลักซ์ตั้งแต่ขอบภาพด้านล่างไปจนถึงจุดเริ่มต้นของวัตถุ (หาได้จากขั้นตอนที่ 2)

ตารางที่ 3.1 ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์การถดถอย

ระยะทางจริง (เมตร)	ลำดับแถวเริ่มต้นของวัตถุ ( $p$ )
3	29
4	59
5	82
6	90
7	114
8	140
9	166
10	173
11	191
12	214
13	245
14	271
15	304
16	333
17	407
18	461
19	549
20	585

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### การทดลองและผลการทดลอง

#### 4.1 กล่าวนำ

บทนี้จะกล่าวถึงผลการทดลองของระบบการหาค่าระยะทางที่นำเสนอ โดยจะนำเสนอผลการทดลองในแต่ละขั้นตอนการทดลอง การทดลองระบบในสภาวะแสงต่างๆ เปรียบเทียบผลการทดลองของวิธีการที่นำเสนอกับวิธีการต่างๆ ที่มีการทำงานใกล้เคียงกัน และส่วนสุดท้ายระยะเวลาที่ระบบใช้ในการทำงาน ผลการทดลองในบทนี้ถูกทดสอบที่สภาวะแสงมาก (80,000 – 150,000 LUX) แสงปานกลาง (5,000 – 80,000 LUX) และแสงน้อย (20 – 5,000 LUX) ที่แสงมากและแสงปานกลางทดสอบ 18 ระยะทาง ระยะทางละ 2 ภาพ และแสงน้อยทดสอบ 18 ระยะทางระยะทางละ 1 ภาพ รวมทั้ง 3 สภาวะแสงได้ทดสอบทั้งหมด 90 ภาพ

#### 4.2 ผลการทดลองการหาค่าระยะทาง

จากบทที่ 3 ระบบที่นำเสนอประกอบด้วย 3 ส่วนใหญ่ๆ นั่นคือ ส่วนการเตรียมรูปภาพ ส่วนการตรวจจับวัตถุ และส่วนการคำนวณระยะทาง ผลการทดลองในส่วนต่างๆ จะอธิบายดังนี้

##### 4.2.1 ส่วนการเตรียมรูปภาพ

ส่วนการเตรียมรูปภาพ เป็นส่วนที่ช่วยให้การประมาณค่าระยะทางมีความถูกต้องและแม่นยำมากขึ้น ผลของการเตรียมรูปภาพประกอบไปด้วย 3 ส่วน ดังนี้

##### 4.2.1.1 ผลการปรับขนาดรูปภาพ

ระบบที่นำเสนอได้ใช้กล้อง Raspberry Pi Camera Module ในการจับภาพซึ่งจะเชื่อมต่อกับ Raspberry Pi เพื่อทำการประมวลผล ความละเอียดของภาพที่ได้จากกล้องเท่ากับ 5MP (2592x1944 pixels) โดยเมื่อทำการปรับขนาดรูปภาพ จะได้ภาพที่มีขนาด 640x480 พิกเซล ดังแสดงในรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 ผลการปรับรูปภาพให้ได้ขนาด 640x480 พิกเซล

#### 4.2.1.2 ผลการปรับความสว่างรูปภาพ

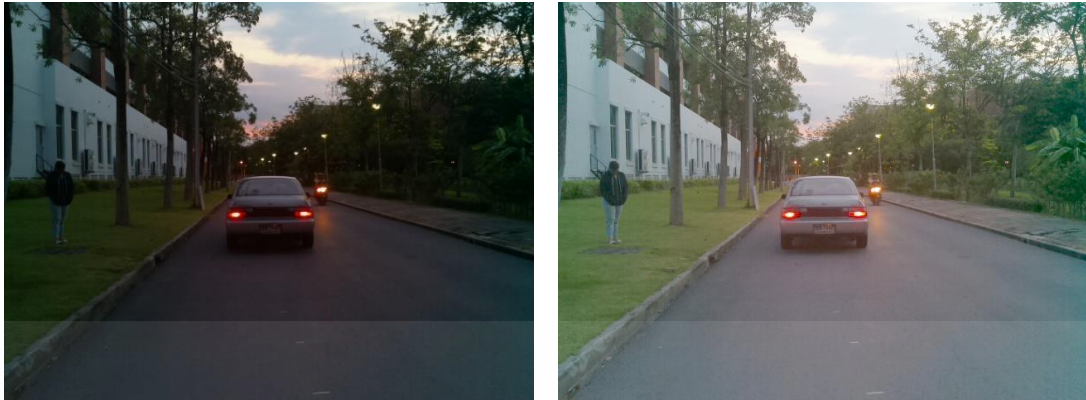
หลังจากปรับขนาดเรียบร้อยแล้วภาพจะเข้าสู่กระบวนการปรับความสว่าง เพื่อให้การประมาณค่าระยะทางให้มีประสิทธิภาพที่ดียิ่งขึ้น ผลการปรับความสว่างรูปภาพ (จากรูปที่ 4.1) สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 ผลการปรับความสว่างรูปภาพ

จากรูปที่ 4.2 จะเห็นได้ว่าภาพมีความสว่างลดลงจากรูปที่ 4.1 จึงทำให้เห็นรายละเอียดต่างๆ มากยิ่งขึ้น เมื่อคำนวณค่าความสว่างของรูปที่ 4.1 พบว่ามีค่าเท่ากับ 0.5375 นำไปคำนวณหาค่าแกมมาที่เหมาะสม จะได้  $\gamma = 0.8988$  ค่าความสว่างของรูปที่ 4.2 มีค่าเท่ากับ 0.5076 จะพบว่ามี ความแตกต่างเพียงเล็กน้อย เนื่องจากภาพตัวอย่างนั้นถูกถ่ายในที่ที่มีความเข้มแสงค่อนข้างเหมาะสม อาจจะไม่เห็นความแตกต่างมากนัก จึงขอยกตัวอย่างเพิ่มเติมเป็นภาพที่ถูกถ่ายในที่ที่มีความเข้มแสง ไม่เหมาะสม ในรูปที่ 4.3 ถูกถ่ายที่สภาวะแสงน้อย และรูปที่ 4.4 ถูกถ่ายที่สภาวะแสงมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)

(ข)

**รูปที่ 4.3** ผลการปรับความสว่างภาพที่มีความสว่างน้อย (ก) ภาพต้นฉบับ (ข) ภาพที่ปรับความสว่างเรียบร้อยแล้ว

จากรูปที่ 4.3 แสดงให้เห็นผลการปรับความสว่างของภาพที่ถูกถ่ายในสภาวะแสงน้อย รูปที่ 4.3(ก) มีความสว่าง 0.2082 นำไปคำนวณหาค่าแกมมาที่เหมาะสม จะได้  $\gamma = 2.2720$  ค่าความสว่างของรูปที่ 4.3(ข) มีค่าเท่ากับ 0.4552 จะพบว่าค่าความสว่างมีค่ามากขึ้น



(ก)

(ข)

**รูปที่ 4.4** ผลการปรับความสว่างภาพที่มีความสว่างมาก (ก) ภาพต้นฉบับ (ข) ภาพที่ปรับความสว่างเรียบร้อยแล้ว

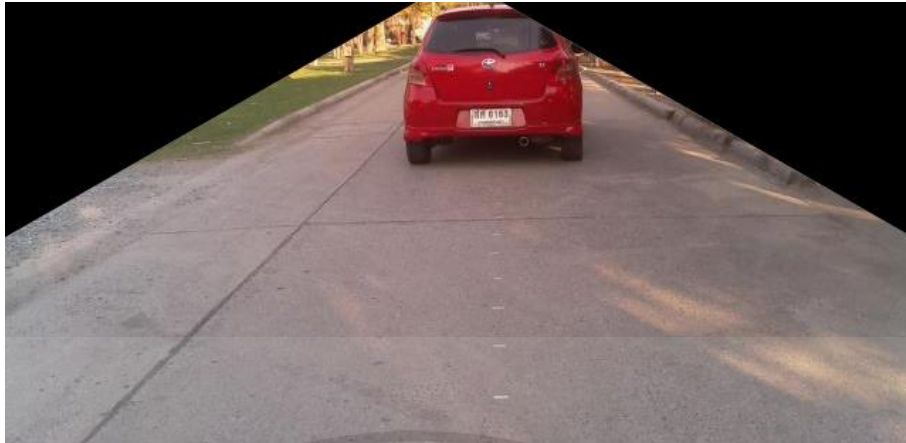
จากรูปที่ 4.4 แสดงให้เห็นผลการปรับความสว่างของภาพที่ถูกถ่ายในสภาวะแสงมาก รูปที่ 4.4(ก) มีความสว่าง 0.8158 นำไปคำนวณหาค่าแกมมาที่เหมาะสม จะได้  $\gamma = 0.2947$  รูปที่ 4.4(ข) ความสว่างของภาพมีค่าเท่ากับ 0.6155 พบว่าค่าความสว่างลดลงจากภาพต้นฉบับ ทำให้สามารถเห็นรายละเอียดของภาพได้ชัดเจนยิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับความใช้งานที่ระบุเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีได้คงเหลืออยู่ตามแต่ต้องอ้างอิงจากเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.2.1.3 ผลการกำหนดพื้นที่ที่สนใจ

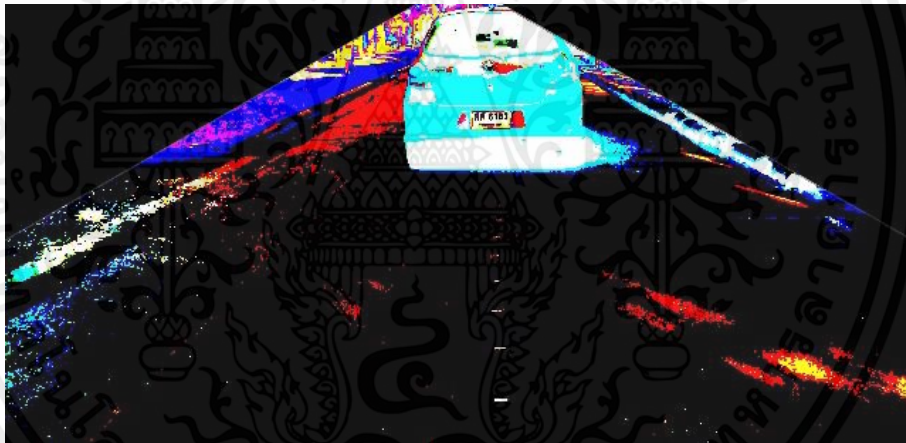
พื้นที่ที่สนใจจะเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าผนวกกับสี่เหลี่ยมคางหมู ส่วนที่นอกเหนือจากนั้น จะถูกลบตัดออก (บริเวณที่เป็นสีดำ) แสดงดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 ผลการกำหนดพื้นที่ที่สนใจ

#### 4.2.2 ส่วนการตรวจจับวัตถุ

ส่วนการตรวจจับวัตถุได้เลือกใช้การลบพื้นถนน โดยทำให้ส่วนที่เป็นพื้นถนนกลายเป็นสีดำแสดงดังรูปที่ 4.6 ส่วนพื้นที่อื่นๆ ที่ไม่ใช่ถนนจะมีสีตามความเข้มของแต่ละช่องสี ที่ถูกผสมรวมกันทั้ง 3 ช่องสี



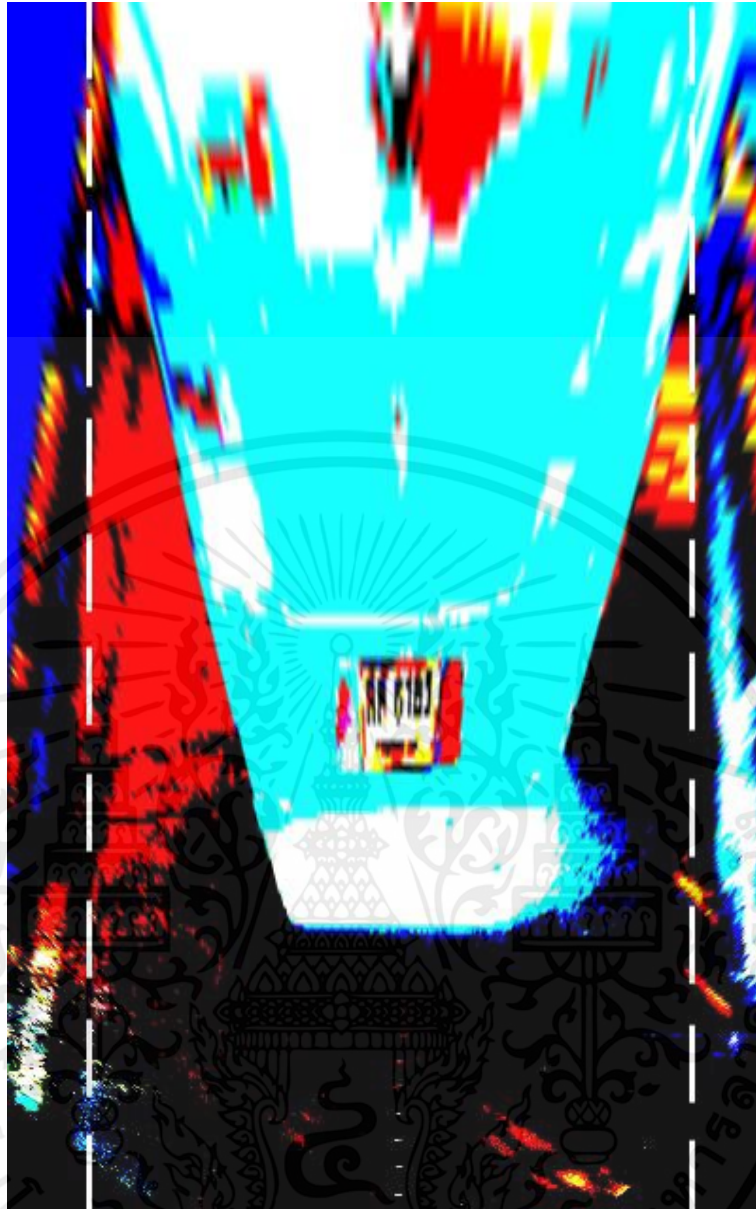
รูปที่ 4.6 ผลการตรวจจับวัตถุด้วยวิธีการลบพื้นถนน

#### 4.2.3 ส่วนการหาค่าระยะทาง

ส่วนการหาค่าระยะทางจะประกอบไปด้วยผลของขั้นตอนการแปลงภาพ IPM และขั้นตอนการประมาณค่าระยะทาง

##### 4.2.3.1 ผลการแปลงภาพ IPM

เมื่อภาพผ่านทุกกระบวนการข้างต้นแล้ว จะถูกนำมาแปลง IPM โดยผลการแปลง IPM ของวิธีการที่นำเสนอ แสดงดังรูปที่ 4.7 ภาพจะถูกแปลงให้อยู่ในมุมมองที่แตกต่างไป ในที่นี้คือมุมมองแบบตานก (Bird's eyes view) สังเกตได้จากบริเวณที่เป็นเส้นถนนจะมีลักษณะขนานกัน (เส้นประสีเทา) ทำให้ระยะพิกเซลในภาพมีความสัมพันธ์กับระยะทางจริง



รูปที่ 4.7 ผลการแปลง IPM

#### 4.2.3.2 ผลการประมาณค่าระยะทาง

จากสมการที่ (3.11) ต้องการทราบค่า  $p$  ที่เป็นแถวเริ่มต้นของวัตถุที่ตรวจจับได้เพื่อนำไปแทนค่าหาระยะทาง ตัวอย่างผลการประมาณค่าระยะทางที่ระบบทำได้แสดงดังรูปที่ 4.8 และผลของการประมาณค่าระยะทางของวิธีที่นำเสนอทั้งหมด 18 ระยะ (3 – 20 เมตร) แสดงดังตารางที่ 4.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 ผลการหาค่าระยะทางของระบบที่นำเสนอ

ตารางที่ 4.1 ผลการหาค่าระยะทางของระบบที่นำเสนอในสภาวะแสงปานกลาง

ระยะทางจริง (เมตร)	ค่า $p$	ระยะทางที่ระบบประมาณได้ (เมตร)	ความผิดพลาด (%)
3	15	3.7111	23.70
4	42	4.5680	14.20
5	70	5.4568	9.13
6	94	6.2185	3.64
7	123	7.1390	1.98
8	150	7.9960	0.05
9	179	8.9164	0.92
10	203	9.6782	3.21
11	230	10.535	4.22
12	254	11.2969	5.85
13	287	12.3443	5.04
14	307	12.9791	7.29
15	332	13.7726	8.18
16	390	15.6136	2.41
17	421	16.5975	2.36
18	431	16.9149	6.02
19	496	18.9780	0.11
20	515	19.5811	2.09

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ไปใช้ประโยชน์ด้านอื่นๆ  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในช่วงระยะ 3 – 5 เมตรระบบยังไม่สามารถประมาณค่าระยะทางได้แม่นยำเท่าที่ควร แต่ระบบสามารถหาค่าระยะทางได้แม่นยำในช่วงระยะ 6 เมตรเป็นต้นไป

การวัดประสิทธิภาพเครื่องมือวัด ความเที่ยงตรงเป็นอีกตัวแปรหนึ่งที่สามารถบ่งบอกถึงประสิทธิภาพของเครื่องวัดได้ โดยที่ความเที่ยงตรงคือค่าที่แสดงถึงความสามารถของเครื่องมือวัดในการแสดงค่าเดิมเมื่อทำการวัดหลายๆ ครั้ง ซึ่งวิธีการที่นำเสนอนี้ได้ทำการวัดความเที่ยงตรงของระบบด้วยการวัดที่ระยะเดิมซ้ำๆ จำนวน 5 ครั้งทุกระยะทาง ค่าระยะทางที่วัดได้แสดงดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ค่าที่ระบบประมาณได้ในแต่ละระยะทาง

ระยะทางจริง (เมตร)	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย
3	3.4156	3.4254	3.9650	3.6476	3.6476	3.62013
4	3.9558	3.9668	4.5363	4.6633	4.4411	4.3125
5	4.2552	4.3142	5.2346	5.3933	5.3615	4.9117
6	5.9351	6.0916	6.0598	6.3772	6.3772	6.1681
7	6.6253	6.8216	6.8533	6.4724	6.4407	6.6426
8	7.3456	7.5834	7.6786	7.5516	7.5516	7.5420
9	8.2154	8.5038	8.5038	8.7577	8.8529	8.5666
10	8.8752	9.2021	9.5195	10.0591	9.9321	9.5175
11	9.7151	10.0908	10.4082	10.9795	11.0113	10.4409
12	10.4951	11.043	11.4556	12.5348	12.4078	11.5872
13	11.5458	12.027	12.3761	13.4552	13.3283	12.5463
14	12.2659	13.0109	13.3283	15.0105	15.1692	13.7568
15	13.1655	13.7409	14.2487	16.1531	16.3118	14.7239
16	15.4456	16.1532	15.1375	16.9149	16.9149	16.1131
17	16.4952	17.2641	16.1531	18.0575	17.7084	17.1356
18	16.8850	18.0893	17.0736	18.8510	19.2637	18.0325
19	19.7053	20.6603	18.3115	19.9302	19.9302	19.7074
20	20.4851	21.4855	19.6128	20.7237	20.3746	20.5363

สามารถหาค่าความเที่ยงตรงได้จากสมการที่ 4.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกหรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาตของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำ (4.1)

$$precision = \left( 1 - \left| \frac{x_i - x_m}{x_m} \right| \right) \times 100$$

โดยที่  $x_i$  คือค่าการวัดที่วัดได้ในแต่ละครั้ง และ  $x_m$  คือค่าเฉลี่ยในการวัดที่ระยะเดิม พบว่าระบบที่นำเสนอมีความเที่ยงตรงของการวัดเฉลี่ยเท่ากับ 95.4%

### 4.3 ผลการทดลองที่สภาวะแสงต่างๆ

ในหัวข้อ 4.2 ได้แสดงผลการหาค่าระยะทางของระบบที่ทดลองในสภาวะแสงที่ค่อนข้างเหมาะสม ในส่วนนี้จึงจะแสดงผลการหาค่าระยะทางของระบบที่นำเสนอในที่สภาวะแสงที่แตกต่างออกไป โดยจะแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ส่วน ตามค่าความเข้มแสงของบริเวณที่ทำการทดลอง ได้แก่ ผลการทดลองที่สภาวะแสงมาก และแสงน้อย แต่ละสภาวะแสงได้ทำการหาค่าระยะทางทั้งหมด 18 ระยะ ตั้งแต่ 3 – 20 เมตร

#### 4.3.1 ผลการทดลองที่สภาวะแสงมาก

ผลการทดลองที่สภาวะแสงมาก เป็นผลจากการวัดระยะทางในช่วงเวลา 08.00น. – 13.00น. ความเข้มแสงบริเวณนั้นมีค่าประมาณ 80,000 – 150,000 LUX ตัวอย่างของภาพที่ถูกถ่ายได้ในสภาวะนี้แสดงดังรูปที่ 4.9 และผลการหาค่าระยะทางที่สภาวะแสงมากแสดงดังตารางที่ 4.3

จากตารางที่ 4.3 ในช่วงระยะทาง 3 – 8 เมตร ค่าความผิดพลาดอยู่ในช่วง 5 – 34% อาจเนื่องมาจากแสงกระทบกับตัววัตถุและสะท้อนเข้ากล้องมากเกินไปทำให้ระบบไม่สามารถถลบนนอกจากภาพได้ จึงทำให้การคำนวณระยะทางมีความผิดพลาดไปด้วย แต่ในช่วงระยะทาง 8 – 20 เมตร จากค่าความผิดพลาดสามารถบ่งบอกได้ว่าระบบสามารถทำงานได้ดี



รูปที่ 4.9 ภาพที่ถ่ายได้ในสภาวะแสงมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

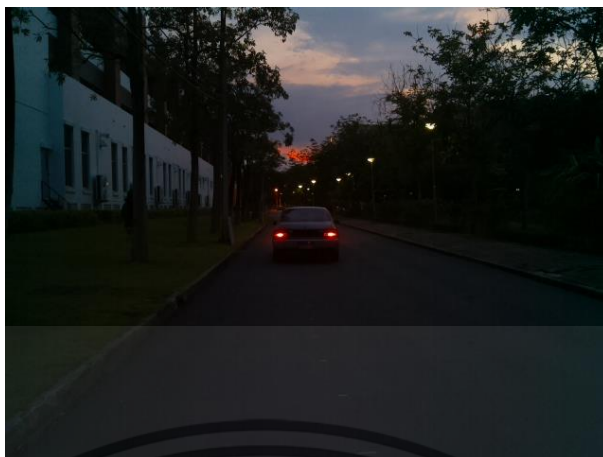
ตารางที่ 4.3 ผลการหาค่าระยะทางของระบบที่นำเสนอในสภาวะแสงมาก

ระยะทางจริง (เมตร)	ค่า $p$	ระยะทางที่ระบบประมาณได้ (เมตร)	ความผิดพลาด (%)
3	25	4.0285	34.28
4	45	4.6633	16.58
5	77	5.6789	13.57
6	104	6.5359	8.93
7	136	7.5516	7.88
8	164	8.4403	5.50
9	193	9.3608	4.00
10	227	10.4399	4.39
11	251	11.2017	1.83
12	291	12.4713	3.92
13	315	13.2331	1.79
14	359	14.6296	4.49
15	383	15.3914	2.60
16	413	16.3436	2.14
17	444	17.3275	1.92
18	476	18.3432	1.90
19	502	19.1684	0.88
20	537	20.2793	1.39

#### 4.3.2 ผลการทดลองที่สภาวะแสงน้อย

ผลการทดลองที่สภาวะแสงน้อย เป็นผลจากการวัดระยะทางในช่วงเวลา 17.00น. – 20.00น. ความเข้มแสงบริเวณนั้นมีค่าประมาณ 20 – 5,000 LUX ตัวอย่างของภาพที่ถูกถ่ายได้ในสภาวะนี้ แสดงดังรูปที่ 4.10 ผลการหาค่าระยะทางที่สภาวะแสงน้อยแสดงดังตารางที่ 4.4 จากตารางที่ 4.4 ในช่วงเวลาแสงน้อยระบบที่นำเสนอสามารถทำงานได้ดีในระยะ 4-8 เมตร และสามารถทำงานได้ในระยะ 3 9 10 12 14 และ 15 เมตร แต่ที่ระยะทางตั้งแต่ 17 - 20 เมตร ค่าความผิดพลาดมีค่าสูงขึ้น อาจเนื่องมาจากระยะทางที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้แสงไฟหน้ารถส่องไม่ถึงวัตถุที่อยู่ด้านหน้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10 ภาพที่ถ่ายได้ในสภาวะแสงน้อย

ตารางที่ 4.4 ผลการหาค่าระยะทางของระบบที่นำเสนอในสภาวะแสงน้อย

ระยะทางจริง (เมตร)	ค่า $p$	ระยะทางที่ระบบประมาณได้ (เมตร)	ความผิดพลาด (%)
3	2	3.2984	9.94
4	25	4.0285	0.71
5	50	4.8220	3.56
6	94	6.2185	3.64
7	101	6.4407	7.98
8	133	7.4564	6.79
9	151	8.0277	10.80
10	164	8.4403	15.59
11	229	10.5034	4.51
12	221	10.2495	14.58
13	294	12.5665	3.33
14	282	12.1856	12.95
15	301	12.7887	14.74
16	383	15.3914	3.80
17	272	11.8682	30.18
18	317	13.2965	26.13
19	325	13.5505	28.68
20	317	13.2965	33.51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ 20 วนไว้สำหรับ 317 ซึ่ง 13.2965 ไม่อนุญาตให้ไปใช้ 33.51 นี้ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.4 ผลการทดสอบเพิ่มเติม

จากที่ได้ทำการทดสอบในหลายสภาพแวดล้อมพบว่าสิ่งที่ เป็นปัจจัยส่งผลกระทบต่อระบบที่ นำเสนอคือ เงาของสิ่งแวดล้อมบริเวณนั้นๆ ที่ตกกระทบกับพื้นถนน และลักษณะของช่องทางเดินรถ ในหัวข้อนี้จึงจะกล่าวถึงผลการทดสอบเพิ่มเติมของผลกระทบและข้อจำกัดต่างๆ ที่อาจเกิดขึ้นเมื่อนำ ระบบไปใช้งานจริง

ผลการทดสอบเพิ่มเติมในส่วนแรกจะกล่าวถึงการทดสอบระบบด้วยภาพที่ถูกถ่ายใน สภาพแวดล้อมที่มีเงากระทบกับพื้นถนน ตัวอย่างของภาพดังกล่าวแสดงในรูปที่ 4.11 จะเห็นว่า บริเวณส่วนมากที่เป็นพื้นถนนจะมีเงาของต้นไม้ที่บอยู่ และผลการทดสอบระบบแสดงดังรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.11 ตัวอย่างภาพที่มีเงาบนพื้นถนน



รูปที่ 4.12 ผลการทดสอบบริเวณที่มีเงา

รูปที่ 4.12 ระบบประมาณค่าระยะทางได้เท่ากับ 5.71 เมตร โดยที่ระยะทางจริงมีค่าเท่ากับ 6 เมตร ผลการทดสอบระยะทางอื่นๆ แสดงในตารางที่ 4.5 จากการทดสอบพบว่าระบบสามารถหาค่า ระยะทางได้ใกล้เคียงกับระยะทางจริงที่ระยะทางใกล้ (3 – 7 เมตร) แต่เมื่อระยะทางไกลออกไป (ตั้งแต่ 8 – 20 เมตร) พบว่าระบบไม่สามารถตรวจจับวัตถุจริงได้ ระบบจะตรวจจับเงาที่สะท้อนกับ

พื้นถนนแทน ทั้งนี้อาจมาจากการตั้งค่า Threshold ในการตรวจจับไม่เหมาะสม จึงทำให้การตรวจจับมีความผิดพลาด

ตารางที่ 4.5 ผลการทดสอบระบบที่นำเสนอในบริเวณที่มีเงาบนพื้นถนน

ระยะทางจริง (เมตร)	ค่า $p$	ระยะทางที่ระบบประมาณได้ (เมตร)	ความผิดพลาด (%)
3	2	3.2984	9.94
4	28	4.1237	3.09
5	55	4.9807	0.38
6	78	5.7107	4.82
7	105	6.5677	6.17
8	76	5.6472	29.40
9	78	5.7107	36.54
10	75	5.6155	43.84

ผลการทดสอบเพิ่มเติมในส่วนถัดมาจะกล่าวถึงการทดสอบระบบที่สภาพถนนมีช่องทางเดินรถที่มากขึ้น เช่น 4 ช่องทางเดินรถ หรือสภาพถนนบนทางด่วน ตัวอย่างภาพจำลองการทดสอบที่สภาพถนนหลายช่องทางเดินรถแสดงดังรูปที่ 4.13 ผลการทดสอบที่ระบบสามารถทำได้แสดงดังรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.13 ตัวอย่างภาพการทดสอบที่สภาพถนนหลายช่องทางเดินรถ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.14 ผลการทดสอบระบบที่สภาพถนนหลายช่องทางเดินรถ

ตัวอย่างในรูปที่ 4.14 ระยะทางจริงคือ 17 เมตร ดังนั้นค่าความผิดพลาดในการประมาณระยะทางเท่ากับ 2.11% เมื่อทดสอบระบบที่นำเสนอแล้ว พบว่าสามารถทำงานที่สภาพถนนหลายช่องทางเดินรถได้ เนื่องจากมีขั้นตอนการกำหนด ROI ที่ช่วยให้ระบบสามารถตรวจจับเพียงแค่วัตถุที่อยู่ช่องทางเดินรถเดียวกัน ผลการกำหนด ROI แสดงดังรูปที่ 4.15 จากรูปที่ 4.15 จะเห็นว่า ROI ทำการตัดบริเวณที่อยู่นอกเหนือจากช่องทางเดินรถด้านหน้าออกไป ดังนั้นระบบที่นำเสนอจึงสามารถทำงานในสภาพถนนหลายช่องทางเดินรถได้



รูปที่ 4.15 ผลการกำหนด ROI ที่ทดสอบในสภาพถนนหลายช่องทางเดินรถ

ผลการทดสอบในส่วนนี้จะเป็นการทดสอบของระบบที่นำเสนอที่ความละเอียด 0.5 เมตร ทดสอบโดยการวัดระยะทางของรถยนต์ที่ระยะทางต่างกัน ตั้งแต่ 3 – 10 เมตร รูปที่ 4.16 แสดงรูปที่ต้องการวัดระยะทางของรถยนต์ที่ห่างกัน 0.5 เมตร โดยที่รูปที่ 4.16(ก) ระยะทางจริงคือ 3 เมตร รูปที่ 4.16(ข) ระยะทางจริงคือ 3.5 เมตร ผลการทดสอบความละเอียดของการวัดแสดงดังตารางที่ 4.6 ผลการทดสอบพบว่าที่ระยะทาง 3 – 5 เมตรระบบไม่สามารถทำงานได้เพราะมีค่าความผิดพลาดมากกว่า 0.5 เมตร แต่ผลการทดสอบระยะทาง 5.5 – 10 เมตร พบว่าระบบทำงานได้ดีและความละเอียดที่ระบบสามารถประมาณค่าระยะทางที่แตกต่างกัน 0.5 เมตรได้



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.16 การทดสอบความละเอียดของการวัด (ก) รถยนต์ห่าง 3 เมตร (ข) รถยนต์ห่าง 3.5 เมตร

ตารางที่ 4.6 ผลการทดสอบความละเอียดของระบบที่นำเสนอ

ระยะทางจริง (เมตร)	ค่า $p$	ระยะทางที่ระบบประมาณได้ (เมตร)	ความผิดพลาด (%)
3	15	3.7111	23.70
3.5	29	4.1554	18.72
4	42	4.5680	14.20
4.5	58	5.0759	12.79
5	70	5.4568	9.13
5.5	81	5.8059	5.56
6	94	6.2185	3.64
6.5	109	6.6946	2.99
7	123	7.1390	1.98
7.5	134	7.4881	0.15
8	150	7.9960	0.05
8.5	162	8.3768	1.44
9	179	8.9164	0.92
9.5	191	9.2973	2.13
10	203	9.6782	3.21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

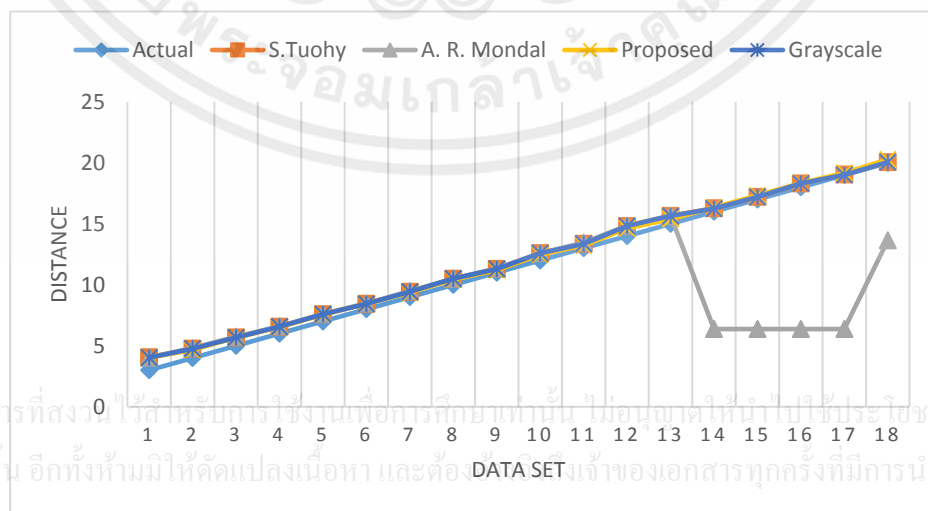
#### 4.5 การเปรียบเทียบการหาค่าระยะทาง

ผลการทดลองในส่วนนี้เป็นการเปรียบเทียบการหาค่าระยะทางของระบบที่นำเสนอกับวิธีการต่างๆ ที่มีหลักการทำงานใกล้เคียงกัน 3 วิธีการ ได้แก่ วิธีการของ S.Tuohy [8], วิธีการของ A. R. Mondal [10] และ วิธีการที่นำเสนอแต่เลือกใช้ภาพอินพุทเป็นภาพระดับความเข้มเทา (Gray scaled image)

วิธีการของ S.Tuohy มีการทำงานที่ใกล้เคียงกับวิธีการที่นำเสนอ นั่นคือการตรวจจับวัตถุด้วยการลบพื้นถนนและใช้การแปลง IPM ในการหาค่าระยะทาง แต่สิ่งที่แตกต่างกับวิธีการที่นำเสนอคือ วิธีการนี้จะไม่มีขั้นตอนการเตรียมรูปภาพก่อนการประมวลผล วิธีการของ A. R. Mondal ได้เลือกใช้การตรวจจับวัตถุด้วยการปรับภาพให้เป็นภาพไบนารี โดยมีค่า Threshold เป็นตัวกำหนดว่าพิกเซลใดควรเป็นสีขาวหรือดำ ส่วนขั้นตอนที่การหาค่าระยะทางใช้การแปลง IPM เหมือนวิธีการที่นำเสนอ แต่ละวิธีการที่ได้กล่าวถึงจะถูกนำมาใช้ในการหาค่าระยะทางในทุกสภาวะแสง (แสงมาก แสงปานกลาง และแสงน้อย) ระยะทาง 18 ระยะ ตั้งแต่ 3 – 20 เมตร สภาวะแสงมากและแสงปานกลาง ทดสอบด้วยรูปภาพระยะละ 2 ภาพ สภาวะแสงน้อยทดสอบด้วยรูปภาพระยะละ 1 ภาพ รวมทั้งสิ้น 90 ภาพ

##### 4.5.1 ผลการทดลองที่สภาวะแสงมาก

ผลการเปรียบเทียบที่สภาวะแสงมาก จากการวัดระยะทางในช่วงเวลา 08.00น. – 13.00น. ความเข้มแสงบริเวณนั้นมีค่าประมาณ 80,000 – 150,000 LUX แต่ละระยะทางใช้ 2 ภาพในการประมวลผล ผลการเปรียบเทียบการหาค่าระยะทางเฉลี่ยด้วยวิธีการต่างๆ ที่สภาวะแสงมากแสดงดังตารางที่ 4.7 โดยที่ตัวเลขในวงเล็บคือค่าความผิดพลาด จากตารางที่ 4.7 สามารถนำค่าในตารางมาสร้างกราฟความสัมพันธ์ของการหาค่าระยะทางด้วยวิธีการต่างๆ ดังรูปที่ 4.17



รูปที่ 4.17 กราฟความสัมพันธ์ของการหาค่าระยะทางด้วยวิธีการต่างๆ ในสภาวะแสงมาก

จากรูปที่ 4.17 พบว่าผลการทดลองแต่ละวิธีการมีความคล้ายกันคือ ช่วงระยะทาง 3 – 7 เมตร ค่าความผิดพลาดอยู่ในช่วง 7 – 34% อาจเนื่องมาจากแสงกระทบกับตัววัตถุและสะท้อนเข้ากล้องมากเกินไปทำให้ระบบไม่สามารถลบถนออกจากภาพได้อย่างแม่นยำ จึงทำให้การคำนวณระยะทางมีความผิดพลาดไปด้วย สำหรับวิธีการของ S.Tuohy วิธีการที่ใช้ภาพความเข้มเทา และวิธีการที่นำเสนอ ในช่วงระยะทาง 8 – 20 เมตร จากค่าความผิดพลาดสามารถบ่งบอกได้ว่าระบบสามารถทำงานได้ดี จะมีเพียงวิธีการของ A. R. Mondal ที่ตั้งแต่วัดระยะทาง 16 เมตร ระบบไม่สามารถตรวจจับวัตถุได้ถูกต้อง จึงทำให้ค่าระยะทางไม่เป็นไปตามระยะทางจริง

**ตารางที่ 4.7** ผลการเปรียบเทียบการหาค่าระยะทางเฉลี่ยของวิธีการที่นำเสนอและวิธีการต่างๆ ในสภาวะแสงมาก

ระยะทางจริง (เมตร)	วิธีการของ S.Tuohy	วิธีการของ A. R. Mondal	วิธีที่ใช้ภาพความเข้มเทา	วิธีการที่นำเสนอ
3	4.060 (35.34%)	4.028 (34.28%)	4.028 (34.28%)	4.028 (34.28%)
4	4.758 (18.96%)	4.822 (20.55%)	4.758 (18.96%)	4.663 (16.58%)
5	5.678 (13.58%)	5.742 (14.85%)	5.678 (13.58%)	5.678 (13.58%)
6	6.567 (9.46%)	6.599 (9.99%)	6.567 (9.46%)	6.535 (8.93%)
7	7.583 (8.33%)	7.615 (8.79%)	7.583 (8.33%)	7.551 (7.88%)
8	8.440 (5.50%)	8.472 (5.90%)	8.440 (5.50%)	8.440 (5.50%)
9	9.424 (4.71%)	9.487 (5.42%)	9.424 (4.71%)	9.360 (4.00%)
10	10.503 (5.03%)	10.503 (5.03%)	10.503 (5.03%)	10.439 (4.39%)
11	11.297 (2.69%)	11.328 (2.99%)	11.296 (2.69%)	11.201 (1.83%)
12	12.598 (4.98%)	12.598 (4.99%)	12.598 (4.98%)	12.471 (3.93%)
13	13.360 (2.76%)	13.455 (3.50%)	13.360 (2.76%)	13.23 (1.79%)
14	14.820 (5.86%)	14.851 (6.08%)	14.820 (5.86%)	14.629 (4.49%)
15	15.645 (4.30%)	15.677 (4.51%)	15.645 (4.30%)	15.39 (2.61%)
16	16.280 (1.75%)	6.377 (60.14%)	16.248 (1.55%)	16.343 (2.14%)
17	17.200 (1.18%)	6.377 (62.49%)	17.200 (1.18%)	17.327 (1.92%)
18	18.311 (1.73%)	6.377 (64.57%)	18.311 (1.73%)	18.343 (1.90%)
19	19.041 (0.22%)	6.377 (66.43%)	19.009 (0.05%)	19.168 (0.88%)
20	20.05 (0.289%)	13.645 (31.77%)	20.057 (0.28%)	20.279 (1.39%)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.5.2 ผลการทดลองที่สภาวะแสงปานกลาง

ผลการเปรียบเทียบที่สภาวะแสงปานกลางจากการวัดระยะทางในช่วงเวลา 13.00น. – 17.00น. ความเข้มแสงบริเวณนั้นมีค่าประมาณ 5,000 – 80,000 LUX แต่ละระยะทางใช้ 2 ภาพในการประมวลผล ผลการเปรียบเทียบการหาค่าระยะทางเฉลี่ยด้วยวิธีการต่างๆ ที่สภาวะแสงปานกลาง แสดงดังตารางที่ 4.8 โดยที่ตัวเลขในวงเล็บคือค่าความผิดพลาด

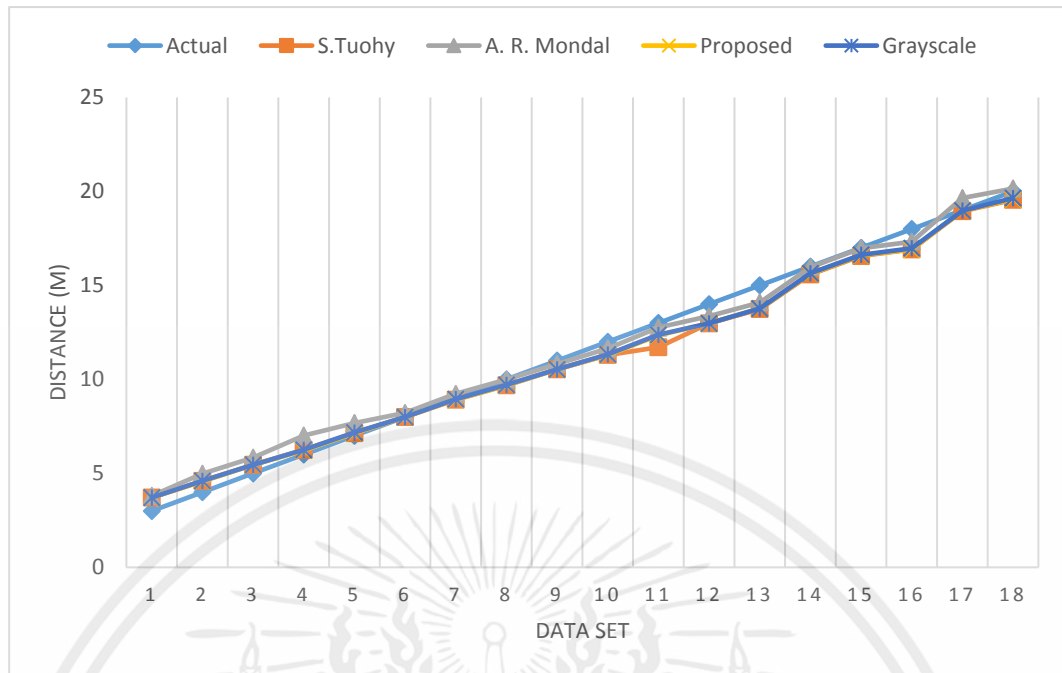
**ตารางที่ 4.8** ผลการเปรียบเทียบการหาค่าระยะทางเฉลี่ยของวิธีการที่นำเสนอและวิธีการต่างๆ ในสภาวะแสงปานกลาง

ระยะทางจริง (เมตร)	วิธีการของ S.Tuohy	วิธีการของ A. R. Mondal	วิธีการที่ใช้ภาพความเข้มเทา	วิธีการที่นำเสนอ
3	3.711 (23.70%)	3.806 (26.87%)	3.711 (23.70%)	3.711 (23.70%)
4	4.599 (14.99%)	4.980 (24.51%)	4.599 (14.99%)	4.568 (14.20%)
5	5.456 (9.13%)	5.837 (16.75%)	5.456 (9.13%)	5.456 (9.13%)
6	6.250 (4.17%)	7.012 (16.86%)	6.250 (4.17%)	6.218 (3.64%)
7	7.139 (1.98%)	7.678 (9.69%)	7.170 (2.43%)	7.139 (1.98%)
8	7.996 (0.05%)	8.218 (2.72%)	7.996 (0.05%)	7.996 (0.05%)
9	8.916 (0.93%)	9.233 (2.59%)	8.948 (0.57%)	8.916 (0.92%)
10	9.678 (3.21%)	9.995 (0.04%)	9.709 (2.90%)	9.678 (3.21%)
11	10.535 (4.22%)	10.820 (1.62%)	10.535 (4.22%)	10.535 (4.22%)
12	11.296 (5.85%)	11.646 (2.94%)	11.328 (5.59%)	11.296 (5.85%)
13	11.709 (9.92%)	12.757 (1.86%)	12.376 (4.79%)	12.344 (5.04%)
14	12.979 (7.29%)	13.360 (4.57%)	12.979 (7.29%)	12.979 (7.29%)
15	13.740 (8.39%)	14.090 (6.06%)	13.772 (8.18%)	13.772 (8.18%)
16	15.581 (2.61%)	15.962 (0.23%)	15.645 (2.21%)	15.613 (2.41%)
17	16.565 (2.55%)	16.978 (0.12%)	16.629 (2.18%)	16.597 (2.36%)
18	16.914 (6.02%)	17.327 (3.73%)	16.978 (5.67%)	16.914 (6.02%)
19	18.946 (0.28%)	19.644 (3.39%)	18.978 (0.11%)	18.978 (0.11%)
20	19.549 (2.25%)	20.152 (0.76%)	19.644 (1.77%)	19.581 (2.09%)

จากตารางที่ 4.8 สามารถนำค่าในตารางมาสร้างกราฟความสัมพันธ์ของการหาค่าระยะทางด้วย

วิธีการต่างๆ ดังรูปที่ 4.18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.18 กราฟความสัมพันธ์ของการหาค่าระยะทางด้วยวิธีการต่างๆ ในสภาวะแสงปานกลาง

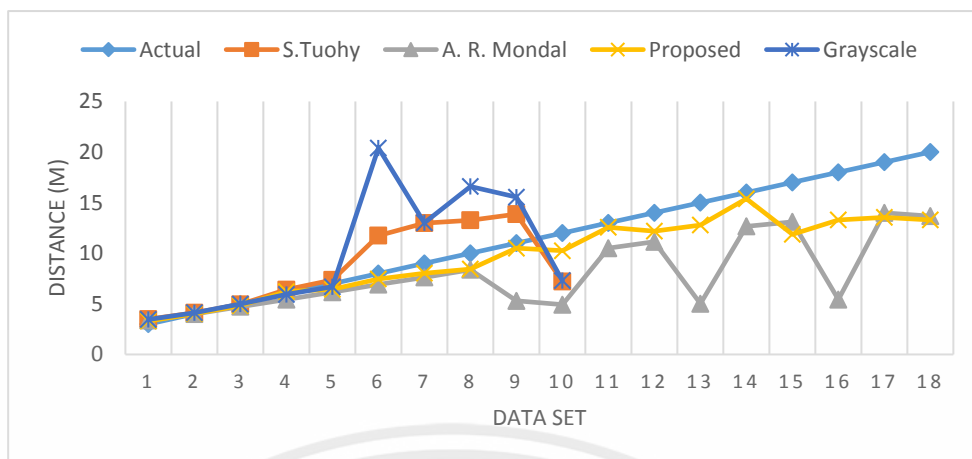
ทุกวิธีการมีผลทดลองที่คล้ายกันคือ ในระยะทาง 3 – 5 เมตรระบบยังทำงานได้ไม่ดีเท่าที่ควร ระยะทาง 6 – 20 เมตรระบบสามารถทำงานได้ดีในสภาวะแสงที่เหมาะสม มีเพียงวิธีการของ A. R. Mondal ที่ระบบจะเริ่มทำงานได้ดีในระยะ 8 – 20 เมตร

#### 4.5.3 ผลการทดลองที่สภาวะแสงน้อย

ผลการเปรียบเทียบที่สภาวะแสงน้อย จากการวัดระยะทางในช่วงเวลา 17.00น. – 20.00น. ความเข้มแสงบริเวณนั้นมีค่าประมาณ 20 – 5,000 LUX แต่ละระยะทางใช้ 1 ภาพในการประมวลผล ผลการเปรียบเทียบการหาค่าระยะทางด้วยวิธีการต่างๆ ที่สภาวะแสงน้อยแสดงดังตารางที่ 4.9 โดยที่ตัวเลขในวงเล็บคือค่าความผิดพลาด

สามารถนำค่าในตารางมาสร้างกราฟความสัมพันธ์ของการหาค่าระยะทางด้วยวิธีการต่างๆ ดังรูปที่ 4.19 จากรูปที่ 4.19 และตารางที่ 4.9 พบว่าที่สภาวะแสงน้อยการหาค่าระยะทางด้วยวิธีการต่างๆ ทำงานได้ดีในระยะทางใกล้ (ประมาณ 4 – 6 เมตร) ส่วนระยะทางอื่นๆ ระบบสามารถหาค่าระยะทางได้แต่ความแม่นยำไม่ดีเท่าที่ควร และเมื่อเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดแล้วจะพบว่าวิธีการที่นำเสนอสามารถหาค่าระยะทางได้แม่นยำมากกว่าวิธีการอื่น เช่น ที่ระยะทาง 8 – 12 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.19 กราฟความสัมพันธ์ของการหาค่าระยะทางด้วยวิธีการต่างๆ ในสภาวะแสงน้อย

ตารางที่ 4.9 ผลการเปรียบเทียบการหาค่าระยะทางของวิธีการที่นำเสนอและวิธีการต่างๆ ในสภาวะแสงน้อย

ระยะทางจริง (เมตร)	วิธีการของ S.Tuohy	วิธีการของ A. R. Mondal	วิธีการที่ใช้ภาพความเข้มเทา	วิธีการที่นำเสนอ
3	3.488 (16.29%)	3.361 (12.06%)	3.457 (15.23%)	3.298 (9.94%)
4	4.123 (3.09%)	3.996 (0.08%)	4.123 (3.09%)	4.028 (0.71%)
5	4.948 (1.02%)	4.726 (5.46%)	4.980 (0.38%)	4.822 (3.56%)
6	6.409 (6.81%)	5.425 (9.58%)	5.932 (1.11%)	6.218 (3.64%)
7	7.361 (5.16%)	6.155 (12.07%)	6.694 (4.36%)	6.440 (7.98%)
8	11.741 (46.76%)	6.916 (13.53%)	20.406 (155%)	7.456 (6.79%)
9	12.979 (44.21%)	7.615 (15.8%)	13.010 (44.5%)	8.027 (6.79%)
10	10.503 (32.64%)	8.376 (16.23%)	16.597 (65.9%)	8.440 (10.80%)
11	13.867 (26.07%)	5.298 (51.83%)	15.550 (41.3%)	10.027 (15.5%)
12	7.202 (39.97%)	4.917 (59.02%)	7.297 (39.18%)	10.249 (4.51%)
13	-	10.503 (19.20%)	-	12.566 (14.5%)
14	-	11.138 (20.44%)	-	12.185 (3.33%)
15	-	5.012 (66.58%)	-	12.788 (12.9%)
16	-	12.661 (20.86%)	-	15.391 (14.7%)
17	-	13.106 (22.90%)	-	11.868 (3.80%)
18	-	5.425 (69.86%)	-	13.296 (30.1%)
19	-	13.994 (26.34%)	-	13.550 (28.6%)
20	-	13.677 (31.61%)	-	13.296 (33.5%)

จากผลการเปรียบเทียบการทดลองการหาค่าระยะทางทั้ง 4 วิธีการ ทำให้สามารถหาประสิทธิภาพของแต่ละระบบได้โดยการเฉลี่ยค่าความผิดพลาดของแต่ละวิธีการในแต่ละสถานะแสง ผลการทดลองการหาค่าระยะทางด้วยวิธีการต่างๆ ในสถานะแสงมากพบว่าทุกวิธีการสามารถทำงานได้ มีเพียงวิธีการของ A. R. Mondal ที่ไม่สามารถตรวจจับวัตถุได้ถูกต้องตั้งแต่ระยะทาง 16 เมตร วิธีการของ S.Tuohy มีความแม่นยำเฉลี่ย 92.69% วิธีการของ A. R. Mondal มีความแม่นยำเฉลี่ย 77.09% วิธีการที่ใช้ภาพความเข้มเทา มีความแม่นยำเฉลี่ย 93.03% และวิธีการที่นำเสนอมีความแม่นยำเฉลี่ย 93.44%

ในสถานะแสงปานกลางพบว่าทุกวิธีการสามารถทำงานได้ วิธีการของ S.Tuohy มีความแม่นยำเฉลี่ย 94.02% วิธีการของ A. R. Mondal มีความแม่นยำเฉลี่ย 93.03% วิธีการที่ใช้ภาพความเข้มเทา มีความแม่นยำเฉลี่ย 94.44% และวิธีการที่นำเสนอมีความแม่นยำเฉลี่ย 94.41%

ในสถานะแสงน้อย วิธีการของ S.Tuohy มีความแม่นยำเฉลี่ย 52.11% วิธีการของ A. R. Mondal มีความแม่นยำเฉลี่ย 73.72% วิธีการที่ใช้ภาพความเข้มเทา มีความแม่นยำเฉลี่ย 43.87% และวิธีการที่นำเสนอมีความแม่นยำเฉลี่ย 87.12%

#### 4.6 ระยะเวลาในการประมวลผล

จากสมมติฐานของงานวิจัยนี้ได้ตั้งไว้ว่าระบบที่นำเสนอจะใช้เวลาในการประมวลผลน้อยกว่าระบบที่ไม่มีการเตรียมรูปภาพก่อนประมวลผล ซึ่งเป็นวิธีการของ S.Tuohy โดยที่ระยะเวลาเฉลี่ยในการประมวลผลของทั้ง 2 วิธีแสดงได้ดังตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 ระยะเวลาที่ใช้ในการประมวลผลระหว่างวิธีการที่นำเสนอกับวิธีการของ S.Tuohy

ครั้งที่	เวลาของวิธีการที่นำเสนอ (วินาที)	เวลาของวิธีการ S.Tuohy (วินาที)
1	0.32518	0.35187
2	0.32991	0.35466
3	0.32698	0.35327
4	0.32056	0.34732
5	0.34715	0.35958
6	0.32802	0.35349
7	0.32209	0.34936
8	0.33215	0.35857
9	0.34344	0.35986
10	0.32021	0.36191
เฉลี่ย	0.32957	0.35499

จากตารางพบว่าวิธีการที่นำเสนอใช้เวลาในการประมวลผลเฉลี่ยเท่ากับ 0.32957 วินาที ซึ่งน้อยกว่าวิธีการที่ไม่มีการเตรียมภาพที่ใช้เวลาเฉลี่ย 0.35499 วินาที อาจจะเห็นว่าแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย เนื่องจากใช้เพียง 1 ภาพในการประมวลผล แต่หากเพิ่มจำนวนภาพมากขึ้นจะพบว่าระบบที่นำเสนอสามารถประมวลผลได้ในเวลาที่เร็วกว่า



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

# ผลสรุปงานวิจัย และข้อเสนอแนะ

### 5.1 ผลสรุปงานวิจัย

วิทยานิพนธ์นี้ได้นำเสนอวิธีการหาค่าระยะทางรถยนต์โดยใช้สัญญาณภาพจากกล้องด้านหน้าที่มีการเพิ่มประสิทธิภาพการประมวลผลก่อนการแปลงภาพมุมมองผกผัน ซึ่งการเพิ่มประสิทธิภาพจะประกอบไปด้วยขั้นตอนการปรับขนาดรูปภาพ การปรับความสว่างรูปภาพ และการกำหนดพื้นที่ที่สนใจ ทั้งนี้เพื่อต้องการให้ภาพที่จะถูกคำนวณหาระยะทางมีความเหมาะสมทั้งในเรื่องขนาดและความเข้มแสง โดยในส่วนของ การทดลองได้แสดงให้เห็นว่าสามารถหาค่าระยะทางของรถยนต์ได้จริง โดยที่ผลการเปรียบเทียบการหาค่าระยะทางในสภาวะแสงมากวิธีการที่มีความแม่นยำมากที่สุดคือวิธีการที่นำเสนอมีค่าความแม่นยำเฉลี่ยเท่ากับ 93.44% ในสภาวะแสงปานกลางวิธีการที่มีความแม่นยำมากที่สุดคือวิธีการที่ใช้ภาพความเข้มเท่ามีค่าความแม่นยำเฉลี่ยเท่ากับ 94.44% และในสภาวะแสงน้อยวิธีการที่มีความแม่นยำมากที่สุดคือวิธีการที่นำเสนอมีค่าความแม่นยำเฉลี่ยเท่ากับ 87.12%

เมื่อเปรียบเทียบวิธีการที่นำเสนอกับวิธีการของ S.Tuohy พบว่าการเตรียมภาพก่อนการประมวลผลช่วยให้การหาค่าระยะทางมีความแม่นยำและรวดเร็วขึ้นอีกด้วย จากผลการทดลองในทั้ง 3 สภาวะแสง พบว่าความแม่นยำเฉลี่ยของระบบที่นำเสนอมีค่าเท่ากับ 92% ซึ่งนอกจากค่าความแม่นยำจะสามารถบ่งบอกถึงประสิทธิภาพเครื่องมือวัดแล้ว ความเที่ยงตรงก็เป็นอีกตัวแปรหนึ่งที่สามารถบ่งบอกถึงประสิทธิภาพของเครื่องมือวัดได้ พบว่าวิธีการที่นำเสนอมีความเที่ยงตรงเฉลี่ยของการวัดเท่ากับ 95.4%

### 5.2 ข้อเสนอแนะ

จากประโยชน์ของวิธีที่นำเสนอ จะพบว่าใช้กล้องถ่ายภาพด้านหน้าเพียงตัวเดียวก็สามารถหาระยะทางรถยนต์ได้ จึงช่วยให้ประหยัดค่าใช้จ่ายในเรื่องของอุปกรณ์ อีกทั้งการเพิ่มกระบวนการเตรียมภาพยังช่วยให้ระบบที่นำเสนอมีความแม่นยำ และทำงานได้รวดเร็วยิ่งขึ้นซึ่งถือเป็นข้อดีของงานวิจัยนี้

งานในอนาคตของงานวิจัยนี้อาจจะเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานของระบบที่สภาวะต่างๆ เอกสารนี้เป็นด้วยข้อจำกัดในเรื่องของการแปลงภาพมุมมองแบบตานกที่ว่าการแปลงภาพให้อยู่ในมุมมองแบบตาคนไม่ว่ากรณีใดก็สามารถทำงานได้ดีกับเส้นทางถนนที่เป็นทางตรง จึงอาจส่งผลให้ระบบทำงานไม่เต็มประสิทธิภาพเมื่ออยู่ในสภาวะทางโค้ง หรือทางแยกต่างๆ นอกจากนี้ อาจเพิ่มการแจ้งเตือนแก่ผู้ขับขี่ เช่น การแจ้ง

เดือนเมื่อมีการเปลี่ยนช่องทางการเดินรถ เมื่อผู้ใช้งานขับรถยนต์เข้าไปใกล้คันหน้ามากเกินไป ทั้งนี้ เพื่อให้ผู้ขับขี่มีความระมัดระวังในการใช้รถใช้ถนนมากยิ่งขึ้น

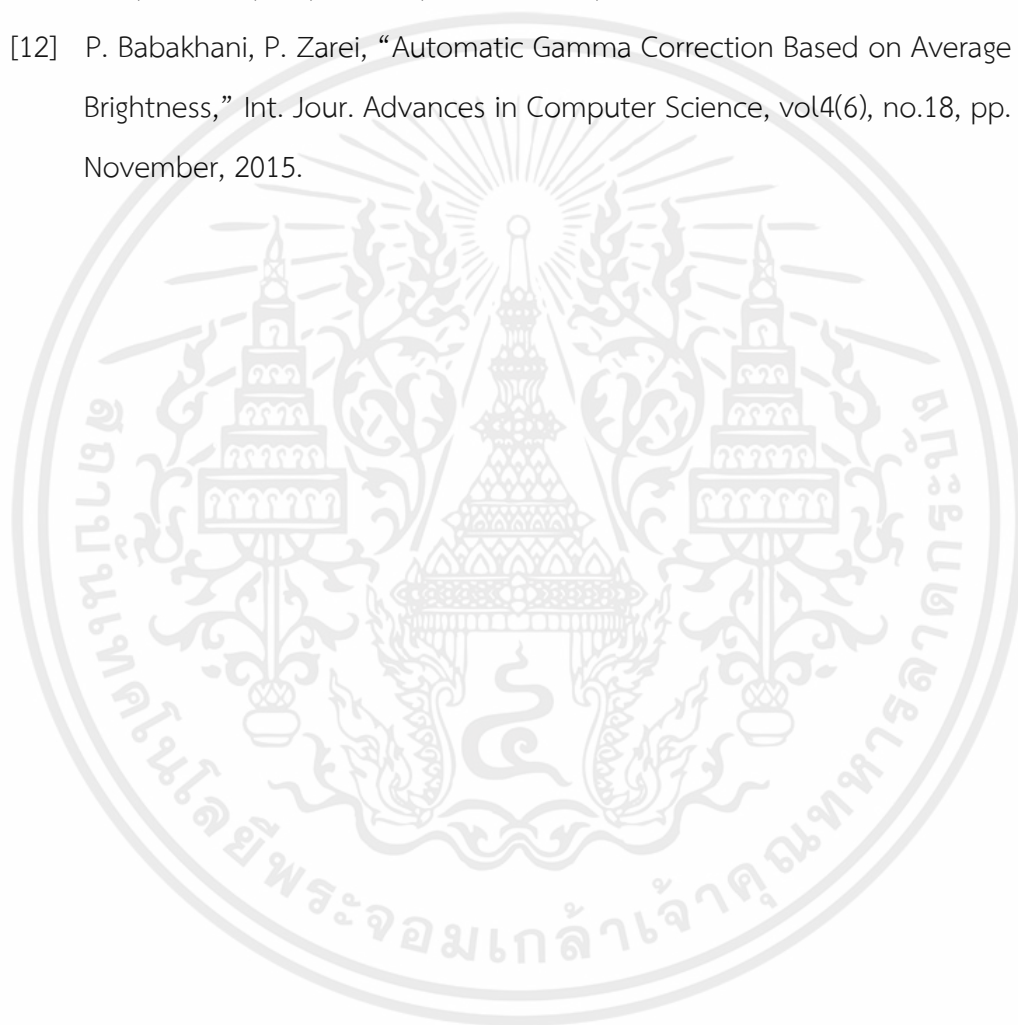


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

- [1] World Health Organization. (2015). Global status report on road safety 2015. 15 June, 2017, [Online] Available: [http://www.who.int/violence\\_injury\\_prevention/road\\_safety\\_status/2015/en](http://www.who.int/violence_injury_prevention/road_safety_status/2015/en)
- [2] S. Arduc, R. Justen, T. Unselt, "Motor Vehicle with a Pre-Safe System", U.S. Patent 20050080530A1 [Online], 15 June, 2017, Available: <https://patents.google.com/patent/US7206678B2/en>
- [3] D. O Cualain, M. Glavin, E. Jones, P. Denny, "Distance Detection Systems for the Automotive Environment: A Review," Irish Signals and Systems Conf., Derry, N. pp. 1-6, Ireland, September 2007.
- [4] G.W. Zhao, S. Yuta, "Obstacle Detection by Vision System for an Autonomous Vehicle," Symp. Intelligent Vehicles, Japan, pp. 31-36, 14-16 July, 1993.
- [5] D. Botero, J. Piat, P. Chalimbaud, M. Devy, J.L. Boizard, "FPGA Implementation of Mono and Stereo Inverse Perspective Mapping for Obstacle Detection," Proc. Conf. Design and Architectures for Signal and Image Processing, pp. 1-8, Karlsruhe, Germany, 23-25 October, 2012.
- [6] D. Bao, P.Wang, "Vehicle Distance Detection Based on Monocular Vision," IEEE Int. Conf. Progress in Informatics and Computing (PIC), pp. 187-191, Shanghai, China, 23-25 Dec 2016.
- [7] A. A Ali, H. A. Hussein, "Distance Estimation and Vehicle position detection Based on Monocular Camera," Al-Sadeq Int. Conf. Multidisciplinary in IT and Communication Science and Applications (AIC-MITCSA), pp. 1-4, Baghdad, Iraq, 9-10 May, 2016.
- [8] S.Tuohy, D.O'Cualain, E. Jones, M.Glavin, "Distance Determination for an Automobile Environment using Inverse Perspective Mapping in OpenCV," IET Irish Signals and Systems Conf., pp. 1-6, Ireland, 23-24 June, 2010.
- [9] A. Bharade, S. Gaopande, A G Keskar, "Statistical Approach for Distance Estimation using Inverse Perspective Mapping on Embedded Platform," Annual IEEE India Conf. (INDICON), pp. 1-5, Pune, India, 11-13 December, 2014.

- [10] A. R. Mondal, I. R. Ahmed, “Determination of Vehicle Following Distance using Inverse Perspective Mapping,” Int. Conf. Innovation in Civil Engineering for Sustainable Development (IICSD), pp. 698-703, Gazipur, Bangladesh, 2015.
- [11] R. Adamshuk, D. Carvalho, J. H. Z. Neme, E. Margraf, S. Okida, A. Tusset, et al., “On the Applicability of Inverse Perspective Mapping for the Forward Distance Estimation based on the HSV Colormap,” IEEE Int. Conf. Industrial Technology (ICIT), Toronto, ON, Canada, 22-25 March, 2017.
- [12] P. Babakhani, P. Zarei, “Automatic Gamma Correction Based on Average of Brightness,” Int. Jour. Advances in Computer Science, vol4(6), no.18, pp. 1-4, November, 2015.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



## ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### คำสั่งที่ใช้ในการหาค่าระยะทางของวิธีการที่นำเสนอ

```

import numpy as np
import cv2
import time
start = time.clock()
#gamma
def adjust_gamma(image, gamma=1.0):
    table = np.array([((i / 255.0) ** gamma) * 255
                      for i in np.arange(0, 256)]).astype("uint8")
    return cv2.LUT(image, table)
img = cv2.imread("8.jpg")
original = img
bright = np.mean(img)/255
#calculate gamma
gamma = -0.3/np.log10(bright)
adjusted = adjust_gamma(img, gamma=gamma)
image = adjusted
road = adjusted[475:480, 0:640]
b,g,r = cv2.split(road)
b2,g2,r2 = cv2.split(image)
roadb = np.mean(b)
roadg = np.mean(g)
roadr = np.mean(r)
bmin = roadb-35
bmax = roadb+35
gmin = roadg-35
gmax = roadg+35
rmin = roadr-35
rmax = roadr+35
bleft = b2 - bmin

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

bright = b2 - bmax
gleft = g2 - gmin
gright = g2 - gmax
rleft = r2 - rmin
rright = r2 - rmax
maskb = np.multiply(bleft,bright)
maskg = np.multiply(gleft,gright)
maskr = np.multiply(rleft,rright)
abb = abs(maskb)
abg = abs(maskg)
abr = abs(maskr)
maskb = (((np.divide(maskb,abb))+1)/2)*255
maskg = (((np.divide(maskg,abg))+1)/2)*255
maskr = (((np.divide(maskr,abr))+1)/2)*255
maskb = maskb.astype(np.uint8)
maskg = maskg.astype(np.uint8)
maskr = maskr.astype(np.uint8)
imagem = cv2.merge((maskb,maskg,maskr))
bird = np.zeros((400, 640, 3), np.uint8)
src = np.array([[260,216],[416,216],[0,355],[640,340]], np.float32)
dst = np.array([[0,100],[400,100],[0,580],[400,570]], np.float32)
M = cv2.getPerspectiveTransform(src, dst)
warp = cv2.warpPerspective(imagem.copy(), M, (400, 640))
rows,cols,dim = warp.shape
M = cv2.getRotationMatrix2D((cols/2,rows/2),180,1)
dst2 = cv2.warpAffine(warp,M,(cols,rows))
for i in range(0,639):

```

```

    average = np.mean(dst2[i,:])

```

```

    #print average

```

```

    if average > 50:

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
print i
p = i
break

cut = dst2[0:p,:]
d = 0.03174*p+3.235
cv2.putText(original, "d={}".format(d)+"m", (10, 30),
             cv2.FONT_HERSHEY_SIMPLEX, 0.8, (0, 0, 255), 3)
end = time.clock()
t = end - start
cv2.waitKey(0)
cv2.destroyAllWindows()
cv2.waitKey(0)
```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### คำสั่งที่ใช้ในการหาค่าระยะทางของวิธีการ S.Tuohy

```

import numpy as np
import cv2
import time

start = time.clock()

img = cv2.imread("20.jpg")
original = img
road = img[460:480, 0:640]
b,g,r = cv2.split(road)
b2,g2,r2 = cv2.split(img)
roadb = np.mean(b)
roadg = np.mean(g)
roadr = np.mean(r)
bmin = roadb-35
bmax = roadb+35
gmin = roadg-35
gmax = roadg+35
rmin = roadr-35
rmax = roadr+35
bleft = b2 - bmin
bright = b2 - bmax
gleft = g2 - gmin
gright = g2 - gmax
rleft = r2 - rmin
rright = r2 - rmax
maskb = np.multiply(bleft,bright)
maskg = np.multiply(gleft,gright)
maskr = np.multiply(rleft,rright)
abb = abs(maskb)
abg = abs(maskg)

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

abr = abs(maskr)

maskb = (((np.divide(maskb,abb))+1)/2)*255
maskg = (((np.divide(maskg,abg))+1)/2)*255
maskr = (((np.divide(maskr,abr))+1)/2)*255
maskb = maskb.astype(np.uint8)
maskg = maskg.astype(np.uint8)
maskr = maskr.astype(np.uint8)
imagem = cv2.merge((maskb,maskg,maskr))
#cv2.imshow('road',imagem)
#cv2.imwrite('8_road_paper.jpg',imagem)
bird = np.zeros((400, 640, 3), np.uint8)
src = np.array([[260,216],[416,216],[0,355],[640,340]],np.float32)
dst = np.array([[0,100],[400,100],[0,580],[400,570]],np.float32)
M = cv2.getPerspectiveTransform(src, dst)
warp = cv2.warpPerspective(imagem.copy(), M, (400, 640))
#cv2.imshow('IPM',warp)
#cv2.imwrite('8_ipm_paper.jpg',warp)
rows,cols,dim = warp.shape
M = cv2.getRotationMatrix2D((cols/2,rows/2),180,1)
dst2 = cv2.warpAffine(warp,M,(cols,rows))
#cv2.imshow('rt',dst2)
for i in range(0,639):
    average = np.mean(dst2[i,:])
    #print average
    if average > 50:
        print i
        p = i
        break
cut = dst2[0:p,:]

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 "ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้"

```

#cv2.imshow('cut',cut)

d = 0.03174*p+3.235
cv2.putText(original, "d={}".format(d)+"m", (10, 30),
            cv2.FONT_HERSHEY_SIMPLEX, 0.8, (0, 0, 255), 3)
#cv2.imshow('dis',original)
#cv2.imwrite('8_distance_paper.jpg',original)
end = time.clock()
t = end - start
print t
#cv2.imshow('original',grayscaled)
#cv2.imshow('Adaptive threshold inverse',th)
cv2.waitKey(0)
cv2.destroyAllWindows()
cv2.waitKey(0)

```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### คำสั่งที่ใช้ในการหาค่าระยะทางของวิธีการ A. R. Mondal

```

import cv2
import numpy as np
import time
start = time.clock()
grayscale = cv2.imread('8.jpg',0)
origi = cv2.imread('8.jpg')
th = cv2.adaptiveThreshold(grayscale, 255, cv2.ADAPTIVE_THRESH_GAUSSIAN_C,
cv2.THRESH_BINARY_INV, 115, 1)
cv2.imwrite('8_object_thres.jpg',th)
bird = np.zeros((400, 640), np.uint8)
src = np.array([[260,216],[416,216],[0,355],[640,340]], np.float32)
dst = np.array([[0,100],[400,100],[0,580],[400,570]], np.float32)
M = cv2.getPerspectiveTransform(src, dst)
warp = cv2.warpPerspective(th.copy(), M, (400, 640))
#cv2.imshow('IPM',warp)
cv2.imwrite('8_ipm_thres.jpg',warp)
rows,cols = warp.shape
M = cv2.getRotationMatrix2D((cols/2,rows/2),180,1)
dst2 = cv2.warpAffine(warp,M,(cols,rows))
#cv2.imshow('rt',dst2)
for i in range(0,639):
    average = np.mean(dst2[i,:])
    #print average
    if average > 100:
        print i
        p = i
        break
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
cut = dst2[0:p,:]
ไม่ว่ากรณีใดๆก็ตาม ห้ามนำไปคัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
#cv2.imshow('cut',cut)

```

```
d = 0.03174*p+3.235
cv2.putText(origi, "d={}".format(d)+"m", (10, 30),
            cv2.FONT_HERSHEY_SIMPLEX, 0.8, (0, 0, 255), 3)
#cv2.imshow('dis',grayscaled)
cv2.imwrite('8_distance_thres.jpg',origi)
end = time.clock()
t = end - start
print t
#cv2.imshow('original',grayscaled)
#cv2.imshow('Adaptive threshold inverse',th)
cv2.waitKey(0)
cv2.destroyAllWindows()
```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### คำสั่งที่ใช้ในการหาค่าระยะทางของวิธีการใช้ภาพความเข้มเทา

```

import cv2
import numpy as np
import time
start = time.clock()

grayscaled = cv2.imread('8.jpg',0)
road = grayscaled[475:480,0:640]
mroad = np.mean(road)

roadmin = mroad-35
roadmax = mroad+35

roadleft = grayscaled-roadmin
roadright= grayscaled-roadmax

maskroad = np.multiply(roadleft,roadright)
abroad = abs(maskroad)
maskroad = (((np.divide(maskroad,abroad))+1)/2)*255
maskroad = maskroad.astype(np.uint8)
#cv2.imshow('maskroad',maskroad)
cv2.imwrite('8_road_gray.jpg',maskroad)

bird = np.zeros((400, 640), np.uint8)
src = np.array([[260,216],[416,216],[0,355],[640,340]], np.float32)
dst = np.array([[0,100],[400,100],[0,580],[400,570]], np.float32)
M = cv2.getPerspectiveTransform(src, dst)

warp = cv2.warpPerspective(maskroad.copy(), M, (400, 640))
#cv2.imshow('IPM',warp)
cv2.imwrite('8_ipm_gray.jpg',warp)

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

rows,cols = warp.shape
M = cv2.getRotationMatrix2D((cols/2,rows/2),180,1)
dst2 = cv2.warpAffine(warp,M,(cols,rows))
#cv2.imshow('rt',dst2)

```

```

for i in range(0,639):

```

```

    average = np.mean(dst2[i,:])

```

```

    #print average

```

```

    if average > 50:

```

```

        print i

```

```

        p = i

```

```

        break

```

```

cut = dst2[0:p,:]

```

```

#cv2.imshow('cut',cut)

```

```

d = 0.03174*p+3.235

```

```

cv2.putText(grayscaled, "d={}".format(d)+"m", (10, 30),

```

```

            cv2.FONT_HERSHEY_SIMPLEX, 0.8, (0, 0, 255), 3)

```

```

#cv2.imshow('dis',grayscaled)

```

```

cv2.imwrite('8_distance_gray.jpg',grayscaled)

```

```

end = time.clock()

```

```

t = end - start

```

```

print t

```

```

#cv2.imshow('original',grayscaled)

```

```

#cv2.imshow('Adaptive threshold inverse',th)

```

```

cv2.waitKey(0)

```

```

cv2.destroyAllWindows()

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Proceedings of**

**2018 3rd International Conference on  
Computer and Communication Systems**

**ICCCS 2018**

**April 27-30, 2018**

**Nagoya, Japan**



**ISBN: 978-1-5386-6349-3**

**IEEE Catalog Number: CFP18D48-USB**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวน เวลาหรับการขงในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Distance Detection Technique Using Enhancing Inverse Perspective Mapping

Preaw Wongsaree, Sakkarin Sinchai, Paramote Wardkein, and Jeerasuda Koseeyaporn

Department of Telecommunications Engineering, Faculty of Engineering,  
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok, Thailand

e-mail: preaw.wsr@gmail.com, sakkarin\_sinchai@yahoo.com, pramote@telecom.kmitl.ac.th, jeerasuda@telecom.kmitl.ac.th

**Abstract**—This paper presents a distance determination technique using an image from the single forward camera. Since too dark or too bright of the image and non-linear relation between height of the object and distance from the camera have effect on the performance of the detection process. Therefore, automatic brightness adjustment and inverse perspective mapping (IPM) is applied in the proposed scheme. In addition, region of interest (ROI) determination is used to decrease the processing time. The experimental results confirm that the proposed technique can detect distance of the object in front of the car where the error is 7.96%.

**Keywords**—component; inverse perspective mapping; distance detection; opencv; gamma correction

### I. INTRODUCTION

According to global status report on road safety published in the World Health Organization (WHO), it was found that in 2012 the major cause of death among those aged 15-29 years was road traffic injuries and more than 50% of road traffic injuries were caused by cyclist, motorcyclist, and pedestrian [1]. Many car manufacturers also realize to the importance of the problem, as a result, collision detection is thus invented to safe a driver and road users [2] which hopefully to decrease road accidents rate.

The collision detection system can be divided into 2 types: active and passive system. Active system consists of signal transmitter and receiver but passive system only consists of receiver. Currently, most available collision detection systems are active system based Radar. Although radar, which is the most popular technology, provides a good result in reflecting of metallic object, but its disadvantage is pedestrian detection, high cost of hardware, and susceptibility to interference [3].

On the other hand, the passive system such as camera is an alternative detection scheme. The literature reviews found that the object detection by using camera can be divided to dual cameras and mono camera. Dual cameras are installed left and right on equal height for reduction of linear distortion in the image [4]. In 2012, D. Botero et al. presented FPGA implementation of dual cameras IPM for obstacle detection [5]. Using dual cameras provide accurate detection results but the proposed system is high cost. For mono camera based technique, some researches proposed for distance detection using machine learning such as neural network [6] and cascade classifier [7]. These methods are similar in the sense that large amount of positive and negative samples are necessary in training process to obtain good accuracy. However, using technique of [6] does not

provide satisfied results and large samples (up to 2850 samples) are needed in training process in the method of [7].

In addition, the Inverse Perspective Mapping (IPM) principle is applied for distance determination to reduce linear distortion of distance in image from mono camera as given in [8-11]. The difference in these researches is the object detecting method, for example, road removal algorithm [8], threshold adjusting [9][10], and HSV color mapping [11]. However, it is noted that proper brightness in image is important for image processing procedure. Low brightness in image obtained during the nighttime may cause low performance in the detection system.

In this paper, a technique for distance detection by using enhancing IMP is presented. The image obtained from forward mono camera will be processed by non-linear brightness adjustment. With the proper brightness image, it improves object detection performance. In addition, rectangular couple with trapezoid mask is applied to determine ROI for reducing processing time. The organization of this paper is as follows. The principles of the proposed technique are provided in section II. Section III is for experimental results and the conclusions are summarized in section IV.

### II. PRINCIPLES

The proposed system consists of 6 procedures which are image resizing, brightness adjustment, ROI determination, background (road) removal, IPM, and distance calculation as depicted in Fig. 1. It is noted that the mono camera is attached as forward camera behind the rear view mirror of the car. The obtained image is therefore from the front view of the car.

#### A. Image Resizing

Image resizing is the first essential procedure to resize all processing image to a standard dimension which is 640x480.



Figure 1. Block diagram of the proposed system.

In this work. The down sampling image by  $K$  factor is given by

$$f(x, y) = f_o(Kx, Ky) \quad (1)$$

where  $f_o(x, y)$  is the original-image pixel. It is noted that pre-filtering such as average filter or low pass filter whose cut-off frequency is  $f_s / (2K)$  may be performed before down sampling process ( $f_s$  : the original sampling frequency). This is to prevent the aliasing problem.

### B. Brightness Adjustment

Brightness is an essential factor for latter procedure of image processing. In general, brightness of an image is the mean intensity of the image. Due to limitation of camera, the brightness of the obtained image in some condition e.g. during the night-time may not be proper and causes unsatisfied result. Hence, the gamma correction, which is non-linear operation, is employed for brightness adjustment. Brightness of the original image can be modified by a constant (gamma),  $\gamma$ , using the following relation.

$$B_r' = (B_r)^\gamma \quad (2)$$

where  $B_r$  and  $B_r'$  are original and new brightness whose value is normalized in range [0 1]. For  $\gamma > 1$ , it decreases intensity of the image, resulting darker image. Likewise,  $\gamma < 1$  increases intensity of the image and brighter image is obtained.

To determine the gamma parameter in the image, the technique proposed by [12] is adopted. This technique estimates a power (gamma) that transport average amount of brightness to center of histogram as expressed by

$$(B_r)^\gamma = \frac{1}{2} \quad (3)$$

Since, the average brightness of an image is known, hence, the gamma can be estimated from average brightness as expressed by

$$\gamma = \log_{B_r} \left( \frac{1}{2} \right) = \frac{\log_{10} \left( \frac{1}{2} \right)}{\log_{10} B_r} = \frac{-0.3}{\log_{10} B_r} \quad (4)$$

Once the gamma of the original image is derived, the image intensity in each color channel is gamma adjusted by using the relationship in (5).

$$\begin{aligned} f_R'(x, y) &= 255 \left( \frac{f_R(x, y)}{255} \right)^\gamma \\ f_G'(x, y) &= 255 \left( \frac{f_G(x, y)}{255} \right)^\gamma \\ f_B'(x, y) &= 255 \left( \frac{f_B(x, y)}{255} \right)^\gamma \end{aligned} \quad (5)$$

where  $f_R(x, y)$ ,  $f_G(x, y)$  and  $f_B(x, y)$  are original intensity of red, green, and blue channels, respectively. The adjusted intensity  $f_R'(x, y)$ ,  $f_G'(x, y)$  and  $f_B'(x, y)$  of red, green, and blue channels, respectively, are merged resulting in new RGB image  $f'(x, y)$  that is brightness adjusted.

### C. Region of Interest (ROI) Determination

Generally, the image from forward camera consists of road, object on the road, and other parts in the environment. Since only object on the road is interested, then region of interest (ROI) determination is employed to decrease the processing time. ROI is the area framed around interesting area with circle, rectangular, or other geometries. In this paper, the rectangular couple with trapezoid mask is used to determine ROI that can be explained as following.

- C1. Creating rectangular couple with trapezoid mask
- C2. Overlapping between a mask and image
- C3. Selecting only the area that interrelated on mask and image

### D. Road Removal

Most object detection schemes are based on the machine learning algorithm which requires large data samples in training process [7]. To avoid such difficulty, road removal algorithm, which is the easiest way for achieving accurate objects detection, is selected. It removes the road surface from the image, leaving only the desired object. The process of road removal algorithm as depicted in Fig. 2 can be explained as following.

- D1. Selecting one color channel of the image
- D2. Calculating average intensity in the first 3 rows (from bottom) of the image ( $A_i$ ), representing the intensity of the road surface

D3. Creating binary image where the pixel  $b_i(x, y)$  is 0 if it is road surface, otherwise the pixel  $b_i(x, y)$  is 1 if it is not road surface, using the following relation

$$b_i(x, y) = \begin{cases} 0, & \text{if } |f_i'(x, y) - A_i| \leq 35 \\ 1, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (6)$$

where  $i$  means either R, G, or B channel.

D4. Repeat step 2 and 3 for remaining two image channels

D5. Finally, merging 3 binary images and then scaling by 255 to create a new RGB image

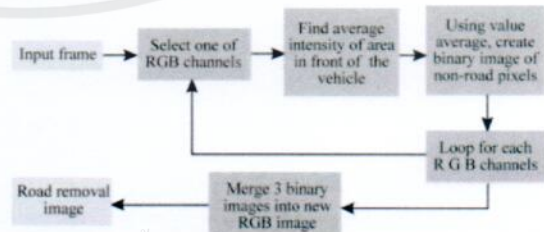


Figure 2. Block diagram of road removal algorithm.

เอกสารนี้เป็นส่วนหนึ่งของงานวิจัยที่ได้รับการสนับสนุนจากสำนักงานการวิจัยแห่งชาติ (วช.) กระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม โดยไม่สงวนลิขสิทธิ์ในการนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### E. Inverse Perspective Mapping (IPM)

An Inverse Perspective Mapping (IPM) [8] is one of the mathematical technique for two dimension transforming to another perspective.

In this paper, to eliminate the problem of non-linear distance in perspective-viewed image, IPM is then used to transform the image from forward camera into bird's eye view. To create top-down view, the point on road surface  $(X_w, Y_w, Z_w)$  that projects to the image plane  $(u, v)$  is required. Projection principle is shown in Fig. 3. For rotation angle  $(\theta)$ , which is angle between camera and road surface, it must be known. The IPM equation is shown in (7).

$$(u, v, 1)^T = K \cdot T \cdot R (X_w, Y_w, Z_w, 1)^T \quad (7)$$

where  $R$  is a rotation matrix given in (8)

$$R = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(\theta) & -\sin(\theta) & 0 \\ 0 & \sin(\theta) & \cos(\theta) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (8)$$

and the camera is set with  $\theta = 30^\circ$  in this paper.  $T$  is a transformation matrix as shown in (9),

$$T = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & \frac{h}{\sin(\theta)} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (9)$$

where  $h$  is height of the camera which equals 1.5 meters. For the matrix  $K$  is a camera parameter matrix given by (10),

$$K = \begin{pmatrix} f & s & u_0 & 0 \\ 0 & f & v_0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix} \quad (10)$$

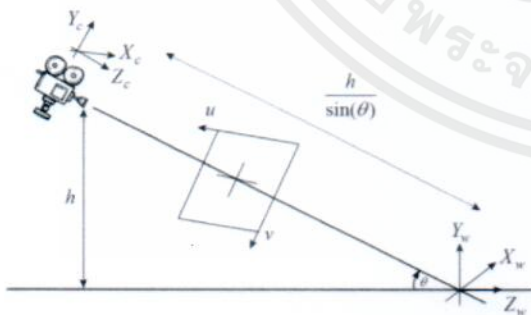


Figure 3. Projection and transformation for top-down view.

where  $f$  is camera focus length,  $s$  is skew parameter and  $u_0, v_0$  are the center pixel of desired image size. Equation

(10) can be substituted by the parameters specified by the employed camera and these parameters are  $f = 3.60\text{mm}$ ,  $s = 0$ ,  $u_0 = 320$ , and  $v_0 = 240$  in this paper. By substituting (8), (9), and (10) into (7), it results in

$$\begin{pmatrix} u \\ v \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} P_{11} & P_{12} & P_{13} & P_{14} \\ P_{21} & P_{22} & P_{23} & P_{24} \\ P_{31} & P_{32} & P_{33} & P_{34} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X_w \\ Y_w \\ Z_w \\ 1 \end{pmatrix} \quad (11)$$

where the matrix  $P$  is derived from the product of  $K$ ,  $T$ , and  $R$ . Since only road plane is interested ( $Y_w = 0$ ), (11) is simplified to (12) as given by

$$\begin{pmatrix} u \\ v \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} P_{11} & P_{13} & P_{14} \\ P_{21} & P_{23} & P_{24} \\ P_{31} & P_{33} & P_{34} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X_w \\ Z_w \\ 1 \end{pmatrix} \quad (12)$$

### F. Distance Determination

In this procedure, it is implemented as following steps:

F1. Calculating average intensity in row direction from bottom row up to top row

F2. The average intensity of each row is compared with the threshold level (obtained from the experimental) which is 50. The starting position of an object is indicated if the average intensity in that row is greater than 50 and the order of that row is stored in a parameter  $p$ .

F3. The distance between object and vehicle is therefore calculated using a linear equation given in (13).

$$d = ap + b \quad (13)$$

where  $d$  is distance between object and vehicle in meter unit,  $p$  is the order of row that object is detected, and  $a$  and  $b$  are constant. In this study,  $a$  and  $b$  are determined by linear regression from data obtained from experiment by measuring actual distance and capturing resulted distance in every 1 meter from 3-20 meters. It is noted that the parameters  $a$  and  $b$  are dependent on camera installation. Equation (13) is rewritten as (14)

$$d = 0.3174p + 3.235 \quad (14)$$

### III. EXPERIMENTAL RESULTS

In this section, results of the proposed technique are demonstrated. In brightness adjustment procedure, the result is depicted in Fig. 4. The ROI image obtained by rectangular couple with trapezoid mask to the brightness adjust image, is shown in Fig. 5 where Fig. 6 illustrates the obtained RGB image after performing road removal procedure. Later, the resulted image is processed by IPM technique (given in Fig.7) and distance determination procedure. Finally, the successful detection distance is shown in Fig. 8. In addition, the comparison between actual distance and detected

distance using the proposed technique is demonstrated in Fig. 9. The data set (18 points) in the plot is obtained from experiment where the distance is from 3 meters to 20 meters (stepped by 1 meter). It is seen that the detected distance is close to the actual distance where the error is approximately 7.96%.



(a) Before



(b) After

Figure 4. Result of brightness adjustment.



Figure 5. Result of ROI determination.



Figure 6. Result of road removal.



Figure 7. Result of IPM.



Figure 8. Successful distance calculation result.

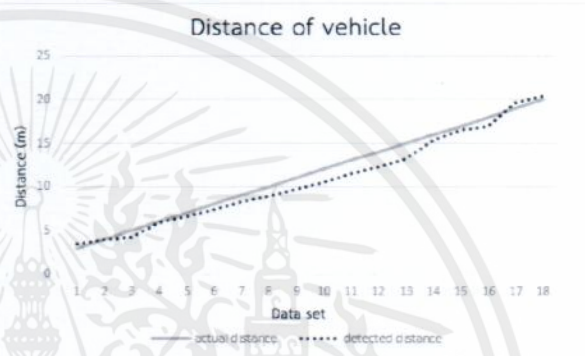


Figure 9. Comparison actual distance and detected distance.

#### IV. CONCLUSIONS

In this paper, an improved technique for distance detection is proposed. The application is focused on forward camera installed behind the rear view mirror of the car. The proposed scheme performs brightness adjustment using gamma correction and ROI determination to obtain the proper image before applying IPM. The successful results in distance detection of the proposed method confirm that brightness adjustment and ROI determination algorithms are helpful to increase the accuracy and reduce the processing time. The accuracy in distance detection of the proposed technique is about 92%. In addition, the advantage of the proposed scheme is that no prior information of objects is needed and can solve the problem of light intensity in the obtained images. Various images in different light conditions are tested and the proposed scheme can provide efficient results in distance determination. In the future work, other object detection such as line lane is further studied. The proposed technique can be applied for safety purpose.

#### REFERENCES

- [1] World Health Organization. (2015). Global status report on road safety 2015. [Online] Available: [http://www.who.int/violence\\_injury\\_prevention/road\\_safety\\_status/2015/en/](http://www.who.int/violence_injury_prevention/road_safety_status/2015/en/)
- [2] S. Arduc, R. Justen, T. Unselt, "Motor Vehicle with a Pre-Safe System", U.S. Patent 20050080530A1 [Online], April 14, 2005. Available: <https://patents.google.com/patent/US7206678B2/en>
- [3] D. O Cualain, M. Glavin, E. Jones, P. Denny, "Distance Detection Systems for the Automotive Environment: A Review," *Irish Signals and Systems Conf.*, Derry, N. Ireland, 2007

เอกสารนี้เป็นเอกสารราชการสำหรับการใช้งานเพื่อการวิจัยและพัฒนาเท่านั้น ไม่ควรเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากกรมการขนส่งทางบก

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [4] G.W. Zhao, S. Yuta, "Obstacle Detection by Vision System for an Autonomous Vehicle," *Symp. Intelligent Vehicles*, pp. 31-36, 1993
- [5] D. Botero, J. Piat, P. Chalimbaud, M. Devy, J.L. Boizard: "FPGA Implementation of Mono and Stereo Inverse Perspective Mapping for Obstacle Detection." *Proc. Conf. Design and Architectures for Signal and Image Processing*, 2012
- [6] D. Bao, P.Wang: "Vehicle Distance Detection Based on Monocular Vision," *IEEE Int. Conf. Progress in Informatics and Computing (PIC)*, pp. 187-191, 2016.
- [7] A. A Ali, H. A. Hussein: "Distance Estimation and Vehicle position detection Based on Monocular Camera," *Al-Sadeq Int. Conf. Multidisciplinary in IT and Communication Science and Applications (AIC-MITCSA)*, 9-10 May, 2016
- [8] S.Tuohy, D.O'Cualain, E. Jones, M.Glavin: "Distance Determination for an Automobile Environment using Inverse Perspective Mapping in OpenCV," *IET Irish Signals and Systems Conf.*, 23-24 June, 2010
- [9] A. Bharad, S. Gaopande, A G Keskar: "Statistical Approach for Distance Estimation using Inverse Perspective Mapping on Embedded Platform," *Annual IEEE India Conf. (INDICON)*, 11-13 Dec., 2014
- [10] A. R. Mondal, I. R. Ahmed: "Determination of Vehicle Following Distance using Inverse Perspective Mapping," *Int. Conf. Innovation in Civil Engineering for Sustainable Development (IICSD)*, 2015
- [11] R. Adamshuk, D. Carvalho, J. H. Z. Neme, E. Margraf, S. Okida, A. Tusset, et al., "On the Applicability of Inverse Perspective Mapping for the Forward Distance Estimation based on the HSV Colormap," *IEEE Int. Conf. Industrial Technology (ICIT)*, 22-25 March, 2017
- [12] P. Babakhani, P. Zarei: "Automatic Gamma Correction Based on Average of Brightness," *Int. Jour. Advances in Computer Science*, vol. 4(6), no.18, Nov. 2015



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	เปรี๊ยะ วงษ์เสรี
วัน เดือน ปีเกิด	2 กันยายน 2538
ประวัติการศึกษา	2559 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาโทรคมนาคม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ความสนใจเฉพาะด้าน	การประมวลผลภาพ (Image Processing) การประมวลผลสัญญาณ (Signal Processing)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้