การตรวจสอบสิ่งกีดขวางบนถนนตามเวลาจริงโดยใช้ภาพแสดงค่าความลึกจากกล้องสเตอริโอวิชันและคำนวณระยะทางโดยวิธีการถดถอย

Real Time Road Obstacle Detection by Using Disparity Image from Stereovision Camera and Calculating the Distance by Regression Method

วีระพล สุขสมบูรณ์

Veeraphon Suksomboon

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Master of Engineering in Computer Engineering
Prince of Songkla University
2553

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชื่อวิทยานิพนธ์	การตรวจสอบสิ่งกีดขวางบนถนนตามเวลาจริงโดยใช้ภาพแสดงค่าความลึกจากกล้องสเตอริโอวิชันและคำนวณระยะทางโดยวิธีการถดถอย
ผู้เขียน	นายวีระพล สุขสมบูรณ์
สาขาวิชา	วิศวกรรมคอมพิวเตอร์

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

…….....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธเนศ เคารพาพงศ์)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

…….....
(รองศาสตราจารย์ ดร.มนตรี กาญจนะเดชะ)

…….....
(ดร.สมชัย หลิมศิโรรัตน์)

คณะกรรมการสอบ

…….....ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พรชัย พฤกษ์ภัทรานนต์)

……..กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.มนตรี กาญจนะเดชะ)

……..กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธเนศ เคารพาพงศ์)

……..กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.โกสินทร์ จำนงไทย)

……..กรรมการ
(ดร.สมชัย หลิมศิโรรัตน์)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์

…….
(รองศาสตราจารย์ ดร.เกริกชัย ทองหนู)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ชื่อวิทยานิพนธ์ การตรวจสอบสิ่งกีดขวางบนถนนตามเวลาจริงโดยใช้ภาพแสดงค่าความลึกจากกล้องสเตอริโอวิชันและคำนวณระยะทางโดยวิธีการถดถอย
ผู้เขียน นายวีระพล สุขสมบูรณ์
สาขาวิชา วิศวกรรมคอมพิวเตอร์
ปีการศึกษา 2552

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอระบบการตรวจจับสิ่งกีดขวางที่อยู่ด้านหน้ายานยนต์ไร้คนขับในระยะที่กำหนดและทำการส่งสัญญาณให้ยานยนต์ไร้คนขับทำการหลบหลีกสิ่งกีดขวาง ระบบได้นำหลักการการมองภาพสองตา (Stereovision) มาประยุกต์ใช้ซึ่งเป็นการนำภาพที่ได้จากกล้องซ้ายและกล้องขวามาทำการจับคู่ (Matching) กันทำให้ได้ภาพแสดงค่าความลึกของสิ่งกีดขวาง (Disparity image) และนำภาพแสดงค่าความลึกไปทำการคำนวณและสร้างภาพการสะสมค่าความลึกในแนวแกน V (V-disparity image) ซึ่งเป็นภาพที่แสดงถึงตำแหน่งของสิ่งกีดขวางในรูปแบบของเส้นตรงตามแนวแกน X ของภาพแสดงค่าความลึก และเป็นภาพที่บอกถึงตำแหน่งของเส้นตรงที่สัมพันธ์กับระยะทางจริงของสิ่งกีดขวางที่อยู่ในภาพ ระบบการตรวจจับสิ่งกีดขวางจะนำภาพสะสมค่าความลึกในแนวแกน V มาตรวจสอบและค้นหาตำแหน่งของเส้นตรงในภาพ ด้วยวิธีการของฮัฟทรานฟอร์ม (Hough Transform) เพื่อนำตำแหน่งพิกัดของเส้นตรงที่ได้ในแนวแกน X ไปทำการเปรียบเทียบกับค่าระยะทางจริง และจะทำการสร้างสมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าตำแหน่งของเส้นตรงและระยะทางจริงด้วยสมการความสัมพันธ์ถดถอยเชิงซ้อน (Polynomial Regression) จากนั้นนำข้อมูลเหล่านี้ไปทำการทดสอบบนยานยนต์ไร้คนขับ

งานวิจัยนี้ทำการถ่ายภาพการเคลื่อนที่ของยานยนต์ไร้คนขับเพื่อนำมาทำการทดสอบระบบการตรวจจับสิ่งกีดขวาง โดยความเร็วในการเคลื่อนที่ของยานยนต์ทดสอบคือ 5 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และความเร็วในการบันทึกภาพโดยเฉลี่ยคือ 25 เฟรมต่อวินาที และทำการทดสอบการทำงานของระบบในสภาพแวดล้อมจริงตามที่กำหนด โดยระบบสามารถทำงานได้ดีในสภาพอากาศปลอดโปร่ง สภาพความเข้มแสงในช่วง 1500-2000 ลักซ์ ขนาดสิ่งกีดขวางที่มีความสูงระหว่าง 1.5-1.7 เมตร และความกว้างที่ 1-2 เมตร โดยสีของพื้นผิวของสิ่งกีดขวางมีผลต่อการทำงานของระบบด้วยเช่นกัน เมื่อทำการคำนวณค่าความผิดพลาดของระบบการตรวจจับสิ่งกีดขวาง พบว่าระบบมีการทำงานที่ผิดพลาดในการวัดระยะคิดเป็นร้อยละ 19.2 และใช้เวลาในการประมวลผลในแต่ละเฟรมอยู่ที่ 3.5 วินาที ซึ่งเป็นผลจากการทดสอบเมื่อใช้อัลกอริทึมของ Depth Discontinuities by

Pixel-to-Pixel Stereo (P2P) และระบบมีการทำงานที่ผิดพลาดคิดเป็นร้อยละ 30.5 และใช้เวลาในการประมวลผลในแต่ละเฟรมอยู่ที่ 0.2 วินาที ซึ่งเป็นผลจากการทดสอบเมื่อใช้ฟังก์ชัน cvFindStereoCorrespondence ซึ่งเป็นฟังก์ชันในไลบารีของ OpenCV

คำสำคัญ: การจับภาพด้วยหลักการการมองภาพสองตา, ภาพการสะสมค่าความลึกในแนวแกน V, การค้นหาเส้นตรงในภาพด้วยกระบวนการวิธีฮัฟทรานฟอร์ม, สมการถดถอยเชิงซ้อน

Thesis Title	Real Time Road Obstacle Detection by Using Disparity Image from Stereovision Camera and Calculating the Distance by Regression Method
Author	Mr.Veeraphon Suksomboon
Major Program	Computer Engineering
Academic Year	2009

Abstract

This research implemented a stereovision based obstacle detection system for an autonomous vehicle. Images from left and right cameras are matched to create Depth Disparity image. The Depth Disparity image is then used to calculate V-disparity image. The V-disparity image shows the obstacle's position obtained from the horizontal axis of the disparity image. The V-disparity image also indicates the line location which is related to the true distance of the obstacle. The line is detected from the disparity image using the Hough Transform. The line coordinate in horizontal direction is plotted against the true distance. After that the Polynomial Regression is applied to obtain an equation for computing the true distance from the line's coordinate.

In this research, the video image is captured at 25 frame per second when the vehicle is running at the speed of 5 km/hr. Experiment were conducted under real environment. The proposed system works well under clear sky having light intensity of 1500-2000 lux. The size of the obstacles are 1.5-1.7 meters and 1-2 meters wide we found high. That the color if the obstacle affect the accuracy of the system. Our proposed system yields the distance error of 19.2% and the processing time for each frame is 3.5 seconds when using Depth Discontinuities by Pixel-to-Pixel Stereo (P2P) method. The error becomes 30.5% and the processing time reduced to 0.2 seconds when using cvFindStereocorrespondence, an OpenCV function.

Keywords: Stereovision, V-disparity image, Hough Transform, Polynomial Regression equation.

สารบัญ

หน้า

สารบัญ .....(7)
รายการตาราง.....(10)
รายการภาพประกอบ .....(11)
สัญลักษณ์คำย่อและตัวย่อ.....(15)
บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ความสำคัญและที่มาของหัวข้อวิจัย.....1
1.2 การตรวจเอกสาร 3
1.3 วัตถุประสงค์ 5
1.4 ขอบเขตของการวิจัย.....5
1.5 ขั้นตอนและวิธีการวิจัย.....6
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 6
1.7 ทรัพยากรที่ใช้ในระบบ 7
1.8 ภาพรวมของระบบ 8
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ 9
2.1 การประมวลผลภาพ 9
2.2 กระบวนการทางด้านการประมวลผลภาพด้วยคอมพิวเตอร์.....9
2.2.1 ขั้นตอนพื้นฐานของการประมวลผลภาพดิจิตอล 9
2.2.2 เทคนิคการประมวลผลภาพเบื้องต้น (Image Preprocessing Technique) 11
2.2.3 เทคนิคการแบ่งแยกข้อมูลภาพ (Image Segmentation Technique) 13
2.2.4 เทคนิคการแสดงตัวแทนข้อมูลภาพ (Image Representation Technique) 16
2.3 หลักการของการมองภาพสองตา (Stereovision).....22
2.3.1 การหาความสัมพันธ์ระหว่างภาพสองภาพ 24
2.3.2 การตั้งกล้องด้วยหลักการการมองภาพสองตา.....25
2.3.3 การจับคู่ภาพสเตอริโอ (Stereo matching).....26
2.4 ภาพแสดงการสะสมค่าความลึกในแนวแกน U และ V (U-V-disparity image) 31
2.5 การถดถอย (Regression).....35
2.5.1 การถดถอยแบบเส้นตรงเชิงเดียว (Simple Linear Regression) 36

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.5.2 การถดถอยแบบเส้นโค้งโพลีโนเมียล (Polynomial regression).....39
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....43
3.1 แนวคิดในการออกแบบระบบ.....43
3.2 ภาพรวมของงานวิจัย.....44
3.3 การตั้งกล้องในรูปแบบการมองภาพสองตา.....45
3.3.1 การตั้งกล้องสเตอริโอ.....45
3.3.2 การตั้งกล้องโทเทิลสเตชันเพื่อวัดระยะอ้างอิง.....47
3.4 การประมวลผลภาพในโปรแกรม.....49
3.4.1 ภาพแสดงค่าความลึก (Disparity image).....50
3.4.2 การสร้างภาพแสดงการสะสมค่าความลึกในแนวแกน U และ V.....51
3.4.3 การค้นหาตำแหน่งของเส้นตรงในภาพด้วยวิธีการแปลงฮัฟ.....56
3.5 การประมาณค่าระยะทาง.....60
3.6 ขั้นตอนการทดสอบการทำงานของระบบตรวจจับสิ่งกีดขวาง.....64
3.6.1 ทดสอบหาระยะห่างระหว่างกล้องที่เหมาะสมกับระบบ.....64
3.6.2 ทดสอบหาค่าความผิดพลาดของระบบเมื่อทำการเปลี่ยนลักษณะของสิ่งกีดขวางที่อยู่บนถนน.....64
3.6.3 ทดสอบหาค่าความผิดพลาดของระบบเมื่อทำการเปลี่ยนลักษณะของสภาพแวดล้อมและสภาพแสง.....64
บทที่ 4 ผลการทดลอง.....66
4.1 สร้างสมการความสัมพันธ์ระหว่างพิกเซลและค่าความลึก.....66
4.2 ทดสอบและค้นหาระยะห่างระหว่างกล้องที่เหมาะสมกับการทำงานของระบบตรวจจับสิ่งกีดขวาง.....71
4.3 ทดสอบและหาค่าความผิดพลาดของระบบตรวจจับสิ่งกีดขวางเมื่อทำการเปลี่ยนขนาดและสีของพื้นผิวของสิ่งกีดขวางที่อยู่บนถนน.....74
4.3.1 ทดสอบเมื่อสิ่งกีดขวางมีขนาดความกว้าง 1 เมตร และความสูง 1.70 เมตร.....75
4.3.2 ทดสอบเมื่อสิ่งกีดขวางมีขนาดความกว้างที่ 1.56 เมตร สูง 1.23 เมตร.....76

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.3.3 ทดสอบเมื่อสิ่งกีดขวางที่มีสีของพื้นผิวเหมือนกับสีของพื้นผิวของถนน และสิ่งกีดขวางมีขนาดความกว้างที่ 1 เมตร สูง 1.23 เมตร 77

4.3.4 ทดสอบเมื่อสิ่งกีดขวางมีสีหลากหลายบนพื้นผิวและมีขนาดความกว้างที่ 1 เมตร สูง 1.23 เมตร 78

4.4 ทดสอบและหาค่าความผิดพลาดของระบบเมื่อทำการเปลี่ยนลักษณะของสภาพแวดล้อมและสภาพแสง 82

4.4.1 ทดสอบโดยการเปลี่ยนสภาพแวดล้อมเป็นสภาพแวดล้อมที่มีแดดจ้า มีร่มไม้บนพื้นถนน 82

4.4.2 ทดสอบโดยการเปลี่ยนสภาพแวดล้อมเป็นสภาพแวดล้อมที่มีแดดจัด ตอนเที่ยงเวลา .84 12.00 น. 84

4.4.3 ทดสอบโดยการเปลี่ยนสภาพแวดล้อมเป็นสภาพแวดล้อมที่สภาพแสงพอเหมาะ 85

4.4.4 ทดสอบโดยการเปลี่ยนสภาพแวดล้อมเป็นสภาพแวดล้อมที่สภาพแสงน้อย ตอนเย็นเวลา 16.00 น. 87

4.4.5 ทดสอบโดยการเปลี่ยนสภาพแวดล้อมเป็นสภาพแวดล้อมที่สภาพแสงน้อยตอนเย็นหลังเวลา 18.00 น. 88

4.5 ตัวอย่างผลการทดสอบการทำงานของระบบการตรวจจับสิ่งกีดขวางโดยรวม 90

4.6 สรุป 91

บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ 92

5.1 บทสรุป 92

5.1.1 สรุปผลในส่วนของการประมวลผลภาพ 93

5.1.2 สรุปผลในส่วนของการประมาณค่าระยะทาง 93

5.1.3 สรุปผลในส่วนของการทดสอบการทำงานของระบบตรวจจับสิ่งกีดขวาง 94

5.1.4 สรุปสาเหตุของการเกิดความผิดพลาดของการทำงานของระบบตรวจจับสิ่งขวาง 96

5.2 ข้อเสนอแนะ 100

เอกสารอ้างอิง 101

ภาคผนวก 103

ประวัติผู้เขียน 116

รายการตาราง

ตาราง หน้า

ตาราง 2-1 ค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าของ θ และ ρ เมื่อแทนค่าในสูตร (2-7).....20
ตาราง 4-1 แสดงระยะที่สามารถทำงานได้ของระยะกล้องทั้ง 3 ระยะ.....74
ตาราง 4-2 แสดงการเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดของการทดสอบเปลี่ยนลักษณะสิ่งกีดขวาง 80
ตาราง 4-3 แสดงการเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดของการทดสอบการเปลี่ยนสภาพแวดล้อม.....87
ตาราง 4-4 แสดงค่าความถูกต้องของการทำงานของระบบตรวจจับสิ่งกีดขวาง 91

รายการภาพประกอบ

ภาพประกอบ **หน้า**

ภาพประกอบ 1-1 กล้องวีดีโอ Sony Handycam รุ่น DCR-HC46 7
ภาพประกอบ 1-2 ภาพรวมของระบบ.....8
ภาพประกอบ 2-1 ขั้นตอนพื้นฐานของการประมวลผลภาพดิจิตอล [8] 10
ภาพประกอบ 2-2 ขั้นตอนการหาขอบภาพด้วยเทคนิควิธีของแคนนี่ 14
ภาพประกอบ 2-3 แสดงตัวอย่างการตรวจหาขอบภาพด้วยเทคนิควิธีของแคนนี่ 15
ภาพประกอบ 2-4 การนับจำนวนเส้นตรงของการเปลี่ยนแปลงของการแปลงฮัฟ.....16
ภาพประกอบ 2-5 การแปลงรูปแบบระหว่าง ปริภูมิรูปภาพ กับ ปริภูมิตัวแปร.....17
ภาพประกอบ 2-6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าของเวกเตอร์ ρ กับจุดของเส้นตรง.....18
ภาพประกอบ 2-7 การหาเส้นตรงของภาพสองมิติโดยใช้การแปลงฮัฟ.....19
ภาพประกอบ 2-8 ตัวอย่างการแปลงฮัฟ 20
ภาพประกอบ 2-9 การแปลงค่าของปริภูมิฮัฟเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงจุดในเส้นตรง 21
ภาพประกอบ 2-10 ลักษณะทางเรขาคณิตของการมองภาพแบบกล้องสองตา 23
ภาพประกอบ 2-11 ลักษณะการตั้งกล้องสเตอริโอ 25
ภาพประกอบ 2-12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างพิกเซลจากกล้องซ้ายและกล้องขวาโดยเป็นการจับคู่ในคู่อันดับ M.....27
ภาพประกอบ 2-13 ภาพอินพุตในระดับภาพสีเทา.....27
ภาพประกอบ 2-14 ภาพเอาต์พุตเมื่อผ่านกระบวนการในขั้นตอนที่ 1 28
ภาพประกอบ 2-15 ภาพเอาต์พุตเมื่อผ่านกระบวนการในขั้นตอนที่ 2 29
ภาพประกอบ 2-16 ภาพเอาต์พุตเมื่อผ่านกระบวนการในขั้นตอนที่ 3 29
ภาพประกอบ 2-17 ภาพเอาต์พุตเมื่อผ่านกระบวนการในขั้นตอนที่ 4 30
ภาพประกอบ 2-18 ภาพเอาต์พุตสุดท้ายเมื่อผ่านอัลกอริทึม P2P.....30
ภาพประกอบ 2-19 แสดงระนาบของภาพที่เกิดจากจุด P ลงบนระนาบที่ภาพกล้องซ้ายและกล้องขวา.....32
ภาพประกอบ 2-20 แสดงการตั้งแกนของแสดงการสะสมค่าความลึกในแนวแกน V 33
ภาพประกอบ 2-21 แสดงการตั้งแกนของแสดงการสะสมค่าความลึกในแนวแกน U 33
ภาพประกอบ 2-22 แสดงตัวอย่างการสร้างภาพแสดงการสะสมค่าความลึกในแนวแกน V.....33
ภาพประกอบ 2-23 แสดงตัวอย่างการสร้างภาพแสดงการสะสมค่าความลึกในแนวแกน U.....34

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ **หน้า**

ภาพประกอบ 2-24 การถดถอยแบบเส้นตรงเชิงเดียว 35
ภาพประกอบ 2-25 ตัวอย่างการปรับแต่งเส้นโค้งในลักษณะต่างๆ 37
ภาพประกอบ 2-26 เปรียบเทียบกราฟที่ได้จากการถดถอย 40
ภาพประกอบ 3-1 ขั้นตอนการวิจัยโดยรวม 44
ภาพประกอบ 3-2 ลักษณะการตั้งกล้องที่ขนานกับพื้นผิวถนน.....45
ภาพประกอบ 3-3 ลักษณะการตั้งกล้องที่ขนานกัน.....46
ภาพประกอบ 3-4 ลักษณะการตั้งกล้องบนรถอัจฉริยะที่ใช้ในการทดสอบ 47
ภาพประกอบ 3-5 แสดงการตัวอย่างการตั้งกล้องโทเทิลสเตชันบนรถอัจฉริยะที่ทำการทดสอบ 48
ภาพประกอบ 3-6 แสดงกล้องโทเทิลสเตชันที่ใช้ในการทดสอบ 48
ภาพประกอบ 3-7 กระบวนการการประมวลผลภาพของโปรแกรม 49
ภาพประกอบ 3-8 กระบวนการสร้างภาพแสดงค่าความลึก.....50
ภาพประกอบ 3-9 ตัวอย่างการสร้างภาพแสดงค่าความลึก 51
ภาพประกอบ 3-10 กระบวนการสร้างภาพแสดงการสะสมค่าความลึกในแนวแกน V 53
ภาพประกอบ 3-11 กระบวนการสร้างภาพแสดงการสะสมค่าความลึกในแนวแกน U 55
ภาพประกอบ 3-12 ตัวอย่างการสร้างภาพแสดงการสะสมค่าความลึกตามแนวแกน U-V.....56
ภาพประกอบ 3-13 ตัวอย่างการค้นหาตำแหน่งของสิ่งกีดขวาง โดย 57
ภาพประกอบ 3-14 ผังการหาเส้นตรงของกระบวนการวิธีการแปลงฮัฟ.....59
ภาพประกอบ 3-15 ผังการทำงานในส่วนของการประมาณค่าระยะทาง.....61
ภาพประกอบ 4-1 กราฟแสดงการเปรียบเทียบการจับคู่ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความลึกและค่าระยะทาง.....67
ภาพประกอบ 4-2 กราฟแสดงการตอบสนองของสมการสัมประสิทธิ์ที่ 2 69
ภาพประกอบ 4-3 กราฟแสดงการตอบสนองของสมการสัมประสิทธิ์ที่ 3 และ 4 69
ภาพประกอบ 4-4 กราฟแสดงการตอบสนองของสมการสัมประสิทธิ์ที่ 5 และ 6 70
ภาพประกอบ 4-5 กราฟแสดงค่าความผิดพลาดของสมการสัมประสิทธิ์ทั้ง 5 สมการ 71
ภาพประกอบ 4-6 กราฟแสดงค่าความผิดพลาด ที่เวลา 12.00 น.....73
ภาพประกอบ 4-7 กราฟแสดงค่าความผิดพลาด ที่เวลา 16.00 น.....73

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ **หน้า**

ภาพประกอบ 4-8 แสดงผลลัพธ์การสร้างภาพแสดงค่าความลึกเมื่อทำการทดสอบระบบด้วยสิ่งกีดขวางที่มีความสูง 1.70 เมตร.....75
ภาพประกอบ 4-9 แสดงค่าความผิดพลาดเมื่อสิ่งกีดขวางมีขนาดความกว้าง 1 เมตร 76
ภาพประกอบ 4-10 แสดงผลลัพธ์การสร้างภาพแสดงค่าความลึกเมื่อทำการทดสอบระบบด้วยสิ่งกีดขวางที่มีความกว้าง 1.56 เมตร 76
ภาพประกอบ 4-11 แสดงค่าความผิดพลาดเมื่อสิ่งกีดขวางมีขนาดความกว้างที่ 1.56 เมตร สูง 1.23 เมตร 77
ภาพประกอบ 4-12 แสดงความผิดพลาดในการหาภาพแสดงค่าความลึกที่เกิดขึ้นเมื่อทำการเปลี่ยนสิ่งกีดขวางให้เป็นสีที่คล้ายคลึงกับสีของพื้นผิวถนน 77
ภาพประกอบ 4-13 ค่าความผิดพลาดเมื่อสิ่งกีดขวางมีสีบนพื้นผิวสีเดียวกับสีพื้นผิวของถนน 78
ภาพประกอบ 4-14 แสดงผลลัพธ์การสร้างภาพแสดงค่าความลึกเมื่อทำการเปลี่ยนสีของพื้นผิวของสิ่งกีดขวางให้มีมากกว่า 1 สี 79
ภาพประกอบ 4-15 แสดงค่าความผิดพลาดเมื่อสิ่งกีดขวางมีสีบนพื้นผิวมากกว่า 1 สี 79
ภาพประกอบ 4-16 ทำการเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นทั้ง 4 การทดสอบ 80
ภาพประกอบ 4-17 แสดงการสร้างภาพแสดงค่าความลึกที่เกิดขึ้นเมื่อทำการเปลี่ยนสภาพแวดล้อม 83
ภาพประกอบ 4-18 แสดงค่าความผิดพลาดเมื่อสภาพแวดล้อมในการทดสอบมีร่มไม้บนพื้นผิวถนน 83
ภาพประกอบ 4-19 แสดงการสร้างภาพแสดงค่าความลึกที่เกิดขึ้นเมื่อทำการเปลี่ยนสภาพแวดล้อม 84
ภาพประกอบ 4-20 แสดงค่าความผิดพลาดเมื่อสภาพแวดล้อมในการทดสอบเป็นสภาพแดดจัดเวลา 12.00 น.....85
ภาพประกอบ 4-21 แสดงการหาภาพแสดงค่าความลึกที่เกิดขึ้นในสภาพแสงที่พอเหมาะ 85
ภาพประกอบ 4-22 แสดงค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นเมื่อทำการเปลี่ยนสภาพแวดล้อมที่มีความเข้มแสงที่ 1560 ลักซ์ 86
ภาพประกอบ 4-23 แสดงค่าความผิดพลาดเมื่อทำการเปรียบเทียบผลการทดสอบทั้ง 3 สภาพแวดล้อม.....86

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ **หน้า**

ภาพประกอบ 4-24 แสดงการหาภาพแสดงค่าความลึกเมื่อสภาพแวดล้อมเป็นสภาพแวดล้อมตอนเย็นเวลา 16.00 น. 88
ภาพประกอบ 4-25 แสดงการหาภาพแสดงค่าความลึกที่สภาพแวดล้อม ณ เวลา 18.00 น. และมีความเข้มแสงมีน้อยมากที่ 33 ลักซ์ 89
ภาพประกอบ 4-26 แสดงการหาภาพแสดงค่าความลึกที่สภาพแวดล้อม ณ เวลา 19.30 น. และทำการฉายไฟหน้ารถอัจฉริยะที่มีความเข้มแสงที่ 95 ลักซ์.....89
ภาพประกอบ 5-1 แสดงการสร้างภาพแสดงค่าความลึกที่ผิดพลาด 97
ภาพประกอบ 5-2 แสดงการสร้างภาพแสดงการสะสมค่าความลึกในแนวแกน V ที่ผิดพลาด 98

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของหัวข้อวิจัย

ในการขับขี่ยานพาหนะ ระบบการมองเห็นของผู้ขับขี่ถือเป็นส่วนการประมวลผลที่สำคัญที่สุดในการตัดสินใจเพื่อทำการควบคุมยานพาหนะ ระบบการมองเห็นเพื่อช่วยในการขับขี่นั้น เป็นระบบที่ทำหน้าที่เพิ่มความปลอดภัย ความสะดวกสบาย และเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดการการจราจรอย่างเป็นระบบ

ในการพัฒนาระบบตรวจจับของยานพาหนะจะต้องมีความสามารถพื้นฐานในการแยกแยะบริเวณที่เป็นถนนซึ่งเป็นบริเวณที่ยานพาหนะสามารถเคลื่อนที่ได้อย่างปลอดภัย และสามารถตรวจสอบสิ่งกีดขวางที่อยู่บนท้องถนนที่ซึ่งอาจเป็นอันตรายต่อการเคลื่อนที่ของยานพาหนะได้ และระบบตรวจจับที่นิยมใช้ในการตรวจจับถนนและสิ่งกีดขวาง มักจะประกอบไปด้วยกล้องซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวรับภาพของสิ่งแวดล้อมที่ยานพาหนะได้ทำการเคลื่อนที่ไป โดยระบบที่ใช้กล้องในการทำงานมักมีความยืดหยุ่นในการใช้งานสูง และสามารถใช้ได้ในการตรวจจับถนน เส้นแบ่งทาง สิ่งกีดขวางบนถนน ยานพาหนะอื่นๆ หรือลักษณะเด่นที่กำหนดจุดหมายปลายทางของการเคลื่อนที่ ภาพที่ใช้อาจเป็นภาพสีหรือภาพขาวดำก็ได้ ขึ้นอยู่กับวิธีการและข้อจำกัดทางด้านการประมวลผลข้อมูล และสามารถที่จะประยุกต์และนำไปใช้งานในด้านอื่นๆ ได้อีกมากมาย

ในปัจจุบันการพัฒนาระบบการตรวจจับสิ่งกีดขวางบนถนนโดยใช้กล้องวีดีโอได้มีการทำงานอยู่สองรูปแบบ คือ รูปแบบที่ 1 เป็นการใช้กล้องเดี่ยวหรือกล้องตัวเดียว (Monocular) ในระบบตรวจจับสิ่งกีดขวาง แต่การทำงานของกล้องเดี่ยวมักมีปัญหาในการทำงาน เช่น เมื่อขอบถนนที่ไม่มีเส้นขอบหรือเส้นกลางถนนที่ชัดเจน ปัญหาเมื่อเจอถนนโค้ง และการมีสิ่งกีดขวางหรือยานพาหนะอื่นๆบนถนน สิ่งรบกวนเหล่านี้จะทำให้เกิดปัญหากับการทำงานของระบบตรวจจับสิ่งกีดขวางที่ใช้กล้องเดี่ยวในการทำงาน และการที่จะใช้กล้องเดี่ยวในการคำนวณหาระยะห่างระหว่างกล้องกับวัตถุที่อยู่ด้านหน้ายานพาหนะได้นั้นจะต้องมีการเพิ่มเติมข้อมูลจากเซนเซอร์ที่แสดงสถานะของยานพาหนะเป็นตัวช่วยในการทำงาน เช่น เซนเซอร์ตรวจจับความเร็วล้อ เพื่อที่จะสามารถบอกตำแหน่งผลต่างของภาพที่ได้จากกล้องที่เวลาต่างๆกันได้ และนำผลต่างของภาพที่ได้

รูปแบบที่ 2 เป็นการใช้กล้องสองตัว (Stereovision) ในการตรวจจับสิ่งกีดขวาง โดยการทำงานด้วยกล้องสองตัวจะทำงานในลักษณะคล้ายการมองของมนุษย์ ทำให้สามารถที่จะระบุถึงระยะห่างของสิ่งกีดขวางกับยานพาหนะได้ และสามารถระบุตำแหน่งของสิ่งกีดขวางที่อยู่บนถนนได้ชัดเจน แต่ปัญหาของการทำงานงานโดยกล้องวีดีโอสองตัวนี้คือระบบตรวจจับจะมีการทำงานที่ช้า และการทำงานหลังจากระบบตรวจจับสิ่งกีดขวางรับค่าจากการทำงานของกล้องแล้วระบบตรวจจับจะส่งสัญญาณไปยังยานพาหนะเพื่อให้ยานพาหนะทำการหลบหลีกสิ่งกีดขวางต่อไป

งานวิจัยนี้ศึกษาและพัฒนาระบบตรวจจับและหาระยะห่างของสิ่งกีดขวางที่อยู่ด้านหน้าของรถในระยะที่ปลอดภัย ด้วยการประมวลผลภาพแบบกล้องวีดีโอสองตัวหรือหลักการการมองภาพสองตา (Stereovision) และได้นำอัลกอริทึม Depth Discontinuities by Pixel-to-Pixel Stereo (P2P) ของ Stan Birchfield [5] ช่วยในการสร้างภาพแสดงค่าความลึก (Disparity image) และทำการปรับค่าพารามิเตอร์ต่างๆในอัลกอริทึมของ Stan Birchfield ให้เหมาะสมกับการทำงานของระบบตรวจจับและหาระยะห่างระหว่างสิ่งกีดขวางที่อยู่ด้านหน้าของรถและกล้อง จากงานวิจัยของ R.Labayrade และ D. Aubert [2] ได้อธิบายการหาระยะห่างระหว่างสิ่งกีดขวางและกล้อง โดยการสร้างภาพแสดงการสะสมค่าความลึกในแนวแกน V (V-disparity image) จากภาพแสดงค่าความลึก และสมการการหาระยะ ซึ่งสมการการหาระยะของ R.Labayrade และ D. Aubert มีการนำค่าระยะโฟกัสและขนาดของค่าซีซีดีของภาพ (CCD) มาใช้ในการคำนวณในสมการการหาระยะเพราะกล้องที่ R.Labayrade และ D. Aubert ใช้ในงานวิจัยเป็นกล้องที่บอกค่าซีซีดีนั่นคือ กล้องซีซีดี (CCD camera) และค่าซีซีดีที่บอกเป็นค่าที่แม่นยำมากและเป็นกล้องที่มีราคาแพง แต่ในการสร้างระบบตรวจจับสิ่งกีดขวางที่อยู่ด้านหน้ารถ ไม่สามารถนำสมการการหาระยะของ R.Labayrade และ D. Aubert มาใช้ได้ เนื่องจากกล้องที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นกล้องวีดีโอทั่วไปที่ทางบริษัทผู้ผลิตอาจจะแจ้งค่าขนาดพิกเซลที่คลาดเคลื่อนเนื่องจากเกิดความผิดพลาดจากการผลิต หรือจะทำการวัดขนาดของพิกเซลจากกล้องก็ไม่สามารถทำได้เนื่องจากไม่มีเครื่องมือวัดที่แม่นยำซึ่งอาจจะทำให้เกิดความผิดพลาดได้ จึงได้ทำการเปลี่ยนมาใช้การประมาณค่าระยะทาง ซึ่งวิธีการประมาณค่าระยะทางนี้จะเป็นการสร้างสมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าความลึก (Disparity value) ที่ปรากฏในภาพแสดงการสะสมค่าความลึกในแนวแกน V และค่าระยะทางจริง มาใช้ในการหาระยะห่างระหว่างสิ่งกีดขวางและกล้องสเตอริโอ จากนั้นทำการนำระบบตรวจจับและหาระยะห่างของสิ่งกีดขวางที่ได้มาสร้างระบบเตือนภัยเมื่อรถทำการเคลื่อนที่เข้าสู่พื้นที่อันตรายที่จะชนกับสิ่งกีดขวางที่อยู่ด้านหน้ารถ

เมื่อนำวิธีการประมาณค่าระยะทางมาใช้กับการทำงานกับระบบตรวจจับและหาระยะห่างของสิ่งกีดขวางที่อยู่ด้านหน้าของรถจะต้องมีการทดสอบหาค่าตัวแปรต่างๆ ที่เหมาะสมกับการทำงานกับระบบ เพราะกล้องที่ได้นำมาใช้ในงานวิจัยนี้มีความผิดพลาด ไม่ว่าจะเป็นค่าผิดพลาดของเลนส์หน้า

กล้อง ค่าผิดพลาดของระยะโฟกัสที่ไม่เท่ากันของกล้องสองกล้อง เป็นต้น และทางบริษัทผู้ผลิตไม่ได้แจ้งค่าความผิดพลาดเหล่านั้น จึงได้มีการทดสอบต่างๆโดยทำการทดสอบบนรถอัจฉริยะ REAL และเริ่มต้นจากการหาระยะห่างระหว่างกล้องที่เหมาะสมต่อการทำงานของระบบ และการหาตำแหน่งการติดตั้งกล้องในแนวแกนตั้งฉากกับพื้นโลกเพื่อทดสอบลักษณะการมองเห็นของกล้องว่าสามารถทำการมองได้ในระนาบที่ต้องการหรือไม่ หลังจากนั้นทำการทดสอบการทำงานของกล้องเมื่อมีการสั่นสะเทือนจากการเคลื่อนที่ของรถอัจฉริยะในความเร็วที่คงที่ และทำการทดสอบความแม่นยำและความเที่ยงตรงของระบบตรวจจับสิ่งกีดขวางเมื่อทำการเปลี่ยนสภาพแวดล้อม สภาพแสง และขนาดของสิ่งกีดขวางที่เป็นอันตรายต่อการเคลื่อนที่ และทำการส่งสัญญาณเตือนภัยไปยังรถอัจฉริยะ REAL ให้รถอัจฉริยะทำการเคลื่อนที่หลบหลีกสิ่งกีดขวางต่อไป

1.2 การตรวจเอกสาร

1. Depth Discontinuities by Pixel-to-Pixel Stereo [1]

บทความนี้ได้แสดงถึงวิธีการจับคู่ (Matching) พิกเซลจากกล้องซ้ายและกล้องขวาจากการตั้งกล้องด้วยหลักการการมองภาพสองตา (Stereovision) เพื่อทำการสร้างภาพแสดงค่าความลึกโดยใช้ฟังก์ชันต้นทุน (Cost function) ช่วยในการจับคู่พิกเซลของภาพจากกล้องซ้ายและกล้องขวาโดยการทำงานจะแบ่งออกเป็นสองส่วนหลัก คือ ส่วนของการจับคู่ในแต่ละแถว (Matching scanline) เป็นส่วนที่ใช้สำหรับการจับคู่ภาพที่รับจากกล้องสเตอริโอแต่ในส่วนนี้ภาพแสดงค่าความลึกที่ได้จะมีสัญญาณรบกวนอยู่มาก จึงต้องนำไปทำงานร่วมกับส่วนที่สอง คือในส่วนของกระบวนการปรับปรุงภาพหลังการประมวลผลภาพ (Postprocess) ในส่วนนี้จะเป็นส่วนของการลบและลดสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้น ทำให้ได้ภาพแสดงค่าความลึกที่สมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

2. Real Time Obstacle Detection in Stereovision on Non Flat Road Geometry Through “V-disparity” Representation [2]

บทความนี้ได้แสดงถึงวิธีการค้นหาสิ่งกีดขวางที่อยู่บนถนนในรูปแบบเวลาจริงด้วยหลักการการมองภาพสองตา โดยกระบวนการวิธีการสร้างภาพแสดงค่าความลึกและทำงานร่วมกับการสร้างภาพแสดงการสะสมค่าความลึกในแนวแกน V (V-disparity image) โดยภาพแสดงการสะสมค่าความลึกในแนวแกน V จะทำหน้าที่ในการหาตำแหน่งของสิ่งกีดขวางที่อยู่ในภาพและได้อธิบายถึงการตั้งแกนของหลักการการมองภาพสองตาและการสร้างภาพแสดงการสะสมค่าความลึกในแนวแกน V โดยในงานบทความนี้ได้ทำการทดสอบการทำงานกับสภาพถนนสองลักษณะ คือ ถนนที่มีพื้นผิวที่เรียบและสภาพผิวขรุขระ และได้ทำการแยกแยะยานพาหนะต่างๆที่อยู่ด้านหน้า

ของกล้องและอยู่บนถนนออกมาได้ แต่จะมีข้อผิดพลาดเมื่อถนนมีเส้นแบ่งแยกเลนกลางถนน และไม่ได้ระบุวิธีการค้นหาระยะห่างระหว่างสิ่งกีดขวางและยานพาหนะที่อยู่บนถนน

3. In-Vehicle Obstacle Detection and Characterization By Stereovision [3]

บทความนี้ได้แสดงถึงวิธีการค้นหางสิ่งกีดขวางที่อยู่ด้านหน้ากล้องด้วยกระบวนการหลักการการมองภาพสองตา การสร้างภาพแสดงค่าความลึกและการสร้างภาพแสดงการสะสมค่าความลึกในแนวแกน V ในการค้นหาตำแหน่งของสิ่งกีดขวางที่อยู่บนถนน โดยในงานวิจัยนี้จะทำการเพิ่มเติมในส่วนของการแยกชนิดของสิ่งกีดขวางที่อยู่หน้ายานพาหนะโดยการแยกว่า สิ่งกีดขวางที่อยู่ด้านหน้าเป็นรถบรรทุกหรือรถโดยสารส่วนบุคคลและระบบการทำงานของงานวิจัยนี้จะทำงานในรูปแบบเวลาจริงโดยไม่มีการเพิ่มฮาร์ดแวร์พิเศษช่วยในส่วนของการประมวลผล และในงานวิจัยนี้ไม่ได้มีการค้นหาระยะห่างระหว่างสิ่งกีดขวางและกล้อง

4. A Complete U-V-Disparity Study for Stereovision Based 3D Driving Environment Analysis [4]

บทความนี้ได้แสดงถึงขั้นตอนกระบวนการวิธีในการสร้างภาพแสดงค่าความลึกด้วยหลักการการมองภาพสองตา และกระบวนการค้นหาตำแหน่งของสิ่งกีดขวางในภาพและระนาบของถนนที่อยู่ในภาพ โดยการเพิ่มประสิทธิภาพในการวิเคราะห์ภาพพื้นผิวถนนโดยการใช้วิธีการสร้างภาพแสดงการรสะสมค่าความลึกในแนวแกน U และ V (U-V-Disparity image) โดยขั้นตอนกระบวนการนี้จะเป็นการแบ่งแยกพื้นผิวของวัตถุที่อยู่บนถนนและพื้นผิวของสิ่งกีดขวางออกมา โดยการทำงานจะทำงานอยู่ในรูปแบบเวลาจริงและใช้วิธีการสร้างภาพแสดงค่าความลึกทำงานร่วมกับวิธีการสร้างภาพแสดงการรสะสมค่าความลึกในแนวแกน U และ V

5. Road Scene Analysis By Stereovision : a Robust and Quasi-Dense Approach [5]

บทความนี้ได้แสดงถึงวิธีการค้นหาตำแหน่งของสิ่งกีดขวางที่อยู่บนท้องถนนด้วยหลักการการมองเห็นภาพสองตา และทำงานร่วมกับภาพการสะสมค่าความลึกในแนวแกน V และภาพการสะสมค่าความลึกในแนวแกน U และในงานวิจัยนี้ได้ทำการทดสอบการทำงานในสภาพแวดล้อมที่มีหมอกหนา โดยในการทำงานพบว่าในสภาพแวดล้อมที่มีหมอกหนา ภาพแสดงค่าความลึกที่ได้จะมีสัญญาณรบกวนมาก ทำให้ไม่สามารถทำการแยกยานพาหนะที่อยู่ด้านหน้าออกมาและได้ทำการแก้ปัญหาด้วยการใช้กระบวนการวิธีการจับคู่ค่าความหนาแน่นที่เหมือนกัน (quasi-dense matching algorithm) ช่วยในการแก้ปัญหาของภาพแสดงค่าความลึกที่ไม่สมบูรณ์ และเมื่อทำการแก้ปัญหาได้จะทำการระบุตำแหน่งของสิ่งกีดขวางที่อยู่ในภาพออกมาได้ และบทความนี้ไม่ได้กล่าวถึงกระบวนการตรวจสอบและค้นหาระยะห่างระหว่างสิ่งกีดขวางและยานพาหนะ

6. Robust and Fast Stereovision Based Road Obstacle Detection for Driving Safety Assistance [6]

บทความนี้ได้แสดงถึงวิธีการค้นหาตำแหน่งและระยะห่างของสิ่งกีดขวางที่อยู่ด้านหน้ากล้องด้วยหลักการการมองภาพสองตา และใช้หลักการการสะสมค่าความลึกในแนวแกน V (V-disparity algorithm) ในการค้นหาตำแหน่งและระยะห่างของสิ่งกีดขวางและบทความนี้ได้สร้างสมการที่ใช้สำหรับการคำนวณหาระยะห่างระหว่างวัตถุและกล้อง โดยค่าที่ใช้ในการคำนวณของสมการคือ ค่าความลึกของสิ่งกีดขวางที่ได้จากการสร้างภาพสะสมค่าความลึกในแนวแกน V ค่าระยะห่างระหว่างกล้อง ค่าขนาดของพิกเซลในภาพ และค่ามุมก้มของกล้องที่ทำมุมกับพื้นถนน ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ทำการทดสอบระบบเมื่อทำการเปลี่ยนลักษณะของสิ่งกีดขวางในรูปแบบต่างๆ และทำการทดสอบระบบในสภาพแวดล้อมที่หลากหลาย โดยกระบวนการในการทดสอบ จะทำการทดสอบโดยการหาจุดที่รถจะทำการลดความเร็วและหยุดที่ระยะปลอดภัยที่สุดโดยที่ไม่เกิดการชนกับสิ่งกีดขวางที่อยู่ด้านหน้ารถ ซึ่งจะทำให้เกิดความปลอดภัยต่อการขับขี่มากยิ่งขึ้น

1.3 วัตถุประสงค์

1. เพื่อสร้างระบบตรวจจับสิ่งกีดขวางและตรวจสอบระยะห่างที่อยู่ระหว่างสิ่งกีดขวางและตัวรถ โดยใช้หลักการการมองภาพสองตา
2. เพื่อให้สามารถส่งสัญญาณเตือนภัยให้ผู้ขับขี่ทราบว่ามีสิ่งกีดขวางอยู่ด้านหน้ารถ ในระยะที่กำหนด

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

1. นำระบบการตรวจจับสิ่งกีดขวางด้วยหลักการการมองภาพสองตา มาใช้ในการตรวจจับสิ่งกีดขวางและคำนวณระยะห่างระหว่างสิ่งกีดขวางและตัวรถ
2. ระบบสามารถทำงานได้ในสภาพแสงกลางวันและสภาพอากาศปลอดโปร่ง
3. สามารถส่งสัญญาณเตือนภัยแก่ผู้ขับขี่เมื่อมีวัตถุหรือสิ่งกีดขวาง ขวางอยู่ด้านหน้าของรถในระยะที่กำหนด

1.5 ขั้นตอนและวิธีการวิจัย

1. ศึกษาทำความเข้าใจเกี่ยวกับ การประมวลผลภาพ (Image Processing) และบทความที่เกี่ยวข้อง
2. ศึกษาทำความเข้าใจเกี่ยวกับการประมวลผลภาพขั้นต้น,การตรวจจับและหาตำแหน่งวัตถุ
3. ออกแบบและสร้างโปรแกรมที่ใช้ในการตรวจจับสิ่งกีดขวางที่อยู่หน้ารถและอยู่บนถนน
4. สร้างสมการการประมาณค่าระยะทาง
5. ทดสอบหาระยะห่างระหว่างกล้องของกล้องสเตอริโอที่เหมาะสมกับระบบ
6. ทดสอบระบบเมื่อทำการเปลี่ยนรูปร่างลักษณะของสิ่งกีดขวางและสภาพแวดล้อมที่ใช้ในการทดสอบ
7. ปรับปรุงและหาค่าความผิดพลาดของระบบที่ทำการออกแบบ
8. รวบรวมผลการทดสอบ สรุปผล จัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้รับความรู้และวิธีการที่ใช้ในการตรวจสอบสิ่งกีดขวางและค้นหาระยะห่างระหว่างสิ่งกีดขวางและตัวรถโดยใช้ระบบการตรวจจับภาพโดยใช้กล้องสเตอริโอหรือหลักการการมองภาพสองตา
2. สามารถนำระบบไปเป็นส่วนหนึ่งของรถยนต์เพื่อช่วยเพิ่มความปลอดภัยในการขับขี่ให้มากยิ่งขึ้น โดยจะทำการส่งสัญญาณเตือนเมื่อมีสิ่งกีดขวางอยู่ข้างหน้ารถ ในระยะที่กำหนด

1.7 ทรัพยากรที่ใช้ในระบบ

1. คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล (Personal Computer) ที่ใช้ในการทำงานวิจัยนี้เป็นคอมพิวเตอร์ที่มีหน่วยประมวลกลาง Intel Core 2 Duo ความถี่สัญญาณนาฬิกา 1.86 GHz และหน่วยความจำ RAM ขนาด 2 GB

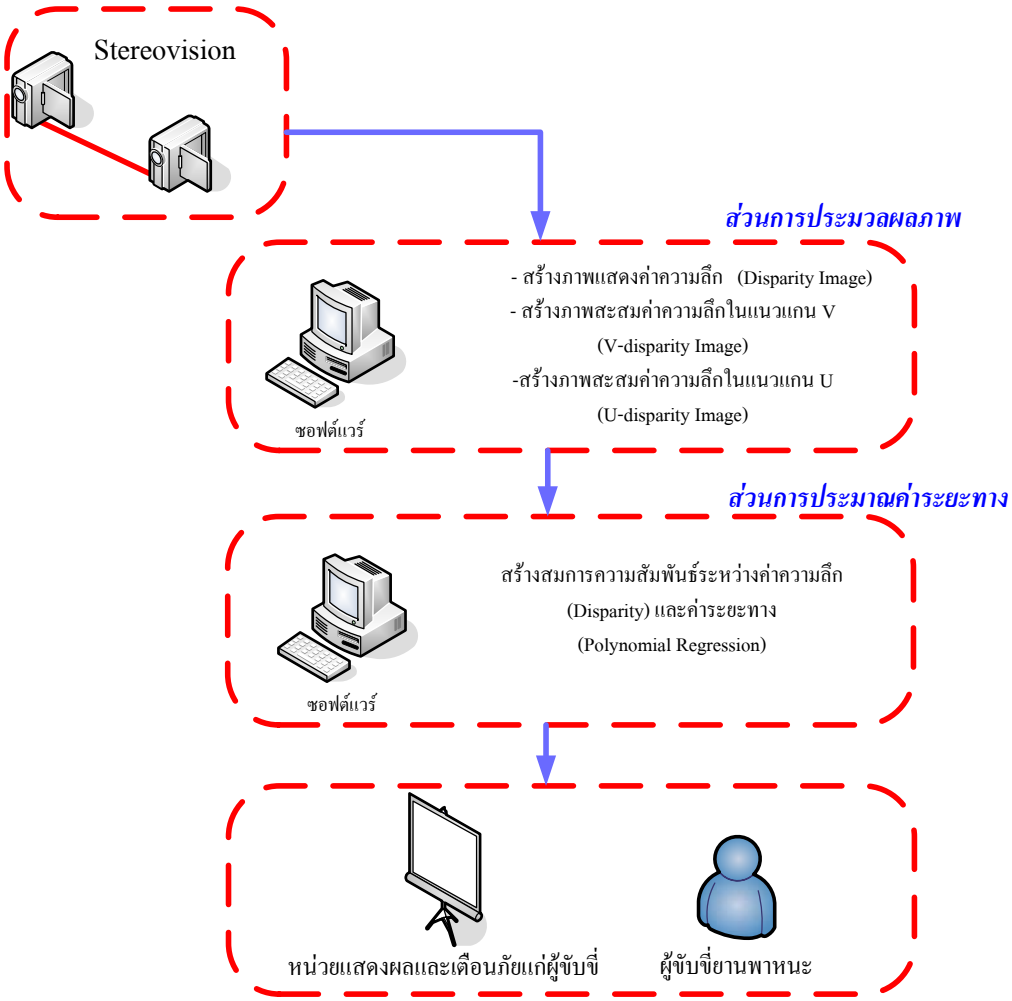
2. โปรแกรม Microsoft Visual C++ 6.0 และคลังโปรแกรม OpenCV สำหรับใช้ในการออกแบบโปรแกรมในการทดสอบ

3. กล้องวีดีโอ Sony Handycam รุ่น DCR-HC46 ความละเอียดเมื่อทำการถ่ายภาพ 1152x864 พิกเซล, ความเร็วในการบันทึกภาพ 25 frames/second และความละเอียดเมื่อทำการถ่ายวีดีโอ 352x284 พิกเซล จำนวน 2 ตัว

ภาพประกอบ 1-1 กล้องวีดีโอ Sony Handycam รุ่น DCR-HC46

1.8 ภาพรวมของระบบ

ภาพรวมของระบบที่ใช้ในการทำวิทยานิพนธ์นี้ สามารถอธิบายการทำงานได้ดังนี้ ระบบจะทำการรับภาพจากกล้องสเตอริโอแล้วส่งข้อมูลภาพไปยังระบบตรวจจับและหาตำแหน่งของสิ่งกีดขวางเพื่อทำการประมวลผล จากนั้นนำข้อมูลที่ได้ไปทำการสร้างสมการความสัมพันธ์ระหว่างพิกเซลและค่าระยะทาง จากนั้นทำการทดสอบระบบในสภาพแวดล้อมต่างๆเพื่อตรวจสอบหาค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้น กระบวนการโดยรวมแสดงได้ดังภาพประกอบ 1-2



ภาพประกอบ 1-2 ภาพรวมของระบบ

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

2.1 การประมวลผลภาพ

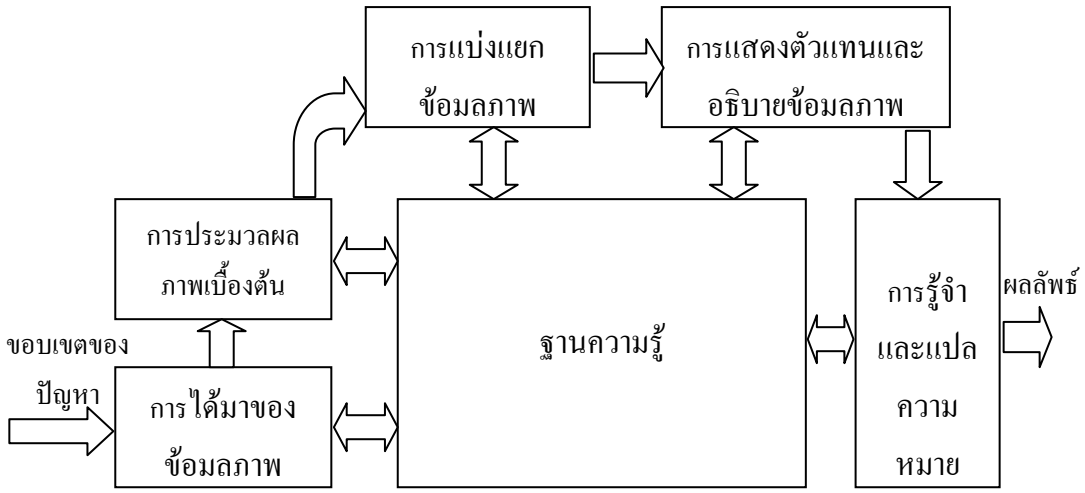
การประมวลผลภาพเป็นการนำภาพเข้าสู่การแปลงข้อมูลภาพให้อยู่ในรูปแบบข้อมูลดิจิตอลเป็นตัวเลขที่สามารถนำข้อมูลนี้ผ่านกระบวนการต่างๆ ด้วยเทคนิควิธีการประมวลผลภาพ ซึ่งมีเครื่องคอมพิวเตอร์ดำเนินการประมวลผลและตัดสินใจ การวิเคราะห์ข้อมูลภาพที่นำเข้ามานั้นจะอาศัยหลักวิธีการอธิบายหรือจดจำข้อมูลภาพ ซึ่งข้อมูลรับเข้าของระบบจะเป็นข้อมูลภาพดิจิตอลที่ได้จากอุปกรณ์นำเข้าสัญญาณภาพดิจิตอลต่างๆ เช่น กล้องถ่ายภาพดิจิตอล กล้องวีดีทัศน์ กล้องเว็บแคม เป็นต้น และข้อมูลผลลัพธ์แสดงด้วยเครื่องหมายที่ใช้แทนข้อมูลภาพดิจิตอลเท่านั้น ในการวิเคราะห์ภาพด้วยวิธีการประมวลผลภาพจะเลียนแบบหลักการมองเห็นของมนุษย์ นั่นคือกระบวนการทางด้านคอมพิวเตอร์วิทัศน์ (Computer Vision)

2.2 กระบวนการทางด้านการประมวลผลภาพด้วยคอมพิวเตอร์

การประมวลผลภาพด้วยคอมพิวเตอร์หรือที่นิยมเรียกกันว่า การประมวลผลภาพดิจิตอล (Digital Image Processing) เป็นกระบวนการที่มีเทคนิควิธีในการประมวลผลข้อมูลตัวเลขของภาพที่มีหลากหลายวิธี ซึ่งสามารถเลือกไปประยุกต์ใช้งานให้เหมาะสมกับข้อมูลภาพที่นำเข้ามาประมวลผล โดยปกติแล้วข้อมูลภาพจะมีลักษณะเด่นทางด้านรูปร่าง พื้นผิว สีสัน และโครงสร้างต่างๆ ที่แตกต่างกันไปขึ้นอยู่วัตถุและสภาพแวดล้อมโดยรอบของวัตถุ

2.2.1 ขั้นตอนพื้นฐานของการประมวลผลภาพดิจิตอล

การประมวลผลภาพดิจิตอลเป็นหลักการทำงานร่วมกันของฮาร์ดแวร์ ซอฟต์แวร์ และหลักทฤษฎีการประมวลผลภาพ โดยมีการทำงานตามขั้นตอนอย่างเหมาะสมและเป็นไปตามเทคนิคทางด้านการประมวลผลภาพ ดังภาพประกอบ 2-1



ภาพประกอบ 2-1 ขั้นตอนพื้นฐานของการประมวลผลภาพดิจิตอล ผิดพลาด! ไม่พบแหล่งการอ้างอิง

2.2.1.1 การได้มาของข้อมูลภาพ (Image Acquisition) เป็นการนำข้อมูลภาพเข้าสู่คอมพิวเตอร์ โดยอาศัยตัวรับรู้สัญญาณภาพและสามารถแปลงให้เป็นสัญญาณระบบดิจิตอลด้วยตัวรับรู้ เช่น กล้องถ่ายภาพดิจิตอล กล้องวิดีทัศน์ กล้องเว็บแคม เครื่องสแกน หรืออุปกรณ์รับสัญญาณภาพอื่นๆ ที่เหมาะสมกับระบบงานแต่ละระบบ แต่อย่างไรก็ตามรูปแบบของข้อมูลจะถูกจัดเก็บให้อยู่ในลักษณะของภาพ 2 มิติ ที่มีความสว่างของภาพหรือความคมชัดแตกต่างกันของแต่ละจุดภาพในตำแหน่งต่างๆ

2.2.1.2 การประมวลผลภาพเบื้องต้น (Image Preprocessing) เป็นเทคนิควิธีของการปรับปรุงคุณภาพของข้อมูลภาพดิจิตอลที่ได้จากขั้นตอนการนำเข้าภาพ เพื่อให้ข้อมูลภาพมีความถูกต้องสมบูรณ์ตามความเป็นจริงก่อนนำไปประมวลผล โดยปกติแล้วการปรับปรุงคุณภาพของข้อมูลภาพดิจิตอลมีหลากหลายเทคนิค เช่น การปรับความคมชัด, การปรับความสว่าง, การกำจัดสัญญาณรบกวน, การหมุนและการกรองช่วงความถี่ของภาพ เป็นต้น

2.2.1.3 การแบ่งแยกข้อมูลภาพ (Image Segmentation) เป็นวิธีการที่จะทำให้สามารถแบ่งแยกข้อมูลภาพออกเป็นส่วนๆ หรือวัตถุ เพื่อทำให้ได้ข้อมูลที่ต้องการออกจากพื้นหลัง โดยทั่วไปผลลัพธ์ของการแบ่งแยกข้อมูลภาพจะได้เป็นข้อมูลดิบของจุดภาพที่ประกอบด้วยขอบภาพของแต่ละบริเวณหรือจุดภาพภายในบริเวณนั้น ในแต่ละกรณีจะต้องทำการแปลงข้อมูลให้มีรูปแบบที่เหมาะสมสำหรับการประมวลผลที่บังคับไว้ จะทำให้การตัดสินใจข้อมูลมีการแสดงตัวแทนของขอบภาพหรือบริเวณนั้นๆ อย่างสมบูรณ์

2.2.1.4 การแสดงตัวแทนและอธิบายข้อมูล (Representation and Description) สำหรับการแสดงภาพหลังจากการแบ่งแยกข้อมูลภาพแล้ว เพื่อให้เห็นถึงลักษณะเด่นและอธิบายข้อมูลภาพของบริเวณต่างๆ ของภาพนำเข้า การเลือกตัวแทนสำหรับแสดงข้อมูลเป็นส่วนเดียวของการแก้ปัญหาสำหรับการแปลงข้อมูลดิบเป็นรูปแบบที่เหมาะสมสำหรับการประมวลผลของคอมพิวเตอร์ วิธีการที่จะอธิบายลักษณะเด่นของข้อมูลที่สนใจถือเป็นสิ่งสำคัญ ซึ่งเรียกว่า การเลือกลักษณะเด่น (Feature Extraction) ผลลัพธ์ที่ได้จากการแยกลักษณะเด่นหรือความแตกต่างของข้อมูลที่สนใจออกจากข้อมูลอื่นๆ ก็คือ กลุ่มของวัตถุ (Class of Object) ที่ต้องการนั่นเอง

2.2.1.5 การรู้จำและการแปลความหมาย (Recognition and Interpretation) เป็นขั้นตอนสุดท้ายของการประมวลผลภาพดิจิตอลหลังจากขั้นตอนการแสดงตัวแทนและอธิบายข้อมูล ก็คือ การรู้จำภาพ (Image Recognition) ซึ่งเป็นแขนงหนึ่งของการรู้จำแบบรูป (Pattern Recognition) โดยการรู้จำภาพจะต้องรู้จำแบบรูปของแต่ละภาพเป้าหมายเพื่อการให้คำตอบว่าแบบรูปของภาพนำเข้ามีความคล้ายกับแบบรูปของภาพอ้างอิงภาพใดมากที่สุด และการแปลความหมายนำไปสู่การกำหนดความหมายของชุดข้อมูลรู้จำวัตถุ การได้มาของแบบรูปอ้างอิงนั้นสามารถทำได้หลายวิธี เช่น แบบรูปอ้างอิงอาจอยู่ในรูปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ซึ่งจะต้องมีวิธีเฉพาะในการเปรียบเทียบ การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สามารถทำได้จากขั้นตอนการฝึกฝน (Training Phrase) ซึ่งโดยทั่วไปแล้วจะต้องมีตัวอย่างภาพที่มีลักษณะเดียวกันหลายๆภาพ จากนั้นจะทำการคำนวณหาค่าลักษณะเด่นของแต่ละภาพ ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้ก็คือ แบบรูปของภาพเหล่านั้นนั่นเอง แบบจำลองของภาพในแต่ละกลุ่มสามารถคำนวณได้จากค่าสถิติต่างๆ ของแบบรูปของภาพในกลุ่มเดียวกัน บางครั้งอาจจะอยู่ในรูปของฐานความรู้ (Knowledge Base) หากมีกลุ่มข้อมูลเป็นจำนวนมากก็เก็บไว้เป็นฐานความรู้ในรูปแบบของฐานข้อมูลความรู้ (Knowledge Database)

2.2.2 เทคนิคการประมวลผลภาพเบื้องต้น (Image Preprocessing Technique)

ขั้นตอนการประมวลผลภาพเบื้องต้นเป็นการปรับปรุงภาพให้มีคุณสมบัติที่เหมาะสมสำหรับนำไปสู่กระบวนการประมวลผลภาพต่อไป เทคนิควิธีการประมวลผลภาพที่นำมาประยุกต์ใช้ในงานวิจัยนี้มีหลายเทคนิคด้วยกัน

2.2.2.1 การแปลงภาพสีเป็นภาพระดับสีเทา (Gray-Scale Image Transform) เป็นการแปลงค่าข้อมูลภาพสีให้แสดงถึงค่าความสว่างของภาพเพียงอย่างเดียว โดยปราศจากค่าข้อมูลของสีภาพ โดยทั่วไปภาพระดับสีเทาจะประกอบด้วยค่าความสว่างที่แตกต่างกัน 256 ระดับ มีค่าตั้งแต่ 0

ถึง 255 นั่นคือไล่ระดับความสว่างจากมืดไปจนขาว และความสัมพันธ์การแปลงภาพสีเป็นภาพระดับสีเทา ดังสมการที่ (2-1)

$$Gray(x,y) = 0.299R(x,y) + 0.587G(x,y) + 0.114B(x,y) \qquad (2\text{-}1)$$

โดยที่ *Gray(x , y)* คือ ค่าระดับสีเทาที่ได้จากการคำนวณของจุดภาพของสี RGB(x , y)
R(x , y) คือ ค่าสีแดงในภาพระบบสี RGB
G(x , y) คือ ค่าสีเขียวในภาพระบบสี RGB
B(x , y) คือ ค่าสีน้ำเงินในภาพระบบสี RGB
x , y คือ ตำแหน่งของจุดภาพ

2.2.2.2 ตัวกรองทำให้เรียบ (Smoothing Filters) เป็นตัวกรองที่ใช้สำหรับลดภาพที่มีพื้นผิวขรุขระให้มีความเรียบขึ้นและลดสัญญาณรบกวนที่เป็นจุดเล็กๆ ข้อมูลภาพที่ผ่านตัวกรองจะมีลักษณะมัวไม่ชัด โดยในงานวิจัยนี้ใช้การกรองด้วยเกาส์เซียน (Gaussian Filtering) ผิดพลาด! ไม่พบแหล่งการอ้างอิง เป็นตัวกรองทำให้เรียบ

- **การกรองด้วยเกาส์เซียน** เป็นการกรองที่กระทำกับข้อมูลภาพขนาด 2 มิติ เพื่อการกำจัดสัญญาณรบกวนความถี่สูงและภาพผลลัพธ์จะมีลักษณะมัวไม่ชัด จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับขนาดหน้าต่าง (Kernel) ที่นำมาทำการคอนโวลูชัน (Convolution) กับภาพนำเข้า เช่น ขนาดหน้าต่าง 3x3, 5x5, 7x7 และ 9x9 เป็นต้น กระบวนการกรองข้อมูลด้วยวิธีนี้อาศัยหลักการฟังก์ชันเกาส์เซียนค่าเฉลี่ยเลขคณิตเป็นศูนย์ (Zero-Mean Gaussian Function) ดังสมการที่ (2-2)

$$g(x,y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}} \qquad (2\text{-}2)$$

โดยที่ *g(x , y)* คือ ภาพผลลัพธ์ของการกรองด้วยเกาส์เซียน
σ คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานหรือช่วงกว้างของเกาส์เซียน

คุณสมบัติการกรองทำให้เรียบด้วยเกาส์เซียนเป็นการกรองความถี่ต่ำที่มีประสิทธิภาพทั้งในด้านเชิงพื้นที่ ขอบเขตความถี่ และการกรองที่มีความสมมาตรแบบหมุนหรือทุกทิศทางเหมือนกันจะไม่ทำการตรวจจับขอบด้านใดด้านหนึ่งมากเป็นพิเศษ

2.2.3 เทคนิคการแบ่งแยกข้อมูลภาพ (Image Segmentation Technique)

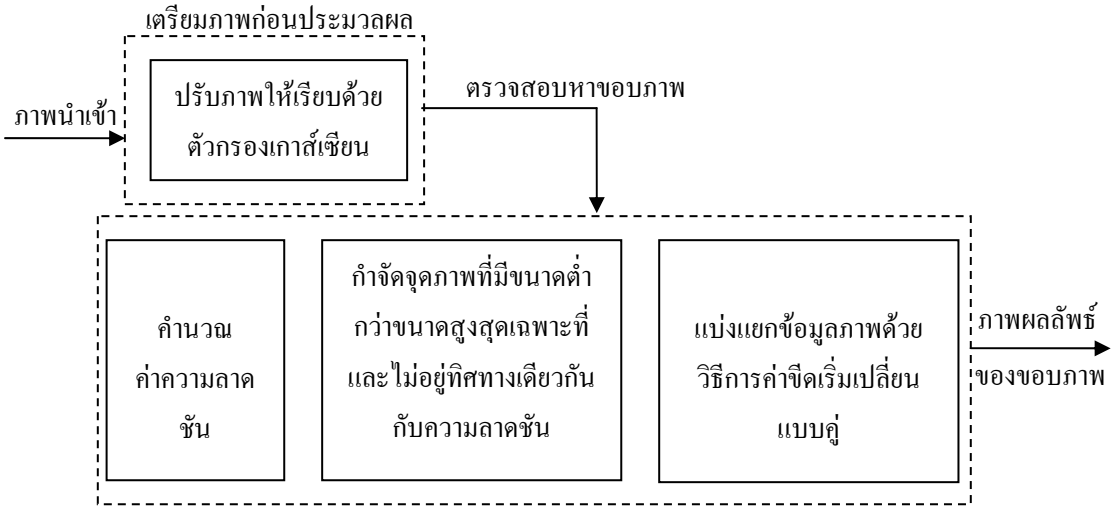
เป็นขั้นตอนการแบ่งแยกข้อมูลภาพตามขั้นตอนการประมวลภาพ เป้าหมายของการทำการแบ่งแยกข้อมูลภาพ คือ การรวมกลุ่มจุดภาพที่มีลักษณะเด่นที่คล้ายกันเข้าอยู่ด้วยกันจากจุดอ้างอิง เพื่อตอบสนองความต้องการที่จะตรวจหาวัตถุที่สนใจ บางครั้งจุดภาพมีความแตกต่างกันน้อยมากอาจจะมีความยากต่อการจำแนกวัตถุให้ถูกต้องได้ ดังนั้นจึงต้องมาพิจารณาเลือกหาวิธีการหรือขั้นตอนวิธีการสำหรับการแบ่งแยกข้อมูลภาพให้เหมาะสมตามความต้องการ โดยสามารถแบ่งเป็น 3 หลักการ ดังนี้

2.2.3.1 Region Oriented Image Segmentation เป็นวิธีการแยกองค์ประกอบของภาพโดยดูจากตำแหน่งของจุดภาพและความเหมือนกันของคุณสมบัติของจุดภาพภายในพื้นที่ โดยถ้าจุดภาพที่อยู่ติดกันและมีคุณสมบัติเหมือนกันจะถูกจัดให้เข้ากลุ่มเดียวกัน ข้อดีของการทำเช่นนี้คือจะได้พื้นที่ต่อเนื่องกัน Region Oriented Image Segmentation แบ่งเป็น 2 วิธีใหญ่ๆ คือ Region Growing และ Region Splitting and Merging โดยวิธีแรกเป็นการนำจุดภาพที่อยู่ติดกันและมีคุณสมบัติเหมือนกันเพื่อมารวบรวมเป็นพื้นที่เดียวกัน โดยใช้การขยายตัวของพื้นที่ ส่วนวิธีที่2 เป็นการแบ่งภาพออกเป็นพื้นที่ย่อย โดยใช้พื้นที่ย่อยแต่ละพื้นที่มีความเข้มแสงเดียวกัน จากนั้นจึงทำการรวมพื้นที่ย่อยที่มีความเข้มแสงเหมือนกันเข้าด้วยกันเป็นพื้นที่ใหญ่

2.2.3.2 Pixel Oriented Image Segmentation เป็นวิธีการแยกองค์ประกอบของภาพโดยพิจารณาจากความเหมือนกันของคุณสมบัติของจุดภาพภายในพื้นที่เพียงอย่างเดียว คือ สี, ความเข้มแสง, ค่าทางสถิติของจุดภาพ เช่น สีเหมือนกัน จะถูกจัดให้อยู่ภายในกลุ่มเดียวกันผลลัพธ์จะเป็นพื้นที่ งานวิจัยนี้จะใช้วิธีการหาค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของจุดภาพรวมถึงค่าขีดเริ่มเปลี่ยน (Threshold) ซึ่งมีหลักการที่อาศัยค่าทางสถิติของจุดภาพสังเกตจากค่าฮีสโทแกรม (Histogram) ของจุดภาพทั้งหมดของภาพ แล้วเลือกค่าที่เหมาะสมเป็นค่าขีดเริ่มเปลี่ยน ในการพิจารณาความเหมือนกันของคุณสมบัติของจุดภาพ

2.4.3.3 Edge Oriented Image Segmentation เป็นวิธีการแยกองค์ประกอบของภาพโดยอาศัยความไม่ต่อเนื่อง (Discontinuity) ของคุณสมบัติของจุดภาพบริเวณรอยต่อระหว่างวัตถุกับฉากหลัง วิธีการนี้มุ่งที่ขอบของวัตถุเป็นหลัก ผลลัพธ์ที่ได้จากวิธีการนี้จะอยู่ในรูปเส้นขอบเขตระหว่างพื้นที่ต่างๆ เพื่อช่วยอธิบายถึงรูปร่าง ลักษณะ ขนาด และอื่นๆของภาพ การตรวจหาขอบภาพมีหลายเทคนิควิธีด้วยกัน เช่น เทคนิคของโซเบล-ลาปลาเซียน (Sobel-Laplacian) เป็นต้น ในงานวิจัยนี้เลือกใช้เทคนิควิธีของแคนนี่ (Canny Edge Detection) เนื่องจากเทคนิควิธีของแคนนี่จะให้ผลลัพธ์

ที่มีเส้นขอบขนาด 1 จุดภาพ มีขั้นตอนดังภาพประกอบ 2-2 เริ่มจากการปรับปรุงภาพให้เรียบโดยการกรองด้วยเกาส์เซียนดังที่กล่าวมาแล้วในหัวข้อที่ 2.2.2.2 เพื่อกำจัดสัญญาณรบกวนที่มีความถี่สูง หลังจากนั้นหาความลาดชัน (Gradient) ในรูปแบบของอนุพันธ์อันดับหนึ่งสมการที่ (2-3)



ภาพประกอบ 2-2 ขั้นตอนการหาขอบภาพด้วยเทคนิควิธีของแคนนี่

$$\nabla f = \begin{bmatrix} G_x \\ G_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial}{\partial x} f(x, y) \\ \frac{\partial}{\partial y} f(x, y) \end{bmatrix} \tag{2-3}$$

และคำนวณค่าขนาดของความลาดชัน (Magnitude) ดังสมการที่ (2-4)

$$|G| = \sqrt{G_x^2 + G_y^2} \tag{2-4}$$

และทิศทางของความลาดชัน (Orientation) ดังสมการที่ (2-5)

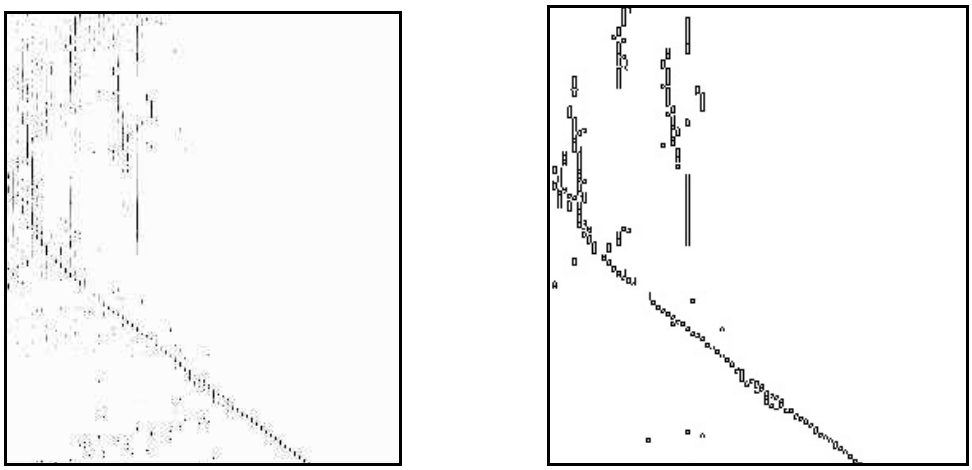
$$\theta = \tan^{-1} \frac{G_y}{G_x} \tag{2-5}$$

ขั้นตอนต่อไปจะทำการหาขอบภาพสำหรับวิธีของแคนนี่จุดภาพที่ถือเป็นเส้นขอบได้นั้นต้องเป็นจุดภาพที่ให้ขนาดสูงสุดเฉพาะที่และเป็นทิศทางเดียวกับค่าความลาดชัน โดยวิธีการกำจัดจุดภาพทุกจุดภาพที่มีขนาดต่ำกว่าขนาดสูงสุดเฉพาะที่และไม่อยู่ในทิศทางเดียวกับความลาดชัน (Nonmaxima Suppression) เป็นวิธีที่ให้ได้ขอบภาพเพียง 1 จุดภาพและในขั้นตอนสุดท้ายนำ

กระบวนการคิดกำหนดค่าขีดเริ่มเปลี่ยนแบบคู่ (Double Thresholding Algorithm) คือ กำหนดค่าขีดเริ่มเปลี่ยนต่ำสุดและสูงสุดดังสมการที่ (2-6)

$$g(x,y)=\begin{cases}1 & if\ T_1 < f(x,y) \le T_2 \\ 0 & other\end{cases} \tag{2-6}$$

ลักษณะขอบภาพที่ตรวจหาด้วยวิธีแคนนี่แสดงดังภาพประกอบที่ 2-3



(ก) (ข)

ภาพประกอบ 2-3 แสดงตัวอย่างการตรวจหาขอบภาพด้วยเทคนิควิธีของแคนนี่

(ก) ภาพนำเข้า

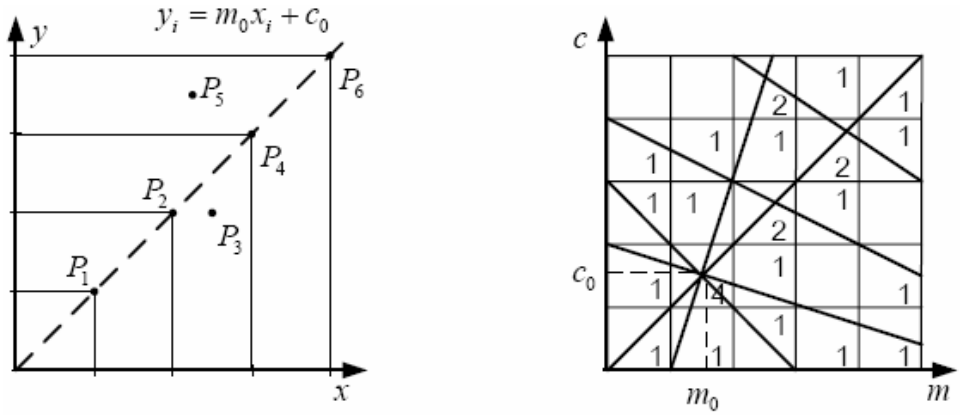
(ข) ภาพหลังหาขอบด้วยวิธีของแคนนี่

2.2.4 เทคนิคการแสดงตัวแทนข้อมูลภาพ (Image Representation Technique)

เป็นเทคนิคที่ใช้สำหรับการหารูปร่างที่แตกต่างในภาพ โดยหลังจากแยกข้อมูลภาพออกเป็นส่วนๆแล้วจะทำให้ได้ข้อมูลภาพเฉพาะส่วนที่ต้องการมากขึ้น หรือแยกวัตถุในภาพออกจากพื้นหลังได้ชัดเจนมีขอบเขตที่แน่นอน วิธีการแทนข้อมูลด้วยเค้าโครงหรือรูปร่างมีหลายเทคนิควิธีด้วยกัน โดยงานวิจัยนี้เลือกใช้เทคนิควิธีในการแสดงตัวแทนข้อมูลภาพดังนี้

2.2.4.1 เทคนิควิธีการหาเส้นตรงในภาพ

โดยวิธีการของการแปลงฮัฟ (Hough Transform) [10] คือการค้นหาเส้นตรงและวงกลมจากจุดต่างๆ โดยแต่ละจุดจะโหวตว่าจุดนั้นๆอยู่บนเส้นใดบ้าง เมื่อทุกจุดโหวตแล้ว สมการที่ถูกโหวตมากที่สุดจะเป็นเส้นที่ผ่านจุดมากที่สุด เช่น ต้องการหาสมการเส้นตรงที่ผ่านจุด (x,y) จะมีเส้นตรงมากมายเป็นอนันต์ผ่านจุดดังกล่าว เมื่อพิจารณาเส้นตรง $y_0 = mx_0 + c$ เส้นตรงที่ผ่านจุด (x,y) มีค่าพารามิเตอร์คงที่ (m,c) ซึ่งค่า $c_0 = y - m_0 x$ ดังนั้นจุดหนึ่งๆจะโหวตให้กับสมการเส้นตรงที่มีพารามิเตอร์ต่างกันได้หลายสมการ เมื่อจุดทุกจุดได้โหวตเสร็จเรียบร้อยแล้ว สมการเส้นตรงที่ถูกโหวตมากที่สุด จะเป็นเส้นตรงที่ผ่านจุดที่กำหนดให้มากที่สุด

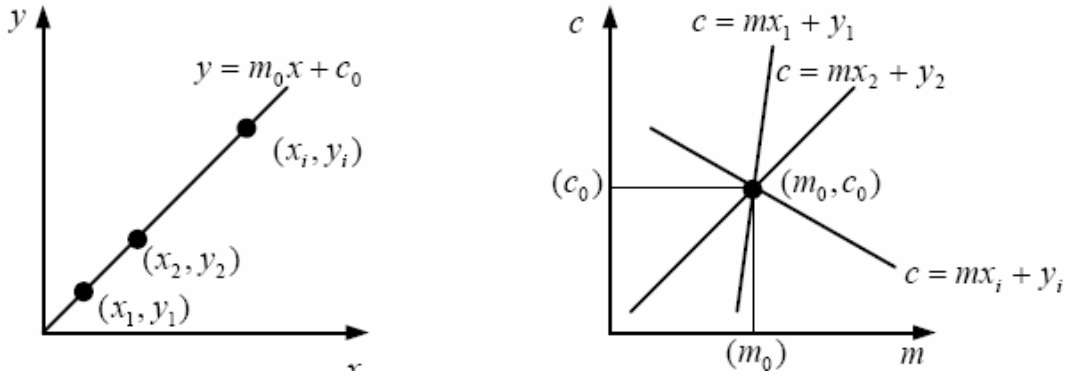


(ก) (ข)

ภาพประกอบ 2-4 การนับจำนวนเส้นตรงของการเปลี่ยนแปลงของการแปลงฮัฟ
(ก) จุดของเส้นตรงในปริภูมิรูปภาพ (Image Space)
(ข) จำนวนเส้นตรงในปริภูมิตัวแปร (Parameter Space)

2.2.4.1.1 การแปลงรูปแบบจากปริภูมิรูปภาพไปสู่ปริภูมิตัวแปร

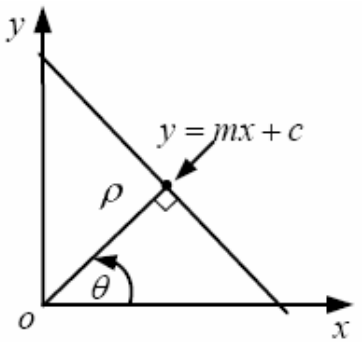
จากสมการของเส้นตรง $y_i = mx_i + c$ เมื่อจุด (x_i, y_i) ดังแสดงในภาพประกอบ 2-5 (ก) ค่าความชันและจุดแกน y ของสมการเป็นค่าคงที่ (m_0, c_0) หรือเรียกว่าส่วนของปริภูมิตัวแปร (Parameter Space) ดังนั้นการเปลี่ยนจากปริภูมิรูปภาพ (Image Space) ไปสู่ปริภูมิตัวแปร สมการของการเปลี่ยนแปลงคือที่จุด (m_0, c_0) จะเท่ากับ $c_i = y - m_i x$ ดังแสดงในภาพประกอบ 2-5 (ข)



(ก) (ข)

ภาพประกอบ 2-5 การแปลงรูปแบบระหว่าง ปริภูมิรูปภาพ กับ ปริภูมิตัวแปร
(ก) ปริภูมิรูปภาพ (ข) ปริภูมิตัวแปร

จากภาพประกอบ 2-5 (ก) มีจำนวนจุดทั้งสามจุดที่เส้นตรงที่มีค่าของความชันและจุดตัดแกน y ที่ตำแหน่ง (m_0, c_0) ดังนั้นเมื่อพิจารณาในรูปแบบของปริภูมิตัวแปรที่จุด (m_0, c_0) ก็จะมีเส้นตรงที่เกิดขึ้นจากสมการเส้นตรงได้ทั้งหมดสามสมการที่ลากผ่านจุดดังกล่าว ดังนั้นเมื่อกำหนดจุด (x,y) บนระนาบของปริภูมิรูปภาพ และทำการเปลี่ยนเป็นระนาบของปริภูมิตัวแปร หรือเรียกว่าปริภูมิฮัฟ ดังแสดงในภาพประกอบ 2-6



ภาพประกอบ 2-6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าของเวกเตอร์ ρ กับจุดของเส้นตรง

ความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนรูปแบบคือที่จุด (ρ,θ) บนปริภูมิตัวแปร จะเป็นจุดที่อยู่บนสมการเส้นตรงที่ลากผ่านจุด (x,y) เมื่อพิจารณาค่าของเวกเตอร์ ρ ที่ตั้งฉากกับจุดดังกล่าวและทำมุมกับแกน x เท่ากับมุม θ ดังนั้นการแปลงรูปแบบจากปริภูมิรูปภาพไปสู่ปริภูมิตัวแปรสามารถหาค่าของเวกเตอร์ ρ ได้จากสมการ (2-7)

$$\rho = x\cos\theta + y\sin\theta \tag{2-7}$$

เมื่อกำหนดให้ ρ คือ ระยะที่วัดจากจุดกำเนิดไปตั้งฉากกับเส้นตรง

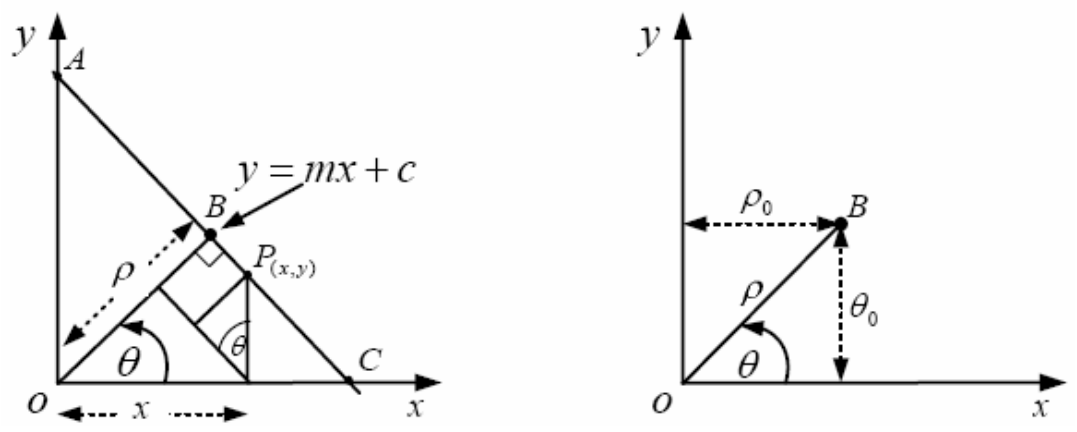
θ คือ ค่าของมุมระหว่างเวกเตอร์ ρ กับแกน x

2.2.4.1.2 การค้นหาเส้นตรงใช้การแปลงฮัฟ ในภาพสองมิติ

หลักการของการแปลงฮัฟเพื่อการค้นหาองค์ประกอบของภาพสองมิติที่มีส่วนเส้นตรงปรากฏในภาพนั้น เป็นการหาเส้นตรงของภาพจากฟังก์ชันของสมการ (2-8)

$$f(x,y,\rho_0,\theta_0) = x\cos\theta_0 + y\sin\theta_0 \tag{2-8}$$

และกำหนดให้จุดของภาพสองมิติมีค่าเท่ากับ (ρ_0,θ_0) เมื่อ ρ_0 ระยะที่วัดจากจุดกำเนิดไปตั้งฉากกับเส้นตรง และจุด θ_0 เป็นค่าของมุมระหว่างเวกเตอร์ ρ กับแกน x ดังแสดงในภาพประกอบ 2-7



(ก) (ข)

ภาพประกอบ 2-7 การหาเส้นตรงของภาพสองมิติโดยใช้การแปลงฮัฟ
(ก) ปริภูมิรูปภาพ (ข) ปริภูมิตัวแปร

วิธีการแปลงฮัฟ คือ จากสมการ (2-7) มีการกำหนดจุด (x_0, y_0) ของปริภูมิรูปภาพ ดังนั้นค่าของ ρ จะเท่ากับสมการ (2-9)

$$\rho = \sqrt{x_0^2 + y_0^2}\left(\frac{x_0}{\sqrt{x_0^2 + y_0^2}}\cos\theta + \frac{y_0}{\sqrt{x_0^2 + y_0^2}}\sin\theta\right) \tag{2-9}$$

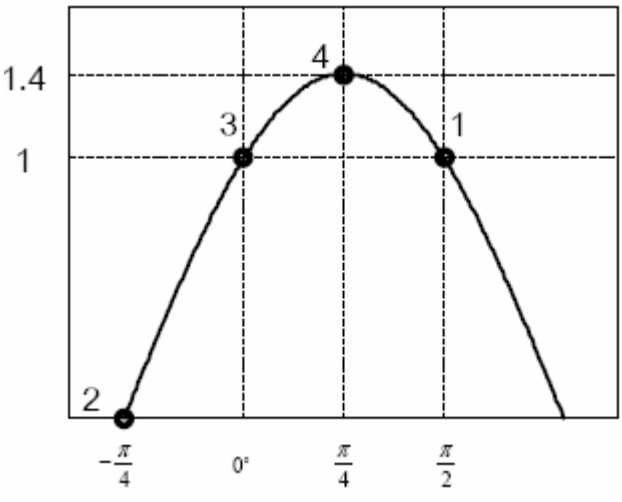
กำหนดให้ $r_0 \cong \sqrt{x_0^2 + y_0^2}$ และ $\alpha_0 \cong \tan^{-1}(\frac{y_0}{x_0})$ และเมื่อแทนค่าของสมการ (2-8) จะได้ค่าของ ρ ตามสมการ (2-10)

$$\rho = r_0(\cos\alpha_0\cos\theta + \sin\alpha_0\sin\theta) = r_0(\cos\alpha_0 - \theta) \tag{2-10}$$

การแปลงรูปแบบของการแปลงฮัฟ พบว่า $\rho = x\cos\theta + y\sin\theta$ ของจุด (x_0, y_0) ในปริภูมิรูปภาพเป็นการแปลงรูปแบบไปสู่เส้นโค้งรูปซายด์ (Simusoidal Curve) ในปริภูมิตัวแปรทิศทางทวนเข็มนาฬิกาและจุด (ρ_0, θ_0) ของรูปเส้นโค้งรูปซายด์นี้ แสดงให้เห็นเส้นตรงที่ลากผ่านจุด (x_0, y_0) ในปริภูมิรูปภาพ เมื่อทดลองแทนค่า θ และ ρ ตามตาราง 2-1 ดังนั้นผลที่ได้จะเป็นการทำการแปลงฮัฟระหว่างค่าของเส้นตรงในปริภูมิรูปภาพ ไปสู่ค่าของจุดในปริภูมิของฮัฟ ดังแสดงในภาพประกอบ 2-8

ตาราง 2-1 ค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าของ θ และ ρ เมื่อแทนค่าในสูตร (2-7)

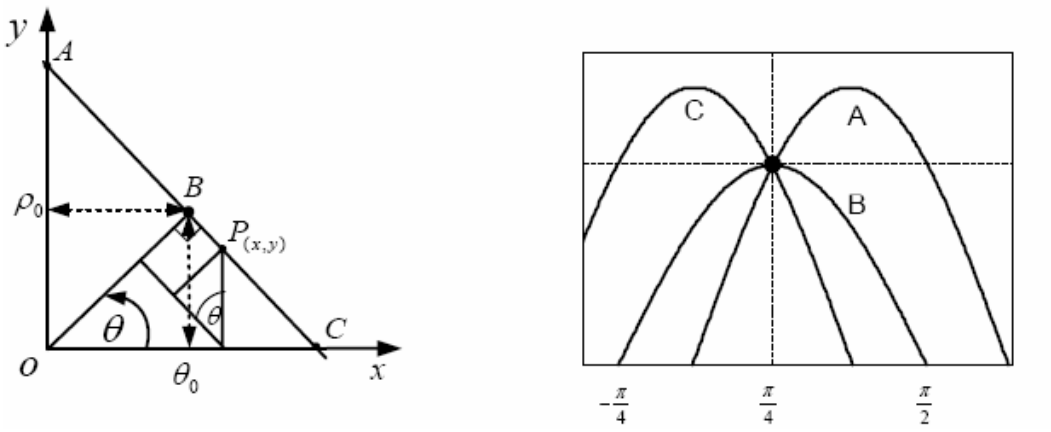
	จุดที่ 1	**จุดที่** 2	**จุดที่** 3	**จุดที่** 4
θ	$\pi/2 = 1.57$	$-\pi/4 = -0.785$	0	$\pi/4 = 0.785$
ρ	1	0	1	1.414



ภาพประกอบ 2-8 ตัวอย่างการแปลงฮัฟ

เมื่อทั้ง 4 จุดมีที่เกิดขึ้นในปริภูมิฮัฟ ค่าของจุด 2 3 4 และ 1 ในภาพประกอบ 2-9 (ข) จะมีค่าตรงกันในแต่ละเส้นของในภาพประกอบ 2-9 (ก) ปริภูมิรูปภาพ ลักษณะของภาพแบบการแปลงบทกลับของการแปลงฮัฟค่าของจุด (ρ_0, θ_0) ในปริภูมิรูปตัวแปรสามารถอธิบายได้ด้วยบทกลับของการแปลงรูปแบบจาก Spatial Domain ไปสู่การแทนค่าของเส้นตรงและอธิบายโดยสมการ (2-11) [10]

$$\rho = x\cos\theta + y\sin\theta - \rho_0 = 0 \qquad (2\text{-}11)$$



(ก) (ข)

ภาพประกอบ 2-9 การแปลงค่าของปริภูมิฮัฟเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงจุดในเส้นตรง
(ก) ปริภูมิรูปภาพ (ข) ปริภูมิฮัฟ

จากภาพประกอบ 2-9 ตัวอย่างของ 3 จุดของตำแหน่ง A(0,2) B(1,1) และ C(2,0) ของทุกจุดบนเส้นตรง จุดดังกล่าวนี้เป็นจุดที่ตรงในปริภูมิฮัฟในความเป็นจริงแล้วจุดเป็นค่าหนึ่งของสมการเส้นตรงเส้นที่สองและสามและมีค่าสอดคล้องกับเส้นโค้งที่ร่วมอยู่ในจุดของค่าเวกเตอร์ ρ เท่ากับ 1.414 และค่าของมุม θ เท่ากับ 0.79 เมื่อนำค่าของ (ρ,θ) แทนค่าในสมการ 2-7 ได้ดังนี้

$$1.414 = x\cos(0.79) + y\sin(0.79) \qquad (2\text{-}12)$$

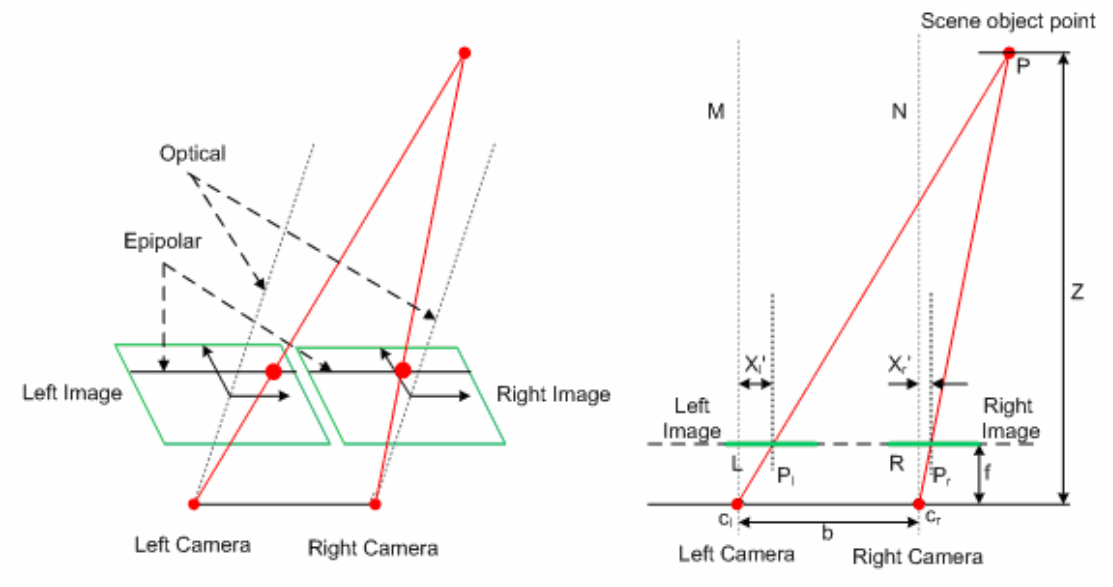
ดังนั้นค่าของ $x + y = 2$

เมื่อเราทำการแปลงฮัฟแล้วจุดที่ $P(x, y)$ ที่ปรากฏอยู่ในภาพจะมีเส้นตรงจำนวนมากมายที่ลากผ่านได้ ดังนั้นวิธีการของการแปลงฮัฟคือการนับค่าว่าจุด $P(x, y)$ ดังกล่าวมีจำนวนเส้นของเส้นตรงลากผ่านจุดนี้จำนวนเท่าไร และถ้าพิจารณาในปริภูมิฮัฟก็จะมองเห็นเป็นจุดที่มีค่าของเส้นโค้งรูปซายด์ตัดผ่าน แสดงว่าจุดนั้นคือจุดเด่นของเส้นตรงที่ผ่านจุด $P(x, y)$ มีค่ามากที่สุด จุดดังกล่าวมีค่าระยะห่างจากจุดกำเนิดมากที่สุดก็ต่อเมื่อเวกเตอร์ ρ ตั้งฉากกับเส้นตรงที่ผ่านจุด $P(x, y)$ ดังกล่าวนั่นเอง

2.3 หลักการของการมองภาพสองตา (Stereovision) [13]

หลักการการมองภาพสองตาเป็นวิธีการจำลองการมองของตาซ้ายและตาขวาของมนุษย์มาเป็นภาพสองภาพ คือ ภาพที่มาจากตาซ้ายและภาพที่มาจากตาขวา เพื่อนำมาคำนวณหาความห่างระหว่างภาพสองภาพหรือค่าความลึกแล้วนำค่าระยะห่างระหว่างพิกเซล ที่ได้มาเป็นค่าในการตัดสินว่า ระยะห่างระหว่างวัตถุและกล้องมีค่าเท่าไร

ลักษณะของการมองภาพสองตา จะมีลักษณะเหมือนกับลักษณะทางเรขาคณิตของกล้องสองตา (Binocular stereo) ดังภาพประกอบที่ 2-10 ซึ่งภาพที่ได้จากการตั้งกล้องในลักษณะนี้พบว่าแบบจำลองพื้นฐานของกล้องจะแยกกันเพียงทิศทางเดียว ในทิศทางแกน X โดยมีระยะห่างเท่ากับ b หรือระยะห่างของกล้อง (baseline) และระนาบของภาพ (Image plane) ของกล้องทั้งสองตัวนั้นอยู่ในระนาบเดียวกัน ดังนั้นจุดที่เราสนใจของภาพจากภายนอกปรากฏลงบนระนาบของกล้องทั้งสองที่ตำแหน่งต่างกัน ซึ่งระยะระหว่างตำแหน่งภาพบนระนาบนั้นเรียกว่าค่าความลึกและระนาบที่ผ่านจุดศูนย์กลางของกล้องทั้งสองและจุดที่เราสนใจนั้นเรียกว่าระนาบอิพิโพลา (Epipolar plane) เส้นที่เกิดขึ้นจากการตัดกันของระนาบภาพกับระนาบอิพิโพลานั้นถูกกำหนดให้เป็นเส้นตรงอิพิโพลา (Epipolar line) ซึ่งจากแบบจำลองของภาพประกอบ 2-10 นั้น แสดงลักษณะจุดของภาพจากระนาบหนึ่งจะอยู่ในแถวเดียวกันกับอีกระนาบหนึ่งหมายความว่าเส้นตรงอิพิโพลาจะอยู่ที่ตำแหน่งแถวเดียวกันของระนาบภาพของกล้องทั้งสอง แต่ในการกำหนดให้เป็นแบบนี้ได้นั้นแสดงว่าต้องกำหนดให้ค่าความลึกในแนวแกนตั้ง (Vertical disparity) นั้นมีค่าเท่ากับศูนย์



(ก) (ข)

ภาพประกอบ 2-10 ลักษณะทางเรขาคณิตของการมองภาพแบบกล้องสองตา
(ก) ระนาบการมองของกล้องซ้ายและกล้องขวา
(ข) ตัวแปรในการหาระยะความลึก

การหาค่าระยะความลึกจากลักษณะทางเรขาคณิตของกล้องสองตาสามารถทำการคำนวณได้จากคุณลักษณะสามเหลี่ยมคล้าย โดยจากภาพประกอบ 2-10 จุด P จะปรากฏเป็นจุด p_l และ p_r บนระนาบภาพด้านซ้าย และระนาบภาพด้านขวาตามลำดับ และกำหนดให้จุดกำเนิดของพิกัดอยู่บนตำแหน่งเดียวกันกับตำแหน่งศูนย์กลางเลนส์ของกล้องด้านซ้าย หากเปรียบเทียบสามเหลี่ยมคล้าย PMC_l และ P_lLC_r จะได้

$$\frac{x}{z} = \frac{x_{l'}}{f} \tag{2-13}$$

ในทำนองเดียวกัน จากสามเหลี่ยมคล้าย PNC_r และ P_lLC_r จะได้

$$\frac{x-b}{z} = \frac{x_{r'}}{f} \tag{2-14}$$

รวมสมการ (2-13) และ (2-14) เข้าด้วยกันจะได้

$$z = \frac{bf}{(x'_l - x'_r)} \tag{2-15}$$

2.3.1 การหาความสัมพันธ์ระหว่างภาพสองภาพ

วิธีการหาความสัมพันธ์ระหว่างภาพสามารถแยกออกเป็น 2 ประเภท คือ การจับคู่จุดที่มีความเข้มแสงเหมือนกัน (intensity-based matching) และการจับคู่จุดที่มีลักษณะเด่นเหมือนกัน (feature-based matching) สำหรับการจับคู่จุดที่มีความเข้มแสงเหมือนกันเป็นการจับคู่โดยตรงระหว่างค่าความเข้มแสง (intensity profiles) ของภาพสองภาพ และการจับคู่จุดที่มีลักษณะเด่นเหมือนกันจะแยกลักษณะเฉพาะออกจากรูปเป็นลำดับแรก และจับคู่ลักษณะเด่นนั้นๆในภาพทั้งสองภาพ

- **การจับคู่จุดที่มีความเข้มแสงเหมือนกัน**

ลักษณะการทำงานของการจับคู่จุดที่มีความเข้มแสงเหมือนกัน คือการนำเส้นคู่แถว (Scanline) ระหว่างภาพสองภาพมาเปรียบเทียบความเข้มกัน หากบริเวณพิกเซลที่นำมาเปรียบเทียบกันมีความเข้มเท่ากันแสดงว่า พิกเซลที่มาจากภาพทั้งสองนั้นเป็นพิกเซลเดียวกัน วิธีการนี้สามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างพิกเซลได้รวดเร็วแต่ภาพที่นำมาหาความสัมพันธ์ทั้งสองภาพต้องมาจากกล้องที่ขนานกันจริง มิฉะนั้นอาจเกิดความผิดพลาดได้ง่าย

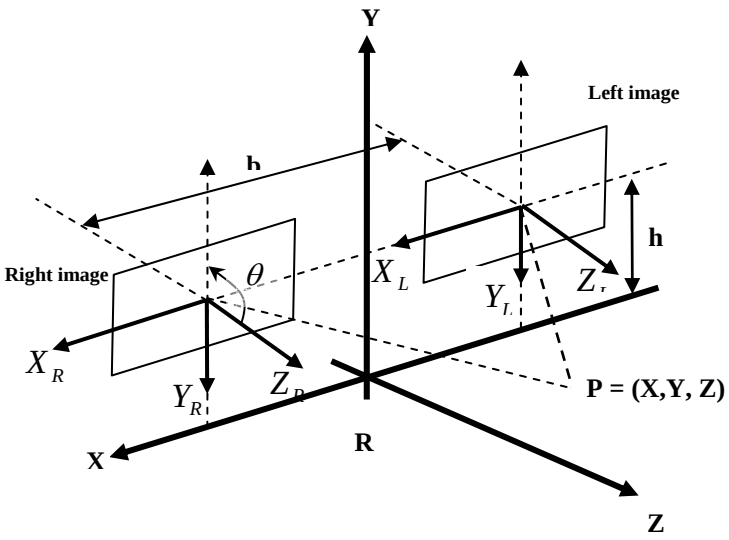
- **การจับคู่จุดที่มีลักษณะเด่นเหมือนกัน**

การจับคู่จุดที่มีลักษณะเด่นเหมือนกันจะแยกลักษณะเด่นของภาพออกมาเป็นอันดับแรก โดยลักษณะเด่นที่มักจะเอามาใช้งานได้แก่ Edge elements, corners, line segments และ curve segments เป็นต้น หลังจากได้ลักษณะที่ต้องการจากภาพสองภาพแล้ว จะเอาลักษณะเหล่านั้นมาเปรียบเทียบกันว่าเหมือนกันหรือไม่ หากเหมือนกันแสดงว่าพิกเซลบริเวณดังกล่าวเป็นพิกเซลเดียวกัน

สำหรับในงานวิจัยนี้จะทำการเลือกใช้ความสัมพันธ์ระหว่างภาพสองภาพในวิธีการจับคู่จุดที่มีความเข้มแสงเหมือนกัน เพราะวิธีการจับคู่จุดที่มีความเข้มแสงเหมือนกัน เป็นการสร้างภาพแสดงค่าความลึกของวัตถุทั้งหมดที่อยู่ในภาพ ซึ่งแตกต่างจากวิธีการจับคู่จุดที่มีลักษณะเด่นเหมือนกัน เพราะวิธีการการจับคู่จุดที่มีลักษณะเด่นเหมือนกัน ต้องทำการระบุจุดสนใจหรือขอบเขตที่สนใจ และจะทำการสร้างภาพแสดงค่าความลึกของวัตถุที่ทำการระบุตำแหน่งเอาไว้เพียงตำแหน่งนั้นเท่านั้น และในงานวิจัยนี้การค้นหาสิ่งกีดขวางที่อยู่ด้านหน้ารถทดสอบนั้น มีตำแหน่งที่

ไม่แน่นอนเมื่อรถมีการเคลื่อนที่ ซึ่งวิธีการจับคู่จุดที่มีความเข้มแสงเหมือนกัน จะมีความเหมาะสมกับงานวิจัยนี้มากกว่าวิธีการจับคู่จุดที่มีลักษณะเด่นเหมือนกัน และในงานวิจัยนี้ได้ทำการเลือกอัลกอริทึมของเอกสารอ้างอิงที่ [1] ซึ่งอัลกอริทึมนี้ได้ทำการเลือกใช้ความสัมพันธ์ระหว่างภาพในแบบการจับคู่จุดที่มีความเข้มแสงเหมือนกัน

2.3.2 การตั้งกล้องด้วยหลักการการมองภาพสองตา



ภาพประกอบ 2-11 ลักษณะการตั้งกล้องสเตอริโอ

การตั้งกล้องเพื่อทำการรับภาพอินพุตนั้นจะทำการกำหนดแกนต่างๆตามภาพประกอบ 2-11 โดยจะเริ่มทำการกำหนดแกนเริ่มต้น $R(X,Y,Z)$ ซึ่งเป็นแกนอ้างอิงตามแนวแกนของพื้นผิวถนน แกน (X_R,Y_R,Z_R) และ (X_L,Y_L,Z_L) เป็นแกนอ้างอิงของกล้องซ้ายและกล้องขวาตามลำดับ และการตั้งกล้องจะทำการตั้งกล้องให้อยู่ในรูปแบบขนานนั้นคือ จะทำการตั้งกล้องให้กล้องซ้ายและกล้องขวาขนานกัน ซึ่งในที่นี้กล้องซ้ายและกล้องขวาจะอยู่ในระนาบแกน X เดียวกัน และในแนวแกน Z_R และ Z_L ของกล้องขวาและกล้องซ้ายซึ่งเป็นแกนในการมองเห็นของกล้อง จะทำการกำหนดให้ขนานกันกับแนวแกน Z ของแกนอ้างอิง ดังภาพประกอบ 2-11 โดยในภาพเส้น Epipolar line ของกล้องทั้งสองจะขนานกัน และอยู่บนแนวแถวเดียวกัน และทำการกำหนด h คือ ค่าความสูงในการตั้งกล้องจากพื้นถนนถึงจุดกึ่งกลางเลนส์ของกล้อง และ b คือ ระยะห่างระหว่างกล้องซ้ายและกล้องขวา และ P คือตำแหน่งจุดบนภาพที่ต้องการ

จากการตั้งกล้องในรูปแบบสเตอริโอนั้น จะกำหนดให้จุด P คือ ระยะห่างจากวัตถุถึงจุดศูนย์กลางภาพซึ่งค่าที่ได้จะเป็นค่าความลึกของภาพแสดงค่าความลึกนั้นเอง

2.3.3 การจับคู่ภาพสเตอริโอ (Stereo matching)

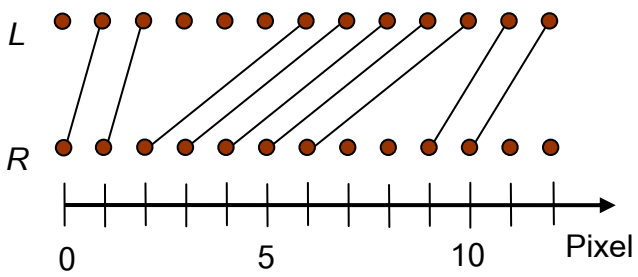
เป็นวิธีการนำภาพจากล้องซ้ายและกล้องขวามาทำการหาจุดที่มีค่าความเข้มแสง (Intensity) ที่เหมือนกันเพื่อสร้างภาพแสดงค่าความลึก โดยในงานวิจัยนี้จะเลือกใช้อัลกอริทึมในการสร้างภาพแสดงค่าความลึกของ Stan Birchfield นั้นก็คือ Depth Discontinuities by Pixel-to-Pixel Stereo (P2P) [1] ซึ่งอัลกอริทึม P2P นี้จะทำงานอยู่บนพื้นฐานของหลักการการจับคู่จุดที่มีความเข้มแสงเหมือนกัน และอัลกอริทึม P2P นี้ยังเป็นอัลกอริทึมที่รู้จักกันอย่างแพร่หลาย และยังเป็นส่วนหนึ่งของฟังก์ชันพื้นฐานในไลบารี OpenCV ดังนั้นจึงง่ายต่อการนำมาพัฒนาในระบบตรวจจับสิ่งกีดขวางต่อไป

2.3.3.1 Depth Discontinuities by Pixel-to-Pixel Stereo (P2P) [1]

Depth Discontinuities by Pixel-to-Pixel Stereo (P2P) เป็นอัลกอริทึมหนึ่งที่สามารถหาภาพแสดงค่าความลึกจากภาพที่ได้จากการตั้งกล้องในรูปแบบการมองภาพสองตา โดยใช้วิธีการจับคู่จุดที่มีความเข้มแสงเหมือนกัน ซึ่งวิธีการนี้เป็นการจับคู่พิกเซลเดียวกันในคู่แถวเดียวกัน โดยใช้ฟังก์ชันต้นทุนที่ใช้สำหรับการหาลำดับของตำแหน่งพิกเซลที่มีค่าความเข้มแสงที่เหมือนกันระหว่างกล้องซ้ายและกล้องขวา (เรียกว่าคู่ลำดับ M) โดยใช้สมการ (2-16)

$$\gamma(M) = N_{occ}\kappa_{occ} - N_M\kappa_r + \sum_{i=1}^{N_M} d(x_i, y_i) \tag{2-16}$$

จากสมการ (2-16) ค่าคงที่ κ_{occ} คือค่าคงที่ Occlusion penalty, κ_r คือค่าคงที่ของ match reward, $d(x_i, y_i)$ คือ ระยะห่างระหว่างพิกเซลในแนวแกน x_i และ y_i และ N_{occ}, N_M คือจำนวนพิกเซลที่ไม่สัมพันธ์กัน (Occlusion pixel) และ จำนวนคู่อันดับที่สัมพันธ์กัน

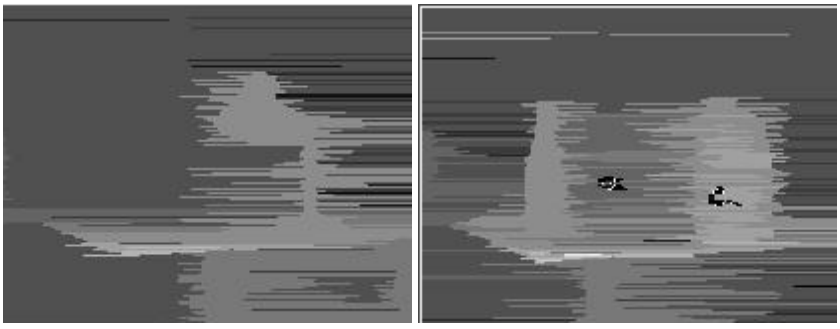


ภาพประกอบ 2-12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างพิกเซลจากกล้องซ้ายและกล้องขวาโดยเป็นการจับคู่ในคู่อันดับ M

ค่าการปรับค่าความไม่สัมพันธ์กัน (Occlusion penalty) คือ การปรับจำนวนพิกเซลที่ไม่สัมพันธ์กันระหว่างกล้องซ้ายและกล้องขวา ภาพประกอบ 2-12 เป็นการแสดงความไม่สัมพันธ์กันของพิกเซลในกล้องซ้ายและกล้องขวา โดยการแก้ปัญหานี้ในอัลกอริทึม P2P จะมีการใส่ค่าของ Match reward เพื่อทดแทนการขาดหายไปของตำแหน่งพิกเซลที่ไม่สัมพันธ์กันในกล้องซ้ายและกล้องขวา ลักษณะการประมวลผลภาพแบบสเตอริโอของอัลกอริทึม P2P เป็นการนำภาพจากกล้องซ้ายและกล้องขวามาทำการประมวลผลโดยจะประมวลผลอยู่บนคู่แถวเดียวกัน โดยแบ่งกระบวนการออกเป็นสองส่วนหลัก คือ ส่วนการจับคู่ความสัมพันธ์ (Matchscanline) และกระบวนการปรับปรุงภาพหลังการประมวลผลภาพ (Postprocess) โดยขั้นตอนการทำงานของอัลกอริทึม P2P มีดังนี้

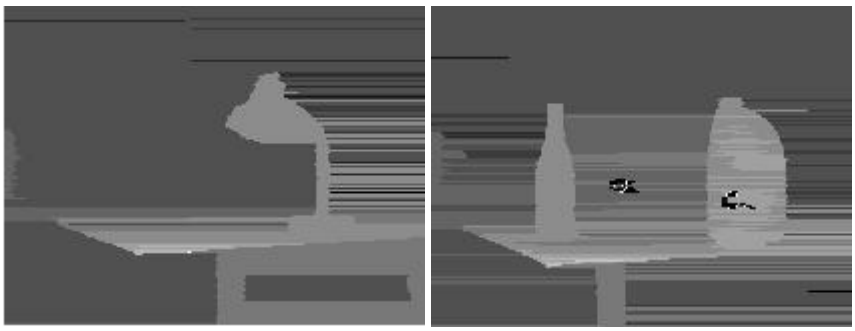
ภาพประกอบ 2-13 ภาพอินพุตในระดับภาพสีเทา

- **ขั้นที่ 1** จะเป็นขั้นตอนในการจับคู่ความสัมพันธ์ของภาพในแต่ละคู่แถว (Matchscanline) ของภาพจากกล้องซ้ายและกล้องขวา โดยการจับคู่ความสัมพันธ์จะทำการจับคู่กันในคู่แถว (scanline) เดียวกันในภาพจากกล้องซ้ายและกล้องขวา และในแต่ละคู่แถวจะทำงานเป็นอิสระต่อกัน ซึ่งการทำงานในส่วนของการจับคู่ความสัมพันธ์จะมีการทำงานในรูปแบบของกำหนดการพลวัต (Dynamic programming) โดยจะใช้ฟังก์ชันต้นทุนในการทำงานในส่วนนี้ โดยตัวฟังก์ชันต้นทุนนี้จะมีหน้าที่ลดการเกิดความไม่สัมพันธ์กันของพิกเซลในภาพ



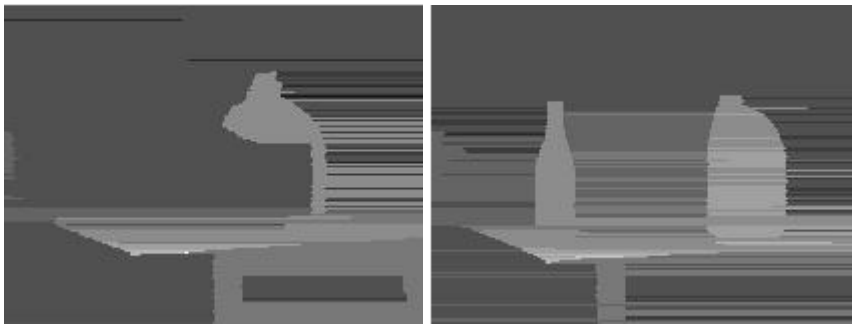
ภาพประกอบ 2-14 ภาพเอาต์พุตเมื่อผ่านกระบวนการในขั้นตอนที่ 1

- **ขั้นที่ 2** ในส่วนของขั้นตอนนี้พื้นหลังของภาพจะถูกตัดออกเหลือเพียงส่วนที่เป็นวัตถุที่ตั้งอยู่ใกล้กับกล้องมากกว่าพื้นผิวด้านหลัง โดยตำแหน่งของวัตถุเหล่านี้ เมื่อมีการสร้างภาพแสดงค่าความลึก ค่าความลึกจะถูกรบกวนจากภาพพื้นหลังบางส่วน เหตุเกิดจากการคำนวณยังไม่สามารถทำการแยกวัตถุที่อยู่ด้านหน้าออกมาได้อย่างชัดเจน วิธีแก้ไขจะทำการสร้างภาพความลึกที่ไม่ต่อเนื่อง (Depth Discontinuities image) ขึ้นเพื่อทำการแยกสิ่งรบกวนที่เกิดขึ้นจากภาพพื้นหลังเหล่านั้น โดยการทำงานจะทำการนำภาพความลึกที่ไม่ต่อเนื่องไปทำการตรวจสอบและเปรียบเทียบการเกิดการเปลี่ยนแปลงของค่าความเข้มแสงในแต่ละพิกเซลที่อยู่ในแต่ละคู่แถวในภาพแสดงค่าความลึกว่ามีการคำนวณที่ถูกต้องหรือไม่ และจะทำให้ภาพแสดงค่าความลึกที่ได้มีสิ่งรบกวนที่น้อยลง



ภาพประกอบ 2-15 ภาพเอาต์พุตเมื่อผ่านกระบวนการในขั้นตอนที่ 2

- **ขั้นที่ 3** จากขั้นตอนที่ 2 แม้ว่าจะทำการตัดสิ่งรบกวนออกแล้ว แต่ภาพแสดงค่าความลึกที่ได้นั้นยังคงมีสิ่งรบกวนแต่เป็นสิ่งรบกวนที่เกิดจากความผิดพลาดจากการจับคู่ความสัมพันธ์กันในขั้นตอนที่ 1โดยจะเรียกความผิดพลาดนี้ว่า การเกิดความไม่สัมพันธ์กันของพิกเซล โดยการแก้ปัญหาจะทำการออกแบบตัวแปรที่ใช้สำหรับการทดแทนการขาดหายไปของพิกเซลในตำแหน่งที่เกิดการไม่สัมพันธ์กันขึ้น ซึ่งตัวแปรที่สร้างขึ้นจะทำงานโดยการเปรียบเทียบค่าความเข้มแสงในแต่ละพิกเซลว่าตรงตำแหน่งไหนที่เกิดการไม่สัมพันธ์ขึ้นหรือตำแหน่งไหนมีการขาดหายไปของพิกเซล เมื่อพบตำแหน่งที่ขาดหายไปแล้วระบบจะทำการทดแทนพิกเซลที่ขาดหายไปเหล่านั้นเพื่อให้ได้ภาพแสดงค่าความลึกที่สมบูรณ์มากยิ่งขึ้น



ภาพประกอบ 2-16 ภาพเอาต์พุตเมื่อผ่านกระบวนการในขั้นตอนที่ 3

- **ขั้นที่ 4** เป็นขั้นตอนในส่วนของกระบวนการการปรังปรุงภาพจะทำงานไปตามแนวคอลัมน์ โดยการทำงานของคอลัมน์แต่ละคอลัมน์ในภาพแสดงค่าความลึกจะทำงานเป็นอิสระต่อกัน ซึ่งจะทำให้มีการทำงานที่เร็วขึ้น ซึ่งแนวคิดในการทำงานจะเริ่มจากการกระจายค่าความลึกที่เป็นไปได้ลงในพื้นที่ที่มีค่าความลึกที่เป็นไปไม่ได้ ซึ่งพื้นที่ที่เป็นไปได้นั้นจะพิจารณาพิกเซลที่อยู่

ล้อมรอบพิกเซลที่ถูกพิจารณาว่ามีค่าความลึกที่สอดคล้องกันหรือไม่ และทำการเปรียบเทียบกับรูปอินพุต จากภาพซ้ายของการรับภาพจากภาพซ้ายและภาพขวา ผลลัพธ์ดังภาพประกอบที่ 2-17

ภาพประกอบ 2-17 ภาพเอาต์พุตเมื่อผ่านกระบวนการในขั้นตอนที่ 4

อย่างไรก็ตามค่าความลึกในภาพประกอบ 2-17 ยังคงไม่ถูกต้องเท่าที่ควร เพราะค่าความลึกที่ได้จะเรียงกันอยู่ตามแนวแกนนอน ทำให้ไม่สามารถจับคู่ความสัมพันธ์เพื่อสร้างภาพแสดงค่าความลึก เพราะเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของค่าความเข้มแสงของภาพในแนวแกนนอน ที่ตำแหน่งที่เกิดการเปลี่ยนแปลงนั้นจะไม่สามารถสร้างภาพแสดงค่าความลึกที่ต่อเนื่องลงไปในตำแหน่งนั้นได้ ซึ่งค่าความลึกที่แทนลงในภาพแสดงค่าความลึกจะเป็นค่าที่ไม่ถูกต้อง วิธีการแก้ไขทำได้โดยการกำหนดขอบเขตที่เป็นไปได้ลงในบริเวณรอบๆ ภาพแสดงค่าความลึกที่มีการเปลี่ยนแปลงของค่าความเข้มแสงและทำการตรวจสอบค่าความลึกของพิกเซลที่อยู่รอบๆ ว่ามีค่าเท่าไร เพื่อนำค่าที่ได้นี้มาเป็นตัวพิจารณาว่าค่าความลึกที่ถูกต้องในตำแหน่งที่เกิดการเปลี่ยนแปลงของค่าความเข้มแสงนั้นมีค่าเท่าไร ทำให้ได้ภาพแสดงค่าความลึกที่ดีขึ้นดังภาพประกอบที่ 2-18

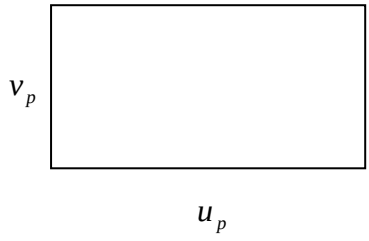
ภาพประกอบ 2-18 ภาพเอาต์พุตสุดท้ายเมื่อผ่านอัลกอริทึม P2P

หลังจากจบขั้นตอนทั้ง 4 ของอัลกอริทึม P2P จะทำให้ได้ผลลัพธ์ที่เป็นภาพแสดงค่าความลึกที่มีสิ่งรบกวนที่ลดน้อยลงและสามารถนำไปใช้ในการค้นหาและคำนวณระยะห่างของสิ่งกีดขวางต่อไป

2.4 ภาพแสดงการสะสมค่าความลึกในแนวแกน U และ V (U-V-disparity image)

ภาพแสดงการสะสมค่าความลึกในแนวแกน U และ V (U-V-disparity image) [2][3][4][5][6] จะเป็นการแสดงค่าความลึกที่เกิดขึ้นในภาพแสดงค่าความลึกเพื่อนำมาทำการวิเคราะห์ในการค้นหาตำแหน่งของสิ่งกีดขวางที่อยู่ในภาพและหาระยะห่างระหว่างสิ่งกีดขวางและยานยนต์ไร้คนขับ โดยภาพแสดงการสะสมค่าความลึกในแนวแกน V จะทำการคำนวณโดยการเก็บรวบรวมจำนวนค่าความลึกในแต่ละแถวที่มีค่าเท่ากันและทำการแสดงจำนวนค่าความลึกที่มีค่าเท่ากันในแต่ละแถวลงในภาพแสดงการสะสมค่าความลึกในแนวแกน V และทำการนำภาพแสดงการสะสมค่าความลึกในแนวแกน V ที่ได้ไปทำการคำนวณหาค่าระยะห่างของสิ่งกีดขวาง และในส่วนของภาพแสดงการสะสมค่าความลึกในแนวแกน U จะทำการคำนวณในส่วนของการเก็บรวบรวมจำนวนค่าความลึกในแต่ละคอลัมน์ที่มีค่าเท่ากันและทำการแสดงจำนวนค่าค่าความลึกที่มีค่าเท่ากันในแต่ละคอลัมน์ลงในภาพแสดงการสะสมค่าความลึกในแนวแกน U และทำการนำภาพแสดงการสะสมค่าความลึกในแนวแกน U ที่ได้ไปทำงานร่วมกับค่าที่ได้จากภาพแสดงการสะสมค่าความลึกในแนวแกน V และทำการระบุตำแหน่งของสิ่งกีดขวางที่อยู่ในภาพออกมา

การสร้างภาพแสดงการสะสมค่าความลึกในแนวแกน V และ U เริ่มต้นจากการสร้างระนาบของภาพแสดงการสะสมค่าความลึกในแนวแกน U และ V (U-V-disparity plane) โดยขั้นตอนการสร้างจะเริ่มจากการกำหนดให้จุด P ในภาพประกอบ 2-19 เป็นจุดของระนาบในแนวแกนจริง R โดยจะทำให้ได้จุดบนระนาบ R คือจุด $P(X_p, Y_p, Z_p)$ ดังนั้นจะทำการกำหนดระนาบของกล้องทั้ง 2 ขึ้นคือ (u_{rp}, v_{rp}) ซึ่งเป็นของกล้องขวา และ (u_{lp}, v_{lp}) เป็นของกล้องซ้าย และทำการกำหนดระนาบการมองเห็นของสายตา คือ (u_p, v_p) หรือระนาบของภาพแสดงค่าความลึก

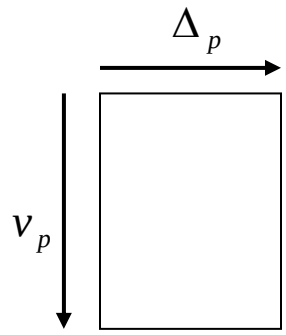


ภาพประกอบ 2-19 แสดงระนาบของภาพที่เกิดจากจุด P ลงบนระนาบที่ภาพกล้องซ้ายและกล้องขวา

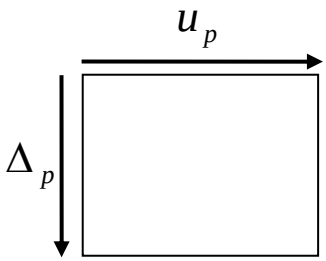
จากการตั้งกล้องในรูปแบบขนานในภาพประกอบ 2-19 จะพบว่า ค่า v ของระนาบบนกล้องซ้ายและกล้องขวา จะมีค่าเท่ากันเนื่องจากเป็นการตั้งกล้องในรูปแบบขนาน ดังนั้นจึงสามารถกำหนดให้แกนในแนวนอนมีค่าเท่ากันคือ $v_{rp} = v_{lp}$

ภาพแสดงการสะสมค่าความลึกในแนวแกน V จะทำการคำนวณมาจากการสะสมจำนวนพิกเซลที่มีค่าความลึกที่เหมือนกันหรือเท่ากัน ตามแนวแกน u ในระนาบ (u_p, v_p) และนำจำนวนพิกเซลที่มีค่าความลึกที่เท่ากันไปสร้างเป็นภาพแสดงการสะสมค่าความลึกในแนวแกน V โดยการสร้าง นั้นจะทำการใส่ค่าความลึกตามแนวแกน Δ_p ตามภาพประกอบ 2-20 โดย Δ_p ก็คือค่าความลึก

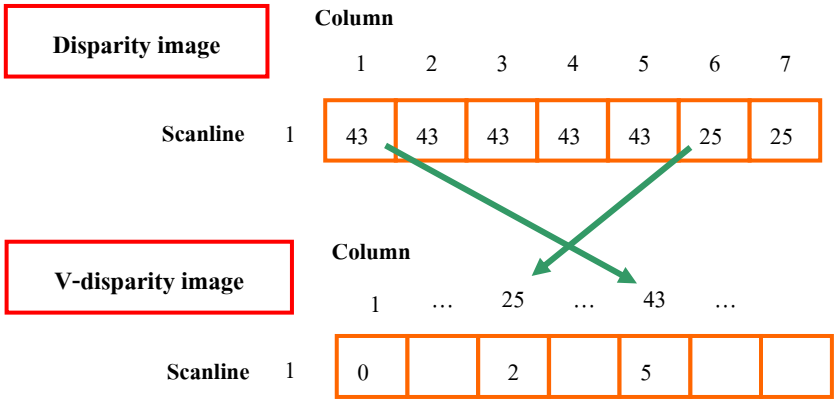
ภาพแสดงการสะสมค่าความลึกในแนวแกน U จะทำการคำนวณมาจากการสะสมจำนวนพิกเซลที่มีค่าความลึกที่เหมือนกันหรือเท่ากัน ตามแนวแกน v ในระนาบ (u_p, v_p) และนำจำนวนพิกเซลที่มีค่าความลึกที่เท่ากันไปสร้างเป็นภาพแสดงการสะสมค่าความลึกในแนวแกน U โดยการสร้างภาพแสดงการสะสมค่าความลึกในแนวแกน U นั้นจะทำการใส่ค่าความลึกตามแนวแกน Δ_p ตามภาพประกอบ 2-21 โดย Δ_p ก็คือค่าความลึก



ภาพประกอบ 2-20 แสดงการตั้งแกนของแสดงการสะสมค่าความลึกในแนวแกน V (V-disparity image)



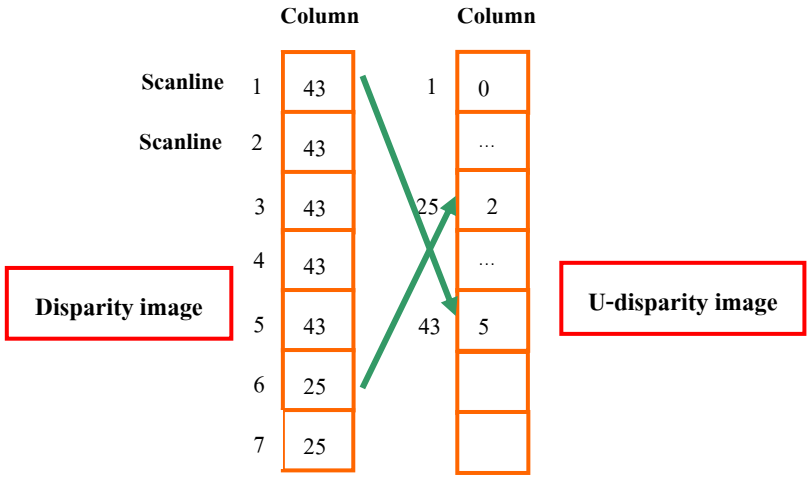
ภาพประกอบ 2-21 แสดงการตั้งแกนของแสดงการสะสมค่าความลึกในแนวแกน U (U-disparity image)



ภาพประกอบ 2-22 แสดงตัวอย่างการสร้างภาพแสดงการสะสมค่าความลึกในแนวแกน V

จากภาพประกอบ 2-22 แสดงตัวอย่างขั้นตอนการสร้างภาพแสดงการสะสมค่าความลึกในแนวแกน V โดยจะเริ่มต้นจากการแบ่งภาพออกเป็นระนาบ (u_p, v_p) โดยจะทำการแบ่ง

ออกเป็นแถวๆ ตามแกน v_i ในภาพประกอบ 2-19 โดยจะทำการเปรียบเทียบค่าความลึกของแต่ละพิกเซลในแถว v_i ไปทีละคอลัมน์ ตามแนวแกน u_i ของภาพแสดงค่าความลึกและทำการนับจำนวนพิกเซลที่มีค่าความลึกภายในที่เท่ากันที่อยู่ในคู่แถว v_i เดียวกัน หลังจากทำงานจนครบตามจำนวนคอลัมน์ u_i หรือตามความกว้าง (width) ของภาพแสดงค่าความลึกแล้ว จึงนำค่าความลึกที่เท่ากันไปเป็นตำแหน่งในภาพแสดงการสะสมค่าความลึกในแนวแกน V และนำจำนวนพิกเซลที่ทำการนับจำนวนไว้ในขั้นตอนแรกในแต่ละแถวไปเป็นค่าที่ใช้ระบุตำแหน่งในภาพแสดงการสะสมค่าความลึกในแนวแกน V และทำงานจนครบทุกแถวของภาพในระนาบ (u_p, v_p)



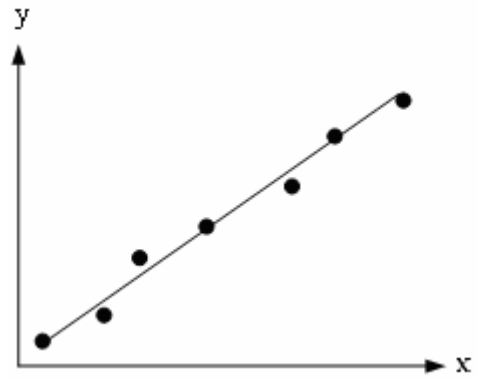
ภาพประกอบ 2-23 แสดงตัวอย่างการสร้างภาพแสดงการสะสมค่าความลึกในแนวแกน U

จากภาพประกอบ 2-23 แสดงตัวอย่างขั้นตอนการสร้างภาพแสดงการสะสมค่าความลึกในแนวแกน U โดยจะเริ่มต้นจากการแบ่งภาพออกเป็นระนาบ (u_p, v_p)โดยจะทำการแบ่งออกเป็นคอลัมน์ๆตามแกน u_i ในภาพประกอบ 2-19 โดยจะทำการเปรียบเทียบค่าความลึกของแต่ละพิกเซลในคอลัมน์ u_i ไปทีละแถว ตามแนวแกน v_i ของภาพแสดงค่าความลึกและทำการนับจำนวนพิกเซลที่มีค่าความลึกภายในที่เท่ากันที่อยู่ในคอลัมน์ u_i เดียวกัน หลังจากทำงานจนครบตามจำนวนแถว v_i หรือตามความสูง (height) ของภาพแสดงค่าความลึกแล้ว จึงนำค่าความลึกที่เท่ากันไปเป็นตำแหน่งในภาพแสดงการสะสมค่าความลึกในแนวแกน U และนำจำนวนพิกเซลที่ทำการนับจำนวนไว้ในขั้นตอนแรกในแต่ละคอลัมน์ไปเป็นค่าที่ใช้ระบุตำแหน่งในภาพแสดงการสะสมค่าความลึกในแนวแกน U และทำงานจนครบทุกคอลัมน์ของภาพในระนาบ (u_p, v_p)

2.5 การถดถอย (Regression) [12]

การถดถอยเป็นวิธีการทางสถิติวิธีการหนึ่งที่ใช้สำหรับการตรวจสอบความสัมพันธ์ระหว่างชุดข้อมูล 2 ชุด และในด้านงานวิศวกรรมสามารถนำการถดถอยมาประยุกต์ใช้ในการปรับแต่งเส้นโค้ง (Curve fitting) เพื่อทำการหาแนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่างชุดข้อมูลที่มีตัวแปรต้นและตัวแปรตามที่อยู่ในการทดลองได้ โดยการถดถอยแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท คือ การถดถอยเชิงเดียว (Simple regression), การถดถอยเชิงซ้อน (Multiple regression), และการถดถอยแบบเส้นโค้ง (Curvilinear regression)

การถดถอยเชิงเดียว(Simple regression) เป็นการพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร 2 ชุดคือตัวแปรต้น 1 ชุด และตัวแปรตาม 1 ชุด โดยอยู่ในรูปฟังก์ชัน y = f(x) โดย x แทนตัวแปรต้นหรือตัวแปรอิสระ (independent variable) และ y แทนตัวแปรตาม (dependent variable) ในกรณีที่ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้นและตัวแปรตามเป็นเส้นตรงเรียกว่า การถดถอยแบบเส้นตรงเชิงเดียว (Simple linear regression) ดังแสดงตัวอย่างในภาพประกอบ 2-24 และยังมีการหาความสัมพันธ์ที่ไม่แปรผันกันตามเส้นตรง โดยวิธีนี้จะต้องกำหนดกำลังสูงสุดของโพลีโนเมียล



ภาพประกอบ 2-24 การถดถอยแบบเส้นตรงเชิงเดียว

การถดถอยเชิงซ้อน (Multiple regression) เป็นการพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตั้งแต่ 3 ชุด ขึ้นไปโดยมีตัวแปรต้นหรือตัวแปรอิสระ 1 ชุดและตัวแปรตาม 2 ชุดขึ้นไป โดยรูปแบบของฟังก์ชันของการถดถอยเชิงซ้อนจะอยู่ในรูป $y=f(x_1,x_2,x_3,\ldots,x_n)$ ในกรณีที่ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้นและตัวแปรตามเป็นเส้นตรงเรียกว่า การถดถอยแบบเส้นตรงเชิงซ้อน (Multiple linear regression)

การถดถอยแบบเส้นโค้ง (Curvilinear regression) เป็นการพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้นและตัวแปรตามโดยความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้นและตัวแปรตามจะอยู่ในลักษณะของ

เส้นโค้ง โดยในการพิจารณาการถดถอยแบบเส้นโค้งนี้อาจจะเป็นได้ทั้งกรณีที่เป็นการถดถอยเชิงเดียว (Simple regression) และการถดถอยเชิงซ้อน (Multiple regression)

2.5.1 การถดถอยแบบเส้นตรงเชิงเดียว (Simple Linear Regression)

ในการหาแนวโน้มความสัมพันธ์ของข้อมูลที่มีลักษณะการจัดเรียงข้อมูลเป็นเส้นตรงจะเรียกว่าการถดถอยแบบเส้นตรงเชิงเดียว (Simple Linear Regression) โดยมีสมการความสัมพันธ์ของข้อมูลของตัวแปรต้นและตัวแปรตาม $(x_1,y_1),(x_2,y_2),\ldots,(x_n,y_n)$ เป็นดังนี้

$$y = a_0 + a_1x + e \tag{2-17}$$

โดย a_0 = สัมประสิทธิ์ของสมการแทนจุดตัดแกน y

a_1 = สัมประสิทธิ์ของสมการแทนความชันของเส้นตรง

e = ความคลาดเคลื่อน (Error) ระหว่างสมการถดถอยและข้อมูลจริง

จากสมการที่ (2-17) ค่าความคลาดเคลื่อน (Error) จะแทนผลต่างในแกนของตัวแปรตาม โดยเขียนในรูปสมการได้ดังนี้

$$e = y - a_0 - a_1x \tag{2-18}$$

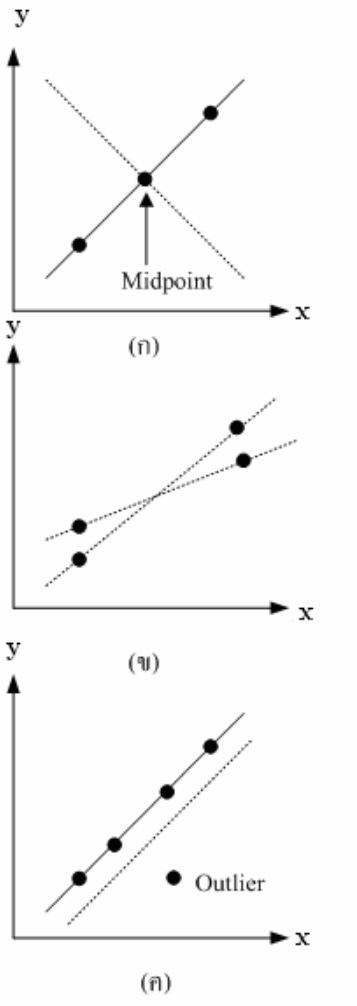
จากสมการที่ (2-18) สามารถแยกพจน์ทางด้านขวาของสมการออกเป็นสองส่วนคือ ส่วนที่ได้จากการบันทึกจริงคือ y และส่วนที่เป็นสมการถดถอยคือ $a_0 + a_1x$ ซึ่งมีลักษณะเป็นสมการเส้นตรงดังสมการที่ (2-19)

$$\hat{y} = a_0 + a_1x \tag{2-19}$$

จากสมการที่ (2-19) หนทางหนึ่งในการเลือกสมการถดถอยที่เหมาะสมที่สุดเพื่อที่จะนำมาใช้แทนความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้นและตัวแปรตาม คือ การทำให้ค่าความคลาดเคลื่อนมีค่าน้อยที่สุด จากสมการที่ (2-19) เมื่อแปลงรูปสมการให้อยู่ในรูปของค่าความคลาดเคลื่อนในแต่ละจุดข้อมูลจะได้

$$\sum_{i=1}^{n} e_i = \sum_{i=1}^{n} (y_i - a_0 - a_1x_i) \tag{2-20}$$

โดยที่ค่า n แทนจำนวนข้อมูลทั้งหมด จากสมการที่ (2-20) พบว่าถ้ากำหนดให้ค่าความคลาดเคลื่อนระหว่างข้อมูลที่บันทึกได้กับข้อมูลที่ได้จากการคำนวณจากสมการถดถอยมีค่าน้อยที่สุดนั้นยังไม่เพียงพอ โดยพิจารณาจากภาพประกอบ 2-25 (ก)



ภาพประกอบ 2-25 ตัวอย่างการปรับแต่งเส้นโค้งในลักษณะต่างๆ

(ก) การหาค่าขีดต่ำสุด (minimizes) ของผลรวมของค่าคลาดเคลื่อน

(ข) การหาค่าขีดต่ำสุดของผลรวมของค่าสมบูรณ์ของค่าคลาดเคลื่อน

(ค) การหาค่าขีดต่ำสุดของค่าคลาดเคลื่อนที่มีค่าสูงที่สุด

จากภาพประกอบ 2-25 (ก) พบว่าเมื่อทำการหาค่าขีดต่ำสุดของผลรวมของค่าความคลาดเคลื่อนให้มีค่าต่ำที่สุด แม้ว่าผลลัพธ์ที่ได้จะให้ความคลาดเคลื่อนที่ต่ำที่สุดก็จริง แต่เนื่องจากความคลาดเคลื่อนมีค่าทั้งบวกและลบ ดังนั้นในกรณีของเส้นประแสดงให้เห็นถึงข้อเสียของวิธีการนี้คือ ให้ผลรวมของค่าความคลาดเคลื่อนต่ำที่สุดเช่นกัน แต่แนวโน้มที่ได้จะไม่ถูกต้อง

ในส่วนของการหาขีดต่ำสุดของผลรวมของค่าสมบูรณ์ของค่าคลาดเคลื่อนดังแสดงในภาพประกอบ 2-25 (ข) มีสมการอยู่ในรูปแบบดังนี้

$$\sum_{i=1}^{n}|e_i| = \sum_{i=1}^{n}|y_i - a_0 - a_1 x_i| \qquad (2\text{-}21)$$

จากสมการที่ (2-21) แสดงดังภาพประกอบ 2-25 (ข) ซึ่งแสดงดังเส้นประสองเส้นแสดงให้เห็นว่าการฟิตเส้นโค้งด้วยวิธีการหาค่าขีดต่ำสุดของค่าสมบูรณ์ของค่าความคลาดเคลื่อนจะให้เส้นแนวโน้มที่เหมาะสมมากกว่า 1 เส้น

ส่วนวิธีการหาค่าขีดต่ำสุดของค่าความคลาดเคลื่อนที่มีค่ามากที่สุดนั้นเป็นการทำให้ระยะคลาดเคลื่อนระหว่างจุดข้อมูลที่มีการกระจายตัวออกห่างจากเส้นแนวโน้มมากที่สุด ให้มีค่าน้อยที่สุดดังแสดงในภาพประกอบ 2-25 (ค) จากรูปดังกล่าว แนวเส้นประคือแนวเส้นแนวโน้มที่ทำการหาค่าจำนวนที่น้อยที่สุดในจำนวนมากแล้วซึ่งปกติเส้นแนวโน้มที่แท้จริงเป็นเส้นทึบ ซึ่งแสดงให้เห็นว่ากรณีที่ค่าความคลาดเคลื่อนมีค่ามากๆนั้น วิธีการการหาจำนวนที่น้อยที่สุดในจำนวนมากนั้นจะให้ผลไม่เป็นที่น่าพอใจนัก

เพื่อที่จะกำจัดปัญหาต่างๆที่เกิดขึ้นจากการหาแนวโน้มของของเส้นโค้งทั้ง 3 วิธี วิธีที่เหมาะสมที่สุดคือการ หาค่าขีดต่ำสุดของค่ากำลังสองของความคลาดเคลื่อนโดยสมการจะอยู่ในรูป

$$SSE = \sum_{i=1}^{n} e_i^2 = \sum_{i=1}^{n}(y_i - \hat{y}_i)^2 = \sum_{i=1}^{n}(y_i - a_0 - a_1 x_i)^2 \qquad (2\text{-}22)$$

SSE คือ Sum of Square of Error หรือ Unexplained Sum of Square

จากสมการที่ (2-18) สมการของแนวโน้มของข้อมูลจะอยู่ในรูปของ $a_0 + a_1x$ ดังนั้นการหาค่าสัมประสิทธิ์ a_0 และ a_1 จะใช้วิธีการหาอนุพันธ์ย่อย (Partial derivative) โดยทำการหาอนุพันธ์ย่อยสมการที่ (2-22) เทียบกับตัวแปรทั้งสองตัว

$$\frac{\partial SSE}{\partial a_0} = -2\sum(y_i - a_0 - a_1 x_i) \qquad (2\text{-}23)$$

$$\frac{\partial SSE}{\partial a_1} = -2\sum[(y_i - a_0 - a_1 x_i)x_i] \qquad (2\text{-}24)$$

จากสมการที่ (2-23) และ(2-24) เมื่อต้องการค่าความคลาดเคลื่อนต่ำที่สุดดังนั้นค่าอนุพันธ์จะต้องเท่ากับ 0 ดังนั้นจะได้

$$0 = \sum y_i - \sum a_0 - \sum a_1 x_i \qquad (2\text{-}25)$$

$$0 = \sum y_i x_i - \sum a_0 x_i - \sum a_1 x_i^2 \quad (2\text{-}26)$$

จากสมการที่ (2-25) ค่า $\sum a_0 = na_0$ แล้วก็จัดรูปสมการให้อยู่ในรูปแบบที่เหมาะสมจะได้

$$\sum y_i = na_0 + \sum a_1 x_i \quad (2\text{-}27)$$

$$\sum y_i x_i = \sum a_0 x_i + \sum a_1 x_i^2 \quad (2\text{-}28)$$

จากสมการที่ (2-27) และสมการที่ (2-28) เมื่อทำการแก้สมการทั้งสองจะสามารถหาสัมประสิทธิ์ a_0 และ a_1 ได้จาก

$$a_0 = \bar{y} - a_1 \bar{x} \quad (2\text{-}29)$$

$$a_1 = \frac{n\sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{n\sum x_i^2 - \left(\sum x_i\right)^2} \quad (2\text{-}30)$$

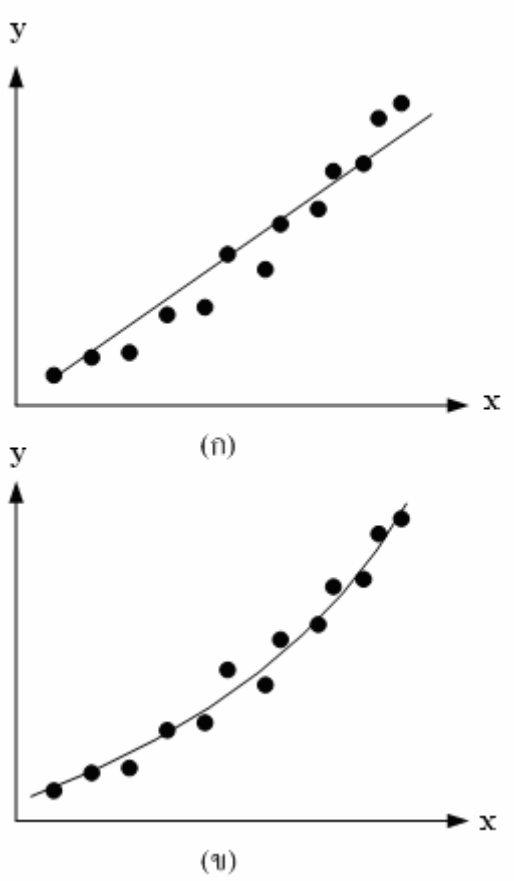
2.5.2 การถดถอยแบบเส้นโค้งโพลีโนเมียล (Polynomial regression)

ข้อมูลทางด้านวิศวกรรมโดยทั่วไปแล้วส่วนมากจะไม่เป็นเส้นตรง ดังนั้นการหาแนวโน้มข้อมูล โดยการแทนด้วยสมการเส้นตรงนั้นยังไม่เพียงพอต่อกับการจัดเรียงตัวของข้อมูลดังแสดงในภาพประกอบ 2-26 โดยจากภาพประกอบ 2-26 (ก) กราฟแนวโน้มที่ได้จากสมการถดถอยแบบเส้นตรง (Simple linear regression) ยังไม่เพียงพอกับการจัดเรียงตัวของข้อมูลเมื่อเปรียบเทียบกับภาพประกอบ 2-26 (ข) ซึ่งเป็นกราฟเส้นโค้งแนวโน้มที่ได้จากสมการถดถอยแบบเส้นโค้งโพลีโนเมียล (Polynomial regression) ซึ่งการถดถอยที่เป็นในลักษณะเส้นโค้งแบบโพลีโนเมียลนี้เรียกว่าการถดถอยแบบเส้นโค้งโพลีโนเมียล ซึ่งเป็นแบบหนึ่งของการถดถอยเชิงซ้อน (Multiple regression) ดังตัวอย่างสมการโพลีโนเมียลกำลังสองคือ

$$y = a_0 + a_1 x + a_2 x^2 + e \quad (2\text{-}31)$$

$$y = a_0 + a_1 x_1 + a_2 x_2 + e \quad (2\text{-}32)$$

จากสมการที่ (2-31) ซึ่งเป็นรูปแบบของสมการโพลีโนเมียลกำลังสองเมื่อเปรียบเทียบกับสมการเชิงเส้นแบบหลายตัวแปรดังสมการที่ (2-32) โดยที่ $x \equiv x_1$ และ $x^2 \equiv x_2$



ภาพประกอบ 2-26 เปรียบเทียบกราฟที่ได้จากการถดถอย

(ก) สมการถดถอยแบบเชิงเส้น

(ข) สมการถดถอยแบบเส้นโค้งโพลีโนเมียล

สมการทั่วไปของเส้นโค้งโพลีโนเมียล

$$y = a_0 + a_1 x + a_2 x^2 + \ldots + a_m x^m + e \qquad (2\text{-}33)$$

m แทนเลขชี้กำลังสูงสุดของโพลีโนเมียลจากสมการที่ (2-33) สมการถดถอยแบบโพลีโนเมียลคือ $a_0 + a_1 x + a_2 x^2 + \ldots + a_m x^m$ ซึ่งค่ากำลังสองของค่าความคลาดเคลื่อนจะอยู่ในรูปแบบคล้ายกับกรณีเส้นตรง

$$\hat{y} = a_0 + a_1 x + a_2 x^2 + \ldots + a_m x^m \qquad (2\text{-}34)$$

จากสมการที่ (2-34) ผลต่างกำลังสองของข้อมูลจริงและข้อมูลจากสมการถดถอย

$$SSE = \sum_{i=1}^{n} \left(y_i + \hat{y}_i\right)^2 = \sum_{i=1}^{n} \left(y - a_0 - a_1 x - a_2 x^2 - ... - a_m x^m\right)^2 \quad (2\text{-}35)$$

ในการหาสัมประสิทธิ์ของสมการโพลีโนเมียลจะอยู่ในรูปแบบ

$$\begin{aligned}
\frac{\partial SSE}{\partial a_0} &= -2\sum \left(y_i - a_0 - a_1 x_i - a_2 x_i^2 - ... - a_m x_i^m\right) \\
\frac{\partial SSE}{\partial a_1} &= -2\sum x_i \left(y_i - a_0 - a_1 x_i - a_2 x_i^2 - ... - a_m x_i^m\right) \\
\frac{\partial SSE}{\partial a_2} &= -2\sum x_i^2 \left(y_i - a_0 - a_1 x_i - a_2 x_i^2 - ... - a_m x_i^m\right) \\
&..... \\
\frac{\partial SSE}{\partial a_m} &= -2\sum x_i^m \left(y_i - a_0 - a_1 x_i - a_2 x_i^2 - ... - a_m x_i^m\right)
\end{aligned} \quad (2\text{-}36)$$

จากสมการที่ (2-30) กำหนดให้ผลการคำนวณหาอนุพันธ์ย่อยเท่ากับศูนย์ ดังนั้นเมื่อจัดรูปแบบใหม่จะได้

$$\begin{aligned}
(n)a_0 + \left(\sum x_i\right)a_1 + \left(\sum x_i^2\right)a_2 + ... + \left(\sum x_i^m\right)a_m &= \sum y_i \\
\left(\sum x_i\right)a_0 + \left(\sum x_i^2\right)a_1 + \left(\sum x_i^3\right)a_2 + ... + \left(\sum x_i^m\right)a_m &= \sum x_i y_i \\
\left(\sum x_i^2\right)a_0 + \left(\sum x_i^3\right)a_1 + \left(\sum x_i^3\right)a_2 + ... + \left(\sum x_i^m\right)a_m &= \sum x_i^2 y_i \\
&..... \\
\left(\sum x_i^m\right)a_0 + \left(\sum x_i^{m+1}\right)a_1 + \left(\sum x_i^{m+2}\right)a_2 + ... + \left(\sum x_i^{2m}\right)a_m &= \sum x_i^m y_i
\end{aligned} \quad (2\text{-}37)$$

จากสมการที่ (2-37) ค่าสัมประสิทธิ์ที่ไม่ทราบค่าคือ $a_0, a_1, a_2, ..., a_m$ เพื่อทำการหาค่าสัมประสิทธิ์ดังกล่าวสามารถทำได้โดยการแก้สมการ m ตัวแปร โดยจำนวนสัมประสิทธิ์ขึ้นอยู่กับค่าเลขชี้กำลังสูงสุดของสมการโพลีโนเมียล

โดยในการทดลองนี้ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนพิกเซลและค่าความลึกนั้นอยู่ในรูปแบบของเส้นโค้ง ทำให้ในการทำงานได้นำสมการถดถอยเชิงซ้อนมาใช้ในการสร้างสมการความสัมพันธ์

ในบทนี้ได้กล่าวถึงหลักการพื้นฐานและเทคนิควิธีการประมวลผลภาพและหลักการของการมองภาพสองตา โดยมุ่งเน้นไปที่การอธิบายทฤษฎีที่ใช้ในการประมวลผลสัญญาณภาพดิจิตอลในส่วนการประมวลผลภาพเบื้องต้นด้วยหลักการตัวกรองประเภทต่างๆ การแบ่งแยกข้อมูลภาพ การแปลความหมายและการจำแนกข้อมูลภาพ นอกจากนั้นได้กล่าวถึงเทคนิคขั้นตอนอื่นๆที่จะใช้ในงานวิจัยนี้ นั้นคือ การหาภาพแสดงค่าความลึกด้วยหลักการของการมองภาพสองตาและการสร้างสมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าระยะทางและค่าความลึกเพื่อใช้ทำการประมาณค่าระยะทาง ซึ่งวิธีการเหล่านี้จะได้นำไปใช้ในการพัฒนายานยนต์ไร้คนขับต่อไป

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อพัฒนาระบบการตรวจจับสิ่งกีดขวางที่อยู่ด้านหน้าของรถโดยใช้หลักการของการมองภาพสองตา กระบวนการทำงานเริ่มจากการรับภาพจากกล้องสเตอริโอที่มีการติดตั้งในลักษณะคล้ายการมองของตามนุษย์ และทำการสร้างภาพแสดงค่าความลึกของวัตถุที่อยู่ในภาพ หลังจากนั้นนำภาพแสดงค่าความลึกที่ได้มาทำการค้นหาระยะห่างของสิ่งกีดขวางที่อยู่ด้านหน้ารถอัจฉริยะด้วยสมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าระยะทางจริงและค่าความลึกหรือตำแหน่งพิกเซล (ค่าความลึก คือค่าความเข้มแสงที่แสดงค่าความลึกในภาพแสดงค่าความลึก) และนำค่าที่ได้ไปทำการควบคุมการเคลื่อนที่ของรถต่อไป

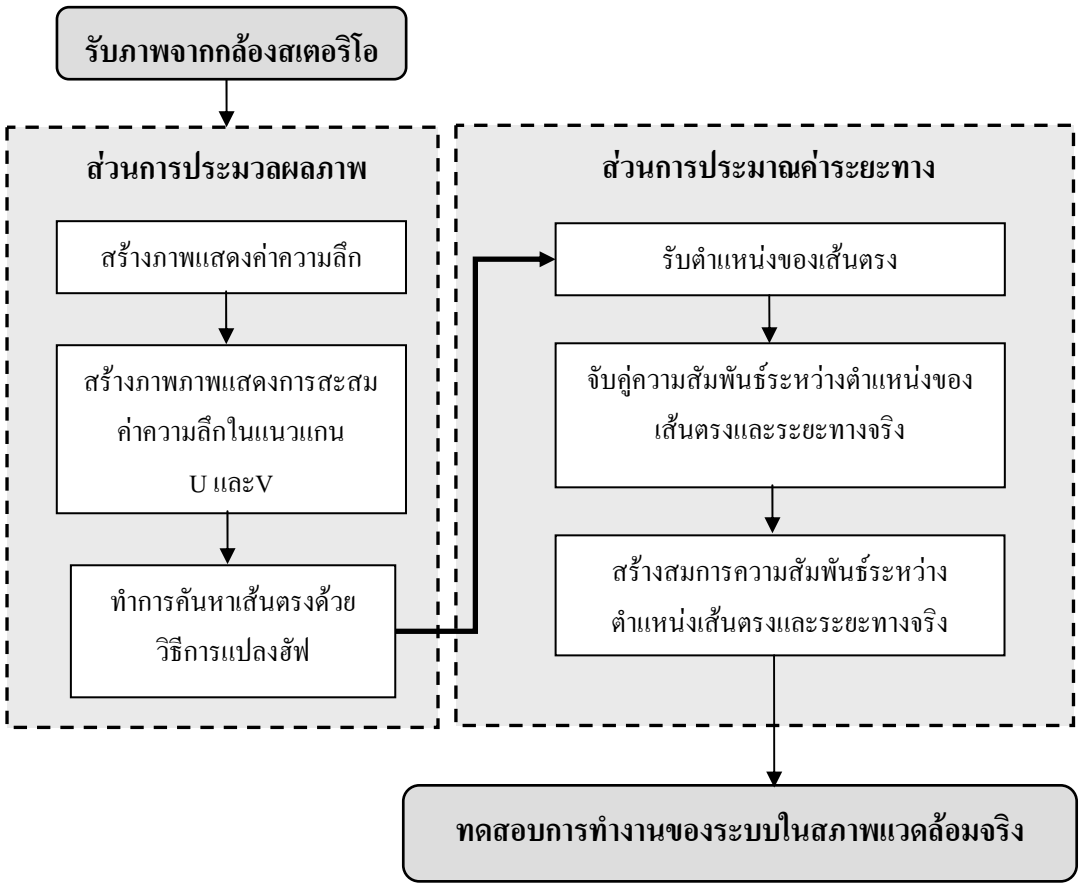
3.1 แนวคิดในการออกแบบระบบ

แนวความคิดในการออกแบบระบบตรวจจับสิ่งกีดขวางที่อยู่ด้านหน้ายานพาหนะโดยใช้หลักการการมองภาพสองตา จะแบ่งระบบการทำงานออกเป็น 3 ส่วนหลัก คือ ส่วนแรกเป็นส่วนของการสร้างภาพแสดงค่าความลึกของวัตถุที่อยู่ในภาพแสดงค่าความลึก และส่งภาพแสดงค่าความลึก ดังกล่าวไปยังส่วนที่สอง ซึ่งเป็นส่วนของการค้นหาและประมาณค่าระยะทางของสิ่งกีดขวางที่อยู่ด้านหน้ายานพาหนะและอยู่บนถนน และส่วนที่สามเป็นส่วนของการแสดงผลค่าระยะห่างของสิ่งกีดขวางที่อยู่ด้านหน้ายานพาหนะแก่ผู้ขับขี่

ในส่วนของการทดสอบระบบ จะทำการทดสอบระบบด้วยการเปลี่ยนรูปร่างของสิ่งกีดขวางที่มีรูปร่างที่แตกต่างกัน และทำการทดสอบระบบเมื่อทำการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อม เมื่อสภาพแวดล้อมมีแสงแดดจัด เมื่อสภาพแวดล้อมมีร่มเงาบนพื้นถนน และสภาพแวดล้อมเมื่อมีความเข้มแสงน้อย เพื่อทดสอบและค้นหาสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมที่สุดกับการทำงานของระบบ และทำการนำผลการทดสอบมาเปรียบเทียบเพื่อตรวจสอบว่าสภาพแวดล้อมใดที่ระบบสามารถทำงานได้ดีที่สุด

3.2 ภาพรวมของงานวิจัย

กระบวนการทำงานของงานวิจัยนี้ประกอบด้วย 4 ขั้นตอน คือ การรับภาพจากกล้องสเตอริโอ จากนั้นจะทำการนำภาพที่ได้จากขั้นตอนแรกเข้าสู่กระบวนการการประมวลผลภาพ เพื่อสร้างภาพแสดงค่าความลึก ภาพแสดงการสะสมค่าความลึกในแนวแกน U และ V และทำการค้นหาตำแหน่งเส้นตรงที่เกิดขึ้นในภาพแสดงการสะสมค่าความลึกในแนวแกน U และ V และนำตำแหน่งของเส้นตรงที่ได้จากภาพแสดงการสะสมค่าความลึกในแนวแกน V ไปสร้างสมการความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งพิกเซลในแกน x ของภาพแสดงการสะสมค่าความลึกในแนวแกน V และระยะทางจริง ซึ่งอยู่ในส่วนของการประมาณค่าระยะทาง และขั้นตอนสุดท้ายคือการทดสอบระบบในสภาพแวดล้อมจริง กระบวนการทั้งหมดของงานวิจัยนี้แสดงดังภาพประกอบ 3-1



ภาพประกอบ 3-1 ขั้นตอนการวิจัยโดยรวม

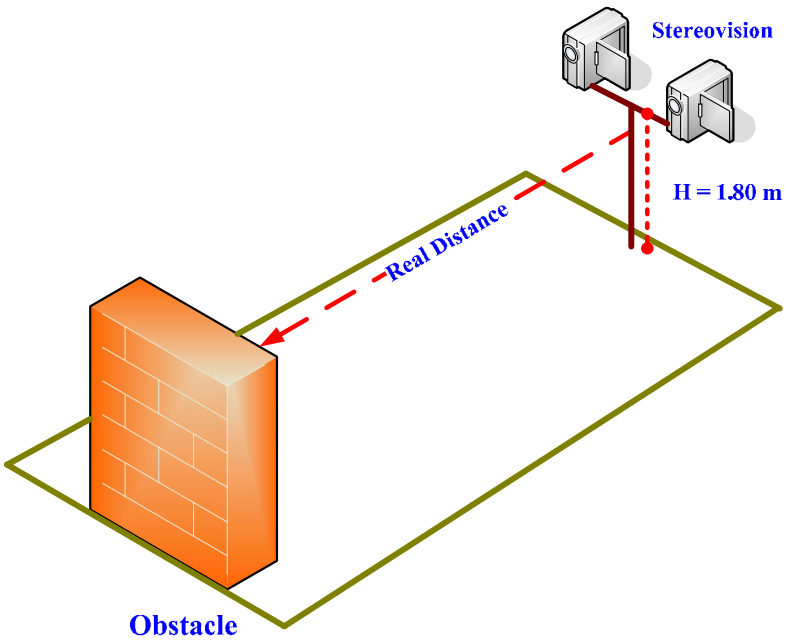
3.3 การตั้งกล้องในรูปแบบการมองภาพสองตา

สำหรับการถ่ายภาพการทำงานในรูปแบบการมองภาพสองตาหรือสเตอริโอนั้น คือ การตั้งกล้องวีดีโอให้มีลักษณะที่เหมือนกับลักษณะการมองของมนุษย์ โดยใช้การประมวลผลภาพ มีองค์ประกอบหลักๆในการทำงานสองส่วน คือ

1. กล้องวีดีโอสองกล้องที่ตั้งขนานกัน โดยการตั้งกล้องลักษณะนี้จะมีการทำงานที่มีลักษณะคล้ายการมองของมนุษย์
2. การวัดระยะอ้างอิงด้วยกล้องโทเทิลสเตชัน (Total Station) ยี่ห้อ Nikon

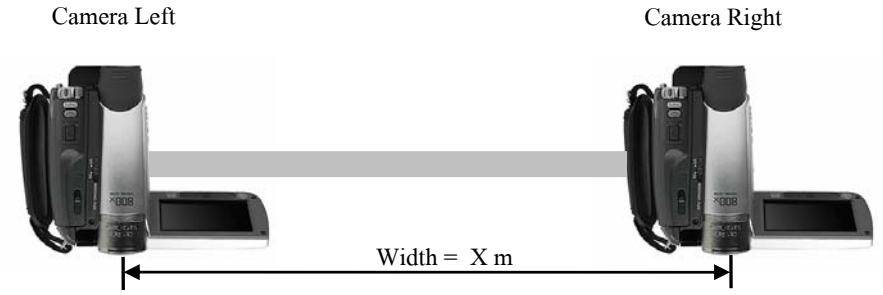
3.3.1 การตั้งกล้องสเตอริโอ

การตั้งกล้องของการทำงาน คือ จะทำการตั้งกล้องให้อยู่ในลักษณะที่ขนานกับพื้นถนน เพราะการตั้งกล้องในลักษณะนี้ จะทำให้การมองเห็นของกล้องวีดีโอเห็นภาพในลักษณะที่เป็นระนาบเดียวกันกับหน้ากล้อง คือ มีระนาบที่ขนานกันในแนวตั้ง ทำให้มองเห็นความลึกของวัตถุที่ขนานกับด้านหน้าของกล้อง และมีความลึกที่เท่ากันในระนาบที่ขนานกับหน้ากล้อง ดังภาพประกอบ 3-2



ภาพประกอบ 3-2 ลักษณะการตั้งกล้องที่ขนานกับพื้นผิวถนน

การวางกล้องขนาน คือ การติดตั้งกล้องให้อยู่ในแนวระนาบเดียวกัน ทั้งกล้องซ้ายและกล้องขวา โดยการทดสอบจะวางกล้องทั้งสองอยู่บนคานอันเดียวกัน ที่ทำการตั้งกล้องให้อยู่บนคานอันเดียวกันเนื่องจาก เมื่อรถมีการเคลื่อนที่ไปในพื้นผิวที่ไม่เรียบ รถเกิดการเอียงกล้องจะต้องมีการเอียงตามทั้ง 2 กล้อง หรือถ้าเกิดการบิดของตัวถังของตัวรถ คานตัวนี้ก็จะทำให้กล้อง ทั้ง 2 ตัว ยังคงอยู่ในลักษณะที่ขนานกัน เพราะถ้ากล้องไม่ขนานกันแล้วภาพแสดงค่าความลึกที่ได้นั้นจะมีข้อผิดพลาด หรือไม่สามารถที่จะหาค่าความลึกได้ การตั้งกล้องจะแสดงดังภาพประกอบ 3-3



ภาพประกอบ 3-3 ลักษณะการตั้งกล้องที่ขนานกัน

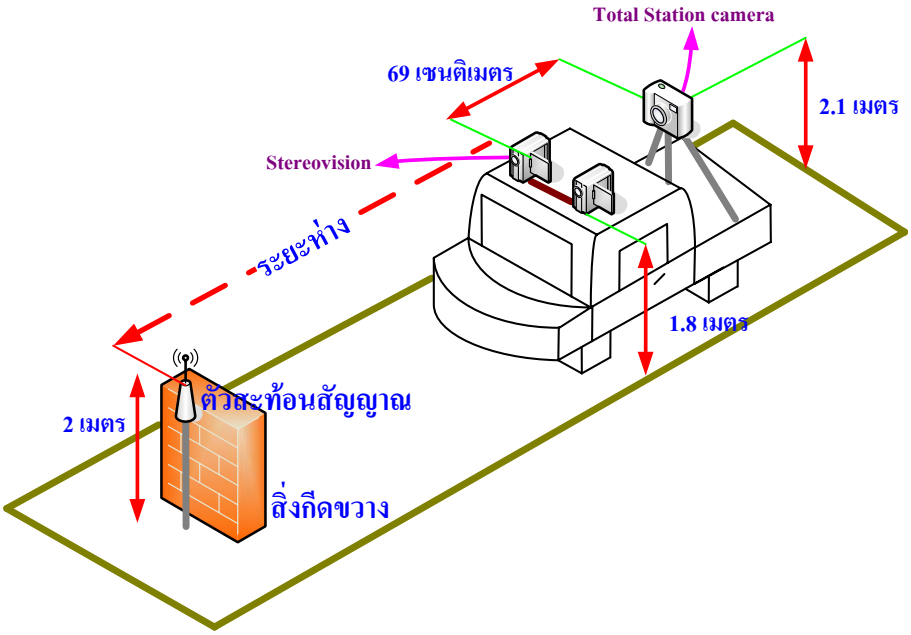
เมื่อทำการเปลี่ยนการทดลอง จากภาพนิ่งเป็นภาพเคลื่อนไหว โดยใช้วิธีการทดลองด้วยการบันทึกภาพวีดีโอของกล้องซ้ายและกล้องขวาพร้อมกัน ซึ่งในการทดลองนี้จะทำการทดสอบกับการติดตั้งกล้องบนรถจริง โดยทำการ ติดตั้งกล้องดังภาพประกอบ 3-4

การติดตั้งกล้องดังภาพประกอบ 3-4 จะทำการตั้งกล้องบนหลังคารถอัจฉริยะ โดยการนำคานหลักมาวางบนหลังคารถอีกชั้นหนึ่งเพื่อป้องกันการสั่นสะเทือนขณะทำการเคลื่อนที่ไปด้วยความเร็วคงที่ เพราะการสั่นสะเทือนจากการเคลื่อนที่ของรถนั้นจะทำให้เกิดความผิดพลาดของการประมวลผลภาพได้ และทำการกำหนดระยะห่างระหว่างกล้อง มี 3 ระดับ คือ 1 เมตร 70 เซนติเมตร และ 40 เซนติเมตร และความสูงจากพื้นดินของตัวรถคือ 180 เซนติเมตร โดยการติดตั้งลักษณะนี้จะทำให้กล้องขนานกันตลอดเวลา

ภาพประกอบ 3-4 ลักษณะการตั้งกล้องบนรถอัจฉริยะที่ใช้ในการทดสอบ

3.3.2 การตั้งกล้องโทเทิลสเตชันเพื่อวัดระยะอ้างอิง

การตั้งกล้องอ้างอิงมีหน้าที่เพื่อเป็นตัวอ้างอิงระยะที่ระบบตรวจจับสิ่งกีดขวางสามารถคำนวณออกมาได้และนำค่าที่ได้ไปทำการเปรียบเทียบกับระยะอ้างอิง จะทำให้ทราบว่ามีค่าความผิดพลาดมากน้อยเพียงใด โดยในการทดสอบจะใช้ กล้องโทเทิลสเตชันหรือกล้องสำรวจแบบอิเล็คทรอนิคชนิดวัดระยะทางได้ ยี่ห้อ Nikon รุ่น DTM-A10 LG ที่มีความสามารถในการค้นหาระยะในแนวระนาบและแนวเอียงได้อย่างแม่นยำ และในการทำงานค้นหาระยะของกล้องอ้างอิงนี้จะประกอบไปด้วย 2 ส่วน คือ ตัวกล้องโทเทิลสเตชันและตัวสะท้อนสัญญาณ ซึ่งการทำงานโดยตัวกล้องโทเทิลสเตชันจะทำการส่งสัญญาณไปยังตัวสะท้อนสัญญาณ และตัวสะท้อนสัญญาณจะทำการสะท้อนสัญญาณกลับมายังตัวกล้องโทเทิลสเตชันและกล้องโทเทิลสเตชันจะทำการคำนวณระยะห่างออกมา โดยลักษณะการตั้งกล้องเป็นดังภาพประกอบ 3-5



ภาพประกอบ 3-5 แสดงการตัวอย่างการตั้งกล้องโทเทิลสเตชันบนรถอัจฉริยะที่ทำการทดสอบ

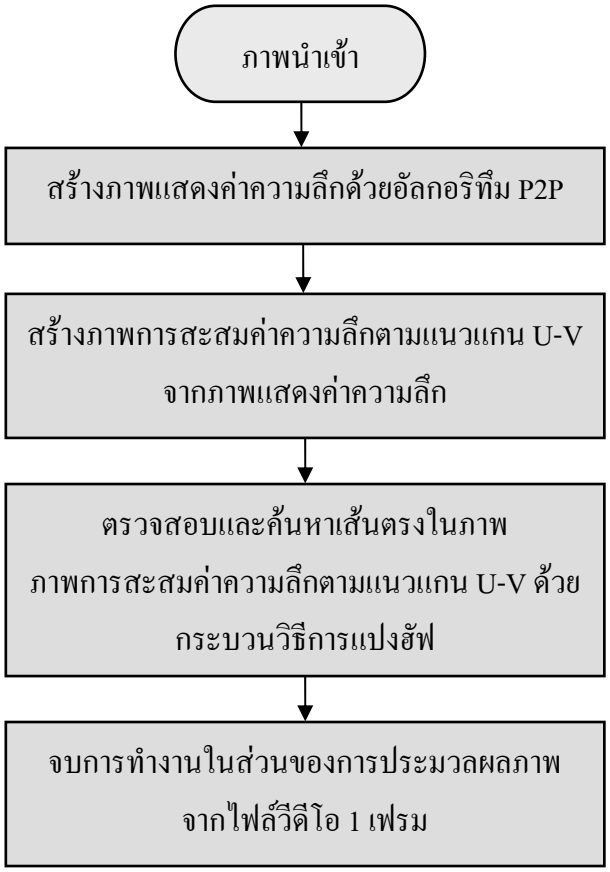
การตั้งกล้องอ้างอิง จะทำการตั้งกล้องบนหลังรถทดสอบโดยตั้งอยู่บนความสูง 1.20 เมตร ที่กระบะส่วนหลังของรถอัจฉริยะและหน้ากล้องของกล้องโทเทิลสเตชันจะมีระยะห่างจากกล้องสเตอริโอ เป็นระยะ 69 เซนติเมตร และในส่วนของตัวสะท้อนสัญญาณ จะทำการตั้งให้มีความสูงมากกว่าความสูงของสิ่งกีดขวางคือ ที่ระยะ 2 เมตร

(ก) (ข)

ภาพประกอบ 3-6 แสดงกล้องโทเทิลสเตชันที่ใช้ในการทดสอบ
(ก) ตัวกล้องโทเทิลสเตชัน ยี่ห้อ Nikon รุ่น DTM-A10 LG
(ข) ตัวสะท้อนสัญญาณ

3.4 การประมวลผลภาพในโปรแกรม

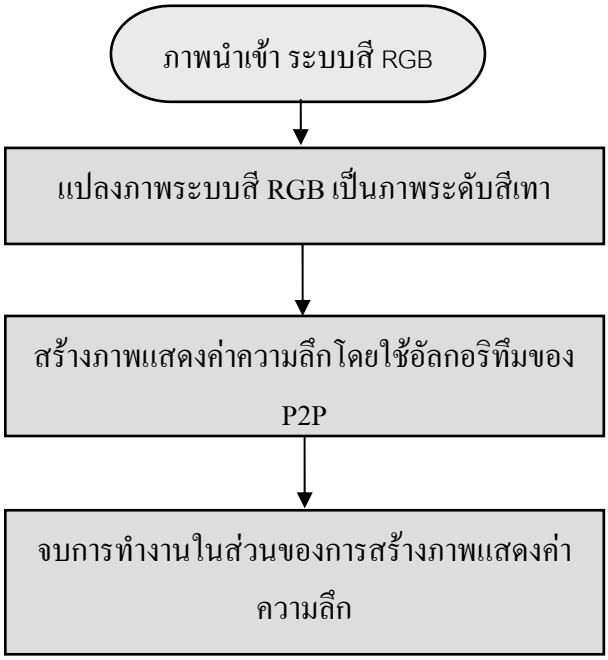
ส่วนนี้เป็นส่วนที่รับสัญญาณภาพมาจากกล้องสเตอริโอ พร้อมกับนำภาพที่ได้ไปทำการประมวลผลเพื่อทำการสร้างภาพแสดงค่าความลึกด้วยอัลกอริทึมของเอกสารอ้างอิงที่ [1] และเมื่อได้ภาพแสดงค่าความลึกมาแล้ว ทำการพิจารณาสร้างภาพแสดงการสะสมค่าความลึกในแนวแกน U และ V จากภาพแสดงค่าความลึกและทำการใช้หลักการค้นหาเส้นตรงในภาพด้วยการแปลงฮัฟ ช่วยในการค้นหาตำแหน่งของเส้นตรงที่อยู่ในภาพแสดงการสะสมค่าความลึกในแนวแกน U และ V ออกมา และหลังจากนั้นจะทำการส่งค่าตำแหน่งไปยังส่วนการประมาณค่าระยะทางเพื่อทำการสร้างสมการความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งของพิกเซลและระยะทางจริง โดยแต่ละการทำงานมีรายละเอียดดังภาพประกอบ 3-7



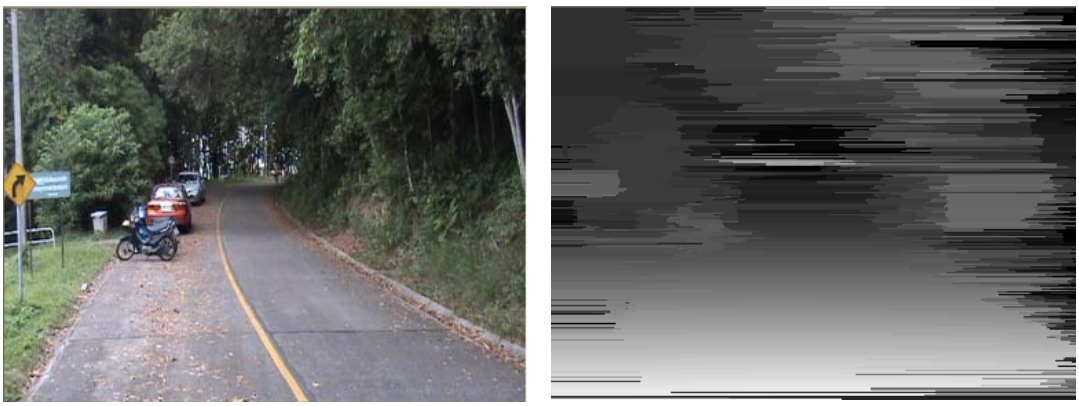
ภาพประกอบ 3-7 กระบวนการการประมวลผลภาพของโปรแกรม

3.4.1 ภาพแสดงค่าความลึก (Disparity image)

เมื่อรับภาพจากกล้องสเตอริโอ ระบบจะทำการสร้างภาพแสดงค่าความลึก โดยทำการแปลงภาพจากระบบภาพสี RGB เป็นภาพระบบสีเทา เพราะอัลกอริทึมที่ใช้ในการสร้างภาพแสดงค่าความลึกนั้นได้ทำการเลือกใช้อัลกอริทึมของเอกสารอ้างอิงที่ [1] และภาพนำเข้าของอัลกอริทึมนี้ต้องเป็นภาพในระบบสีเทาเท่านั้น และเมื่อเข้าสู่อัลกอริทึมของ P2P แล้วจะผ่านเข้าสู่กระบวนการสร้างภาพแสดงค่าความลึกดังแสดงในหัวข้อ 2.3.3 โดยในส่วนของการตั้งค่าการทำงานของอัลกอริทึม P2P นี้จะมีความสามารถในการสร้างภาพแสดงค่าความลึกที่สามารถตรวจจับสิ่งกีดขวางที่ระยะ 30 เมตร ที่ระยะห่างกล้องสเตอริโอที่ 1 เมตร และที่ขนาดภาพที่ 384x288 พิกเซล และขั้นตอนการสร้างภาพแสดงค่าความลึกแสดงดังภาพประกอบ 3-8



ภาพประกอบ 3-8 กระบวนการสร้างภาพแสดงค่าความลึก



(ก) (ข)

ภาพประกอบ 3-9 ตัวอย่างการสร้างภาพแสดงค่าความลึก

(ก) ภาพจากกล้องสเตอริโอ

(ข) ภาพแสดงค่าความลึก

3.4.2 การสร้างภาพแสดงการสะสมค่าความลึกในแนวแกน U และ V

ส่วนนี้จะนำภาพที่รับมาจากส่วนการสร้างภาพแสดงค่าความลึกมาสร้างภาพแสดงการสะสมค่าความลึกในแนวแกน U และ V ดังแสดงในหัวข้อ 2.4 โดยสิ่งกีดขวางที่ตั้งอยู่ในแนวขนานกับหน้ากล้อง จะมีลักษณะเป็นเส้นตรงที่ขนานกับแกน Y ในภาพแสดงการสะสมค่าความลึกในแนวแกน V และเป็นเส้นตรงที่ขนานกับแกน X ในภาพแสดงการสะสมค่าความลึกในแนวแกน U โดยลักษณะของพื้นผิวถนนจะเป็นการไล่เรียงค่าความลึกเป็นแนวเส้นเฉียงในภาพแสดงการสะสมค่าความลึกในแนวแกน V และเป็นเส้นตรงที่เป็นแนวยาวในภาพแสดงการสะสมค่าความลึกในแนวแกน U และการสร้างภาพแสดงการสะสมค่าความลึกในแนวแกน U และ V ให้มีคุณภาพที่ดีนั้นขึ้นอยู่กับภาพแสดงค่าความลึก ว่ามีความถูกต้องมากน้อยเพียงใด เพราะถ้าภาพแสดงค่าความลึกมีความผิดพลาดมาก ภาพแสดงการสะสมค่าความลึกในแนวแกน U และ V ก็จะมีความผิดพลาดด้วยเช่นกัน

รูปแบบการทำงานในการสร้างภาพแสดงการสะสมค่าความลึกมีดังนี้

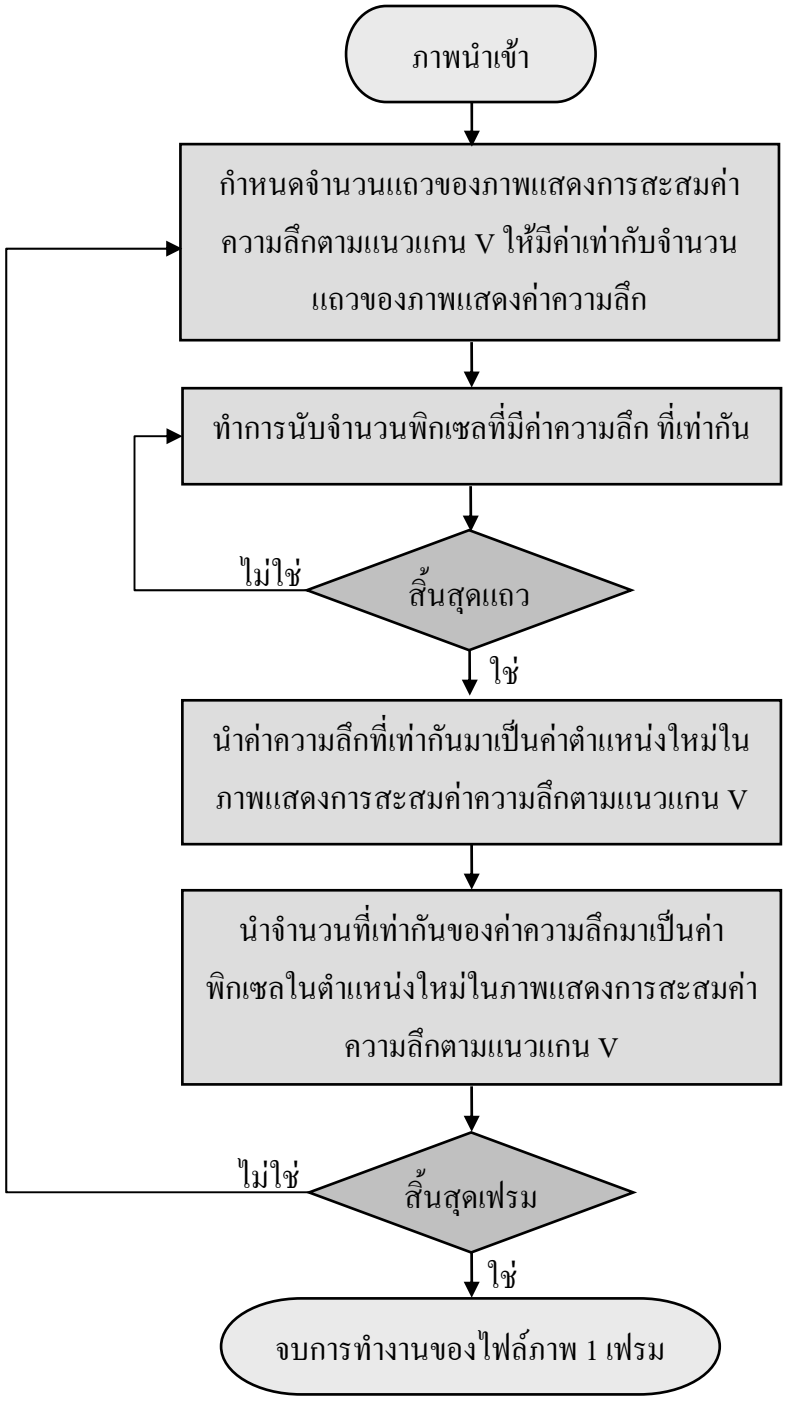
1. ทำการกำหนดจำนวนแถวเริ่มต้นให้กับภาพแสดงการสะสมค่าความลึกในแนวแกน V ให้มีค่าเท่ากับจำนวนแถวของภาพแสดงค่าความลึก

2. ทำการนับจำนวนพิกเซลที่มีค่าความลึกที่เท่ากันตามแนวแถวและทำการเก็บสะสมจำนวนที่เท่ากันของค่าความลึกที่เท่ากันแต่ละค่าไว้ โดยการทำงานนี้จะอยู่ในแถวเดียวกัน

3. นำจำนวนที่เท่ากันของค่าความลึกในแต่ละค่าไปใส่ลงในภาพแสดงการสะสมค่าความลึกในแนวแกน V โดยค่าพิกเซลในภาพแสดงการสะสมค่าความลึกในแนวแกน V คือจำนวนที่เท่ากันของค่าความลึกแต่ละค่า และตำแหน่งในการใส่ค่าพิกเซลในภาพแสดงการสะสมค่าความลึกในแนวแกน V จะเป็นการนำค่าที่เท่ากันในภาพแสดงค่าความลึกแต่ละค่ามาเป็นตัวระบุตำแหน่งใหม่ในภาพแสดงการสะสมค่าความลึกในแนวแกน V

4. ทำซ้ำจนครบจำนวนแถวของภาพแสดงค่าความลึก

สามารถเขียนเป็นแผนผังการทำงานดังภาพประกอบ 3-10



ภาพประกอบ 3-10 กระบวนการสร้างภาพแสดงการสะสมค่าความลึกในแนวแกน V

รูปแบบการทำงานในการสร้างภาพแสดงการสะสมค่าความลึกในแนวแกน U มีดังนี้

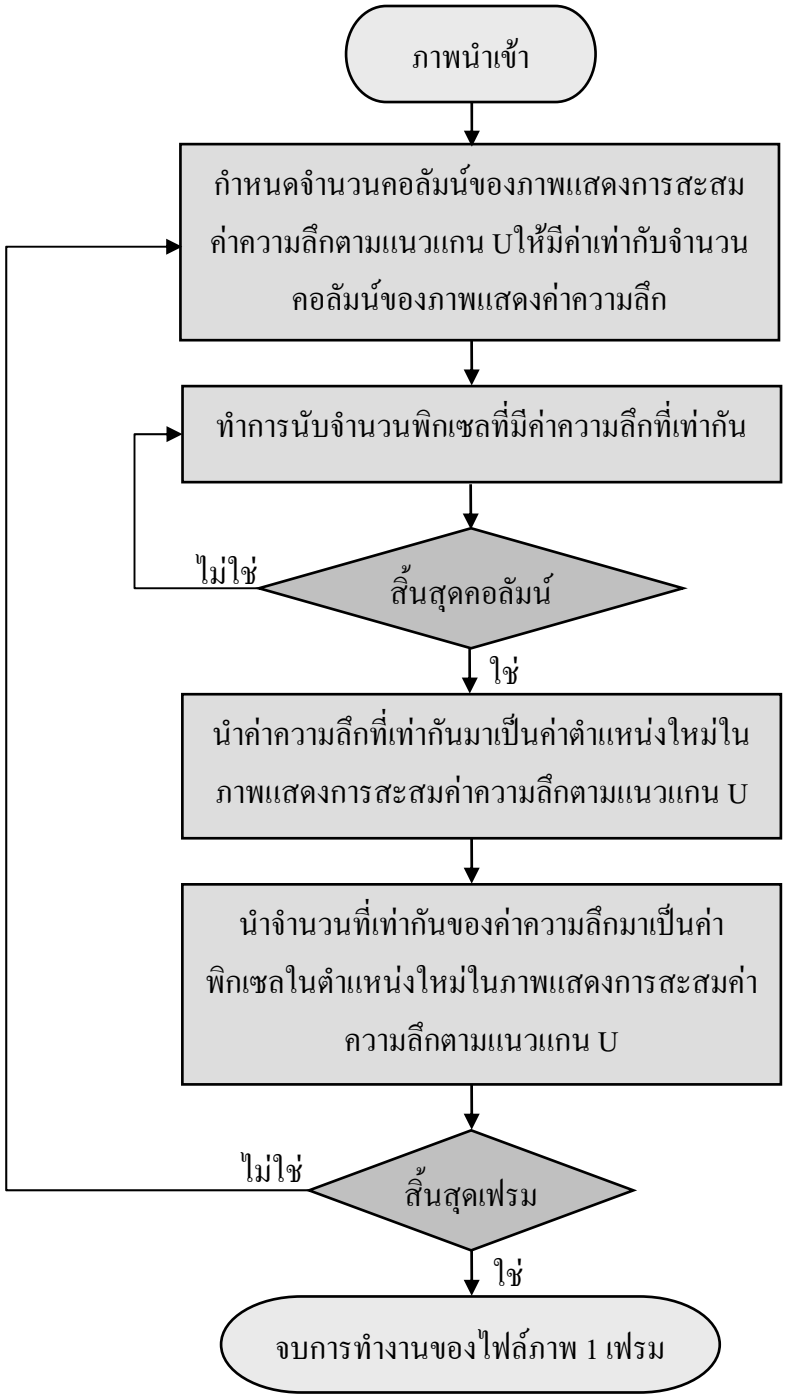
1. ทำการกำหนดจำนวนคอลัมน์เริ่มต้นให้กับภาพแสดงการสะสมค่าความลึกในแนวแกน U ให้มีค่าเท่ากับจำนวนคอลัมน์ของภาพแสดงค่าความลึก

2. ทำการนับจำนวนพิกเซลที่มีค่าความลึกที่เท่ากันตามแนวคอลัมน์และทำการเก็บสะสมจำนวนที่เท่ากันของค่าความลึก ที่เท่ากันแต่ละค่าไว้ โดยการทำงานนี้จะอยู่ในคอลัมน์เดียวกัน

3. นำจำนวนที่เท่ากันของค่าความลึกในแต่ละค่าไปใส่ลงในภาพแสดงการสะสมค่าความลึกในแนวแกน U โดยค่าพิกเซลในภาพแสดงการสะสมค่าความลึกในแนวแกน U คือจำนวนที่เท่ากันของค่าความลึกแต่ละค่า และตำแหน่งในการใส่ค่าพิกเซลในภาพแสดงการสะสมค่าความลึกในแนวแกน U จะเป็นการนำค่าที่เท่ากันในภาพแสดงค่าความลึกแต่ละค่ามาเป็นตัวระบุตำแหน่งใหม่ในภาพแสดงการสะสมค่าความลึกในแนวแกน U

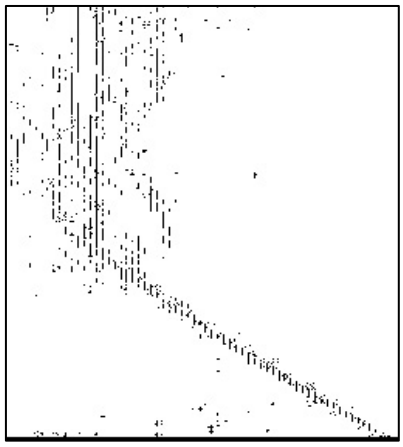
4. ทำซ้ำจนครบจำนวนคอลัมน์ของภาพแสดงค่าความลึก

สามารถเขียนเป็นแผนผังการทำงานดังภาพประกอบ 3-11

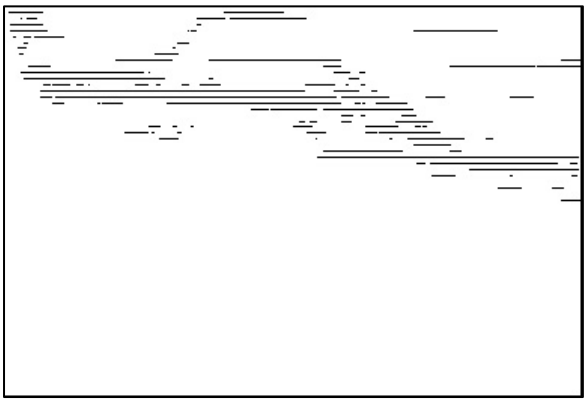


ภาพประกอบ 3-11 กระบวนการสร้างภาพแสดงการสะสมค่าความลึกในแนวแกน U

(ก)



(ข)



(ค)

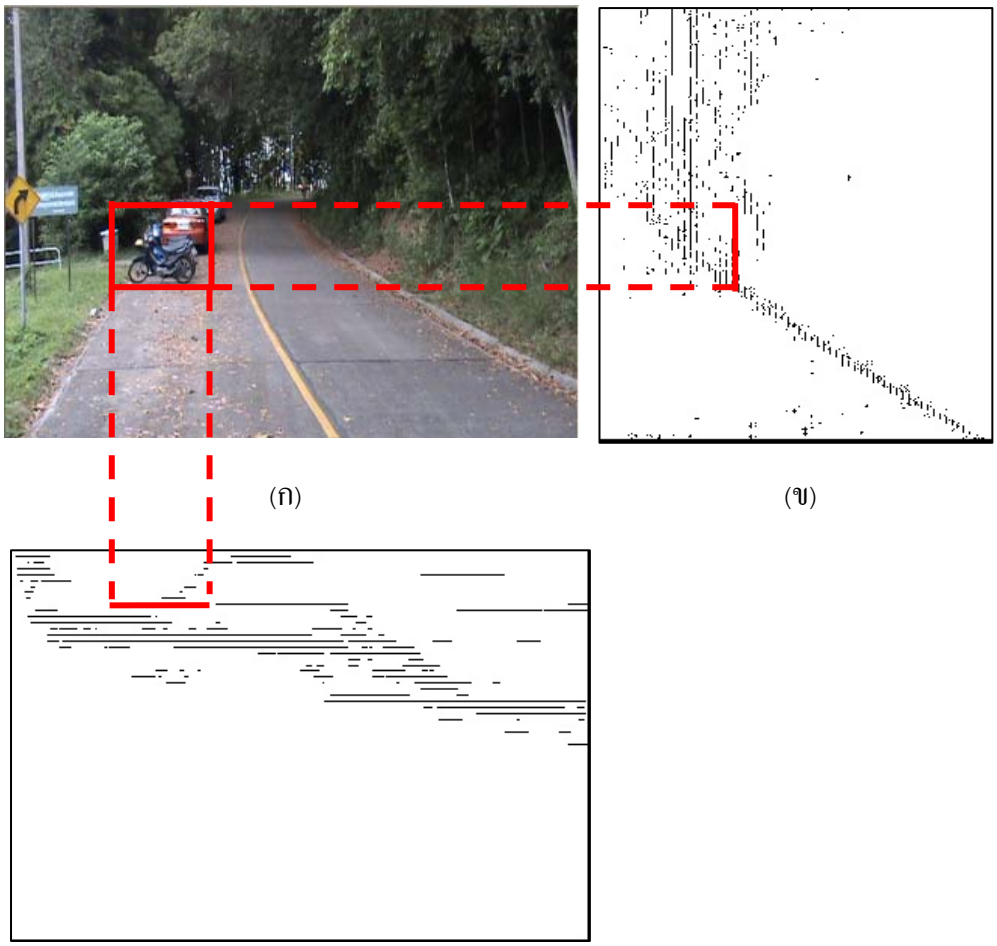
ภาพประกอบ 3-12 ตัวอย่างการสร้างภาพแสดงการสะสมค่าความลึกตามแนวแกน U-V
(ก) ภาพแสดงค่าความลึก,
(ข) ภาพแสดงการสะสมค่าความลึก ตามแนวแกน V
(ค) ภาพ แสดงการสะสมค่าความลึกตามแนวแกน U

3.4.3 การค้นหาตำแหน่งของเส้นตรงในภาพด้วยวิธีการแปลงฮัฟ

ส่วนนี้จะเป็นส่วนการค้นหาตำแหน่งของเส้นตรงในภาพแสดงการสะสมค่าความลึกในแนวแกน U และ V ซึ่งขั้นตอนการทำงานจะแสดงในหัวข้อ 2.2.4 โดยตำแหน่งของเส้นตรงที่ได้ในภาพแสดงการสะสมค่าความลึกในแนวแกน V จะเป็นค่าที่ใช้ระบุตำแหน่งของสิ่งกีดขวางในแนวแกน X และค่าตำแหน่งในแนวแกนพิกัด X ของภาพแสดงการสะสมค่าความลึกในแนวแกน V

จะเป็นค่าพิกเซลที่ใช้สำหรับการคำนวณหาค่าระยะทางของสิ่งกีดขวางด้วยสมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าพิกเซลและค่าระยะทาง

ส่วนตำแหน่งของเส้นตรงในภาพแสดงการสะสมค่าความลึกในแนวแกน U จะเป็นตัวระบุตำแหน่งของสิ่งกีดขวางที่อยู่ในภาพตามในแนวแกน Y ดังแสดงการทำงานในภาพประกอบ 3-13



(ก) (ข)

(ค)

ภาพประกอบ 3-13 ตัวอย่างการค้นหาตำแหน่งของสิ่งกีดขวาง โดย

(ก) ภาพตัวอย่างเมื่อมีสิ่งกีดขวางอยู่ด้านหน้ารถ

(ข) ตำแหน่งเส้นตรงของสิ่งกีดขวางที่ระบบทำการค้นหาในภาพแสดงการสะสมค่าความลึกตามแนวแกน V

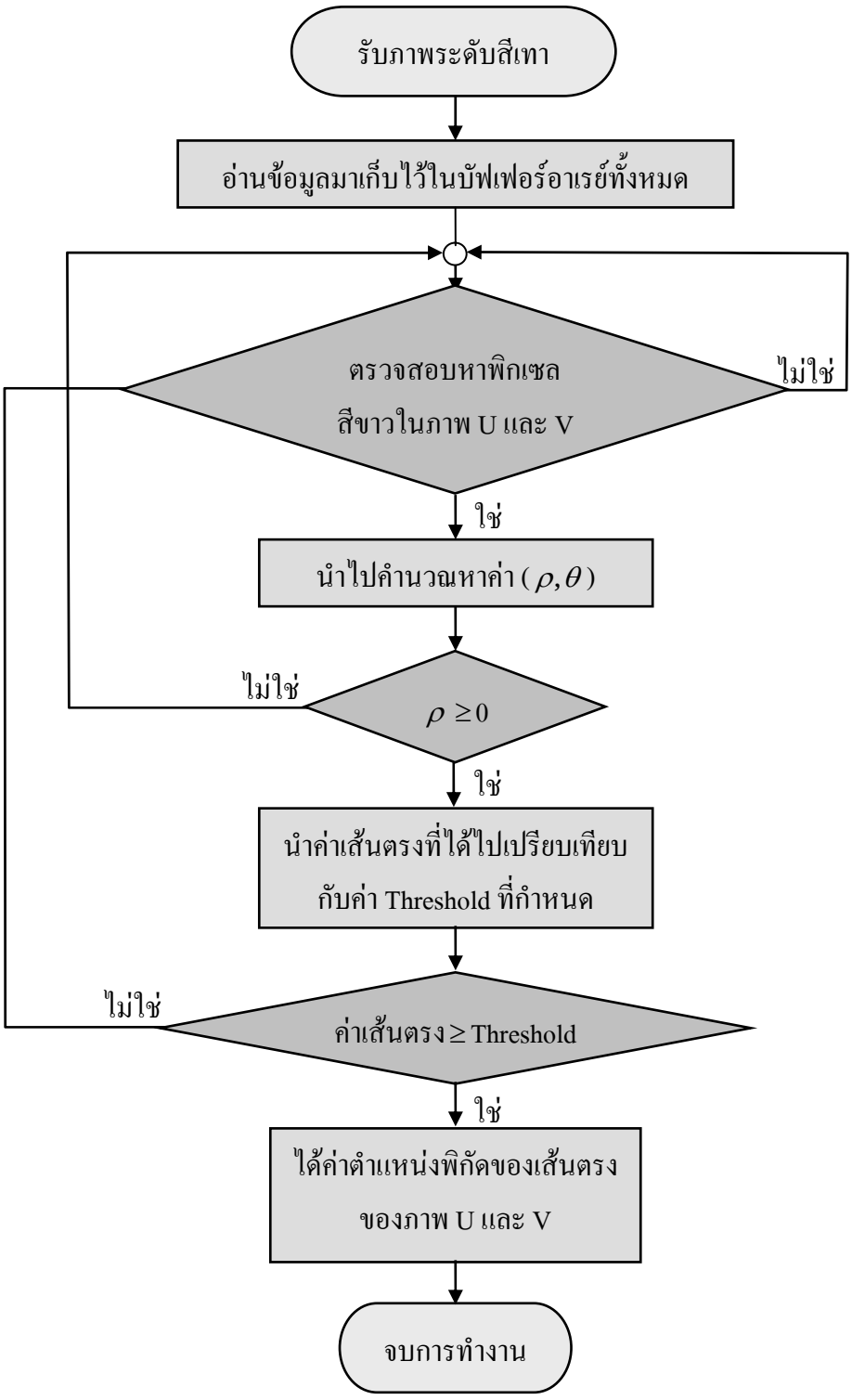
(ค) ตำแหน่งเส้นตรงของสิ่งกีดขวางที่ระบบทำการค้นหาในภาพแสดงการสะสมค่าความลึกตามแนวแกน U

จากภาพประกอบ 3-13 เป็นการแสดงการหาตำแหน่งของสิ่งกีดขวางในภาพ โดยภาพแสดงการสะสมค่าความลึกในแนวแกน V จะเป็นตัวระบุตำแหน่งของสิ่งกีดขวางในแนวแกน Y ของภาพแสดงค่าความลึก และภาพแสดงการสะสมค่าความลึกในแนวแกน U เป็นตัวระบุตำแหน่งของสิ่งกีดขวางในแนวแกน X และค่าพิกัดตำแหน่งในแกน X ของภาพแสดงการสะสมค่าความลึกในแนวแกน V นี้ยังเป็นค่าพิกเซลที่นำไปทำการคำนวณหาค่าระยะทางระหว่างสิ่งกีดขวางและรถด้วยสมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าพิกเซลและค่าระยะทาง ต่อไป

ในภาพประกอบ 3-13 (ข) เส้นตรงที่เกิดขึ้นที่มีลักษณะขนานกับแนวแกน Y นั้นคือเส้นตรงของสิ่งกีดขวางที่อยู่ด้านหน้าของรถ และเส้นทแยงมุมที่เกิดขึ้นคือเส้นตรงที่แทนพื้นที่ของถนน และเมื่อมีเส้นตรงที่ขนานกับแกน Y ตัดกับเส้นตรงทแยงมุม จะทำให้พบว่ามีสิ่งกีดขวางที่อยู่ด้านหน้ารถและอยู่บนถนนที่รถทำการเคลื่อนที่ไปด้วย

ในภาพประกอบ 3-13 (ค) เส้นตรงที่เกิดขึ้นมีลักษณะขนานกับแกน X และเป็นเส้นตรงที่ระบุตำแหน่งของสิ่งกีดขวางที่อยู่ในภาพ

และขั้นตอนการค้นหาตำแหน่งของเส้นตรงด้วยกระบวนการวิธีการแปลงฮัฟ สามารถแสดงได้ดังภาพประกอบ 3-14

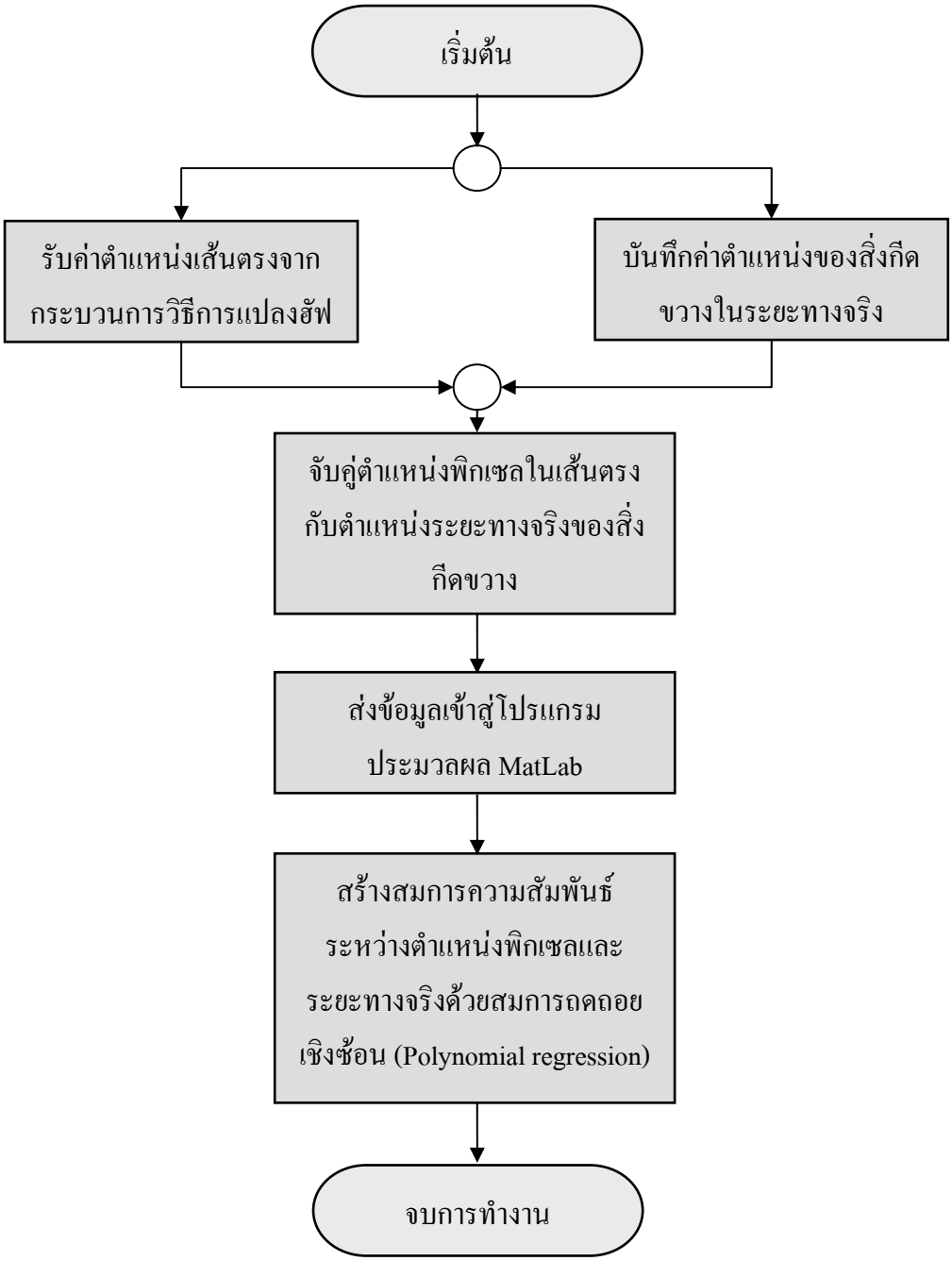


ภาพประกอบ 3-14 ผังการหาเส้นตรงของกระบวนการวิธีการแปลงฮัฟ

3.5 การประมาณค่าระยะทาง

การประมาณค่าระยะทาง คือการหาระยะทางระหว่างสิ่งกีดขวางและยานยนต์ไร้คนขับ ซึ่งสามารถทำได้หลายวิธีและวิธีที่เลือกใช้ในงานวิจัยนี้คือการสร้างสมการความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งพิกเซลและระยะทาง ซึ่งที่เลือกใช้วิธีการประมาณค่าระยะทางวิธีนี้ เพราะการใช้วิธีการประมาณค่าระยะทางในรูปแบบอื่นนั้นต้องทราบค่าระยะโฟกัส และค่าซีซีดีของกล้องวีดีโอที่ใช้ในการทำงาน และเนื่องด้วยกล้องวีดีโอที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ทางบริษัทผู้ผลิตไม่ประสงค์ที่จะเปิดเผยทำให้ไม่สามารถใช้การประมาณค่าระยะทางวิธีอื่นได้ทำให้เลือกใช้วิธีการสร้างสมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าพิกเซลและระยะทางและได้เลือกใช้สมการความสัมพันธ์ถดถอยเชิงซ้อน และสาเหตุที่ต้องใช้สมการถดถอยเชิงซ้อน เพราะกราฟแสดงความสัมพันธ์ของคู่อันดับระหว่างค่าพิกเซลและระยะทางเป็นกราฟที่มีความสัมพันธ์ที่ตรงกันข้ามคือ เมื่อค่าพิกเซลมีค่ามาก (0-255) ค่าระยะทางจะมีค่าน้อย (0-30 เมตร) และเมื่อค่าพิกเซลมีค่าน้อย จะทำให้ค่าระยะทางมีค่ามากขึ้น ซึ่งเป็นความสัมพันธ์แบบตรงกันข้าม

ในส่วนของการทำงานเมื่อได้ตำแหน่งของเส้นตรงแล้ว ในส่วนนี้จะเป็นการจับคู่ความสัมพันธ์ระหว่างค่าพิกเซลของเส้นตรงและระยะทางจริง โดยใช้สมการถดถอยเชิงซ้อน (Polynomial Regression) [12] มาช่วยในการสร้างสมการแสดงความสัมพันธ์ และขั้นตอนการสร้างสมการแสดงความสัมพันธ์ สามารถแสดงได้ดังภาพประกอบ 3-15



ภาพประกอบ 3-15 ผังการทำงานในส่วนของการประมาณค่าระยะทาง

และในส่วนของการสร้างสมการความสัมพันธ์โดยใช้สมการถดถอยเชิงซ้อนนั้น รูปแบบของสมการทั่วไปของสมการคือ

$$y = a_0 + a_1x + a_2x^2 + ... + a_mx^m + e \quad (3\text{-}1)$$

โดย m แทนเลขชี้กำลังสูงสุดของโพลีโนเมียลจากสมการที่ (3-1) สมการถดถอยแบบโพลีโนเมียลคือ $a_0 + a_1x + a_2x^2 + ... + a_mx^m$ ซึ่งค่ากำลังสองของค่าความคลาดเคลื่อนจะอยู่ในรูปแบบคล้ายกับกรณีของสมการเส้นตรง

$$\hat{y} = a_0 + a_1x + a_2x^2 + ... + a_mx^m \quad (3\text{-}2)$$

จากสมการที่ (3-2) ผลต่างกำลังสองของข้อมูลจริงและข้อมูลจากสมการถดถอยคือ

$$SSE = \sum_{i=1}^{n}\left(y_i + \hat{y}_i\right)^2 = \sum_{i=1}^{n}\left(y - a_0 - a_1x - a_2x^2 - ... - a_mx^m\right)^2 \quad (3\text{-}3)$$

จากสมการที่ (3-3) นำมาทำการหาสัมประสิทธิ์ของสมการโพลีโนเมียล กำหนดการหาอนุพันธ์ย่อยเท่ากับศูนย์ ดังนั้นจะทำให้ได้ค่าสัมประสิทธิ์ที่ไม่ทราบค่าคือ $a_0, a_1, a_2, ..., a_m$ เพื่อทำการหาค่าสัมประสิทธิ์ดังกล่าวสามารถทำได้โดยการแก้สมการ m ตัวแปรโดยจำนวนสัมประสิทธิ์ขึ้นอยู่กับค่าเลขชี้กำลังสูงสุดของสมการโพลีโนเมียล โดยในสมการที่ (3-4) เป็นตัวอย่างการหาตัวแปรของสมการสัมประสิทธิ์ลำดับที่ 2

$$SSE = \sum_{i=1}^{n}e_i^2 = \sum_{i=1}^{n}(y - a_1x - a_2.x^2 - C)^2 \quad (3\text{-}4)$$

การหาค่าสัมประสิทธิ์ a_1, a_2 และ C จะใช้วิธีการหาอนุพันธ์ย่อยโดยทำอนุพันธ์ย่อยสมการที่ (3-4) เทียบกับตัวแปรทั้งสามตัว เมื่อต้องการค่าความคลาดเคลื่อนต่ำที่สุด ดังนั้นค่าอนุพันธ์ย่อยจะต้องเท่ากับศูนย์ ดังนั้นเมื่อทำการแก้สมการทั้งสองจะได้สัมประสิทธิ์ a_1, a_2 และ C ดังนี้

$$A = \begin{vmatrix} n & \sum x & \sum x^2 \\ \sum x & \sum x^2 & \sum x^3 \\ \sum x^2 & \sum x^3 & \sum x^4 \end{vmatrix} \quad (3\text{-}5)$$

$$C = \frac{\begin{vmatrix} \sum y & \sum x & \sum x^2 \\ \sum xy & \sum x^2 & \sum x^3 \\ \sum x^2 y & \sum x^3 & \sum x^4 \end{vmatrix}}{A} \quad (3\text{-}6)$$

$$a_1 = \frac{\begin{vmatrix} n & \sum y & \sum x^2 \\ \sum x & \sum xy & \sum x^3 \\ \sum x^2 & \sum x^2 y & \sum x^4 \end{vmatrix}}{A} \quad (3\text{-}7)$$

$$a_2 = \frac{\begin{vmatrix} n & \sum x & \sum y \\ \sum x & \sum x^2 & \sum xy \\ \sum x^2 & \sum x^3 & \sum x^2 y \end{vmatrix}}{A} \quad (3\text{-}8)$$

โดยที่ $\sum x = \sum_{i=1}^{n} x_i$

นำค่าตัวแปรจากสมการที่ (3-6), (3-7) และ (3-8) มาแทนค่าเป็นสมการถดถอยเชิงซ้อนกำลังสอง

$$y = c + a_1 x + a_2 x^2 \quad (3\text{-}9)$$

จากสมการ (3-9) เป็นตัวอย่างการสร้างสมการความสัมพันธ์ในค่าสัมประสิทธิ์ลำดับที่ 2 แต่ในการทดสอบในบทที่ 4 ได้ทำการทดสอบเพื่อหาว่าสัมประสิทธิ์ลำดับใดที่เหมาะสมกับการทำงานของระบบที่ให้ความแม่นยำในการหาค่าระยะทางได้ดีที่สุด

3.6 ขั้นตอนการทดสอบการทำงานของระบบตรวจจับสิ่งกีดขวาง

เมื่อได้สมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพิกเซลและระยะทางจากหัวข้อ 3.5 แล้ว ขั้นตอนต่อไปจะเป็นการทดสอบหาค่าความผิดพลาดของระบบตรวจจับสิ่งกีดขวาง โดยจะทดสอบระบบเพื่อหาความพร้อมของระบบที่สร้างขึ้นว่ามีความถูกต้องมากน้อยเพียงใด โดยมีลำดับขั้นตอนการทดสอบดังนี้

3.6.1 ทดสอบหาระยะห่างระหว่างกล้องที่เหมาะสมกับระบบ

เป็นการทดสอบเพื่อทำการค้นหาระยะห่างระหว่างกล้องที่เหมาะสมกับการทำงานของระบบตรวจจับสิ่งกีดขวาง โดยการทดสอบจะทำการกำหนดค่าระยะห่างระหว่างกล้องที่ใช้ในการทดสอบที่ 3 ระยะ คือ 1 เมตร, 70 เซนติเมตร และ 40 เซนติเมตร

3.6.2 ทดสอบหาค่าความผิดพลาดของระบบเมื่อทำการเปลี่ยนลักษณะของสิ่งกีดขวางที่อยู่บนถนน

เป็นการทดสอบเมื่อทำการเปลี่ยนขนาดความสูงของสิ่งกีดขวางเพื่อทำการหาผลกระทบที่มีต่อการทำงานของระบบเมื่อสิ่งกีดขวางมีความสูงที่เปลี่ยนแปลงไป และทำการทดสอบระบบด้วยการเปลี่ยนสีพื้นผิวของสิ่งกีดขวางเป็นสีต่างๆ เพื่อหาผลกระทบที่มีต่อการทำงานของระบบตรวจจับสิ่งกีดขวาง โดยรายละเอียดจะอธิบายในบทที่ 4

3.6.3 ทดสอบหาค่าความผิดพลาดของระบบเมื่อทำการเปลี่ยนลักษณะของสภาพแวดล้อมและสภาพแสง

เป็นส่วนการทดสอบเพื่อหาค่าความผิดพลาดของระบบที่เกิดขึ้นเมื่อระบบทำงานในสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน และทำการทดสอบเพื่อหาสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมกับการทำงานของระบบมากที่สุด โดยรายละเอียดจะอธิบายในบทที่ 4

ในบทนี้ได้แสดงถึงแนวคิดและแสดงวิธีดำเนินงานวิจัย โดยแบ่งออกเป็น 3 ส่วนหลัก คือ ในส่วนแรกเป็นส่วนของการประมวลผลภาพเพื่อทำการสร้างภาพแสดงค่าความลึกและรวมไปถึงการสร้างภาพแสดงการสะสมค่าความลึกในแนวแกน U-V และการหาตำแหน่งของเส้นตรงในภาพแสดงการสะสมค่าความลึกในแนวแกน U-V ด้วยกระบวนการวิธีการแปลงฮัฟ ส่วนที่สองเป็นการประมาณค่าระยะทาง โดยจะทำการสร้างสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าพิกเซลและค่าระยะทางด้วยสมการถดถอยเชิงซ้อนและส่วนที่สามจะเป็นส่วนของการนำระบบทั้งหมดมาทดสอบกับสภาพแวดล้อมจริงเพื่อทำการหาข้อผิดพลาดของระบบแล้วทำการแก้ไขต่อไป โดยผลการทดสอบได้นำเสนอบทที่ 4

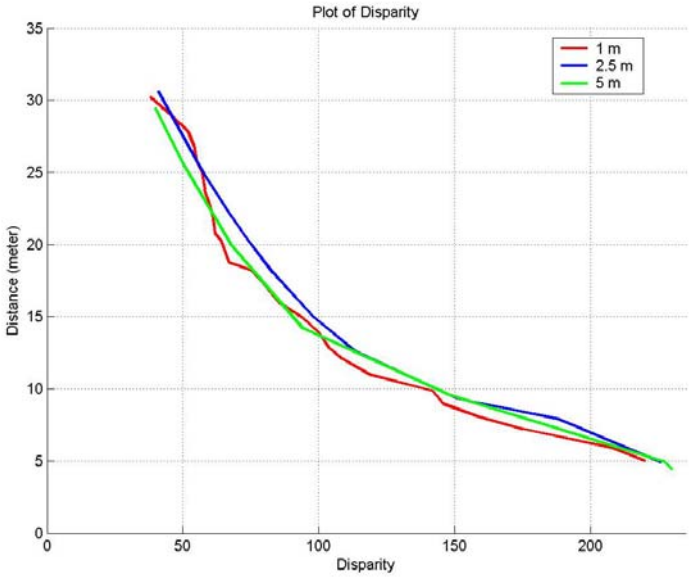
บทที่ 4

ผลการทดลอง

ในบทนี้กล่าวถึงผลการทดสอบส่วนต่างๆของงานวิจัย ซึ่งประกอบด้วยการหาสมการความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งพิกเซลและค่าความลึก ที่มีค่าความถูกต้องมากที่สุด และทำการทดสอบหาระยะห่างระหว่างกล้องที่เหมาะสมกับระบบ พร้อมทั้งทำการทดสอบการทำงานของระบบเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของสิ่งกีดขวางและสภาพแวดล้อมในการทดสอบ ขั้นตอนและวิธีการในการทดสอบจะเป็นไปตามขั้นตอนและวิธีการที่ได้กล่าว ถึงในบทที่ 3 และทำการทดสอบบนรถอัจฉริยะ REAL

4.1 สร้างสมการความสัมพันธ์ระหว่างพิกเซลและค่าความลึก

การหาความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางและค่าความลึก สามารถทำได้โดยการจับคู่ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความลึกและระยะทางที่รถอัจฉริยะทำการเคลื่อนที่ไปในเวลาเดียวกัน โดยใช้วิธีการสร้างสมการความสัมพันธ์ด้วยสมการถดถอยเชิงซ้อนในการทำงาน ซึ่งได้อธิบายวิธีการสร้างสมการถดถอยเชิงซ้อนไว้ในหัวข้อที่ 3.5 และจากการทดสอบเก็บค่าข้อมูลระหว่างค่าความลึกและค่าระยะทาง จะทำการเก็บข้อมูลเป็น 3 ชุดข้อมูล คือ ข้อมูลชุดที่ 1 จะเป็นการจับคู่ความสัมพันธ์ของข้อมูลระหว่างค่าความลึกและค่าระยะทางทุกๆ 1 เมตร ข้อมูลชุดที่ 2 จะเป็นการจับคู่ความสัมพันธ์ของข้อมูลระหว่างค่าความลึกและค่าระยะทางทุกๆ 2.5 เมตร และข้อมูลชุดที่ 3 จะเป็นการจับคู่ความสัมพันธ์ของข้อมูลระหว่างค่าความลึกและค่าระยะทางทุกๆ 5 เมตร และผลการจับคู่ความสัมพันธ์แสดงดังภาพประกอบ 4-1



ภาพประกอบ 0-1 กราฟแสดงการเปรียบเทียบการจับคู่ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความลึกและค่าระยะทาง

เมื่อทำการเก็บข้อมูลแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความลึกและระยะทางแล้วในสภาพแวดล้อมที่เวลา 16.00 น. ที่ความเข้มแสง 1876 ลักซ์ หลังจากนั้นจะทำการนำค่าความสัมพันธ์ของข้อมูลที่ได้มาทำการสร้างสมการความสัมพันธ์ด้วยสมการถดถอยเชิงซ้อน และจะทำการทดสอบสมการสัมประสิทธิ์ตั้งแต่ค่าสัมประสิทธิ์ที่ 2 จนถึงค่าสัมประสิทธิ์ที่ 6 เพื่อที่จะทดสอบหาสมการสัมประสิทธิ์ที่ให้ค่าความผิดพลาดน้อยที่สุด

โดย y คือ ค่าระยะทางจริงที่สมการทำการคำนวณออกมาได้

x คือ ค่าพิกเซลหรือค่าความลึกที่เกิดขึ้นในภาพแสดงการสะสมค่าความลึก

โดยสมการค่าสัมประสิทธิ์ที่ 2 จนถึงค่าสัมประสิทธิ์ที่ 6 มีสมการดังนี้

สมการของสัมประสิทธิ์กำลัง 2

$$y = (0.0001046255x^2 - 0.3966x + 43.3197) \quad (4\text{-}1)$$

สมการของสัมประสิทธิ์กำลัง 3

$$y = (-0.0000080717\,x^3 + 0.00412788\,x^2 - 0.7430\,x + 54.5155) \quad (4\text{-}2)$$

สมการของสัมประสิทธิ์กำลัง 4

$$y = (0.0000000140788192x^4 - 0.00002156745x^3 + 0.00494722x^2 - 0.724521x + 58.0931) \quad (4\text{-}3)$$

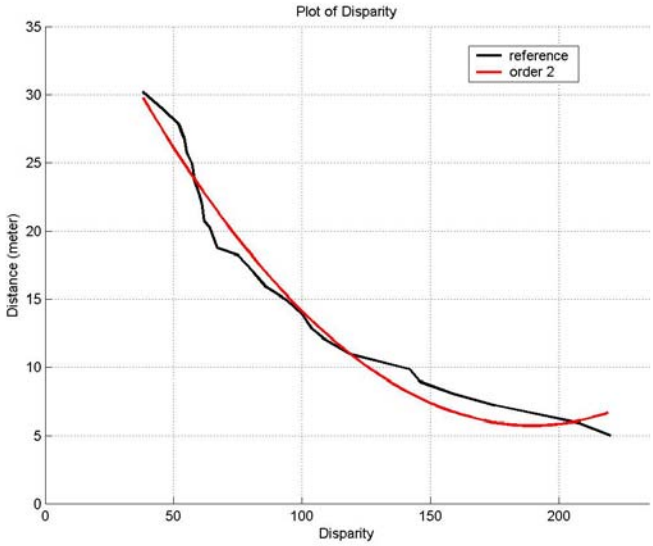
สมการของสัมประสิทธิ์กำลัง 5

$$y = (0.0000000008772571x^5 - 0.0000005299314285x^4 + 0.00011139997x^3 - 0.0083x^2 - 0.1538x + 44.2405) \quad (4\text{-}4)$$

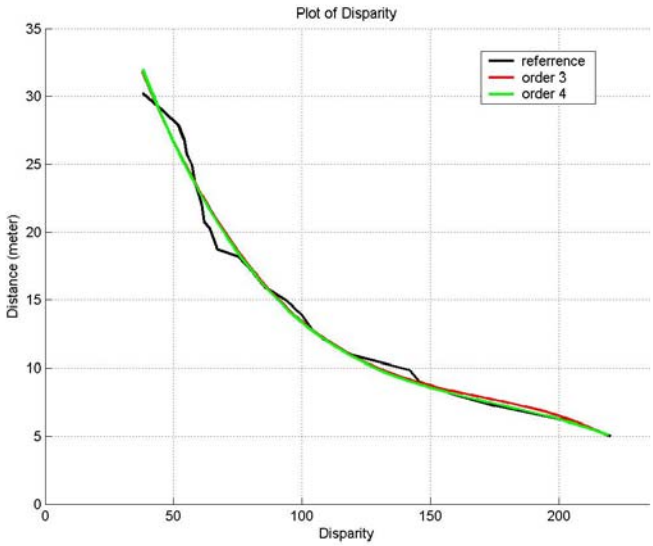
สมการของสัมประสิทธิ์กำลัง 6

$$y = (-0.0000000000420382x^6 + 0.0000000328654x^5 - 0.000010145x^4 + 0.0015604x^3 - 0.1228x^2 + 4.31789x - 22.9069) \quad (4\text{-}5)$$

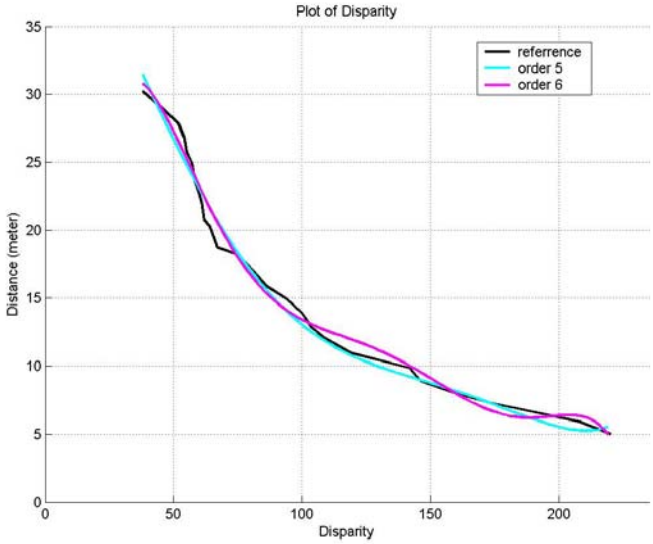
เมื่อทำการทดสอบทำการเปลี่ยนค่า x ที่หมายถึงค่าพิกเซลหรือค่าความลึก ที่อยู่ในสมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าความลึกหรือค่าพิกเซลและค่าระยะทาง ครั้งละ 1 พิกเซลและทำการแทนลงในสมการทั้ง 5 สมการ เพื่อทดสอบความถูกต้องของสมการทั้ง 5 สมการเมื่อทำการเปรียบเทียบกับคู่อันดับระหว่างค่าความลึกและค่าระยะทางที่ได้ทำการทดสอบในขั้นตอนแรกมาเป็นค่าอ้างอิง โดยผลการทดสอบแสดงดังภาพประกอบที่ 4-2



ภาพประกอบ 0-2 กราฟแสดงการตอบสนองของสมการสัมประสิทธิ์ที่ 2

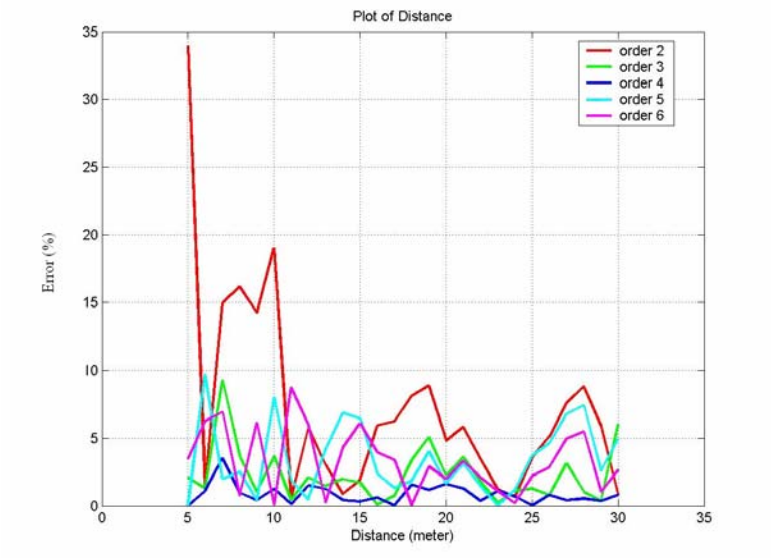


ภาพประกอบ 0-3 กราฟแสดงการตอบสนองของสมการสัมประสิทธิ์ที่ 3 และ 4



ภาพประกอบ 0-4 กราฟแสดงการตอบสนองของสมการสัมประสิทธิ์ที่ 5 และ 6

เมื่อทำการนำสมการสัมประสิทธิ์ทั้ง 5 สมการ มาคำนวณหาค่าความผิดพลาดโดยการแทนค่าข้อมูลของค่าความลึกที่ทำการบันทึกไว้ในข้างต้นลงในสมการสัมประสิทธิ์ทั้ง 5 สมการ และทำการเปรียบเทียบค่าระยะทางที่ได้จากการคำนวณจากสมการสัมประสิทธิ์และระยะทางที่ทำการทดสอบจริงในขั้นตอนแรก และทำการคำนวณหาค่าความผิดออกมา โดยผลการหาค่าความผิดพลาดได้ผลดังภาพประกอบ 4-5



ภาพประกอบ 0-5 กราฟแสดงค่าความผิดพลาดของสมการสัมประสิทธิ์ทั้ง 5 สมการ

จากการทดสอบการแทนค่าความลึก หรือค่า x ในสมการ ลงในสมการสัมประสิทธิ์ทั้ง 5 สมการ และทำให้ได้ผลลัพธ์คือค่า y ออกมา และทำการเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้กับความสัมพันธ์ระหว่างค่าระยะทางกับค่าความลึก ที่เกิดขึ้นจริง พบว่าสมการสัมประสิทธิ์ที่ 4 เป็นสมการที่มีการแกว่งของกราฟที่น้อยที่สุด และค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นกับสมการสัมประสิทธิ์ที่ 4 นั้นมีค่าน้อยกว่าเมื่อทำการเปรียบเทียบกับสมการสัมประสิทธิ์ลำดับอื่นๆ ดังนั้นในการทำงานจึงเลือกใช้สมการสัมประสิทธิ์ที่ 4 เป็นสมการที่ใช้ในการหาระยะห่างระหว่างสิ่งกีดขวางและรถ

4.2 ทดสอบและค้นหาระยะห่างระหว่างกล้องที่เหมาะสมกับการทำงานของระบบตรวจจับสิ่งกีดขวาง

ในการทดสอบนี้จะทำการทดสอบเพื่อหาค่าระยะห่างระหว่างกล้องสเตอริโอ ที่เหมาะสมกับระบบตรวจจับสิ่งกีดขวางและทำให้ระบบมีการทำงานได้ไกลที่สุดและเกิดความผิดพลาดน้อยที่สุด จากการติดตั้งกล้องในภาพประกอบ 3-4 จะทำการทดสอบติดตั้งระยะห่างระหว่างกล้องสเตอริโอ เป็น 3 ระยะ คือ 1 เมตร 70 เซนติเมตร และ 40 เซนติเมตร และขั้นตอนการทดสอบจะทำการกำหนดระยะห่างระหว่างวัตถุตัวอย่างกับรถอัจฉริยะเป็นระยะทาง 30 เมตร และทำการเคลื่อนที่รถเข้าหาวัตถุตัวอย่างด้วยความเร็ว 5 กิโลเมตร/ชั่วโมง ทำการบันทึกค่าระยะห่าง

ระหว่างกล้องสเตอริโอ ที่ทำการติดตั้งอยู่บนรถอัจฉริยะและวัตถุตัวอย่างที่ระบบสามารถคำนวณได้ โดยใช้สมการความสัมพันธ์ที่ค่าสัมประสิทธิ์กำลัง 4 คือ

สมการสัมประสิทธิ์ที่ 4 ของระยะห่างระหว่างกล้อง 40 เซนติเมตร

$$y = (0.00029844x^4 - 0.0170x^3 + 0.3311x^2 - 2.2281x + 9.2826) \quad (4\text{-}6)$$

สมการสัมประสิทธิ์ที่ 4 ของระยะห่างระหว่างกล้อง 70 เซนติเมตร

$$y = (0.0000088962x^4 - 0.00061443x^3 + 0.0063x^2 - 1.2072x + 33.4688) \quad (4\text{-}7)$$

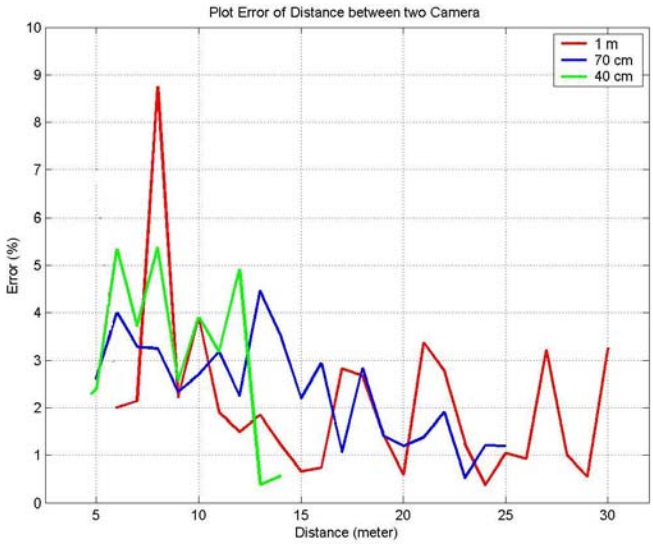
สมการสัมประสิทธิ์ที่ 4 ของระยะห่างระหว่างกล้อง 1 เมตร

$$y = (0.0000000140788192x^4 - 0.00002156745x^3 + 0.00494722x^2 - 0.724521x + 58.0931) \quad (4\text{-}8)$$

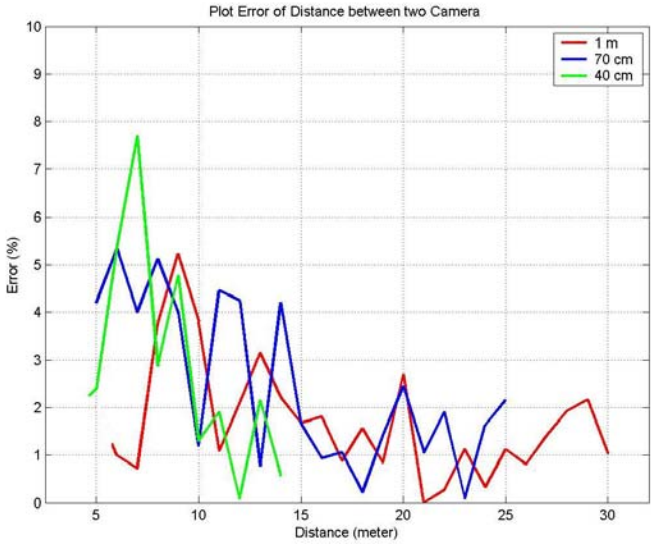
เพื่อที่จะได้ความถูกต้องมากที่สุดจึงกำหนดให้มีการทดสอบระบบในสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน 2 สภาพแวดล้อม คือ

1. ที่เวลา 12.00 น. แดดจัด ความเข้มแสงที่ 61234 ลักซ์
2. ที่เวลา 16.00 น. สภาพแสงแดดร่ม ความเข้มแสงที่ 1500 – 2000 ลักซ์

และทำการเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดที่ระบบสามารถคำนวณได้เมื่อทำการเปลี่ยนระยะห่างระหว่างกล้องสเตอริโอ ทั้ง 3 ระยะ และทำการเปรียบเทียบค่าระยะทางที่ระบบคำนวณได้ กับระยะทางจริง และทำการคำนวณค่าผิดพลาดออกมา ดังภาพประกอบที่ 4-6 และ 4-7



ภาพประกอบ 0-6 กราฟแสดงค่าความผิดพลาด ที่เวลา 12.00 น.



ภาพประกอบ 0-7 กราฟแสดงค่าความผิดพลาด ที่เวลา 16.00 น.

จากการทดสอบพบว่า ที่ระยะห่างระหว่างกล้องสเตอริโอ ที่ 1 เมตร ระบบสามารถทำการตรวจจับสิ่งกีดขวางที่มีระยะทางได้ไกลที่สุด คือ ที่ระยะ 30 เมตร และจากการทดสอบพบว่าค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นในขณะการเคลื่อนที่ของแต่ละระยะห่าง มีความแตกต่างกันน้อยมาก จึงทำ

การเลือกใช้ระยะห่างระหว่างกล้องซ้ายและกล้องขวาที่ระยะ 1 เมตร เพราะสามารถตรวจสอบสิ่งกีดขวางได้ไกลที่สุด

ตาราง 0-1 แสดงระยะที่สามารถทำงานได้ของระยะกล้องทั้ง 3 ระยะ

ระยะห่างระหว่างกล้อง	ระยะทางที่ตรวจสอบได้ไกลที่สุด	ระยะทางที่ตรวจสอบได้ใกล้ที่สุด
40เซนติเมตร	14เมตร	4 เมตร
70 เซนติเมตร	25เมตร	5.2 เมตร
1 เมตร	30เมตร	6.5 เมตร

4.3 ทดสอบและหาค่าความผิดพลาดของระบบตรวจจับสิ่งกีดขวางเมื่อทำการเปลี่ยนขนาดและสีของพื้นผิวของสิ่งกีดขวางที่อยู่บนถนน

ในการทดสอบได้ทำการเปลี่ยนแปลงลักษณะของสิ่งกีดขวาง โดยมีจุดประสงค์เพื่อทดสอบระบบการตรวจจับสิ่งกีดขวางเมื่อสิ่งกีดขวางที่อยู่บนท้องถนนมีขนาดและสีของพื้นผิวที่แตกต่างกันออกไป ว่าระบบตรวจจับสิ่งกีดขวางจะยังคงสามารถทำการตรวจจับสิ่งกีดขวางเหล่านั้นได้หรือไม่ โดยการทดสอบได้ทำการแบ่งสิ่งกีดขวางออกเป็น 4 รูปแบบคือ

1. สิ่งกีดขวางที่มีความกว้าง 1 เมตร และความสูง 1.70 เมตร
2. สิ่งกีดขวางที่มีความกว้างที่ 1.56 เมตร สูง 1.23 เมตร
3. สิ่งกีดขวางที่มีสีของพื้นผิวเหมือนกับสีพื้นผิวของถนน และสิ่งกีดขวางมีขนาด กว้าง 1 เมตร สูง 1.23 เมตร
4. สิ่งกีดขวางที่พื้นผิวมีสีที่หลายสี โดยมีขนาดกว้าง 1 เมตร สูง 1.23 เมตร

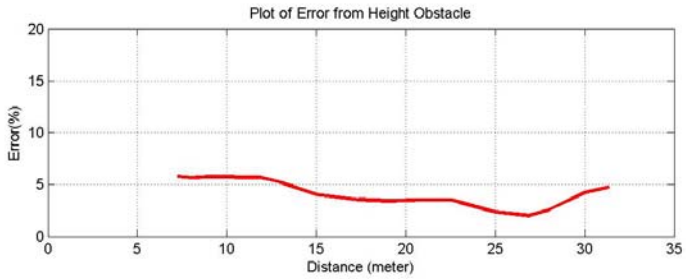
ในการทดสอบได้ทำการนำกล้องโทเทิลสเตชันมาช่วยในการทดสอบ โดยกล้องโทเทิลสเตชันจะเป็นตัววัดระยะอ้างอิง เพื่อนำมาทำการเปรียบเทียบกับระยะทางที่ระบบทำการคำนวณได้ และในการทดสอบจะทำการเคลื่อนที่รถอัจฉริยะด้วยความเร็วที่ 5 กิโลเมตร/ชั่วโมง และทำการทดสอบในสภาพแวดล้อมเดียวกันทั้งหมดที่สภาพแวดล้อมแดดพอเหมาะที่มีค่าความเข้มแสงระหว่าง 1500 – 2000 ลักซ์ หลังจากนั้นจะทำการเปรียบเทียบระหว่างค่าระยะทางที่ระบบคำนวณได้ และระยะทางจริง หลังจากนั้นได้ทำการหาค่าผิดพลาดที่เกิดจากการคำนวณของระบบออกมา ซึ่งการทดสอบหาค่าของระบบได้ทำการใช้สมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าพิกเซลและระยะทางที่ค่าสัมประสิทธิ์ที่ 4 ในการทดสอบ คือ

$$y = (0.0000000140788192x^4 - 0.00002156745x^3 + 0.00494722x^2 - 0.724521x + 58.0931) \quad (4\text{-}9)$$

4.3.1 ทดสอบเมื่อสิ่งกีดขวางมีขนาดความกว้าง 1 เมตร และความสูง 1.70 เมตร

ในการทดสอบ ได้ทำการเพิ่มความสูงของสิ่งกีดขวางให้อยู่ที่ระดับความสูงของสิ่งกีดขวางที่เป็นไปได้ที่สามารถพบบนท้องถนนทั่วไปได้ ที่ความสูง 1.70 เมตร และมีความกว้างที่ 1 เมตร และสีของพื้นผิวของสิ่งกีดขวางเป็นสีขาว โดยในการทดสอบจะทำการนำกล้องโทเทิลสเตชันที่เป็นอุปกรณ์สำหรับการวัดระยะทางซึ่งมีความแม่นยำสูงมาเป็นตัววัดระยะอ้างอิง เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบกับค่าระยะทางที่ระบบสามารถคำนวณได้ และทำการคำนวณค่าความผิดพลาดที่ได้จากการเปรียบเทียบระหว่างค่าระยะทางที่ระบบสามารถคำนวณได้และค่าระยะทางที่กล้องโทเทิลสชันทำการวัดได้ โดยผลการทำงานของระบบตรวจจับสิ่งกีดขวางในส่วนของการสร้างภาพแสดงค่าความลึก แสดงดังภาพประกอบ 4-8 และพบว่าผลลัพธ์ของค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นเมื่อทำการทดสอบระบบแสดงได้ดังภาพประกอบที่ 4-9

ภาพประกอบ 0-8 แสดงผลลัพธ์การสร้างภาพแสดงค่าความลึกเมื่อทำการทดสอบระบบด้วยสิ่งกีดขวางที่มีความสูง 1.70 เมตร

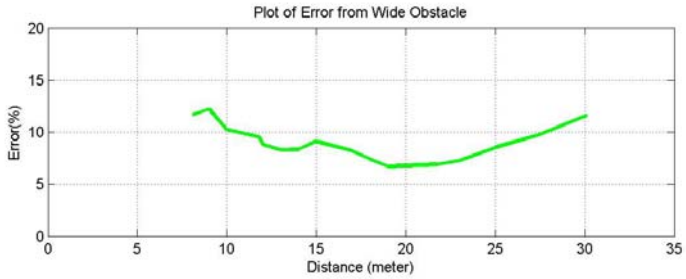


ภาพประกอบ 0-9 แสดงค่าความผิดพลาดเมื่อสิ่งกีดขวางมีขนาดความกว้าง 1 เมตร และความสูง 1.70 เมตร

4.3.2 ทดสอบเมื่อสิ่งกีดขวางมีขนาดความกว้างที่ 1.56 เมตร สูง 1.23 เมตร

ในการทดสอบ ได้ทำการเพิ่มความกว้างของสิ่งกีดขวางให้อยู่ที่ระดับความกว้างของสิ่งกีดขวางที่เป็นไปได้ที่สามารถพบบนท้องถนนทั่วไปได้ ที่ความกว้าง 1.56 เมตร และมีความสูงที่ 1.23 เมตร และสีของพื้นผิวของสิ่งกีดขวางเป็นสีขาว โดยในการทดสอบจะทำการนำกล้องโทเทิลสเตชันที่เป็นอุปกรณ์สำหรับการวัดระยะทางซึ่งมีความแม่นยำสูงมาเป็นตัววัดระยะอ้างอิง เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบกับค่าระยะทางที่ระบบสามารถคำนวณได้ และทำการคำนวณค่าความผิดพลาดที่ได้จากการเปรียบเทียบระหว่างค่าระยะทางที่ระบบสามารถคำนวณได้และค่าระยะทางที่กล้องโทเทิลสเตชันทำการวัดได้ โดยผลการทำงานของระบบตรวจจับสิ่งกีดขวางในส่วนของการสร้างภาพแสดงค่าความลึกแสดงดังภาพประกอบ 4-10 และพบว่าผลลัพธ์ของค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นเมื่อทำการทดสอบระบบแสดงได้ดังภาพประกอบที่ 4-11

ภาพประกอบ 0-10 แสดงผลลัพธ์การสร้างภาพแสดงค่าความลึกเมื่อทำการทดสอบระบบด้วยสิ่งกีดขวางที่มีความกว้าง 1.56 เมตร



ภาพประกอบ 0-11 แสดงค่าความผิดพลาดเมื่อสิ่งกีดขวางมีขนาดความกว้างที่ 1.56 เมตร สูง 1.23 เมตร

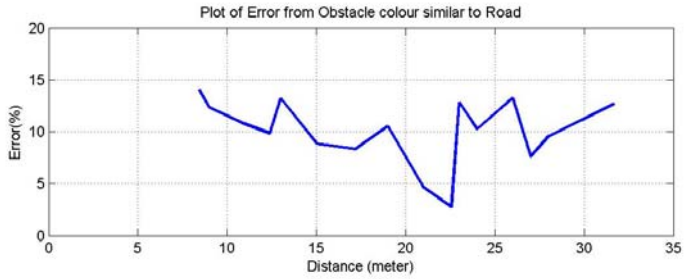
4.3.3 ทดสอบเมื่อสิ่งกีดขวางที่มีสีของพื้นผิวเหมือนกับสีของพื้นผิวของถนน และสิ่งกีดขวางมีขนาดความกว้างที่ 1 เมตร สูง 1.23 เมตร

ในการทดสอบ ได้ทำการเปลี่ยนสีของวัตถุจากสีขาวเป็นสีที่มีความคล้ายคลึงกับสีผิวของพื้นถนนทีทำการทดสอบ และขนาดของวัตถุจะมีความกว้างอยู่ที่ 1 เมตร และมีความสูงที่ 1.23 เมตร โดยในการทดสอบ พบว่าถ้ามีแสงตกกระทบกับพื้นผิวของกีดขวางน้อยเกินไปจะทำให้การทำประมวลผลเพื่อสร้างภาพแสดงค่าความลึกนั้นจะเกิดความผิดพลาดขึ้นดังภาพประกอบที่ 4-12

ภาพประกอบ 0-12 แสดงความผิดพลาดในการหาภาพแสดงค่าความลึกที่เกิดขึ้นเมื่อทำการเปลี่ยนสิ่งกีดขวางให้เป็นสีที่คล้ายคลึงกับสีของพื้นผิวถนน

จากภาพประกอบที่ 4-12 พบว่าเมื่อนำภาพแสดงค่าความลึก ที่ได้มาสร้างภาพแสดงการสะสมค่าความลึกในแนวแกน V พบว่าระบบตรวจจับสิ่งกีดขวางยังคงสามารถค้นหาสิ่งกีด

ขวางที่มีสีของพื้นผิวที่คล้ายคลึงกับสีของพื้นถนนในการทดสอบได้ แต่ผลลัพธ์เมื่อทำการเปรียบเทียบค่าระยะทางระหว่างค่าระยะทางที่ระบบสามารถคำนวณได้และค่าระยะทางที่กล้องโทเทิลสเตชันทำการวัดได้นั้นมีค่าความผิดพลาดที่สูง ผลลัพธ์ที่ได้แสดงได้ดังภาพประกอบที่ 4-13

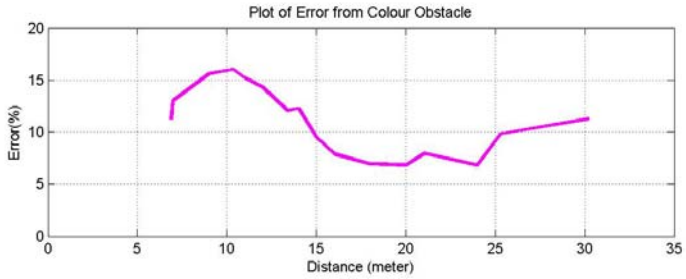


ภาพประกอบ 0-13 ค่าความผิดพลาดเมื่อสิ่งกีดขวางมีสีบนพื้นผิวสีเดียวกับสีพื้นผิวของถนน

4.3.4 ทดสอบเมื่อสิ่งกีดขวางมีสีหลากหลายบนพื้นผิวและมีขนาดความกว้างที่ 1 เมตร สูง 1.23 เมตร

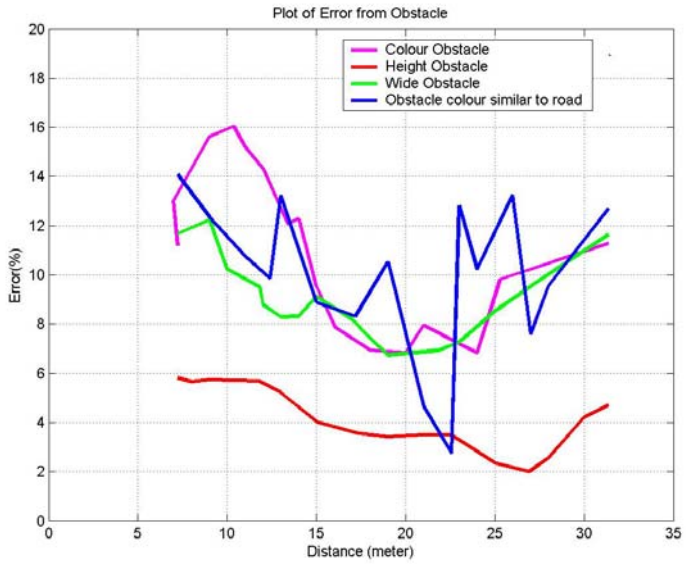
ในการทดสอบ ได้ทำการเพิ่มสีในพื้นผิวของวัตถุให้มีสีสันต่างๆบนพื้นผิว และขนาดของวัตถุจะมีความกว้างอยู่ที่ 1 เมตร และมีความสูงที่ 1.23 เมตร และผลลัพธ์การสร้างภาพแสดงค่าความลึกแสดงดังภาพประกอบ 4-14 โดยในการทดสอบจะทำการนำกล้องโทเทิลสเตชันที่เป็นอุปกรณ์สำหรับการวัดระยะทางซึ่งมีความแม่นยำสูงมาเป็นตัววัดระยะอ้างอิง เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบกับค่าระยะทางที่ระบบสามารถคำนวณได้ และทำการคำนวณค่าความผิดพลาดที่ได้จากการเปรียบเทียบระหว่างค่าระยะทางที่ระบบสามารถคำนวณได้และค่าระยะทางที่กล้องโทเทิลสเตชันทำการวัดได้ โดยผลการทำงานของระบบตรวจจับสิ่งกีดขวางในส่วนของการสร้างภาพแสดงค่าความลึกแสดงดังภาพประกอบ 4-14 และพบว่าผลลัพธ์ของค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นเมื่อทำการทดสอบระบบแสดงได้ดังภาพประกอบที่ 4-15

ภาพประกอบ 0-14 แสดงผลลัพธ์การสร้างภาพแสดงค่าความลึกเมื่อทำการเปลี่ยนสีของพื้นผิวของสิ่งกีดขวางให้มีมากกว่า 1 สี



ภาพประกอบ 0-15 แสดงค่าความผิดพลาดเมื่อสิ่งกีดขวางมีสีบนพื้นผิวมากกว่า 1 สี

จากการทดสอบ ทำการเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นทั้ง 4 การทดสอบ โดยผลการเปรียบเทียบแสดงดังภาพประกอบที่ 4-16



ภาพประกอบ 0-16 ทำการเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นทั้ง 4 การทดสอบ

ตาราง 0-2 แสดงการเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดของการทดสอบเปลี่ยนลักษณะสิ่งกีดขวาง

การทดสอบ	ค่าความผิดพลาดน้อยที่สุด (ร้อยละ)	ค่าความผิดพลาดมากที่สุด (ร้อยละ)	ค่าความผิดพลาดโดยเฉลี่ย (ร้อยละ)
สิ่งกีดขวางมีขนาดความกว้าง 1 เมตร และความสูง 1.70 เมตร	2.01	5.81	4.08
สิ่งกีดขวางมีขนาดความกว้างที่ 1.56 เมตร สูง 1.23 เมตร	6.73	12.23	9.03
เมื่อสิ่งกีดขวางที่มีสีของพื้นผิวเหมือนกับสีของพื้นผิวของถนน	2.75	14.08	10.09
สิ่งกีดขวางมีสีหลากหลายบนพื้นผิวของสิ่งกีดขวาง	6.82	16.04	11.05

จากรูปที่ 4-16 และตารางที่ 4-2 ผลการเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นแสดงให้เห็นว่า สิ่งกีดขวางที่มีความสูงตั้งแต่ 1.5 เมตร จะส่งผลให้ระบบสามารถค้นหาสิ่งกีดขวางได้มีความถูกต้องมากขึ้นและสิ่งกีดขวางที่มีความสูงต่ำกว่า 1.23 เมตร ระบบจะมีค่าความผิดพลาดในการค้นหามากเกินไป เนื่องมาจากการสร้างภาพแสดงการสะสมค่าความลึกในแนวแกน V นั้นสร้างมาจากการนับค่าความลึกที่เท่ากันในแต่ละแถวในภาพแสดงค่าความลึกทำให้ความสูงของสิ่งกีดขวางมีผลต่อการทำการค้นหาเส้นตรงในภาพแสดงการสะสมค่าความลึกในแนวแกน V นั้นคือ เมื่อความสูงของสิ่งกีดขวางมีมาก การเกิดเส้นตรงในภาพแสดงการสะสมค่าความลึกในแนวแกน V ก็จะชัดเจนมากขึ้น ทำให้การค้นหาสิ่งกีดขวางของระบบมีความถูกต้องมากขึ้น และจากรูปที่ 4-16 แสดงให้เห็นว่าเมื่อสิ่งกีดขวางมีความสูงมาก จะทำให้ระบบมีค่าความผิดพลาดในการทำงานที่น้อยลงเมื่อเปรียบเทียบกับผลจากการทดสอบอื่นที่ใช้สิ่งกีดขวางที่มีความสูงน้อยกว่า และภาพประกอบ 4-16 ยังคงแสดงให้เห็นว่าความกว้างของสิ่งกีดขวางนั้นจะมีผลต่อการทำงานของระบบโดยยิ่งสิ่งกีดขวางกว้างมากก็จะยิ่งทำให้ความชัดเจนของเส้นตรงในภาพแสดงการสะสมค่าความลึกในแนวแกน V มีความชัดเจนมายิ่งขึ้นแต่ถ้าเป็นสิ่งกีดขวางที่มีความกว้างเพียงอย่างเดียวแต่มีความสูงที่น้อยกว่า 1.5 เมตร สิ่งกีดขวางนั้นก็จะไม่มีผลต่อการทำงานของระบบ เพราะในการทดสอบได้ทำการเพิ่มความกว้างของสิ่งกีดขวางเป็น 1.56 เมตร ไม่ส่งผลให้ระบบมีการทำงานที่ดีขึ้น แต่จะส่งผลต่อการทำงานของระบบในส่วนของการแสงผลในการระบุตำแหน่งของสิ่งกีดขวางมีอยู่ในภาพ เพราะมีการทำงานร่วมกับส่วนของการสร้างภาพแสดงการสะสมค่าความลึกในแนวแกน U เนื่องมาจากการสร้างภาพแสดงการสะสมค่าความลึกในแนวแกน U นั้นสร้างมาจากการนับค่าความลึกที่เท่ากันในแต่ละคอลัมน์ในภาพแสดงค่าความลึกทำให้ความกว้างของสิ่งกีดขวางมีผลต่อการทำการค้นหาเส้นตรงในภาพแสดงการสะสมค่าความลึกในแนวแกน U

ในส่วนของสีของพื้นผิวของสิ่งกีดขวาง จะมีผลต่อการทำงานของระบบด้วยเช่นกัน เพราะระบบได้นำอัลกอริทึมของเอกสารอ้างอิงที่ [1] ที่ทำงานในพื้นฐานการจับคู่จุดที่มีความเข้มแสงเหมือนกันที่ขึ้นอยู่กับความเข้มแสงที่ตกกระทบกับพื้นผิว และการสะท้อนแสงของสีแต่ละสีมีการสะท้อนที่ไม่เท่ากัน ทำให้ความชัดเจนในการสร้างภาพแสดงค่าความลึกได้รับผลกระทบเมื่อทำการเปลี่ยนสีของสิ่งกีดขวาง และจากการทดสอบ ถ้าพื้นผิวของสิ่งกีดขวางมีสีหลากหลายเกินไปหรือมีสีที่ไม่สามารถสะท้อนแสงได้ ทำให้การสร้างภาพแสดงค่าความลึกนั้นมีความไม่ต่อเนื่องเกิดขึ้น การทำงานของระบบจึงเกิดความผิดพลาดขึ้นได้ และจากภาพประกอบ 4-16 พบว่าค่าความผิดพลาดของระบบเมื่อสิ่งกีดขวางมีสีหลากหลายสีบนพื้นผิวจะมีค่าไม่แตกต่างกับระบบที่ทำการทดสอบด้วยสิ่งกีดขวางที่มีสีขาวมากนัก

เมื่อทำการเปลี่ยนสีของสิ่งกีดขวางเป็นสีที่มีลักษณะคล้ายคลึงกับสีของพื้นผิวของถนน พบว่าส่งผลต่อการทำงานของระบบ ทำให้ระบบเกิดการทำงานผิดพลาด เนื่องมาจากระบบการตรวจจับสิ่งกีดขวางนี้ ได้ทำการนำเอาอัลกอริทึมของเอกสารอ้างอิงที่ [1] ที่ทำงานในพื้นฐานการจับคู่จุดที่มีความเข้มแสงเหมือนกันมาใช้ ทำให้เกิดการผิดพลาดในการตรวจจับสิ่งกีดขวาง เพราะอาจจะมองสิ่งกีดขวางเป็นพื้นถนนไป ทำให้เกิดความผิดพลาดว่าไม่มีสิ่งกีดขวางอยู่บนพื้นผิวถนน

4.4 ทดสอบและหาค่าความผิดพลาดของระบบเมื่อทำการเปลี่ยนลักษณะของสภาพแวดล้อมและสภาพแสง

โดยกำหนดขนาดของสิ่งกีดขวางที่ความสูง 1.23 เมตร กว้าง 1 เมตร และมีสีบนพื้นผิวเป็นสีขาว และทำการกำหนดลักษณะสภาพแวดล้อมในการทดสอบเป็น 5 สภาพแวดล้อม คือ

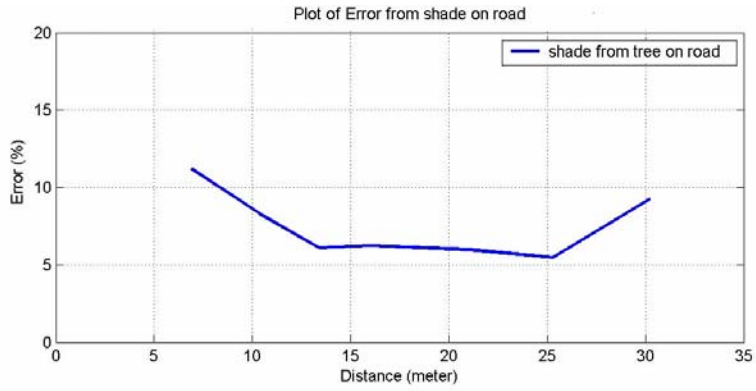
1. สภาพแดดจ้า มีร่มไม้บนพื้นถนน ที่ความเข้มแสง 23135 ลักซ์
2. สภาพแสงแดดจัดตอนเที่ยงเวลา 12.00 น. บริเวณริมอ่าง ที่ความเข้มแสง 74100 ลักซ์
3. สภาพแสงที่พอเหมาะต่อการทำงานของระบบความเข้มแสงอยู่ที่ 1560 ลักซ์
4. สภาพแสงน้อย ตอนเย็นเวลา 16.00 น.
5. สภาพแสงน้อยตอนเย็น หลังเวลาเวลา 18.00 น.

4.4.1 ทดสอบโดยการเปลี่ยนสภาพแวดล้อมเป็นสภาพแวดล้อมที่มีแดดจ้า มีร่มไม้บนพื้นถนน

โดยจากการทดสอบในสภาพแวดล้อม สภาพแดดจ้า มีร่มไม้บนพื้นถนนที่ความเข้มแสง 23135 ลักซ์ พบว่าระบบยังคงสามารถสร้างภาพแสดงค่าความลึกได้ แสดงดังภาพประกอบที่ 4-17

ภาพประกอบ 0-17 แสดงการสร้างภาพแสดงค่าความลึกที่เกิดขึ้นเมื่อทำการเปลี่ยนสภาพแวดล้อม

จากภาพประกอบที่ 4-17 ระบบสามารถสร้างภาพแสดงค่าความลึกได้ ดังนั้นจึงทำการทดสอบระบบตรวจจับสิ่งกีดขวางและคำนวณหาค่าความผิดพลาดระหว่างค่าระยะทางที่ระบบคำนวณได้และค่าระยะทางที่ได้จากการวัดของกล้องโทเทิลสเตชันผลการเปรียบเทียบทดสอบแสดงดังภาพประกอบที่ 4-18



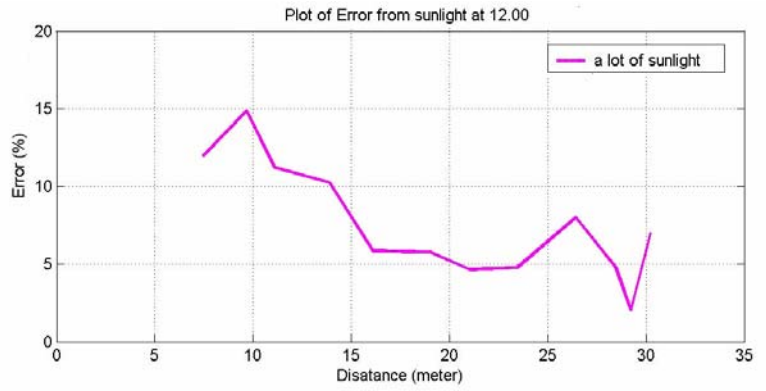
ภาพประกอบ 0-18 แสดงค่าความผิดพลาดเมื่อสภาพแวดล้อมในการทดสอบมีร่มไม้บนพื้นผิวถนน

4.4.2 ทดสอบโดยการเปลี่ยนสภาพแวดล้อมเป็นสภาพแวดล้อมที่มีแดดจัด ตอนเที่ยงเวลา 12.00 น.

ทำการทดสอบในสภาพแวดล้อมแสงแดดจัด ที่มีสภาพแสงเท่ากันทั่วทุกบริเวณทดสอบ ในช่วงเวลา 12.00 น. โดยจะมีปริมาณความเข้มแสงที่ 74100 ลักซ์ พบว่าระบบยังคงสามารถสร้างภาพแสดงค่าความลึกได้ แสดงดังภาพประกอบที่ 4-19

ภาพประกอบ 0-19 แสดงการสร้างภาพแสดงค่าความลึกที่เกิดขึ้นเมื่อทำการเปลี่ยนสภาพแวดล้อม

จากภาพประกอบที่ 4-19 ระบบสามารถหาภาพแสดงค่าความลึกได้ แต่ยังคงมีความผิดพลาดบ้างบางส่วนโดยจากภาพประกอบที่ 4-19 ภาพแสดงค่าความลึก ที่ได้มีการขาดหายไปและไม่ชัดเจนในบางส่วน เพราะสภาพแสงที่มากเกินไป ดังนั้นจึงทำการทดสอบระบบและค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นเมื่อทำการเปรียบเทียบกับกล้องโทเทิลสเตชันได้ผลการทดสอบภาพประกอบที่ 4-20



ภาพประกอบ 0-20 แสดงค่าความผิดพลาดเมื่อสภาพแวดล้อมในการทดสอบเป็นสภาพแดดจัดเวลา 12.00 น.

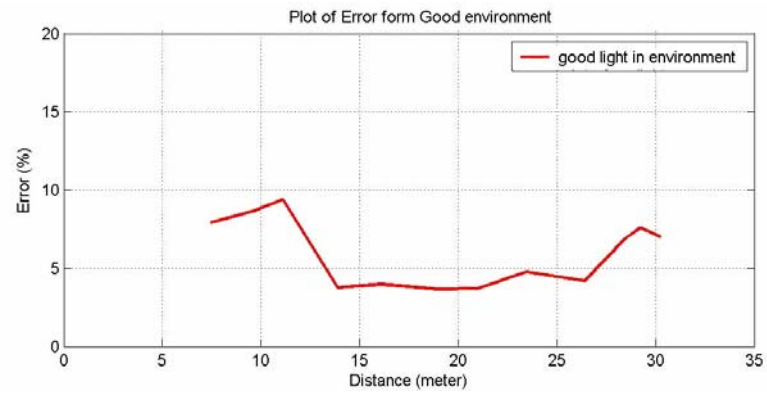
จากภาพประกอบที่ 4-20 พบว่าค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้น ยังเป็นค่าที่ยอมรับได้ ดังนั้น ระบบยังคงสามารถทำงานได้ในสภาพแวดล้อมที่มีร่มเงาของต้นไม้อยู่บนพื้นถนน

4.4.3 ทดสอบโดยการเปลี่ยนสภาพแวดล้อมเป็นสภาพแวดล้อมที่สภาพแสงพอเหมาะ

ในสภาพแวดล้อมนี้ ระบบสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยจะมีปริมาณความเข้มแสงที่ 1560 ลักซ์ ซึ่งการสร้างภาพแสดงค่าความลึกที่สภาพแวดล้อมนี้นั้น ภาพที่ได้จะมีคุณภาพที่ดีที่สุด เพราะภาพแสดงค่าความลึกที่ได้สามารถสร้างรายละเอียดของความลึกของสิ่งกีดขวางต่างๆได้ชัดเจนและครบถ้วน ไม่ว่าจะเป็นสภาพพื้นผิวถนน สิ่งต่างๆที่อยู่ด้านข้างของถนน และการสร้างภาพแสดงค่าความลึก ในสภาพแวดล้อมนี้แสดงดังภาพประกอบที่ 4-21

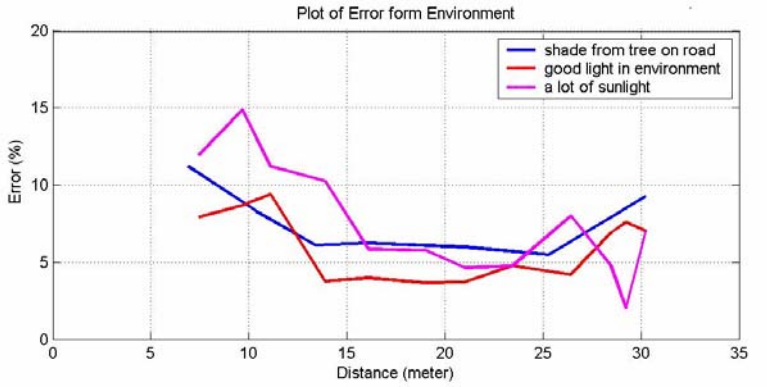
ภาพประกอบ 0-21 แสดงการหาภาพแสดงค่าความลึกที่เกิดขึ้นในสภาพแสงที่พอเหมาะ

จากภาพประกอบที่ 4-21 แสดงให้เห็นถึงสภาพแสงที่ดี ในการทำงานของระบบ เพราะระบบสามารถค้นหาสิ่งกีดขวางที่อยู่ในภาพได้อย่างมีประสิทธิภาพ และค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นเมื่อทำการเปรียบเทียบกับกล้องโทเทิลสเตชันได้ผลการทดสอบภาพประกอบที่ 4-22



ภาพประกอบ 0-22 แสดงค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นเมื่อทำการเปลี่ยนสภาพแวดล้อมที่มีความเข้มแสงที่ 1560 ลักซ์

จากการทดสอบระบบในสภาพแวดล้อมทั้ง 3 เมื่อทำการเปรียบเทียบผลการหาค่าความผิดพลาดของการทดสอบระบบทั้ง 3 สภาพแวดล้อม แสดงดังภาพประกอบที่ 4-23



ภาพประกอบ 0-23 แสดงค่าความผิดพลาดเมื่อทำการเปรียบเทียบผลการทดสอบทั้ง 3 สภาพแวดล้อม

ตาราง 0-3 แสดงการเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดของการทดสอบการเปลี่ยนสภาพแวดล้อม

การทดสอบ	ค่าความผิดพลาดน้อยที่สุด (ร้อยละ)	ค่าความผิดพลาดมากที่สุด (ร้อยละ)	ค่าความผิดพลาดโดยเฉลี่ย (ร้อยละ)
สภาพแวดล้อมที่มีแดดจ้า มีร่มไม้บนพื้นถนน ความเข้มแสง 23135 ลักซ์	5.85	12.14	8.89
สภาพแวดล้อมที่มีแดดจัด ความเข้มแสง 74100 ลักซ์	2.34	15.01	7.76
สภาพแวดล้อมที่สภาพแสงพอเหมาะ ความเข้มแสงที่ 1560 ลักซ์	3.84	8.89	5.82

จากภาพประกอบที่ 4-23 พบว่าการทดสอบที่ให้ค่าความผิดพลาดน้อยที่สุดคือสภาพแวดล้อมที่ความเข้มแสงอยู่ที่ระดับ 1560 ลักซ์ และเป็นสภาพแวดล้อมที่ทำให้ระบบมีการทำงานที่ดีทีสุดสามารถสร้างภาพแสดงค่าความลึกที่มีความผิดพลาดน้อยที่สุด และในการทดสอบเมื่อสภาพแวดล้อมมีร่มเงาบนพื้นถนน ระบบยังคงสามารถที่จะทำงานได้และมีค่าความผิดพลาดอยู่พอสมควรเช่นเดียวกับเมื่อสภาพแวดล้อมปลอดโปร่ง แสงแดดจัด ที่ระบบยังคงสามารถทำงานได้เช่นกัน

4.4.4 ทดสอบโดยการเปลี่ยนสภาพแวดล้อมเป็นสภาพแวดล้อมที่สภาพแสงน้อย ตอนเย็นเวลา 16.00 น.

เนื่องจากในสภาพแวดล้อมนี้ สภาพแสงที่ตกกระทบกับพื้นผิวของสิ่งกีดขวางมีน้อยมากจึงทำให้การทำงานของระบบไม่สามารถทำงานได้ โดยลักษณะของการสร้างภาพแสดงค่าความลึกในสภาพแวดล้อมนี้แสดงดังภาพประกอบที่ 4-24

ภาพประกอบ 0-24 แสดงการหาภาพแสดงค่าความลึกเมื่อสภาพแวดล้อมเป็นสภาพแวดล้อมตอนเย็นเวลา 16.00 น.

จากภาพประกอบที่ 4-24 พบว่าระบบยังคงสามารถสร้างภาพแสดงค่าความลึกได้แต่ไม่สามารถสร้างภาพแสดงค่าความลึกในส่วนของตัวสิ่งกีดขวางได้ เนื่องจากระบบจะทำงานอยู่บนพื้นฐานการจับคู่จุดที่มีความเข้มแสงเหมือนกันซึ่งเมื่อสิ่งกีดขวางไม่มีแสงตกกระทบที่พื้นผิวเพียงพอ ระบบไม่สามารถทำการแยกแยะสิ่งกีดขวางออกมาจากพื้นผิวของถนนได้ทำให้การทำงานของระบบไม่สามารถทำการค้นหาสิ่งกีดขวางได้

4.4.5 ทดสอบโดยการเปลี่ยนสภาพแวดล้อมเป็นสภาพแวดล้อมที่สภาพแสงน้อยตอนเย็น หลังเวลา 18.00 น.

ในการทดสอบที่สภาพแวดล้อมตอนเย็น ณ เวลา 18.00 น. สภาพความเข้มแสง 33 ลักซ์ ซึ่งน้อยมากและทำการทดสอบที่ระยะสิ่งกีดขวางที่ 9 เมตร พบว่าไม่สามารถทำการสร้างภาพแสดงค่าความลึกได้ เพราะระบบได้ใช้อัลกอริทึมของเอกสารอ้างอิงที่ [1] เป็นหลักในการทำงานและเนื่องด้วยอัลกอริทึมของเอกสารอ้างอิงที่ [1] นี้ทำงานอยู่บนพื้นฐานการจับคู่จุดที่มีความเข้มแสงเหมือนกันความเข้มแสงจึงมีความสำคัญมากในการทำงานของระบบ และผลการทดสอบพบว่าค่าความเข้มแสงที่ 33 ลักซ์ มีค่าน้อยเกินไประบบตรวจจับสิ่งกีดขวางไม่สามารถทำงานได้ โดยผลการทดสอบแสดงดังภาพประกอบที่ 4-25

ภาพประกอบ 0-25 แสดงการหาภาพแสดงค่าความลึกที่สภาพแวดล้อม ณ เวลา 18.00 น. และมีความเข้มแสงมีน้อยมากที่ 33 ลักซ์

และเมื่อทำการทดสอบที่สภาพแวดล้อมตอนเย็น ณ เวลา 19.30 น. ไม่สามารถทำการทดลองได้เนื่องจากความเข้มแสงในสภาพแวดล้อมมีน้อยมากที่ 6 ลักซ์ จึงทำการฉายไฟหน้ารถอัจฉริยะไปยังสิ่งกีดขวาง โดยทำการวางสิ่งกีดขวางไว้ที่ระยะ 9 เมตร โดยที่ความเข้มแสงในสภาพแวดล้อมเมื่อทำการฉายไฟหน้ารถอัจฉริยะไปยังสิ่งกีดขวางอยู่ที่ 95 ลักซ์ และผลการทดสอบแสดงดังภาพประกอบที่ 4-26

ภาพประกอบ 0-26 แสดงการหาภาพแสดงค่าความลึกที่สภาพแวดล้อม ณ เวลา 19.30 น. และทำการฉายไฟหน้ารถอัจฉริยะที่มีความเข้มแสงที่ 95 ลักซ์

จากภาพประกอบที่ 4-26 พบว่าระยะทางที่ไฟหน้าของรถอัจฉริยะ จะสามารถมองเห็นสิ่งกีดขวางได้ชัดเจนที่สุดในสภาพแวดล้อมตอนเย็นหลังเวลา 18.00 น. คือที่ระยะ 9 เมตร และภาพแสดงค่าความลึก ที่ได้นั้นยังไม่สามารถที่จะทำการตรวจสอบระยะได้ เนื่องจากความเข้มแสงที่ได้จากไฟหน้ารถอัจฉริยะนั้นมีไม่เพียงพอที่ระบบตรวจจับสิ่งกีดขวางจะทำงานได้

4.5 ตัวอย่างผลการทดสอบการทำงานของระบบการตรวจจับสิ่งกีดขวางโดยรวม

ในการทดสอบได้ทำการกำหนดสภาพแวดล้อมในการทดสอบให้อยู่ในสภาพแวดล้อมจริง โดยจะเลือกใช้สภาพแวดล้อมที่สภาพแสงพอเหมาะที่ 1560 ลักซ์ และทำการกำหนดให้สิ่งกีดขวางอยู่ในรูปแบบของรถจักรยานยนต์ 2 คันที่อยู่บนถนน ซึ่งทำการเคลื่อนที่อยู่ด้านหน้ารถทดสอบ ที่ระยะเริ่มต้นที่ 11 เมตร และรถจักรยานยนต์ทั้ง 2 คันจะทำการเคลื่อนที่ไปข้างหน้าและรถทดสอบจะทำการเคลื่อนที่ตามรถจักรยานยนต์ทั้ง 2 คันที่อยู่ด้านหน้า และเพื่อทำการทดสอบประสิทธิภาพในการทำงานของระบบตรวจจับสิ่งกีดขวางจึงได้ทำการเพิ่มเติมเหตุการณ์คือ เมื่อรถจักรยานยนต์ทั้ง 2 คันได้ทำการเคลื่อนที่ออกห่างจากรถทดสอบไปทางด้านหน้าของรถทดสอบด้วยความเร็ว 8 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ทั้งสองคันโดยที่รถทดสอบเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ 5 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และทำการเพิ่มเติมเหตุการณ์เพื่อทดสอบระบบเมื่อมีสิ่งกีดขวางเป็นคน ที่ได้ทำการเดินผ่านหน้ารถทดสอบ และทำการเดินออกทิ้งห่างออกจากระทดสอบไปทางด้านหน้าซึ่งมีรถจักยานยนต์ทั้ง 2 คันอยู่ และในการทดสอบนี้ได้ทำการบันทึกไฟล์วีดิโอมาใช้ในการทดสอบ

จากการทดสอบการทำงานของโปรแกรม ได้นำข้อมูลทั้งหมดมาทำการหาค่าความถูกต้อง โดยแบ่งการทดสอบออกเป็นช่วงของระยะห่างระหว่างสิ่งกีดขวางและรถทดสอบ และได้ทำการใช้ไฟล์วีดีโอในการทดสอบที่มีจำนวนเฟรม 732 เฟรม ได้ผลการทดสอบดังตาราง 4-4

และในการทดสอบการทำงานของโปรแกรม ได้ทำการนำการทำงานของอัลกอริทึม P2P ที่มีอยู่สองแบบคือ แบบที่หนึงเป็นการทำงานในรูปแบบกำหนดการพลวัต ซึ่งเป็นอัลกอริทึมต้นแบบของอัลกอริทึม P2P และแบบที่สองเป็นฟังก์ชันที่อยู่ในไลบารีของ OpenCV ซึ่งเป็นซอฟท์แวร์ของบิรษัทไมโครซอฟ โดยมีการใช้งานที่ง่ายกว่าในรูปแบบแรก และมีชื่อฟังก์ชันว่า cvFindStereoCorrespondence

ตาราง 0-4 แสดงค่าความถูกต้องของการทำงานของระบบตรวจจับสิ่งกีดขวาง

ฟังก์ชันที่ใช้ในการทดสอบ	การตรวจสอบความถูกต้องเมื่อทำการทดสอบด้วยไฟล์วิดีโอ จำนวน 732 เฟรม (ร้อยละ)					เวลาที่ใช้ในการประมวลผลในแต่ละเฟรม (วินาที)
	ระยะทางระหว่าง 10-13 เมตร	ระยะทางระหว่าง 13-18 เมตร	ระยะทางระหว่าง 18-22 เมตร	ระยะทางระหว่าง 22-27 เมตร	รวม	
P2P algorithm	72.3	77.8	87.5	86.9	80.8	3.5
cvFindStereo Correspondence	61.1	68.5	75.0	73.9	69.5	0.2

จากตาราง 4-2 พบว่าช่วงการทำงานที่ระบบสามารถทำงานได้มีประสิทธิภาพมากที่สุดคือช่วงระยะ 18-27 เมตร และในช่วงระยะเริ่มต้น 10-17 เมตร แม้ความถูกต้องของการทำงานของระบบจะมีค่าไม่ถึงร้อยละ 80 แต่ระบบยังคงสามารถตรวจจับและหาระยะของสิ่งกีดขวางได้

4.6 สรุป

เนื้อหาในบทนี้ได้กล่าวถึงการทดสอบระบบตรวจจับสิ่งกีดขวางบนท้องถนนตามวิธีการดำเนินงานวิจัยที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 3 โดยได้ทำการทดสอบความถูกต้องและหาค่าความผิดพลาดที่ได้จากการคำนวณระยะทางของระบบตรวจจับสิ่งกีดขวางและทำการเปรียบเทียบค่าระยะทางที่ได้จากการวัดระยะจากกล้องโทเทิลสเตชันโดยแสดงรายละเอียดของวิธีการทดสอบและกำหนดค่าที่จำเป็นและลักษณะของสภาพแวดล้อมที่ใช้ในการทดสอบที่มีผลต่อการคำนวณหาระยะทางของระบบตรวจจับสิ่งกีดขวาง เพื่อให้ระบบตรวจจับสิ่งกีดขวางมีการทำงานที่มีประสิทธิภาพและความถูกต้องมากที่สุด

บทที่ 5

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

ในบทนี้จะกล่าวสรุปผลการวิจัยที่ได้ดำเนินการสำหรับวิทยานิพนธ์นี้ รวมทั้งข้อเสนอแนะต่างๆ ที่จะเป็นประโยชน์ต่อการทำวิจัยด้านการตรวจสอบและค้นหาระยะห่างของสิ่งกีดขวางที่อยู่ด้านหน้าของยานพาหนะ

5.1 บทสรุป

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการนำเสนอระบบการค้นหาและตรวจสอบระยะทางของสิ่งกีดขวางที่อยู่ด้านหน้ายานพาหนะ โดยการวิจัยและทดลองจะประกอบด้วยสามส่วนหลักคือ การประมวลผลภาพในการสร้างภาพแสดงค่าความลึกการประมาณค่าระยะทางเพื่อสร้างสมการความสัมพันธ์ระหว่างพิกเซลและระยะทางจริง และการทดสอบการทำงานของระบบตรวจจับสิ่งกีดขวางในสภาพแวดล้อมจริง

และผลการทดสอบการทำงานของระบบตรวจจับสิ่งกีดขวางในการตรวจจับสิ่งกีดขวางที่อยู่บนถนน โดยมีความถูกต้องในการทำการตรวจจับและวัดระยะของสิ่งกีดขวางที่อยู่บนถนนคิดเป็นร้อยละ 80.8 โดยใช้เวลาในการประมวลผล 3.5 วินาทีต่อการทำงาน 1 เฟรม ด้วยอัลกอริทึมของ Depth Discontinuities by Pixel-to-Pixel Stereo (P2P) [1] ซึ่งเป็นการเขียนโปรแกรมแบบกำหนดการพลวัต และเมื่อทำการเปลี่ยนมาใช้อัลกอริทึมของ P2P ที่เป็นไลบารีของ OpenCV ค่าความถูกต้องในการทำการตรวจจับและวัดระยะของสิ่งกีดขวางที่อยู่บนถนนคิดเป็นร้อยละ 69.5 โดยใช้เวลาในการประมวลผล 0.2 วินาทีต่อการทำงาน 1 เฟรม

สำหรับการสรุปผลการทดสอบในวิทยานิพนธ์นี้จะแบ่งออกเป็นสามส่วนเช่นเดียวกันกับการทดลอง คือ ส่วนที่หนึ่งสรุปผลการประมวลผลภาพ คือ การสร้างภาพแสดงค่าความลึก และการสร้างภาพการสะสมค่าความลึกในแนวแกน V พร้อมทั้งทำการค้นหาตำแหน่งของเส้นตรงในภาพการสะสมค่าความลึกในแนวแกน V ส่วนที่สองเป็นการสรุปผลของการประมาณค่าระยะทาง

และส่วนที่สามเป็นการสรุปผลการทดสอบการทำงานของระบบตรวจจับสิ่งกีดขวางในส่วนของการทดสอบความแม่นยำและความเที่ยงตรงของระบบตรวจจับสิ่งกีดขวาง เมื่อทำการเปลี่ยนสภาพแวดล้อม สภาพแสง และขนาดของสิ่งกีดขวางที่เป็นอันตรายกับระบบ

5.1.1 สรุปผลในส่วนของการประมวลผลภาพ

ในส่วนของการประมวลผลภาพ เป็นการสร้างภาพแสดงค่าความลึกได้ทำการเลือกใช้อัลกอริทึมของ Depth Discontinuities by Pixel-to-Pixel Stereo (P2P) [1] ในการสร้างภาพแสดงค่าความลึกและทำการสร้างภาพแสดงการสะสมค่าความลึกในแนวแกน V เพื่อทำการค้นหาสิ่งกีดขวางที่อยู่ในภาพแสดงค่าความลึกออกมาโดยสิ่งกีดขวางที่แสดงในภาพการสะสมค่าความลึกในแนวแกน V จะอยู่ในรูปของเส้นตรง หลังจากนั้นจะทำการใช้การแปลงฮัฟ [10] ช่วยในการค้นหาตำแหน่งของเส้นตรงที่อยู่ในภาพการสะสมค่าความลึกในแนวแกน V ออกมา ซึ่งผลการทำงานพบว่า ระบบตรวจจับสิ่งกีดขวางสามารถสร้างภาพแสดงค่าความลึกและภาพแสดงการสะสมค่าความลึกในแนวแกน V ได้ พร้อมทั้งทำการค้นหาตำแหน่งของเส้นตรงที่เกิดขึ้นในภาพแสดงการสะสมค่าความลึกในแนวแกน V ได้

5.1.2 สรุปผลในส่วนของการประมาณค่าระยะทาง

ในส่วนของการประมาณค่าระยะทางนี้ จะเป็นการสร้างสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งพิกเซลของเส้นตรงในภาพแสดงการสะสมค่าความลึกในแนวแกน V และค่าระยะทางจริง โดยใช้สมการถดถอยเชิงซ้อน [12] ช่วยในการสร้างสมการแสดงความสัมพันธ์ และได้ทำการทดลองตามขั้นตอนและสภาพแวดล้อมดังที่ได้อธิบายในบทที่ 4 หัวข้อ 4.1 ซึ่งได้ทำการทดสอบเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ของสมการที่มีความแม่นยำมากที่สุด พบว่าสมการสัมประสิทธิ์ที่ 4 เป็นสมการที่ให้ค่าความแม่นยำที่สุด

5.1.3 สรุปผลในส่วนของการทดสอบการทำงานของระบบตรวจจับสิ่งกีดขวาง

ในส่วนที่สามจะเป็นส่วนในการสรุปผลการทดสอบการทำงานของระบบตรวจจับสิ่งกีดขวาง โดยมีขั้นตอนการทดสอบและผลสรุปดังนี้

5.1.3.1 ผลจากการทดสอบเพื่อหาระยะห่างระหว่างกล้องที่เหมาะสมกับการทำงานของระบบ สำหรับการทดสอบหาค่าระยะห่างระหว่างกล้องของระบบกล้องสเตอริโอ โดยจากการทดสอบทำให้พบว่าระยะห่างกล้องที่เหมาะสมกับการทำงานของระบบ คือ ที่ระยะกล้อง 1 เมตร เนื่องจากสามารถตรวจสอบหาสิ่งกีด ขวางได้ไกลที่สุดคือ 30 เมตร และระยะใกล้ที่สุดคือ 6.5 เมตร

5.1.3.2 ผลจากการทดสอบระบบตรวจจับสิ่งกีดขวางเมื่อทำการเปลี่ยนขนาดและสีของพื้นผิวของสิ่งกีดขวางที่ใช้ในการทดสอบ สำหรับการทดสอบการทำงานของระบบด้วยการเปลี่ยนรูปร่าง ลักษณะของสิ่งกีดขวางไปในรูปแบบต่างๆ ตามขั้นตอนและสภาพแวดล้อมดังที่ได้อธิบายในบทที่ 4 หัวข้อ 4.3 และผลการทดสอบที่ได้จากขั้นตอนการทดสอบนี้นำไปพล็อตกราฟแสดงค่าความผิดพลาดที่เกิดจากการที่ระบบทำการคำนวณระยะทางผิดพลาดเมื่อทำการเปรียบเทียบค่าระยะทางกับระยะทางอ้างอิงพบว่า สิ่งกีดขวางที่มีความสูงมากกว่า 1.5 เมตร จะทำให้ระบบสามารถตรวจจับสิ่งกีดขวางได้ดีกว่าสิ่งกีดขวางที่มีความสูงต่ำกว่า 1.5 เมตร และค่าความผิดพลาดของระยะทางที่ระบบสามารถคำนวณได้โดยเฉลี่ยที่เกิดขึ้นเมื่อสิ่งกีดขวางมีความสูงมากกว่า 1.5 เมตร คิดเป็นร้อยละ 4.08 และความกว้างของสิ่งกีดขวางจะไม่มีผลต่อการทำงานของระบบตรวจจับสิ่งกีดขวาง เพราะการใช้ภาพแสดงค่าความลึกในแนวแกน V เป็นการสะสมค่าความลึกในแนวแถวหรือในแนวแกนตั้งของภาพแสดงค่าความลึกจึงทำให้ขนาดความกว้างของสิ่งกีดขวางไม่มีผลต่อการทำงานของระบบตรวจจับสิ่งกีดขวางแต่จะมีผลทำให้เส้นตรงที่เกิดขึ้นในภาพแสดงการสะสมค่าความลึกในแนวแกน V มีความชัดเจนหรือมีความเข้มแสงที่มากขึ้น และค่าความผิดพลาดของระยะทางที่ระบบสามารถคำนวณได้โดยเฉลี่ยที่เกิดขึ้นเมื่อสิ่งกีดขวางมีความกว้างมากกว่า 1 เมตร คิดเป็นร้อยละ 9.03 และสีของพื้นผิวของสิ่งกีดขวางเป็นอีกปัจจัยที่จะส่งผลต่อการทำงานของระบบตรวจจับสิ่งกีดขวาง เพราะถ้าสีของสิ่งกีดขวางมีการสะท้อนของแสงที่มากหรือน้อยเกินไปจะทำให้ระบบตรวจจับสิ่งกีดขวางไม่สามารถทำการค้นหาสิ่งกีดขวางนั้นๆได้ และจากการทดสอบระบบการตรวจจับสิ่งกีดขวางค่าความผิดพลาดของระยะทางที่ระบบสามารถคำนวณได้โดยเฉลี่ยที่เกิดขึ้นเมื่อสิ่งกีดขวางมีสีที่เหมือนพื้นผิวถนนคิดเป็นร้อยละ 10.09 และค่าความผิดพลาดของระยะทางที่ระบบสามารถคำนวณได้เมื่อสิ่งกีดขวางมีหลายสีบนพื้นผิวคิดเป็นร้อยละ 11.05

5.1.3.3 ผลจากการทดสอบระบบตรวจจับสิ่งกีดขวางเมื่อทำการเปลี่ยนสภาพแวดล้อมและสภาพแสงที่ใช้ในการทดสอบ สำหรับการเปลี่ยนสภาพแวดล้อมในการทดสอบการทำงานของระบบตรวจจับสิ่งกีดขวางตามขั้นตอนและลักษณะของสภาพแวดล้อมดังที่ได้อธิบายในบทที่ 4 หัวข้อ 4.4 พบว่าสภาพแสงจะมีผลต่อการทำงานของระบบ เพราะการทำงานของระบบได้นำอัลกอริทึมของ P2P มาใช้ในการทำงานซึ่งอัลกอริทึมของ P2P ได้ทำงานอยู่บนพื้นฐานของระบบการจับคู่จุดที่มีความเข้มแสงเหมือนกัน ทำให้สภาพแสงมีผลต่อการทำงานของระบบ โดยค่าความผิดพลาดของการคำนวณระยะทางที่เกิดขึ้นเมื่อระบบทำงานในสภาพแสงแดดจ้ามีร่มไม้บนพื้นถนนที่มีค่าความเข้มแสงที่ 23135 ลักซ์ ทำให้ระบบเกิดความผิดพลาดในการคำนวณระยะทางโดยเฉลี่ยคิดเป็นร้อยละ 8.89 และเมื่อทดสอบระบบในสภาพแสงแดดจัดตอนเที่ยงที่มีค่าความเข้มแสงที่ 74100 ลักซ์ ทำให้ระบบเกิดความผิดพลาดของการคำนวณระยะทางโดยเฉลี่ยคิดเป็นร้อยละ 7.76 และเมื่อทดสอบระบบในสภาพแสงพอเหมาะที่มีค่าความเข้มแสงที่ 1560 ลักซ์ ระบบมีความผิดพลาดของการคำนวณระยะทางโดยเฉลี่ยคิดเป็นร้อยละ 5.82

5.1.3.4 ผลจากการทดสอบตัวอย่างการทำงานของระบบตรวจจับสิ่งกีดขวางโดยรวม สำหรับการทดสอบระบบตรวจจับสิ่งกีดขวางโดยรวมได้ทำการทดสอบการทำงานของระบบด้วยไฟล์วีดีโอทดสอบตามที่อธิบายไว้ในบทที่ 4 หัวข้อ 4.5 และแยกการทดสอบระบบออกเป็นสองรูปแบบ โดยรูปแบบที่หนึ่ง ทำการทดสอบระบบตรวจจับสิ่งกีดขวางด้วยอัลกอริทึมของ Stan Birchfield [1] ซึ่งเป็นการทำงานแบบไดนามิกโปรแกรมมิ่ง พบว่าระบบสามารถทำงานได้มีประสิทธิภาพมากที่สุดที่ระยะระหว่าง 18-27 เมตร ซึ่งใช้เวลาในการประมวลผลในแต่ละเฟรมประมาณ 3.5 วินาที และได้ทำการคำนวณค่าความถูกต้องของการทำงานของระบบตรวจจับสิ่งกีดขวางในการคำนวณระยะทางของสิ่งกีดขวางที่อยู่บนถนนคิดเป็นร้อยละ 80.8 และรูปแบบที่สองทำการทดสอบระบบตรวจจับสิ่งกีดขวางด้วยอัลกอริทึมของเอกสารอ้างอิงที่ [1] ที่เป็นส่วนหนึ่งของไลบารีของ OpenCV ซึ่งใช้เวลาในการประมวลผลในแต่ละเฟรมประมาณ 0.2 วินาที และได้ทำการคำนวณค่าความถูกต้องของการทำงานของระบบตรวจจับสิ่งกีดขวางในการคำนวณระยะทางของสิ่งกีดขวางที่อยู่บนถนนคิดเป็นร้อยละ 69.5 จากค่าถูกต้องที่ได้ทำการทดสอบมาทั้งหมดสามารถสรุปได้ว่าระบบตรวจจับสิ่งกีดขวางสามารถทำการตรวจสอบระยะทางของสิ่งกีดขวางที่อยู่บนถนนได้ โดยจะมีค่าความผิดพลาดในการตรวจสอบระยะเฉลี่ยอยู่ที่ $\pm$ 2.1 เมตร

จากการทดสอบการทำงาน ความเร็วในการประมวลผลของการทำงานในสองรูปแบบจะแตกต่างกันโดยเวลาในการประมวลผลในแต่ละเฟรมของรูปแบบที่หนึ่งซึ่งเป็นการใช้อัลกอริทึมของ Stan Birchfield แบบกำหนดการพลวัต ใช้เวลาในการประมวลผล 3.5 วินาที และในรูปแบบที่สองซึ่งเป็นการใช้อัลกอริทึมของของเอกสารอ้างอิงที่ [1] ที่เป็นส่วนหนึ่งของไลบารีของ OpenCV

ใช้เวลาในการประมวลผล 0.2 วินาที จากผลการทดสอบข้างต้นพบว่ารูปแบบที่สองใช้เวลาในการประมวลผลที่น้อยกว่ารูปแบบที่หนึ่ง แต่ภาพแสดงค่าความลึกที่ได้ออกมาจากอัลกอริทึมในรูปแบบที่หนึ่งซึ่งใช้อัลกอริทึมของของเอกสารอ้างอิงที่ [1] แบบไดนามิกโปรแกรมมิ่งมีความถูกต้องมากกว่าในรูปแบบที่สองซึ่งใช้อัลกอริทึมของของเอกสารอ้างอิงที่ [1] ที่เป็นส่วนหนึ่งของไลบารีของ OpenCV จึงขึ้นอยู่กับการใช้งานระบบตรวจจับสิ่งกีดขวางว่าเหมาะสมต่อการทำงานในลักษณะใด

5.1.4 สรุปสาเหตุของการเกิดความผิดพลาดของการทำงานของระบบตรวจจับสิ่งขวาง

สาเหตุที่ทำให้ระบบเกิดการทำงานที่ผิดพลาดนั้น มีด้วยกันหลายสาเหตุ คือ

5.1.4.1 สาเหตุจากการประมวลผลภาพ สำหรับความผิดพลาดที่เกิดจากการประมวลผลภาพมีด้วยกันหลายสาเหตุ คือ

ก) สาเหตุเมื่อเกิดความผิดพลาดในการสร้างภาพแสดงค่าความลึกเนื่องมาจาก เกิดการสั่นสะเทือนที่มากเกินไปเมื่อรถทดสอบทำการเคลื่อนที่ไป แสดงดังภาพประกอบ 5-1

(ก)

(ข)

(ค)

ภาพประกอบ 5-1 แสดงการสร้างภาพแสดงค่าความลึกที่ผิดพลาด

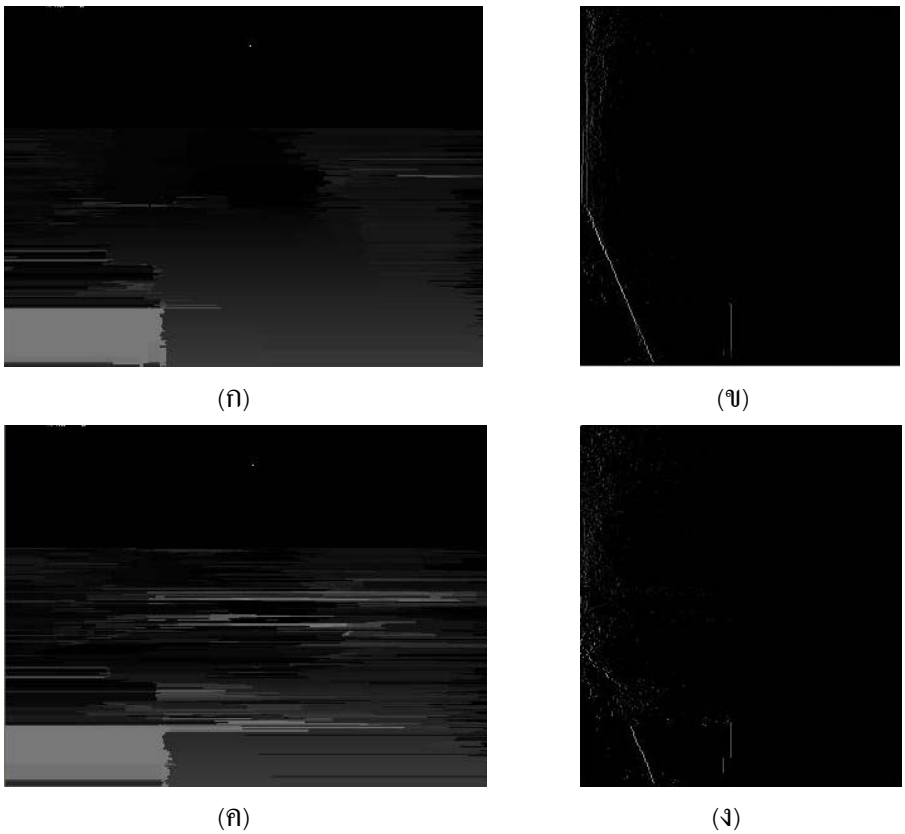
(ก) ภาพนำเข้า

(ข) ภาพแสดงค่าความลึกที่ไม่มีความผิดพลาด

(ค) ภาพแสดงค่าความลึกที่ผิดพลาดที่เกิดจากการสั่นสะเทือนที่มากเกินไปจากการเคลื่อนที่ของรถทดสอบ

จากภาพประกอบ 5-1 แสดงให้เห็นว่าเมื่อเกิดการสั่นสะเทือนที่มากเกินไป จะทำให้ระบบตรวจจับสิ่งกีดขวางไม่สามารถทำการสร้างภาพแสดงค่าความลึกได้ จึงทำให้เกิดความผิดพลาดในการทำงานของระบบ

ข) สาเหตุเมื่อเกิดความผิดพลาดในการสร้างภาพแสดงค่าความลึกที่ไม่สมบูรณ์ทำให้การสร้างภาพแสดงการสะสมค่าความลึกในแนวแกน V ผิดพลาด แสดงดังภาพระกอบ 5-2



(ก) (ข)

(ค) (ง)

ภาพประกอบ 5-2 แสดงการสร้างภาพแสดงการสะสมค่าความลึกในแนวแกน V ที่ผิดพลาด

(ก) ภาพแสดงค่าความลึกที่ถูกต้อง

(ข) ภาพแสดงการสะสมค่าความลึกในแนวแกน Vไม่มีความผิดพลาด

(ค) ภาพแสดงค่าความลึกที่ผิดพลาดในการสร้างภาพแสดงค่าความลึก

(ง) ภาพแสดงการสร้างภาพการสะสมค่าความลึกในแนวแกน V

ค) สาเหตุที่เกิดจากการคำนวณค่าระยะทางที่ผิดพลาด เนื่องมาจากการหาตำแหน่งของเส้นตรงที่เกิดขึ้นในภาพแสดงการสะสมค่าความลึกในแนวแกน V ที่ผิดพลาด และสาเหตุที่ทำให้เกิดการผิดพลาดในการค้นหาตำแหน่งของเส้นตรงในภาพแสดงการสะสมค่าความลึกในแนวแกน V คือ เกิดความไม่ชัดเจนของเส้นตรงที่เป็นตัวบอกตำแหน่งของสิ่งกีดขวาง เนื่องมาจากสิ่งกีดขวางมีความกว้างที่น้อยเกินไปจึงทำให้เส้นตรงในภาพแสดงการสะสมค่าความลึกในแนวแกน V ไม่ชัดเจนทำให้ไม่สามารถตรวจจับตำแหน่งเส้นตรงในภาพแสดงการสะสมค่าความลึกในแนวแกน V ได้ จึงทำให้ค่าระยะทางที่ได้จากสมการความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งเส้นตรงของเส้นตรงในภาพแสดงการสะสมค่าความลึกในแนวแกน V และค่าระยะทางผิดพลาด เพราะตำแหน่งของเส้นตรงที่ผิดพลาดจากภาพแสดงการสะสมค่าความลึกในแนวแกน V

จากการทดสอบการทำงานของระบบการตรวจจับสิ่งกีดขวางที่อยู่ด้านหน้ารถอัจฉริยะ และคำนวณหาค่าความผิดพลาดของการทำงานของระบบตรวจจับออกมาพบว่า ค่าความผิดพลาดของระบบจะทำการแบ่งออกเป็นช่วงของระยะการเคลื่อนที่ และเมื่อทำการเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดในการคำนวณที่เกิดขึ้นกับผลการทดสอบในงานวิจัยของ R.Labayrade and D. Aubert [6] พบว่า ค่าความผิดพลาดในงานวิจัยของ R.Labayrade and D. Aubert จะมีค่าความผิดพลาดคิดเป็นร้อยละ 0.3 ในช่วงระยะห่างที่ 3 เมตร และค่าความผิดพลาดจะเพิ่มขึ้นไปจนถึงที่ระยะห่างที่ 40 เมตร ที่มีค่าความผิดพลาดคิดเป็นร้อยละ 14 และช่วงระยะห่างของสิ่งกีดขวางที่ไม่เกิน 20 เมตร ระบบการทำงานของ R.Labayrade and D. Aubert จะมีค่าความผิดพลาดที่ไม่เกินร้อยละ 7 แต่ในการทดสอบเป็นการทดสอบในสภาพแวดล้อมเดียวคือ สภาพแวดล้อมที่มีหมอกหนา และเมื่อทำการเปรียบเทียบกับผลการทำงานในงานวิจัยนี้พบว่าค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นในงานวิจัยนี้มีค่ามากกว่าในงานวิจัยของ R.Labayrade and D. Aubert แต่วิธีการที่ใช้ในงานวิจัยนี้กับในงานวิจัยของ R.Labayrade and D. Aubert ได้ใช้วิธีการที่แตกต่างกัน คือ ในงานวิจัยของ R.Labayrade and D. Aubert ได้ใช้สมการในการคำนวณระยะ โดยในส่วนของสมการในการคำนวณระยะนี้จะต้องรู้ค่าต่างๆในการคำนวณคือ ค่าระยะโฟกัสและขนาดของค่าซีซีดีของภาพ ซึ่งกล้องที่ R.Labayrade and D. Aubert ได้นำมาใช้ในงานวิจัยนั้นเป็นกล้องเฉพาะคือกล้องซีซีดี ซึ่งเป็นกล้องที่มีการบอกค่าต่างๆที่แม่นยำและมีราคาแพง ทำให้การคำนวณด้วยสมการหาระยะของ R.Labayrade and D. Aubert มีความถูกต้องมากกว่าคำนวณหาระยะในงานวิจัยนี้ โดยในงานวิจัยนี้ได้ใช้วิธีการประมาณค่าระยะทางโดยการเปรียบเทียบค่าระยะห่างระหว่างกล้องและค่าความลึกที่เกิดในภาพแสดงค่าความลึกในแนวแกน V ซึ่งวิธีการประมาณค่าระยะทางนี้เป็นวิธีการที่ไม่มีการนำค่าระยะโฟกัสและขนาดของค่าซีซีดีของภาพมาใช้ในการคำนวณ โดยทำให้สามารถเลือกใช้กล้องที่มีขายตามท้องตลาดทั่วไปได้

การทำงานในงานวิจัยนี้มีค่าความผิดพลาดของการทำงานที่มากกว่าในงานวิจัยของ R.Labayrade and D. Aubert แต่ได้ใช้วิธีการทำงานที่แตกต่างกัน ซึ่งวิธีการในงานวิจัยนี้อาจจะเป็นอีกทางเลือกหนึ่งของการทำการค้นหาระยะห่างของสิ่งกีดขวางบนท้องถนนได้

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ในงานวิจัยนี้ ช่วยเพิ่มความสามารถในการค้นหาสิ่งกีดขวางของยานพาหนะบนท้องถนน โดยใช้เทคนิคของหลักการการมองภาพสองตาทำให้การเคลื่อนที่ของยานพาหนะบนท้องถนนมีความปลอดภัยมากยิ่งขึ้น

2. ในงานวิจัยนี้ไม่ได้รวมส่วนของการประมวลผลภาพและการประมาณค่าระยะทางเข้าด้วยกันเนื่องจากการหาสมการความสัมพันธ์ ต้องทำการเก็บข้อมูลตัวอย่างเพื่อทำการสร้างสมการก่อน ดังนั้นเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าระยะห่างกล้องหรือความสูงของการตั้งกล้องสเตอริโอนั้น จะต้องทำการเก็บข้อมูลและทำการสร้างสมการความสัมพันธ์ใหม่ทุกครั้ง

3. ในงานวิจัยนี้ได้ทำการบันทึกภาพตัวอย่างและมาทดสอบกับการทำงานของระบบโดยไม่ได้ทำการทดสอบกับการทำงานแบบเวลาจริง (Real Time) ถ้าสามารถทำงานแบบเวลาจริงได้จะทำให้ระบบมีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

4. การตั้งกล้องในรูปแบบสเตอริโอ ควรจะตั้งกล้องทั้งสองให้มีการขนานกันจริงมิฉะนั้นการทำงานของระบบในส่วนของการประมวลผลภาพในการสร้างภาพแสดงค่าความลึกจะได้ภาพที่มีคุณภาพที่ต่ำ ทำให้การตรวจสอบสิ่งกีดขวางมีความผิดพลาดไปด้วย

เอกสารอ้างอิง

[1] S.Birchfield, C.Tomasi, “Depth Discontinuities by Pixel to Pixel Stereo”, Proc. IEEE International conference on Computer Vision, Bombay, India, 1998.

[2] R.Labayrade, D. Aubert, and J.Tarel, “Real time obstacle detection in stereovision on non flat road geometry through v-disparity representation. In Intellingent Vehicle”, Versailles, France, June 2002.

[3] R.Labayrade and D.Aubert, “In-Vehicle Obstacles Detection and Characterization by Stereovision”, LIVIC – INRECTS/LCPC, 13 Route de la Miniere, Batiment 140, 78000 Versailles Satory, France.

[4] Z.Hu, F.Lamosa and K.Uchimura, “A Complete U-V-Disparity Study for Stereovision Based 3D Driving Environment Analysis”, Proceedings of the Fifth International Conference on 3-D Digital Imaging and Modeling (3DIM’05) 2005, 1550-6185/05.

[5] N. Hautière, R. Labayrade, M. Perrollaz, and D. Aubert, “Road Scene Analysis by Stereovision: a Robust and Quasi-Dense Approach”, In IEEE International Conference on Control Automation Robotics and Vision (ICARCV’06), Singapore, December 2006.

[6] R.Labayrade and D. Aubert, “Robust and Fast Stereovision Based Road Obstacles Detection for Driving Safety Assistance”, MVA2002, IAPR Workshop on Machine Vision Applications, Nara-ken New Public Hall, Japan, December 11-13 2002.

[7] J.D. Foley, A.V. Dam, S.K. Feiner, and J.F. Hughes., “Computer Graphics Principles and Practice 2nd ed.”, USA, Addison Wesley, 1996.

[8] R.C. Gonzalez, and R.E. Woods., “Digital Image Processing”, USA, Addison Wesley, 1993.

[9] S. Ozdemir, and D. Casasent., “Scale-Space Median and Gabor Filtering for Boundary Detection in Electron Microscopy Images”, Proc. SPIE Vol.3715, 1999.

[10] Duda R.O. and Hart P.E. “Use Hough transformation to detect lines and curves in pictures.” Commun. Ass. Comput. (1972): 465-468.

[11] Hamarneh G., Althoff K. and Abu-Gharbieh R., “Automatic Line Detection”, 1999.

[12] วีรยุทธ พรสมิทธิกุล, “การควบคุมความเร็วและตำแหน่งโดยระบบปรับด้วยตัวเองสำหรับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ”, ปริญญานิพนธ์ สาขาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์, คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ม, ปีการศึกษา 2550.

[13] Diner, Daniel B.,and Fender, Derek H., “Human Engineering in Stereoscopic Viewing Device”.McGill University, 1993.

[14] http://www.vision3d.com/stereo.html

[15] Stephen J.Krotosky, and Mohan M.Trivedi, “A Comparison of Color and Infrared Stereo Approachs to Pedestrian Detection”, Proceedings of the 2007 IEEE Intelligent Vehicles Symposium Istanbul, Turkey, June 13-15, 2007.

[16] Kyewook Lee, “Application Of The Hough Transform”, University Of Massachusetts, Lowell, January 2006.

[17] Nicolas Soquet, Didier Aubert, and Nicolus Hautiere, “Road Segmentation Supervised by an Extended V- disparity Algorithm for Autonomous Navigation”, Proceedings of the 2007 IEEE Intelligent Vehicles Symposium Istanbul, Turkey, June 13-15, 2007.

[18] A.Woods, “Image Distortion in stereoscopic Video System”, Proceedings of the SPIE Volume 1915, Stereoscopic Displays and Application IV, San Jose, California, February 1993.

[19] R. Boyle and R. Thomas., “Computer Vision : A First Course”, UK, Blackwell Scientific Publication, 1998.

[20] Larry Matthies, Chuck Bergh, Andress Castano, Jose Macedo, Roberto Manduchi., “Obstacle Detection in Foliage with Ladar and Radar”, Robotics Research, The Eleventh International Symposium, ISRR, October 19-22, 2003, Siena, Italy 2005.

[21] Zhencheng Hu, Francisco Lamosa, and Keiichi Uchimura, “A Complete U-V-Disparity Study for Stereovision Based 3D Driving Environment Analysis”, Proceedings of the Fifth International Conference on 3-D Digital Imaging and Modeling (3DIM’05), Ottawa, Ontario, Canada June 13-16, 2005.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

โปรแกรมระบบตรวจจับสิ่งกีดขวาง

โปรแกรมระบบตรวจจับและค้นหาระยะห่างของสิ่งกีดขวาง

ส่วนประกอบของโปรแกรม

ส่วนประกอบต่างๆ ของโปรแกรมระบบตรวจจับและค้นหาระยะห่างของสิ่งกีดขวาง สามารถแสดงได้ดังภาพที่ ก.1 โดยมีส่วนประกอบต่าง ๆ ดังนี้

1. ส่วนคำสั่งต่างๆ ที่ใช้ในการประมวลผลของระบบตรวจจับสิ่งกีดขวาง ประกอบด้วยปุ่ม ดังนี้

1.1 ปุ่ม Start ถ้ากดปุ่มนี้เป็นการเลือกเชื่อมต่อกับกล้องวีดิโอทั้งสองตัว

1.2 ปุ่ม Exit ถ้ากดปุ่มนี้เป็นยกเลิกการเชื่อมต่อกับกล้องวีดิโอและเป็นการปิดโปรแกรม

2. ส่วนการแสดงผลการประมวลผลภาพ เมื่อระบบกำลังประมวลผล โปรแกรมสามารถกดปุ่มต่างๆเพื่อเรียกดูผลการทำงานของแต่ละส่วนของระบบได้ ดังนี้

2.1 ปุ่ม Left_image ถ้ากดปุ่มนี้เป็นการแสดงผลภาพนำเข้าจากกล้องซ้าย

2.2 ปุ่ม Right_image ถ้ากดปุ่มนี้เป็นการแสดงผลภาพนำเข้าจากกล้องขวา

2.3 ปุ่ม Disparity_image ถ้ากดปุ่มนี้จะเป็นการแสดงผลการประมวลผลภาพในส่วนของภาพแสดงค่าความลึก

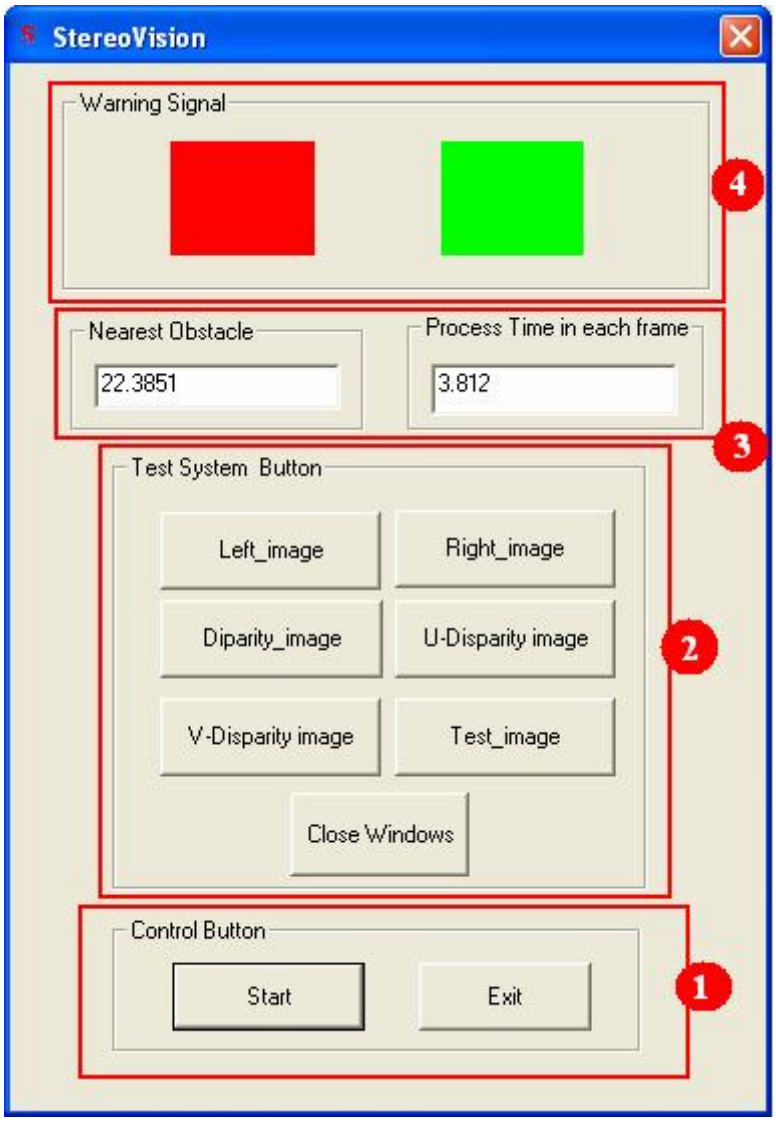
2.4 ปุ่ม V-disparity_image ถ้ากดปุ่มนี้จะเป็นการแสดงผลการประมวลผลภาพในส่วนของภาพแสดงการสะสมค่าความลึกในแนวแกน V

2.5 ปุ่ม U-disparity_image ถ้ากดปุ่มนี้จะเป็นการแสดงผลการประมวลผลภาพในส่วนของภาพแสดงการสะสมค่าความลึกในแนวแกน U

2.6 ปุ่ม Test_image ถ้ากดปุ่มนี้จะเป็นการแสดงผลการประมวลผลภาพในส่วนของระบุตำแหน่งของสิ่งกีดขวางในภาพจากกล้องซ้าย

3. ส่วนการแสดงค่าระยะทางของสิ่งกีดขวางที่อยู่ห่างจากรถทดสอบน้อยที่สุด และแสดงเวลาการประมวลผลภาพของระบบตรวจจับสิ่งกีดขวางในแต่ละเฟรม

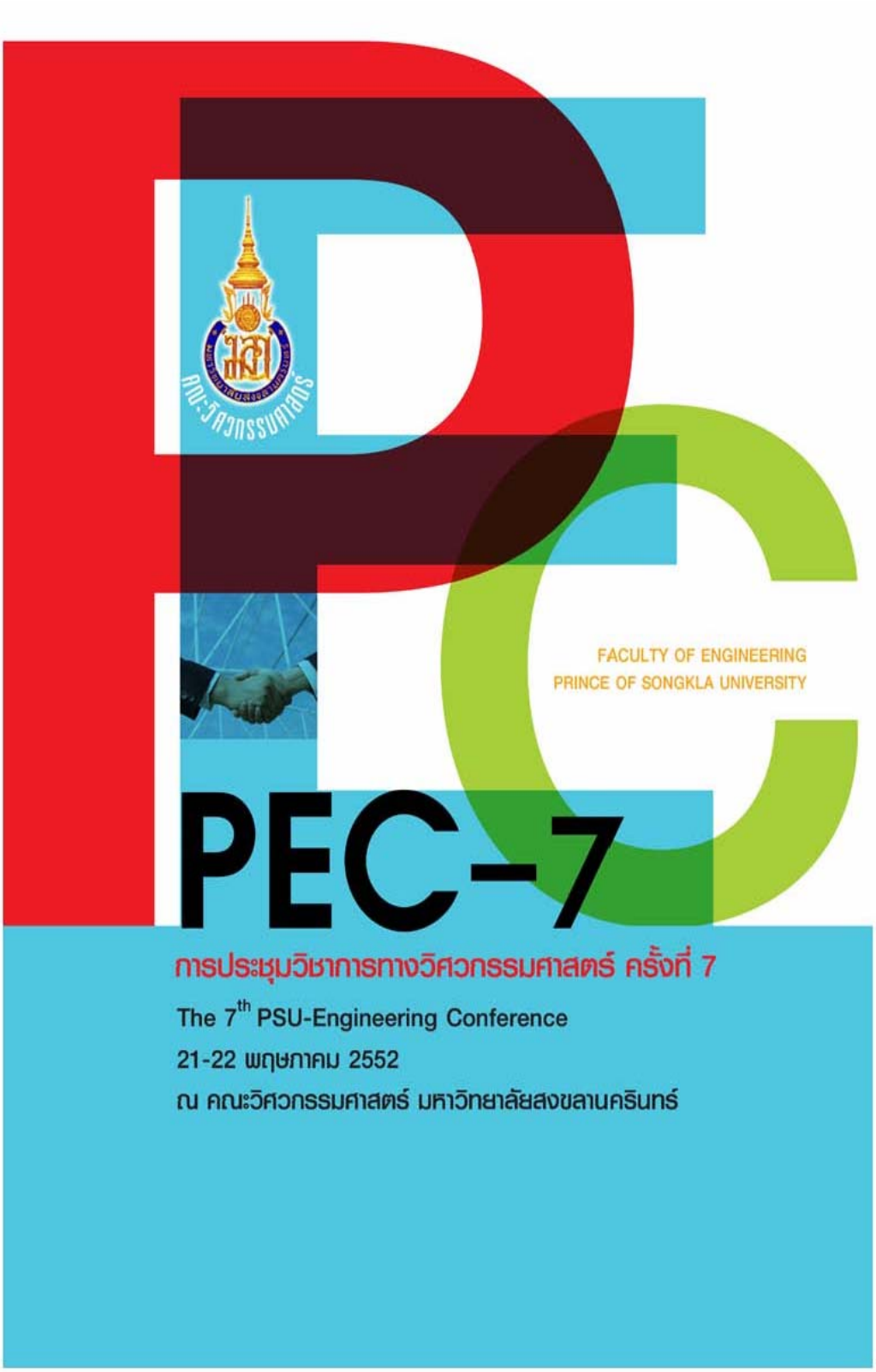
4. ส่วนการแสดงสัญญาณเตือนภัยของระบบตรวจจับสิ่งกีดขวาง โดยถ้าเป็นสีแดงคืออยู่ในระยะอันตราย และถ้าเป็นสีเขียวคืออยู่ในระยะปลอดภัย



ภาพที่ ก.1 ส่วนประกอบของโปรแกรมระบบตรวจจับและค้นหาระยะห่างของสิ่งกีดขวาง

ภาคผนวก ข

งานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์


FACULTY OF ENGINEERING
PRINCE OF SONGKLA UNIVERSITY
PEC-7
การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์ ครั้งที่ 7
The 7th PSU-Engineering Conference
21-22 พฤษภาคม 2552
ณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ครั้งที่ 7

21-22 พฤษภาคม 2552

การค้นหาสิ่งกีดขวางบนถนนโดยหลักการของการมองภาพสองตาในรถอัจฉริยะ REAL

Road Obstacle Detection by Stereovision in Real Intelligent Vehicle

วีระพล สุขสมบูรณ์[1], ธเนศ เคารพาพงศ์[2], มนตรี กาญจนะเดชะ[3], สมชัย หลิมศิโรรัตน์[4]

[1,2,3,4]ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา 90112

E-mail: veeraphon.s@hotmail.com[1]

Veeraphon Suksomboon[1] Thanate Khaorapapong[2] Montri Karnjanadecha[3] Somchai Limsiroratana[3]

[1,2,3,4]Department of Computer Engineering, Faculty of Engineering, Prince of Songkla University, Hat Yai, Songkhla 90112

E-mail: veeraphon.s@hotmail.com[1]

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอ ระบบการทำงานที่ช่วยในการค้นหาสิ่งกีดขวางที่อยู่ด้านหน้ารถอัจฉริยะ REAL ในระยะที่กำหนดและทำการส่งสัญญาณให้รถอัจฉริยะทำการหลบหลีกสิ่งกีดขวางต่อไป โดยระบบจะใช้หลักการของการตรวจจับภาพด้วยหลักการการมองภาพสองตา (Stereovision) ซึ่งจะทำให้ได้ภาพแสดงความลึกของสิ่งกีดขวางที่อยู่ในภาพ (Depth Disparity image) ออกมา หลังจากนั้นนำภาพที่แสดงค่าความลึก ไปทำการคำนวณหาภาพ v-disparity ซึ่งภาพ V-disparity นี้จะเป็นภาพที่แสดงถึงตำแหน่งของสิ่งกีดขวางว่าอยู่ในตำแหน่งความลึกใดในภาพ และระบบการค้นหาตำแหน่งสิ่งกีดขวางจะทำการนำภาพ V-disparity ไปทำการตรวจสอบและค้นหาเส้นตรงในภาพ เพื่อที่จะนำตำแหน่งพิกัดพิกเซลที่ได้ในแนวแกน x ไปเปรียบเทียบกับค่าระยะทางจริงโดยจะทำการสร้างสมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าพิกเซลและระยะทางออกมาด้วยวิธีสมการการถดถอยเชิงซ้อน และนำผลลัพธ์ที่ได้ไปเตือนภัยแก่ผู้ขับขี่ยานพาหนะต่อไป

คำสำคัญ: การจับภาพด้วยหลักการการมองภาพสองตา, v-disparity, การค้นหาเส้นตรงในภาพ, สมการถดถอยเชิงซ้อน

Abstract

This paper presents the obstacle detected system in front of REAL Intelligent vehicle in the specific distance and will send signal to REAL Intelligent vehicle to avoid obstacle. The system will use the principle of detecting image by Stereovision which will provide a image show the depth in Depth Disparity image. After that it will use the Depth Disparity image to calculate the V-disparity image which shows a position of the obstacle in which depth disparity image. The obstacle detected system use V-disparity image to detect and find a straight line in a image in order to take the position of pixel in X axis to compare with real distance value by calculating the relative equation between pixel and distance value with the polynomial regression and take the result to alert a driver.

Keyword: stereovision, v-disparity, simple linear regression, polynomial regression.

1. บทนำ

ในการพัฒนายานพาหนะซึ่งสามารถตัดสินใจในการเคลื่อนที่ได้ด้วยตนเองโดยปราศจากคนขับนั้น ระบบนำร่องของยานพาหนะจำเป็นจะต้องมีความสามารถพื้นฐานในการ

ตรวจจับ และแยกแยะบริเวณที่เป็นถนนซึ่งปลอดภัยสำหรับการเคลื่อนที่รวมไปถึงสิ่งกีดขวางที่อาจจะเป็นอันตรายต่อการเคลื่อนที่ เช่น ยานพาหนะอื่นๆบนถนน บุคคล สิ่งมีชีวิต หรือสิ่งของต่างๆ โดยระบบการรับสัญญาณในการตรวจจับและค้นหาระยะของสิ่งกีดขวางบนถนน ได้มีผู้นำเสนอแนวคิดมากมาย อาทิเช่น การใช้ Laser Scanner ในการตรวจสอบระยะสิ่งกีดขวางที่อยู่ด้านหน้ารถ นำเสนอโดย Mathias P., Raphael L., Cyril R., Nicolas H, Didier A. [1] หรือในงานวิจัยของ Larry M., Chuck B., Andres C. and Jose M., Roberto M. [2] ที่นำเสนอการใช้เซนเซอร์วัดระยะทาง Ladar and Radar เพื่อตรวจหาระยะห่างของสิ่งกีดขวางบนถนน แต่ทั้งสองวิธีไม่สามารถบอกสภาพพื้นที่ในปัจจุบันที่ยานพาหนะกำลังเคลื่อนที่ไปได้ และยังมีส่วนของการใช้เซนเซอร์วัดระยะทางอื่นๆ เช่น คลื่นอัลตร้าโซนิคหรืออินฟราเรด โดยตัวเซนเซอร์วัดระยะทางนี้มักมีความสามารถในการวัดระยะทางที่แม่นยำกว่ากล้องวีดีโอ แต่อาจเกิดข้อมูลที่เป็น false return หรือ noise ในสัญญาณซึ่งทำให้ข้อมูลที่ได้รับมีการผิดพลาดได้ และคลื่นอัลตร้าโซนิคที่สะท้อนกลับมายังตัวรับสามารถบอกได้เพียงระยะห่างจากสิ่งกีดขวางกับตัวเซนเซอร์เท่านั้น

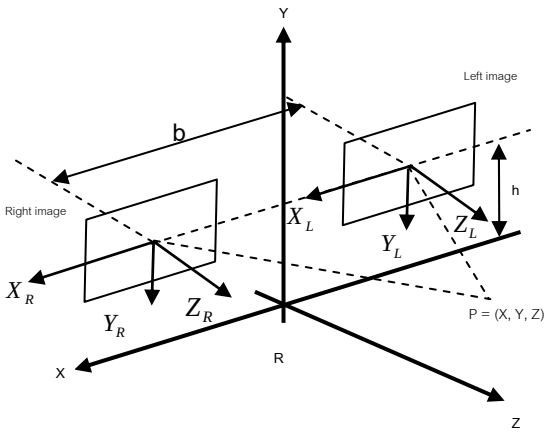
การค้นหาระยะห่างของสิ่งกีดขวางโดยใช้กล้องวีดีโอสองตัว โดยวิธีที่ง่ายที่สุดคือการใช้วิธีคำนวณหาภาพ Disparity จากภาพสองภาพ (Stereovision) เพื่อคำนวณหาระยะห่างระหว่างกล้องและสิ่งกีดขวาง โดยวิธีการคำนวณหาภาพแสดงค่าความลึก (Disparity image) นำเสนอโดย Stan Birchfield และ Carlo Tomasi [4] โดยใช้เทคนิค intensity base matching และ R.Labayrade, D. Aubert และ J.Tarel [5] ได้นำเสนอการค้นหาระยะห่างระหว่างกล้องและสิ่งกีดขวางโดยใช้ภาพ Disparity ทำงานร่วมกับการคำนวณหาภาพ V-disparity และทำการคำนวณหาระยะห่างระหว่างสิ่งกีดขวางและกล้องจากภาพ V-disparity

บทความนี้เป็นการนำเสนอการพัฒนารถอัจฉริยะ REAL ในส่วนของการค้นหาระยะห่างระหว่างสิ่งกีดขวางกับรถอัจฉริยะ โดยใช้กระบวนการหาภาพแสดงค่าความลึก (Disparity image) ด้วยอัลกอริทึมของ Stan Birchfield และ Carlo Tomasi [4] ซึ่งเป็นอัลกอริทึมที่ใช้กันอย่างแพร่หลายและสามารถนำมาใช้ในรถอัจฉริยะได้ทันที หลังจากนั้นจะทำการค้นหาสิ่งกีดขวางด้วยภาพ V-disparity [5] และระบบจะทำการนำค่าตำแหน่งของสิ่งกีดขวางจากภาพ v-disparity ไปทำการคำนวณหาระยะห่าง และทำการส่งสัญญาณไปควบคุมการเคลื่อนที่ของรถอัจฉริยะ REAL ในการหลบหลีกสิ่งกีดขวางบนถนนต่อไป

2. ขั้นตอนของระบบการค้นหาสิ่งกีดขวางบนถนน

2.1 การรับภาพจากกล้องวีดีโอ (stereovision)

2.1.1 กำหนดการตั้งกล้อง



ภาพที่ 1 แสดงการตั้งกล้องในแกนต่างๆ

การตั้งกล้องเพื่อทำการรับภาพอินพุตนั้นจะทำการกำหนดแกนต่างๆตามภาพที่ 1 โดยจะเริ่มทำการกำหนดแกนเริ่มต้น $R(X,Y,Z)$ ซึ่งเป็นแกนอ้างอิงตามแนวแกนของพื้นผิวถนน แกน (X_R,Y_R,Z_R) และ (X_L,Y_L,Z_L) เป็นแกนอ้างอิงของกล้องซ้ายและกล้องขวาตามลำดับ และการตั้งกล้องจะทำการตั้งกล้องให้อยู่ในรูปแบบขนานนั้นคือ จะทำการตั้งกล้องให้กล้องซ้ายและกล้องขวาให้ขนานกัน ซึ่งในที่นี้กล้องซ้ายและกล้องขวาจะอยู่ในระนาบแกน X เดียวกัน และในแนวแกน Z_R และ Z_L ของกล้องขวาและกล้องซ้ายซึ่งเป็นแกนในการมองเห็นของกล้อง จะทำการกำหนดให้ขนานกันกับแนวแกน Z ของแกนอ้างอิงของรถ ดังภาพที่ 1 โดยในภาพเส้น epipolar line ของกล้องทั้งสองจะขนานกัน และอยู่บน scanline เดียวกัน และทำการกำหนด h คือค่าความสูงในการตั้งกล้องจากพื้นถนนถึงจุดกึ่งกลางเลนส์ของกล้อง และ b คือ ระยะห่างระหว่างกล้องซ้ายและกล้องขวา และ P คือตำแหน่งจุดบนภาพที่ต้องการ

จากการตั้งกล้องในรูปแบบ Stereo นั้น จะกำหนดให้จุด P คือ ระยะห่างจากวัตถุถึงจุดศูนย์กลางภาพซึ่งค่าที่ได้จะเป็นค่า Disparity นั้นเอง

ภาพที่ 2 แสดงการติดตั้งกล้องบนรถอัจฉริยะ REAL

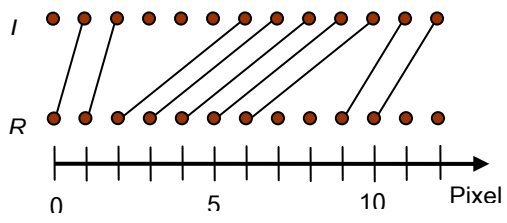
จากภาพที่ 2 ได้ทำการติดตั้งกล้องบนรถอัจฉริยะ REAL โดยในภาพได้ทำการติดตั้งกล้องบนหลังคารถอัจฉริยะในระดับความสูง 1.80 เมตร และมีระยะห่างระหว่างกล้องซ้ายและกล้องขวาที่ 1 เมตร

2.2 Depth Discontinuities by Pixel-to-Pixel Stereo (P2P)

Depth Discontinuities by Pixel-to-Pixel Stereo (P2P) เป็นอัลกอริทึมหนึ่งที่สามารถหาภาพ Disparity จาก Stereo image โดยใช้วิธี intensity-based matching ซึ่งวิธีการนี้เป็นการจับคู่พิกเซลเดียวกันในคู่ scanline เดียวกัน โดยใช้ Cost function ที่ใช้สำหรับการหาลำดับของตำแหน่งพิกเซลที่มีค่า intensity ที่เหมือนกันระหว่างกล้องซ้ายและกล้องขวา (เรียกว่าคู่ลำดับ M) โดยใช้สมการดังต่อไปนี้

$$\gamma(M) = N_{occ}\kappa_{occ} - N_M\kappa_r + \sum_{i=1}^{N_M} d(x_i, y_i) \qquad (1)$$

โดยที่ κ_{occ} คือค่าคงที่ Occlusion penalty, κ_r คือค่าคงที่ของ match reward, $d(x_i, y_i)$ คือ ระยะห่างระหว่างพิกเซลในแนวแกน x_i และ y_i และ N_{occ}, N_M คือจำนวน Occlusion pixel ที่เกิดขึ้นและ จำนวนคู่อันดับที่สัมพันธ์กัน



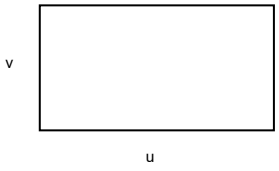
ภาพที่ 3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างพิกเซลในกล้องซ้ายและกล้องขวาโดยเป็นการจับคู่ในคู่อันดับ M

ค่า Occlusion penalty คือ จำนวนพิกเซลที่ไม่สัมพันธ์กันระหว่างกล้องซ้ายและกล้องขวา ภาพที่ 3 เป็นการแสดงความไม่สัมพันธ์กันของพิกเซลในกล้องซ้ายและกล้องขวา โดยการแก้ปัญหานี้ในอัลกอริทึม P2P จะมีการใส่ค่าของ match reward เพื่อทดแทนการหายไปของตำแหน่งพิกเซลที่ไม่สัมพันธ์กันในกล้องซ้ายและกล้องขวา ลักษณะการประมวลผลภาพแบบสเตอริโอของ algorithm P2P เป็นการนำภาพจากกล้องซ้ายและขวามาประมวลผลโดยจะประมวลผลอยู่บนเส้น scanline เดียวกัน โดยแบ่งกระบวนการออกเป็นสองส่วนหลัก คือ Matchscanline และ Postprocess สำหรับ Matchscanline นั้น การประมวลผลข้อมูลจะเป็นอิสระต่อกันระหว่างเส้น scanline ซึ่งต่างจาก Postprocess ซึ่งมีลักษณะการประมวลผลโดยนำข้อมูลระหว่างแถวกับหลัก มาคำนวณ

2.3 V-disparity

V-disparity image [5] จะเป็นการแสดงค่า disparity ที่เกิดขึ้นในภาพ disparity map เพื่อนำมาทำการวิเคราะห์และหาระยะห่างระหว่างวัตถุและรถอัจฉริยะ ซึ่งจะทำการคำนวณโดยการเก็บรวบรวมจำนวนค่า disparity ในแต่ละแถวที่มีค่าเท่ากันและทำการแสดงจำนวนค่า disparity ที่มีค่าเท่ากันในแต่ละแถวลงใน V-disparity image และทำการนำภาพ V-disparity image ที่ได้นี้ ไปทำการคำนวณหาค่าระยะห่างของสิ่งกีดขวางต่อไป

การหา V-disparity เริ่มต้นจากการสร้าง V-disparity plane โดยขั้นตอนการสร้างจะเริ่มจากการกำหนดให้จุด P เป็นจุดของระนาบในแนวแกนจริง R โดยจะทำให้ได้จุดบนระนาบ R คือจุด $P(X_p, Y_p, Z_p)$ ดังนั้นจะทำให้ได้ระนาบของกล้องทั้ง 2 คือ (u_{rp}, v_{rp}) ซึ่งเป็นของกล้องขวา และ (u_{lp}, v_{lp}) เป็นของกล้องซ้าย และทำการกำหนดระนาบการมองเห็นของสายตา คือ (u_0, v_0)

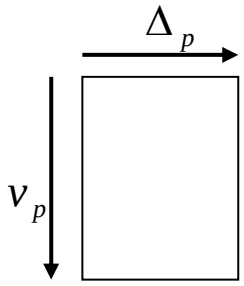


ภาพที่ 4 แสดงระนาบของภาพที่เกิดจากจุด P ลงบนระนาบที่ภาพกล้องซ้ายและกล้องขวา

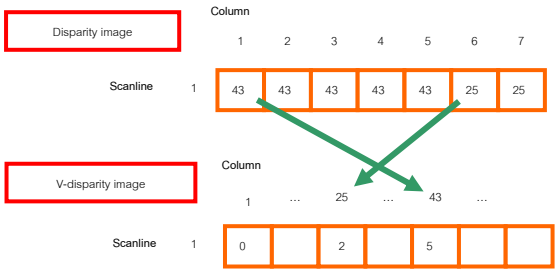
จากการตั้งกล้องในรูปแบบขนานในภาพที่ 4 จะพบว่าค่า v ของระนาบบนกล้องซ้ายและกล้องขวา จะมีค่าเท่ากัน เนื่องจากเป็นการตั้งกล้องในรูปแบบขนาน ดังนั้นจึงสามารถกำหนดให้แกนในแนวนอนมีค่าเท่ากันคือ $v_{rp} = v_{lp}$

โดยที่ V-disparity image [5] นั้นจะทำการคำนวณมาจากการสะสมจำนวนพิกเซลที่มีค่า disparity ที่เหมือนกัน

หรือเท่ากัน ตามแนวแกน u ในระนาบ (u,v) และนำจำนวนพิกเซลที่มีค่า disparity ที่เหมือนกันไปใส่ใน V-disparity image โดยการใส่ค่านั้นก็จะทำการใส่ค่าตามแนวแกน Δ_p โดย Δ_p คือค่า Disparity



ภาพที่ 5 แสดงการตั้งแกนของ V-disparity image



ภาพที่ 6 แสดงการหาภาพ V-disparity image

จากภาพที่ 6 การหา v-disparity image นั้น จะเริ่มต้นจากการแบ่งภาพจากระนาบ (u,v) โดยจะทำการแบ่งออกเป็นแถวๆ ตาม v_i โดยจะทำการเปรียบเทียบค่า disparity ครั้งละพิกเซลในแถว v_i ไปครั้งละคอลัมน์ ตามแนวแกน u_i หรือตาม scanline ในภาพ disparity และนำค่าที่อยู่ในแต่ละพิกเซลของภาพ disparity มาเป็นตำแหน่งคอลัมน์ของภาพ v-disparity และทำการนับจำนวนพิกเซลที่มีค่าภายในพิกเซลนั้นในภาพ disparity ที่มีค่าเท่ากัน และนำจำนวนพิกเซลที่ได้นี้ไปเป็นค่าในตำแหน่งในภาพ v-disparity ในขั้นตอนแรก ดังการทำงานดังภาพที่ 6 และทำจนครบทุกพิกเซลบนภาพในระนาบ (u,v)

จากภาพ V-disparity image ที่ได้สามารถแยกส่วนของถนน และส่วนของสิ่งกีดขวางที่อยู่บนถนนออกจากกันได้ โดยใช้หลักการตรวจสอบและค้นหาเส้นตรง (Hough transform) ในภาพเพื่อระบุว่าส่วนใดในภาพเป็นถนนและสิ่งกีดขวางต่อไป

2.4 การประมาณค่าแบบการถดถอยเชิงซ้อน

สมการทั่วไปของเส้นโค้งโพลีโนเมียล [9] คือ

$$y = a_0 + a_1x + a_2x^2 + ... + a_mx^m + e \quad (2)$$

m แทนเลขชี้กำลังสูงสุดของโพลีโนเมียลจากสมการที่ (2) สมการถดถอยแบบโพลีโนเมียลคือ $a_0 + a_1x + a_2x^2 + ... + a_mx^m$ ซึ่งค่ากำลังสองของค่าความคลาดเคลื่อนจะอยู่ในรูปแบบคล้ายกับกรณีเส้นตรง

$$\hat{y} = a_0 + a_1x + a_2x^2 + ... + a_mx^m \quad (3)$$

จากสมการที่ (3) ผลต่างกำลังสองของข้อมูลจริงและข้อมูลจากสมการถดถอยคือ

$$SSE = \sum_{i=1}^{n}(y_i + \hat{y}_i)^2 = \sum_{i=1}^{n}\left(y - a_0 - a_1x - a_2x^2 - ... - a_mx^m\right)^2 \quad (4)$$

จากสมการที่ (4) นำมาทำการหาสัมประสิทธิ์ของสมการโพลีโนเมียล กำหนดการหา Partial derivative เท่ากับศูนย์ ดังนั้นจะทำให้ได้ค่าสัมประสิทธิ์ที่ไม่ทราบค่าคือ $a_0, a_1, a_2, ..., a_m$ เพื่อทำการหาค่าสัมประสิทธิ์ดังกล่าวสามารถทำได้โดยการแก้สมการ m ตัวแปรโดยจำนวนสัมประสิทธิ์ขึ้นอยู่กับค่าเลขชี้กำลังสูงสุดของสมการโพลีโนเมียล

ในการทำงานได้ทำการทดสอบหาความแม่นยำในการใช้สมการโพลีโนเมียล โดยทำการเปลี่ยนค่าสัมประสิทธิ์ในช่วง ค่าสมการสัมประสิทธิ์ที่ 2 ไปถึง ค่าสมการสัมประสิทธิ์ที่ 6

เมื่อทำการเก็บข้อมูลที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางและค่า disparity แล้ว จะทำการนำค่าความสัมพันธ์ที่ได้มาทำการสร้างสมการความสัมพันธ์ด้วยสมการถดถอยเชิงซ้อนด้วยโปรแกรม Matlab โดยจะได้สมการสัมประสิทธิ์ตั้งแต่ค่าสัมประสิทธิ์ที่ 2 จนถึงสมการสัมประสิทธิ์ที่ 6 ตามลำดับ โดย

Y คือ ค่าระยะทางจริงที่สมการทำการคำนวณออกมาได้

X คือ ค่าพิกเซลหรือค่า disparity ที่เกิดขึ้นในภาพ v-disparity

สมการมีดังนี้

$$y = (0.0001046255x^2 - 0.3966x + 43.3197) \quad (5)$$

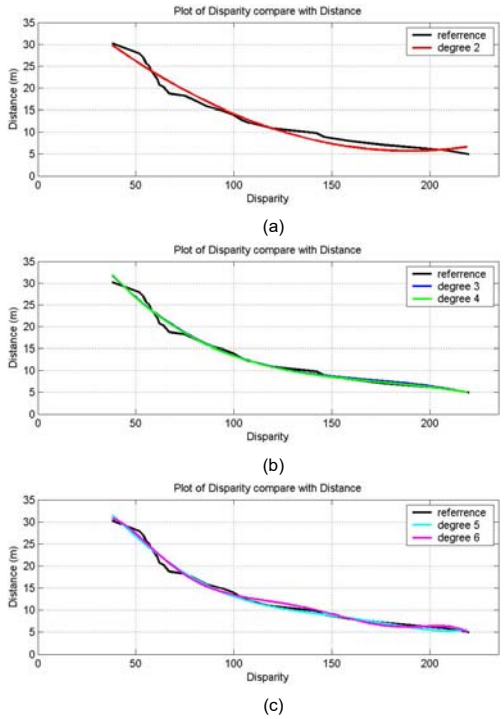
$$y = (-0.0000080717x^3 + 0.00412788x^2 - 0.7430x + 54.5155) \quad (6)$$

$$y = (0.0000000130\,768182\,x^4 - 0.0000145454\,5x^3 + 0.00524422\,x^2 - 0.822521\,x + 56.3901) \quad (7)$$

$$y = (0.0000000008772571x^5 - 0.0000052993142854x^4 + 0.00011139997x^3 - 0.0083x^2 - 0.1538x + 44.2405) \quad (8)$$

$$y = (-0.0000000000\,420382\,x^6 + 0.0000000328\,654\,x^5 - 0.000010145\,x^4 + 0.0015604\,x^3 - 0.1228\,x^2 + 4.31789\,x - 22.9069) \quad (9)$$

สมการที่ 5,6,7,8,9 เป็นสมการสัมประสิทธิ์ที่ 2 ถึงค่าสมการสัมประสิทธิ์ที่ 6 ตามลำดับ ซึ่งเมื่อทำการทดลองแทนค่า Disparity ลงในสมการสัมประสิทธิ์ที่ 5,6,7,8,9 เพื่อหาค่าระยะทาง และทำการเปรียบกับความสัมพันธ์ที่ได้จากการเก็บข้อมูลจากการทดลองจากค่าระยะทางจริง ได้ผลการทดสอบดังภาพที่ 8

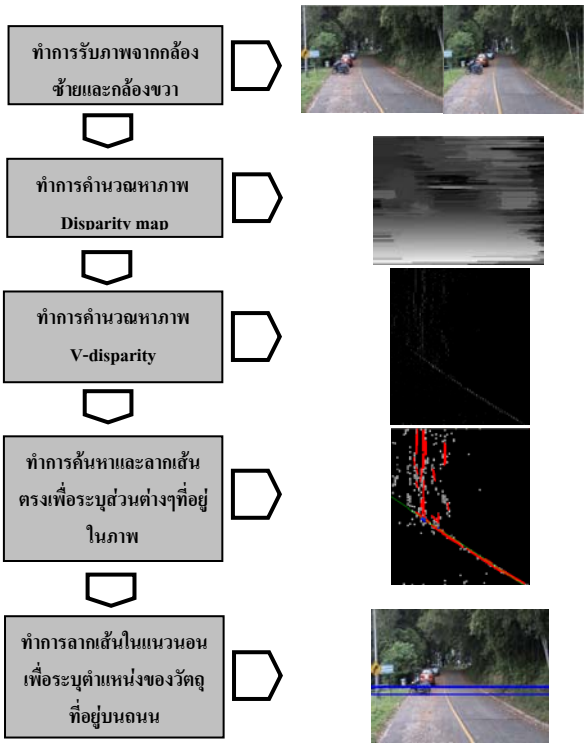


ภาพที่ 7 แสดงการเปรียบเทียบค่าในสมการสัมประสิทธิ์ต่างๆ โดยรูป (a) เป็นการแทนค่าในสมการสัมประสิทธิ์ที่ 2, รูป (b) เป็นการแทนค่าในสมการสัมประสิทธิ์ที่ 3 และ 4, รูป (c) เป็นการแทนค่าในสมการสัมประสิทธิ์ที่ 5 และ 6

จากผลการทดสอบในภาพที่ 7 พบว่า สมการสัมประสิทธิ์ที่ให้ผลลัพธ์ที่มีความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดนั้นก็คือ สมการสัมประสิทธิ์ที่ 4 ดังนั้นในการทำงานของระบบการหาค่าระยะทางของระบบจะนำสมการสัมประสิทธิ์ที่ 4 ไปใช้ในการคำนวณหาค่าระยะทาง

3. ผลการทดสอบ

ขั้นตอนการทำงานของระบบมีดังนี้



ภาพที่ 8 แผนผังการทำงานของระบบการค้นหาระยะห่างระหว่างสิ่งกีดขวางและรถอัจฉริยะที่อยู่บนท้องถนน

3.1 ทำการหาระยะทางของสิ่งกีดขวางระหว่างกล้องและรถอัจฉริยะที่อยู่บนท้องถนน เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อม

ในการทดสอบเริ่มจากการกำหนดการตั้งกล้องโดยจากการทดสอบติดตั้งกล้องพบว่าระยะที่ไกลที่สุดคือ 30 เมตร และทดสอบกับการเปลี่ยนค่าระยะห่างระหว่างกล้องโดยเริ่มที่ 40 cm, 70 cm และ 1 m และทำการทดสอบให้ระบบทำงานในสภาพแวดล้อมจริงที่แตกต่างกัน โดยกำหนดสภาพแวดล้อมในการทดสอบดังนี้

1 ที่เวลา 16.00 น. สภาพแสงแดดร่ม

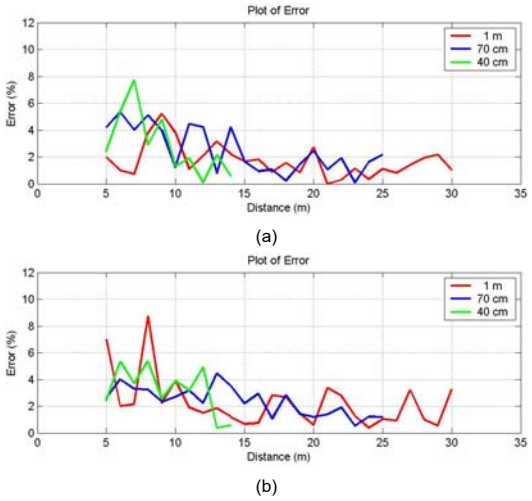
2 ที่เวลา 12.00 น. แดดจัด และมีแสงสว่างมาก

โดยจะทำการเปลี่ยนค่าระยะห่างจากกล้องไปจนถึงสิ่งกีดขวาง ซึ่งในการทดลองนี้จะทำการเคลื่อนที่รถอัจฉริยะเข้าหาวัตถุสิ่งกีดขวาง ด้วยความเร็วคงที่ ที่ 5 km/hr และให้ระบบคำนวณระยะห่างของวัตถุที่อยู่ด้านหน้ารถอัจฉริยะ ซึ่งระยะห่างระหว่างวัตถุและรถอัจฉริยะจะมีการเปลี่ยนแปลงตามการเคลื่อนที่ของรถอัจฉริยะ

โดยจะทำการบันทึกวีดีโอเมื่อรถเคลื่อนที่เข้าหาสิ่งกีดขวางเพื่อนำไฟล์วีดีโอที่ได้มาทำการคำนวณหาระยะห่างด้วยระบบที่สร้างขึ้น และระบบนี้จะเลือกใช้สมการสัมประสิทธิ์ที่ 4 คือ

$$y = (0.0000000130\,768182\,x^4 - 0.0000145454\,5x^3 + 0.00524422\,x^2 - 0.822521\,x + 56.3901) \quad (10)$$

จากสมการที่ 10 ค่า Y คือค่าระยะทางระหว่างกล้องถึงสิ่งกีดขวาง และ ค่า X คือค่า Disparity ที่เกิดขึ้นในภาพ v-disparity และพบว่าได้ผลการทดลองดังภาพที่ 9



ภาพที่ 9 แสดงค่าความผิดพลาดที่ระบบสามารถคำนวณได้เมื่อเปรียบเทียบกับระยะทางจริง (a) คือ การทำการทดลองในสภาพแวดล้อมแสงตอนเย็นแสงน้อยสภาพอากาศปลอดโปร่ง และ (b) คือ การทำการทดลองในสภาพแวดล้อมแสงตอนเที่ยงแสงมากสภาพอากาศปลอดโปร่ง

จากภาพที่ 9 พบว่าเมื่อทำการเปลี่ยนค่าระยะห่างระหว่างกล้องวีดีโอ 2 ตัว จะทำให้มีการเปลี่ยนแปลงของระยะการตรวจจับสิ่งกีดขวาง คือ

ระยะห่างระหว่างกล้อง	ระยะทางที่ตรวจสอบได้ไกลที่สุด
40เซนติเมตร	14เมตร
70 เซนติเมตร	25เมตร
1 เมตร	30เมตร

ตารางที่ 1 แสดงระยะทางที่ระบบทำการตรวจสอบได้เมื่อทำการเปลี่ยนค่าระยะห่างระหว่างกล้อง

และจากการทดลองข้างต้นสามารถทำการคำนวณค่าความผิดพลาดที่ระบบทำการคำนวณหาระยะห่างระหว่างสิ่งกีดขวางและรถอัจฉริยะได้ โดยเมื่อทำการเปลี่ยนค่าระยะห่างระหว่างกล้องทั้ง 3 ระยะ และจากการทดสอบพบว่าค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นของระยะห่างระหว่างกล้องทั้ง 3 ระยะนั้นมีค่าใกล้เคียงกันมาก แต่ที่ระยะห่างระหว่างกล้องที่ 1 เมตร ระบบสามารถค้นหาสิ่งกีดขวางได้ไกลที่สุด จึงทำการเลือกใช้ระยะห่างระหว่างกล้องที่ 1 เมตรในการทำงานของระบบ

จากภาพที่ 9 ทำการเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดที่ระบบสามารถทำการคำนวณได้ พบว่าระบบจะทำงานได้ดีที่สภาพแสงที่ไม่มากเกินไป และสภาพอากาศปลอดโปร่ง

4. วิเคราะห์ระบบการทำงานของระบบการค้นหาสิ่งกีดขวางบนถนนโดยหลักการการมองภาพสองตา

ระบบการค้นหาสิ่งกีดขวางบนถนนโดยหลักการการมองภาพสองตา ได้นำเอาอัลกอริทึม P2P มาใช้ในการพัฒนาระบบ ในส่วนของการสร้างภาพ disparity โดยการทำงานจะทำการทดสอบเพื่อหาค่าตัวแปรต่างๆในอัลกอริทึม P2P ที่เหมาะสมที่สุดกับระบบ หลังจากนั้นได้ทำการทดสอบระบบเพื่อสร้างสมการความสัมพันธ์ระหว่างค่า disparity และระยะทางด้วยหลักการของสมการถดถอยเชิงซ้อน และทำการทดสอบว่าระยะห่างระหว่างกล้องที่ดีที่สุดที่ระบบสามารถทำการตรวจสอบสิ่งกีดขวางและค้นหาระยะออกมาได้ไกลที่สุดคือระยะห่างระหว่างกล้องที่ 1 เมตร และสามารถค้นหาสิ่งกีดขวางได้ไกลที่สุดที่ระยะ 30 เมตร โดยในการทดสอบได้ทำการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมให้แตกต่างกันเพื่อทดสอบหาสภาพแสงที่ดีที่สุดต่อการทำงานของระบบ คือ สภาพแสงที่มีความเข้มแสงไม่มากเกินไปและสภาพอากาศปลอดโปร่ง

5. สรุป

ในบทความนี้ ได้ทำการนำเสนอวิธีการค้นหาระยะห่างของสิ่งกีดขวางโดยใช้ระบบกล้องวีดีโอสองตัว และใช้หลักการของ V-disparity[5] ซึ่งจะทำการหาค่าภาพที่มีความลึกของภาพ (Disparity map) โดยใช้อัลกอริทึม P2P [4] เมื่อได้ภาพที่แสดงค่าความลึกของวัตถุที่อยู่ในภาพแล้ว ทำการนำภาพที่ได้มาทำการเปรียบเทียบค่าระหว่างค่าความลึกและค่าระยะทาง โดยอาศัยทฤษฎี สมการถดถอยเชิงซ้อน (Polynomial regression) [9] ซึ่งสมการนี้จะทำการหาค่าความสัมพันธ์ของระยะทางและค่าความลึกออกมาในรูป

สมการถดถอยเชิงซ้อน หลังจากนั้นจะทำการคำนวณหาภาพ v-disparity ซึ่งเป็นภาพที่แสดงค่าตำแหน่งของถนนและสิ่งกีดขวางที่อยู่บนถนน โดยค่าที่ได้จะมีลักษณะเป็นเส้นตรง จึงทำการค้นหาเส้นตรง (Hough transform) เพื่อหาค่าตำแหน่งของสิ่งกีดขวางที่อยู่ในภาพ v-disparity ซึ่งเมื่อนำค่าที่ได้ไปทำการแทนค่าในสมการถดถอยเชิงซ้อน จะทำให้ได้ค่าระยะทางของสิ่งกีดขวางที่อยู่บนถนนออกมา ซึ่งจากการทดสอบยังพบว่ามีความผิดพลาดของค่าระยะทางที่ระบบทำการคำนวณได้อยู่ ซึ่งเกิดจากสภาพอากาศและสภาพแสงที่ไม่แน่นอน จึงต้องทำการปรับปรุงแก้ไขต่อไป

6. เอกสารอ้างอิง

[1] Andrew Woods, “Image Distortion in stereoscopic Vedio System”www.curtin.edu.au/curtin/centre/cmst/public at/1993-01.pdf

[2] Mathias Perrollaz, Raphael Labayrade, Cyril Royere, Nicolas Hautiere, Didier Aubert, Long Range Obstacle Detection Using Laser Scanner and Stereovision., Intelligent Vehicle Symposium 2006, June 13-15, 2006, Tokyo, Japan.

[3] Larry Matthies, Chuck Bergh, Andress Castano, Jose Macedo, Roberto Manduchi., Obstacle Detection in Foliage with Ladar and Radar., Jet Propulsion Laboratry, California Institute of Technology, 4800 Oak Grove Drive, University,San luis Obispo, CA, USA 93407

[4] Stan Birchfield, Carlo Tomasi, “Depth Discontinuities by Pixel to Pixel Stereo”, Proceeding of the 1998 IEEE International conference on Computer Vision, Bombay, India.

[5] R.Labayrade, D. Aubert, and J.Tarel. Real time obstacle detection in stereovision on non flat road geometry through v-disparity representation. In Intellingent Vehicle, Versailles,France, June 2002.

[6] Diner, Daniel B.,and Fender, Derek H.1993. “Human Engineering in Stereoscopic Viewing Device”.McGill University.

[7] “What is stereo Vision” www.vision3d.com/stereo.html

[8] Stephen J.Krotosky, and Mohan M.Trivedi. AComparison of Color and Infrared Stereo Approachs to Pedestrian Detection. Proceedings of the 2007 IEEE Intelligent Vehicles Symposium Istanbul, Turkey, June 13-15, 2007

[9] Raphael Labayrade and Didier Aubert, IN-Vehicle. Obstacles Detection and Characterization by Stereovision, LIVIC – INRECTS/LCPC, 13 Route de la Miniere, Batiment 140, 78000 Versailles Satory, France http://www.inrets.fr/js/ur/livic/rech_livic.htm

[10] วีรยุทธ พรสมิทธิกุล, 2550, การควบคุมความเร็วและตำแหน่งโดยระบบปรับด้วยตัวเองสำหรับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ, ปริญญานิพนธ์ สาขาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

[11] Kyewook Lee, Application Of The Hough Transform, University Of Massachusetts, Lowell, January 2006

[12] Nicolas Soquet, Didier Aubert, and Nicolus Hautiere. Road Segmentation Supervised by an Extended V-disparity Algorithm for Autonomous Navigation. Proceedings of the 2007 IEEE Intelligent Vehicles Symposium Istanbul, Turkey, June 13-15, 2007

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ สกุล นายวีระพล สุขสมบูรณ์

รหัสประจำตัวนักศึกษา 4910120083

วุฒิการศึกษา

วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมคอมพิวเตอร์)	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	2549

ทุนการศึกษา (ที่ได้รับในระหว่างการศึกษา)

ทุนศิษย์ก้นกุฏิ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ทุนผู้ช่วยสอน ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

การตีพิมพ์เผยแพร่ผลงาน

1. วีระพล สุขสมบูรณ์, มนตรี กาญจนะเดชะ, ธเนศ เดารพาพงศ์ และ สมชัย หลิมศิโรรัตน์, "การค้นหาสิ่งกีดขวางบนถนนโดยหลักการของการมองภาพสองตาในรถอัจฉริยะ REAL", การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ครั้งที่ 7, 21-22 พฤษภาคม 2551, หน้า 126-131.