แบบจำลองระบบตรวจจับสายส่งและควบคุมตำแหน่งชุดแขนรับกระแสไฟฟ้าของรถโทลี่บัสโดยใช้ภาพถ่ายสเตริโอ

MODEL OF WIRE DETECTING SYSTEM AND POSITION CONTROL SYSTEM FOR ELECTRIC CURRENT COLLECTING ARM OF TROLLEYBUS USING STEREO PHOTOGRAPHY

ประสาน ปรุงเจริญ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ปีการศึกษา 2555

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

แบบจำลองระบบตรวจจับสายส่งและควบคุมตำแหน่งชุดแขนรับกระแสไฟฟ้าของรถโทลี่บัสโดยใช้ภาพถ่ายสเตริโอ

ประสาน ปรุงเจริญ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ปีการศึกษา 2555

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

หัวข้อวิทยานิพนธ์	แบบจำลองระบบตรวจจับสายส่งและควบคุมตำแหน่งชุดแขนรับกระแสไฟฟ้าของรถโทลี่บัสโดยใช้ภาพถ่ายสเตริโอ
ชื่อ – นามสกุล	นายประสาน ปรุงเจริญ
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์เทอดเกียรติ ลิมปิทีปราการ, Ph.D.
ปีการศึกษา	2555

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการนำเสนอแบบจำลองระบบควบคุมตำแหน่งชุดแขนรับกระแสไฟฟ้าด้วยสายส่งจากด้านบนของรถโทลี่บัส โดยในระบบเดิมนั้นคนขับจะเป็นผู้ชักโยงให้ชุดแขนรับไปแตะที่สายส่งกระแสไฟฟ้า ไฟฟ้าอาจรั่วไหลมาดูดคนชักโยงได้ในกรณีที่สภาพอากาศชื้น หรือฝนตก นอกจากนี้ การควบคุมชุดแขนรับกระแสไฟฟ้าให้ไปยังตำแหน่งที่ต้องการก็กระทำได้ลำบากซึ่งต้องอาศัยคนขับที่มีความชำนาญ

งานวิจัยนี้ได้ออกแบบแบบจำลองระบบควบคุมการเคลื่อนที่ของชุดแขนรับกระแสไฟฟ้า โดยในการตรวจจับตำแหน่งของชุดแขนรับนั้นจะอาศัยภาพถ่ายจากกล้องเว็บแคมจำนวน 3 ตัวโดยกล้องแต่ละตัวมีอัตราเฟรมสูงสุด 25 เฟรมต่อวินาที การระบุตำแหน่งชุดแขนรับจะอาศัยมุมที่กระทำทั้งในระนาบที่ขนานและตั้งฉากกับพื้นดิน วิธีสเตริโอวิชั่นถูกนำมาใช้ในการเก็บข้อมูลตำแหน่งความสูงของปลายแขนรับกระแสไฟฟ้าโดยอาศัยเทคนิคสามเหลี่ยมคล้าย ภาพถ่ายที่ได้จะถูกปรับแต่งก่อนเพื่อให้โปรแกรม LabVIEW สามารถคัดแยกวัตถุเป้าหมายได้ ข้อมูลที่ได้จากภาพถ่ายจะนำไปใช้ควบคุมการเคลื่อนที่ของชุดแขนรับโดยจะอาศัยสเต็ปมอเตอร์เป็นต้นกำลังในการขับเคลื่อนทั้ง 2 แกนตามมุมที่คำนวณได้

จากการทดสอบประสิทธิภาพของระบบสเตริโอวิชั่นซึ่งอาศัยการจับคู่ของจุดของภาพสองภาพพบว่ามีความคลาดเคลื่อนร้อยละ 0.65 และจากการทดสอบระบบควบคุมตำแหน่งชุดแขนรับกระแสไฟฟ้าพบว่ามีความคลาดเคลื่อนจากค่าเป้าหมายสูงสุด 4.97 มิลลิเมตร

คำสำคัญ: ชุดแขนรับกระแสไฟฟ้า รถโทลี่บัส สเตริโอวิชั่น

Thesis Title	Model of Position Control System for Electric Current Collecting Arm of Trolleybus Using Stereo Photography
Name - Surname	Mr.Prasan Prungcharurn
Program	Mechanical Engineering
Thesis Advisor	Mr.Terdkiat Limpeteeprakarn, Ph.D.
Academic Year	2012

ABSTRACT

This research presents the model of position control system for trolleybus' electric current collecting arms with overhead wires. In the previous system, trolleybus' driver is responsible for controlling the collecting arms to touch the overhead wires. In case of humid or rainy weather, leakage current and electric shock may occur and could harm the driver. Moreover, it is difficult to move the correcting arms to desired positions by using an unskilled driver.

To solve this problem, the position control system model is applied. To get the position of a model collecting arm, three webcams with 25 frames per second are used to capture the image of a model collecting arm. Both with horizontal and vertical plane angles are used to indicate the model collecting arm positions. The stereo vision technique is used to obtain a height of the model collecting arm with adoption of similar triangular technique. The taken images are modified before they are used to identify an object target. Information from modified image are then used to calculate two angles which control the motion of the model collecting arm by using two stepping motors.

A performance test of the stereo vision using a pair of points of two images has been made and found to deviate 0.65 percent. Moreover, experimental results show that the height of the collecting arms is found to deviate from the target with a maximum valve of 4.97 millimeter.

Keywords: electric current collecting arms, trolley bus, stereo vision

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยชิ้นนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของ ดร.เทอดเกียรติ ลิมปิทีปราการ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งท่านได้กรุณาเสียสละเวลาให้คำปรึกษาและข้อคิดเห็นต่างๆ ในการทำวิจัยครั้งนี้ รวมถึงการสนับสนุนทางด้านอุปกรณ์และสถานที่ทำวิจัยด้วยดีมาตลาด นอกจากนี้ยังขอขอบพระคุณ ดร.มนูศักดิ์ จานทอง ที่ให้ความอนุเคราะห์อุปกรณ์เชื่อมต่อ และคำปรึกษาเรื่องทฤษฎีการควบคุม และขอขอบพระคุณ ดร.ปรัชญา เปรมปราณีรัชต์และ ดร.กรธรรม สถิรกุล ที่ให้เกียรติมาร่วมเป็น กรรมการของการสอบวิทยานิพนธ์ และช่วยให้คำแนะนำแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น และขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่ช่วยเหลือในด้านข้อมูลและสถานที่ นอกจากนี้ยังขอขอบคุณ “สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ” ที่ให้การสนับสนุนงบประมาณบางส่วนและเครื่องมือแก่ผู้วิจัยผ่านโครงการวิจัยเรื่อง “การวิจัยและพัฒนาแบบจำลองและต้นแบบรถไฟฟ้าขนาด 4 ที่นั่ง: ระบบควบคุมการเคลื่อนที่และตรวจรู้ตำแหน่งของแบบจำลองรถไฟฟ้าขับเคลื่อนด้วยเอซีมอเตอร์” สุดท้ายนี้ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบ พระคุณ บิดามารดา ที่สนับสนุนทุนการศึกษาให้แก่ผู้วิจัย และคอยให้กำลังใจเสมอมาทำให้สามารถฝ่าฟันอุปสรรคนานาประการจนสำเร็จ ประโยชน์อันใดจากงานวิจัยขอมอบเป็นกตัญญุตาบูชาแด่บิดามารดา ครูอาจารย์ตลอดจนผู้มีพระคุณทุกท่าน

ประสาน ปรุงเจริญ

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.......... ค

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.......... ง

กิตติกรรมประกาศ.......... จ

สารบัญ.......... ฉ

สารบัญตาราง.......... ซ

สารบัญภาพ.......... ฌ

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ.......... ฏ

บทที่

1 บทนำ.......... 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.......... 1

1.2 กรอบแนวความคิดในงานวิจัย.......... 4

1.3 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.......... 5

1.4 สมมติฐานของงานวิจัย.......... 5

1.5 ขอบเขตของงานวิจัย.......... 5

1.6 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.......... 5

1.7 ข้อจำกัดของงานวิจัย.......... 5

1.8 ประโยชน์ที่คิดว่าจะได้รับ.......... 6

2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.......... 7

2.1 ภาพรวมของระบบการมองเห็นด้วยคอมพิวเตอร์ (Vision System).......... 7

2.2 การคำนวณหาระยะทางจากกล้องถึงวัตถุ (Stereo Vision).......... 24

2.3 การหาความยาวโฟกัสของกล้อง (Focal Length).......... 27

2.4 กล้องระบบสเตริโอ (Stereo Cameras).......... 28

2.5 การวัดแสงสว่าง.......... 29

2.6 ระบบการขับเคลื่อนแขนรับกระแสไฟฟ้า.......... 31

2.7 โปรแกรม Lab VIEW.......... 33

2.8 ทบทวนวรรณกรรม (Literature Review).......... 36

3 วิธีดำเนินการวิจัย.......... 38

สารบัญ (ต่อ)

บทที่ หน้า

3.1 แบบจำลองชุดแขนรับกระแสไฟฟ้า 39
3.2 การกำหนดพิกัดของแบบจำลองชุดแขนรับกระแสไฟฟ้า 39
3.3 การออกแบบฮาร์ดแวร์ของแบบจำลองชุดแขนรับกระแสไฟฟ้า 41
3.4 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง 42
3.5 การเลือกตำแหน่งในการติดตั้งกล้อง 44
3.6 ขั้นตอนการคำนวณหาตำแหน่งชุดแขนรับกระแสไฟฟ้าด้วยภาพถ่ายสเตริโอ 46
3.7 เงื่อนไขในการออกแบบระบบควบคุม 54
3.8 ขั้นตอนการทดลอง 55
4 ผลการทดลอง 59
4.1 ผลการสอบเทียบของระบบสเตริโอวิชั่น 59
4.2 ผลการทดลอง กรณีที่ 1 ขณะตัวรถขนานกับสายส่ง 60
4.3 การทดลอง กรณีที่ 2 ขณะตัวรถเยื้องทางซ้ายและทางขวากับสายส่งและตัวรถเอียงกับสายส่ง ±5 องศา 61
4.4 การทดลอง กรณีที่ 3 ขณะตัวรถเยื้องทางซ้ายและทางขวากับสายส่งและตัวรถเอียงกับสายส่ง ±10 องศา 63
4.5 การทดลอง กรณีที่ 4 ขณะตัวรถเยื้องทางซ้ายและทางขวากับสายส่งและตัวรถเอียงกับสายส่ง ±15 องศา 65
4.6 สรุปการทดลองและวิจารณ์ผล 67
5 สรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะ 68
5.1 สรุปผลงานวิจัย 68
5.2 ข้อเสนอแนะ 69
รายการอ้างอิง 70
ภาคผนวก 71
ภาคผนวก ก อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองในงานวิจัย 72
ภาคผนวก ข โปรแกรมที่ใช้ในการทดสอบ 76
ภาคผนวก ค ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่ 81
ประวัติผู้เขียน 94

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	เปรียบเทียบข้อมูลระหว่างกล้องอุตสาหกรรมกับกล้องเว็บแคม	29
2.2	ข้อมูลของหลอดชนิดต่างๆ – หลอดปล่อยประจุชนิดต่างๆ	30
2.3	การควบคุมการหมุนของสเต็ปมอเตอร์แบบเวฟ	31
2.4	การสั่งงานควบคุมสเต็ปมอเตอร์แบบ 2 เฟส	32
2.5	การสั่งงานควบคุมสเต็ปมอเตอร์แบบครึ่งสเต็ป	33
4.1	การสอบเทียบระบบสเตริโอวิชั่น ที่ระยะห่างคงที่เท่ากับ 300 mm	59
4.2	การสอบเทียบระบบสเตริโอวิชั่น ที่ระยะเป้าหมายตำแหน่งต่างๆ	59
4.3	รถเยื้องทางซ้ายระยะตั้งแต่ 1-5 เซนติเมตร และตัวรถขนานกับสายส่ง	60
4.4	รถเยื้องทางขวาระยะตั้งแต่ 1-5 เซนติเมตร และตัวรถขนานกับสายส่ง	60
4.5	รถเยื้องทางซ้ายระยะตั้งแต่ 1-5 เซนติเมตร และตัวรถเอียง +5 องศา	61
4.6	รถเยื้องทางขวาระยะตั้งแต่ 1-5 เซนติเมตร และตัวรถเอียง +5 องศา	61
4.7	รถเยื้องทางซ้ายระยะตั้งแต่ 1-5 เซนติเมตร และตัวรถเอียง -5 องศา	62
4.8	รถเยื้องทางขวาระยะตั้งแต่ 1-5 เซนติเมตร และตัวรถเอียง -5 องศา	62
4.9	รถเยื้องทางซ้ายระยะตั้งแต่ 1-5 เซนติเมตร และตัวรถเอียง +10 องศา	63
4.10	รถเยื้องทางขวาระยะตั้งแต่ 1-5 เซนติเมตร และตัวรถเอียง +10 องศา	63
4.11	รถเยื้องทางซ้ายระยะตั้งแต่ 1-5 เซนติเมตร และตัวรถเอียง -10 องศา	64
4.12	รถเยื้องทางขวาระยะตั้งแต่ 1-5 เซนติเมตร และตัวรถเอียง -10 องศา	64
4.13	รถเยื้องทางซ้ายระยะตั้งแต่ 1-5 เซนติเมตร และตัวรถเอียง +15 องศา	65
4.14	รถเยื้องทางขวาระยะตั้งแต่ 1-5 เซนติเมตร และตัวรถเอียง +15 องศา	65
4.15	รถเยื้องทางซ้ายระยะตั้งแต่ 1-5 เซนติเมตร และตัวรถเอียง -15 องศา	66
4.16	รถเยื้องทางขวาระยะตั้งแต่ 1-5 เซนติเมตร และตัวรถเอียง -15 องศา	66

สารบัญภาพ

ภาพที่ หน้า

1.1 รถโทลี่บัสในต่างประเทศ 2
1.2 ชุดแขนรับกระแสไฟฟ้าที่พัฒนาขึ้นโดยภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล 3
1.3 กลไกการชักโยงที่ยังต้องอาศัยคนขับรถ 3
1.4 องค์ประกอบของปัญหาที่เป็นกรอบแนวคิดโดยภาพรวมของงานวิจัย 4
2.1 ส่วนประกอบของ Vision System 8
2.2 เซ็นเซอร์รับภาพของกล้องประเภท Areas Scan ของกล้องถ่ายภาพ Gray Scale และของกล้องถ่ายภาพสี 9
2.3 การแปลงภาพแบบต่อเนื่องและการแปลงเป็นภาพเชิงตัวเลขจากวิธีการ Digitization 10
2.4 การเปรียบเทียบระหว่างภาพกับ Pixels Matrix 10
2.5 ตัวอย่างการแสดงค่า Pixels Matrix 11
2.6 ระบบสี RGB 12
2.7 ระบบสีแบบ Gray Scale 13
2.8 กระบวนการทางการประมวลผลภาพ 15
2.9 การปรับปรุงภาพตัวอย่างภาพเริ่มต้นและหน้าต่างขนาด 3 × 3 16
2.10 การใช้หน้าต่างครอบภาพที่รับเข้ามา 17
2.11 ภาพต้นฉบับและ Histogram ที่ไม่ถูก Normalized 18
2.12 เปรียบเทียบภาพต้นฉบับซ้ายมือกับภาพที่ผ่านการทำ Histogram ขวามือ 19
2.13 เปรียบเทียบ Histogram ของภาพต้นฉบับกับภาพที่ผ่านการทำ Histogram 19
2.14 การแยกบริเวณทั้งสองวิธี 21
2.15 การทำงานของกระบวนการย่อยที่ชื่อว่า Connected Components Labeling ภาพ Binary Image ซ้ายมือได้จากวิธี Global Threshold 21
2.16 ระบบภาพสเตริโอแบบอุปกรณ์รับสัญญาณภาพตั้งฉากกับระนาบวัตถุ 25
2.17 อุปกรณ์รับสัญญาณภาพที่ใช้ในการทดลง 26
2.18 ความยาวโฟกัสของกล้อง 27
2.19 กล้องสเตริโอที่มีจำหน่ายในท้องตลาด 28
2.20 การควบคุมสเต็ปมอเตอร์ 32
2.21 โครงสร้างของฟังก์ชัน NI-IMAQ for USB Cameras 34

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ หน้า

2.22 ขั้นตอนในฟังชันก์การถ่ายภาพในโปรแกรม LabVIEW 35

2.23 การเชื่อมต่อการรับภาพจากกล้อง Webcam 35

2.24 การเขียนโปรแกรมควบคุมสเต็ปมอเตอร์ด้วยฟังก์ชัน Daq Assistants ในโปรแกรม LabVIEW 36

3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยโดยรวม 38

3.2 ขั้นตอนการตรวจจับสายส่งและระบบควบคุมตำแหน่งชุดแขนรับกระแสไฟฟ้า 39

3.3 การกำหนดพิกัดของแบบจำลองชุดแขนรับกระแสไฟฟ้าด้วยสายส่งจากด้านบน 40

3.4 การตั้งแกนของแขนรับกระแสไฟฟ้า 40

3.5 การกำหนดพิกัดของแบบจำลองชุดแขนรับกระแสไฟฟ้า (x_1, y_1) กับสายส่งกระแสไฟ 41

3.6 การกำหนดพิกัดของแบบจำลองชุดแขนรับกระแสไฟฟ้ากับสายส่งกระแสไฟฟ้า (θ_1) ระนาบ (x_0, y_0) 41

3.7 แบบจำลองชุดแขนรับกระแสไฟฟ้า ซึ่งมีกล้องติดตั้ง 3 ตัว 42

3.8 การเชื่อมต่ออุปกรณ์ของแบบจำลองชุดแขนรับกระแสไฟฟ้า 43

3.9 แบบจำลองชุดแขนรับกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการทดลองระบบควบคุมชุดแขนรับกระแสไฟฟ้า 44

3.10 การทดลองติดตั้งกล้องในแบบที่ 1 45

3.11 การทดลองติดตั้งกล้องในแบบที่ 2 45

3.12 การทดลองติดตั้งกล้องในแบบที่ 3 45

3.13 การทดลองติดตั้งกล้องในแบบที่ 4 46

3.14 รายละเอียดเกี่ยวกับขั้นตอนการควบคุมตำแหน่งชุดแขนรับกระแสไฟฟ้า 47

3.15 สายส่งกระแสไฟฟ้าจากงานวิจัยของภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล 47

3.16 การปรับแต่งภาพเพื่อแยกวัตถุออกจากภาพพื้นหลัง 48

3.17 แนวคิดของภาพสเตริโอ ด้วยวิธีสามเหลี่ยมคล้าย 48

3.18 การเขียนโปรแกรมสเตริโอวิชั่นเพื่อหาความสูงระหว่างกล้องกับสายส่งกระแสไฟฟ้าโดยใช้โปรแกรม LabVIEW 50

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ หน้า

3.19 การหา θ_c จากฟังชันก์ Find Straight Edge Setup ในโปรแกรม LabVIEW Vision Assistant 51

3.20 การหาระยะ d_1 51

3.21 การหาระยะ θ_1 52

3.22 ตัวอย่างตำแหน่งชุดแขนรับกระแสไฟฟ้าทำมุมแบบที่ 1 53

3.23 ตัวอย่างตำแหน่งชุดแขนรับกระแสไฟฟ้าทำมุมแบบที่ 2 53

3.24 ตัวอย่างตำแหน่งชุดแขนรับกระแสไฟฟ้าทำมุมแบบที่ 3 53

3.25 ตัวอย่างตำแหน่งชุดแขนรับกระแสไฟฟ้าทำมุมแบบที่ 4 54

3.26 ตัวอย่างตำแหน่งชุดแขนรับกระแสไฟฟ้าทำมุมแบบที่ 5 54

3.27 การทดสอบของระบบสเตริโอวิชั่นโดยอาศัยก้านดินสอพันด้วยเทปสีดำ 55

3.28 ตรวจสอบค่าที่วัดได้จริง (360 mm) 55

3.29 การจับภาพของทั้ง 2 กล้อง เพื่อสอบเทียบของระบบสเตริโอวิชั่น 56

3.30 การจับภาพของทั้ง 2 กล้อง และแสดงค่าที่ประมวลผล 56

3.31 แบบจำลองชุดแขนรับกระแสไฟฟ้า 57

3.32 กำหนดให้ค่าความผิดพลาดจากสายส่งเทียบกับปลายแขนรับกระแสไฟฟ้า 57

3.33 แบบจำลองชุดแขนรับกระแสไฟเริ่มต้นที่ตำแหน่งองศาการหมุนเท่ากับศูนย์เสมอ 57

3.34 แบบจำลองชุดแขนรับกระแสไฟฟ้าขึ้นไปแตะสายส่ง 58

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

BRT	Bus Rapid Transit
CCD	Charge Coupled Device
CMOD	Complementary Metal Oxide Semiconductor
CPU	Central Processing Unit
DSP	Digital Signal Processor
RGB	Red Green Blue
HSV	Hue Saturation Value
HLS	Hue Lightness Saturation
PPI	Pixel Per Inch

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันการเดินทางด้วยการขนส่งสาธารณะเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่งในการดำรงชีวิตของมนุษย์ ซึ่งการขนส่งสาธารณะพื้นฐานในปัจจุบันได้แก่ การขนส่งทางบก ทางน้ำ ทางอากาศ เป็นต้น ล้วนแล้วแต่เป็นการขนส่งที่จำเป็นต่อชีวิตมนุษย์ทั้งสิ้น โดยเฉพาะประชากรที่อาศัยอยู่ในกรุงเทพมหานครที่ต้องอาศัยการเดินทางด้วยการขนส่งเหล่านี้ ซึ่งการขนส่งที่คนส่วนใหญ่ใช้บริการได้แก่ รถเมล์ รถไฟฟ้า รถขนส่งสาธารณะ "รถ BRT" ย่อมาจาก (Bus Rapid Transit) โดยรถไฟฟ้าขนส่งมวลชน หรือ BTS จะใช้พลังงานไฟฟ้าในการขับเคลื่อนจึงไม่ปล่อยมลพิษทำลายสิ่งแวดล้อมและยังปลอดภัยในการเดินทาง ส่วนรถเมล์จะปล่อยควันพิษจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ออกมา ทำให้เกิดมลพิษทางอากาศและมลพิษทางสิ่งแวดล้อม ด้วยเหตุนี้ทางกรุงเทพมหานครจึงมีการรณรงค์ให้คนที่ใช้บริการรถเมล์หันไปใช้บริการรถไฟฟ้า แต่เนื่องจากรถไฟฟ้ายังไม่ครอบคลุมเส้นทางการขนส่งในเมืองทั้งหมด คนส่วนใหญ่จึงยังคงใช้บริการรถเมล์

ในต่างประเทศมีรถเมล์ด่วนพิเศษ ซึ่งคล้ายกับรถ BRT ที่ใช้ในกรุงเทพมหานครเช่นกัน แต่พลังงานที่ใช้ในรถ BRT เป็นก๊าซธรรมชาติ ส่วนในต่างประเทศใช้เป็นรถเมล์แบบไฮบริดจ์ มี 2 ระบบ คือ เครื่องยนต์ดีเซล และมอเตอร์ไฟฟ้า ซึ่งมีบางรุ่นเป็นแบบใช้ไฟฟ้าทั้งคันโดยมีแบตเตอรี่เป็นตัวเก็บกระแสไฟฟ้า และรับกระแสไฟด้วยสายส่งจากด้านบนแทนการใช้เชื้อเพลิงธรรมชาติ ซึ่งอาจเรียกชื่อว่า Trolleybus

ภาพที่ 1.1 รถโทลี่บัสในต่างประเทศ [1]

ภาพที่ 1.1 แสดง Trolleybus เป็นรถเมล์ที่มีชุดแขนรับกระแสไฟฟ้าด้วยสายส่งทางด้านบน โดยชุดแขนรับไฟจะรับกระแสไฟฟ้าเข้ามาเก็บไว้ที่ระบบ และอีกส่วนจะจ่ายให้มอเตอร์เพื่อขับเคลื่อน ภาพที่ 1.2 แสดงชุดแขนรับกระแสไฟฟ้าที่พัฒนาขึ้นโดยงานวิจัยของภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี [2] ภาพที่ 1.3 แสดงการใช้คนชักโยงแขนรับกระแสไฟฟ้า ซึ่งอาจเกิดอันตรายได้ในสภาพอากาศที่มีความชื้นหรือฝนตก ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะแก้ปัญหาในจุดนี้ เพื่อหลีกเลี่ยงการใช้คนชักโยงแขนรับกระแสไฟฟ้าไปที่สายส่ง โดยมุ่งที่การออกแบบชุดควบคุมตำแหน่งของชุดแขนรับกระแสไฟฟ้า โดยผ่านอุปกรณ์ควบคุมแทนคนชักโยง

ภาพที่ 1.2 ชุดแขนรับกระแสไฟฟ้าที่พัฒนาขึ้นโดยภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล [2]

ภาพที่ 1.3 กลไกการชักโยงที่ยังต้องอาศัยคนขับรถ [2]

1.2 กรอบแนวความคิดในงานวิจัย

จากระบบเดิมนั้น ชุดแขนรับกระแสไฟฟ้าด้วยสายส่งจากด้านบนของ Trolleybus จะใช้คนชักโยงให้ไปแตะที่สายส่งนั้น ทางผู้วิจัยมีแนวคิดที่จะออกแบบชุดควบคุมชุดแขนรับกระแสไฟฟ้าให้เป็นระบบกึ่งอัตโนมัติ โดยอาศัยภาพถ่ายและเทคนิคสเตริโอมาช่วยค้นหาตำแหน่งของสายไฟ และเคลื่อนที่ตัวชุดแขนรับ [2] ภาพที่ 1.4 แสดงภาพรวมของประเด็นปัญหา สาเหตุ เป้าหมาย และวิธีการแก้ปัญหา

1. ปัญหา

1) การควบคุมชุดแขนรับกระแสไฟฟ้าไม่มีประสิทธิภาพ
2) คนอาจถูกไฟฟ้าช็อกได้ในขณะฝนตก

↓

2. สาเหตุ

1) ขาดระบบควบคุมตำแหน่งชุดแขนรับกระแสไฟทำให้ต้องขึ้นอยู่กับความชำนาญของคนขับ
2) การชักโยงชุดแขนรับกระแสไฟฟ้าใช้คนขับรถ

↓

3. เป้าหมาย

1) ระบบการควบคุมตำแหน่งชุดแขนรับที่อาศัยระบบ Vision System
2) แบบจำลองกลไกที่ทำงานแทนคนชักโยง

↓

4. วิธีการ

1) ออกแบบและสร้างแบบจำลองกลไกการหมุนและการยกแขนรับกระแสไฟฟ้าขึ้นมาโดยอาศัยสเต็ปมอเตอร์
2) ออกแบบและสร้างระบบตรวจสอบและควบคุมตำแหน่งของชุดแขนรับกระแสไฟฟ้าขึ้นไปจับสายส่งโดยอาศัยระบบควบคุมแบบ Stereo Vision System

ภาพที่ 1.4 องค์ประกอบของปัญหาที่เป็นกรอบแนวคิดโดยภาพรวมของงานวิจัย

1.3 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.3.1 เพื่อศึกษาวิธีการตรวจสอบตำแหน่งของวัตถุด้วยกล้อง โดยใช้เทคนิคสเตริโอวิชั่น

1.3.2 เพื่อออกแบบและสร้างแบบจำลองชุดแขนรับกระแสไฟฟ้าด้วยสายส่งจากด้านบน

1.3.3 เพื่อออกแบบโปรแกรมระบบตรวจจับสายส่งและควบคุมตำแหน่งชุดแขนรับกระแสไฟฟ้าด้วยสายส่งจากด้านบน

1.4 สมมติฐานของงานวิจัย

1.4.1 การทดลองชุดแขนรับกระแสไฟฟ้า จะทดลองในห้องที่ความสว่างของแสงประมาณ 150 ลักซ์ ขึ้นไป

1.4.2 งานวิจัยนี้จะพิจารณาเฉพาะการควบคุมแบบจำลองชุดแขนรับกระแสไฟฟ้าให้ไปในตำแหน่งที่ต้องการก่อน โดยยังไม่ได้พิจารณาในส่วนของความเร็วและอัตราเร่ง

1.5 ขอบเขตของโครงการวิจัย

1.5.1 แบบจำลองชุดแขนรับกระแสไฟฟ้า จะใช้เวลาในการขึ้นไปแตะสายส่งไม่เกิน 10 วินาที

1.5.2 แบบจำลองชุดแขนรับกระแสไฟฟ้า จะทำมุมเอียงไม่เกิน 15 องศาเทียบกับสายส่งเมื่อมองจากด้านบน

1.5.3 การตรวจจับตำแหน่งของสายส่งใช้กล้อง Webcam

1.6 ข้อจำกัดของงานวิจัย

1.6.1 การทดลองไม่สามารถทำได้ในที่มีแสงสว่างน้อย เนื่องจากกล้องไม่สามารถตรวจจับตำแหน่งสายส่งได้อย่างชัดเจน

1.6.2 ตัวชุดแขนรับจะต้องเริ่มต้นที่ตำแหน่งองศาการหมุนเท่ากับศูนย์เสมอ

1.6.3 ระบบควบคุมเป็นแบบระบบเปิด (Open Loop System)

1.7 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

1.7.1 ศึกษาและรวบรวมข้อมูล ระบบแขนรับกระแสไฟจากสายส่ง

1.7.2 ศึกษาและรวบรวมข้อมูล ระบบ Vision System

1.7.3 ออกแบบจำลองชุดแขนรับกระแสไฟฟ้าจากสายส่ง

1.7.4 สร้างแขนรับกระแสไฟฟ้าจากสายส่ง

1.7.5 ออกแบบโปรแกรมระบบควบคุมตำแหน่งชุดแขนรับกระแสไฟฟ้า โดยใช้ระบบ Vision System

1.7.6 ทดลองการควบคุมและปรับปรุง

1.7.7 วิเคราะห์และแก้ปัญหาที่เกิดขึ้น

1.7.8 สรุปและจัดพิมพ์รายงาน

1.8 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.8.1 เป็นฐานความรู้ที่เกี่ยวข้องกับชุดแขนรับกระแสไฟฟ้าด้วยสายส่งจากด้านบน

1.8.2 รู้ถึงระบบ โครงสร้าง ตัวตรวจจับตำแหน่งของชุดแขนรับกระแสไฟฟ้าและการควบคุมชุดแขนรับกระแสไฟฟ้าด้วยสายส่งจากด้านบน

1.8.3 พัฒนาทักษะในการควบคุมด้วยกล้อง โดยใช้เทคนิคสเตริโอวิชั่น

1.8.4 พัฒนาทักษะในการเชื่อมโยงอุปกรณ์ในการควบคุมชุดแขนรับกระแสไฟฟ้า

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

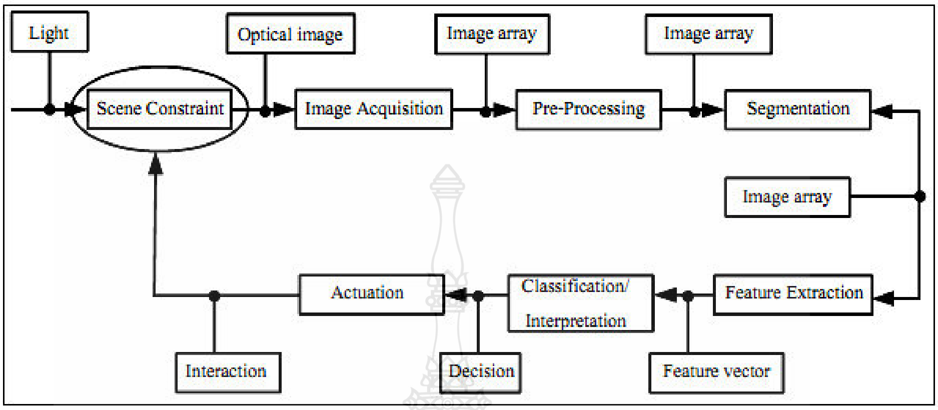
งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาเอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับระบบควบคุมตำแหน่งชุดแขนรับกระแสไฟฟ้าของรถโทลี่บัสโดยใช้ภาพถ่ายสเตริโอ ซึ่งประกอบไปด้วยทฤษฏีการประมวลภาพและหลักการของ Stereo Vision เพื่อตรวจจับตำแหน่งสายส่ง ทฤษฏีการคำนวณระยะทางจากกล้องถึงวัตถุ รวมไปถึงงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ภาพรวมของระบบการมองเห็นด้วยคอมพิวเตอร์ (Vision System)

ระบบการมองเห็นด้วยคอมพิวเตอร์เป็นวิธีการที่ทำให้อุปกรณ์ประมวลผลต่าง ๆ ในคอมพิวเตอร์ หรืออุปกรณ์ประมวลสัญญาณดิจิตอล (Digital Signal Processor; DSP) มีความสามารถในการ “รับรู้” ข้อมูลที่ได้จากภาพหรือกลุ่มของภาพนั้นจะทำให้อุปกรณ์ประมวลผลนั้นๆ สามารถตัดสินใจ และสั่งงานกลไกส่วนต่างๆ ได้ ยกตัวอย่างเช่น ผู้อ่านที่เป็นมนุษย์และมีสภาพร่างกายปกติจะสามารถแยกแยะสิ่งของที่ต้องการจากกองสิ่งของหลายๆ อย่างได้ หรือสามารถแยกแยะหน้าคนที่คุ้นเคยได้จากกลุ่มคนที่อยู่ภายใต้สภาพแวดล้อมที่มีฝนตกหรือหมอกลงจัด การทำกิจกรรมดังกล่าวนั้น ผู้อ่านจึงสามารถทำได้โดยใช้ความพยายามเพียงเล็กน้อย วิธีการทำงานของอุปกรณ์ประมวลผลที่มีอยู่ในปัจจุบันจึงทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของมนุษย์สูงขึ้น อีกหนึ่งตัวอย่างก็คือระบบตรวจสอบชิ้นงานด้วยภาพแบบอัตโนมัติ ซึ่งเป็นการนำเอาระบบการมองด้วยคอมพิวเตอร์ไปประยุกต์ใช้ในงานอุตสาหกรรม เพื่อใช้ตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ซึ่งมีหัวข้อในการตรวจสอบอยู่หลายๆ หัวข้อด้วยกัน เช่น การตรวจสอบการปนเปื้อนบนพื้นผิวของผลิตภัณฑ์การผิดเพี้ยนของสีของผลิตภัณฑ์ (Discoloring) การนับจำนวนชิ้นส่วนต่างๆ ที่อยู่บนผลิตภัณฑ์ เป็นต้น ซึ่งขั้นตอนและส่วนประกอบโดยทั่วไปของระบบการมองด้วยคอมพิวเตอร์ประกอบไปด้วย

1) เริ่มถ่ายภาพ
2) การแยกภาพ
3) การดึงลักษณะเฉพาะ
4) การแยกภาพเป็นหมู่
5) การตรวจสอบรายละเอียด
6) ควบคุมการทำงาน

โดยขั้นตอนและส่วนประกอบของระบบการมองเห็นด้วยคอมพิวเตอร์รวมถึงระบบประมวลผลด้วยภาพ ดังที่แสดงไว้ในภาพที่ 2.1 ซึ่งประด้วยส่วนต่างๆ ดังนี้



ภาพที่ 2.1 ส่วนประกอบของ Vision System [3]

ส่วนประกอบของระบบการมองเห็น คือ

2.1.1 การจัดสภาพแวดล้อม (Scene Constraint) [3]

จุดมุ่งหมายหลักของการจัดสภาพแวดล้อม คือ เพื่อลดความซับซ้อนในการประมวลผลให้มากที่สุดเนื่องจากความสามารถของการมองเห็น และรับรู้ของอุปกรณ์ประมวลผลมีอยู่อย่างจำกัด จึงต้องช่วยลดความยุ่งยากของการประมวลผล โดยสามารถทำได้หลายวิธีร่วมกันยกตัวอย่างเช่น

1) การจัดการกับชิ้นงาน ชิ้นงานแต่ละชิ้นที่จะถูกป้อนให้กับระบบตรวจสอบ จะต้องถูกจัดให้วางตัวในทิศทางเดียวกัน

2) ระยะห่างระหว่างกล้องหรือเลนส์ถึงวัตถุและทิศทางของกล้องจะต้องถูกกำหนดไว้ตายตัวมิฉะนั้นการวัดขนาดของชิ้นส่วนต่างๆ ก็จะผิดเพี้ยน

3) การจัดการเรื่องแสงเป็นองค์ประกอบที่สำคัญมาก จำเป็นจะต้องพิจารณาทั้งเรื่องการเลือกใช้แหล่งกำเนิดแสง การกระจายของแสง และคุณสมบัติอื่นๆ สำหรับการตรวจสอบชิ้นงาน

นอกจากการจัดสภาพแวดล้อมในการทำงานให้กับระบบตรวจสอบชิ้นส่วนจากภาพแบบอัตโนมัติแล้ว งานบางประเภทอาจจะต้องมีการใช้ภาพจากกล้องหลายๆ ตัว เพื่อใช้ตรวจสอบชิ้นงานจากหลายๆ มุมมอง ซึ่งบางกรณีอาจจะเป็นการใช้กล้องเพียงตัวเดียว แต่ตัวกล้องสามารถเคลื่อนที่ไปตามส่วนต่างๆ ของชิ้นงานได้ และสำหรับบางกรณีอาจจะมีการเก็บภาพของวัตถุเดียวกันที่ได้จากแหล่งกำเนิดแสงหลายๆ แหล่งและหลายๆ ประเภทก็เป็นได้

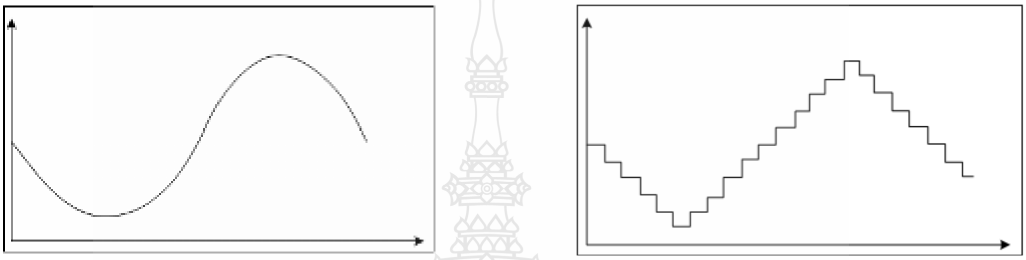
2.1.2 การดึงข้อมูลภาพ (Image Acquisition) [3]

กระบวนการดึงข้อมูลภาพ คือ กระบวนการที่เริ่มตั้งแต่การถ่ายภาพโดยกล้อง ไปจนถึงการดึงภาพ ซึ่งเป็นข้อมูลที่อยู่ในกล้องมาสู่คอมพิวเตอร์หรืออุปกรณ์ประมวลผล เพื่อที่จะได้ประมวลผลและตัดสินใจสั่งงานจากผลที่ได้ต่อไป ซึ่งมีส่วนสำคัญดังนี้

1) ประเภทของกล้องในปัจจุบันนั้นจะเป็นกล้องดิจิตอล โดยใช้อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำที่เรียกกันว่าเซ็นเซอร์ รับภาพ ซึ่งจะประกอบด้วยไดโอดที่มีความไวต่อแสงเรียงตัวกันอยู่เป็นจำนวนมาก ทันทีทันใดที่แสงมีการตกกระทบไดโอดเหล่านั้น ไดโอดแต่ละตัวก็จะทำการจดจำความเข้มแสงหรือความส่องสว่างของแสงที่ตกกระทบไดโอดแต่ละตัวไว้ โดยปริมาณประจุไฟฟ้าที่สะสมอยู่ในตัวไดโอดจะแปรผันกับแรงดันตกคร่อมตัวไดโอด และจะเพิ่มขึ้นตามความเข้มของแสงที่ตกกระทบ ซึ่งความเข้มแสงที่ได้จดจำไว้ในไดโอดแต่ละตัว จะถูกแปลงให้อยู่ในรูปของข้อมูลที่เป็นดิจิตอลและเก็บไว้ในหน่วยความจำที่อยู่ในตัวกล้อง เพื่อรอส่งให้อุปกรณ์ที่อยู่ภายนอกกล้องต่อไป กล้องสำหรับงานตรวจสอบชิ้นงาน แบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ กล้องประเภท Line Scan และกล้องประเภท Area Scan ดังแสดงในภาพที่ 2.2 ข้อแตกต่างระหว่างกล้องทั้ง 2 ประเภทนั้น คือ กล้องประเภท Line Scan นั้นเซลล์รับภาพสำหรับรับความเข้มแสงจะเรียงตัวเป็นแถวยาว ทำให้การที่จะสามารถจับภาพได้กล้องจะต้องมีการเคลื่อนที่สัมพัทธ์กับวัตถุ ข้อดีของกล้องประเภทนี้คือ จะให้ความละเอียดของภาพสูง ส่วนกล้องประเภท Area Scan เซลล์รับภาพจะมีการเรียงตัวกันอยู่ในพื้นที่ซึ่งเซลล์แต่ละเซลล์ จะทำการแปลงค่าความเข้มแสงออกมาเป็นค่าตัวเลขในเวลาพร้อมๆ กัน กล้องประเภทนี้สามารถนำไปใช้ได้อย่างสะดวกง่ายดาย โดยที่ไม่จำเป็นต้องออกแบบให้มีการเคลื่อนไหวสัมพัทธ์ระหว่างตัวกล้องกับชิ้นงาน จึงทำให้กล้องชนิดนี้เป็นที่นิยมใช้อย่างกว้างขวาง

ภาพที่ 2.2 เซ็นเซอร์รับภาพของกล้องประเภท Areas Scan ของกล้องถ่ายภาพ Gray Scale และของกล้องถ่ายภาพสี [3]

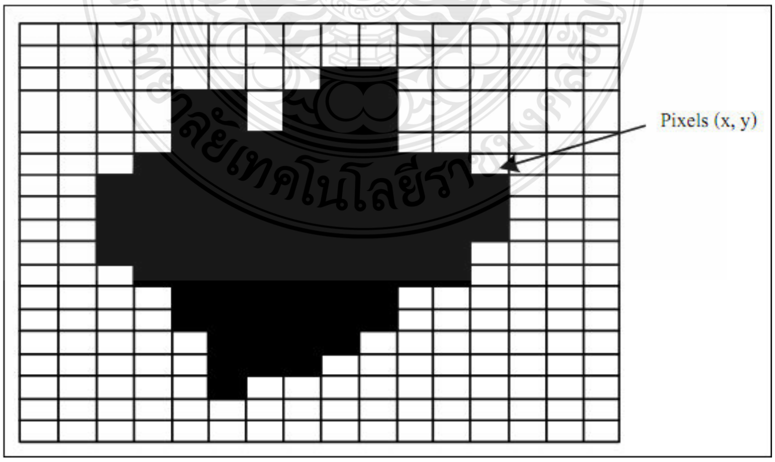
2) ภาพที่อุปกรณ์ประมวลผลมองเห็น ซึ่งจะประกอบด้วยเซลล์รับภาพ (Pixel) จำนวนมาก เซลล์รับภาพแต่ละเซลล์จะทำหน้าที่แปลงความเข้มแสง ให้อยู่ในรูปของค่าสัญญาณแรงดันไฟฟ้า ซึ่งจะถูกแปลงเป็นสัญญาณดิจิตอลด้วยตัวแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอลอีกทีหนึ่ง ภาพที่ได้มาจากระบบอนาล็อกนั้นจะเป็นภาพแบบต่อเนื่องไม่สามารถนำมาใช้ ในการประมวลผลได้ต้องทำการแปลงให้เป็นภาพเชิงตัวเลขก่อนด้วยวิธีการ Digitization ซึ่งเป็นฟังก์ชันต่อเนื่อง $f(x, y)$ เพื่อที่จะสามารถนำมาประมวลผลด้วยคอมพิวเตอร์ได้ ดังแสดงในภาพที่ 2.3



(ก) การแปลงภาพแบบต่อเนื่อง (ข) การแปลงภาพเชิงตัวเลข

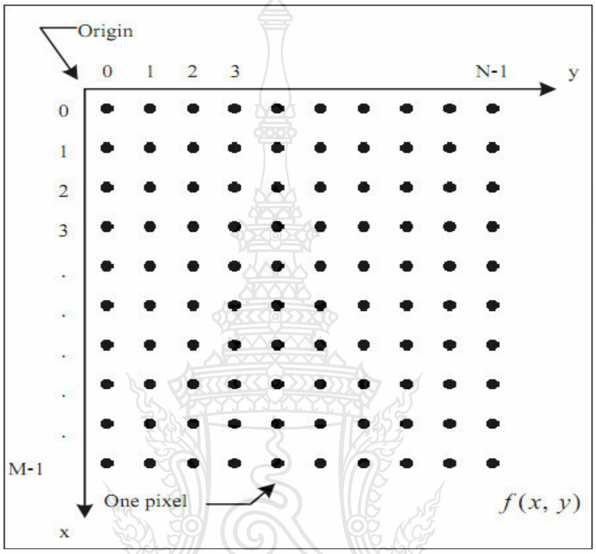
ภาพที่ 2.3 การแปลงภาพแบบต่อเนื่องและการแปลงเป็นภาพเชิงตัวเลขจากวิธีการ Digitization [3]

โดยการแทนภาพด้วยข้อมูลแบบดิจิตอล ข้อมูลภาพเป็นข้อมูลที่ถูกดัดแปลงจากภาพแบบต่อเนื่องให้อยู่ในรูปตัวเลข ด้วยวิธีการ Digitization จะถูกแบ่งเป็นพื้นที่สี่เหลี่ยมเล็กๆ ที่เรียกว่า Pixels โดยแต่ละ Pixels จะใช้ (x, y) ในการระบุตำแหน่ง ภาพที่ 2.4 แสดงข้อมูลที่สามารถแสดงได้ในรูปของ Matrix เมื่อเปรียบเทียบระหว่างภาพและ Pixels Matrix



ภาพที่ 2.4 การเปรียบเทียบระหว่างภาพกับ Pixels Matrix [3]

ภาพที่ 2.5 แสดงตัวอย่างการแสดงค่า Pixels Matrix โดยค่าของ Pixels ณ จุดใดๆ จะแสดงค่าความเข้มของแสง ได้หลายระดับเช่น ถ้ามี 2 ระดับเป็นไปได้ คือ 0 กับ 1 ซึ่งถ้าแยกระดับแสงออกมาจะปรากฏสี 3 สี คือ สีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน (ระบบสี RGB) อยู่ซ้อนกันในหนึ่ง Pixel กรณีภาพนั้นเป็นภาพขาวดำขนาด 8 บิต จะมีความยาว N หรือเทียบเท่ากับ 256 คือค่า 0 ถึง 255 ยังหมายถึงระดับความละเอียดของภาพ



ภาพที่ 2.5 ตัวอย่างการแสดงค่า Pixels Matrix [3]

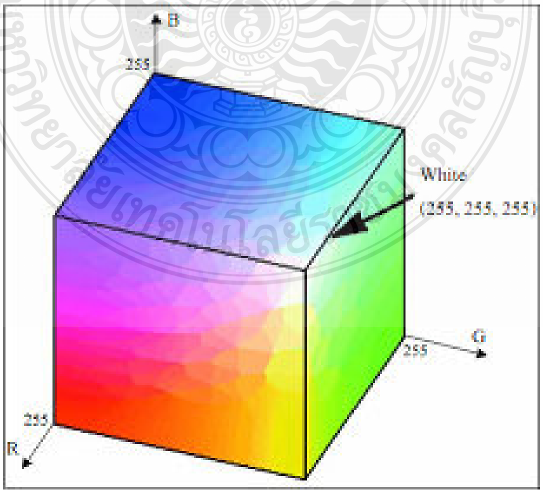
สำหรับภาพ Gray Scale ที่อุปกรณ์ประมวลผลมองเห็น มีลักษณะเป็นอาร์เรย์ 2 มิติ โดยค่าแต่ละช่องของอาร์เรย์จะแทนความเข้มแสง ซึ่งจะเป็นค่าที่ไม่ต่อเนื่อง (Discrete Value) เนื่องจากเป็นการทำงานของอุปกรณ์ดิจิตอล ซึ่งจะเป็นการสุ่มขนาดความเข้มแสงที่ตกกระทบ (Amplitude Sampling) โดยทั่วไปค่าความเข้มแสงนี้จะมีค่าระหว่าง 0-255 เท่านั้น เมื่อนำค่าใน Pixels Matrix f(x, y) มาแสดงในรูปของ Matrix จะปรากฏภาพที่มีจำนวนแถวหรือความสูงของภาพเท่ากับ M แถว และมีจำนวนหลักหรือความกว้างของภาพเท่ากับ N หลัก

สำหรับกรณีของภาพสีนั้น ข้อมูลของภาพจะเป็นอาร์เรย์ 2 มิติ จำนวน 3 อาร์เรย์ ด้วยกัน และโดยทั่วไปอาร์เรย์เหล่านี้ จะเก็บค่าความเข้มของสีแดง เขียว น้ำเงิน ตามลำดับ ซึ่งแต่ละช่องอาร์เรย์เหล่านี้จะมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 255 เช่นกัน ดังนั้นการแทนสีที่เกิดขึ้นจริงตามธรรมชาติของอุปกรณ์ประมวลผล จะแทนด้วยค่าความเข้มสี ณ ตำแหน่งเดียวกันของอาร์เรย์ทั้งสามมาผสมกัน สำหรับในทางปฏิบัตินั้น หากพิจารณาในแง่ของโปรแกรมการส่งข้อมูลภาพจากกล้องมาสู่

คอมพิวเตอร์ จะไม่ได้อยู่ในรูปอาร์เรย์ 2 มิติ แต่จะอยู่ในรูป Byte Stream ที่เป็นข้อมูลที่มีความต่อเนื่องเรียงกัน ดังนั้นโปรแกรมจะต้องจัดเรียงข้อมูลที่มีความต่อเนื่องเหล่านี้ให้อยู่ในรูปอาร์เรย์ 2 มิติก่อน ทั้งนี้เพื่อความสะดวกในการอ้างอิงตำแหน่งของข้อมูลของกระบวนการต่อไปนั่นเอง

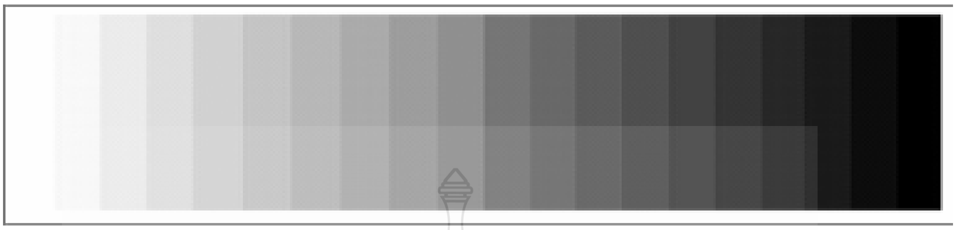
สำหรับการแสดงข้อมูลภาพที่มีขนาด 1 บิต และ 8 บิต นั้น จะมีการทำงานที่ใกล้เคียงกัน เนื่องจากหน่วยประมวลผลจะไม่สามารถจัดการกับข้อมูลที่เป็นบิตเดี่ยวๆ ได้ ดังนั้นในการแสดงข้อมูลออกทางจอภาพตัวโปรเซสเซอร์จะทำการก็อปปี้ข้อมูลทั้ง 8 บิต (1 Byte) ส่งให้กับจอภาพ ซึ่งในกรณีที่ Pixel มีขนาด 1 บิต เมื่อโปรเซสเซอรทำงานกับบิตแรกที่ต้องการแล้ว ก็จะทำการก็อปปี้ข้อมูลชุดใหม่ทันที โดยที่ไม่เกี่ยวกับข้อมูลอีก 7 บิตที่เหลือส่วนในกรณี Pixel ที่มีขนาด 8 บิต โปรเซสเซอร์จะทำการก็อปปี้ข้อมูลชุดใหม่ก็ต่อเมื่อ โปรเซสเซอร์ทำงานกับทุกบิตแล้ว ตัวอย่างสำหรับระบบที่มีความละเอียดเท่ากับ 800 × 600 และมีขนาด 16 บิตต่อ Pixel จะสามารถแสดงสีได้ทั้งหมด 65536 ระดับ และต้องใช้เนื้อที่ในการเก็บเท่ากับ 800×600×16 บิต

3) ระบบสี (Color Model) มาตรฐานของสีที่ใช้อยู่ในปัจจุบันมีอยู่หลายระบบด้วยกัน ทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับการนำไปใช้ แต่โดยทั่วไปแล้วทุกมาตรฐานจะมีแนวคิดเดียวกันคือ การแทนจุดสีด้วยจุดที่อยู่ภายในช่องว่าง 3 มิติ โดยจะมีแกนอ้างอิงสำหรับจุดสีนั้นในช่องว่าง ซึ่งแต่ละแกนจะมีความเป็นอิสระต่อกัน ตัวอย่างเช่น ในระบบ RGB จะมีแกนสีคือ แกนสีแดง เขียวและน้ำเงิน เมื่อนำแม่สีเหล่านี้มาผสมกันก็จะได้ผลลัพธ์เป็นสีอื่น ดังภาพที่ 2.6 ในระบบ HLS จะมีแกนเป็นค่าสี (Hue) ความสว่าง (Lightness) และความบริสุทธิ์ของสี (Saturation) ตัวอย่างระบบสีที่นิยมใช้กันได้แก่ ระบบ RGB HSV (Hue Saturation Value) และ HLS (Hue Lightness Saturation)



ภาพที่ 2.6 ระบบสี RGB [3]

ระบบสี Gray Scale คือระบบที่มีค่าของสีแดง สีเขียวและสีน้ำเงินเท่ากันภาพจึงออกมาในโทนสีขาวดำดังแสดงในภาพที่ 2.7



ภาพที่ 2.7 ระบบสีแบบ Gray Scale [3]

การแปลงระบบสี RGB เป็นระบบสี Gray Scale นั้น จะทำการคิดคำนวณค่าในแต่ละจุดสีโดยแทนค่า RGB ทั้งสามค่าใหม่ตามสมการที่ 2.1 เมื่อค่าของสีแดง สีเขียวและสีน้ำเงินเท่ากันหมดแล้วจึงได้เป็นสีแบบ Gray Scale

$$\text{Gray scale} = 0.2989 * \text{RED} + 0.5870 * \text{GREEN} + 0.1140 * \text{BULE} \quad (2.1)$$

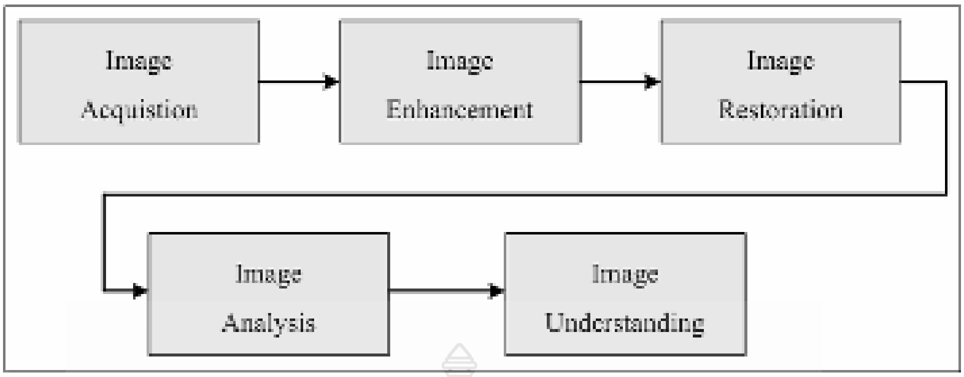
4) ลักษณะและความหมายของพิกเซลในโลกของภาพกราฟิกที่ถูกใช้ในงานคอมพิวเตอร์หน่วยพิกเซลถือเป็นหน่วยย่อยเล็กที่สุดของรูปภาพ ซึ่งเป็นจุดเล็กๆ ที่รวมกันทำให้เกิดเป็นภาพ ภาพหนึ่งจะประกอบด้วยจำนวนพิกเซลหรือจุดมากมาย ซึ่งในแต่ละภาพที่สร้างขึ้นจะมีความหนาแน่นของจุดหรือพิกเซลเหล่านี้ที่แตกต่างกันไป ความหนาแน่นของจุดนี้เป็นตัวบอกถึงความละเอียดของภาพโดยมีหน่วยเป็น PPI (Pixel Per Inch) คือ จำนวนจุดต่อนิ้วซึ่งพิกเซลมีความสำคัญต่อการสร้างภาพของคอมพิวเตอร์มาก เพราะทุกส่วนของภาพกราฟิก เช่น จุดเส้นแบบลายและสีของภาพนั้นเริ่มจากพิกเซลทั้งสิ้น เมื่อเราขยายภาพก็จะเห็นเป็นภาพจุด โดยปกติแล้วภาพที่มีความละเอียดสูงหรือคุณภาพดีควรจะมีค่าความละเอียด 300 × 300 PPI ขึ้นไป ซึ่งค่า PPI สูงก็จะทำให้ภาพมีความละเอียดคมชัดมากขึ้นเท่านั้น ในทำนองเดียวกันจุดหรือพิกเซลแต่ละจุดก็จะแสดงคุณสมบัติทางสีให้แก่ภาพด้วย โดยแต่ละจุดจะเป็นตัวสร้างสีประกอบรวมกันเป็นภาพ ซึ่งอาจมีขนาดความเข้มและสีที่แตกต่างกันได้ ทำให้เกิดเป็นภาพที่มีสีสันต่างๆ ตัวอย่างการแสดงผลของอุปกรณ์แสดงผล (Output Devices) เช่น เครื่องพิมพ์แบบ Dot Matrix หรือแบบ Laser รวมทั้งจอภาพจะเป็นการแสดงผลแบบ Raster Devices นั่นคือ อาศัยการรวมกันของ Pixel แสดงออกมาเป็นภาพ

2.1.3 การประมวลผลภาพ [3]

กระบวนการประมวลผลภาพ (Image Processing) โดยใช้ดิจิตอลคอมพิวเตอร์ ได้เริ่มต้นขึ้นในปี 1964 ณ ห้องทดลอง Jet Propulsion (Pasadena California) ซึ่งได้นำกระบวนการประมวลผลภาพมาใช้ในการพิจารณาภาพถ่ายดาวเทียมของดวงจันทร์ ต่อมาได้มีการตั้งสาขาทางวิทยาศาสตร์สาขาใหม่มีชื่อว่าการประมวลผลภาพดิจิตอล หลังจากนั้นงานทางด้านการประมวลผลภาพก็พัฒนาขึ้นเรื่อยๆ และใช้กันอย่างกว้างขวางสำหรับงานหลายๆ ด้าน ตัวอย่างเช่น การสื่อสารทางโทรคมนาคม การสื่อสารทางโทรทัศน์ ทางด้านการพิมพ์ ทางด้านกราฟิก การแพทย์ และการค้นคว้าทางวิทยาศาสตร์ กล่าวไว้ว่าการประมวลผลภาพดิจิตอลเป็นส่วนหนึ่งของการประมวลผลสัญญาณ กล่าวคือ การประมวลผลสัญญาณภาพดิจิตอลเป็นการประมวลผลสัญญาณที่มีอินพุตของระบบเป็นภาพเท่านั้นโดยวัตถุประสงค์ของการประมวลผลภาพแบ่งออกเป็นสองประเภทใหญ่ๆ คือ การปรับปรุงคุณภาพเพื่อให้มนุษย์สามารถมองเห็นรายละเอียดของภาพได้ชัดเจนมากขึ้นและเพื่อให้เครื่องคอมพิวเตอร์สามารถตีความภาพได้

การประมวลผลภาพดิจิตอลจะเกี่ยวกับการแปลงข้อมูลภาพในรูปแบบข้อมูลดิจิตอล ซึ่งสามารถที่นำเอาข้อมูลนี้จัดผ่านกระบวนการต่างๆ ด้วยคอมพิวเตอร์ ซึ่งในระบบของดิจิตอลอินพุตและเอาท์พุตของระบบจะอยู่ในรูปแบบดิจิตอลเท่านั้นโดย Digital Image Analysis จะเกี่ยวกับวิธีการอธิบายและการจดจำข้อมูลภาพดิจิตอล ซึ่งอินพุตของระบบจะเป็นข้อมูลภาพดิจิตอลและเอาท์พุตจะเป็นเครื่องหมายที่ใช้แทนข้อมูลภาพดิจิตอลเหล่านั้น ในการวิเคราะห์ภาพมีอยู่หลายวิธีด้วยกันที่ได้นำมาจากการทำงานของตามนุษย์ (Human Vision) นั่นก็คือ งานทางด้าน Computer Vision เป็นลักษณะเดียวกับ Digital Image Analysis นั่นเอง โดยการมองเห็นของมนุษย์นับว่าเป็นกระบวนการที่ซับซ้อน ซึ่งลักษณะเทคนิค โดยทั่วๆ ไปในกระบวนการ Digital Image Analysis และ Computer Vision จะค่อนข้างซับซ้อน เช่นกัน

ภาพที่ 2.8 แสดงกระบวนการประมวลผลภาพ ซึ่งการประมวลผลภาพดิจิตอลเป็นกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการแปลงข้อมูลภาพให้อยู่ในรูปแบบข้อมูลดิจิตอล ซึ่งสามารถที่จะนำเอาข้อมูลนี้ผ่านกระบวนการต่างๆ ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ได้ภาพดิจิตอลเป็นภาพที่ประกอบด้วยจุดภาพเล็กๆ จำนวนมากเรียกว่าพิกเซล โดยจะใช้ตัวเลขแทนค่าของระดับสีหรือระดับความสว่างของในแต่ละพิกเซล ซึ่งสามารถที่จะปรับแต่งเพื่อแสดงผลภาพตามต้องการได้ ดังนั้นภาพดิจิตอลจึงมีข้อดีตรงที่สามารถนำมาประมวลผลและปรับปรุงคุณภาพของข้อมูลด้วยกระบวนการต่างๆ ด้วยคอมพิวเตอร์ได้



ภาพที่ 2.8 กระบวนการทางการประมวลผลภาพ [3]

การแบ่งชั้นการประมวลผลภาพตามกระบวนการ

1) Image Representation และ Image Modeling คือ การสร้างภาพในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

2) Image Enhancement คือ การปรับปรุงคุณภาพของภาพเพื่อแสดงผลผ่านจอโดยไม่เปลี่ยนแปลงข้อมูลภายในภาพ

3) Image Restoration คือ การปรับปรุงคุณภาพของภาพโดยใช้ข้อมูลที่ทราบสาเหตุ (Minimize or Remove Known Degradations) เช่น Noise Filtering หรือ Correction of Geometric Distortion

4) Image Analysis คือ การอธิบายลักษณ์ต่างๆ ในภาพ เช่น ขนาด หรือ การหมุนของวัตถุในภาพ

5) Image Reconstruction from Projection คือ การจำลองเรขาคณิตของการเกิดภาพจาก Sensor

6) Image Data Compression คือ การบีบอัดขนาดของภาพซึ่งมีขนาดใหญ่มากโดยคงคุณภาพ

2.1.4 การปรับปรุงรูปภาพ [3]

การปรับปรุงรูปภาพ คือการนำภาพไปผ่านตัวกรองสัญญาณเพื่อให้ได้ภาพที่มีคุณสมบัติแตกต่างไปจากภาพเริ่มต้น เพื่อเน้นหรือลดทอนคุณสมบัติบางประการของภาพให้ได้ภาพที่มีคุณสมบัติตามความต้องการ ภาพที่ได้ออกมาใหม่นั้นจะมีความเหมาะสมต่อการนำไปใช้มากขึ้น ซึ่งการปรับปรุงรูปภาพนี้ไม่มีรูปแบบที่แน่นอนที่จะบอกว่าวิธีใดดีที่สุด ทั้งนี้การจะตัดสินว่าควรใช้วิธีใดจึงขึ้นอยู่กับว่าจะนำภาพไปใช้ทำอะไร

0	0	0	0	0	0
0	1	2	1	2	0
0	2	3	9	1	0
0	1	3	2	1	0
0	0	0	0	0	0

a1	a2	a3
a4	a5	a6
a7	a8	a9

ภาพที่ 2.9 การปรับปรุงภาพตัวอย่างภาพเริ่มต้นและหน้าต่างขนาด 3 × 3 [3]

จากภาพที่ 2.9 ซ้ายมือ เป็นรูปตัวอย่างของภาพเริ่มต้น ซึ่งค่าต่างๆ คือค่าของความเข้มแสง เริ่มด้วยการกรองข้อมูลภาพโดยใช้หน้าต่างขนาด 3×3 ตามภาพที่ 2.9 ขวามือครอบอยู่ที่มุมบนด้านซ้ายของภาพเริ่มต้น โดยจะให้จุดกึ่งกลางของหน้าต่างอยู่ที่ a5 โดยความเข้มแสง ณ จุดกึ่งกลางของหน้าต่างมีค่าเท่ากับ 1 ความเข้มแสงของจุดภาพในภาพผลลัพธ์ ณ ตำแหน่งที่ตรงกับกึ่งกลางของหน้าต่างที่ครอบอยู่บนภาพเริ่มต้นนั้นสามารถคำนวณได้จากค่าความเข้มแสงของทุกจุดในหน้าต่าง สิ่งที่ต้องระวังเมื่อจะทำการกรองภาพคืออย่าทำให้รายละเอียดที่สนใจขาดหายไป การกรองข้อมูลภาพมีหลายแบบ เช่น การกรองข้อมูลภาพโดยหาค่าเฉลี่ย (Mean Filtering) การกรองข้อมูลภาพโดยใช้ค่ามัธยฐาน การกรองข้อมูลภาพโดยใช้ค่าฐานนิยม (Modal Filtering) และการกรองข้อมูลภาพโดยใช้เกาส์เซียน (Gaussian Smoothness Filter) ซึ่ง Rafael and Richard (1993) ได้อธิบายจำแนกวิธีการปรับปรุงรูปภาพจะแบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ วิธีสปาเชียลโดเมน (Spatial Domain Method) คือ การประมวลผลภาพในมิติระยะทาง ซึ่งจะทำการประมวลผลกับค่าที่อยู่ในแต่ละพิกเซลนั้นโดยตรง และวิธีฟรีเควนซีโดเมน (Frequency Domain Method) คือ การประมวลผลภาพในมิติความถี่ซึ่งทำการประมวลผลกับภาพที่ถูกแปลงด้วยฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์ม (Fourier Transform)

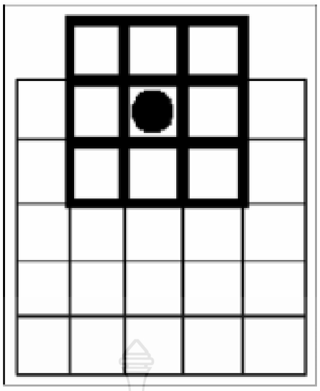
โดยวิธีสปาเชียลโดเมนเป็นกระบวนการที่ทำกับวิธีสปาเชียลโดเมน สามารถแทนด้วยสมการคณิตศาสตร์ได้ดังสมการที่ 2.2

$$g(x, y) = T[f(x, y)] \qquad (2.2)$$

โดยที่ f(x, y) คือ ข้อมูลภาพส่วนที่รับเข้ามา (Input)

g(x, y) คือ ภาพที่ได้ประมวลผลแล้ว

T คือ กระบวนการที่ทำกับฟังก์ชัน (f) โดยจะทำกับจุดข้างเคียงของ (x, y) ด้วยการที่จะนำจุดข้างเคียงมาประมวลผลด้วยสามารถทำได้โดยใช้ภาพสี่เหลี่ยม ดังแสดงในภาพที่ 2.10



ภาพที่ 2.10 การใช้หน้าต่างครอบภาพที่รับเข้ามา [3]

การนำหน้าต่างมาครอบที่ละจุด ซึ่งจะมีการคำนวณค่าทั้งหมดที่อยู่ในหน้าต่างแล้วแทนที่ลงไป ณ จุดนั้น จากนั้นจะเลื่อนหน้าต่างและคำนวณเหมือนเดิมไปเรื่อย ๆ วิธีที่ง่ายที่สุดในการสร้าง T คือใช้หน้าต่างขนาด 1×1 ซึ่งก็คือ 1 พิกเซล นั่นเอง ในกรณีนี้ g จะขึ้นกับค่าของภาพที่รับเข้ามาที่จุด (x, y) นั่นเอง การทำ Histogram Equalization Histogram ของภาพดิจิตอลที่เป็นระดับเทา (Gray Level) ในช่วง $[0, L^{-1}]$ คือฟังก์ชันที่เป็น Discrete ซึ่งสามารถแทนด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ได้ดังสมการที่ 2.3

$$h(rk) = nk \tag{2.3}$$

โดยที่ k คือ $[0, L^{-1}]$

rk คือ ระดับเทาที่ k

nk คือ จำนวนพิกเซลในภาพที่มีระดับเทาเท่ากับ rk

L คือ ระดับความสว่างสูงสุด

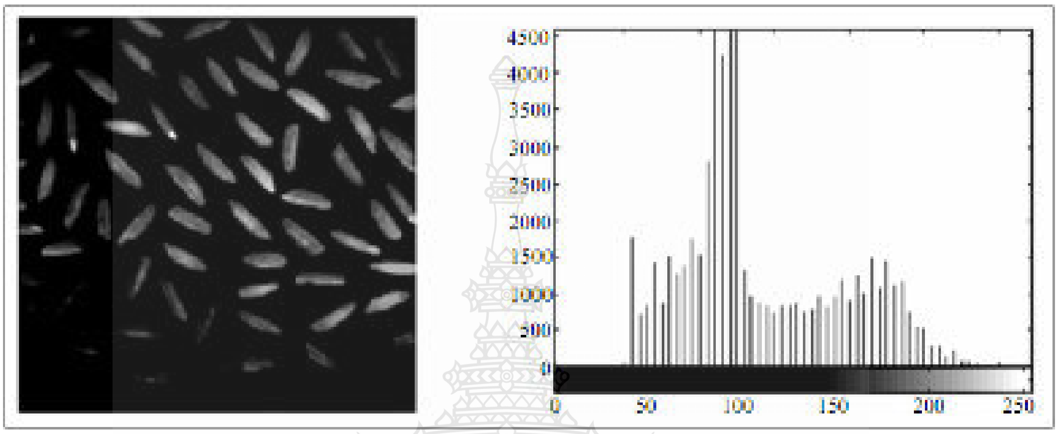
ปกติจะมีการ Normalize Histogram ด้วยการหารแต่ละค่าด้วยจำนวนพิกเซลทั้งหมดในภาพดังนั้น Histogram ที่ถูก Normalized จะเขียนเป็นสมการได้ดังสมการที่ 2.4

$$p(r_k) = \frac{n_k}{n} \tag{2.4}$$

โดยที่ k คือ [0, L $^{-1}$]

$p(r_k)$ คือ ค่าประมาณของความน่าจะเป็นของระดับเทาที่ r_k ที่มีในภาพสังเกตว่าผลรวมของค่าทุกค่าใน Histogram ที่ถูก Normalized นี้จะมีค่าเท่ากับ 1

n คือ จำนวนพิกเซลทั้งหมดที่อยู่ในภาพ



ภาพที่ 2.11 ภาพต้นฉบับและ Histogram ที่ไม่ถูก Normalized [3]

ภาพที่ 2.11 แสดงภาพต้นฉบับและ Histogram ที่ไม่ถูก Normalized และภาพที่ 2.12 และ 2.13 แสดงภาพที่ผ่านการทำ Histogram โดย Histogram Equalization สามารถอธิบายได้ดังสมการที่ 2.5 และสมการที่ 2.6 ซึ่งวิธี Histogram Equalization นี้จะช่วยกระจาย Histogram ของภาพ Input ทำให้ระดับผลลัพธ์ที่ได้ออกมานั้นกระจายระดับเทาในช่วงที่กว้างขึ้น

$$S_k = \sum p(r_j) \tag{2.5}$$

โดยที่ j=0 ถึง k เมื่อ k = 0, 1,..., L $^{-1}$

$$S_k = \sum \left(\frac{n_j}{n} \right) \tag{2.6}$$

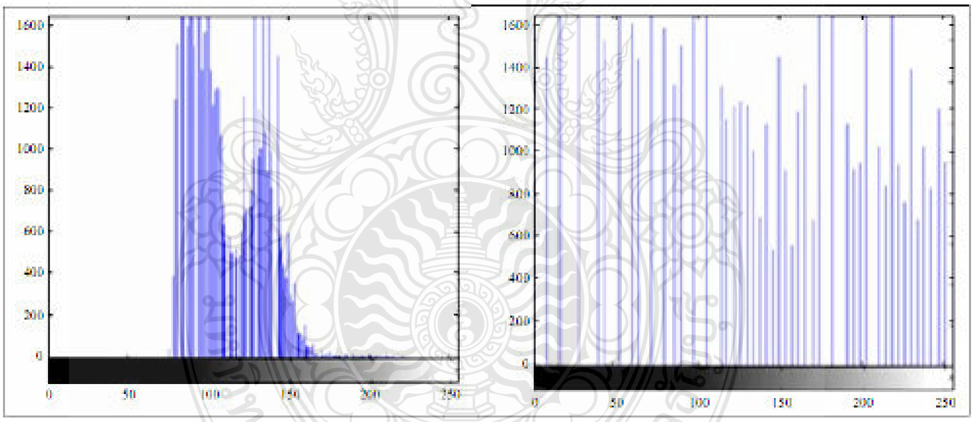
โดยที่ เมื่อ j=0 ถึง k เมื่อ k = 0, 1,..., L $^{-1}$

เมื่อ S_k คือ ค่าเอาต์พุตของ Histogram Flattening

n คือ จำนวนพิกเซลทั้งหมด

n_j คือ จำนวนพิกเซลที่ระดับความสว่างต่างๆ เมื่อ j = 0,1, 2,..., L $^{-1}$

ภาพที่ 2.12 เปรียบเทียบภาพต้นฉบับซ้ายมือกับภาพที่ผ่านการทำ Histogram ขวามือ [3]



ภาพที่ 2.13 เปรียบเทียบ Histogram ของภาพต้นฉบับกับภาพที่ผ่านการทำ Histogram [3]

จากวิธีฟรีเควนซีโดเมน ซึ่งเป็นการประมวลผลภาพในมิติความถี่โดยมีการใช้ทฤษฎีคอนโวลูชั่น (Convolution) ให้ g (x, y) เป็นรูปแบบภาพที่เกิดจากคอนโวลูชั่นของภาพ f (x, y) และ h(x, y) เป็นตัวดำเนินการตำแหน่งคงที่ (Position Invariant Operator) แสดงในสมการที่ 2.7 แล้วใช้เทคนิคฟูเรียร์ทรานฟอร์มกับสมการที่ 2.8 ก็จะได้สมการที่ 2.9

$$g(x, y) = h(x, y) * f(x, y) \tag{2.7}$$

$$G(u, v) = H(u, v)\, F(u, v) \tag{2.8}$$

เมื่อ F (u, v) คือ ค่าเอาต์พุตของ Histogram flattening

n คือ จำนวนพิกเซลทั้งหมด

n_j คือ จำนวนพิกเซลที่ระดับความสว่างต่างๆ เมื่อ j = 0,1, 2,..., L $^{-1}$ การแปลงค่าฟูเรียร์ทรานฟอร์มกลับ แสดงได้ในสมการที่ 2.9

$$g(x, y) = \Im^{-1}[\, H(u, v) F(u, v)\,] \tag{2.9}$$

ปัญหาของการประมวลผลภาพในมิติความถี่คือการหาค่า H (u, v) ที่เหมาะสมนั้นได้ยาก และใช้เวลาในการประมวลผลค่อนข้างนาน

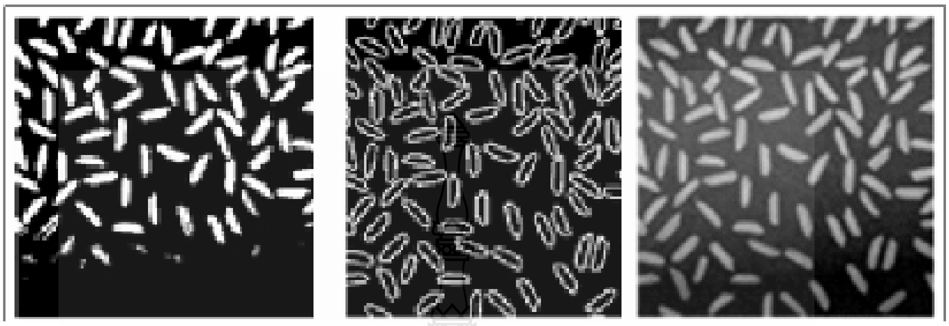
2.1.5 การแยกบริเวณ (Segmentation) [3]

กระบวนการนี้ เป็นการแยกบริเวณของภาพที่มีลักษณะร่วมกันออกเป็นส่วน ๆ ซึ่งก็คือการพิจารณาว่าพิกเซลที่กำลังพิจารณาอยู่นั้น จัดเป็นของวัตถุใดที่อยู่ในภาพ หรือบริเวณใดที่จัดเป็นฉากหลัง นอกจากนั้นยังต้องมีการคำนึงถึงการเก็บข้อมูลของวัตถุที่แยกออกมาให้อยู่ในรูปแบบใดจึงจะเหมาะสม สำหรับกระบวนการแยกภาพ นี้มีอยู่ด้วยกัน 2 วิธี คือ

1) การแยกบริเวณโดยการใช้ค่า Threshold ค่า Threshold เป็นค่าที่เป็นจำนวนเต็มที่มีค่าระหว่าง 0 ถึง 255 เช่นเดียวกับค่าความเข้มแสงของพิกเซลที่อยู่ในภาพ สำหรับการแยกบริเวณโดยใช้ค่า Threshold นั้น จะเป็นการแปลงภาพ Gray Scale ให้เปลี่ยนเป็นภาพที่มีเพียงสองระดับ (Binary Image) โดยการใช้เงื่อนไขว่า ถ้าความเข้มแสงที่พิกเซลตำแหน่งใดมีค่าต่ำกว่าหรือเท่ากับค่า Threshold ให้พิกเซลในตำแหน่งนั้นมีค่าเป็น 0 หรือเปลี่ยนเป็นด้านมืดไป และถ้าพิกเซลใดมีค่าสูงกว่าค่า Threshold ให้พิกเซลนั้นมีค่าเป็น 255 หรือเปลี่ยนเป็นด้านสว่างไป ซึ่งการแยกบริเวณด้วย Threshold นี้ยังสามารถแบ่งได้เป็น 2 วิธีด้วยกัน ได้แก่ การใช้ Threshold ค่าเดียวกับภาพทั้งภาพ ซึ่งเรียกกันว่า Global Threshold และการแบ่งภาพออกเป็นภาพย่อยที่มีขนาดเล็กๆ ซึ่งแต่ละภาพก็จะมีค่า Threshold เป็นของตัวเอง เรียกกันว่า Local Threshold

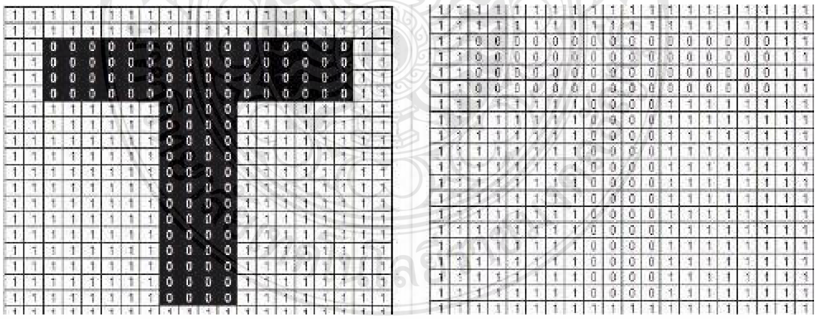
2) การแยกบริเวณโดยการใช้ขอบของวัตถุ (Edge Based Segmentation) การแบ่งบริเวณโดยใช้วิธีนี้จะต้องคำนวณหาขอบของวัตถุ ซึ่งขอบในความหมายของการประมวลผลภาพดิจิตอลนั้น

คือ พิกเซลที่มีการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสงเกินค่าที่กำหนดนั้นเอง โดยการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวสามารถตรวจจับได้โดยการใช้ตัวตรวจจับขอบที่มีอยู่หลากหลายชนิด ซึ่งผลของการแยกบริเวณออกเป็นส่วนๆ ทั้งสองวิธีนั้น ได้แสดงไว้ในภาพที่ 2.14



ภาพที่ 2.14 การแยกบริเวณทั้งสองวิธี [3]

ผลที่ได้จากกระบวนการข้างต้นคือ ทำให้เกิดการแยกบริเวณที่เป็นวัตถุออกจากบริเวณที่เป็นพื้นหลัง และขั้นตอนต่อไปจะทำการพิจารณาว่าพิกเซลใดบ้างที่มีการเชื่อมต่อกันเพื่อที่จะได้จัดให้พิกเซลเหล่านั้นอยู่ในบริเวณหรือวัตถุเดียวกันกระบวนการย่อยนี้เรียกว่า Connected Components Labeling ซึ่งผลที่ได้จากกระบวนการย่อยนี้ก็คือ จะทำให้เรารู้ว่าพิกเซลในแต่ละตำแหน่งนั้น จัดเป็นของวัตถุชิ้นใด ดังแสดงไว้ในภาพที่ 2.15



ภาพที่ 2.15 การทำงานของกระบวนการย่อยที่ชื่อว่า Connected Components Labeling ภาพ Binary Image ซ้ายมือได้จากวิธี Global Threshold [3]

หลังจากที่ทราบว่าพิกเซลแต่ละตำแหน่งเป็นของบริเวณหรือวัตถุใดแล้ว ขั้นตอนที่สำคัญต่อมาคือจะเก็บพิกัด ของพิกเซลเหล่านี้ได้อย่างไรสำหรับเรื่องนี้ก็จะมีประเด็นที่ต้องพิจารณาอยู่ 2 เรื่อง ด้วยกันคือ

1) วิธีการเก็บพิกัดของกลุ่มพิกเซล

2) โครงสร้างของข้อมูล

2.1.6 การหาขอบภาพ (Edge Detection) [3]

การหาขอบภาพ คือการตรวจสอบว่าเส้นขอบลากผ่านหรือใกล้เคียงกับจุดใด โดยวัดจากการเปลี่ยนแปลงของความเข้มแสงของข้อมูลภาพในตำแหน่งที่ใกล้เคียงกับจุดดังกล่าว วิธีการหาขอบนั้นมีหลายวิธี แต่สามารถแบ่งได้เป็น 2 กลุ่มหลักๆ คือ วิธีเกรเดียนต์ (Gradient Method) และวิธีลาปลาเซียน (Laplacian Method) การหาขอบภาพเป็นการหาเส้นรอบวัตถุที่อยู่ในภาพดิจิตอล เมื่อทราบเส้นรอบวัตถุก็จะสามารถคำนวณหาขนาดของพื้นที่หรือจดจำชนิดของวัตถุนั้นได้ อย่างไรก็ตามการหาขอบภาพที่ถูกต้องสมบูรณ์นั้นเป็นเรื่องที่มีความยุ่งยากพอสมควร โดยเฉพาะอย่างยิ่งการหาขอบของภาพที่มีคุณภาพต่ำและมีความแตกต่างระหว่างพื้นหน้ากับพื้นหลังน้อย หรือมีความสว่างไม่สม่ำเสมอทั่วทั้งภาพ ซึ่งขอบภาพเกิดจากความแตกต่างของความเข้มแสงจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง ถ้าหากความแตกต่างนั้นมีค่ามากขอบภาพก็จะเห็นได้ชัดเจน ถ้าความแตกต่างมีค่าน้อยขอบภาพก็จะไม่ชัดเจน เทคนิคเบื้องต้นในส่วนของการหาขอบภาพ (Edge Detection) ซึ่งพิจารณาการตรวจหาขอบภาพด้วยอนุพันธ์อันดับหนึ่ง (First Order Derivative) ได้แก่ การหาขอบภาพด้วย Sobel, Prewitt และ Frei-Chen และอนุพันธ์อันดับที่สอง (Second Order Derivative) ได้แก่ การหาขอบภาพด้วย Laplacian เป็นต้น

อนุพันธ์อันดับหนึ่ง ใช้สำหรับการหาขอบภาพในแนวตั้งและแนวนอน หรือเรียกอีกอย่างว่า Gradient โดยสามารถเขียนเป็นเวกเตอร์ได้ดังสมการที่ 2.10

$$\nabla f = \begin{bmatrix} H_r(x,y) \\ H_c(x,y) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial}{\partial x} f(x,y) \\ \frac{\partial}{\partial y} f(x,y) \end{bmatrix} \tag{2. 10}$$

เมื่อ $\frac{\partial}{\partial x} f(x,y)$ คือ การหาขอบภาพทางด้านแนวนอน

$\frac{\partial}{\partial y} f(x,y)$ คือ การหาขอบภาพทางด้านแนวตั้ง

โดยสามารถหาขนาดของเวกเตอร์ (Magnitude Vector) และทิศทางของการตรวจหาขอบภาพได้ดังแสดงในสมการที่ 2.11 และสมการที่ 2.12

$$|\nabla f| = \sqrt{H_r^2(x,y) + H_c^2(x,y)} \tag{2.11}$$

$$\theta = \tan^{-1}\frac{H_c(x,y)}{H_r(x,y)} \tag{2.12}$$

โดยอนุพันธ์อันดับที่สอง (Second Order Derivative) เมื่อทำการอนุพันธ์อีกครั้งจะได้สมการที่ 2.13

$$\nabla^2 f = \begin{bmatrix} \frac{\partial^2}{\partial x} f(x,y) \\ \frac{\partial^2}{\partial y} f(x,y) \end{bmatrix} \tag{2.13}$$

2.1.7 การคำนวณหาคุณสมบัติของวัตถุ (Feature Extraction) [3]

หลังจากที่เราแยกบริเวณที่อยู่ในภาพออกเป็นส่วนๆ ที่มีคุณสมบัติคล้ายคลึงกัน และทำการจัดเก็บพิกัดของพิกเซลที่เป็นของบริเวณเดียวกันโดยเลือกใช้รูปแบบการเก็บที่เหมาะสมแล้ว เราจะทำการคำนวณหาหรือวัดค่าคุณสมบัติต่างๆ ของแต่ละบริเวณหรือของวัตถุแต่ละชิ้นที่อยู่ในรูปเช่นการคำนวณหาพื้นที่ การหาเส้นรอบวงของวัตถุ หรือการหาจุดศูนย์กลางของวัตถุ เป็นต้น ผลที่ได้จากกระบวนการนี้คือ ค่าคุณสมบัติต่างๆ ของวัตถุแต่ละชิ้นที่อยู่ในภาพ ซึ่งถ้าหากนำมาจัดวางในรูปแบบเวกเตอร์ เราก็จะได้ Feature Vector ที่เป็นการแสดงค่าคุณสมบัติทั้งหมดที่วัดจากวัตถุนั้นๆ ตัวอย่างดังเช่น สมการที่ 2.14

$$Obj = \begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix} \tag{2.14}$$

เมื่อ ตำแหน่งหนึ่ง a คือ พื้นที่ของวัตถุที่มีหน่วยพิกเซล

ตำแหน่งสอง b คือ ความยาวรอบรูปของวัตถุที่มีหน่วยเป็นพิกเซล

2.1.8 การจำแนกวัตถุและการแปรความหมาย (Classification and Interpretation) [3]

การจำแนก คือ กระบวนการจัดกลุ่มให้วัตถุที่กำลังพิจารณาอยู่นั้น ว่าเป็นวัตถุที่อยู่กลุ่มใด โดยอาศัยข้อมูลที่ได้จากการวัดหรือการคำนวณซึ่งเป็นคุณสมบัติของวัตถุนั้นๆ เปรียบเทียบกับคุณสมบัติของวัตถุตัวอย่าง สำหรับการตัดสินใจว่าจากคุณสมบัติของวัตถุที่กำลังพิจารณาเทียบกับคุณสมบัติของวัตถุตัวอย่างนั้น วัตถุที่กำลังพิจารณาจะจัดอยู่กลุ่มใดโปรแกรมจะทำหน้าที่ในส่วนของการคัดแยก (Classifier) ซึ่งหากพิจารณาการเข้าออกของข้อมูลนั้น ตัว Classifier จะรับ Feature Vector เข้าไป และให้หมายเลขหรือชื่อกลุ่มที่วัตถุที่กำลังพิจารณานั้นๆ จัดว่าเป็นสมาชิกอยู่ออกมา

Classifier มีหลักการทำงานแตกต่างกันออกไปในปัจจุบัน สำหรับงานวิจัยมี 2 วิธี ที่มีการใช้งานกันอย่างแพร่หลาย คือ ระเบียบวิธีของ K-Nearest Neighborhood Classifier ซึ่งเป็นตัวจำแนกที่ทำหน้าที่เปรียบเทียบระยะห่างระหว่าง Feature Vector ของวัตถุกับของกลุ่มตัวอย่าง และจะจำแนกวัตถุนั้นๆ เข้ากับกลุ่มที่มีระยะทางใกล้ที่สุด Classifier อีกแบบก็คือ โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network ที่เป็นการจำลองการทำงานของสมองมนุษย์ซึ่งผลของการ Classifier นั้น จะทำให้สามารถทราบได้ว่าบริเวณที่แยกออกมานั้นเป็นวัตถุชนิดใด ซึ่งจะทำให้สามารถตีความหมายภาพและตัดสินใจสั่งการส่วนเคลื่อนไหวต่างๆ ได้

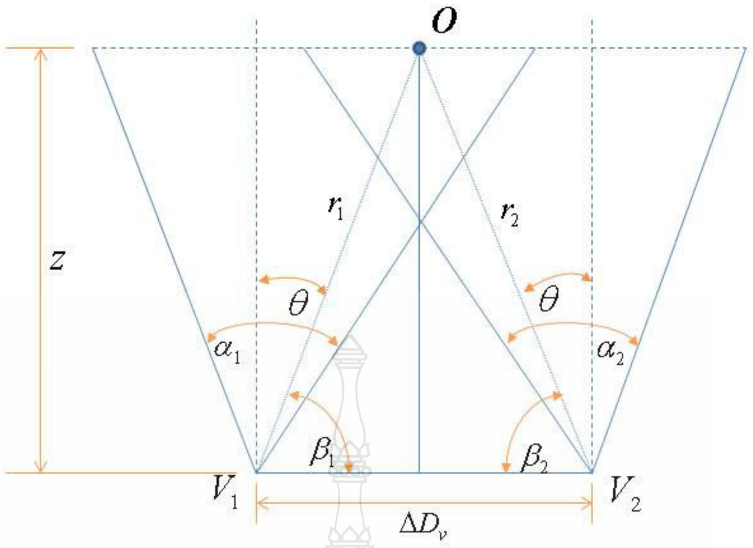
2.2 การคำนวณหาระยะทางจากกล้องถึงวัตถุ (Stereo Vision) [4]

ในการหาระยะทางจากกล้องถึงวัตถุนั้น สามารถหาได้หลายวิธีด้วยกันและยังหาได้จากกล้องตั้งแต่หนึ่งตัวขึ้นไป แต่วิธีการหาโดยใช้กล้องหนึ่งจะมีสมการที่ค่อนข้างซับซ้อนและมีประสิทธิภาพต่ำ ในปัจจุบันจึงได้มีการพัฒนาการหาระยะทางจากกล้องถึงวัตถุ โดยใช้กล้องตั้งแต่สองตัวขึ้นไป ซึ่งมีวิธีการหาที่ไม่ซับซ้อนและมีประสิทธิภาพ โดยทั่วไปกระทำได้ 3 ระบบ คือ

1) ระบบภาพสเตริโอแบบอุปกรณ์รับสัญญาณภาพตัวหลักตั้งฉากกับระนาบและอุปกรณ์รับสัญญาณภาพตัวที่สองทำมุมกับอุปกรณ์รับสัญญาณภาพตัวหลัก

2) ระบบภาพสเตริโอแบบอุปกรณ์รับสัญญาณภาพทั้งสองทำมุมต่อกันในระนาบวัตถุ

3) ระบบภาพสเตริโอแบบอุปกรณ์รับสัญญาณภาพตั้งฉากกับระนาบวัตถุจากการวิเคราะห์ทางผู้วิจัยได้เลือกการตั้งกล้องสองตัวขนานกันและรับสัญญาณภาพตั้งฉากกับระนาบวัตถุ เพราะเป็นวิธีการหาที่ไม่ซับซ้อนและมีประสิทธิภาพสูง ระบบภาพสเตริโอในลักษณะนี้ จะทำการติดตั้งอุปกรณ์รับสัญญาณภาพในแนวแกนเดียวกัน โดยทำมุมรับภาพฉายขนานกันตั้งฉากกับระนาบวัตถุ โดยมีช่วงรับภาพซ้อนทับกันของอุปกรณ์รับสัญญาณภาพทั้งสอง เป็นพื้นที่ในการระบุค่าพิกัดของจุดเปล่งแสงเป็นสามมิติดังแสดงในภาพที่ 2.16



ภาพที่ 2.16 ระบบภาพสเตริโอแบบอุปกรณ์รับสัญญาณภาพตั้งฉากกับระนาบวัตถุ

การหาค่าพิกัดสเตริโอในลักษณะนี้ จะให้ความสนใจการหาค่าระยะ z จากผลต่างของการทำมุมบนระนาบภาพที่ได้ผลจากอุปกรณ์รับสัญญาณภาพในพิกัด x ซึ่งข้อกำหนดที่สำคัญของระบบภาพสเตริโอลักษณะนี้คือ อุปกรณ์รับสัญญาณภาพทั้งสองต้องมีมุมรับภาพที่เท่ากัน มีระยะโฟกัสวัตถุที่เท่ากัน และมีระยะการเหลื่อมของการรับภาพที่เท่ากัน ซึ่งเหล่านี้เป็นองค์ประกองค์ที่สำคัญในการคำนวณหาค่าระยะห่าง z จากมุมที่ทราบค่า โดยมีคำอธิบายตัวแปร ดังนี้

V_1 คือ อุปกรณ์รับสัญญาณภาพตัวที่หนึ่ง

V_2 คือ อุปกรณ์รับสัญญาณภาพตัวที่สอง

ΔD_v คือ ระยะห่างระหว่างอุปกรณ์รับสัญญาณภาพทั้งสอง

o คือ ตำแหน่งของจุดเปล่งแสง

z คือ ระยะตั้งฉากจากจุดเปล่งแสงถึงระนาบของอุปกรณ์รับสัญญาณภาพ

r_1 คือ ระยะห่างระหว่างจุดเปล่งแสงและอุปกรณ์รับสัญญาณภาพตัวที่หนึ่ง

r_2 คือ ระยะห่างระหว่างจุดเปล่าแสงและอุปกรณ์รับสัญญาณภาพตัวที่สอง

θ คือ มุมที่ระยะ r ทำมุมกับแนวตั้งฉากอุปกรณ์รับสัญญาณภาพกับระนาบวัตถุ

α_1 คือ มุมรับภาพของอุปกรณ์รับสัญญาณภาพตัวที่หนึ่ง

α_2 คือ มุมรับภาพของอุปกรณ์รับสัญญาณภาพตัวที่สอง

β_1 คือ มุมที่ระยะ r ทำมุมกับระนาบอุปกรณ์รับสัญญาณภาพตัวที่หนึ่ง

β_2 คือ มุมที่ระยะ r ทำมุมกับระนาบอุปกรณ์รับสัญญาณภาพตัวที่สอง

การหาค่าที่สำคัญ ได้แก่ การหาค่าระยะ z ดังสมการที่ 2.17 การหาระยะประกอบ r_1 ดังสมการที่ 2.15 และการหาระยะ r_2 ดังสมการที่ 2.16 จากค่า ΔD_v ซึ่งเป็นระยะคงที่ซึ่งได้กำหนดไว้จากการออกแบบอุปกรณ์รับสัญญาณภาพ ในการหาค่า r_1 ดังนี้

$$r_1 = \frac{\Delta D_v \sin \beta_2}{\sin[180° - (\beta_1 + \beta_2)]} \tag{2.15}$$

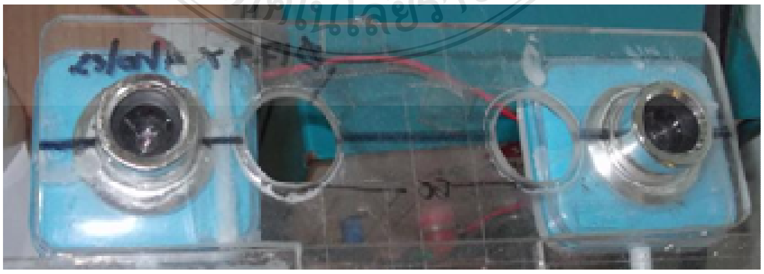
และในลักษณะเดียวกัน

$$r_2 = \frac{\Delta D_v \sin \beta_1}{\sin[180° - (\beta_1 + \beta_2)]} \tag{2.16}$$

ดังนั้นระยะ z ซึ่งเป็นระยะห่างระหว่างระนาบอุปกรณ์รับสัญญาณภาพ และระนาบของจุดเปล่งแสง สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$z = \sin \beta_1 \frac{\Delta D_v \sin \beta_2}{\sin[180° - (\beta_1 + \beta 2)]} \tag{2.17}$$

ระบบภาพสเตริโอในลักษณะนี้ มีจุดเด่นในการสร้างและจัดวางอุปกรณ์รับสัญญาณภาพที่วางเป็นแนวระนาบที่ตั้งฉากกัน และมีตัวแปรในการคำนวณหาค่าระยะ z ไม่มาก ดังนั้นค่าความแม่นยำที่ลดลงเนื่องจากการสร้าง และการวางแนวของอุปกรณ์รับสัญญาณภาพนั้น จะมีผลไม่มากเทียบกับอีก 2 ระบบ ดังนั้นการทดลองในบทที่ 4 จึงเลือกใช้ระบบสเตริโอในลักษณะนี้ โดยการดัดแปลงอุปกรณ์รับสัญญาณภาพ (Webcam) ให้เป็นอุปกรณ์รับภาพดังแสดงในภาพที่ 2.17



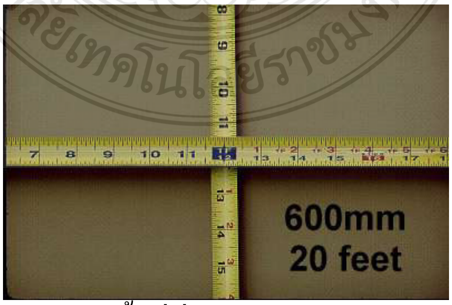
ภาพที่ 2.17 อุปกรณ์รับสัญญาณภาพที่ใช้ในการทดลอง

ข้อจำกัดของระบบภาพสเตริโอแบบอุปกรณ์รับสัญญาณภาพตั้งฉากกับระนาบวัตถุ คือ การสูญเสียพื้นที่รับภาพบางส่วน เนื่องจากระยะ ΔD_v ระหว่างอุปกรณ์รับสัญญาณภาพทั้งสองตัว ไม่ได้ถูกใช้งาน เนื่องจากมุมรับภาพที่ไม่ได้ซ้อนทับกัน ดังนั้นการเลือกใช้อุปกรณ์รับสัญญาณภาพที่มีมุมรับภาพที่เหมาะสมกับระยะ ΔD_v และการเพิ่มความละเอียดของอุปกรณ์รับสัญญาณภาพมากขึ้น สามารถลดข้อจำกัดดังกล่าวของระบบภาพสเตริโอในลักษณะนี้ได้

2.3 การหาความยาวโฟกัสของกล้อง (Focal Length)

ความยาวโฟกัสของกล้อง (Focal Length) คือ ความยาวระหว่างเซ็นเซอร์รับภาพกับเลนส์ ดังแสดงในภาพที่ 2.18 ในปัจจุบันกล้องอุตสาหกรรมส่วนใหญ่จะให้ค่าความยาวโฟกัสของกล้องมา แต่เนื่องจากกล้องอุตสาหกรรมนั้นมีราคาแพง ดังนั้นทางผู้วิจัยจึงได้เลือกใช้กล้องเว็บแคม(Webcam) เพราะมีราคาถูกและไม่จำเป็นต้องใช้ความละเอียดมาก แต่กล้องเว็บแคมไม่ได้ให้ค่าความยาวโฟกัสของกล้องมา การคำนวณหาระยะทางจากกล้องถึงวัตถุ จำเป็นที่จะต้องทราบความยาวโฟกัสของกล้อง หากเราหาค่าโฟกัสของกล้องไม่ถูกต้องหรือผิดพลาด ก็อาจทำให้การหาระยะทางจากกล้องถึงวัตถุไม่มีความแม่นยำ สามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างเซ็นเซอร์รับภาพกับเลนส์ ได้จากสมการที่ 2.18

(ก) ความยาวระหว่างเซ็นเซอร์รับภาพกับเลนส์



(ข) ความกว้างที่ต้องการของพื้นที่ที่สามารถมองเห็นได้ในระยะทางที่ไปยังวัตถุ [5]

ภาพที่ 2.18 ความยาวโฟกัสของกล้อง

$$(W / 2) / D = (w / 2) / f \tag{2.18}$$

ดังนั้น

$$f = (w / 2) / ((W / 2) / D) \tag{2.19}$$

$$f = w * D / W \tag{2.20}$$

เมื่อ f คือ ความยาวโฟกัส (Image distance)

D คือ ระยะทางไปยังวัตถุ (Object distance)

W คือ ความกว้างที่ต้องการของพื้นที่ที่สามารถมองเห็นได้ในระยะทางที่ไปยังวัตถุ

w คือ ความกว้างของระนาบถ่ายภาพ (CCD Size)

2.4 กล้องระบบสเตริโอ (Stereo Cameras)

ในปัจจุบันกล้องระบบสเตริโอ เริ่มมีการผลิต และนำไปประยุกต์ใช้อย่างกว้างขวาง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในวงการแพทย์ และอุตสาหกรรม ดังแสดงในภาพที่ 2.19 เป็นกล้องสเตริโอของบริษัท Point Grey Research Inc. (www.ptgrey.com) โดยใช้เซ็นเซอร์รับภาพคุณภาพสูง และสามารถเลือกใช้เซ็นเซอร์ ที่ให้ภาพเฉดสีเทา หรือสีได้ และมีความละเอียดของภาพ 648 x 488 พิกเซล ที่ความเร็วการแสดงผล 48 ภาพต่อวินาที และความละเอียดสูง 1024 x 768 พิกเซล ที่ความเร็วการแสดงผล 18 ภาพต่อวินาที

รวมถึงการมี Software Developer Kit เพื่อการพัฒนาโปรแกรมอย่างรวดเร็ว และสามารถใช้ฟังก์ชั่นเบื้องต้นของระบบประมวลผลภาพสเตริโอได้ทันที แต่ทั้งนี้ราคาขายในท้องตลาดของกล้องสเตริโอมีราคาที่สูงมากกว่ากล้องเว็บแคมที่ประมาณ 30 เท่า

ภาพที่ 2.19 กล้องสเตริโอที่มีจำหน่ายในท้องตลาด [6]

งานวิจัยนี้จะเลือกใช้กล้องเว็บแคมในการถ่ายภาพ การเปรียบเทียบระหว่างกล้องอุตสาหกรรมกับกล้องเว็บแคมข้อมูลในดังตารางที่ 2.1 จะเห็นได้ว่ากล้องเว็บแคมมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับกล้องอุตสาหกรรมแต่ราคาถูกกว่าประมาณ 30 เท่า

ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบข้อมูลระหว่างกล้องอุตสาหกรรมกับกล้องเว็บแคม

คุณสมบัติของกล้อง	**กล้องอุตสาหกรรม ยี่ห้อ Guppy F-033**	**กล้องเว็บแคม (Webcam) ยี่ห้อ EXOO**
Interface	IEEE 1394	USB2.0
Resolution	656 x 494	640x480
Sensor type	CCD	CMOS
Sensor size	1/3	2/3
Max frame Rate	600	30
Lab VIEW support	ได้	ได้
ราคา	30 เท่า	1 เท่า

ในงานวิจัยนี้ได้ทดลองใช้กล้องเว็บแคม (Webcam) ยี่ห้อ EXOO ความละเอียด 640x480 pixels ความเร็วการรับภาพสูงสุด 30 เฟรมต่อวินาที โดยกล้องเว็บแคมมีราคาถูก หาซื้อได้ตามท้องตลาดและสามารถเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ผ่านพอร์ต USB Port ได้ทันที โดยไม่ต้องผ่านชุดแปลงสัญญาณเหมือนกล้องอุตสาหกรรม

2.5 การวัดแสงสว่าง [7]

ความส่องสว่าง (อิลูมิแนนซ์) หมายถึงปริมาณแสงที่กระทบลงบนวัตถุต่อพื้นที่ มีหน่วยเป็น ลูเมนต่อตารางเมตร หรือ ลักซ์ ดังสมการที่ 2.21

$$LUX = LUMENS/A \tag{2.21}$$

เมื่อ LUX คือ ค่าความส่องสว่าง

LUMENS คือ ค่าความสว่าง

A คือ พื้นที่ (m^2)

ความสว่าง (ลูมิแนนซ์) หมายถึง ปริมาณแสงที่สะท้อนออกมาจากวัตถุต่อพื้นที่ มีหน่วยเป็น แคนเดลาต่อตารางเมตร ปริมาณแสงที่เท่ากันเมื่อตกกระทบลงมาบนวัตถุที่มีสีต่างกันจะมีปริมาณแสงสะท้อนกลับต่างกัน นั่นคือ ลูมิแนนซ์ ต่างกันนั้น เองและสาเหตุที่ต่างกันก็เนื่องมาจากสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของวัสดุต่างกัน ตารางที่ 2.2 แสดงค่าความส่องสว่างของหลอดไฟชนิดต่างๆ ตัวอย่างเช่น หลอด NATURAL 40W จะมีค่าความสว่าง 2400 LUMENS

ตารางที่ 2.2 ข้อมูลของหลอดชนิดต่างๆ - หลอดปล่อยประจุชนิดต่างๆ

TYPE	LUMENS	HOURS	TYPE	LUMENS	HOURS
FLUORESCENT			COOL DAYLIGHT 40W	2,600	9,000
NATURAL 40W	2,470	9,000	DAYLIGHT 40W	2,000	9,000
WARM WHITE 40W	3,100	9,000	NATURAL 20W	990	9,000
WHITE 40W	3,100	9,000	WARM WHITE DELUXE 20W	660	9,000
WHITE DELUXE 40W	2,120	9,000	WARM WHITE 20W	1,200	9,000
HITE SPECIAL 40W	1,820	9,000	WARM WHITE DELUXE 20W	770	9,000
WHITE 5000 K 40W	1,850	9,000	WHITE 20W	1,200	9,000
32W 12”ϕ	1,910	12,000	COOL DAYLIGHT 20W	1,030	9,000
40W 16”ϕ	2,640	12,000	DAYLIGHT 20W	790	9,000

LPS คือ หลอดโซเดียมความดันไอต่ำ

HPS คือ หลอดโซเดียมความดันไอสูง

MH คือ หลอดเมทัลฮาไลด์

HPM คือ หลอดปรอทความดันไอสูง

ในงานวิจัยนี้ ได้ทดลองใช้หลอดไฟ Fluorescent 2 ขนาด คือ หลอดสั้นขนาด 20 วัตต์ และหลอดยาวขนาด 40 วัตต์ จากการคำนวณพบว่าหลอดยาวขนาด 40 วัตต์ สามารถใช้งานตามขอบเขตที่กำหนดไว้ที่ค่าความสว่างต้องมากกว่า 150 ลักซ์

กล่าวคือห้องทดลองมีขนาด 9 ตารางเมตร และค่า LUMENS ของหลอดยาวขนาด 40 วัตต์ (แบบ White 40w) มีค่าเท่ากับ 3,100 ซึ่งมีค่าความส่องสว่างจะได้เท่ากับ 344 ลักซ์ ซึ่งมากกว่า 150 ลักซ์ ดังนั้นจึงเลือกใช้หลอดยาวขนาด 40 วัตต์

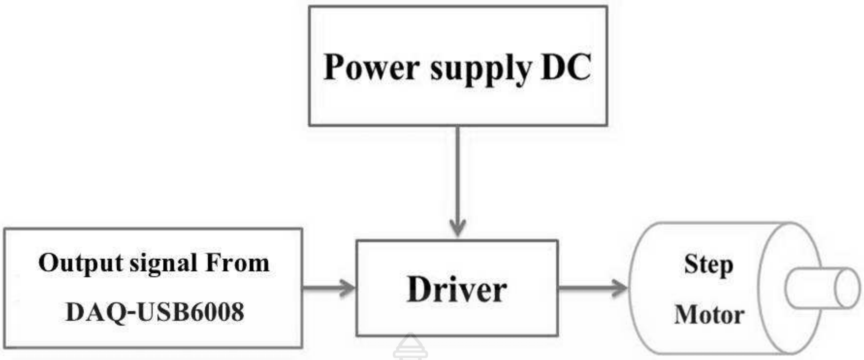
2.6 ระบบการควบคุมสเต็ปมอเตอร์

การควบคุมและการสั่งงานสเต็ปมอเตอร์ คือการที่สเต็ปมอเตอร์เคลื่อนที่ไปทีละสเต็ป ซึ่งสามารถทำได้โดยการจ่ายกำลังไฟฟ้าไปยังขดลวดในแต่ละขั้วบนสเตเตอร์ ภาพที่ 2.20 แสดงการเชื่อมต่ออุปกรณ์ต่างๆ ใช้ควบคุมสเต็ปมอเตอร์ การป้อนกระแสไฟจะทำในลักษณะเป็นลำดับหรือเรียกว่าซีเควน ซึ่งจะแบ่งได้เป็น 3 รูปแบบ คือ แบบเวฟ (Wave) แบบ 2 เฟส (2 Phase) และแบบครึ่งสเต็ป (Half Step) ซึ่งทั้ง 3 แบบนี้ก็จะมีข้อดีและข้อเสียต่างกันออกไปดังนี้

1) แบบเวฟ (Wave) เป็นการกระตุ้นขดลวดแบบที่ง่ายที่สุด ซึ่งจะทำการกระตุ้นขดลวดทีละขดในเวลาหนึ่งๆ เรียงกันไป ตัวอย่างเช่น ขดที่ 1 2 3 4 1 2 3 4 เป็นลำดับอย่างนี้ หรือ ขด 1 4 3 2 1 4 3 2 เป็นลำดับกันไป ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับทิศทางที่เราต้องให้มอเตอร์หมุนไป วงจรที่นำมากระตุ้นนั้นจะมีราคาค่อนข้างจะถูกกว่าและออกแบบง่ายกว่าแบบอื่นๆ ดังแสดงในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 การควบคุมการหมุนของสเต็ปมอเตอร์แบบเวฟ

Step No.	Phase 1	Phase 2	Phase 3	Phase 4
1	ON			
2		ON		
3			ON	
4				ON
5	ON			
6		ON		



ภาพที่ 2.20 การควบคุมสเต็ปมอเตอร์

2) แบบ 2 เฟส แบบนี้จะคล้ายกับการกระตุ้นในแบบเวฟแต่จะต่างกันตรงที่แบบ 2 เฟส จะกระตุ้นขดลวดบนสเตเตอร์ทีละ 2 ขด ที่อยู่ใกล้กันในเวลาเดียวกันและจะเรียงลำดับกันไปตัวอย่างเช่น การกระตุ้นขดลวดในลักษณะ 12 23 34 41 12 23 34 41 เรียงลำดับกันไปเรื่อยๆหรือจะเป็น 14 43 32 21 14 43 32 21 เรียงกันไปเรื่อย ๆ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับทิศทาง เช่นเดียวกับแบบเวฟ ข้อดีของการสั่งงานควบคุมเป็นแบบ 2 เฟส คือ การที่จะเพิ่มจำนวนขดลวดที่ถูกกระตุ้นจะทำให้ได้แรงบิดของมอเตอร์ได้มากกว่าแบบเวฟ ซึ่งโรเตอร์จะหมุนด้วยแรงดึงจาก ทั้ง 2 ขดลวดที่กระตุ้นไปพร้อมกัน ส่วนข้อเสียสำหรับขดลวดแบบ 2 เฟสคือ เมื่อเราทำการสั่งการทำงานให้มีการกระตุ้นขดลวดไปทีละ 2 ชุดไปพร้อมกันจำเป็นที่จะต้องใช้แหล่งจ่ายไฟเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า ดังแสดงในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 การสั่งงานควบคุมสเต็ปมอเตอร์แบบ 2 เฟส

Step No.	Phase 1	Phase 2	Phase 3	Phase 4
1	ON	ON		
2		ON	ON	
3			ON	ON
4	ON			ON
5	ON	ON		
6		ON	ON	

3) แบบ 2 เฟส แบบนี้จะคล้ายกับการกระตุ้นในแบบเวฟแต่จะต่างกันตรงที่แบบ 2 เฟส จะกระตุ้นขดลวดบนสเตเตอร์ทีละ 2 ขด ที่อยู่ใกล้กันในเวลาเดียวกันและจะเรียงลำดับกันไป ตัวอย่างเช่นการกระตุ้นขดลวดในลักษณะ 12 23 34 41 12 23 34, 41 เรียงลำดับกันไปเรื่อยๆ หรือจะเป็น 14 43 32 21 14 43 32 21 เรียงกันไปเรื่อยๆ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับทิศทางเช่นเดียวกับแบบเวฟ ข้อดีของการสั่งงานควบคุมเป็นแบบ 2 เฟสคือ การที่เราจะเพิ่มจำนวนขดลวดที่ถูก กระตุ้นจะทำให้ได้แรงบิดของมอเตอร์ได้มากกว่า แบบเวฟ ซึ่งโรเตอร์จะหมุนด้วยแรงดึงจากทั้ง 2 ขดลวดที่กระตุ้นไปพร้อมกัน ส่วนข้อเสียสำหรับขดลวดแบบ 2 เฟสคือ เมื่อเราทำการสั่งการทำงานให้มีการกระตุ้นขดลวดไปที่ละ 2 ชุด ไปพร้อมกันจำเป็นที่จะต้องใช้แหล่งจ่ายไฟเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า ดังแสดงในตารางที่ 2.5 ได้ดังนี้

ตารางที่ 2.5 การสั่งงานควบคุมสเต็ปมอเตอร์แบบครึ่งสเต็ป

Step No.	Phase 1	Phase 2	Phase 3	Phase 4
1	ON			
2	ON	ON		
3		ON		
4		ON	ON	
5			ON	
6			ON	ON
7				ON
8	ON			ON
9	ON			
10	ON	ON		

2.7 โปรแกรม LabVIEW

ในงานวิจัยนี้ได้โปรแกรม LabVIEW มาใช้ ซึ่งมีองค์ประกอบดังต่อไปนี้

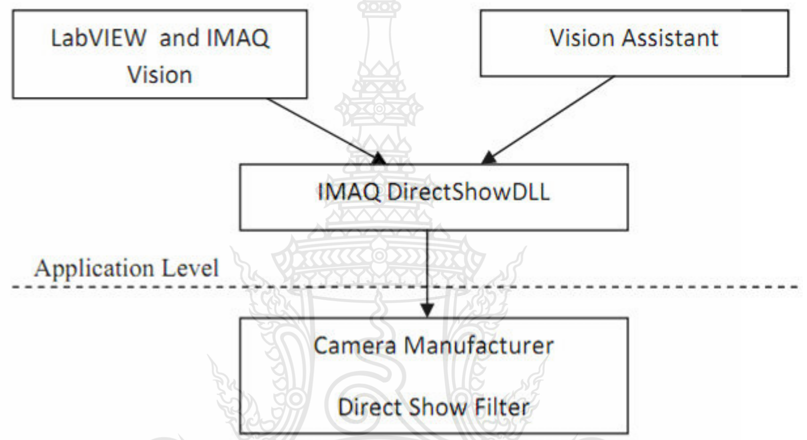
1) โปรแกรม LabVIEW 10.0 ขึ้นไป

2) ฟังก์ชัน Vision Assistant 10.0 ขึ้นไป

3) ฟังก์ชัน NI IMAQ Vision 10.0 and NI-IMAQ for USB Cameras

2.7.1 ฟังชันก์การรับภาพถ่ายจากกล้องของโปรแกรม LabVIEW

ในการรับภาพจากกล้อง โปรแกรม LabVIEW จะเรียก Library ที่เกี่ยวข้องกับ Image Processing จาก IMAQ Vision และทำการเรียกใช้ไฟล์ IMAQDirectshowDLL.dll ซึ่งอยู่ใน c:/windows/system32/ โดยไฟล์นี้จะทำการเรียก Library จาก Vision Assistant ซึ่งจำเป็นต้องกำหนด address ของกล้อง จากนั้นจึงทำการเปิดกล้อง ผ่านทางโปรแกรมที่เขียนขึ้น ซึ่งทำให้สามารถควบคุมค่าต่างๆ เช่น จำนวนภาพต่อวินาที ความสว่าง ความเข้มแสง ความละเอียด และสามารถบันทึกภาพได้พร้อมๆ กับการประมวลผลของ LabVIEW ได้



ภาพที่ 2.21 โครงสร้างของฟังก์ชัน NI-IMAQ for USB Cameras [8]

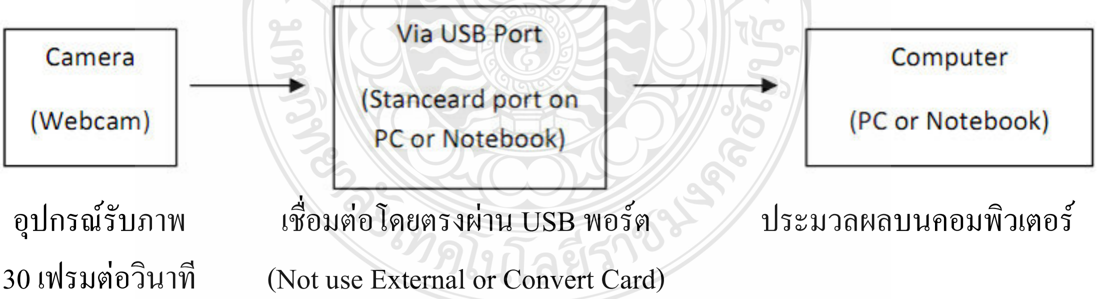
ภาพที่ 2.21 แสดงโครงสร้างของฟังก์ชัน NI-IMAQ for USB Cameras โดยมีหลักการทำงานก็คือ โปรแกรมจะทำการกำหนดค่าเริ่มต้นโดยการเรียกใช้ Library Direct Show DLL เพื่อทำการเปิดการทำงานของกล้องที่ตำแหน่งพอร์ต 0 (Port 0) จากนั้นทำการสร้างหน่วยความจำชั่วคราวเพื่อทำการรับภาพจากกล้อง (IMAQ CREATE) จากนั้นโปรแกรมจะทำการดึงภาพจากกล้องหนึ่งภาพมาเก็บไว้ในหน่วยความจำชั่วคราวที่สร้างขึ้น หลังจากที่ภาพมาเก็บไว้ในหน่วยความจำชั่วคราวแล้ว โปรแกรมจะนำภาพที่ได้ไปผ่านกระบวนการในการปรับแต่งภาพและคำนวณต่อไป

ภาพที่ 2.22 ขั้นตอนในฟังชันก์การถ่ายภาพในโปรแกรม LabVIEW

ภาพที่ 2.22 แสดงขั้นตอนการทำงานของฟังก์ชันการถ่ายภาพในโปรแกรม LabVIEW ซึ่งจะเริ่มต้นจากการค้นหาสัญญาภาพจากกล้อง และไปสร้างหน่วยความจำชั่วคราว เพื่อเก็บภาพก่อนที่จะนำไปคำนวณค่าต่างๆ ต่อไป

2.7.2 การเชื่อมต่อระหว่างกล้องเว็บแคมกับคอมพิวเตอร์

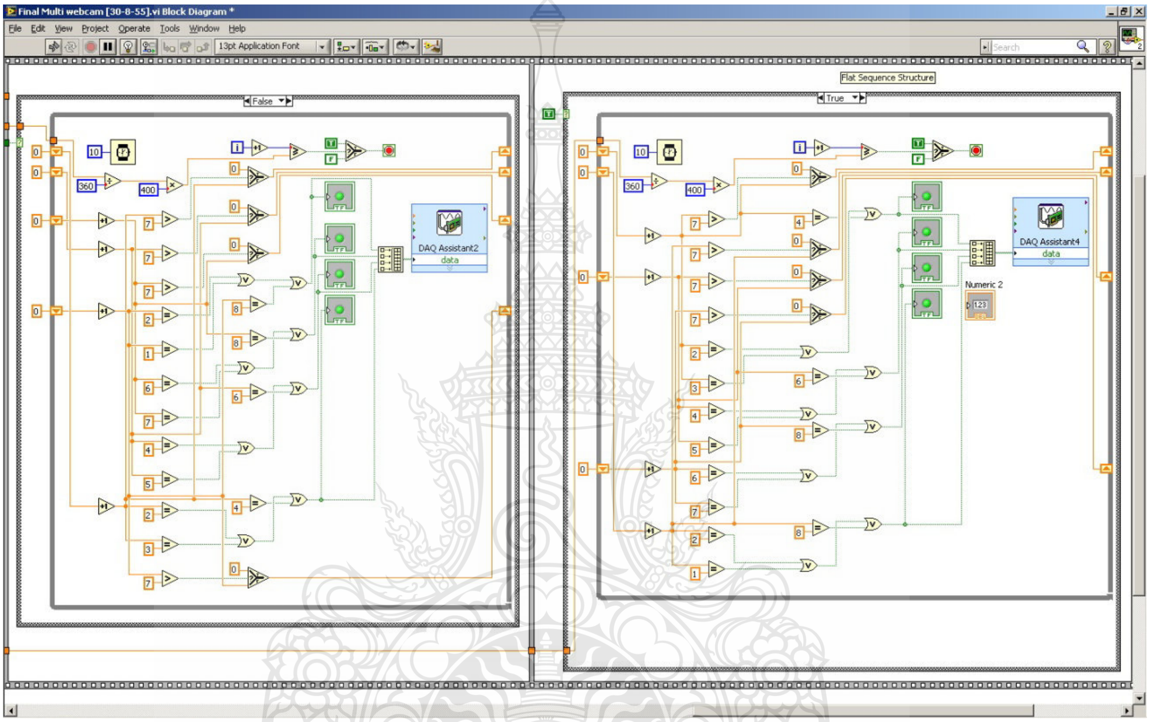
ภาพที่ 2.23 แสดงการเชื่อมต่อระหว่างกล้องเว็บแคมกับคอมพิวเตอร์ผ่านทาง USB Port 2.0 ภาพที่ได้จากโปรแกรม LabVIEW ในการประมวลผล ประกอบด้วยการรับภาพจากกล้อง นำข้อมูลที่ได้แปลงสัญญาณให้อยู่ในรูปของข้อมูล 24 bits จากนั้นทำการคัดแยก สายส่งกระแสไฟฟ้าออกจากภาพ และหาตำแหน่งและทิศทางของ สายส่งกระแสไฟฟ้า ในภาพต่างๆ ต่อไป ในการทดลองจะทำการคำนวณค่าต่างๆ บนเครื่องคอมพิวเตอร์โดยตรง ซึ่งสามารถอธิบายโครงสร้างของเครื่องมือได้ดังนี้



ภาพที่ 2.23 การเชื่อมต่อการรับภาพจากกล้อง Webcam

2.7.3 การขับเคลื่อนที่สเต็ปมอเตอร์

ในการสั่งให้สเต็ปมอเตอร์ทำงานนั้นจะต้องอาศัยฟังก์ชัน Daq Assistants ของโปรแกรม LabVIEW ซึ่งจะรับสัญญาณภาพจากคอมพิวเตอร์ (ค่ามุมองศาจากการคำนวณที่ประมวลผลมาจากภาพถ่าย) ดังแสดงในภาพที่ 2.24 แสดงการใช้ฟังก์ชัน Daq Assistants เพื่อสั่งการให้บอร์ดควบคุมมอเตอร์ปล่อยกระแสไฟฟ้าให้สเต็ปมอเตอร์หมุนไปตามองศาที่ต้องการ



ภาพที่ 2.24 การเขียนโปรแกรมควบคุมสเต็ปมอเตอร์ด้วยฟังก์ชัน Daq Assistants ในโปรแกรม LabVIEW

2.8 ทบทวนวรรณกรรม (Literature Review)

ในงานวิจัยชิ้นนี้ซึ่งได้ศึกษาถึงทฤษฎีพื้นฐานของ ทฤษฎีการประมวลภาพ (Digital Image Processing) และระบบสเตริโอวิชั่น (Stereo Vision System) แล้วในข้างต้น และยังได้ศึกษาเพิ่มเติมจากงานวิจัย บทความ และตำราต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย ซึ่งได้นำแนวทาง และข้อเสนอแนะมาประยุกต์ใช้และทำการศึกษาเพิ่มจากงานวิจัยต่างๆ ดังนี้

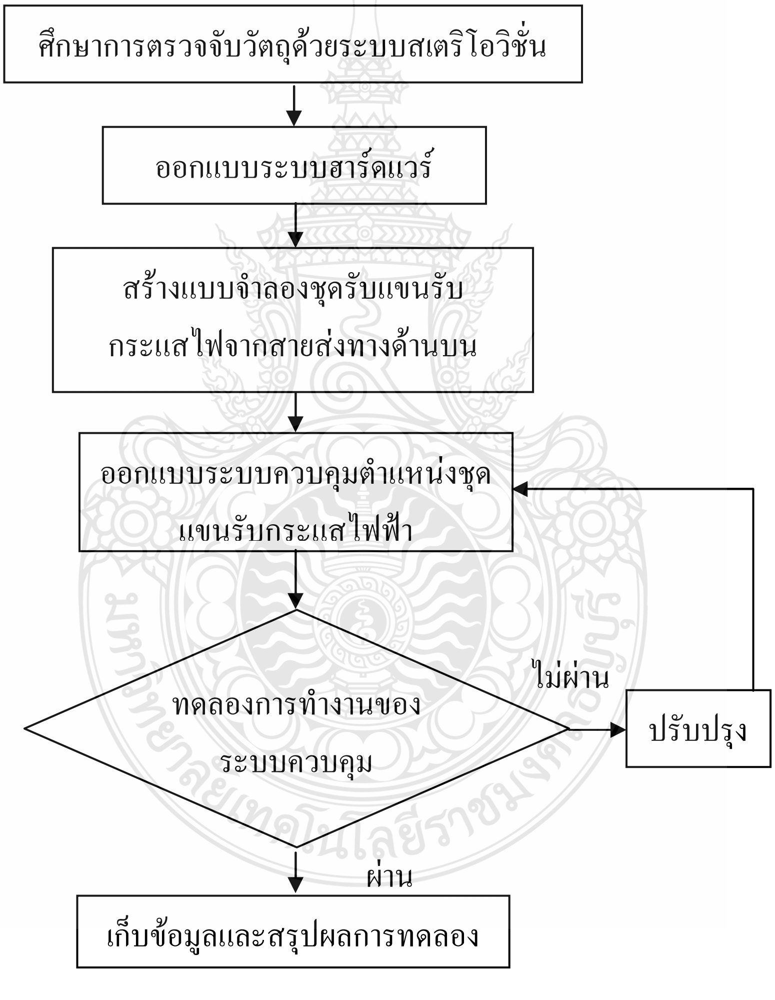
นิติพงศ์ พรหมรักษ์ [3] ได้นำเสนอการตรวจสอบความเสียหายของสกรูที่ใช้ระบบ การมองด้วยคอมพิวเตอร์เพื่อลดการใช้แรงงานคนและเพิ่มประสิทธิภาพการคัดแยกสกรู เป็นการคัดแยก

ระหว่างสกรูดีที่สามารถนำกลับไปใช้ใหม่ได้ กับสกรูเสียหายที่ไม่สามารถนำกลับไป ใช้ใหม่ได้โดยนำสกรูที่ผ่านการใช้งานแล้วมาตรวจสอบความเรียบร้อยและความเสียหายของหัวสกรู นอกจากนี้ยังใช้ระบบการประมวลผลภาพโดยนำเอารูปภาพมาวิเคราะห์และสังเคราะห์ ด้วยวิธีการทางคณิตศาสตร์ ซึ่งจะถูกนำไปประยุกต์ใช้กับงานตรวจสอบชิ้นส่วนด้วยภาพแบบอัตโนมัติ การเขียนโปรแกรมตรวจสอบลักษณะรูปร่างต่างๆ

สุทธิศักดิ์ สุขัมศรี [4] ได้ศึกษาความเหมาะสมในการใช้ระบบภาพสเตริโอตรวจระบุ พิกัดจุดเปล่งแสง ได้แก่ ระบบภาพสเตริโอแบบอุปกรณ์รับสัญญาณภาพตัวหลักตั้งฉากกับระนาบ และอุปกรณ์รับสัญญาณภาพตัวที่สองทำมุมกับอุปกรณ์รับสัญญาณภาพตัวหลัก โดยระบบนี้มีความไว ในการตรวจจับความเปลี่ยนแปลงตามแนวแกน z สูง และมีพิกัด (x, y) ที่แม่นยำจาการอ้างอิงกับ พิกัดบนภาพจากอุปกรณ์รับสัญญาณภาพตัวหลัก ระบบที่สองคือ ระบบภาพสเตริโอแบบอุปกรณ์ รับสัญญาณภาพทั้งสองทำมุมต่อกันในระนาบวัตถุ ระบบนี้มีความแม่นยำสูงในพื้นที่ขนาดเล็กตาม มุมรับภาพของอุปกรณ์รับสัญญาณภาพทั้งสอง เหมาะสำหรับการหาพิกัดแบบจุดสะท้อน (Passive) โดยใช้การสแกนพื้นผิวนูนด้วยเลเซอร์ และระบบที่สามระบบภาพสเตริโอแบบอุปกรณ์รับ สัญญาณภาพทั้งสองตั้งฉากกับระนาบวัตถุ เป็นระบบที่ได้ใช้ในการทดลองหาค่าความคลาดเคลื่อน ของระบบภาพสเตริโอ ซึ่งมีความยืดหยุ่นการใช้งานตรวจจับจุดเปล่งแสงในระนาบที่แตกต่างกัน มีความเหมาะสมกับการใช้อุปกรณ์รับสัญญาณภาพที่มีความละเอียดต่ำในการสร้างระบบภาพสเตริโอ

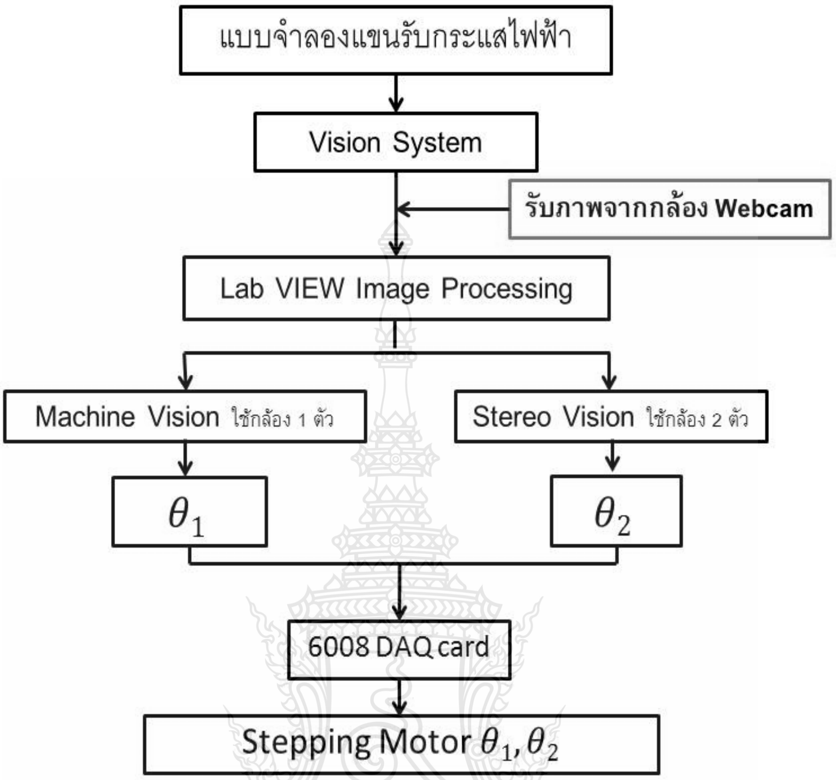
บทที่ 3
วิธีดำเนินงานวิจัย

การดำเนินงานวิจัย เริ่มต้นจากการศึกษาการตรวจจับวัตถุด้วยระบบสเตริโอวิชั่น จากนั้นจึงออกแบบระบบฮาร์ดแวร์และสร้างแบบจำลองชุดรับแขนรับกระแสไฟฟ้า และพร้อมกับการออกแบบซอฟต์แวร์เพื่อควบคุมการเคลื่อนที่ของตำแหน่งชุดแขนรับกระแสไฟฟ้า ภาพที่ 3.1 แสดงขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยโดยรวม



ภาพที่ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยโดยรวม

3.1 แบบจำลองชุดแขนรับกระแสไฟฟ้า



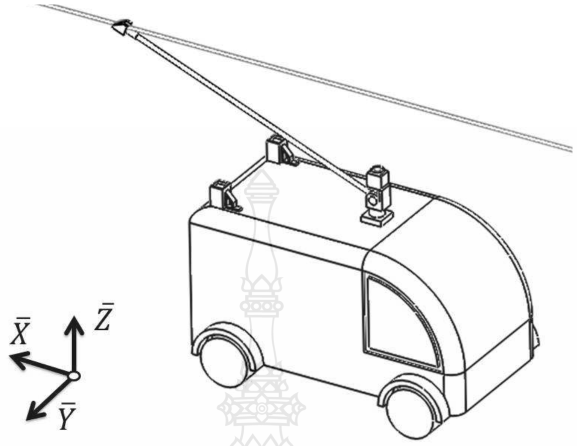
ภาพที่ 3.2 ขั้นตอนการตรวจจับสายส่งและระบบควบคุมตำแหน่งชุดแขนรับกระแสไฟฟ้า

ภาพที่ 3.2 แสดงองค์ประกอบและขั้นตอนการทำงานของการตรวจจับสายส่งและควบคุมแบบจำลองชุดแขนรับกระแสไฟฟ้า โดยเริ่มต้นจากการนำระบบ Vision มาใช้ โดยอาศัยภาพถ่ายจากกล้อง Webcam จากนั้นโปรแกรม LabVIEW จะนำภาพถ่ายมาวิเคราะห์เบื้องต้น (Image Processing) ซึ่งข้อมูลที่ได้จะนำมาจากกล้อง 3 ตัว โดย 1 ตัว จะเป็นของ Machine Vision และอีก 2 ตัว เป็นของ Stereo Vision จากนั้นก็จะได้มุมที่จะไปส่งให้ Step Motor ทำงาน

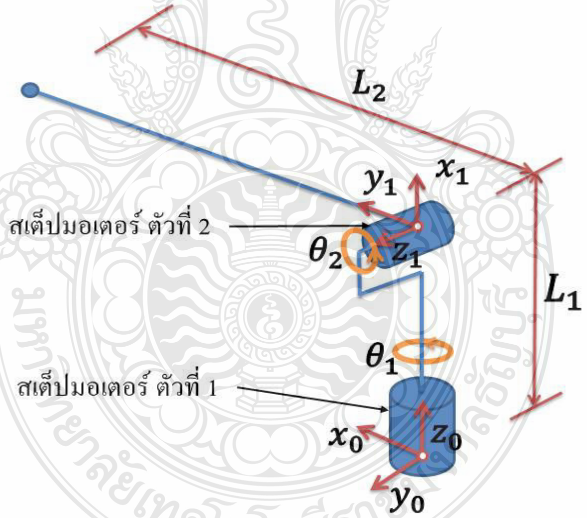
3.2 การกำหนดพิกัดของแบบจำลองชุดแขนรับกระแสไฟฟ้า

ภาพที่ 3.3 แสดงการกำหนดพิกัดของแบบจำลองชุดแขนรับกระแสไฟฟ้าด้วยสายส่งจากด้านบน โดยที่แกน X จะขนานกับสายส่ง แกน Y จะตัดขวางกับสายส่งและแกน Z จะเป็นความสูงจากพื้นกับสายส่ง ภาพที่ 3.4 แสดง L_1 คือความสูงจากสเต็ปมอเตอร์ตัวที่ 1 ถึงสเต็ปมอเตอร์ตัวที่ 2

และ L_2 คือความยาวจากสเต็ปมอเตอร์ตัวที่ 2 ถึงปลายแขนรับกระแสไฟฟ้า นอกจากนี้ยังบอกตำแหน่งของสเต็ปมอเตอร์อีกด้วย

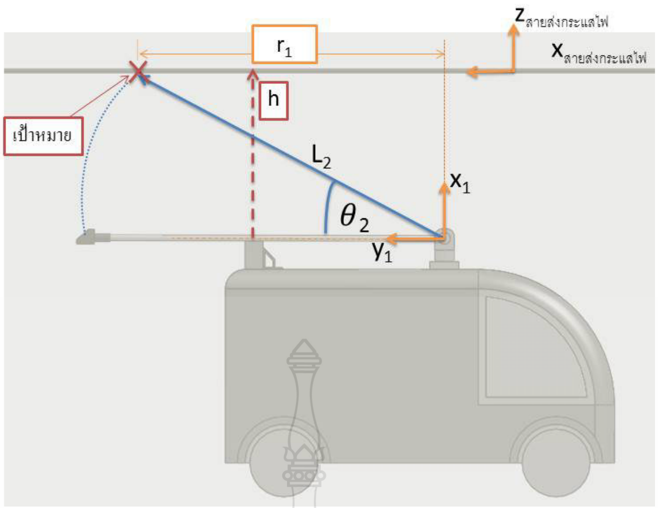


ภาพที่ 3.3 การกำหนดพิกัดของแบบจำลองชุดแขนรับกระแสไฟฟ้าด้วยสายส่งจากด้านบน

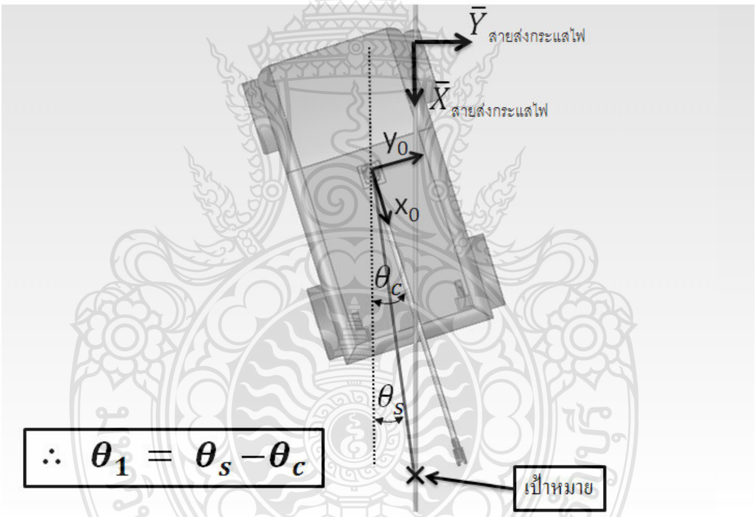


ภาพที่ 3.4 การตั้งแกนของแขนรับกระแสไฟฟ้า

ภาพที่ 3.5 แสดงตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการคำนวณหาค่า θ_2 ในขณะภาพที่ 3.6 แสดงวิธีการคำนวณหาค่า θ_1 เมื่อ θ_1 และ θ_2 คือ มุมที่สเต็ปมอเตอร์ที่ชุดแขนรับกระแสไฟฟ้าจะต้องหมุนไป



ภาพที่ 3.5 การกำหนดพิกัดของแบบจำลองชุดแขนรับกระแสไฟฟ้า (x_1, y_1) กับสายส่ง กระแสไฟ



ภาพที่ 3.6 การกำหนดพิกัดของแบบจำลองชุดแขนรับกระแสไฟฟ้ากับสายส่งกระแสไฟฟ้า (θ_1) ระนาบ (x_0, y_0)

3.3 การออกแบบฮาร์ดแวร์ของแบบจำลองชุดแขนรับกระแสไฟฟ้า

แบบจำลองชุดแขนรับกระแสไฟฟ้า ถูกออกแบบมาเพื่อจำลองการทำงานของชุดแขนรับกระไฟฟ้าด้วยสายส่งทางด้านบนของรถโทลี่บัส โดยแบบจำลองดังกล่าวจะติดตั้งกล้องเว็บแคมเป็น

แบบขนานกันจำนวน 2 ตัว ไว้ที่ตำแหน่งด้านหลังรถไฟฟ้าและกล้องอีก 1 ตัว จะติดตั้งไว้ที่จุดหมุนเดียวกันกับแขนรับกระแสไฟฟ้า ดังแสดงภาพที่ 3.7 โดยมีเงื่อนไขการออกแบบดังนี้
กำหนดให้พิกัดของแขนรับกระแสไฟฟ้าด้วยสายส่งจากด้านบน แสดงภาพที่ 3.3 ถึง 3.6

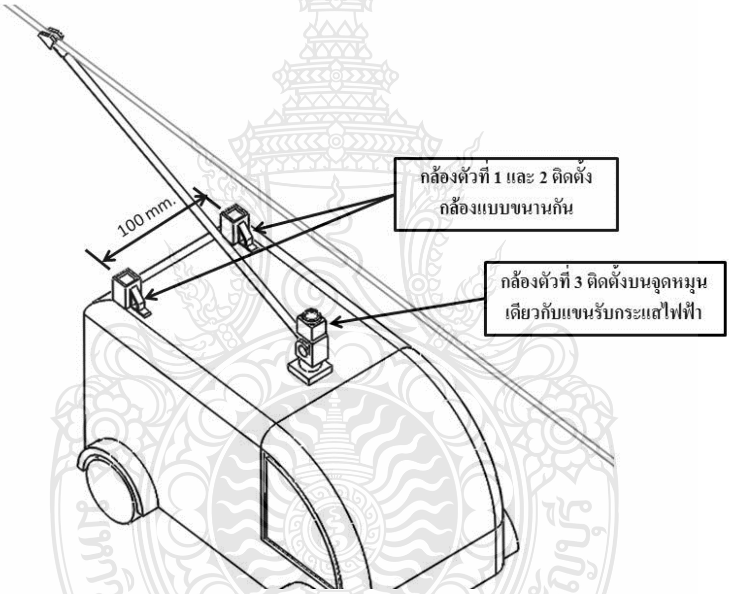
1) กำหนดให้ความยาวของแขนรับกระแสไฟฟ้า เท่ากับ L_1 =50 mm, L_2= 400 mm

2) กำหนดให้ความสูงจากพื้นถนนถึงสายส่งกระแสไฟฟ้า เท่ากับ 500 mm

3) กำหนดให้ติดตั้งกล้องสองตัวแบบขนานกัน มีระยะห่างระหว่างกล้อง 100 mm และกล้องอีก 1 ตัวติดตั้งไว้ที่จุดหมุนเดียวกันกับแขนรับกระแสไฟฟ้า

4) กำหนดให้แขนรับกระแสไฟฟ้าแตะที่สายส่งกระแสไฟฟ้าพอดี โดยแขนรับ

5) กระแสไฟฟ้าเอียงไม่เกิน 70 องศา



ภาพที่ 3.7 แบบจำลองชุดแขนรับกระแสไฟฟ้า ซึ่งมีกล้องติดตั้ง 3 ตัว

3.4 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

ภาพที่ 3.8 แสดงการเชื่อมโยงของข้อมูลและสัญญาณของอุปกรณ์ต่างๆ ในแบบจำลองชุดแขนรับกระแสไฟฟ้า ในขณะที่ภาพที่ 3.9 แสดงอุปกรณ์ของแบบจำลองชุดแขนรับกระแสไฟฟ้า ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1) สเต็ปมอเตอร์ ยี่ห้อ VEXTA รุ่น PK244-01A ใช้แรงดันไฟฟ้าดีซี 4.8 โวลต์, 1.2 แอมแปร์, 1.8องศา/Step, 2-Phase จำนวน 1 ตัว (ใช้ในการเคลื่อนที่แขนรับกระแสไฟฟ้าในแกน Z_0)

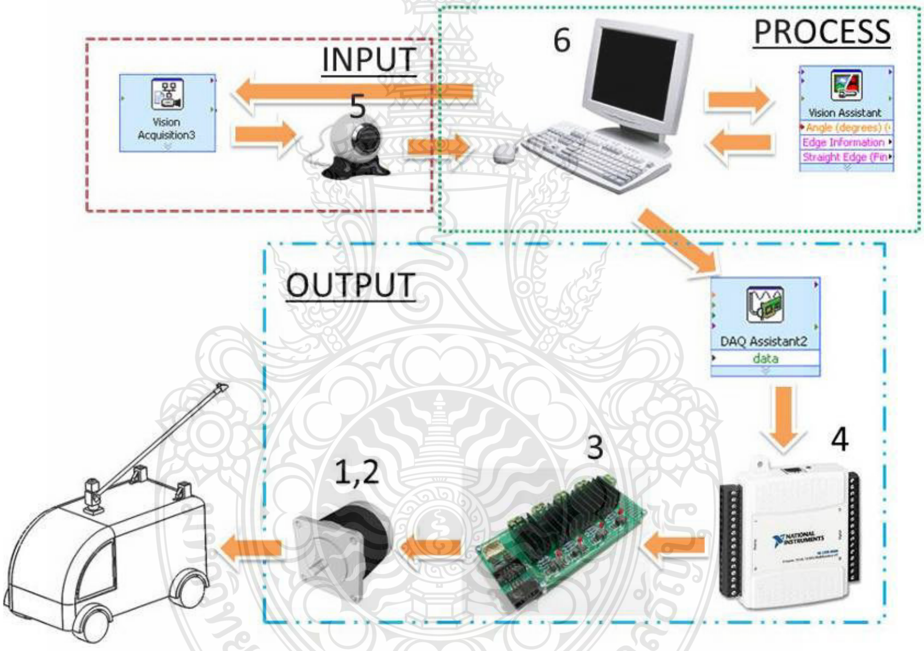
2) สเต็ปมอเตอร์ ยี่ห้อ VEXTA รุ่น PK245-01A ใช้แรงดันไฟฟ้าดีซี 4.8 โวลต์, 1.2 แอมแปร์, 1.8องศา/Step, 2-Phase จำนวน 1 ตัว (ใช้ในการเคลื่อนที่แขนรับกระแสไฟฟ้าในแกน Z_1)

3) บอร์ดขับสเต็ปมอเตอร์ จำนวน 2 ชุด

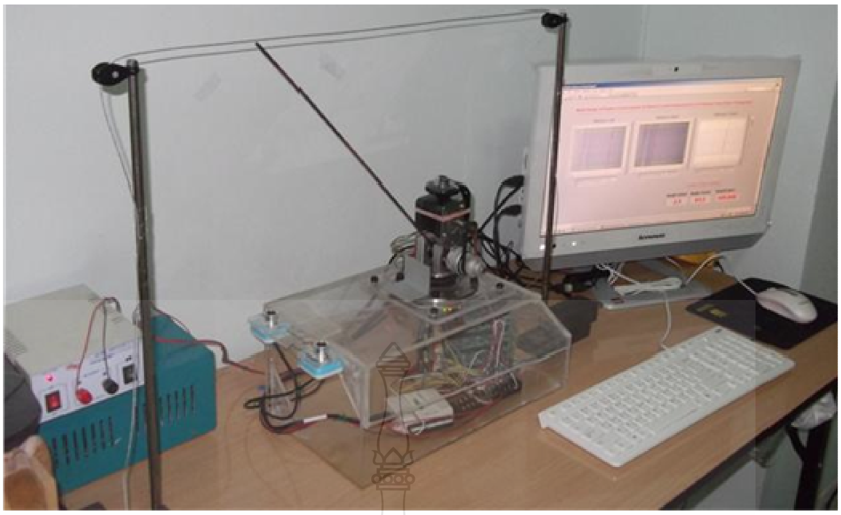
4) NI-DAQ Card USB-6008 จำนวน 1 ชุด

5) กล้องดิจิตอล Webcam ยี่ห้อ EXOO ความละเอียด 640x480 pixels ความเร็วการรับภาพสูงสุด 30 เฟรมต่อวินาที จำนวน 3 ตัว

6) คอมพิวเตอร์ใช้ในการประมวลผลและเชื่อมต่ออุปกรณ์ บนระบบปฏิบัติการ Windows XP ที่มี CPU AMD-450C หน่วยความจำ Ram มากกว่า 2048 MB พร้อมกับโปรแกรม LabVIEW จำนวน 1 เครื่อง



ภาพที่ 3.8 การเชื่อมต่ออุปกรณ์ของแบบจำลองชุดแขนรับกระแสไฟฟ้า



ภาพที่ 3.9 แบบจำลองชุดแขนรับกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการทดลองระบบควบคุมชุดแขนรับกระแสไฟฟ้า

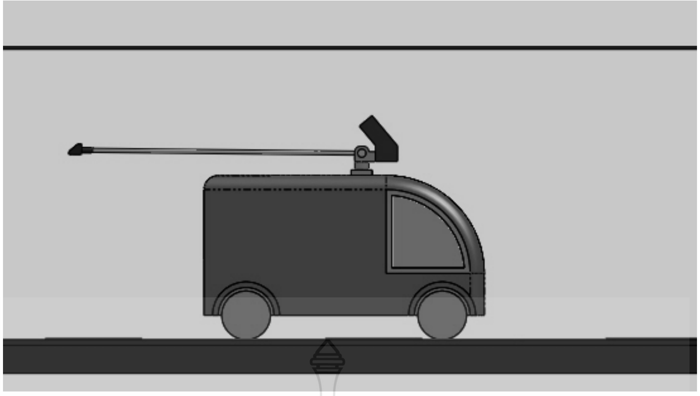
3.5 การเลือกตำแหน่งในการติดตั้งกล้อง

การเลือกติดตั้งกล้องมีความสำคัญอย่างมาก ในการถ่ายภาพเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ ดังนั้น ผู้วิจัยจึงได้ทดลองติดตั้งกล้องเป็น 4 แนวทาง โดยได้ทำการทดลองติดตั้งกล้องไว้ที่จุดหมุนเดียวกันกับแขนรับกระแสไฟฟ้าในแบบที่ 1 แสดงภาพที่ 3.10 พบว่าภาพที่ได้จะมีความบิดเบือนจากความเป็นจริงพอสมควร โดยจะต้องใช้กระบวนการปรับปรุงภาพใน Image Processing เพื่อลดความบิดเบือนจึงจะนำภาพมาใช้งานได้

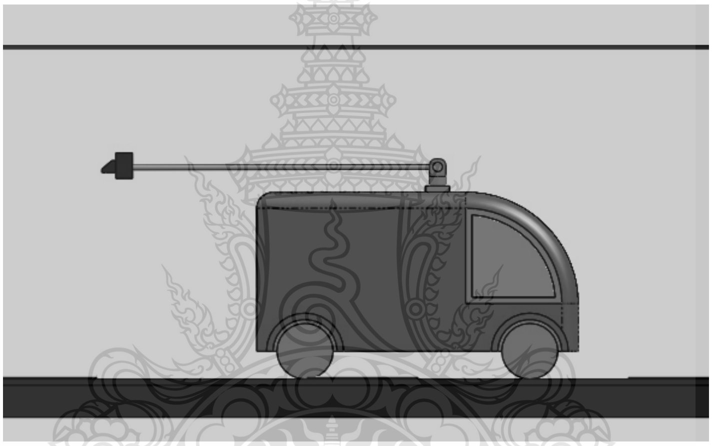
ผู้วิจัยได้ทำการทดลองติดตั้งกล้องไว้ที่ปลายแขนรับกระแสไฟฟ้าในแบบที่ 2 แสดงภาพที่ 3.11 พบว่าภาพที่ได้ไม่มีการบิดเบือนของภาพ ซึ่งต้องติดตั้งอุปกรณ์และกล้องไว้ที่ปลายแขนรับกระแสไฟฟ้า ส่งผลให้มอเตอร์ที่ใช้ในการเคลื่อนที่ของแขนรับกระแสไฟฟ้า มีขนาดใหญ่ขึ้นเพื่อสู้กับโหลดจากน้ำหนักที่ปลายแขนรับกระแสไฟฟ้า

ผู้วิจัยได้ทำการทดลองติดตั้งกล้องไว้ด้านหลังรถไฟฟ้าในแบบที่ 3 แสดงภาพที่ 3.12 พบว่าสามารถแก้ปัญหาการติดตั้งกล้องในแบบที่ 1 และ 2 ได้ และช่วยลดความยุ่งยากและความผิดพลาดในกระบวนการ Image Processing ได้อีกด้วย แต่ไม่สามารถตรวจจับเป้าหมายได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ดังนั้นในแบบที่ 4 จึงเพิ่มกล้องตัวที่ 3 ขึ้นมา แสดงภาพที่ 3.13 โดยติดตั้งไว้ที่จุดหมุนเดียวกันกับแขนรับกระแสไฟฟ้า และจากการทดลองพบว่าการติดตั้งกล้องในแบบที่ 4 สามารถตรวจจับเป้าหมายได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้เลือกการติดตั้งกล้องแบบที่ 4

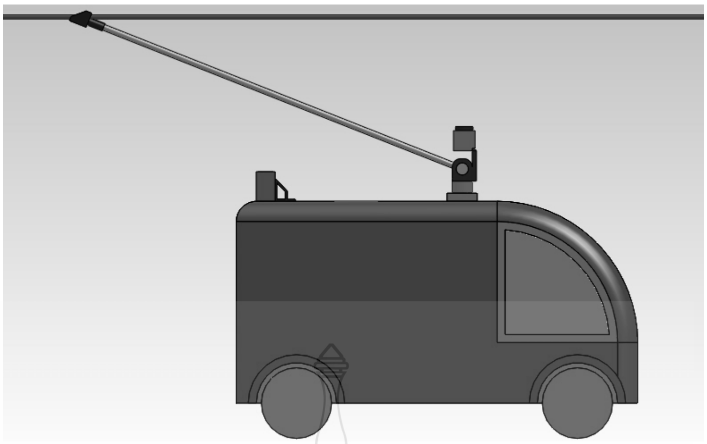


ภาพที่ 3.10 การทดลองติดตั้งกล้องในแบบที่ 1



ภาพที่ 3.11 การทดลองติดตั้งกล้องในแบบที่ 2

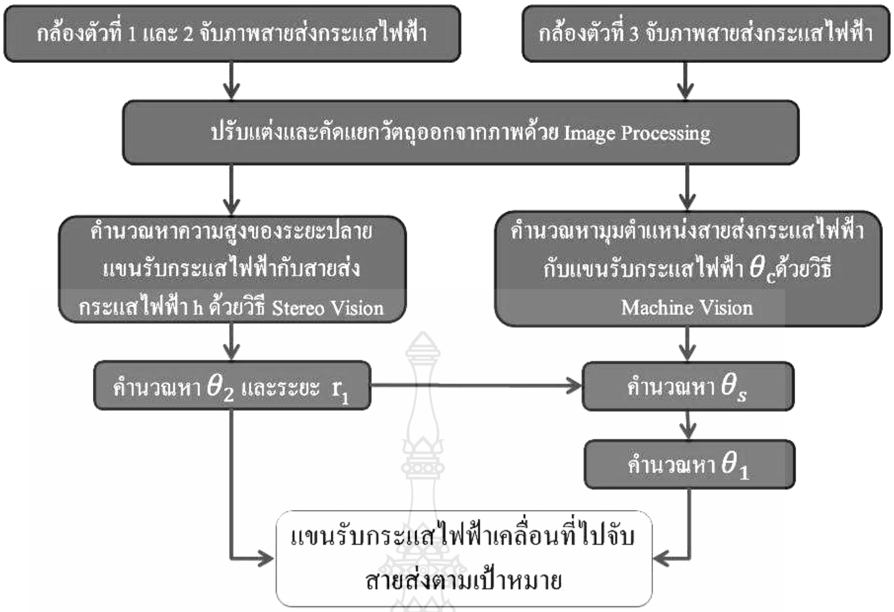
ภาพที่ 3.12 การทดลองติดตั้งกล้องในแบบที่ 3



ภาพที่ 3.13 การทดลองติดตั้งกล้องในแบบที่ 4

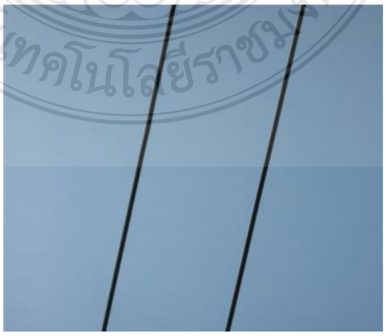
3.6 ขั้นตอนการคำนวณหาตำแหน่งชุดแขนรับกระแสไฟฟ้าด้วยภาพถ่ายสเตริโอ

ในการวิเคราะห์ภาพถ่ายจากกล้องเว็บแคมจำเป็นต้องใช้โปรแกรมในการประมวลผลภาพ ซึ่งสามารถเลือกใช้ได้จากหลายโปรแกรม จากการศึกษาพบว่าโปรแกรม LabVIEW สามารถใช้งานได้กับการวิเคราะห์ภาพถ่ายด้วยระบบสเตริโอวิชั่น และสามารถเพิ่มเติมฟังก์ชันในการคัดแยกภาพได้ โดยการใช้ฟังก์ชัน NI-Vision ร่วมกับคำสั่งพื้นฐาน นอกจากนั้นโปรแกรมยังสามารถเชื่อมต่อกับกล้องเพื่อถ่ายภาพผ่านทาง USB Port ซึ่งไม่จำเป็นต้องใช้การ์ดประมวลผลภาพเพิ่มเติม อีกทั้งรูปแบบการประมวลผลง่ายต่อผู้ใช้งาน (User Interface) ในส่วนกระบวนการในการคัดแยกภาพจะใช้การเรียกภาพจากหน่วยความจำที่ได้จากกล้องมาประมวลผล โดยใช้การแปลงภาพเป็นแบบระดับสีเทา (Gray Scale) เพื่อคัดแยกสายส่งกระแสไฟฟ้า ออกจากภาพ และใช้ฟังก์ชัน Straight Edge ของโปรแกรม LabVIEW ในการคำนวณหาค่ามุมจากตำแหน่งของสายส่งกระแสไฟฟ้ากับแขนรับกระแสไฟฟ้าบนระนาบ X_0, Y_0 ด้วยเทคนิค Machine Vision และอีกส่วนจะเป็นการคำนวณหาความสูงระยะปลายแขนรับกระแสไฟฟ้ากับสายส่งกระแสไฟฟ้า ด้วยเทคนิค Stereo Vision ภาพที่ 3.14 แสดงรายละเอียดขั้นตอนของระบบ Vision System และขั้นตอนการคำนวณหาองศาของการหมุนของชุดแขนรับกระแสไฟฟ้าเพื่อให้เคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งที่ต้องการ

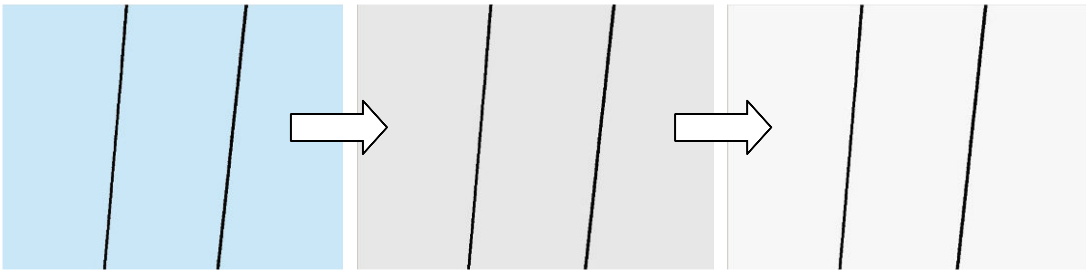


ภาพที่ 3.14 รายละเอียดเกี่ยวกับขั้นตอนการควบคุมตำแหน่งชุดแขนรับกระแสไฟฟ้า

3.6.1 การปรับแต่งและคัดแยกวัตถุออกจากภาพโดยใช้การประมวลผลทางภาพ (Image Processing) หลังจากรับภาพถ่ายจากกล้องเว็บแคม โปรแกรม LabVIEW จะทำการปรับแต่งภาพถ่ายโดยใช้ฟังก์ชัน Color Plane Extraction โดยภาพที่ได้จากการปรับแต่งภาพตามค่าที่กำหนดไว้ จะมีพื้นหลังเป็นสีเทาอ่อนและวัตถุจะมีสีเทาเข้ม หลังจากนั้นจึงทำการแปลงภาพเป็นแบบ Color Image 24 bits และเลือกฟังก์ชัน Lookup Table แบบ Power 1/x ซึ่งภาพของสายส่งกระแสไฟฟ้าจะเปลี่ยนจากสีเทาเข้มเป็นสีดำ และพื้นหลังจากเปลี่ยนสีเทาเป็นสีขาว ดังแสดงในภาพที่ 3.15 และ 3.16 หลังจากนั้นจึงทำการค้นหาตำแหน่งสายส่งกระแสไฟฟ้าต่อไป

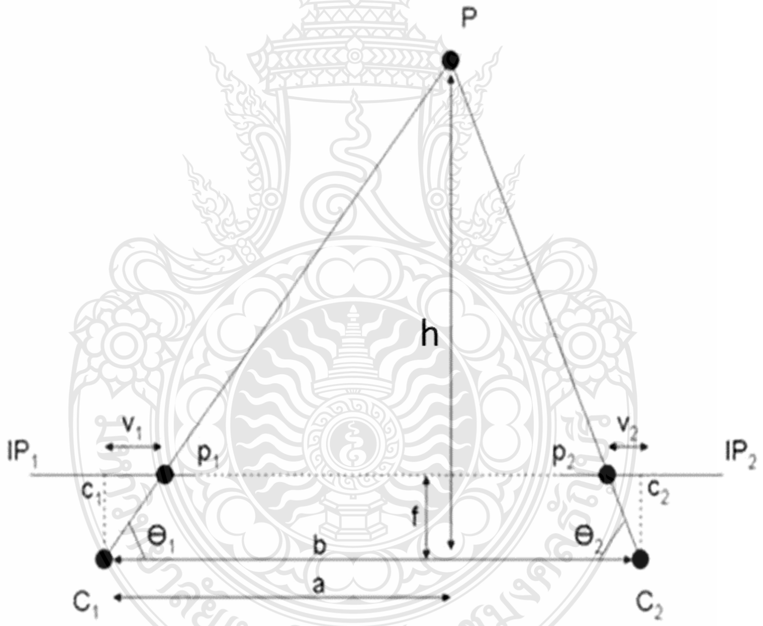


ภาพที่ 3.15 สายส่งกระแสไฟฟ้าจากงานวิจัยของภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล



ภาพที่ 3.16 การปรับแต่งภาพเพื่อแยกวัตถุออกจากภาพพื้นหลัง

3.6.2 การคำนวณหาระยะความสูงปลายแขนรับกระแสไฟฟ้ากับสายส่งกระแสไฟฟ้า ด้วยวิธีสเตริโอวิชั่น (Stereo Vision) โดยใช้เทคนิคสามเหลี่ยมคล้าย



ภาพที่ 3.17 แนวคิดของภาพสเตริโอ ด้วยวิธีสามเหลี่ยมคล้าย

ภาพที่ 3.17 แสดงแนวคิดของภาพสเตริโอด้วยวิธีสามเหลี่ยมคล้าย การคำนวณหาระยะความสูงปลายแขนรับกระแสไฟฟ้ากับสายส่งกระแสไฟฟ้า เพื่อหาระยะทางจากกล้องถึงสายส่งกระแสไฟ ดังสมการที่ 3.1

$$h = \frac{b \cdot f}{d} \tag{3.1}$$

และ

$$\theta_2 = \tan^{-1}\left(\frac{h}{L_2}\right) \tag{3.2}$$

เมื่อ f คือ ความยาวโฟกัสของกล้อง

b คือ ระยะห่างระหว่างศูนย์กลางของภาพที่อยู่ระนาบภาพ C_1 และ C_2

C_1 คือ กล้องตัวที่ 1

C_2 คือ กล้องตัวที่ 2

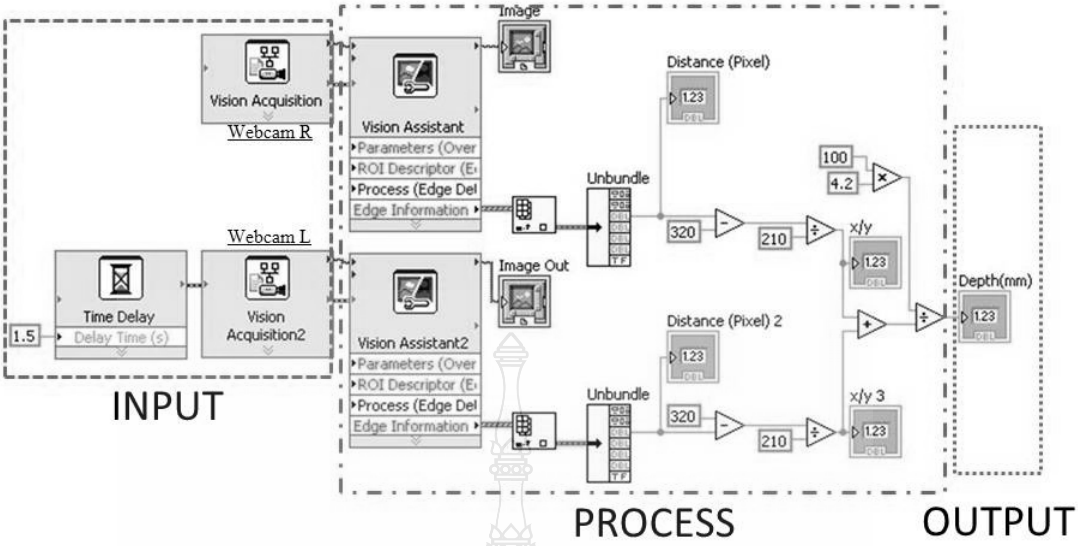
d คือ ความแตกต่างระหว่าง V_1 และ V_2

V_1 คือ ความยาวจาก c_1 ถึง p_1

V_2 คือ ความยาวจาก c_2 ถึง p_2

h คือ ระยะทางจากกล้องถึงวัตถุ (Depth)

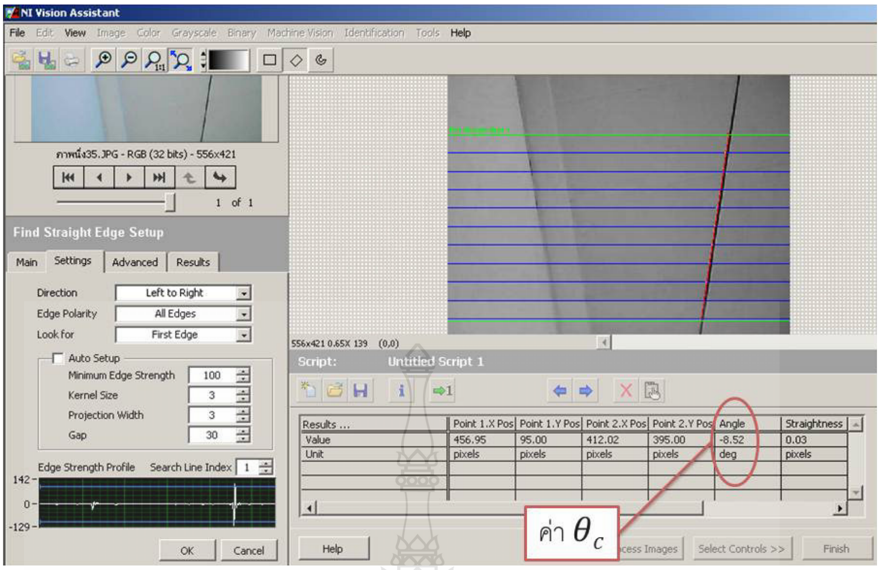
เนื่องจากนี้ผู้วิจัยได้ติดตั้งกล้องไว้ที่ด้านหลังรถไฟฟ้า โดยกำหนดให้ความสูงจากกล้องถึงสายส่งกระแสไฟฟ้าเท่ากับความสูงจากปลายแขนรับกระแสไฟฟ้าถึงสายส่งกระแสไฟฟ้า ดังแสดงในภาพที่ 3.5 เส้นปะสีแดงแสดงความสูงจากกล้องถึงสายส่งกระแสไฟฟ้า (h) ภาพที่ 3.18 แสดงรายละเอียดของโปรแกรมสเตริโอวิชั่นที่เขียนขึ้นโดยโปรแกรม LabVIEW เพื่อหาความสูงระหว่างกล้องกับสายส่งกระแสไฟฟ้า



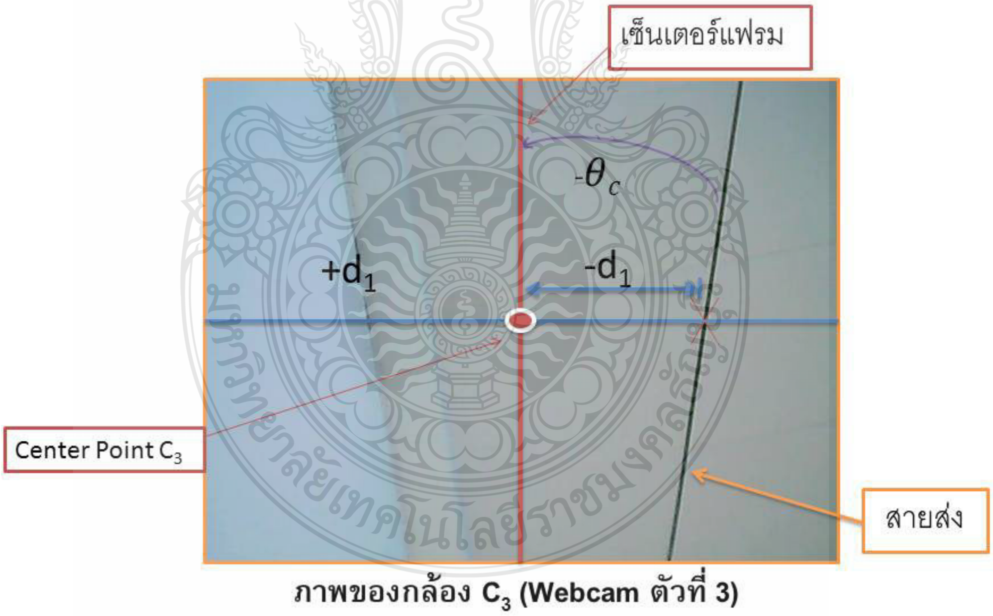
ภาพที่ 3.18 การเขียนโปรแกรมสเตริโอวิชั่นเพื่อหาความสูงระหว่างกล้องกับสายส่งกระแสไฟฟ้าโดยใช้โปรแกรม LabVIEW

3.6.3 การคำนวณหาระยะ d_1 ระหว่างปลายแขนรับกระแสไฟฟ้ากับสายส่งกระแสไฟ

หลังจากได้ค่า h แล้วกล้องเว็บแคมตัวที่ 3 จะถ่ายภาพเพื่อหาระยะระหว่างปลายแขนรับกระแสไฟฟ้ากับสายส่งกระแสไฟฟ้า และกำหนดให้ทางซ้ายของเซ็นเตอร์แฟรมเป็น $+d_1$ และทางขวามือของเซ็นเตอร์แฟรมเป็น $-d_1$ และ θ_c คือ มุมเซ็นเตอร์แฟรมเทียบกับสายส่ง ดังแสดงภาพที่ 3.19 และภาพที่ 3.20 แสดงการหาค่า θ_c ที่ได้จากการประมวลผลภาพจากกระบวนการ Machine Vision ซึ่งแสดงค่าติดลบ (-8.52 องศา)

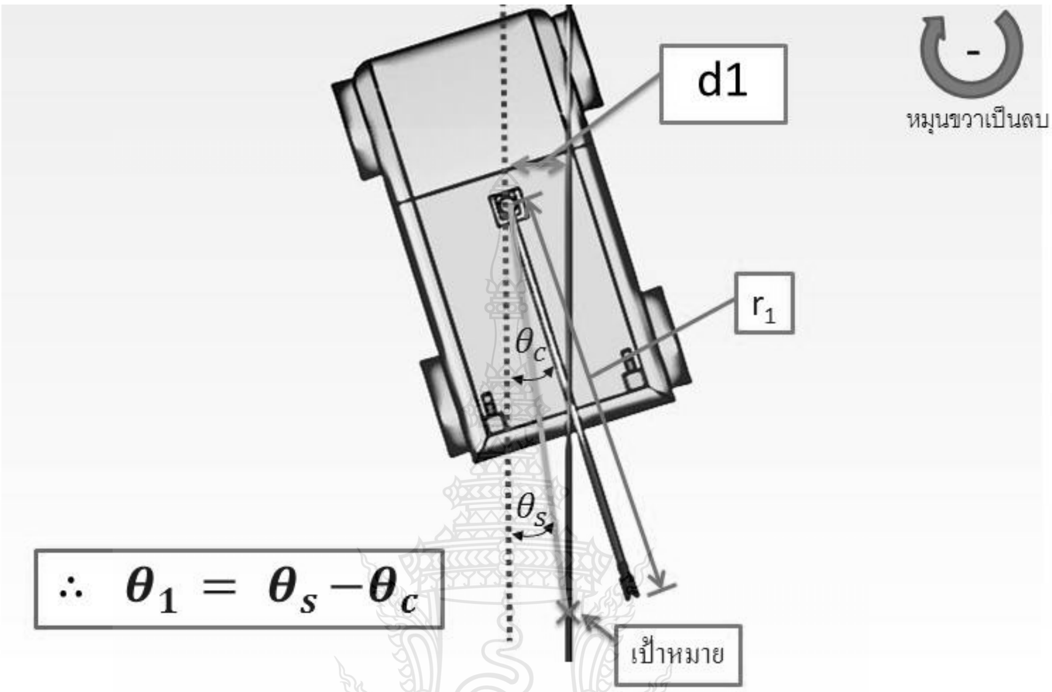


ภาพที่ 3.19 การหา θ_c จากฟังชันก์ Find Straight Edge Setup ในโปรแกรม LabVIEW Vision Assistant



ภาพที่ 3.20 การหาระยะ d_1

ภาพที่ 3.21 แสดงวิธีการหาค่า θ_1 ซึ่งได้จากสมการที่ 3.4 โดยที่ $+\theta_1$ แขนรับกระแสไฟหมุนทวนเข็ม $-\theta_1$ แขนรับกระแสไฟหมุนตามเข็ม



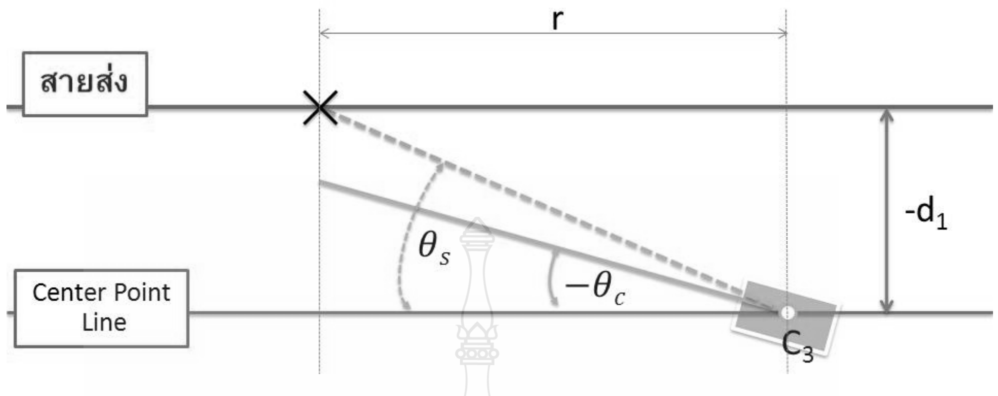
ภาพที่ 3.21 การหาระยะ θ_1

$$\theta_s = \tan^{-1}\left(\frac{d_1}{r_1}\right) \tag{3.3}$$

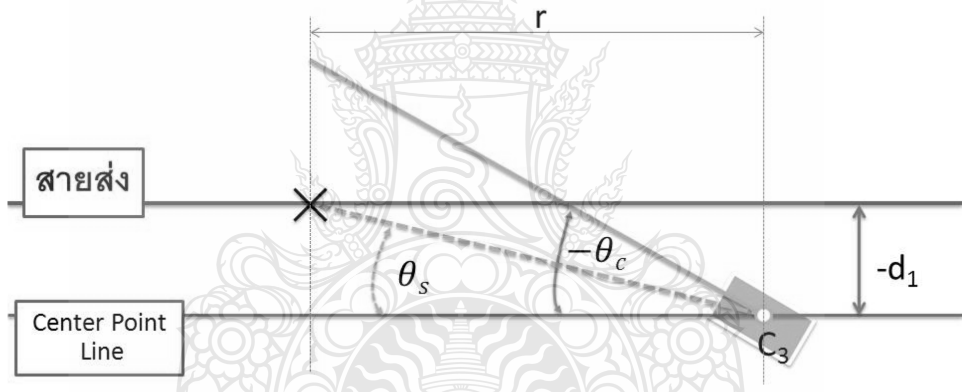
$$\theta_1 = \theta_s - \theta_c \tag{3.4}$$

เมื่อ θ_c คือ มุมองศาของภาพจากกล้อง Webcam ตัวที่ 3 โดยใช้โปรแกรม LabVIEW Vision Assistant ในการหาค่า

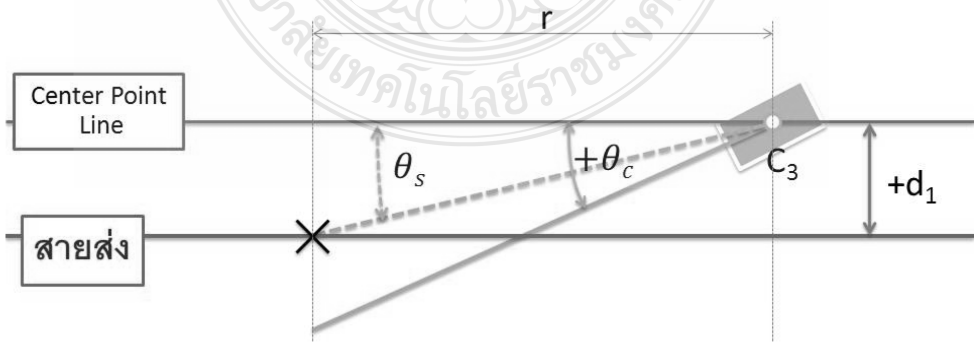
ภาพที่ 3.22 – 3.26 แสดงตัวอย่างตำแหน่งของสายส่งกระแสไฟฟ้าเทียบกับเซ็นเตอร์แฟรม



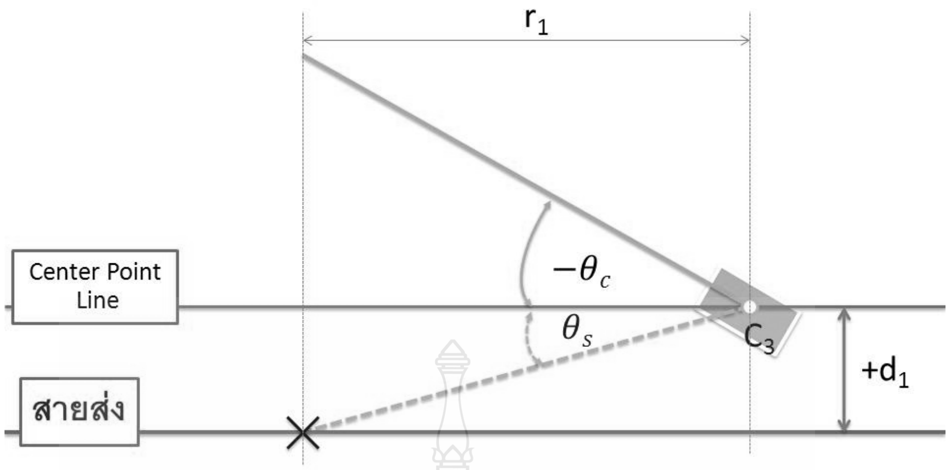
ภาพที่ 3.22 ตัวอย่างตำแหน่งชุดแขนรับกระแสไฟฟ้าทำมุมแบบที่ 1



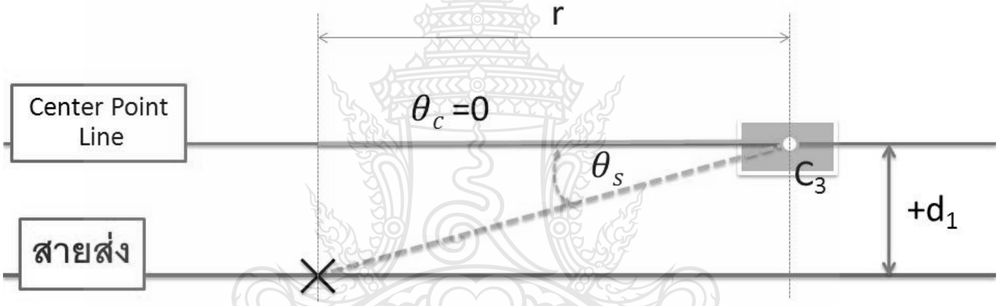
ภาพที่ 3.23 ตัวอย่างตำแหน่งชุดแขนรับกระแสไฟฟ้าทำมุมแบบที่ 2



ภาพที่ 3.24 ตัวอย่างตำแหน่งชุดแขนรับกระแสไฟฟ้าทำมุมแบบที่ 3



ภาพที่ 3.25 ตัวอย่างตำแหน่งชุดแขนรับกระแสไฟฟ้าทำมุมแบบที่ 4



ภาพที่ 3.26 ตัวอย่างตำแหน่งชุดแขนรับกระแสไฟฟ้าทำมุมแบบที่ 5

3.7 เงื่อนไขในการออกแบบระบบควบคุม

3.7.1 ก่อนที่ระบบควบคุมเริ่มจะทำงาน แขนรับไฟจะต้องอยู่ที่ตำแหน่ง (Home) คือตำแหน่งที่แขนรับกระแสไฟฟ้าอยู่ที่ตำแหน่ง ($\theta_1, \theta_2 = 0$)

3.7.2 ก่อนที่ระบบควบคุมเริ่มจะทำงาน แบบจำลองรถไฟฟ้าจะต้องหยุดอยู่กับที่และอยู่ในที่เกินค่าที่กำหนดไว้จากข้อจำกัดของการตรวจจับด้วยกล้องเว็บแคมที่ใช้

3.7.3 แขนรับกระแสไฟฟ้าสามารถใช้เวลาในการจับสายส่งกระแสไฟฟ้าในเวลาไม่เกิน 10 วินาที

3.8 ขั้นตอนการทดลอง

ขั้นตอนการทดลองแบบจำลองระบบควบคุมตำแหน่งชุดแขนรับกระแสไฟฟ้าแบ่งได้เป็น 2 ส่วนคือ

3.8.1 การสอบเทียบของระบบสเตริโอวิชั่น (Stereo Vision Calibration)

การสอบเทียบระบบสเตริโอวิชั่น โดยมีขั้นตอนกระทำเพื่อหาความแม่นยำในการตรวจจับภาพถ่าย

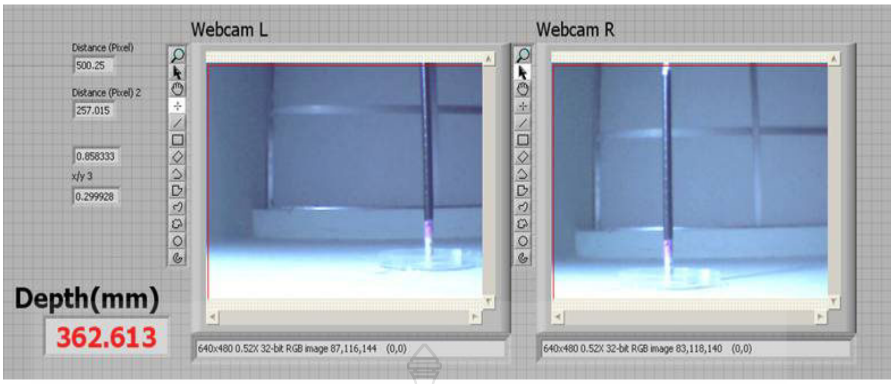
1) ใช้แท่นดินสอด้ามสีดำเพื่อใช้แทนสายส่งกระแสไฟฟ้า และตั้งไว้ระยะหนึ่ง ดังแสดงในภาพที่ 3.27

2) ตั้งกล้องทั้ง 2 ตัวให้มีระยะห่าง 100 mm ได้ค่า Focal length เท่ากับ 4.2 (โดยค่า Focal length ได้จากการทดลอง) ดังแสดงในภาพที่ 3.28

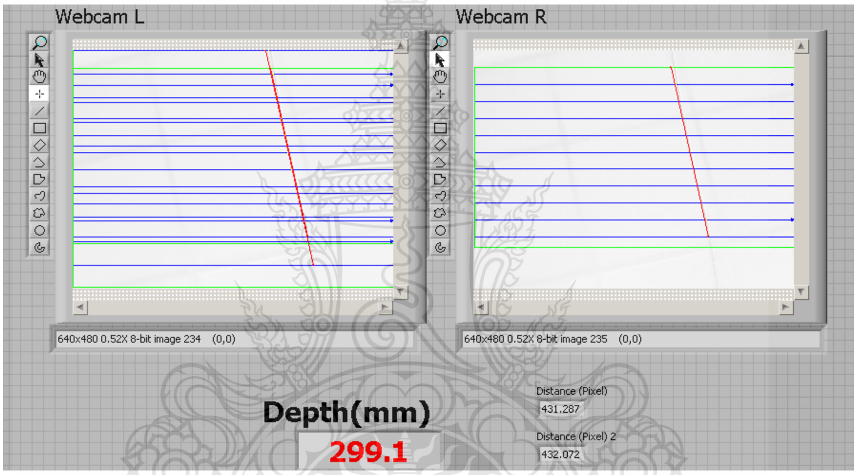
3) รันโปรแกรมสเตริโอวิชั่นที่ออกแบบขึ้นมา โดยโปรแกรมจะใช้เวลาในการตรวจจับภาพและประมวลผลประมาณ 3 วินาที ดังแสดงในภาพที่ 3.29 และ 3.30

ภาพที่ 3.27 การทดสอบของระบบสเตริโอวิชั่นโดยอาศัยก้านดินสอพันด้วยเทปสีดำ

ภาพที่ 3.28 ตรวจสอบค่าที่วัดได้จริง (360 mm)



ภาพที่ 3.29 การจับภาพของทั้ง 2 กล้อง เพื่อสอบเทียบของระบบสเตริโอวิชั่น

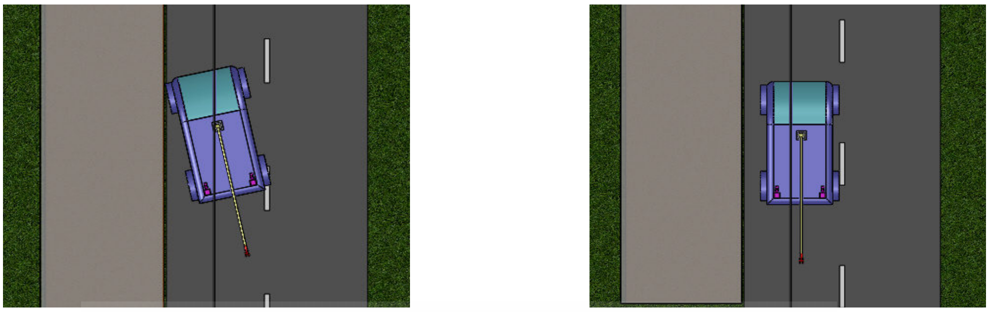


ภาพที่ 3.30 การจับภาพของทั้ง 2 กล้อง และแสดงค่าที่ประมวลผล

3.8.2 การทดลองการทำงานของแบบจำลองระบบควบคุมตำแหน่งชุดแขนรับกระแสไฟฟ้า โดยมีเงื่อนไขในการทดลองดังนี้

1) ตัวรถทำมุมเอียงไม่เกิน 15 องศากับสายส่งกระแสไฟฟ้า แสดงในภาพที่ 3.31 (ก) และดังแสดงในภาพที่ 3.31 (ข) แสดงแบบจำลองชุดแขนรับกระแสไฟฟ้าหยุดนิ่งอยู่กับที่

2) กำหนดให้ค่าความผิดพลาดจากสายส่งเทียบกับปลายแขนรับกระแสไฟฟ้าที่ระยะห่างไม่เกิน ±5 มิลลิเมตร เป็นค่าที่ปลายแขนรับกระแสไฟฟ้าเข้าไปจับเป้าหมายได้ ภาพที่ 3.32 (ก) แสดงปลายแขนรับกระแสไฟฟ้าเคลื่อนที่ไปจับสายส่งได้ตามเป้าหมาย และผลของข้อมูลที่เก็บได้จะถูกแสดงผลในตารางเป็นร้อยละของความผิดพลาด ภาพที่ 3.32(ข) แสดงปลายแขนรับกระแสไฟฟ้าเคลื่อนที่ไปจับสายส่งพลาดค่าเป้าหมาย ซึ่งหมายถึงระยะห่างมีมากกว่า 5 มิลลิเมตร

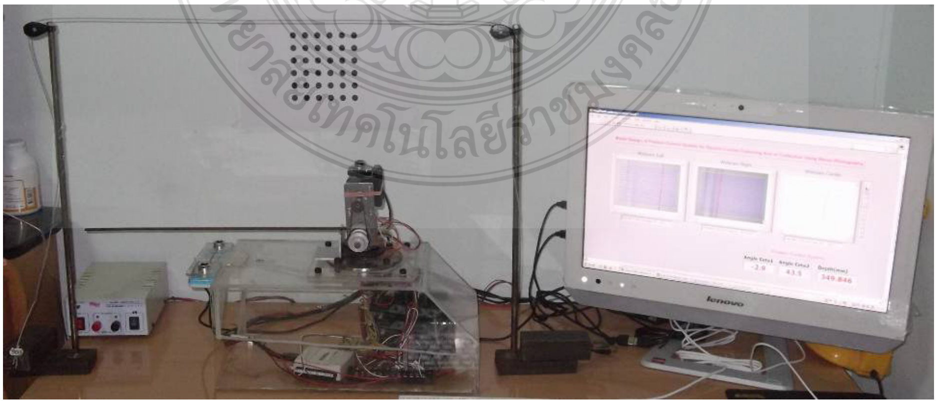


(ก) ตัวรถทำมุมเอียงเทียบกับสายส่ง ไม่เกิน 15 องศา (ข) ตัวรถขนานเทียบกับสายส่ง

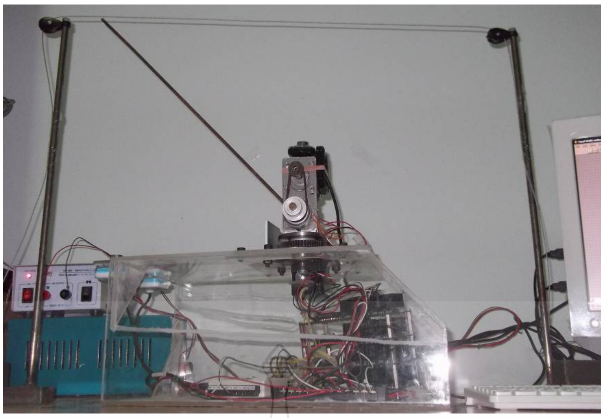
ภาพที่ 3.31 แบบจำลองชุดแขนรับกระแสไฟฟ้า

(ก) ปลายแขนรับกระแสไฟฟ้าเคลื่อนที่ไปจับสายส่งได้ตามเป้าหมาย (ข) ปลายแขนรับกระแสไฟฟ้าเคลื่อนที่ไปจับสายส่งพลาดเป้าหมาย

ภาพที่ 3.32 กำหนดให้ค่าความผิดพลาดจากสายส่งเทียบกับปลายแขนรับกระแสไฟฟ้า



ภาพที่ 3.33 แบบจำลองชุดแขนรับกระแสไฟเริ่มต้นที่ตำแหน่งองศาการหมุนเท่ากับศูนย์เสมอ



ภาพที่ 3.34 แบบจำลองชุดแขนรับกระแสไฟฟ้าขึ้นไปแตะสายส่ง

ภาพที่ 3.33 แสดงแบบจำลองชุดแขนรับกระแสไฟก่อนการทำงาน ซึ่งองศาของการหมุนจะต้องเท่ากับศูนย์เสมอ และโปรแกรมจะใช้เวลาในการประมวลผลข้อมูล 4-5 วินาที หลังจากนั้นชุดแขนรับกระแสไฟฟ้าจะขึ้นไปแตะสายส่งกระแสไฟ ดังแสดงในภาพที่ 3.34

บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 ผลการสอบเทียบระบบสเตริโอวิชั่น

ตารางที่ 4.1 การสอบเทียบระบบสเตริโอวิชั่น ที่ระยะห่างคงที่เท่ากับ 300 mm

ครั้งที่	ระยะห่าง (Depth)	ค่าที่ได้จากการคำนวณด้วยโปรแกรม (Depth)	ค่าความผิดพลาด %
1	300 mm	298.5 mm	0.5
2	300 mm	298.5 mm	0. 5
3	300 mm	299.5 mm	0.16
4	300 mm	298.0 mm	0.60
5	300 mm	299.5 mm	0.16
6	300 mm	300.5 mm	0.16
7	300 mm	301.0 mm	0.33

ตารางที่ 4.1 แสดงผลการสอบเทียบระบบสเตริโอวิชั่น ซึ่งมีระยะห่างระหว่างกล้องกับวัตถุคงที่เท่ากับ 300 mm จะเห็นได้ว่าค่าที่คำนวณซึ่งพัฒนาขึ้นจากโปรแกรม LabVIEW มีค่าความผิดพลาดต่ำสุดร้อยละ 0.33 และสูงสุดร้อยละ 1 จากตารางที่ 4.2 แสดงผลที่เกิดจากระยะห่างระหว่างกล้องกับวัตถุเปลี่ยนจากค่า 228 mm ไปยัง 458 mm

ตารางที่ 4.2 การสอบเทียบระบบสเตริโอวิชั่น ที่ระยะเป้าหมายตำแหน่งต่างๆ

ครั้งที่	ระยะห่าง (Depth)	ค่าที่ได้จากการคำนวณด้วยโปรแกรม (Depth)	ค่าความผิดพลาด %
1	228 mm	228.00 mm	0 %
2	257 mm	256.00 mm	0.38 %
3	289 mm	288.00 mm	0.34 %
4	335 mm	334.00 mm	0.29 %
5	361 mm	362.00 mm	0.27 %
6	421 mm	419.50 mm	0.35 %
7	458 mm	461.00 mm	0. 65 %

4.2 ผลการทดลอง กรณีที่ 1 ขณะตัวรถขนานกับสายส่ง

ตารางที่ 4.3 รถเยื้องทางซ้ายระยะตั้งแต่ 1-5 เซนติเมตร และตัวรถขนานกับสายส่ง

การทดลองครั้งที่	ความผิดพลาดจากสายส่งเทียบกับปลายแขนรับกระแสไฟฟ้าที่ 5 มิลลิเมตร (ร้อยละ) (L= ระยะเยื้องทางซ้ายเทียบกับสายส่ง)				
	L=1 ซม.	**L=2 ซม.**	**L=3 ซม.**	**L=4 ซม.**	**L=5 ซม.**
1	13.12	3.18	26.70	21.72	14.76
2	10.74	2.44	34.28	22.76	20.12
3	1.44	17.72	19.56	25.58	14.30
4	10.46	9.26	28.92	26.26	38.32
5	6.18	0.06	27.92	20.04	27.84
6	3.28	3.20	28.92	27.82	13.54
7	7.50	13.12	21.62	13.84	12.92

ตารางที่ 4.4 รถเยื้องทางขวาระยะตั้งแต่ 1-5 เซนติเมตร และตัวรถขนานกับสายส่ง

การทดลองครั้งที่	ความผิดพลาดจากสายส่งเทียบกับปลายแขนรับกระแสไฟฟ้าที่ 5 มิลลิเมตร (ร้อยละ) (R= ระยะเยื้องทางขวาเทียบกับสายส่ง)				
	R=1 ซม.	**R=2 ซม.**	**R=3 ซม.**	**R=4 ซม.**	**R=5 ซม.**
1	16.78	51.44	39.46	45.98	86.90
2	4.30	26.26	48.24	93.84	71.78
3	12.02	33.80	65.84	49.80	69.68
4	12.16	17.64	37.28	57.98	74.66
5	11.44	28.14	45.68	56.56	66.78
6	11.66	28.92	46.02	62.42	77.10
7	31.46	26.46	45.46	86.02	61.98

4.3 การทดลองกรณีที่ 2 ขณะรถเยื้องทางซ้ายและทางขวากับสายส่ง และตัวรถเอียงกับสายส่ง ±5 องศา

ตารางที่ 4.5 รถเยื้องทางซ้ายระยะตั้งแต่ 1-5 เซนติเมตร และตัวรถเอียง +5 องศา

การทดลองครั้งที่	ความผิดพลาดจากสายส่งเทียบกับปลายแขนรับกระแสไฟฟ้าที่ 5 มิลลิเมตร (ร้อยละ) (L= ระยะเยื้องทางซ้ายเทียบกับสายส่ง)				
	L=1 ซม.	**L=2 ซม.**	**L=3 ซม.**	**L=4 ซม.**	**L=5 ซม.**
1	15.44	28.72	78.14	64.22	-
2	23.76	35.82	80.28	62.30	-
3	22.28	36.20	77.70	56.76	-
4	24.12	30.44	92.56	57.88	-
5	23.86	35.76	85.62	59.96	-
6	23.94	37.64	74.92	61.58	-
7	22.58	40.60	85.90	56.28	-

หมายเหตุ “ - ” แสดงว่าค่าผิดพลาดที่วัดได้เกินร้อยละ 100 หรือ 5 มิลลิเมตร

ตารางที่ 4.6 รถเยื้องทางขวาระยะตั้งแต่ 1-5 เซนติเมตร และตัวรถเอียง +5 องศา

การทดลองครั้งที่	ความผิดพลาดจากสายส่งเทียบกับปลายแขนรับกระแสไฟฟ้าที่ 5 มิลลิเมตร (ร้อยละ) (R= ระยะเยื้องทางขวาเทียบกับสายส่ง)				
	R=1 ซม.	**R=2 ซม.**	**R=3 ซม.**	**R=4 ซม.**	**R=5 ซม.**
1	2.94	17.98	9.34	11.26	-
2	5.38	19.40	5.90	4.66	-
3	6.46	17.86	5.62	1.82	-
4	2.22	13.52	6.86	0.92	-
5	0.64	22.98	15.56	10.90	-
6	2.96	13.28	1.04	7.44	-
7	2.38	9.34	15.72	4.36	-

หมายเหตุ “ - ” แสดงว่าค่าผิดพลาดที่วัดได้เกินร้อยละ 100 หรือ 5 มิลลิเมตร

ตารางที่ 4.7 รถเยื้องทางซ้ายระยะตั้งแต่ 1-5 เซนติเมตร และตัวรถเอียง -5 องศา

การทดลองครั้งที่	**ความผิดพลาดจากสายส่งเทียบกับปลายแขนรับกระแสไฟฟ้าที่ 5 มิลลิเมตร (ร้อยละ) (L= ระยะเยื้องทางซ้ายเทียบกับสายส่ง)**				
	L=1 ซม.	**L=2 ซม.**	**L=3 ซม.**	**L=4 ซม.**	**L=5 ซม.**
1	9.04	7.96	51.10	38.66	70.38
2	10.52	10.74	64.14	47.34	75.12
3	14.42	12.06	62.32	42.12	72.98
4	13.24	9.74	58.42	56.38	90.34
5	13.30	9.22	61.10	51.24	75.24
6	9.22	11.06	68.40	62.36	57.94
7	9.32	13.08	49.76	52.34	59.10

ตารางที่ 4.8 รถเยื้องทางขวาระยะตั้งแต่ 1-5 เซนติเมตร และตัวรถเอียง -5 องศา

การทดลองครั้งที่	**ความผิดพลาดจากสายส่งเทียบกับปลายแขนรับกระแสไฟฟ้าที่ 5 มิลลิเมตร (ร้อยละ) (R= ระยะเยื้องทางขวาเทียบกับสายส่ง)**				
	R=1 ซม.	**R=2 ซม.**	**R=3 ซม.**	**R=4 ซม.**	**R=5 ซม.**
1	11.14	44.50	24.30	29.50	-
2	4.56	50.46	21.50	33.56	-
3	1.90	43.52	26.58	32.68	-
4	6.80	49.46	25.22	30.96	-
5	7.46	48.40	28.28	31.08	-
6	1.30	50.12	30.82	31.46	-
7	2.42	48.88	29.26	32.78	-

หมายเหตุ " - " แสดงว่าค่าผิดพลาดที่วัดได้เกินร้อยละ 100 หรือ 5 มิลลิเมตร

4.4 การทดลอง กรณีที่ 3 ขณะตัวรถเยื้องทางซ้ายและทางขวากับสายส่ง และตัวรถเอียงกับสายส่ง ± 10 องศา

ตารางที่ 4.9 รถเยื้องทางซ้ายระยะตั้งแต่ 1-5 เซนติเมตร และตัวรถเอียง +10 องศา

การทดลองครั้งที่	ความผิดพลาดจากสายส่งเทียบกับปลายแขนรับกระแสไฟฟ้าที่ 5 มิลลิเมตร (ร้อยละ) (L= ระยะเยื้องทางซ้ายเทียบกับสายส่ง)				
	L=1 ซม.	L=2 ซม.	L=3 ซม.	L=4 ซม.	L=5 ซม.
1	32.22	48.32	89.12	78.36	-
2	38.64	49.98	84.32	82.68	-
3	39.72	46.58	91.06	78.86	-
4	40.94	48.60	95.00	91.00	-
5	40.80	46.82	86.58	78.00	-
6	42.38	49.92	93.36	80.24	-
7	41.10	49.38	94.74	81.50	-

หมายเหตุ “ - ” แสดงว่าค่าผิดพลาดที่วัดได้เกินร้อยละ 100 หรือ 5 มิลลิเมตร

ตารางที่ 4.10 รถเยื้องทางขวาระยะตั้งแต่ 1-5 เซนติเมตร และตัวรถเอียง +10 องศา

การทดลองครั้งที่	ความผิดพลาดจากสายส่งเทียบกับปลายแขนรับกระแสไฟฟ้าที่ 5 มิลลิเมตร (ร้อยละ) (R= ระยะเยื้องทางขวาเทียบกับสายส่ง)				
	R=1 ซม.	R=2 ซม.	R=3 ซม.	R=4 ซม.	R=5 ซม.
1	13.78	10.82	18.46	-	-
2	16.72	6.12	22.30	-	-
3	17.24	8.50	20.14	-	-
4	14.88	10.26	15.04	-	-
5	14.74	5.70	15.96	-	-
6	12.86	7.24	19.38	-	-
7	16.32	3.68	18.38	-	-

หมายเหตุ “ - ” แสดงว่าค่าผิดพลาดที่วัดได้เกินร้อยละ 100 หรือ 5 มิลลิเมตร

ตารางที่ 4.11 รถเยื้องทางซ้ายระยะตั้งแต่ 1-5 เซนติเมตร และตัวรถเอียง -10 องศา

การทดลองครั้งที่	ความผิดพลาดจากสายส่งเทียบกับปลายแขนรับกระแสไฟฟ้าที่ 5 มิลลิเมตร (ร้อยละ) (L= ระยะเยื้องทางซ้ายเทียบกับสายส่ง)				
	L=1 ซม.	**L=2 ซม.**	**L=3 ซม.**	**L=4 ซม.**	**L=5 ซม.**
1	15.02	3.96	27.80	48.44	46.44
2	10.02	7.40	34.18	50.52	63.20
3	20.22	16.46	27.08	35.64	44.52
4	14.52	8.76	28.30	64.32	60.32
5	18.90	4.62	27.76	44.92	44.38
6	14.52	4.60	27.76	41.84	43.90
7	15.62	2.26	28.24	52.48	48.64

ตารางที่ 4.12 รถเยื้องทางขวาระยะตั้งแต่ 1-5 เซนติเมตร และตัวรถเอียง -10 องศา

การทดลองครั้งที่	ความผิดพลาดจากสายส่งเทียบกับปลายแขนรับกระแสไฟฟ้าที่ 5 มิลลิเมตร (ร้อยละ) (R= ระยะเยื้องทางขวาเทียบกับสายส่ง)				
	R=1 ซม.	**R=2 ซม.**	**R=3 ซม.**	**R=4 ซม.**	**R=5 ซม.**
1	22.30	68.48	39.80	49.24	-
2	20.54	60.92	42.16	41.14	-
3	20.78	63.12	46.80	43.76	-
4	19.74	68.74	53.02	52.74	-
5	11.22	63.72	33.56	27.60	-
6	6.38	65.88	36.28	52.78	-
7	19.86	64.06	31.20	43.90	-

หมายเหตุ “ - ” แสดงว่าค่าผิดพลาดที่วัดได้เกินร้อยละ 100 หรือ 5 มิลลิเมตร

4.5 การทดลอง กรณีที่ 4 ขณะตัวรถเยื้องทางซ้ายและทางขวากับสายส่ง และตัวรถเอียงกับสายส่ง ± 15 องศา

ตารางที่ 4.13 รถเยื้องทางซ้ายระยะตั้งแต่ 1-5 เซนติเมตร และตัวรถเอียง +15 องศา

การทดลองครั้งที่	ความผิดพลาดจากสายส่งเทียบกับปลายแขนรับกระแสไฟฟ้าที่ 5 มิลลิเมตร (ร้อยละ) (L= ระยะเยื้องทางซ้ายเทียบกับสายส่ง)				
	L=1 ซม.	**L=2 ซม.**	**L=3 ซม.**	**L=4 ซม.**	**L=5 ซม.**
1	48.44	55.86	-	-	-
2	48.36	58.74	92.54	-	-
3	48.90	55.78	91.42	-	-
4	53.66	56.50	95.54	-	-
5	47.80	61.54	91.88	-	-
6	52.18	56.18	-	-	-
7	36.08	62.62	97.52	-	-

หมายเหตุ " - " แสดงว่าค่าผิดพลาดที่วัดได้เกินร้อยละ 100 หรือ 5 มิลลิเมตร

ตารางที่ 4.14 รถเยื้องทางขวาระยะตั้งแต่ 1-5 เซนติเมตร และตัวรถเอียง +15 องศา

การทดลองครั้งที่	ความผิดพลาดจากสายส่งเทียบกับปลายแขนรับกระแสไฟฟ้าที่ 5 มิลลิเมตร (ร้อยละ) (R= ระยะเยื้องทางขวาเทียบกับสายส่ง)				
	R=1 ซม.	**R=2 ซม.**	**R=3 ซม.**	**R=4 ซม.**	**R=5 ซม.**
1	35.38	13.98	-	-	-
2	35.64	21.12	-	-	-
3	35.98	21.88	-	-	-
4	35.84	20.60	-	-	-
5	34.06	19.70	-	-	-
6	34.46	19.86	-	-	-
7	33.58	22.38	-	-	-

หมายเหตุ " - " แสดงว่าค่าผิดพลาดที่วัดได้เกินร้อยละ 100 หรือ 5 มิลลิเมตร

ตารางที่ 4.15 รถเยื้องทางซ้ายระยะตั้งแต่ 1-5 เซนติเมตร และตัวรถเอียง -15 องศา

การทดลองครั้งที่	**ความผิดพลาดจากสายส่งเทียบกับปลายแขนรับกระแสไฟฟ้าที่ 5 มิลลิเมตร (ร้อยละ) (L= ระยะเยื้องทางซ้ายเทียบกับสายส่ง)**				
	L=1 ซม.	**L=2 ซม.**	**L=3 ซม.**	**L=4 ซม.**	**L=5 ซม.**
1	40.14	27.88	22.10	43.16	-
2	39.22	29.38	6.98	37.26	-
3	42.40	21.60	6.94	31.94	-
4	50.62	35.96	7.48	50.36	-
5	42.86	36.80	10.84	36.94	-
6	35.96	41.14	24.10	41.98	-
7	36.80	42.16	7.02	24.26	-

หมายเหตุ “ - ” แสดงว่าค่าผิดพลาดที่วัดได้เกินร้อยละ 100 หรือ 5 มิลลิเมตร

ตารางที่ 4.16 รถเยื้องทางขวาระยะตั้งแต่ 1-5 เซนติเมตร และตัวรถเอียง -15 องศา

การทดลองครั้งที่	**ความผิดพลาดจากสายส่งเทียบกับปลายแขนรับกระแสไฟฟ้าที่ 5 มิลลิเมตร (ร้อยละ) (R= ระยะเยื้องทางขวาเทียบกับสายส่ง)**				
	R=1 ซม.	**R=2 ซม.**	**R=3 ซม.**	**R=4 ซม.**	**R=5 ซม.**
1	53.14	90.86	65.84	-	-
2	66.82	85.40	62.68	-	-
3	65.04	84.34	65.02	-	-
4	66.90	87.48	61.50	-	-
5	65.56	87.20	71.78	-	-
6	69.72	87.62	68.76	-	-
7	71.78	91.72	62.58	-	-

หมายเหตุ “ - ” แสดงว่าค่าผิดพลาดที่วัดได้เกินร้อยละ 100 หรือ 5 มิลลิเมตร

ตารางที่ 4.3 และ 4.4 แสดงค่าความผิดพลาดจากสายส่งเทียบกับปลายแขนรับกระแสไฟฟ้าที่ระยะ 5 มิลลิเมตร โดยค่า L คือ ระยะเยื้องทางซ้ายของแบบจำลองชุดแขนรับกระแสไฟฟ้าเทียบกับสายส่งกระแสไฟ และค่า R คือ ระยะเยื้องทางขวา ตารางที่ 4.3 แสดงค่าความผิดพลาดที่แบบจำลองตัวรถขนานกับสายส่งที่ระยะเยื้องไปทางซ้ายตั้งแต่ +5 เซนติเมตร จากตารางดังกล่าวพบว่าค่าความผิดพลาดสูงสุดเกิดขึ้นที่ระยะเยื้อง 5 เซนติเมตร เป็นค่าร้อยละ 38.32 หรือเท่ากับ 1.91 มิลลิเมตร เช่นเดียวกัน ตารางที่ 4.4 แสดงค่าความผิดพลาดที่แบบจำลองตัวรถขนานกับสายส่งที่ระยะเยื้องไปทางขวาตั้งแต่ +5 เซนติเมตร จากตารางดังกล่าวพบว่าค่าความผิดพลาดสูงสุดเกิดขึ้นที่ระยะเยื้อง 4 เซนติเมตร เป็นค่าร้อยละ 93.84 หรือเท่ากับ 4.69 มิลลิเมตร

ตารางที่ 4.5 แสดงตัวรถเยื้องทางซ้ายระยะตั้งแต่ 1-5 เซนติเมตร และตัวรถเอียง +5 องศา จากตารางที่ 4.5 พบว่าการทดลองครั้งที่ 1 ที่ระยะเยื้องทางซ้ายเท่ากับ 1 เซนติเมตร มีค่าเท่ากับร้อยละ 15.44 หรือปลายชุดแขนรับกระแสไฟฟ้าห่างจากสายส่งกระแสไฟเท่ากับ 0.772 มิลลิเมตร นอกจากนี้ ตารางที่ 4.6 – 4.16 จะแสดงกรณีที่รถเอียง -5 องศา +10 องศา -10 องศา +15 องศา -15 องศา เป็นกรณีที่เยื้องทางซ้ายและเยื้องทางขวาของสายส่งกระแสไฟ

4.6 สรุปการทดลองและวิจารณ์ผล

จากการทดสอบประสิทธิภาพของระบบสเตริโอวิชั่น ซึ่งอาศัยการจับคู่ของจุดของภาพสองภาพ พบว่ามีความคลาดเคลื่อนสูงสุดที่ร้อยละ 0.65 และจากการทดสอบระบบควบคุมตำแหน่งชุดแขนรับกระแสไฟฟ้าในกรณีที่ 1 พบว่ามีความคลาดเคลื่อนจากค่าเป้าหมายต่ำสุดประมาณร้อยละ 0.06 และสูงสุดประมาณร้อยละ 93.84 สำหรับกรณีที่ 2 ซึ่งเป็นการทดสอบขณะตัวรถเอียงกับสายส่ง ±5 องศา พบว่ามีความคลาดเคลื่อนจากค่าเป้าหมายต่ำสุดประมาณร้อยละ 1.30 และสูงสุดประมาณร้อยละ 92.56 สำหรับกรณีที่ 3 ซึ่งเป็นการทดสอบตัวรถเอียงกับสายส่ง ±10 องศา พบว่ามีความคลาดเคลื่อนจากค่าเป้าหมายต่ำสุดประมาณร้อยละ 2.26 และสูงสุดประมาณร้อยละ 93.84 และสำหรับกรณีที่ 4 การทดสอบตัวรถเอียงกับสายส่ง ±15 องศา พบว่ามีความคลาดเคลื่อนจากค่าเป้าหมายต่ำสุดประมาณร้อยละ 7.02 และสูงสุดประมาณร้อยละ 99.54

จากผลการทดสอบดังกล่าวพบว่าแต่ละกรณีมีค่าความผิดพลาดต่ำสุดและสูงสุดแตกต่างกันค่อนข้างมาก เนื่องจากแหล่งกำเนิดแสงที่คุณภาพต่ำทำให้ค่าที่ได้ไม่มีเสถียรภาพ ประกอบกับกล้องแว็บแคมมีความเร็วชัตเตอร์ต่ำ จึงทำให้เกิดค่าความผิดพลาดค่อนข้างสูง

บทที่ 5
สรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะ

จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่างานวิจัยที่ใช้กล้องเพื่อตรวจจับวัตถุเป้าหมาย สามารถทำงานได้อย่างถูกต้องและมีความแม่นยำ แต่ส่วนใหญ่พบว่าจะเกิดปัญหามาจากปัจจัยหลายๆ อย่างเช่น ความสว่างของแสง เงาที่เกิดจากแสงสะท้อนจากวัตถุ ความละเอียดของภาพจากกล้อง เป็นต้น

5.1 สรุปงานวิจัย

จากการศึกษาวิธีการตรวจสอบตำแหน่งชุดแขนรับกระแสไฟฟ้าด้วยกล้องโดยใช้เทคนิคสเตริโอวิชั่น พบว่าเกิดจากปัญหาค่าความสว่างมีค่าน้อย ดังนั้นทางผู้วิจัยได้นำกระบวนการประมวลผลภาพ (Image Processing) มาใช้แก้ไขปัญหาดังกล่าว เพื่อนำภาพมาใช้ตรวจสอบตำแหน่งสายส่งได้ต่อไป

งานวิจัยนี้ได้ออกแบบแบบจำลองระบบควบคุมตำแหน่งการเคลื่อนที่ของชุดแขนรับกระแสไฟฟ้า โดยในการตรวจจับตำแหน่งของชุดแขนรับนั้นจะอาศัยภาพถ่ายจากกล้องเว็บแคมจำนวน 3 ตัวโดยกล้องแต่ละตัวมีอัตราเฟรมสูงสุด 25 เฟรมต่อวินาที การระบุตำแหน่งชุดแขนรับจะอาศัยมุมที่กระทำทั้งในระนาบที่ขนานและตั้งฉากกับพื้นดิน วิธีสเตริโอวิชั่นถูกนำมาใช้ในการเก็บข้อมูลตำแหน่งความสูงของปลายแขนรับกระแสไฟฟ้าโดยอาศัยเทคนิคสามเหลี่ยมคล้าย ภาพถ่ายที่ได้จะถูกปรับแต่งด้วยฟังก์ชัน Vision Assistants ในโปรแกรม LabVIEW ก่อน เพื่อให้สามารถคัดแยกวัตถุเป้าหมายได้ ข้อมูลที่ได้จากภาพถ่ายจะถูกส่งไปยังกล่องควบคุม DAQ-USB6008 ด้วยฟังก์ชัน DAQ Assistants เพื่อใช้ควบคุมการเคลื่อนที่ของชุดแขนรับ โดยจะอาศัยสเต็ปมอเตอร์เป็นต้นกำลังในการขับเคลื่อนทั้ง 2 แกนตามมุมที่คำนวณได้จากโปรแกรม

จากการทดสอบประสิทธิภาพของระบบสเตริโอวิชั่นซึ่งอาศัยการจับคู่ของจุดของภาพสองภาพพบว่ามีความคลาดเคลื่อนร้อยละ 0.65 และจากการทดสอบระบบควบคุมตำแหน่งชุดแขนรับกระแสไฟฟ้าพบว่ามีความคลาดเคลื่อนจากค่าเป้าหมายสูงสุด 4.97 มิลลิเมตร

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ใช้แหล่งกำเนิดแสงที่มีคุณภาพสูง หรือ แสงธรรมชาติในเวลากลางวัน เพื่อเพิ่มความคมชัดให้กับภาพ

5.2.2 ใช้กล้องรับภาพที่มีความละเอียดสูง เช่น กล้องอุตสาหกรรม เพื่อความแม่นยำในการประมวลผลภาพ

5.2.3 ติดตั้งอุปกรณ์ตรวจรู้ไว้ที่ปลายแขนรับกระแสไฟฟ้า เพื่อตรวจจับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากสายส่ง เช่น Hall Effect Sensor ช่วยให้แขนรับกระแสไฟฟ้าเข้าไปแตะสายส่งกระแสไฟฟ้าได้แม่นยำยิ่งขึ้น

รายการอ้างอิง

[1] British Trolleybus, **Trolleybus history - current collector design** (Online), 2004. Available: http://www.trolleybus.co.uk/history1.htm (21 July 2012).

[2] เทอดเกียรติ ลิมปิทีปราการ และ ประสาน ปรุงเจริญ, "การออกแบบชุดแขนรับไฟสำหรับรถไฟฟ้าที่รับกระแสไฟด้วยสายส่งจากด้านบน," **การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 25**, กระบี่ ประเทศไทย, 19 -21 ตุลาคม 2554.

[3] นิติพงศ์ พรหมรักษ์, **เครื่องต้นแบบการตรวจสอบความเสียหายของสกรูที่ใช้ระบบการมองด้วยคอมพิวเตอร์**, วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, 2552.

[4] สุทธิศักดิ์ สุขัมศรี, **การควบคุมตัวชี้บนระบบปฏิบัติการวินโดวส์โดยใช้ระบบภาพสเตริโอตรวจจับจุดเปล่งแสงบนระนาบสามมิติ**, บัณฑิตวิทยาลัย สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2552.

[5] Wikipedia, **Focal length of an optical system** (Online), 2004. Available: http://en.wikipedia.org/wiki/Focal_length.htm (21 September 2012).

[6] Point Grey Research Inc, **Stereo Camera Bumblebee2** (Online), 2011. Available: http://www.ptgrey.com, (17 July 2012).

[7] ความรู้พื้นฐานทางด้านแสงสว่าง, **ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิสีและความส่องสว่าง** (Online), 2553. Available: http://www.tieathai.org/know/general/general0.htm (17 June 2012)

[8] National Instruments, **Robotics Fundamentals - Stereo Vision** (Online), 2008. Available: http://zone.ni.com/devzone/cda/tut/p/id/8176 (21 August 2012).

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

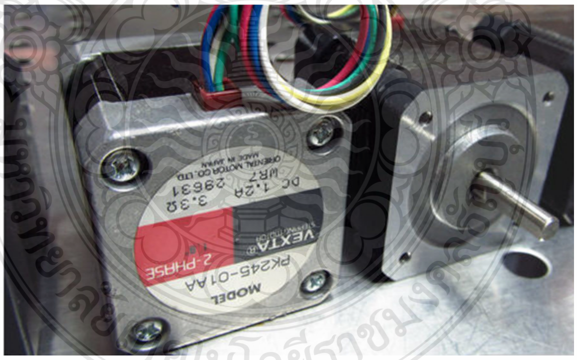
อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองในงานวิจัย

อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการออกแบบ

1) สเต็ปมอเตอร์ ยี่ห้อVEXTA รุ่น PK244-01A ใช้แรงดันไฟฟ้าดีซี 4.8 โวลต์ 1.2 แอมแปร์ 1.8 องศา/Step, 2-Phase จำนวน 1 ตัว (ใช้ในการเคลื่อนที่แขนรับกระแสไฟฟ้าในแกน Z_0)

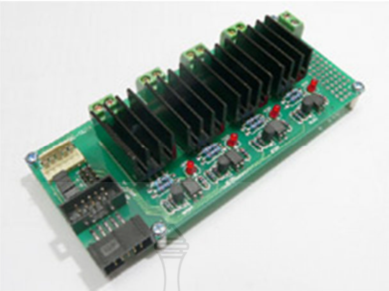
ภาพที่ ก.1 สเต็ปมอเตอร์ ยี่ห้อVEXTA รุ่น PK244-01A

2) สเต็ปมอเตอร์ ยี่ห้อVEXTA รุ่น PK245-01A ใช้แรงดันไฟฟ้าดีซี 4.8 โวลต์ 1.2 แอมแปร์ 1.8องศา/Step, 2-Phase จำนวน 1 ตัว (ใช้ในการเคลื่อนที่แขนรับกระแสไฟฟ้าในแกน Z_1)



ภาพที่ ก.2 สเต็ปมอเตอร์ ยี่ห้อVEXTA รุ่น PK245-01A

3) บอร์ดขับสเต็ปมอเตอร์ จำนวน 2 ชุด



ภาพที่ ก.3 บอร์ดขับสเต็ปมอเตอร์ ET-OPTO-DCOUT4

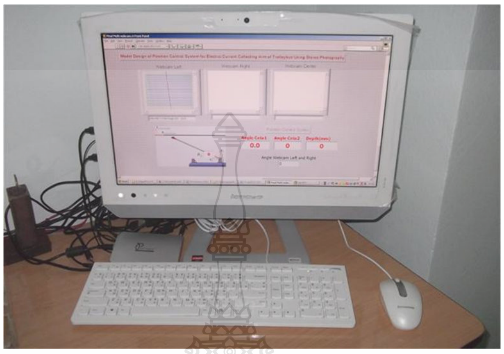
4) NI-DAQ Card USB-6008 จำนวน 1 ตัว

ภาพที่ ก.4 NI-DAQ Card USB-6008

5) กล้องดิจิตอล Webcam ยี่ห้อ EXOO ความละเอียด 640x480 pixels ความเร็วการรับภาพสูงสุด 30 เฟรมต่อวินาที จำนวน 3 ตัว

ภาพที่ ก.5 กล้องดิจิตอล Webcam ยี่ห้อ EXOO

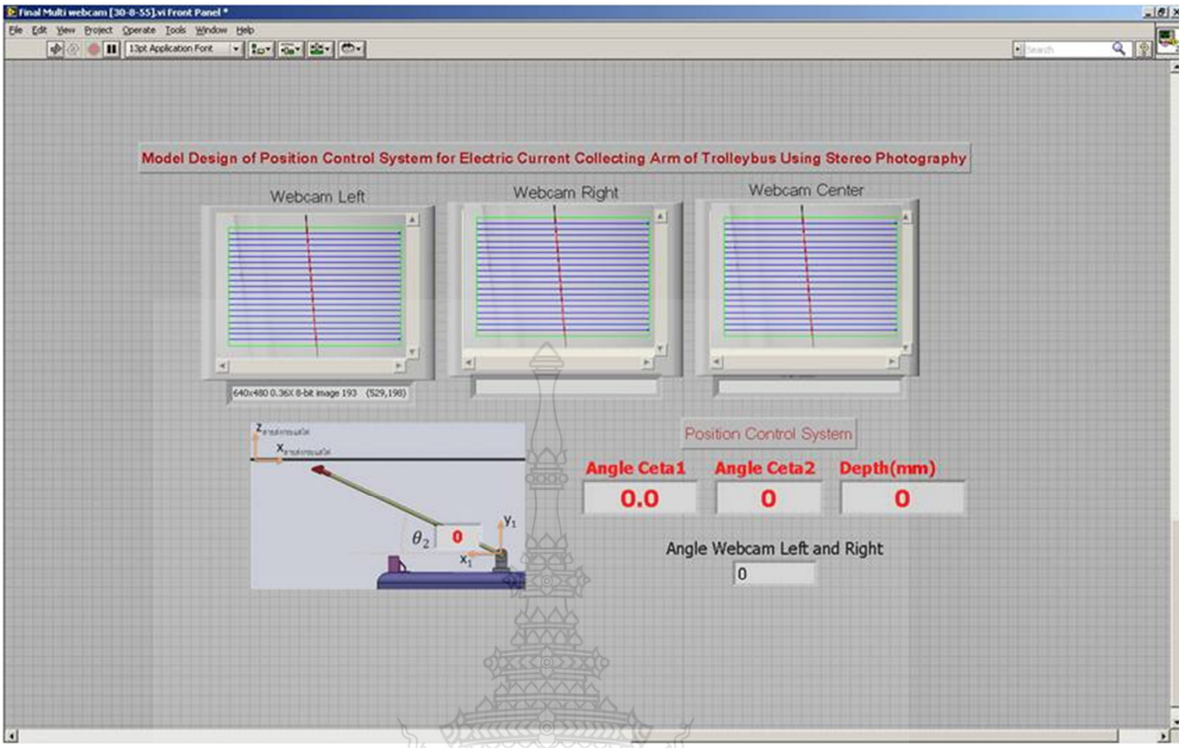
6) คอมพิวเตอร์ใช้ในการประมวลผลและเชื่อมต่ออุปกรณ์ บนระบบปฏิบัติการ Windows XP ที่มี CPU AMD-450C หน่วยความจำ Ram มากกว่า 2048 MB พร้อมกับโปรแกรม LabVIEW จำนวน 1 เครื่อง



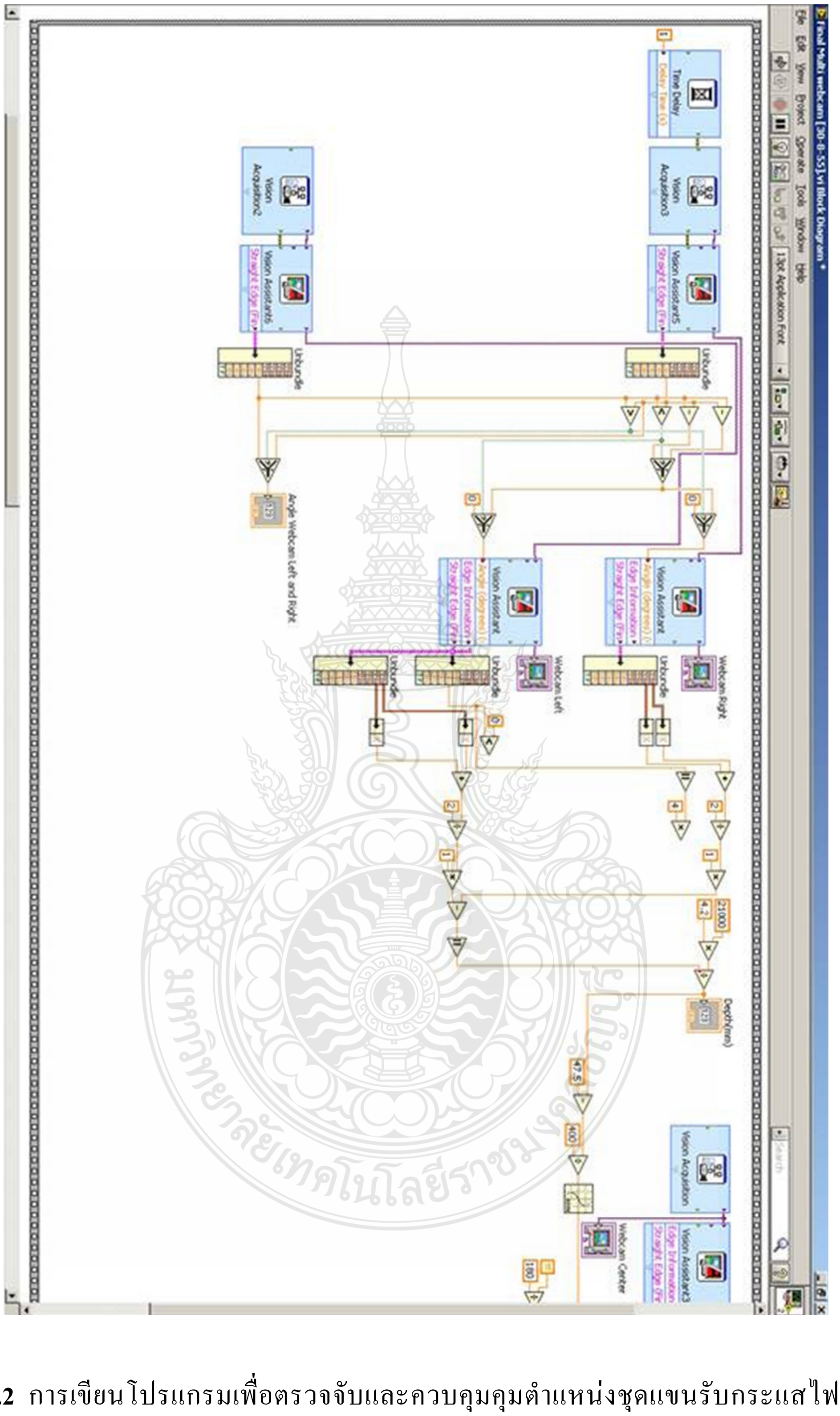
ภาพที่ ก.6 คอมพิวเตอร์ All in one AMD-450C

ภาคผนวก ข

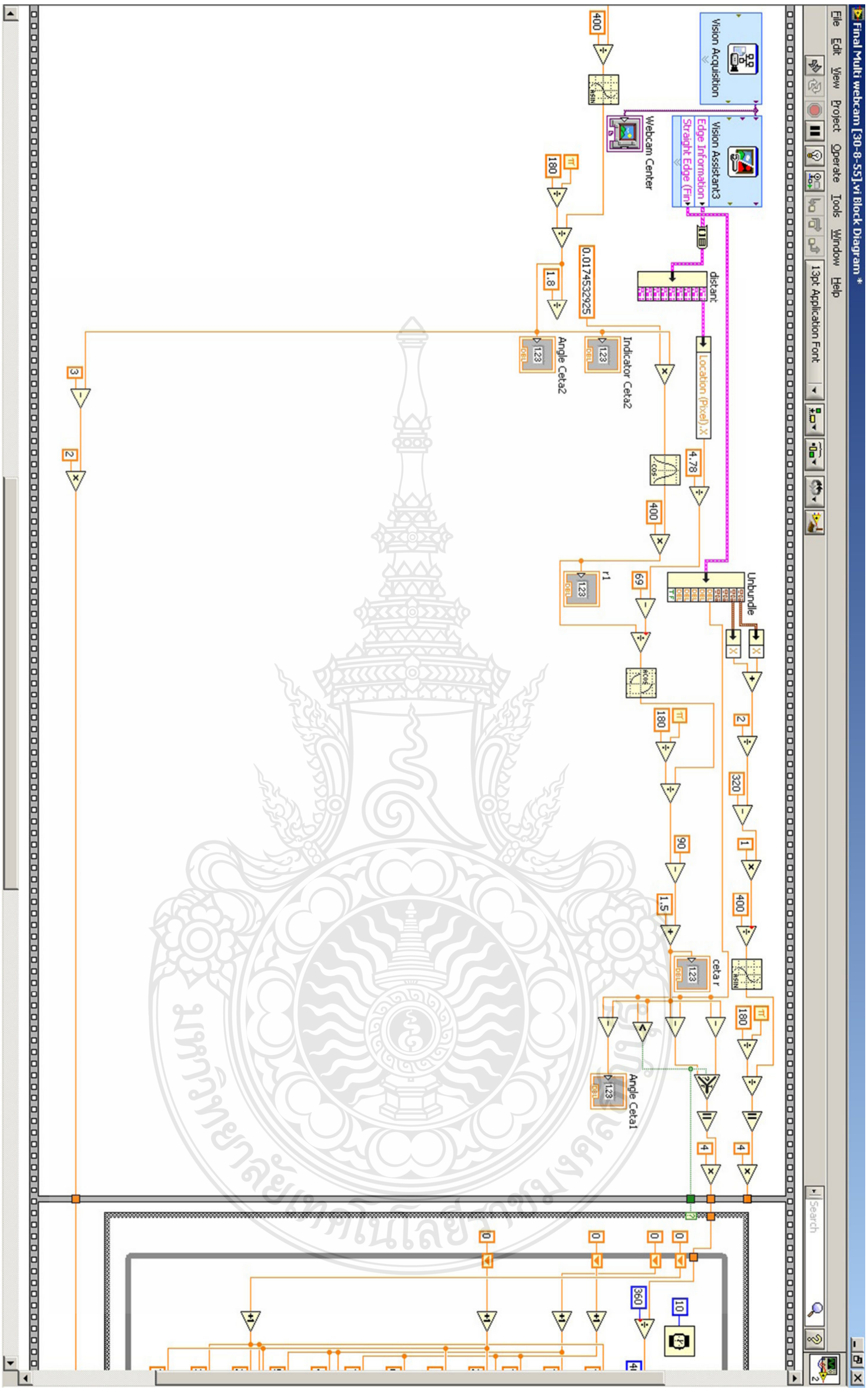
โปรแกรมที่ใช้ในการทดสอบ



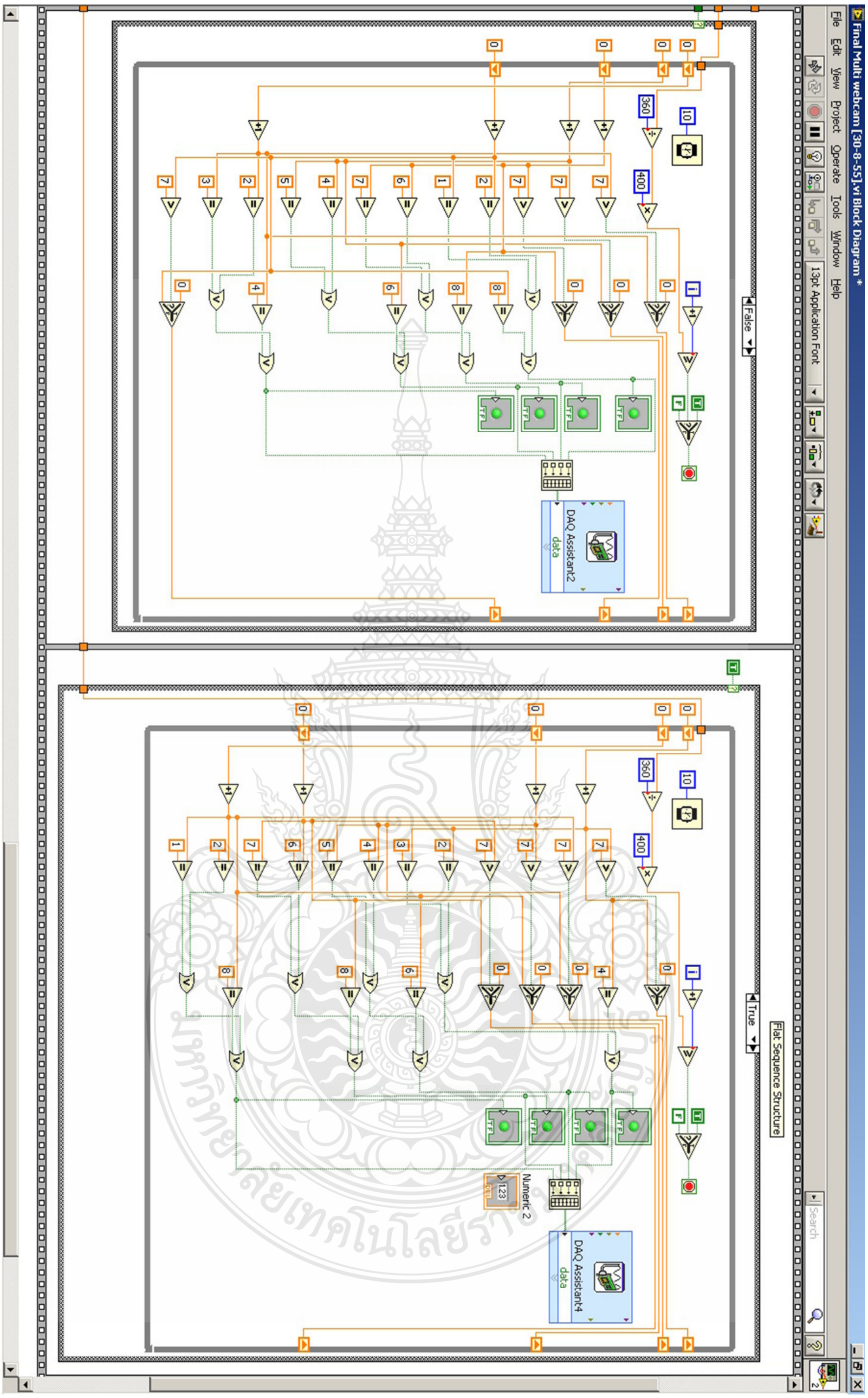
ภาพที่ ข.1 การเขียนโปรแกรมเพื่อตรวจจับและควบคุมคุมตำแหน่งชุดแขนรับกระแสไฟฟ้า โดยแสดงหน้าต่าง Front Panel ของโปรแกรม LabVIEW



ภาพที่ ข.2 การเขียนโปรแกรมเพื่อตรวจจับและควบคุมคุมตำแหน่งชุดแขนรับกระแสไฟฟ้า โดยแสดงหน้าต่าง Block Diagram ของโปรแกรม LabVIEW



ภาพที่ ข.2 การเขียนโปรแกรมเพื่อตรวจจับและควบคุมคุมตำแหน่งชุดแขนรับกระแสไฟฟ้า โดยแสดงหน้าต่าง Block Diagram ของโปรแกรม LabVIEW (ต่อ)



ภาพที่ ข.2 การเขียนโปรแกรมเพื่อตรวจจับและควบคุมคุมตำแหน่งชุดแขนรับกระแสไฟฟ้า โดยแสดงหน้าต่าง Block Diagram ของโปรแกรม LabVIEW (ต่อ)

ภาคผนวก ค

ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่

Program Brochure of RSU
Research Conference 2012
เอกสารประกอบการประชุมวิชาการ
มหาวิทยาลัยรังสิต
10 เมษายน 2555
แพทยศาสตร์ วิทยาศาสตร์กายภาพ
และวิทยาศาสตร์สุขภาพ
วิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี
สถาปัตยกรรมศาสตร์และการออกแบบ
มนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์
วิจัยพัฒนาการเรียนการสอน

RSUCON - 2012

งานประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยรังสิต (วันอังคาร ที่ 10 เมษายน 2555)

Tel: 02-791-5686-92 | Mail: rsucon@gmail

Search Our Website... SEARCH

หน้าหลัก รายละเอียดการจัดงานประชุมวิชาการฯ กลุ่มสาขาเปิดรับ รูปแบบและการจัดเตรียมบทความ

คณะกรรมการ

DOWNLOAD PDF

1. ดร.อาทิตย์ อุไรรัตน์ ที่ปรึกษา
2. ศ.ดร.พรชัย มาตังคสมบัติ ที่ปรึกษา
3. ดร.วิชัย ตันศิริ ที่ปรึกษา
4. รองอธิการบดีฝ่ายยุทธศาสตร์องค์กร ที่ปรึกษา
5. รองอธิการบดีฝ่ายบริหาร ที่ปรึกษา
6. รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ ประธานกรรมการ
7. รศ.ดร.ณรงค์ อยู่ถนอม ผู้ทรงคุณวุฒิ (รองอธิการบดี มหาวิทยาลัยศรีปทุม)เครือข่ายวิจัยประชาชื่น
8. รศ.ดร.ชาติชาย พณานานนท์ ผู้ทรงคุณวุฒิ (ผู้อำนวยการศูนย์วิจัย วิทยาลัยราชพฤกษ์)เครือข่ายวิจัยประชาชื่น
9. ผศ.ดร.ประยูร โคสงวน ผู้ทรงคุณวุฒิ (รักษาการรองคณบดีฝ่ายวิชาการ คณะบริหารธุรกิจ สถาบันการจัดการปัญญาภิวัฒน์)เครือข่ายวิจัยประชาชื่น
10. รศ.ดร.เสรี ศุภราทิตย์ ผู้ทรงคุณวุฒิ (ผู้จัดการใหญ่ อุทยานสิ่งแวดล้อมนานาชาติสิรินธร และ ผู้อำนวยการศูนย์วิจัยภัยธรรมชาติ มหาวิทยาลัยรังสิต)อุทยานสิ่งแวดล้อมนานาชาติสิรินธร
11. นายชนพ แจ้งใจ ผู้ทรงคุณวุฒิ (เจ้าหน้าที่วิจัยและพัฒนา)อุทยานสิ่งแวดล้อมนานาชาติสิรินธร
12. นายปัฐวี สุขสวัสดิ์ ผู้ทรงคุณวุฒิ (รองผู้จัดการฝ่ายฝึกอบรมและเผยแพร่)อุทยานสิ่งแวดล้อมนานาชาติสิรินธร
13. นางสาวอารี นุชประเสริฐ ผู้ทรงคุณวุฒิ (เจ้าหน้าที่ข้อมูล)
14. ผู้ช่วยอธิการบดีฝ่ายวิชาการ ผู้ทรงคุณวุฒิ
15. รศ.ดร.สังคิต พิริยะรังสรรค์ ผู้ทรงคุณวุฒิ
16. ศ.ดร.เอนก เหล่าธรรมทัศน์ ผู้ทรงคุณวุฒิ
17. ศ.(พิเศษ) ดร.กฤษณา ไกรสินธุ์ ผู้ทรงคุณวุฒิ
18. รศ.ดร.วิมล ชอบชื่นชม กรรมการฝ่ายปฏิคมและลงทะเบียน
19. ดร.มลิวัลย์ ประดิษฐ์ธีระ กรรมการฝ่ายพิธีการ
20. รศ.ดร.ธรรมศักดิ์ รุจิระยรรยง กรรมการฝ่ายอาคารสถานที่
21. ผศ.สมเกียรติ รุ่งเรืองวิริยะ กรรมการฝ่ายประชาสัมพันธ์
22. นายวัฒนา วันเพ็ญ กรรมการฝ่ายสิทธิประโยชน์
23. อาจารย์กิตติศักดิ์ ไตรทิพัฒกรชัย กรรมการฝ่ายเกียรติบัตรและรางวัล
24. อาจารย์นันทนา กุญชร ณ อยุธยา กรรมการฝ่ายจัดเลี้ยง
25. ผศ.อารีรัตน์ แย้มเกษร กรรมการฝ่ายโสตทัศนูปกรณ์
26. อาจารย์ทศพร ทศแสนสิน กรรมการฝ่ายเทคโนโลยีสารสนเทศ
27. นายอานนท์ อนันต์นรานนท์ กรรมการฝ่ายจราจรและรักษาความปลอดภัย
28. ผศ.ดร.พงษ์จันทร์ อยู่แพทย์ กรรมการฝ่ายวิชาการ ประสานงาน และเลขานุการ
29. อาจารย์ผการัตน์ จำปาน้อย กรรมการฝ่ายเหรัญญิกและผู้ช่วยเลขานุการ
30. นางสาวสรณ์ศิริ หาเรือนชีพ กรรมการและผู้ช่วยเลขานุการ

คณะกรรมการจัดทำ Proceeding of RSU Research Conference 2012

1. ดร.อาทิตย์ อุไรรัตน์ ที่ปรึกษา
2. ศ.ดร.พรชัย มาตังคสมบัติ ที่ปรึกษา
3. ศ.ดร.ธีระ สูตะบุตร ที่ปรึกษา
4. ผศ.ดร.สืบแสง พรหมบุญ ที่ปรึกษา
5. ผศ.ดร.[illegible] ที่ปรึกษา
6. ผศ.ดร.พงษ์จันทร์ อยู่แพทย์ บรรณาธิการ
7. รศ.ดร.ณรงค์ อยู่ถนอม กองบรรณาธิการ (เครือข่ายวิจัยประชาชื่น)
8. รศ.ดร.ชาติชาย พณานานนท์ กองบรรณาธิการ (เครือข่ายวิจัยประชาชื่น)
9. ผศ.ดร.ประยูร โคสงวน กองบรรณาธิการ (เครือข่ายวิจัยประชาชื่น)
10. รศ.ดร.เสรี ศุภราทิตย์ กองบรรณาธิการ (ผู้จัดการใหญ่ อุทยานสิ่งแวดล้อมนานาชาติสิรินธร และ ผู้อำนวยการศูนย์วิจัยภัยธรรมชาติ มหาวิทยาลัยรังสิต)อุทยานสิ่งแวดล้อมนานาชาติสิรินธร
11. นายชนพ แจ้งใจ กองบรรณาธิการ (เจ้าหน้าที่วิจัยและพัฒนา) อุทยานสิ่งแวดล้อมนานาชาติสิรินธร
12. นายปัฐวี สุขสวัสดิ์ กองบรรณาธิการ (รองผู้จัดการฝ่ายฝึกอบรมและเผยแพร่) อุทยานสิ่งแวดล้อมนานาชาติสิรินธร
13. นางสาวอารี นุชประเสริฐ กองบรรณาธิการ (เจ้าหน้าที่ข้อมูล) อุทยานสิ่งแวดล้อมนานาชาติสิรินธร
14. ดร.มลิวัลย์ ประดิษฐ์ธีระ กองบรรณาธิการ
15. ผศ.ดร.อำภาพร นามวงศ์พรหม กองบรรณาธิการ
16. ผศ.ดร.ปถมาพร สุกปลั่ง กองบรรณาธิการ
17. รศ.ดร.เพียรกิจ แดงประเสริฐ กองบรรณาธิการ
18. ผศ.ดร.วราพร ลักษณลม้าย กองบรรณาธิการ
19. ผศ.ดร.ธรรมศักดิ์ รุจิระยรรยง กองบรรณาธิการ
20. ผศ.นันทนิตย์ คงวัน กองบรรณาธิการ
21. รศ.ดร.ชม กิ้มปาน กองบรรณาธิการ
22. รศ.พิศประไพ สาระศาลิน กองบรรณาธิการ
23. ผศ.ธรรมศักดิ์ เอื้อรักสกุล กองบรรณาธิการ
24. รศ.ดร.กฤษณ์ ทองเลิศ กองบรรณาธิการ
25. ผศ.ดร.รุจาภา แพ่งเกษร กองบรรณาธิการ
26. ผศ.อารีรัตน์ แย้มเกษร กองบรรณาธิการ
27. ผศ.ศิริวรรณ วาสุกรี กองบรรณาธิการ
28. รศ.ดร.กาญจนา จันทร์ประเสริฐ กองบรรณาธิการ
29. รศ.ดร.วิมล ชอบชื่นชม กองบรรณาธิการ
30. รศ.ดร.ดวงพร สุวรรณกุล กองบรรณาธิการ

35. [illegible]
36. อาจารย์สุเทพ โลหะจรูญ ผู้จัดทำ
37. อาจารย์เอกชัย สมบูรณ์ ผู้จัดทำ
38. อาจารย์ชุลีรัตน์ เจริญพร ผู้จัดทำ
39. นายสมัย สุขรัง ผู้จัดทำ
40. นางจิตารักษ์ ละออ ผู้จัดทำ
41. นางกชพร ตันสินธุ์ ผู้จัดทำ
42. นางสมบุญ นาคพรม ผู้จัดทำ
43. นางอรวรรณ คล้ายคลึง ผู้จัดทำ
44. นางสาวเกษสุดา ไชยวงศ์ ผู้จัดทำ
45. นางสาวศศิฑัฏฐ์ คิดจรูญ ผู้จัดทำ
46. นางสาวฉัตรลดา พุทธรักษา ผู้จัดทำ
47. นางสาวอลิสา ยวงนุ่น ผู้จัดทำ
48. นางสาวมีนมาส พรานป่า ผู้จัดทำและเลขานุการ

Copyright © 2011 - All Rights Reserved - RSUCON-2012 Design by iMoo Design

	Session I
	ห้อง 15-304 (11.30-12.15 น.) : กลุ่มวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี
Chair	***ผศ.ร.ต.หญิงวรรณี ศุขศาสตร คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย***
G2-11	การเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำเสียของโรงงานผลิตสีทาบ้านด้วยการเติมผงถ่านกัมมันต์ลงในระบบเติมอากาศแบบตรึงฟิล์ม **Improvement of Removal Efficiency of Organic Matters in Wastewater from Paint Industry by Adding Powdered Activated Carbon in Fixed Film Aeration Process** ครรชิต ชุติไพศาล อุษณีย์ อุยะเสถียร และวินัย นุตมากุล
G2-12	การชดเชยผลของเดทไทม์ในซิงโครนัสมอเตอร์แม่เหล็กถาวรโดยใช้ตัวประมาณค่าสัญญาณรบกวนแบบเวกเตอร์ **Dead-Time Compensation for Permanent-Magnet Synchronous Motor Drives Using a Vectorial Disturbance Estimator** บุรินทร์ พูลสงวน และสุขสันติ์ นุ่นงาม
G2-13	การกำจัดเงินในน้ำยาล้างฟิล์มเอ็กซ์เรย์ด้วยกระบวนการอิเล็กโทรไลติก **The Silver Removal from X-ray Waste by Electrolytic** พนิดา สามพรานไพบูลย์ สุภาภรณ์ ล่องลอย และกันติศา นิยม

	Session II
	ห้อง 15-304 (13.30-14.00 น.) : กลุ่มวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี
Chair	***ดร. ธรรมนูญ สุสำเภา รองคณบดีฝ่ายวิจัยและพัฒนา***
G2-14	การออกแบบตัวควบคุมสำหรับหุ่นยนต์รถสองล้อ **Controller Design for Two Wheeled Mobile Robot** ปริญญา ผ่องสุภา และมนูศักดิ์ จานทอง
G2-15	การออกแบบจำลองระบบควบคุมตำแหน่งชุดแขนรับกระแสไฟฟ้าของรถโทลี่บัสโดยใช้ภาพถ่ายสเตริโอ **Model Design of Position Control System for Electric Current Collecting Arm of Trolleybus Using Stereo Photography** ประสาน ปรุงเจริญ และเทอดเกียรติ ลิมปิทีปราการ

การออกแบบจำลองระบบควบคุมตำแหน่งชุดแขนรับกระแสไฟฟ้าของรถโทลี่บัสโดยใช้ภาพถ่ายสเตริโอ

Design model of Position Control System for Electric Current Collecting Arm of Trolleybus Using Stereo Photography

ประสาน ปรุงเจริญ, เทอดเกียรติ ลิมปิทีปราการ

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

บทคัดย่อ

บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอการออกแบบจำลองระบบควบคุมตำแหน่งชุดแขนรับกระแสไฟฟ้าด้วยสายส่งจากด้านบนของรถโทลี่บัส การควบคุมจะอาศัยภาพถ่ายจากกล้องเว็บแคมในการระบุตำแหน่งชุดแขนรับทั้งในระนาบที่ขนานและตั้งฉากกับพื้นดิน การควบคุมจะอาศัยเทคโนโลยีการประมวลผลด้วยภาพในการปรับแต่งและคัดแยกวัตถุเป้าหมาย ข้อมูลที่ได้จะใช้ในการหาค่ามุมในระนาบระหว่างชุดแขนรับกระแสไฟฟ้ากับสายส่งด้วยเทคนิค Machine Vision นอกจากนี้ข้อมูลที่ได้ยังใช้ในการระบุตำแหน่งความสูงของปลายแขนรับกระแสไฟฟ้าด้วยเทคนิค Stereo Vision การขับเคลื่อนชุดแขนรับกระแสไฟฟ้าจะอาศัยสเต็ปมอเตอร์ การทดสอบประสิทธิภาพของระบบสเตริโอวิชั่นจะอาศัยการจับคู่ของจุดของภาพสองภาพด้วยเทคนิคสามเหลี่ยมคล้ายและจากการสอบเทียบพบว่ามีความคลาดเคลื่อน 0.65 เปอร์เซ็นต์ จากการทดลองพบว่าความสูงของชุดแขนรับกระแสไฟฟ้ามีความคลาดเคลื่อนจากค่าเป้าหมายประมาณ 1.3 เปอร์เซ็นต์

คำสำคัญ: *ชุดแขนรับกระแสไฟฟ้า, รถโทลี่บัส, Machine Vision, Stereo Vision*

Abstract

This article aims to present the design model of position control system for electric current collecting arms with overhead wire of Trolleybus. The control system uses web cam's photos to identify the collecting arm positions both in horizontal and vertical plans. The positions of the collecting arms are identified by using image processing technology in order to refine and isolate the target objects. These data are used to determine an angle in the horizontal plane between the collecting arms and the overhead wire by using Machine Vision technique. Moreover, these data are used to determine the height of the collecting arms by using Stereo Vision technique. Stepping motors are used to move the collecting arms. A performance test of the stereo vision system is based on a pair of points of two images with a similar

triangle technique, and the calibration has been found to deviate 0.65 percent. The experimental results show that the height of the collecting arms was found to deviate from the target about 1.3 percent.

Keywords: *electric current collecting arms, trolley bus, machine vision, stereo vision.*

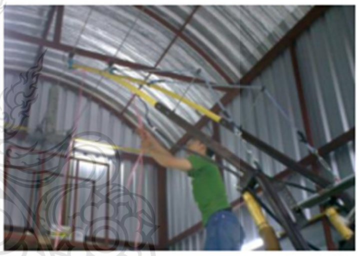
---

1. บทนำ

ปัจจุบันรถโดยสารในระบบขนส่งมวลชนจะใช้น้ำมันเชื้อเพลิงหรือก๊าซ NGV เป็นหลักซึ่งจะต้องนำเข้าจากต่างประเทศ ดังนั้นการหันมาพิจารณาการใช้รถโดยสารที่ใช้พลังงานไฟฟ้าจึงถือเป็นทางเลือกที่น่าสนใจ ในต่างประเทศได้มีการใช้รถโดยสารที่ใช้พลังงานไฟฟ้าด้วยสายส่งจากด้านบนในการขับเคลื่อนตัวรถด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า ซึ่งมีชื่อเรียกว่า โทลี่บัส (Trolley Bus) ดังแสดงในรูปภาพที่ 1 (British Trolleybus, 2004)

รูปภาพที่ 1 รถโทลี่บัส (Trolley bus)

ถ้าหากต้องการนำรถโทลี่บัสมาใช้ในประเทศไทยเราจำเป็นที่จะต้องนำเข้าเทคโนโลยีทั้งหมด โดยคณะผู้วิจัยจึงได้พัฒนารถไฟฟ้าขนาด 4 ที่นั่งที่รับกระแสไฟฟ้าด้วยสายส่งจากด้านบน โดยใช้คนชักโยงแขนรับไฟไปแตะที่สายส่ง ซึ่งมีลักษณะการใช้งานแบบเดียวกันกับรถโทลี่บัส (เทอดเกียรติ และ ประสาน, 2554) ซึ่งเป็นการควบคุมที่ไม่มีประสิทธิภาพและอาจจะเกิดอันตรายได้ในสภาพอากาศที่มีความชื้นหรือฝนตก โดยผู้วิจัยได้คำนึงถึงปัญหาในจุดนี้ ดังนั้นจึงได้ออกแบบระบบควบคุมชุดแขนรับกระแสไฟฟ้าสำหรับรถไฟฟ้าที่รับกระแสไฟฟ้าด้วยสายส่งจากด้านบนโดยใช้ภาพถ่ายสเตริโอขึ้นมา เพื่อหลีกเลี่ยงการใช้คนชักโยงแขนรับกระแสไฟฟ้าไม่ให้เกิดอันตรายดังที่กล่าวในข้างต้น



รูปภาพที่ 2 แสดงการใช้คนชักโยงแขนรับกระแสไฟฟ้าด้วยสายส่งของรถโทลี่บัส

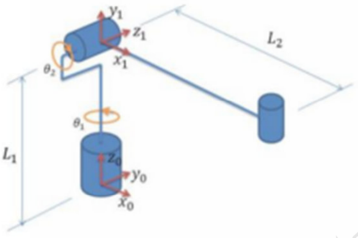
จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่าการวางกล้องแบบขนานกันและใช้วิธีจับคู่จุดด้วยเทคนิคสามเหลี่ยมคล้าย (Triangular) ของทั้งสองภาพ จะได้ความแม่นยำยิ่งขึ้น จากการปรับระยะห่างการวางกล้องทั้งสองตัว(อานนท์ ยันตรศรี, 2551)

2. วัตถุประสงค์

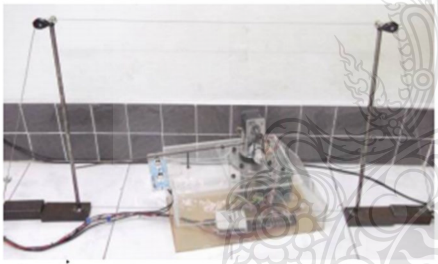
1. เพื่อออกแบบจำลองระบบควบคุมชุดแขนรับกระแสไฟฟ้าสำหรับรถไฟฟ้าที่รับกระแสไฟฟ้าด้วยสายส่งจากด้านบน โดยใช้ภาพถ่ายสเตริโอ.

2. เพื่อสอบเทียบประสิทธิภาพของระบบสเตริโอวิชั่น โดยใช้การจับคู่จุดของภาพสองภาพด้วยเทคนิคสามเหลี่ยมคล้าย (Triangular).

3. อุปกรณ์และวิธีการ



รูปภาพที่ 3 การตั้งแกนของแบบจำลองชุดแขนรับกระแสไฟฟ้า



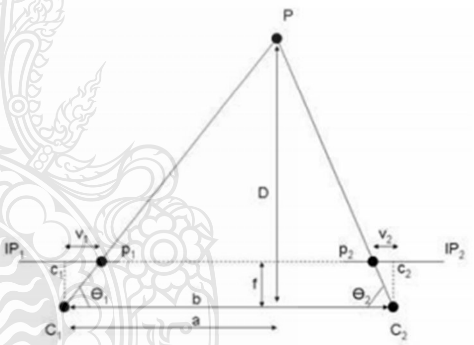
รูปภาพที่ 4 แบบจำลองชุดแขนรับกระแสไฟฟ้า

จากการออกแบบจำลองแขนรับกระแสไฟฟ้าของรถโทลี่บัส กำหนดให้ L_1=50 mm, L_2=350 mm, θ_1 หมุนรอบแกน Z_0, θ_2 หมุนรอบแกน Z_1 แสดงรูปภาพที่ 3 และแบบจำลองชุดแขนรับกระแสไฟฟ้าได้จัดวางกล้องเป็นแบบขนานกัน โดยมีระยะห่างระหว่างกล้อง 50 mm และติดตั้งกล้องไว้ที่ด้านหลังแบบจำลองรถโทลี่บัส ดังแสดงรูปภาพที่ 4 และใช้โปรแกรม LabVIEW ในการประมวลผลภาพและควบคุมการทำงานของแบบจำลองชุดแขนรับกระแสไฟฟ้า และใช้ NI DAQ-6008 ในการควบคุมอุปกรณ์แบบจำลองชุดแขนรับกระแสไฟฟ้า

3.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

3.1.1 การควบคุมแขนรับกระแสไฟฟ้าด้วยระบบสเตริโอวิชั่น (Stereo Vision) และระบบแมชชีนวิชั่น (Machine Vision)

จากภาพถ่ายที่ใช้ในการวิเคราะห์ จะเห็นเฉพาะสายส่งกระแสไฟฟ้า แสดงรูปภาพที่ 7 จึงไม่จำเป็นต้องใช้เทคนิคการจับคู่จุดระหว่างภาพต่างมุมมองสองภาพ (Stereo Matching) ดังนั้นจึงสามารถนำวิธีการจับคู่จุดของภาพสองภาพด้วยเทคนิคสามเหลี่ยมคล้าย (Triangular) มาหาระยะทางจากกล้องถึงวัตถุได้ดังแสดงในรูปภาพที่ 5 (National Instruments, 2008) จากสมการที่ 1



รูปภาพที่ 5 แนวคิดของภาพสเตริโอ ด้วยวิธีสามเหลี่ยมคล้าย (Triangular)

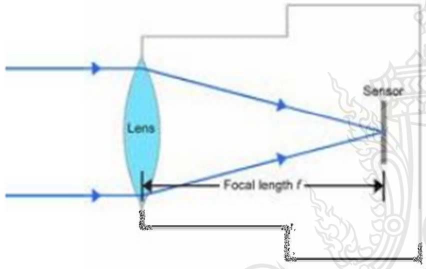
จากแนวคิดของภาพสเตริโอ ด้วยวิธีสามเหลี่ยมคล้ายจะมีตัวแปรดังนี้ f = ความยาวโฟกัสของกล้อง, b = ระยะห่างระหว่างศูนย์กลางของภาพที่อยู่บนระนาบภาพ C_1 และ C_2, C_1=กล้องตัวที่ 1, C_2=กล้องตัวที่ 2, d = ความ

แตกต่างระหว่าง V_1 และ V_2, V_1=ความยาวจาก c_1 ถึง p_1, V_2=ความยาวจาก c_2 ถึง p_2, D = ระยะทางจากกล้องถึงวัตถุ จะถูกคำนวณเป็นสมการที่ 1

$$D = b * f / d \qquad (1)$$

3.1.2 การหาความยาวโฟกัสของกล้อง (Focal length)

ความยาวโฟกัสของกล้อง (Focal length) คือ ความยาวระหว่างเซ็นเซอร์รับภาพกับเลนส์ ดังแสดงในรูปภาพที่ 6 (Wikipedia, 2004) โดยทางผู้วิจัยได้เลือกใช้กล้องเว็บแคม(Webcam) เพราะไม่จำเป็นต้องใช้ความละเอียดของภาพมาก แต่กล้องเว็บแคมไม่มีค่าความยาวโฟกัสของกล้องให้มา จากสมการ 4 เป็นสมการที่ใช้ในการหาความยาวโฟกัสของกล้อง



รูปภาพที่ 6 แสดงความยาวเซ็นเซอร์รับภาพกับเลนส์

f = ความยาวโฟกัส (Focal length), D = ระยะทางจากกล้องถึงวัตถุ, W = ความกว้างที่ต้องการของพื้นที่ที่สามารถมองเห็นได้ในระยะทางที่ไปยังวัตถุ, w = ความกว้างของระนาบถ่ายภาพ (CCD Size)

$$(W / 2) / D = (W / 2) / f \qquad (2)$$

$$f = (w / 2) / ((W / 2) / D) \qquad (3)$$

$$f = w * D / W \qquad (4)$$

3.2 ข้อกำหนดและเงื่อนไขในการออกแบบ

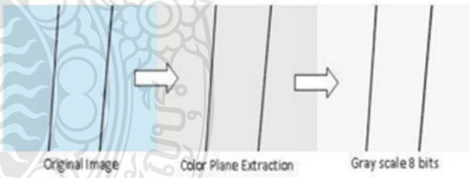
3.2.1 ก่อนที่ระบบควบคุมเริ่มทำงาน แบบจำลองรถไทลี่บัสจะต้องหยุดอยู่กับที่และอยู่ในช่องจราจรของแบบจำลองรถไทลี่บัส

3.2.2 ก่อนที่ระบบควบคุมเริ่มทำงาน แขนรับกระแสไฟฟ้าจะต้องอยู่ที่ตำแหน่ง Home คือตำแหน่งที่แขนรับกระแสไฟฟ้าอยู่ที่ตำแหน่ง ($\theta_1, \theta_2 = 0$)

3.3 การออกแบบระบบควบคุมชุดแขนรับกระแสไฟฟ้า

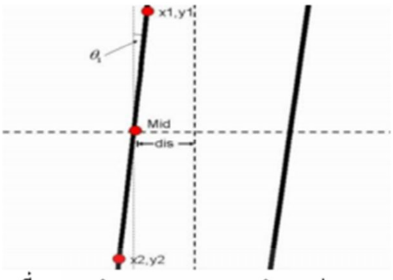
3.3.1 การปรับแต่งและคัดแยกวัตถุออกจากภาพ โดยใช้กระบวนการทางภาพ

เริ่มต้นโดยการแยกวัตถุออกจากภาพพื้นหลัง โดยการเลือกใช้ฟังก์ชัน Color Plane Extraction ซึ่งเป็นการแสดงวัตถุเท่านั้น โดยการกำหนดภาพที่ได้จากการปรับแต่งภาพตามค่าที่กำหนด (Setting value) นี้ จะมีพื้นหลังเป็นสีเทาอ่อนและวัตถุจะมีสีเทาเข้มหลังจากนั้นจึงทำการแปลงภาพนี้จาก Color Image 24 bits เป็นภาพแบบ Gray scale 8 bits ซึ่งภาพที่ได้จะเปลี่ยนสีของวัตถุสีเทาเข้มเป็นสีดำและมีพื้นหลังเป็นสีขาว หลังจากนั้นจึงทำการค้นหาตำแหน่ง สายส่งกระแสไฟฟ้าต่อไป ดังแสดงในรูปภาพที่ 7



รูปภาพที่ 7 การปรับแต่งภาพเพื่อแยกวัตถุออกจากภาพพื้นหลัง

3.3.2 การคำนวณหาค่ามุมจากตำแหน่งของ สายส่งกระแสไฟฟ้ากับแขนรับกระแสไฟฟ้าบนระนาบ X_0, Y_0 ด้วยเทคนิค Machine Vision



รูปภาพที่ 8 การคำนวณหามุมจากตำแหน่งของสายส่งกระแสไฟฟ้า

ใช้ตรีโกณมิติในการหาค่ามุมดังนี้

มุมที่ปลายแขนรับกระแสไฟฟ้าทำมุมระหว่างสายส่งกระแสไฟฟ้ากับแนวดิ่ง

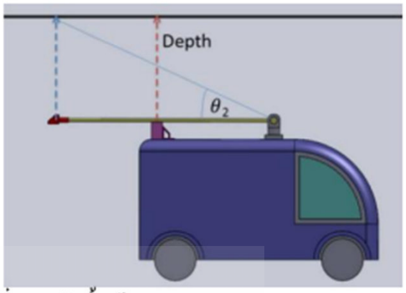
θ_1 = มุมที่ปลายแขนรับกระแสไฟฟ้า

$$= 90° - \tan^{-1}\left(\frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}\right) \text{ เมื่อ } x2>x1+\theta_1$$

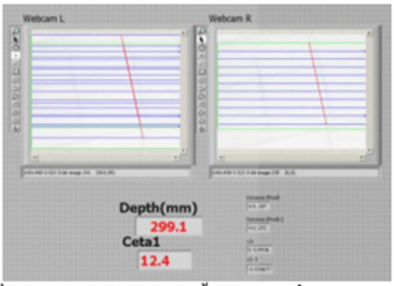
$$= \tan^{-1}\left(\frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}\right) - 90° \text{ เมื่อ } x1>x2-\theta_1$$

3.3.3 การคำนวณหาความสูงระยะปลายแขนรับกระแสไฟฟ้ากับสายส่งกระแสไฟฟ้า ด้วยเทคนิค Stereo Vision

จากการออกแบบ ผู้วิจัยมีแนวคิดที่จะติดตั้งกล้องไว้ที่ปลายแขนรับกระแสไฟฟ้าเพื่อให้ง่ายต่อการคำนวณ โดยกำหนดให้ความสูงจากกล้องถึงสายส่งกระแสไฟฟ้าเท่ากับความสูงจากปลายแขนรับกระแสไฟฟ้าถึงสายส่งกระแสไฟฟ้า ดังรูปภาพที่ 9 เส้นสีแดงแสดงความสูงจากกล้องถึงสายส่งกระแสไฟฟ้าและเส้นสีน้ำเงินแสดงความสูงจาก ปลายแขนรับถึงสายส่งกระแสไฟฟ้าเส้นสีน้ำเงิน



รูปภาพที่ 9 การติดตั้งกล้อง webcam



รูปภาพที่ 10 แสดงการจับภาพของทั้ง 2 กล้อง เพื่อทดลองแบบจำลองระบบควบคุมตำแหน่งชุดแขนรับกระแสไฟฟ้าและแสดงค่าการคำนวณของโปรแกรม

3.4 ขั้นตอนการทดลอง

การออกแบบจำลองระบบควบคุมตำแหน่งชุดแขนรับกระแสไฟฟ้า ได้ทำการทดลองใน 2 ส่วนคือ

- การสอบเทียบระบบสเตริโอวิชั่น
- การทดลองแบบจำลองระบบควบคุมตำแหน่งชุดแขนรับกระแสไฟฟ้า

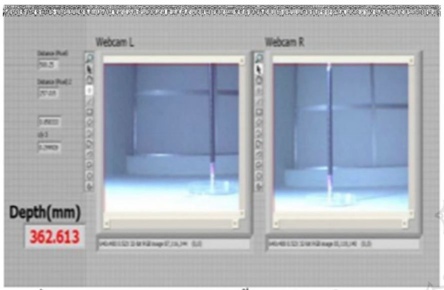
3.4.1 การสอบเทียบของระบบสเตริโอวิชั่น

การสอบเทียบเพื่อหาประสิทธิภาพของระบบสเตริโอวิชั่น โดยขั้นตอนในการทดลองมีดังนี้

- ใช้แท่นดินสอด้ามสีดำเพื่อใช้แทนสายส่งกระแสไฟฟ้า และตั้งไว้ระยะหนึ่ง

- ตั้งกล้องทั้ง 2 ตัวให้มีระยะห่าง 100mm ได้ค่า Focal length เท่ากับ 4.2 (โดยค่า Focal length ได้จากการทดลอง)

- รันโปรแกรมสเตริโอวิชั่นที่ออกแบบขึ้นมา โดยโปรแกรมจะใช้เวลาในการจับภาพและประมวลผลประมาณ 3-4 วินาที

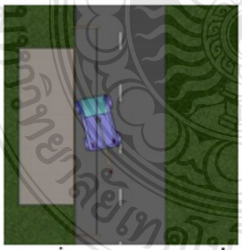


รูปภาพที่ 11 แสดงการจับภาพของทั้ง 2 กล้องเพื่อสอบเทียบของระบบสเตริโอวิชั่น

3.4.2 การทดลองแบบจำลองระบบควบคุมตำแหน่งชุดแขนรับกระแสไฟฟ้า โดยแบ่งออกเป็น 2 กรณี

- กรณีที่ 1 ตัวรถขนานกับสายส่งกระแสไฟฟ้า แสดงในรูปภาพที่ 12

- กรณีที่ 2 ตัวรถทำมุมเอียงไม่เกิน 30 องศากับสายส่งกระแสไฟฟ้า แสดงในรูปภาพที่ 13



รูปภาพที่ 12 การทดลองกรณีที่1 **รูปภาพที่ 13** การทดลองกรณีที่2

4. ผลการวิจัยและข้อวิจารณ์

4.1 ผลการสอบเทียบของระบบสเตริโอวิชั่น

ตารางที่ 1 การสอบเทียบของระบบสเตริโอวิชั่น

ครั้งที่	การคำนวณของโปรแกรม	ค่าที่วัดได้จริง	ค่าความผิดพลาด
1	228 mm	228 mm	0%
2	256 mm	257 mm	0.38%
3	288 mm	289 mm	0.34%
4	334 mm	335 mm	0.29%
5	362 mm	361 mm	0.27%
6	419.5 mm	421 mm	0.35%
7	461 mm	458 mm	0. 65%

4.2 ผลการทดลองแบบจำลองระบบควบคุมตำแหน่งชุดแขนรับกระแสไฟฟ้า โดยใช้ภาพถ่ายสเตริโอ

4.2.1 ผลการทดลองกรณีที่ 1 ตัวรถขนานกับสายส่งกระแสไฟฟ้า

ตารางที่ 2 แสดงผลการทดลองกรณีที่ 1

ครั้งที่	การคำนวณโปรแกรม θ_1	ค่าที่วัดจริง θ_1	การคำนวณโปรแกรม (Depth)	ค่าที่วัดได้จริง (Depth)	ค่าความผิดพลาด %
1	3	3	297 mm	300 mm	1
2	3	3	298.5 mm	300 mm	0. 5
3	3	3	297 mm	300 mm	0.1
4	3	3	298.0 mm	300 mm	0. 6
5	3	3	299.5 mm	300 mm	0.16
6	3	3	300.5 mm	300 mm	0.16
7	3	3	301 mm	300 mm	0.33

4.2.2 ผลการทดลองกรณีที่ 2 ตัวรถทำมุมเอียงไม่เกิน 30 องศากับสายส่งกระแสไฟฟ้า

ตารางที่ 3 แสดงผลการทดลองกรณีที่ 2

ครั้งที่	การคำนวณโปรแกรม θ_1	ค่าที่วัดจริง θ_1	การคำนวณของโปรแกรม (Depth)	ค่าที่วัดได้จริง (Depth)	ค่าความผิดพลาด %
1	12.4	12.5	296 mm	300 mm	1.3
2	12.4	12.5	297 mm	300 mm	1
3	12.4	12.5	299 mm	300 mm	0.3
4	12.4	12.5	297.5 mm	300 mm	0.83
5	12.4	12.5	297.5 mm	300 mm	0.83
6	12.4	12.5	301 mm	300 mm	0.33
7	12.4	12.5	298 mm	300 mm	0.67

4.3 สรุปการทดลองและวิจารณ์ผล

จากการสอบเทียบระบบสเตริโอวิชั่น พบว่าการคำนวณของโปรแกรมเทียบกับค่าที่วัดได้จริงมีความคลาดเคลื่อน 0.65 เปอร์เซ็นต์ และจากการทดลองแบบจำลองระบบควบคุมตำแหน่งชุดแขนรับกระแสไฟฟ้า ด้วยภาพถ่ายสเตริโอทั้งในกรณีที่ 1 และ 2 จากการทดลองพบว่าความสูงของชุดแขนรับกระแสไฟฟ้ามีความคลาดเคลื่อนจากค่าเป้าหมายประมาณ 1.3 เปอร์เซ็นต์ จากผลการทดลองดังกล่าวพบว่ามีความแม่นยำเป็นที่ยอมรับได้ และผู้วิจัยได้ทำการทดลองเพิ่มเติม โดยเพิ่มการทดสอบกรณีที่ 3 โดยตัวรถอยู่นอกช่องจราจรที่มีสายส่งกระแสไฟฟ้า จากผลการทดลองพบว่าเกิดค่าความผิดพลาดในระบบควบคุมและไม่สามารถนำมาใช้งานได้เนื่องจาก กล้องไม่สามารถจับภาพที่เห็นสายส่งกระแสไฟฟ้าได้ชัดเจน ซึ่งทำให้ระบบประมวลผลภาพไม่สามารถคำนวณค่าที่แม่นยำได้

5. บทสรุป

5.1 สรุปงานวิจัย

จากการออกแบบระบบควบคุมชุดแขนรับกระแสไฟฟ้าสำหรับรถไฟฟ้าที่รับกระแสไฟฟ้าด้วยสายส่งจากด้านบนโดยใช้ภาพถ่ายสเตริโอ พบว่าการใช้กล้องมาเป็นอุปกรณ์ควบคุมแขนรับกระแสไฟฟ้าเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพและมีความแม่นยำ แต่การที่จะนำระบบควบคุมชุดแขนรับกระแสไฟฟ้าโดยใช้ภาพถ่ายสเตริโอมาใช้งานได้จริงนั้น จำเป็นที่จะต้องติดตั้งอุปกรณ์ตรวจรู้เพิ่มเติมและพัฒนาประสิทธิภาพของระบบควบคุมตำแหน่งชุดแขนรับกระแสไฟฟ้า

5.2 ข้อเสนอแนะ

ติดตั้งอุปกรณ์ Hall effect ไว้ที่ปลายแขนรับกระแสไฟฟ้า เพื่อตรวจจับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากสายส่งช่วยให้แขนรับกระแสไฟฟ้าเข้าไปแตะสายส่งกระแสไฟฟ้าได้แม่นยำยิ่งขึ้น

6. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ "สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ" ที่ให้การสนับสนุนงบประมาณแก่คณะผู้วิจัยในโครงการวิจัยเรื่อง "การวิจัยและพัฒนาแบบจำลองและต้นแบบรถไฟฟ้าขนาด 4 ที่นั่ง: ต้นแบบตัวรถและระบบจ่ายกระแสไฟฟ้าด้วยสายส่งจากด้านบน" นอกจากนี้ยังขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

7. เอกสารอ้างอิง

British Trolleybus, 2004. "*Trolleybus history - current collector design*" (Online). http://www.trolleybus.co.uk/history1.htm, 21 Sep, 2011.

เทอดเกียรติ ลิมปีทีปราการ และ ประสาน ปรุงเจริญ. (2554). *การออกแบบชุดแขนรับไฟสำหรับรถไฟฟ้าที่รับกระแสไฟด้วยสายส่งจากด้านบน.*

การประชุมวิชาการเครือข่าย
วิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 25
กระบี่ ประเทศไทย 19 -21 ตุลาคม 2554.

อานนท์ ยันตรศรี. (2551).”โปรแกรมหาพิกัดสามมิติจากแบบจำลองเพื่อการทดลองวิทยาศาสตร์จากกล้องสองกล้องภาคสอง”. โครงการแข่งขันพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์แห่งประเทศไทยครั้งที่ 11. กรุงเทพ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

National Instruments, 2008. *“Robotics Fundamentals Series - Stereo Vision”* (Online). http://zone.ni.com/devzone/cda/tut/p/id/8176 17 July, 2011.

Wikipedia, 2004. “*Focal length*” (Online). http://en.wikipedia.org/wiki/Focal_length.htm 28 July, 2011.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ - นามสกุล	นายประสาน ปรุงเจริญ
วัน เดือน ปีเกิด	4 ตุลาคม 2529
ที่อยู่	159/2 ถนนแจ้งสนิท ต.ในเมือง อ.เมือง จ.ยโสธร 35000
การศึกษา	
พ.ศ. 2552	สำเร็จการศึกษาระดับวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ประวัติการทำงาน	
พ.ศ. 2552 – ปัจจุบัน	ตำแหน่งวิศวกรฝ่ายออกแบบและพัฒนาเครื่องจักร บริษัท เอ็ม-เทค เซอร์วิส จำกัด

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี