

การระบุตำแหน่งของหุ่นยนต์ตรวจสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าโดยใช้เทคนิค  
ประมวลผลภาพ

POSITIONING OF GENERATOR INSPECTION ROBOT (GIR)  
USING IMAGE PROCESSING TECHNIQUE

ภานุพันธ์ ขวัญสุด

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ปีการศึกษา 2559

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

การระบุตำแหน่งของหุ่นยนต์ตรวจสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าโดยใช้เทคนิค  
ประมวลผลภาพ

ภาณุพันธ์ ขวัญสุด



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี  
ปีการศึกษา 2559  
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

หัวข้อวิทยานิพนธ์      การระบุตำแหน่งของหุ่นยนต์ตรวจสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าโดยใช้เทคนิค  
ประมวลผลภาพ  
Positioning of Generator Inspection robot (GIR) Using Image Processing  
Technique


ชื่อ - นามสกุล      นายภาณุพันธ์ ขวัญสุด


สาขาวิชา      วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม


อาจารย์ที่ปรึกษา      ผู้ช่วยศาสตราจารย์จักรี ศรีนนท์ฉัตร, Ph.D.


ปีการศึกษา      2559

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

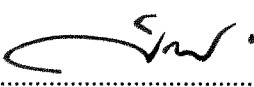
  
..... ประธานกรรมการ  
(อาจารย์วิเชียร อุปแก้ว, Ph.D.)

  
..... กรรมการ  
(อาจารย์พงษ์นัฐ บุศุหามุน, Ph.D.)

  
..... กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์อำนาจ เรืองวาริ, Dr.-Ing.)

  
..... กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์จักรี ศรีนนท์ฉัตร, Ph.D.)

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อนุมัติวิทยานิพนธ์ฉบับนี้  
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโท

  
..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ศิวกร อ่างทอง, Ph.D.)

วันที่ 27 เดือน กรกฎาคม พ.ศ. 2560

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การระบุตำแหน่งของหุ่นยนต์ตรวจสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าโดยใช้เทคนิคประมวลผลภาพ
ชื่อ-นามสกุล	นายภาณุพันธ์ ขวัญสุค
สาขาวิชา	วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์จกกรี ศรีนนท์ฉัตร, Ph.D.
ปีการศึกษา	2559

### บทคัดย่อ

การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยได้นำหุ่นยนต์เฉพาะทางมาใช้ในงานตรวจสอบภายในเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ทั้งนี้หุ่นยนต์จะต้องเดินทางเข้าไปสำรวจข้างในเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ซึ่งพบว่าภาระบุตำแหน่งของหุ่นยนต์ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญในการใช้งานยังมีความผิดพลาดเกิดขึ้นจากการลื่นไถลระหว่างสายพานกับร่องเฟืองซึ่งเป็นอุปสรรคช่วยในการระบุตำแหน่งของเอนโคเดอร์ภายในตัวหุ่นยนต์ วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอวิธีการระบุตำแหน่งของหุ่นยนต์โดยการนับร่องระบายอากาศภายในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าด้วยการประมวลผลภาพ โดยการนับนี้จะเป็นการนับร่องระบายอากาศในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทำให้ระบบสามารถทราบตำแหน่งที่หุ่นยนต์นั้นอยู่บริเวณใดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าโดยการใช้อัลกอริทึมที่คิดตั้งอยู่ที่ตัวหุ่นยนต์ แทนการระบุตำแหน่งแบบเดิมที่ใช้เอนโคเดอร์ในการวัด

ในการทดลองได้ใช้ภาพวิดีโอจำนวน 17 ชุด โดยแบ่งเป็นภาพวิดีโอภายในห้องทดลอง 5 ชุด และเป็นภาพวิดีโอจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจริง 12 ชุด โดยแต่ละชุดมีอัตราเฟรมภาพ 24 เฟรมต่อวินาที ภาพวิดีโอจะถูกประมวลผลทีละเฟรมภาพ เข้าสู่กระบวนการปรับปรุงภาพโดยการเปลี่ยนภาพสีเป็นภาพระดับเทา จากนั้นภาพเหล่านี้จะถูกปรับความสว่างโดยวิธีการปรับฮิสโตแกรมและนำไปผ่านตัวกรองสัญญาณรบกวน จากนั้นภาพเหล่านี้จะถูกปรับเปลี่ยนเป็นภาพไบนารีทำให้บริเวณจุดที่สนใจในภาพมีลักษณะที่เด่นชัดขึ้น จากนั้นทำการกำหนดเส้นและจุดอ้างอิงสำหรับการนับ ทั้งนี้การทดสอบการทำงานของระบบได้ทดลองบนฐานเวลาจริง

ผลการทดลองพบว่าระบบสามารถจำแนกลักษณะของร่องระบายอากาศในเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากับพื้นหลังได้อย่างชัดเจน โดยเทคนิคแยกบริเวณภาพ (Image Segmentation) ซึ่งสามารถระบุขอบของเส้นร่องระบายอากาศและจุดอ้างอิงได้ชัดเจน รวมถึงระบบสามารถนับจำนวนร่องระบายอากาศได้อย่างถูกต้องร้อยละ 100 ทำให้สามารถรับทราบตำแหน่งของหุ่นยนต์ได้อย่างแน่นอน แม้ในจุดที่จะเป็นปัญหาในการนับก็ได้รับการแก้ไขให้นับได้ถูกต้องเช่นเดียวกัน

คำสำคัญ: การประมวลผลภาพ การแยกบริเวณภาพ การนับจำนวนพิกเซล การนับวัตถุ

<b>Thesis Title</b>	Positioning of Generator Inspection Robot (GIR) Using Image Processing Technique
<b>Name-Surname</b>	Mr. Phanuphan Kwansud
<b>Program</b>	Electronics and Telecommunication Engineering
<b>Thesis Advisor</b>	Assistant Professor Jakkree Srinonchat, Ph.D.
<b>Academic Year</b>	2016

## ABSTRACT

The Electricity Generating Authority of Thailand (EGAT) has used a robot to inspect the inside of the generator. The robot needs to access the generator for monitoring. It has been found that the positioning of the robot, which is important for the user, has some failures caused by slipping between belt and groove gear which are the parts that to identify the robot position. The thesis was to present a method of positioning of Generator Inspection Robot (GIR) from counting number of groove ventilations in the generator by using image processing technique. The result of the counting could identify the location inside the generator. A camera was mounted on the robot in order to monitor and count the ventilations instead of using previous method (the encoder).

The research instruments used in this study were 17 sets of video. 5 video sets were taken from the laboratory environment, and 12 video sets were taken from the real generator. Each video set was 24 frames per second and each frame was processed one by one. The process started by converting a color image to grayscale, and a histogram was used to adjust the brightness of the images followed by noise reduction phase passing through noise filter. Then, the images were converted to binary image that could show foreground more clearly. Finally, lines and reference points were set for counting process. The testing system was based on a real-time experiment.

The results showed the system clearly separated the groove ventilations of the generator from the background in the final image by using the image segmentation technique. It showed the edges of the groove ventilations and reference points. The groove ventilations were counted as 100% accuracy so that it could identify the position of the robot accurately. Despite some damage frames, the system could fix and yield counting result correctly.

**Keywords:** image processing, image segmentation, pixel counting, object counting

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จักรี ศรีนนท์ฉัตร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งท่านให้คำแนะนำคำปรึกษาและสนับสนุนในด้านการวิจัยด้วยดีมาโดยตลอด ผู้วิจัยจึงขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

ขอกราบขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ดร.วิเชียร อุบแก้ว ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อำนาจ เรืองวารี และผู้ทรงคุณวุฒิ ดร.พิเชษฐ บุญหนุน ที่ให้คำแนะนำความรู้ประสบการณ์ที่เป็นแนวทางในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ และเป็นประโยชน์ในการทำวิจัยครั้งต่อไป

ขอขอบคุณรุ่นพี่ เพื่อน น้องนิสิตในห้องปฏิบัติการวิจัยการประมวลผลสัญญาณดิจิทัล ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี และพี่ เพื่อน น้องในห้องปฏิบัติการวิจัยสมองกลอัจฉริยะและความจริงเสมือน ศูนย์เทคโนโลยี อิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ ที่ให้ความสนใจและให้คำปรึกษาเป็นอย่างดี

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณ บิดา มารดา ผู้คอยให้ความห่วงใย และขอขอบคุณครอบครัวของผู้วิจัยที่คอยให้กำลังใจมาโดยตลอดจนสำเร็จการศึกษา

ภานุพันธ์ ขวัญสุต



## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	(3)
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	(4)
กิตติกรรมประกาศ.....	(5)
สารบัญ.....	(6)
สารบัญตาราง.....	(8)
สารบัญรูป.....	(9)
บทที่ 1 บทนำ.....	11
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	11
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	11
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	12
1.4 ข้อยกเว้นของการวิจัย.....	12
1.5 วิธีการดำเนินงานวิจัย.....	12
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	13
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	14
2.1 หุ่นยนต์ตรวจสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator Inspected Robot).....	14
2.2 การประมวลผลภาพดิจิทัล (Digital Image Processing).....	16
2.3 ภาพสี (RGB Image).....	19
2.4 ภาพระดับเทา (Gray Image).....	20
2.5 การปรับเท่าฮิสโตแกรม (Histogram Equalization).....	21
2.6 การกรองข้อมูลภาพ (Image Filtering).....	21
2.7 ภาพไบนารี (Binary Image).....	24
2.8 การนับจำนวนพิกเซล (Pixel Counting).....	26
2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	26
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย.....	30
3.1 การทดสอบความผิดพลาดของการระบุตำแหน่งหุ่นยนต์ตรวจสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ...	31
3.2 ขั้นตอนการพัฒนากระบวนการระบุตำแหน่งของหุ่นยนต์ด้วยวิธีประมวลผลภาพ.....	32
3.3 การทดลองนับร่องรอยอากาศโดยใช้วีดีโอในห้องปฏิบัติการ.....	33

## สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
3.4 การทดลองนับร่องระบายอากาศโดยใช้วิดีโอจากงานจริง .....	46
บทที่ 4 ผลการวิจัย .....	48
4.1 ผลการทดลองการระบุตำแหน่งของหุ่นยนต์ด้วยการอ่านค่าเอน โคดเดอร์ในห้อง ปฏิบัติการ .....	48
4.2 ผลการปรับปรุงภาพวิดีโอ .....	50
4.3 ผลการทดลองการนับร่องระบายอากาศด้วยเส้นการนับหนึ่งเส้น .....	51
4.4 ผลการทดลองการระบุตำแหน่งโดยการนับร่องระบายอากาศโดยใช้เส้นการนับ สองเส้น .....	53
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย การอภิปรายผลและข้อเสนอแนะ.....	56
5.1 สรุปผล .....	56
5.2 งานที่ควรพัฒนาต่อไป.....	57
บรรณานุกรม .....	59
ภาคผนวก.....	62
ภาคผนวก ก รูปที่ใช้ในการทดลอง.....	63
ภาคผนวก ข ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่.....	71
ประวัติผู้เขียน.....	112



## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองการระบุตำแหน่งในห้องปฏิบัติการระยะทาง 156 ซม. หรือ 26 ร่อง อากาศ.....	49
ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองเปรียบเทียบการระบุตำแหน่งด้วยการนับร่องระบายอากาศหนึ่งเส้น การนับ.....	52
ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองเปรียบเทียบการระบุตำแหน่งในห้องปฏิบัติการระยะทาง 156 ซม. หรือ 26 ร่องอากาศ.....	53
ตารางที่ 4.4 ผลการทดลองการระบุตำแหน่งโดยการนับร่องระบายอากาศจากวิดีโอที่ได้จากงาน จริง .....	54



## สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 1.1 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม.....	12
รูปที่ 2.1 หุ่นยนต์ตรวจสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดใหญ่.....	15
รูปที่ 2.2 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดใหญ่ .....	15
รูปที่ 2.3 จำลองภายในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดใหญ่เมื่อเปิดฝาด้านหน้าออก.....	16
รูปที่ 2.4 วิดีโอสตรีม (Video Stream).....	16
รูปที่ 2.5 ตำแหน่งของพิกเซลในภาพ.....	18
รูปที่ 2.6 เมตริกซ์ของพิกเซลในภาพ.....	18
รูปที่ 2.7 องค์ประกอบของภาพสี.....	20
รูปที่ 2.8 ลักษณะภาพไบนารีที่แสดงกลุ่มของพิกเซล.....	25
รูปที่ 2.9 การแบ่งกลุ่มของพิกเซลที่อยู่ติดกัน.....	26
รูปที่ 3.1 ตัวอย่างการทดสอบความผิดพลาดของการระบุตำแหน่งโดยเอน โคดเดอร์.....	32
รูปที่ 3.2 ขั้นตอนการทำงานของการประมวลผลภาพเพื่อนับจำนวนร่องระบายอากาศ.....	33
รูปที่ 3.3 ตัวอย่างภาพจากวิดีโอที่นำมาใช้ในการประมวลผลนับจำนวนร่องระบายอากาศ....	34
รูปที่ 3.4 ตัวอย่างภาพสีในด้านขวามือเมื่อถูกแปลงเป็นภาพสีเทาในภาพซ้ายมือ.....	35
รูปที่ 3.5 การทำฮิสโตแกรม.....	36
รูปที่ 3.6 การกำจัดสัญญาณรบกวน.....	37
รูปที่ 3.7 ภาพก่อนทำ Binary Image.....	38
รูปที่ 3.8 ขั้นตอนการทำ Binary Image.....	39
รูปที่ 3.9 การทดลองนับร่องระบายอากาศโดยใช้เส้นการนับหนึ่งเส้น.....	40
รูปที่ 3.10 เส้นขอบเขตการนับพิกเซล.....	40
รูปที่ 3.11 จำลองการนับจำนวนพิกเซลทั้ง 4 กรณี โดยใช้เส้นการนับเส้นเดียว.....	42
รูปที่ 3.12 แสดงผลการนับบนหน้าจอคอมพิวเตอร์.....	43
รูปที่ 3.13 รอยต่อแผ่นเวดจ์ที่ไม่ต้องการนับ.....	43
รูปที่ 3.14 จำลองการนับจำนวนพิกเซลทั้ง 4 กรณี โดยใช้เส้นการนับสองเส้น.....	45
รูปที่ 3.15 ผลของการนับร่องระบายอากาศด้วยขั้นตอนวิธีที่นำเสนอ.....	46
รูปที่ 3.16 การนับร่องระบายอากาศในงานจริงด้วยขั้นตอนวิธีที่นำเสนอ.....	47
รูปที่ 4.1 การทดลองเปรียบเทียบผลในห้องปฏิบัติการ.....	49

## สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.2 ตัวอย่างภาพที่ได้จากการใช้งานหุ่นยนต์ในห้องปฏิบัติการเมื่อนำมาผ่านขั้นตอนการปรับปรุงภาพ.....	50
รูปที่ 4.3 ตัวอย่างภาพที่ได้จากการใช้งานหุ่นยนต์จริงเมื่อนำมาผ่านขั้นตอนการปรับปรุงภาพ.....	51
รูปที่ 4.4 ตัวอย่างการนับร่องระบายอากาศโดยใช้เส้นการนับเส้นเดียว .....	52
รูปที่ 4.5 รอยต่อของแผ่นเวคท์ที่เกิดการนับผิดพลาดโดยใช้การนับร่องระบายอากาศโดยใช้เส้นการนับเส้นเดียว จากวิดีโออินพุตจากงานจริง.....	52
รูปที่ 4.6 การกำหนดเส้นการนับพิกเซล.....	53
รูปที่ 4.7 การนับวัตถุที่ต้องการนับ (ก) ไม่นับวัตถุที่ไม่ต้องการนับ (ข).....	55



# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดใหญ่สำหรับผลิตกระแสไฟฟ้าในระดับเมกะวัตต์ซึ่งติดตั้งอยู่ตามโรงไฟฟ้าในแต่ละแห่ง ก่อนที่จะมีการซ่อมบำรุงครั้งใหญ่จะใช้หุ่นยนต์ตรวจสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเข้าไปตรวจสอบก่อนว่าจำเป็นต้องถอดเพื่อซ่อมบำรุงแล้วหรือไม่ ซึ่งการตรวจสอบโดยหุ่นยนต์จะลดเวลาลงได้เป็นอย่างมากเมื่อเทียบกับการตรวจสอบโดยคนเนื่องจากไม่จำเป็นต้องถอดโรเตอร์ออกมาจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า หุ่นยนต์ตรวจสอบภายในเครื่องกำเนิดไฟฟ้างดกล่าวมีการระบุตำแหน่งของหุ่นยนต์ภายในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าโดยใช้เอนโคเดอร์ที่ติดอยู่ที่ล้อของหุ่นยนต์ ซึ่งอาจเกิดการผิดพลาดได้เนื่องจากการลื่นไถลระหว่างสายพานกับร่องเฟืองที่ติดกับมอเตอร์ จึงจำเป็นต้องหาวิธีการที่เหมาะสมโดยการประมวลผลภาพเป็นวิธีการหนึ่ง ทั้งนี้ตัวหุ่นยนต์ได้ติดตั้งกล้องถ่ายวิดีโอที่ตัวหุ่นยนต์อยู่แล้วจึงทำให้ไม่มีค่าใช้จ่ายเพิ่มเติม การพัฒนาเทคนิคในการนับร่องระบายอากาศภายในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าโดยการประมวลผลภาพเป็นส่วนหนึ่งที่จะนำไปใช้ระบุตำแหน่งหุ่นยนต์ตรวจสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดใหญ่ได้

งานวิจัยนี้จึงได้ถูกจัดทำขึ้นเพื่อเสนอการนับร่องระบายอากาศภายในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดใหญ่ที่มีระยะห่างระหว่างร่องเท่าๆ กันซึ่งเป็นพื้นที่ปิด ภาพวิดีโอจะได้จากกล้องที่ติดกับตัวหุ่นยนต์และนำมาประมวลผลภาพ เพื่อนับร่องระบายอากาศภายในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าโดยการทำไบนารีภาพ กำหนดเส้นขอบเขตการนับ (Line Detector) และใช้ข้อมูลจากการนับจำนวนพิกเซลมาทำการนับร่องระบายอากาศ โดยการเปรียบเทียบค่าการเปลี่ยนแปลงของจำนวนพิกเซลในแต่ละเฟรมเทียบกับเฟรมก่อนหน้า โดยใช้เส้นขอบเขตการนับ 2 เส้นเพื่อตรวจสอบซ้ำเพิ่มความถูกต้อง ก่อนที่จะนับเป็นจำนวนร่องระบายอากาศภายในเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

### 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อระบุตำแหน่งของหุ่นยนต์ตรวจสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เมื่อทำการตรวจสอบภายในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าได้

1.2.2 เพื่อใช้การประมวลผลภาพทำการระบุตำแหน่งแทนเอน โคดเดอร์ที่ชำรุดหรือทำงานผิดพลาดได้

1.2.3 เพื่อได้การระบุตำแหน่งของหุ่นยนต์ตรวจสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอีกวิธีหนึ่ง โดยไม่มีค่าใช้จ่ายเพิ่มเติม

### 1.3 ขอบเขตของการวิจัย

เพื่อระบุตำแหน่งของหุ่นยนต์ตรวจสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าด้วยการนับร่องระบายอากาศภายในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดใหญ่ โดยทำการประมวลผลภาพให้ใช้งานได้ตามเวลาจริงแทนเอน โคดเดอร์ที่ทำงานผิดพลาดหรือเกิดการชำรุดเสียหาย

### 1.4 ข้อจำกัดของการวิจัย

1.4.1 วิดีโอที่นำมาวิจัยมีขนาด 640×480 อัตรา 24 เฟรมต่อวินาที

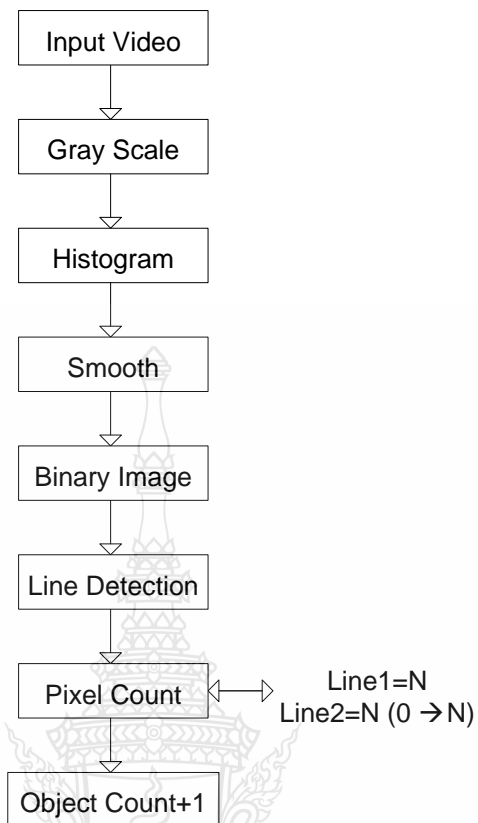
1.4.2 หุ่นยนต์มีความเร็วในการเคลื่อนที่ 1.9 เมตรต่อนาที

1.4.3 ปัจจัยความสว่างของแสงและเงาจากการบันทึกวิดีโอที่นำมาวิจัยมีผลต่อรูปภาพ

1.4.4 ความละเอียดในการวัดระยะทางให้ผลลัพธ์เป็นจำนวนร่องระบายอากาศภายในเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

### 1.5 วิธีการดำเนินงานวิจัย

การทำงานของโปรแกรมเริ่มจากการนำข้อมูลไฟล์วิดีโอที่ได้บันทึกไว้ไปประมวลผลทีละเฟรมภาพ ทำการปรับปรุงภาพด้วยการปรับเปลี่ยนภาพสีเป็นภาพระดับสีเทา จากนั้นปรับแก้ความสว่างภาพด้วยการทำฮิสโตแกรม กำจัดสัญญาณรบกวนผ่านตัวกรองชนิดเกาเซียน แปลงข้อมูลภาพเป็นภาพไบนารีโดยการเทรซโฮล ทำให้ภาพที่ต้องการปรากฏเด่นชัดขึ้น แล้วจึงเข้าสู่กระบวนการนับร่องระบายอากาศภายในเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ดังขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยดังรูป 1.1



รูปที่ 1.1 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม

## 1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.6.1 สามารถแก้ปัญหาโดยใช้การประมวลผลภาพระบุตำแหน่งแทนเอนโคเดอ์ในตัวหุ่นยนต์ที่เกิดชำรุดหรือทำงานผิดพลาดได้

1.6.2 สามารถลดค่าใช้จ่ายในการซ่อมแซมในส่วนของเอนโคเดอ์และฮาร์ดแวร์ที่เกี่ยวข้องกับการระบุตำแหน่งชำรุด

1.6.3 สามารถระบุตำแหน่งของหุ่นยนต์ตรวจเครื่องกำเนิดไฟฟ้าได้ตามเวลาจริง

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การระบุตำแหน่งหุ่นยนต์ตรวจสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าโดยใช้เทคนิคประมวลผลภาพ ใช้วิธีการนับร่องระบายอากาศภายในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซึ่งเป็นส่วนสำคัญในการระบุตำแหน่ง วิธีการนับวัตถุนั้นมีงานวิจัยที่หลากหลายโดยมักจะทำการนับคนหรือนับยานพาหนะที่มีอินพุตเป็นวิดีโอ โดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาพซึ่งประกอบจากทฤษฎีการเปลี่ยนภาพสีเป็นภาพระดับเทา การทำไบนารีภาพโดยการเทรซโฮล การนับจำนวนพิกเซล โดยทฤษฎีต่างๆ เหล่านี้จะเป็นส่วนสำคัญเป็นอย่างยิ่งเพื่อประกอบเป็นทฤษฎีสำหรับงานวิจัยนี้

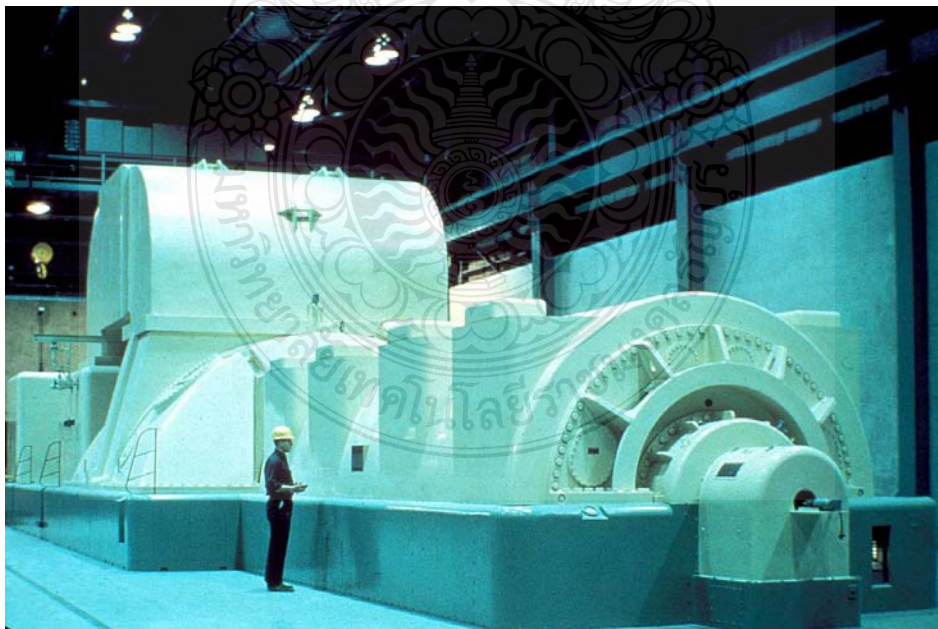
#### 2.1 หุ่นยนต์ตรวจสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator Inspected Robot)

หุ่นยนต์ตรวจสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดใหญ่ มีลักษณะดังรูปที่ 2.1 ประกอบด้วยแผงควบคุม, ก่อควบคุม, คอมพิวเตอร์ และตัวหุ่นยนต์ ทำงานร่วมกัน โดยหุ่นยนต์จะเข้าไปตรวจสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าตรงช่องว่างระหว่างโรเตอร์ (Rotor) กับสเตเตอร์ (Stator) ดังรูปที่ 2.3 และผู้ใช้งานจะควบคุมหุ่นยนต์จากด้านนอกโดยดูวิดีโอที่ได้จากกล้องที่ติดอยู่กับตัวหุ่นยนต์แบบเวลาจริงผ่านหน้าจอคอมพิวเตอร์ ส่วนประกอบตัวหุ่นยนต์มีกล้อง 2 ตัวเป็นกล้องหน้ากับกล้องมองข้างและชุดเคาะเวดจ์เป็นอุปกรณ์หลักในการตรวจสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

หุ่นยนต์เข้าไปทำหลายหน้าที่ หน้าที่หลักๆ คือการตรวจสอบความแน่นของเวดจ์โดยการเคาะ (เวดจ์คือแผ่นฉนวนที่ปิดขดลวดในแต่ละสล็อตของสเตเตอร์) และอีกหน้าที่หนึ่งคือใช้กล้องมองรอบๆ ว่ามีเศษขยะ เศษผง หรือร่องรอยรอยขีดข่วนตรงไหนบ้างเป็นเหตุให้จำเป็นต้องรู้ระยะที่แน่นอนภายในเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และระยะที่ได้นี้ก็นำไปใช้ในการเคาะเวดจ์ให้ตรงตำแหน่งของแผ่นเวดจ์แต่ละแผ่นด้วย ซึ่งแผ่นเวดจ์ในแต่ละสล็อต เรียงต่อกันหลายแผ่นต่อ 1 สล็อต

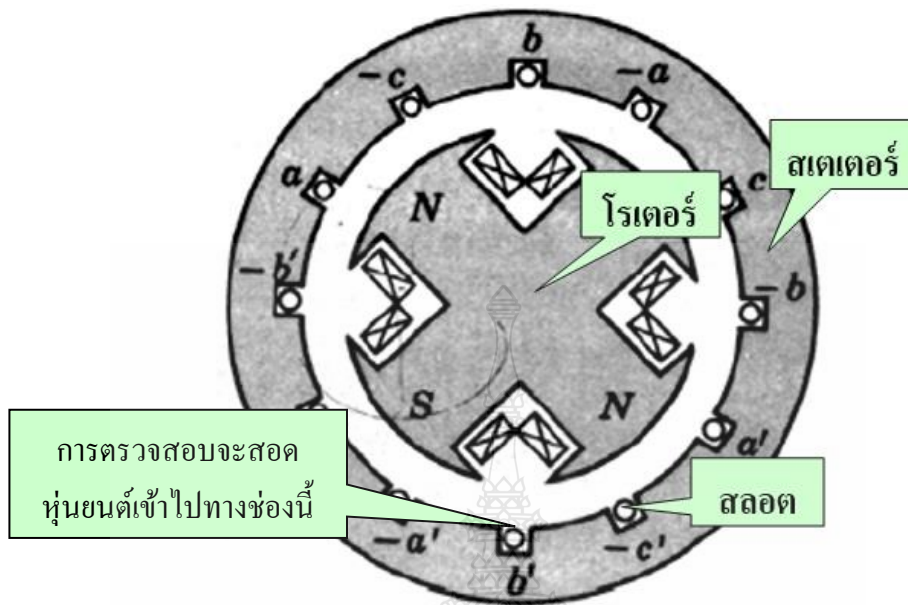


รูปที่ 2.1 หุ่นยนต์ตรวจสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดใหญ่ [1]



รูปที่ 2.2 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดใหญ่ [6]





รูปที่ 2.3 จำลองภายในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดใหญ่เมื่อเปิดฝาด้านหน้าออก [1]

## 2.2 การประมวลผลภาพดิจิทัล (Digital Image Processing)

ภาพในที่นี้ รวมความหมายถึงสัญญาณดิจิทัลใน 2 มิติอื่นๆ โดยทั่วไปคำนี้เมื่อใช้อย่างกว้างๆ จะครอบคลุมถึงสัญญาณวิดีโอหรือภาพเคลื่อนไหว ซึ่งจะเป็นชุดของภาพนิ่ง เรียกว่า เฟรมหลายๆ ภาพต่อกันไปตามเวลาแสดงดังรูปที่ 2.4

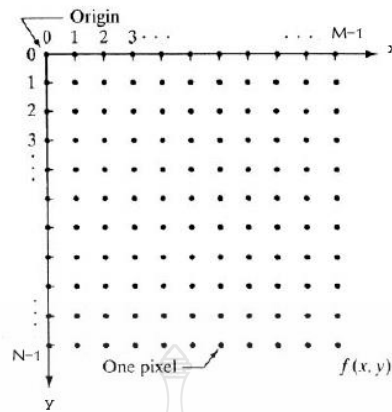


รูปที่ 2.4 วิดีโอสตรีม (video stream) [2]

ซึ่งก็คือสัญญาณ 3 มิติ เมื่อนับเวลาเป็นมิติที่ 3 หรือ อาจจะครอบคลุมถึงสัญญาณ 3 มิติอื่นๆ เช่น ภาพ 3 มิติทางการแพทย์ หรือ อาจจะมากกว่านั้น เช่น ภาพ 3 มิติ และ หลายชนิด (multimodal image)

การประมวลผลภาพดิจิทัล เป็นกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการแปลงข้อมูลภาพให้อยู่ในรูปแบบข้อมูลดิจิทัล สามารถนำเอาข้อมูลนี้จัดการผ่านกระบวนการต่างๆ ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ได้ การวิเคราะห์ภาพดิจิทัลจะเกี่ยวข้องกับการอธิบายและการจดจำข้อมูลภาพดิจิทัล ซึ่งอินพุตของระบบจะเป็นข้อมูลภาพดิจิทัลและเอาท์พุตจะเป็นเครื่องหมายที่ใช้แทนข้อมูลภาพดิจิทัล ในการวิเคราะห์ภาพมีอยู่หลายวิธีด้วยกันที่ได้นำมาจากการทำงานของสายตามนุษย์นั้น คือ งานทางด้าน Computer Vision การมองเห็นของสายตามนุษย์นับว่าเป็นกระบวนการที่ซับซ้อน ซึ่งลักษณะเทคนิคโดยทั่วไปในกระบวนการวิเคราะห์ภาพดิจิทัล และ Computer Vision จะค่อนข้างซับซ้อนเช่นกันภาพดิจิทัลเป็นภาพที่ประกอบด้วยจุดภาพเล็กๆ จำนวนมากเรียกว่า พิกเซล โดยใช้ตัวเลขแทนค่าของระดับสีหรือระดับความสว่างของแต่ละพิกเซล ซึ่งสามารถปรับแต่งเพื่อแสดงผลภาพตามต้องการได้ มีข้อดีที่สามารถนำมาประมวลผลปรับปรุงคุณภาพของข้อมูลด้วยกระบวนการต่างๆ ด้วยคอมพิวเตอร์ได้

พิกเซล คือ ความเข้มแสงที่รวมกันทำให้เกิดเป็นภาพ ภาพหนึ่งๆ จะประกอบด้วยพิกเซลมากมาย ซึ่งภาพแต่ละภาพที่สร้างขึ้นจะมีความหนาแน่นของพิกเซลแตกต่างกันออกไป ความหนาแน่นเป็นตัวบอกถึงความละเอียดของภาพซึ่งมีหน่วยเป็น พิกเซล (Pixel Per Inch) คือ จำนวนพิกเซลต่อนิ้วซึ่ง โดยทั่วไปถือว่าภาพที่มีความละเอียดสูงหรือคุณภาพดีจะมีความละเอียด 300 x 300 พิกเซลต่อนิ้ว ขึ้นไป ยิ่งค่า ความหนาแน่นพิกเซล ยิ่งสูงขึ้นภาพจะมีความละเอียดและคมชัดมากขึ้น ซึ่งรายละเอียดตำแหน่งของพิกเซลแสดงดังรูปที่ 2.5



เมื่อ  $N$  คือ จำนวนพิกเซลที่มากที่สุดในแกน  $Y$   
 $M$  คือ จำนวนพิกเซลที่มากที่สุดในแกน  $X$

รูปที่ 2.5 ตำแหน่งของพิกเซลในภาพ [3]

ในภาพหนึ่งๆ สามารถอธิบายได้ในรูปแบบเมทริกซ์ของพิกเซลขนาด  $N \times M$  ดังแสดงในรูปที่ 2.6 โดยใช้คู่ลำดับ  $f(i,j)$  แทนค่าแต่ละพิกเซลและค่าเฉลี่ยของความเข้มแสงที่พิกเซลนั้นๆ ของภาพ

	0				$j \rightarrow M$
0	$f(0,0)$	$f(0,1)$	$f(0,2)$	$f(0,3)$	$f(0,4)$
	$f(1,0)$	$f(1,1)$	$f(1,2)$	$f(1,3)$	$f(1,4)$
	$f(2,0)$	$f(2,1)$	$f(2,2)$	$f(2,3)$	
$i \downarrow$	$f(3,0)$	$f(3,1)$	$f(3,2)$		
	$f(4,0)$	$f(4,1)$	$f(4,2)$		
$N$					

รูปที่ 2.6 เมทริกซ์ของพิกเซลในภาพ [3]

การแปลงภาพดิจิทัลนั้นวัตถุต่างๆ หรือสิ่งที่มองเห็นทั่วไปสามารถแสดงถึงฟังก์ชันใน 2 มิติในภาพของ  $F(x, y)$  โดยที่  $x$  และ  $y$  คือ ตำแหน่งหรือพิกัดของภาพ  $F$  คือ ค่าความเข้มของภาพ ซึ่งความเข้มนี้ คือ ค่าระดับสีเทา [2] โดยที่  $F$  มีค่ามากกว่าศูนย์และมีค่าจำกัดนิยามได้ดังสมการที่ 2.1

$$0 < F(x, y) < \infty \quad (2.1)$$

ค่าระดับความเข้มแสง  $F(x, y)$  คือค่าผลคูณ (Dot Product) ของฟังก์ชันดังสมการที่ 2.2 จะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบ 2 ส่วน คือ ค่าระดับความสว่างที่ตกกระทบวัตถุ (Illumination) ซึ่งสามารถนิยามได้เป็นค่าฟังก์ชันของ  $i(x, y)$  และ ค่าระดับความสว่างที่สะท้อนมาโดยวัตถุ (Reflectance) ซึ่งสามารถนิยามได้เป็นค่าฟังก์ชันของ  $r(x, y)$

$$F(x, y) = i(x, y)r(x, y) \quad (2.2)$$

โดยที่

$$0 < i(x, y) < \infty \quad (2.3)$$

$$0 < r(x, y) < 1 \quad (2.4)$$

กำหนดค่าความเข้ม (Intensity) ของภาพที่ตำแหน่ง  $(x_0, y_0)$  ใดๆ เป็นค่าระดับสีเทาดังสมการที่ 2.5

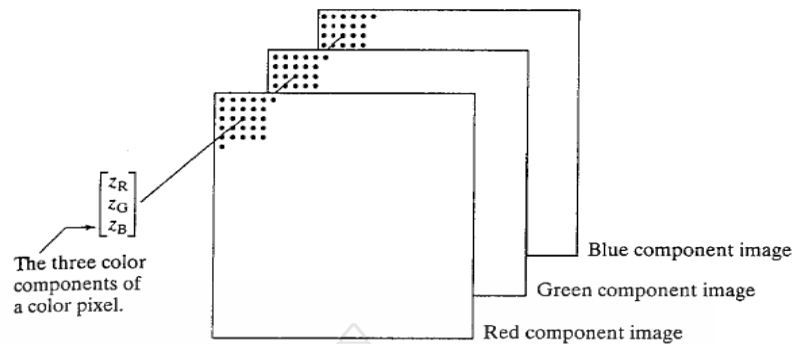
$$Grayscale = F(x_0, y_0) \quad (2.5)$$

จากสมการที่ 2.2 ถึงสมการที่ 2.4 ทำให้ได้ค่าความเข้มของระดับสีเทาดังสมการที่ 2.6

$$Grayscale_{\min} \leq Grayscale \leq Grayscale_{\max} \quad (2.6)$$

### 2.3 ภาพสี (RGB Image)

ภาพสีคือชุดการเรียงลำดับของ pixel สี  $M \times N \times 3$  ซึ่งในทุกๆพิกเซลของภาพสีนั้นจะมีค่าระดับ RGB เป็นส่วนประกอบที่มีค่าแตกต่างกัน ค่าความสัมพันธ์ทั้งสามขององค์ประกอบคือ สีแดง สีเขียว สีน้ำเงิน ที่กำหนดไว้ ตามภาพที่ 2.7



รูปที่ 2.7 องค์ประกอบของภาพสี [4]

ภาพสีสามารถแสดงในแบบของแผ่นซ้อนทับของ 3 ภาพสีขาว-ดำ เมื่อสีแดง สีเขียว สีน้ำเงิน ถูกส่งไปยังจอภาพสีเพื่อสร้างภาพสีบนจอภาพ โดยระบบแล้วการเกิดภาพสีนั้นจะอ้างอิงถึงองค์ประกอบของสีแดง เขียว และน้ำเงินของภาพนั้นๆ การแบ่งกลุ่มข้อมูลขององค์ประกอบสีขึ้นอยู่กับช่วงระยะที่กำหนดของข้อมูล กลุ่มข้อมูลของภาพสีจะเป็นแบบ Double ช่วงค่าข้อมูลจะเท่ากับ  $[0,1]$  และเช่นเดียวกันถ้าช่วงข้อมูลที่  $[0,255]$  หรือ  $[0,635535]$  กลุ่มของภาพสีจะเป็น Uint 8 หรือ Uint 16 ตามลำดับ จะใช้จำนวนบิตเป็นค่าพิกเซลขององค์ประกอบสี เพื่อใช้ตัดสินค่า bit depth ของภาพ RGB เช่น ในแต่ละองค์ประกอบสีมีค่าเท่ากับ 8 บิต ค่าความสัมพันธ์ RGB จะมีค่า 24 bit depth โดยทั่วไปแล้วจำนวนของ bit ในทุกองค์ประกอบภาพจะมีค่าเท่ากันในกรณีนี้ จำนวนสีที่เป็นไปได้ในภาพ RGB จะมีค่า  $(2^b)^3$  โดย  $b$  จำนวนของ bit ในแต่ละองค์ประกอบภาพ ในกรณีของ 8 บิต จะมีค่าเท่ากับ 16,777,216 โดยลักษณะการเก็บข้อมูลของภาพสีจะเป็นลักษณะของเมตริกซ์ของค่าสีแดง เขียว และน้ำเงิน

## 2.4 ภาพระดับสีเทา (Gray Scale)

การเปลี่ยนภาพสี (RGB) เป็นภาพระดับสีเทา (Gray Scale) กระบวนการนี้จะทำให้ภาพที่ได้สามารถนำมาประมวลผลได้ง่ายขึ้นและรวดเร็วขึ้น เพราะการที่จะมีการวิเคราะห์การตรวจจับวัตถุจะมีการนำภาพมาเข้ากระบวนการตามขั้นตอนต่างๆ ซึ่งถ้านำภาพสีมาเข้ากระบวนการทำงานทำให้เกิดความช้าเพราะว่าภาพสีแต่ละภาพจะประกอบไปด้วยภาพสามภาพประกอบกัน ประกอบไปด้วยภาพโทนสีแดง ภาพโทนสีเขียว และภาพโทนสีน้ำเงิน ฉะนั้นการที่จะเข้าถึงภาพและประมวลผลก็จะต้องเข้าถึงข้อมูลทั้งสามข้อมูล (แดงเขียวน้ำเงิน) แต่ระดับสีเทานั้นจะทำได้ง่ายและเร็วกว่าเพราะมีเพียงโทนสีเดียว

$$Y = 0.3 * R + 0.59 * G + 0.11 * B \quad (2.7)$$

เมื่อ  $Y$  = ค่าของระดับสีเทา

$R, G, B$  = ค่าของระดับภาพสี RGB

## 2.5 การปรับเท่าฮิสโตแกรม (Histogram Equalization)

วิธีการ Histogram Equalization เป็นวิธีการปรับแก้ความสว่าง ที่จะทำการยืดข้อมูลภาพให้คมชัด โดยใช้ความสัมพันธ์ที่ไม่ใช่ลักษณะเชิงเส้นตรง จุดประสงค์ในการใช้วิธีนี้คือ พยายามเปลี่ยนการกระจายข้อมูลที่ไม่ปกติให้เป็นแบบปกติและปรับจำนวนจุดภาพในแต่ละค่าความเข้มให้มีจำนวนใกล้เคียงกัน ค่าความเข้มใหม่ของจุดภาพเหล่านี้คำนวณได้โดยใช้สมการที่ 2.8

$$b_k = G_{\max} \sum_{i=0}^k h_i \quad \text{สำหรับ } 0 \leq k \leq G_{\max}$$

โดยที่  $h_i = \frac{n_i}{MN}$  สำหรับ  $0 \leq i \leq G_{\max}$  (2.8)

เมื่อ  $b_k$  = ค่าความเข้มใหม่ของจุดภาพหลังปรับปรุงฮิสโตแกรม

$G_{\max}$  = ค่าความเข้มสูงสุดของภาพ

$n_i$  = จำนวนจุดภาพที่มีความเข้มระดับ  $i$

$MN$  = จำนวนแถวและคอลัมน์ของภาพ

## 2.6 การกรองข้อมูลภาพ (Image Filtering)

การกรองข้อมูลภาพ คือการนำภาพไปผ่านตัวกรองสัญญาณเพื่อให้ได้ภาพผลลัพธ์ออกมา ภาพผลลัพธ์ที่ได้จะมีคุณสมบัติแตกต่างจากภาพเริ่มต้น วัตถุประสงค์หลักของการกรองข้อมูลภาพคือการเน้น (Enhance) หรือลดทอน (Attenuate) คุณสมบัติบางประการของภาพเพื่อให้ได้ภาพที่มีคุณสมบัติตามต้องการ การกรองข้อมูลภาพ คือการประมวลผลภาพอย่างหนึ่งที่สำคัญมาก เนื่องจากการใช้งานจริงภาพที่ได้มามักมีสัญญาณรบกวน หรือสัญญาณไม่พึงประสงค์อื่นๆมาปะปนอยู่ด้วยการกรองข้อมูลภาพสามารถปรับปรุงให้ภาพมีคุณสมบัติที่ดีขึ้นเหมาะแก่การประมวลผล

องค์ประกอบสำคัญของการกรองข้อมูลภาพ คือ ตัวกรอง คุณสมบัติของตัวกรอง คือ ตัวกำหนดคุณสมบัติของภาพผลลัพธ์ เราอาจมองข้อมูลของภาพๆ หนึ่งให้เป็นสัญญาณๆ หนึ่งได้ด้วย

การกำหนดให้ระดับความเข้มแสงของแต่ละจุด คือ ขนาด (Amplitude) ของสัญญาณ ณ ตำแหน่งนั้นๆ การเปลี่ยนแปลงของข้อมูลภาพเป็นการเปลี่ยนแปลงเทียบกับตำแหน่งของจุดภาพ ความถี่ของการเปลี่ยนแปลงขึ้นอยู่กับอัตราการเปลี่ยนระดับความเข้มแสงของจุดที่อยู่ติดกัน ไป ตัวกรองคือระบบๆ หนึ่งซึ่งรับสัญญาณเข้า (Input) ประมวลผลสัญญาณ และส่งสัญญาณออก (Output) โดยทั่วไปตัวกรองจะถูกสร้างให้เป็นระบบเชิงเส้น (Linear system) เนื่องจากออกแบบได้ง่าย และมีประสิทธิภาพดี ปัจจุบันมีทฤษฎีและเทคนิคมากมายเกี่ยวกับการออกแบบตัวกรองสัญญาณแบบเชิงเส้นในการกรองข้อมูลภาพ โดยพิจารณาว่าภาพคือสัญญาณ 2 มิติที่ประกอบขึ้นจากสัญญาณความถี่ต่างๆ ผสมกันอยู่ในสัดส่วนที่ต่างกัน การออกแบบตัวกรองจึงเป็นการกำหนดว่าเราต้องการกำจัดสัญญาณความถี่ใดออกไปหรือต้องการเลือกสัญญาณความถี่ใดบ้างในการกรองสัญญาณใดๆ เราจะต้องทราบความถี่หรือช่วงความถี่ของสัญญาณที่เราต้องการและสัญญาณที่เราไม่ต้องการจากนั้นเราจะเลือกตัวกรองที่เหมาะสมมาใช้เพื่อจำกัดสัญญาณที่ไม่ต้องการออกหรือเน้นสัญญาณที่ต้องการให้เด่นชัดยิ่งขึ้น ซึ่งการกรองสัญญาณรบกวนมีด้วยกันหลายวิธี ดังต่อไปนี้

2.6.1 การกรองโดยการเฉลี่ยจากหลายภาพหากเรามีชุดของภาพคุณภาพต่ำหลายๆภาพซึ่งถ่ายภาพจากมุมกล้องเดียวกัน เราสามารถสร้างภาพใหม่ที่มีคุณภาพสูงกว่าจากชุดภาพนั้นได้ หากสัญญาณรบกวนเกิดขึ้นแบบสุ่มภาพที่เก็บ แต่ละครั้งย่อมมีลักษณะต่างกัน หากความเข้มแสงของจุดในภาพหนึ่งถูกรบกวนเราสามารถนำข้อมูลความเข้มแสงของจุดจากภาพอื่น ณ ตำแหน่งเดียวกันมาแทน แต่ละจุดในภาพผลลัพธ์ที่ได้ จะเกิดจากการเฉลี่ย (หรือเลือก) จากจุดที่ตรงกันของภาพต่างๆ ในชุดภาพ

2.6.2 การกรองข้อมูลโดยใช้ค่าเฉลี่ยแบบคณิตศาสตร์ (Mean Filtering) วิธีการนี้จะใช้ค่าเฉลี่ยแบบคณิตศาสตร์ของจุดทั้งหมด วิธีนี้เป็นการลดทอนสัญญาณรบกวน ภาพที่ได้จะมีสัญญาณรบกวนลดลง หากมีภาพขนาด ทั้งหมด ภาพ เราสามารถคำนวณหาภาพใหม่ได้ ดังสมการที่ 2.9

$$\hat{I}(x, y) = \frac{1}{K} \sum_{j=1}^K I_j(x, y) \quad (2.9)$$

เมื่อ  $\hat{I}(x, y)$  คือความเข้มแสงของจุด ณ ตำแหน่ง ในภาพผลลัพธ์

$I(x, y)$  คือความเข้มแสงของจุด ณ ตำแหน่ง ในภาพที่

2.6.3 การกรองข้อมูลภาพโดยใช้ค่ามัธยฐาน (Median Filtering) วิธีการนี้จะนำเอาความเข้มแสงของจุดที่ตรงกันในภาพต่างๆ มาเรียงลำดับ (Sort) จากน้อยไปหามากจากนั้นจะเลือกค่าที่อยู่ตรง

กลางไปใช้ หากจำนวนภาพทั้งหมดเป็นจำนวนคู่ค่าทั้งสองอยู่ที่ตรงกลางจะนำมาหาค่าเฉลี่ย วิธีการนี้จะต้องใช้การเรียงลำดับซึ่งเป็นกระบวนการที่ใช้เวลาในการคำนวณสูง แต่ข้อดีคือ ไม่สูญเสียความคมชัด

2.6.4 การกรองข้อมูลภาพโดยใช้ค่านิยม (Modal Filtering) วิธีการนี้คล้ายกับวิธีใช้ค่ามัธยฐานแต่ไม่ใช้การเรียงลำดับข้อมูลระดับความเข้มแสงที่ใช้บ่อยที่สุดจะถูกเลือกไปใช้ วิธีนี้เสมือนการไหลตกลงคะแนนเสียง ผู้ที่ได้คะแนนเสียงสูงที่สุดคือผู้ชนะ วิธีนี้เหมาะสมสำหรับการลดสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นไม่บ่อย

2.6.5 การกรองโดยใช้หน้าต่าง การกรองข้อมูลภาพวิธีนี้จะใช้หน้าต่างในการกำหนดขอบเขตของการพิจารณาเพื่อหาระดับความเข้มแสงของจุดต่างๆในภาพผลลัพธ์ ความเข้มของแสงที่อยู่จุดรอบๆจุดกึ่งกลางของหน้าต่างจะถูกนำมาหาค่าเฉลี่ย ค่าเฉลี่ยที่ได้คือค่าความเข้มแสงของจุดในภาพผลลัพธ์หน้าต่างจะถูกเลื่อนไปยังตำแหน่งต่างๆในภาพจนครบทุกจุด

2.6.6 การกรองโดยวิธีคอนโวลูชัน วิธีการกรองข้อมูลภาพที่กล่าวมาส่วนใหญ่อาศัยหลักของการหาค่าเฉลี่ยของจุดเดียวกันจากหลายๆภาพ หรืออาจจะเป็นการหาค่าเฉลี่ยจากจุดต่างๆที่อยู่รอบๆจุดที่เราสนใจ เนื่องจากการหาค่าเฉลี่ยเป็นการลดการเปลี่ยนแปลงของข้อมูล วิธีการที่ผ่านมาจึงใช้ได้ดีกับการกำจัดสัญญาณรบกวนที่เป็นสัญญาณความถี่สูง ดังที่ได้กล่าวมาแล้วว่าการกรองสัญญาณมีวัตถุประสงค์เพื่อนำคุณสมบัติบางอย่างที่ต้องการในภาพให้เด่นชัดขึ้น ในขณะที่ลดทอนคุณสมบัติที่ไม่ต้องการลง หากเราต้องการเน้นการเปลี่ยนแปลงของระดับความเข้มของจุดต่างๆภายในภาพให้เด่นชัดขึ้น ในที่นี้จะเสมือนกับการกรองสัญญาณความถี่สูงผ่าน เราจะไม่สามารถใช้วิธีการหาค่าเฉลี่ยได้ วิธีที่สามารถนำมาใช้ได้คือ การคอนโวลูชัน (Convolution) ซึ่งเป็นการกระทำกันระหว่างเทมเพลต (Template) กับภาพ (Image) เทมเพลต คือเมตริกซ์ขนาด ของชุดตัวเลขที่จะนำไปซ้อนทับกับภาพที่ตำแหน่งต่างๆ เพื่อหาผลลัพธ์ของการคอนโวลูชัน ถ้ากำหนดให้เทมเพลต เป็นเทมเพลตกับภาพสามารถแสดงได้ ดังสมการที่ 2.10

$$\hat{I}(X, Y) = T * I = \sum_{i=0}^{n-1} \sum_{j=0}^{m-1} T(i, j) I(X - i, Y - j) \quad (2.10)$$

เมื่อ  $\hat{I}(X, Y)$  คือภาพผลลัพธ์จากการคอนโวลูชัน

จากสมการที่ 2.10 จะเห็นว่าระดับความเข้มแสง ณ จุด ในภาพผลลัพธ์ได้จากการหาผลรวมของผลคูณระหว่างค่าในเทมเพลตกับค่าระดับความเข้มแสงของภาพในบริเวณที่เทมเพลต



ซ้อนทับอยู่จากสมการ ตัวชี้ตำแหน่งจุดในภาพ แสดงให้เห็นว่ามีการพลิกเทมเพลตทางแกนนอน และ แกนตั้ง สมการที่ 2.11 แสดงการคอนโวลูชันที่ไม่ต้องมีการพลิกเทมเพลต ซึ่งวิธีการนี้มีชื่อที่แท้จริงว่า Cross-Correlation และเป็นที่ยอมรับใช้ในด้านการประมวลผลภาพ

$$\hat{I}(X, Y) = T * I = \sum_{i=0}^{n-1} \sum_{j=0}^{m-1} T(i, j) \cdot I(X + i, Y + j) \quad (2.11)$$

เมื่อ  $\hat{I}(X, Y)$  คือภาพผลลัพธ์จากการคอนโวลูชัน

ขั้นตอนของการคอนโวลูชันประกอบด้วย การเลื่อน บวก และคูณ เราสามารถใช้การคอนโวลูชันในการประมวลผลภาพได้ในหลายลักษณะเช่น การกรองสัญญาณภาพการหาขอบภาพ (Edge Detection) หรือการหารูปทรงของวัตถุในภาพ เป็นต้น

## 2.7 ภาพไบนารี (Binary Image)

ภาพไบนารีคือภาพซึ่งในแต่ละพิกเซลจะมีความเข้มสองระดับคือขาวกับดำ โดยเขียนแทนด้วยเลข 0 และ 1 ด้วยความเข้มของแสงเพียงสองระดับภาพไบนารีจึงมีข้อจำกัดที่จะนำภาพมาใช้แสดงภาพโดยทั่วไป แต่ทำให้การประมวลผลทำได้รวดเร็วและมีประสิทธิภาพ การประมวลผลภาพไบนารีนำไปใช้มากในการประมวลผลเอกสาร การประมวลผลที่ต้องการความเร็วสูง เช่น การนับจำนวนชิ้นส่วนที่อยู่บนสายพานที่กำลังเคลื่อนที่เป็นต้น การมีความเข้มเพียงสองระดับในภาพไบนารีทำให้สามารถเลือกที่จะพิจารณาให้ความเข้มระดับหนึ่งแทนภาพของสิ่งที่เราสนใจ โดยเรียกพิกเซลที่มีความเข้มระดับนี้ว่าพิกเซลภาพและความเข้มอีกระดับแทนพื้นหลัง ในการพิจารณาภาพไบนารีจะไม่สนใจแต่ละพิกเซลที่แยกกันแต่เราจะสนใจกลุ่มของพิกเซลที่อยู่ติดกัน เช่น กลุ่มของพิกเซลดังรูปที่

2.8

1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

รูปที่ 2.8 ลักษณะภาพไบนารีที่แสดงกลุ่มของพิกเซล [5]

การสร้างภาพไบนารีสามารถทำได้โดยใช้เทคนิคการทำเทรชโฮล (Thresholding Technique) โดยพิจารณาว่าพิกเซลใดเป็นสีขาวหรือสีดำ โดยทำการเปรียบเทียบระหว่างพิกเซลของภาพเริ่มต้นกับค่าคงที่ค่าหนึ่งซึ่งเรียกว่า “ค่าเทรชโฮล”(Threshold Value) ข้อมูลภาพจะมีลักษณะที่ต่างกันระหว่างวัตถุ (Object) และพื้นหลัง (Background) โดยค่าของพิกเซลของภาพใดๆ ที่มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับค่าเทรชโฮลจะถูกเปลี่ยนเป็น 0 (สีดำ) ในการสร้างภาพไบนารีโดยใช้เทคนิคเทรชโฮลเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่เหมาะสมและคมชัด สิ่งที่สำคัญที่สุดคือค่าเทรชโฮล ดังนั้นปัญหาของการสร้างภาพไบนารีคือการกำหนดค่าเทรชโฮลที่เหมาะสม ภาพที่จะนำมาทำการสร้างเป็นภาพไบนารีมีวิธีการคำนวณหาค่าเทรชโฮลได้หลายวิธี โดยแต่ละวิธีเหมาะสมกับลักษณะการทำงานที่แตกต่างกันไป แต่ละวิธีอธิบายได้ดังนี้

2.7.1 การหาค่าเทรชโฮลโดยการกำหนดค่าล่วงหน้า (Pre-Assigned Threshold Value) เป็นการกำหนดค่าเทรชโฮลโดยการกำหนดค่าเองจากผู้ใช้ซึ่งการกำหนดนี้จะขึ้นอยู่กับประสบการณ์ของผู้ใช้ โดยการเลือกค่าคงที่ค่าหนึ่งซึ่งเรียกว่าค่าเทรชโฮล ค่าที่เลือกมานี้จะเป็นค่าที่อยู่ระหว่างค่าต่ำสุดและค่าสูงสุดของระดับความเข้มแสงของภาพ

2.7.2 การหาค่าเทรชโฮลจากค่ากลาง (Mid-Range Threshold Value) คือการหาค่าเทรชโฮลโดยอัตโนมัติ การหาค่าเทรชโฮลนี้ใช้วิธีทางสถิติคือ การหาค่ากลางหรือค่าเฉลี่ย (Mean) ค่าเทรชโฮลที่คำนวณได้จากค่ากึ่งกลางที่อยู่ระหว่างค่าระดับความเข้มสูงสุด (Maximum Level) และระดับความเข้มต่ำสุด (Minimum Level) ของภาพเพื่อทำการคำนวณค่าเทรชโฮลได้แล้วก็สามารถสร้างภาพไบนารีได้โดยนำค่าเทรชโฮลที่ได้มาใช้

## 2.8 การนับจำนวนพิกเซล (Pixel Counting)

โดยทั่วไปเราไม่สนใจพิกเซลเดี่ยว ๆ ที่แยกกัน ไป แต่เราสนใจกลุ่มของพิกเซลที่อยู่ติดกัน ซึ่งพิกเซลเหล่านี้อาจเป็นภาพของสิ่งที่เราสนใจ ข้อมูลที่เราต้องการทราบอยู่บ่อยๆ อย่างหนึ่งก็คือ จำนวนกลุ่มของพิกเซลที่อยู่ติดกัน การที่เราจะทราบจำนวนดังกล่าวได้เราต้องสามารถแยกพิกเซลออกเป็นกลุ่มๆ ที่ติดกัน เรานิยามในลักษณะคล้าย ๆ กับนิยามของ Connected component จากทฤษฎีกราฟ นั่นก็คือทุก ๆ กลุ่มของพิกเซลในกลุ่มเดียวกันจะต้องมีเส้นทางเชื่อมที่ประกอบไปด้วยพิกเซลอื่น ๆ ในกลุ่มที่เรียงต่อกัน โดยต้องไม่มีเส้นทางระหว่างกลุ่มพิกเซลต่างกลุ่ม วิธีนับที่จะเสนอนี้ทำงานโดยแจกหมายเลขกลุ่มให้กับแต่ละพิกเซล พิกเซลที่อยู่คนละกลุ่มจะได้หมายเลขต่างกัน ในอัลกอริทึมนี้ ภาพไบนารีที่จะนำมาประมวลผลถูกเก็บในแถวลำดับสองมิติ

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

รูปที่ 2.9 การแบ่งกลุ่มของพิกเซลที่อยู่ติดกัน

## 2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากทฤษฎีทั้งหมดที่กล่าวมานี้ จะนำไปประยุกต์ใช้กับการศึกษาการระบุตำแหน่งของหุ่นยนต์ตรวจสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดใหญ่โดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาพ สำหรับงานวิจัยทางด้าน การประมวลผลภาพนี้จะนำจำนวนพิกเซลมาใช้นับร่องรอยอากาศในเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้คัดเลือกงานวิจัยที่เกี่ยวข้องและมีความใกล้เคียงกับงานวิจัยที่กำลังศึกษา ดังตัวอย่างต่อไปนี้

2.9.1 ในงานวิจัยของ [9] นำเสนอในหัวข้อ “Pixel counting for percentage estimation: Applications to sedimentary petrology” การนำวิธีการนับจำนวนพิกเซลไปใช้ในงานด้านธรณีวิทยา เพื่อหาเปอร์เซ็นต์ของหินตะกอนที่ปะปนในดิน โดยใช้ข้อมูลรูปร่าง ขนาดและสีในการทำไบนารี

ภาพ จากนั้นสัญญาณรบกวนและพื้นหลังของวัตถุจะถูกฟิลเตอร์ออกจากภาพ การนับได้ผลที่ถูกต้องมากขึ้น

2.9.2 ในงานวิจัยของ [10] นำเสนอในหัวข้อ “Robust Background Model for Pixel Based People Counting using a Single Uncalibrated Camera” การแบ่งแยกพิกเซลของคนที่จะนับด้วยการลบภาพพื้นหลังออกจากภาพทำให้เห็นภาพคนได้ชัดเจนขึ้น และนับได้ถูกต้อง 64% แต่ก็ยังมีข้อจำกัดซึ่งจะนับได้ดีก็ต่อเมื่อภาพวิดีโอเคลื่อนไหวนิ่งช้า

2.9.3 ในงานวิจัยของ [12] นำเสนอในหัวข้อ “Image binarization focusing on objects” การทำไบนารีภาพโดยเน้นความสม่ำเสมอในการกระจายภาพระดับสีเทา เมื่อเปรียบเทียบกับอีกสองวิธีคือ Otsu’s method และ Kwon’s method วิธีที่นำเสนอสามารถจัดสัญญาณรบกวนได้ดีและเห็นภาพวัตถุชัดเจนขึ้น แต่ก็ใช้การคำนวณที่เพิ่มขึ้นมากเช่นกัน

2.9.4 ในงานวิจัยของ [13] นำเสนอในหัวข้อ “An Image Thresholding Method Based on Human Visual Perception” เสนอวิธีการทำเทรชโฮลแต่ละแบบซึ่งใช้คุณสมบัติการรับรู้ภาพของมนุษย์และลักษณะทางสถิติของภาพ ซึ่งสามารถช่วยลดการค้นหาและเวลาของการทำเทรชโฮลได้ดีขึ้น

2.9.5 ในงานวิจัยของ [14] นำเสนอในหัวข้อ “Towards improving quality of video-based vehicle counting method for traffic flow estimation” ทำการปรับปรุงคุณภาพการนับยานพาหนะ โดยวิธีการลบพื้นหลังออกจากภาพ การเติมเต็มภาพ (fill hole) และมอร์โฟโลยี (morphology) ใช้การกำหนดขอบเขต (virtual loops) ที่จะนับโดยสามารถป้องกันสัญญาณรบกวนจากบริเวณที่ไม่ต้องการผลการนับได้ถูกต้องถึง 98% แต่ก็ยังต้องปรับปรุงคุณภาพในสภาพการจราจรที่แตกต่าง

2.9.6 ในงานวิจัยของ [15] นำเสนอในหัวข้อ “Crowd Counting in Public Video Surveillance by Label Distribution Learning” ทำการนับฝูงชนโดยการทำไบนารีภาพและการทำ Edge Detection จากนั้นกำหนดกรอบที่ต้องการนับและลบภาพนอกกรอบออกซึ่งเป็นบริเวณที่ไม่ต้องการ ซึ่งได้ผลการนับที่แม่นยำขึ้น

2.9.7 ในงานวิจัยของ [16] นำเสนอในหัวข้อ “Range Sensing, Localization, and Error Elimination of Two-Wheeled Mobile Robots” แก้ไขปัญหาความผิดพลาดของการระบุตำแหน่งหุ่นยนต์ซึ่งมีผลกระทบจากการลื่นไถลส่งผลต่อการอ่านค่าของเอนโคเดอร์ผิดพลาดไป โดยใช้ข้อมูลจากเลเซอร์เรนเจอร์ร่วมกับข้อมูลจากเอนโคเดอร์มาช่วยในการระบุตำแหน่งของหุ่นยนต์และสามารถแก้ไขปัญหาได้ดีขึ้น

2.9.8 ในงานวิจัยของ [19] นำเสนอในหัวข้อ “A Computer Vision Based Vehicle Detection and Counting System” เป็นการนับยานพาหนะจากภาพวิดีโอโดยวิธีการลบพื้นหลังออกจากภาพ ทำการเทรชโฮล (Threshold) การเติมเต็มภาพ (hole filling) และมอร์โฟโลยี (adaptive morphology) สุดท้ายยานพาหนะจะถูกนับในกรอบการนับที่กำหนด (virtual detection zone) ผลการนับได้ถูกต้อง 96% แต่ยังมีกรอบผิดพลาดเกิดขึ้นจากวัตถุที่ไม่ชัดเจน

2.9.9 ในงานวิจัยของ [20] นำเสนอในหัวข้อ “Real-Time Incremental Segmentation and Tracking of Vehicles at Low Camera Angles Using Stable Features” การติดตามยานพาหนะตามเวลาจริงเมื่อกล้องทำมุมกล้องต่ำ ด้วยขั้นตอนการแยกข้อมูลภาพที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากกล้องทำมุมต่ำจึงทำให้ภาพยานพาหนะขนาดใหญ่ไปบดบังยานพาหนะขนาดเล็กกว่า เทคนิคนี้เพิ่มข้อมูลภาพจากการเพิ่มกล้องด้านข้างถนน ทำการนับยานพาหนะให้ความถูกต้องมากกว่า 90%

2.9.10 ในงานวิจัยของ [21] นำเสนอในหัวข้อ “Distance and Angle Measurement of Objects on an Oblique Plane Based on Pixel Number Variation of CCD Images” การวัดระยะทางและมุมของวัตถุบนพื้นเอียงโดยอิงจากจำนวนพิกเซล ซึ่งวัตถุในแนวเอียงจะวัดระยะทางได้ยากกว่าวัตถุในแนวระนาบ งานวิจัยนี้จะใช้จำนวนพิกเซลที่เปลี่ยนแปลงไม่เท่ากันทั้งสองด้านของวัตถุมากำหนดจุดอ้างอิงในการวัด

2.9.11 ในงานวิจัยของ [22] นำเสนอในหัวข้อ “An Efficient Multiple Object Detection and Tracking Framework for Automatic Counting and Video Surveillance Applications” การตรวจจับและการติดตามวัตถุโดยกรอบสำหรับการนับอย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งจะทำการลบพื้นหลังออกจากภาพและกำหนดกรอบสำหรับการนับติดตามวัตถุที่เคลื่อนที่ โดยใช้ข้อมูลจากกล้องที่มากกว่าหนึ่ง เพื่อแก้ไขการนับที่ผิดพลาดในจุดที่เข้าไม่ถึง

2.9.12 ในงานวิจัยของ [23] นำเสนอในหัวข้อ “Review of Optical Flow Technique for Moving Object Detection” เป็นการใช้ Optical Flow Technique สำหรับการตรวจจับวัตถุที่เคลื่อนที่ตามเวลาจริง โดยผ่านกระบวนการทำไบเนอริภาพและ Flow vector จะไหลตามวัตถุที่เคลื่อนที่ในแต่ละเฟรมภาพ ซึ่งสามารถระบุระยะทางและคำนวณความเร็วของวัตถุที่เคลื่อนที่ได้ถูกต้องสูงสุด 88.89%

2.9.13 ในงานวิจัยของ [24] นำเสนอในหัวข้อ “Detection of Abnormal Visual Events via Global Optical Flow Orientation Histogram” การตรวจจับภาพที่ผิดปกติผ่านทางกล้องวิดีโอ โดยการ ใช้ Optical Flow Technique จากนั้นปรับฮิสโตแกรมในแต่ละเฟรม และลบพื้นหลังออกจากภาพให้ได้ข้อมูลของแต่ละเฟรมวิดีโอ ผลการทดสอบจากวิดีโอหลายชุดให้ผลตอบแทนที่ดีที่สุด

2.9.14 ในงานวิจัยของ [25] นำเสนอในหัวข้อ “Moving Object Counting Using a Tripwire in H.265/HEVC Bitstreams for Video Surveillance” การนับจำนวนวัตถุที่เคลื่อนที่โดยใช้ภาพวิดีโอ เพื่อลดการคำนวณจึงกำหนดพื้นที่ ROI ประมาณจำนวนวัตถุที่เคลื่อนที่ผ่านในกรอบ สามารถเพิ่มความเร็วในการประมวลผลได้มากกว่า 400% ในขณะที่ความผิดพลาดเฉลี่ยต่อกรอบเพิ่มขึ้นเพียง 0.02% เมื่อเทียบกับความถูกต้องในการนับพิกเซลแบบดั้งเดิม ผลการวิจัยสามารถประยุกต์ใช้กับการจัดการจราจรแบบเรียลไทม์

2.9.15 ในงานวิจัยของ [26] นำเสนอในหัวข้อ “Image-Based Distance and Area Measuring Systems” เป็นการวัดระยะทางและพื้นที่โดยกล้อง CCD โดยใช้เลเซอร์สองตัวที่ติดตั้งอยู่ด้านซ้ายและขวาของกล้องยิงไปที่วัตถุเพื่อเป็นจุดอ้างอิง แล้วนำมาคำนวณระยะทางและพื้นที่ร่วมกับภาพที่ได้จากกล้อง จากการทดลองวัดผิดพลาดไม่เกิน 3%

จากงานวิจัยที่กล่าวมาข้างต้นพบว่ามีการศึกษาระเบียบวิธีในการแก้ไขปัญหาการระบุตำแหน่งที่ผิดพลาดและเทคนิคมากมายที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับการระบุตำแหน่งหุ่นยนต์ ตรวจสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าได้ สำหรับงานวิจัยนี้เสนอการนับร่องรอยอากาศภายในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดใหญ่ซึ่งเป็นพื้นที่ปิด โดยร่องรอยอากาศนี้มีระยะห่างระหว่างร่องเท่า ๆ กัน ภาพวิดีโอได้ถูกอ่านจากกล้องที่ติดกับตัวหุ่นยนต์และนำมาประมวลผลภาพโดยการทำไบนารีภาพ กำหนดเส้นขอบเขตการนับ (Line Detector) และใช้ข้อมูลการนับจำนวนพิกเซลมาเปรียบเทียบค่าการเปลี่ยนแปลงของจำนวนพิกเซลในเฟรมปัจจุบันเทียบกับเฟรมก่อนหน้า โดยใช้เส้นขอบเขตการนับ 2 เส้นเพื่อตรวจสอบซ้ำเพิ่มความถูกต้อง ก่อนที่จะนับเป็นจำนวนร่องรอยอากาศภายในเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

## บทที่ 3

### วิธีการดำเนินงานวิจัย

ในการระบุตำแหน่งของหุ่นยนต์ตรวจสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดใหญ่ โดยทั่วไปจะระบุตำแหน่งโดยการอ่านค่าระยะทางจากเอนโคเดอร์ที่ติดอยู่กับล้อสายพานของหุ่นยนต์ แต่เนื่องจากล้อสายพานของหุ่นยนต์ซึ่งยึดเกาะกับร่องเฟืองภายในตัวหุ่นยนต์เองมีขนาดพื้นที่ที่ตื้นเพราะหุ่นยนต์มีขนาดบาง และการยึดเกาะของหุ่นยนต์ภายในของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะอาศัยแรงแม่เหล็กระหว่างล้อกับสเตเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า นอกจากนี้หุ่นยนต์ยังต้องลากสายไฟและสายสัญญาณต่างๆไปด้วย ซึ่งการที่หุ่นยนต์ต้องแบกรับน้ำหนักดังกล่าว ทำให้เกิดความผิดพลาดของการระบุตำแหน่งของหุ่นยนต์อันเนื่องมาจากการลื่นไถลระหว่างล้อสายพานกับร่องเฟือง ในทางปฏิบัตินั้น จากการสอบถามพนักงานผู้ปฏิบัติงานของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยได้ความว่า การระบุตำแหน่งของหุ่นยนต์ไม่จำเป็นต้องระบุให้ละเอียดมากถึงในระดับเซนติเมตร หากสามารถระบุตำแหน่งของหุ่นยนต์โดยอ้างอิงจากจำนวนของร่องระบายอากาศภายในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าได้ก็เพียงพอต่อการนำไปใช้งานแล้ว ดังนั้นเพื่อแก้ไขปัญหที่เกิดขึ้นจากการไถลของล้อสายพานจึงได้เสนอวิธีการระบุตำแหน่งของหุ่นยนต์จากการนับร่องระบายอากาศภายในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแทนการอ่านค่าจากเอนโคเดอร์โดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาพ ข้อดีอย่างหนึ่งของวิธีการที่นำเสนอนี้คือ เนื่องจากที่ส่วนหน้าของหุ่นยนต์มีกล้องติดอยู่แล้วจึงสามารถนำมาใช้ในการระบุตำแหน่งของหุ่นยนต์โดยไม่มีความจำเป็นที่จะต้องแก้ไขระบบกลไกใดๆ ในตัวหุ่นยนต์เพิ่มเติมเลย เพียงเพิ่ม โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นเข้าไปทำการประมวลผลสัญญาณภาพที่ถ่ายได้จากกล้องเท่านั้น การออกแบบวิธีการดำเนินงานวิจัยนี้ประกอบไปด้วยขั้นตอนต่างๆ ดังต่อไปนี้

1. เพื่อที่จะพิสูจน์ว่าการระบุตำแหน่งของหุ่นยนต์จากการอ่านค่าเอนโคเดอร์เพียงอย่างเดียว นั้น ค่าที่อ่านได้มีความผิดพลาดค่อนข้างมาก จำเป็นจะต้องใช้วิธีการหรือเครื่องมืออย่างอื่นช่วยในการระบุตำแหน่ง ขั้นตอนนี้จึงจะเริ่มจากการทดสอบความผิดพลาดของการระบุตำแหน่งหุ่นยนต์ตรวจสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเดิมที่ใช้วัระยะทางโดยเอนโคเดอร์ โดยในขั้นตอนนี้จะทำการทดสอบด้วยการนำหุ่นยนต์ไปวิ่งบนสล็อตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจำลองที่สร้างขึ้นมาเฉพาะในห้องปฏิบัติการแล้วทำการบันทึกค่าและแสดงผลการวัดระยะทางจากเอนโคเดอร์เทียบกับระยะทางจริง ใน

ขณะเดียวกันก็จะได้ทำการบันทึกวิดีโอจากกล้องที่ติดอยู่ตอนหน้าของหุ่นยนต์เพื่อนำมาทดสอบการระบุตำแหน่งด้วยวิธีประมวลผลภาพที่นำเสนอต่อไป

2. หลังจากพิสูจน์ได้แล้วแล้วว่าค่าที่อ่านได้จากเอนโคดเดอร์ไม่สามารถระบุตำแหน่งได้ดีเพียงพอ จากวิดีโอที่บันทึกได้ในขั้นตอนที่ 1 จะนำเข้ามาสู่กระบวนการประมวลผลภาพด้วยขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมที่ได้ออกแบบไว้เพื่อทดสอบการระบุตำแหน่งของหุ่นยนต์โดยการนับร่องระบายอากาศภายในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจำลอง และนำผลที่ได้เปรียบเทียบกับผลลัพธ์ที่ได้จากขั้นตอนที่ 1

3. หลังจากได้พัฒนาโปรแกรมจนให้ผลลัพธ์ที่ดีเป็นที่พอใจแล้ว จึงได้นำโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นไปทดสอบด้วยวิดีโอที่บันทึกได้จากการนำหุ่นยนต์ตรวจสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าไปใช้งานจริงที่โรงไฟฟ้า ทำการบันทึกผลและเปรียบเทียบผลการระบุตำแหน่งจากการวัดระยะทางโดยเอนโคดเดอร์กับการระบุตำแหน่งจากวิธีประมวลผลภาพที่นำเสนอ

### 3.1 การทดสอบความผิดพลาดของการระบุตำแหน่งหุ่นยนต์ตรวจเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

เพื่อแสดงให้เห็นว่าผลการระบุตำแหน่งโดยเอนโคดเดอร์สามารถเกิดความผิดพลาดอย่างมากจากการลื่นไถลระหว่างสายพานกับร่องเฟืองในตัวหุ่นยนต์ ก่อนการทดสอบได้ทำการหาค่าอัตราส่วนเพื่อแปลงค่าที่อ่านได้จากเอนโคดเดอร์เป็นค่าในหน่วยระยะทางเป็นเซนติเมตรสำหรับกรณีที่หุ่นยนต์เคลื่อนที่แบบไม่มีการลื่นไถล หลังจากนั้นค่าที่ได้จะนำมาใช้ในการแปลงค่าระยะทางตลอดการทดลอง ในขั้นตอนการทดสอบความผิดพลาดนี้ ได้ทำการทดลองในห้องปฏิบัติการ โดยให้หุ่นยนต์วิ่งบนสล็อตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจำลองดังแสดงในรูปที่ 3.1 ด้านซ้ายมือ โดยสล็อตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจำลองมีระยะทางทั้งสิ้น 156 เซนติเมตร แถบสีเหลืองในภาพจะใช้แทนร่องระบายอากาศในเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ในระหว่างที่หุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปนั้นก็จะทำการอ่านและบันทึกค่าของเอนโคดเดอร์เก็บไว้ในขณะเดียวกันก็ได้ทำการบันทึกวิดีโอจากกล้องที่อยู่ด้านหน้าของหุ่นยนต์ดังแสดงในจอคอมพิวเตอร์ในรูปด้านขวา จากค่าที่อ่านได้ในรูปตัวอย่างที่ 3.1 จะพบว่าหุ่นยนต์วิ่งไปจนสุดของสล็อตจำลองแล้ว ค่าที่อ่านได้ควรจะใกล้เคียงกับค่าระยะทางทั้งหมดที่หุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่ได้ แต่ค่าที่อ่านได้จริงๆ ในการทดสอบครั้งนี้คือ 98.38 เซนติเมตร ซึ่งห่างจากค่าจริงไปค่อนข้างมาก จึงทำให้ไม่สามารถนำค่าที่อ่านได้นี้ไปใช้ในการระบุตำแหน่งของหุ่นยนต์





รูปที่ 3.1 ตัวอย่างการทดสอบความผิดพลาดของการระบุตำแหน่งโดยเอนโคเดอร์

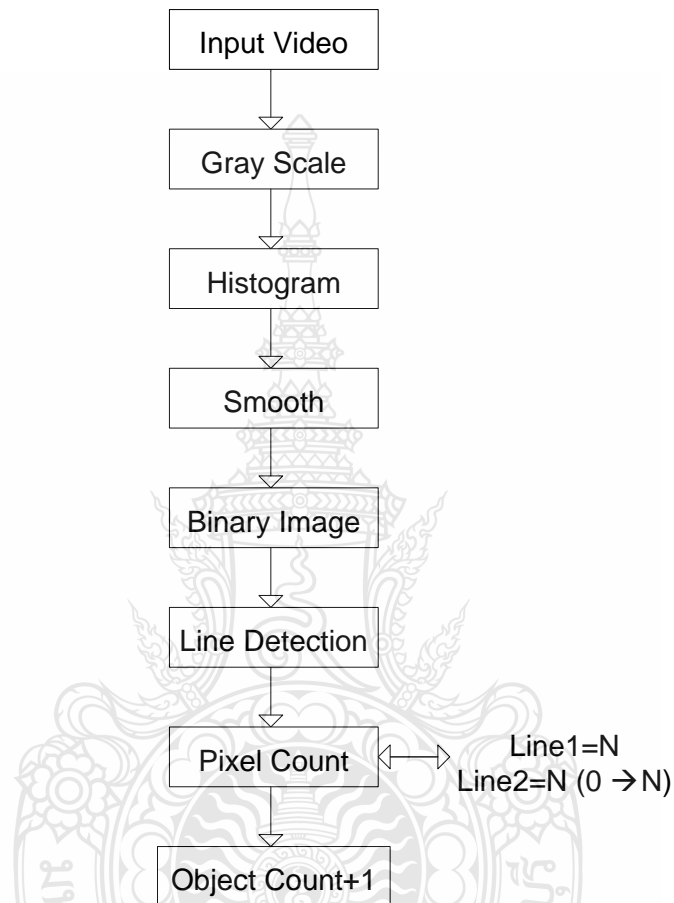
### 3.2 ขั้นตอนการพัฒนาาระบบระบุตำแหน่งของหุ่นยนต์ด้วยวิธีประมวลผลภาพ

วิธีการที่จะนำเสนอต่อไปนี้จะเป็นการระบุตำแหน่งของหุ่นยนต์จากจำนวนร่องระบายอากาศที่หุ่นยนต์เคลื่อนที่ผ่าน โดยการประมวลผลภาพถ่ายวิดีโอที่ได้จากกล้องด้านหน้าที่ติดอยู่กับตัวหุ่นยนต์ โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นจะทำการประมวลผลภาพถ่ายด้วยการนับจำนวนของร่องระบายอากาศถึงวิธีการนี้จะไม่สามารถระบุตำแหน่งของหุ่นยนต์ได้ละเอียดในหน่วยเซนติเมตรแต่ก็ถือว่าเพียงพอต่อการนำไปใช้งาน โปรแกรมดังกล่าวถูกพัฒนาขึ้นด้วยภาษา C++ ใช้คอมไพเลอร์ Visual Studio 2010 ร่วมกับฟังก์ชันการประมวลผลภาพของ OpenCV 2.45

ภาพวิดีโอที่ได้จากกล้องหน้าของหุ่นยนต์ตรวจสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าโดยทั่วไปจะเป็นภาพสีซึ่งไม่เหมาะกับการนำไปประมวลผลในขั้นต่อไป เนื่องจากปริมาณข้อมูลของภาพสีมีค่าเป็นสามเท่าของภาพสีเทา แต่ก็ให้ข้อมูลที่จำเป็นได้พอๆ กับภาพสีเทาสำหรับใช้ในกระบวนการวิธีที่จะนำเสนอ ดังนั้นจึงได้ทำการแปลงจากภาพสีไปเป็นภาพสีเทาก่อนที่จะส่งไปประมวลผลต่อไปในขั้นตอนต่อไป

เพื่อให้ภาพมีความสว่างเท่าๆ กันทั้งภาพ และทำให้ค่าความเข้มภาพมีจำนวนใกล้เคียงกัน จึงนำภาพสีเทาที่ได้ไปผ่านการทำฮิสโตแกรม หลังจากนั้นเพื่อทำให้ภาพดูเรียบขึ้น จึงนำภาพที่ผ่านการทำฮิสโตแกรม มากำจัดสัญญาณรบกวนด้วยการนำภาพที่ได้ไปผ่านตัวกรองชนิดเกาเซียน และเพื่อทำให้ภาพร่องระบายอากาศที่ต้องการนับปรากฏเด่นชัดขึ้น จึงนำภาพที่ผ่านตัวกรองสัญญาณแล้วมาทำไบนารีภาพ จากนั้นจึงเข้าสู่กระบวนการนับจำนวนร่องระบายอากาศ โดยการกำหนดเส้นขอบเขตการนับ ทำการนับจำนวนพิกเซลโดยเส้นขอบเขตการนับ และนับจำนวนร่องระบายอากาศเมื่อร่องระบายอากาศที่ต้องการนับเคลื่อนเข้าสู่เส้นขอบเขตการนับทั้งสองเส้น

จากกระบวนการวิธีที่พัฒนาขึ้น ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยในเรื่องการระบุตำแหน่งของหุ่นยนต์ตรวจสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าโดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาพสามารถสรุปเป็นผังงานได้ดังแสดงในรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 ขั้นตอนการทำงานของการประมวลผลภาพเพื่อนับจำนวนร่องระบายอากาศ

### 3.3 การทดลองนับร่องระบายอากาศโดยใช้วิดีโอในห้องปฏิบัติการ

จากขั้นตอนการทำงานของการประมวลผลภาพเพื่อนับจำนวนร่องระบายอากาศในรูป 3.2 ได้ถูกนำมาพัฒนาเป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์โดยใช้ภาษา C++ ด้วยคอมไพเลอร์ Visual Studio 2010 ร่วมกับฟังก์ชันการประมวลผลภาพของ OpenCV 2.45 แล้วนำมาทดสอบกับภาพถ่ายวิดีโอที่ได้จากกล้องหน้าหุ่นยนต์เมื่อหุ่นยนต์วิ่งอยู่บนสล็อตเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจำลองในห้องปฏิบัติการ ซึ่งสล็อตเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจำลองมีระยะทางทั้งสิ้น 156 เซนติเมตรหรือเท่ากับร่องระบายอากาศจำนวน 26 ร่อง

### 3.3.1 การบันทึกวิดีโอจากกล้องหน้าหุ่นยนต์ในขณะที่เคลื่อนอยู่บนสล็อตเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจำลอง

กล้องด้านหน้าของหุ่นยนต์ถูกติดตั้งไว้เพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถตรวจสอบร่องรอยการชำรุดภายในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าด้วยสายตา ผู้ใช้งานสามารถที่จะสั่งงานให้หุ่นยนต์หมุนหน้ากล้องให้สามารถเห็นภาพบริเวณด้านข้างและด้านหน้าของหุ่นยนต์ สำหรับการใช้งานกล้องเพื่อนำภาพถ่ายที่ได้มาใช้ในการนับร่องรอยอากาศนั้น ผู้ใช้งานต้องบังคับให้กล้องหันไปเพื่อถ่ายภาพบริเวณด้านหน้าของหุ่นยนต์ดังภาพด้านหน้าของหุ่นยนต์ที่แสดงในรูปที่ 3.3 การใช้งานหุ่นยนต์ในขั้นตอนนี้โดยปกติจะใช้สำหรับตรวจสอบสล็อตแต่ละแถวที่อยู่ภายในเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ซึ่งการตรวจสอบสล็อตแต่ละแถวสามารถทำแยกกันอิสระจากกัน ในเบื้องต้นเพื่อความสะดวกในการพัฒนาและทดสอบวิธีการนับร่องรอยอากาศจึงได้สร้างสล็อตภายในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจำลองขึ้นมา เมื่อนำหุ่นยนต์ขึ้นไปวิ่งบนสล็อตจำลองและทำการบันทึกวิดีโอ วิดีโอที่ได้จากกล้องหน้าของหุ่นยนต์จะเห็นร่องรอยอากาศอยู่ตามความยาวของสล็อตแต่ละแถวดังรูปที่ 3.3 จะเห็นว่าในหนึ่งสล็อตจะมีร่องรอยอากาศหลายร่องและมีระยะห่างที่เท่าๆ กัน จำนวนร่องรอยอากาศจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับขนาดและประเภทของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

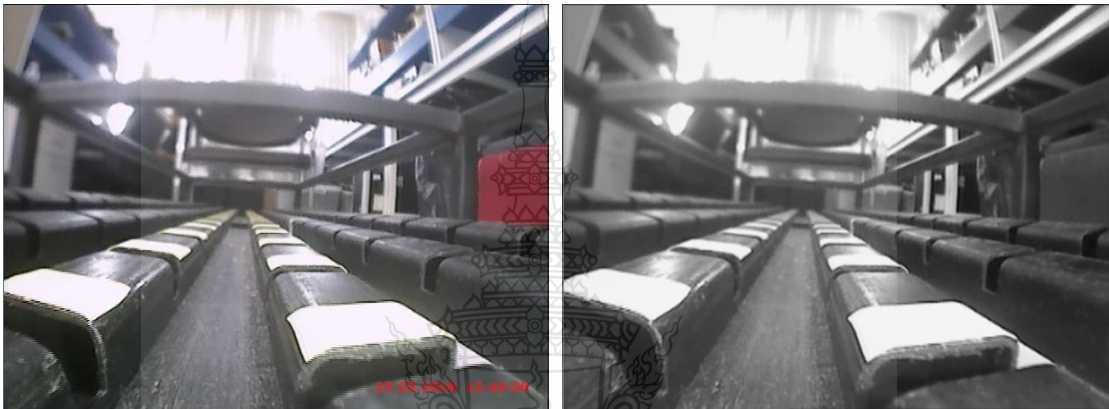
กล้องด้านหน้าของหุ่นยนต์เป็นกล้อง Analog ส่งสัญญาณให้คอมพิวเตอร์ผ่านทาง USB VDO Capture ภาพของวิดีโอที่ได้มีขนาด 640×480 พิกเซล ที่อัตรา 24 เฟรมต่อวินาที ในการทดลองหุ่นยนต์เคลื่อนที่ด้วยความเร็วเฉลี่ยประมาณ 1.9 เมตรต่อวินาที โดยความเร็วเฉลี่ยวัดจากระยะที่เคลื่อนได้ทั้งหมดหารด้วยเวลาจากจุดเริ่มต้นถึงจุดสุดท้าย



รูปที่ 3.3 ตัวอย่างภาพจากวิดีโอที่นำมาใช้ในการประมวลผลนับจำนวนร่องรอยอากาศ

### 3.3.2 การทำภาพระดับเทา (Grayscale)

ภาพที่ได้จากขั้นตอนที่แล้วเป็นภาพสี ก่อนที่จะนำภาพสีที่ได้ไปทำการประมวลผลในขั้นตอนถัดไป จำเป็นจะต้องแปลงภาพสีที่ได้เป็นภาพสีเทาเสียก่อน โดยภาพสีในแต่ละภาพที่แยกออกมาได้จากวิดีโอจะถูกทำการแปลงเป็นภาพสีเทาด้วยสมการที่ 2.7 ในบทที่ 2 ตัวอย่างภาพที่ได้จากขั้นตอนนี้จากภาพสีในรูปที่ 3.4 ซ้ายมือเมื่อทำการแปลงเป็นภาพระดับสีเทาจะได้ผลลัพธ์ ดังตัวอย่างในรูปที่ 3.4 ขวามือ



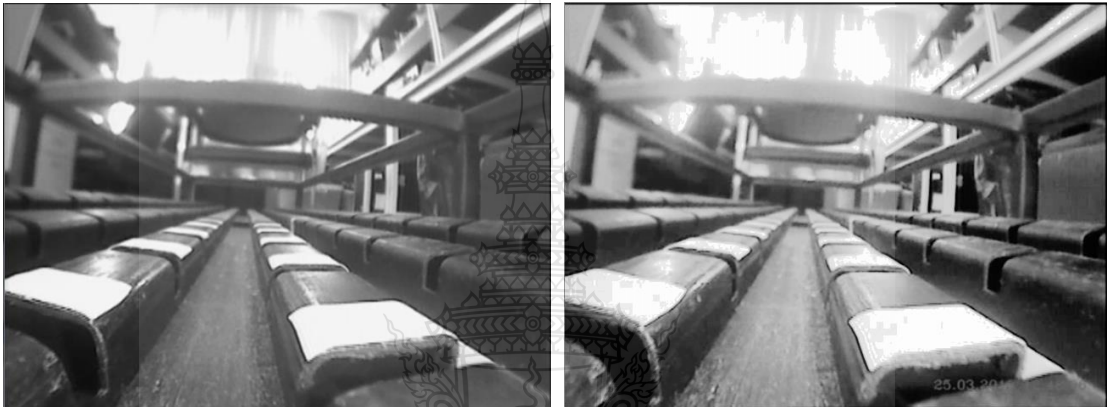
รูปที่ 3.4 ตัวอย่างภาพสีในด้านขวามือเมื่อถูกแปลงเป็นภาพสีเทาในภาพซ้ายมือ

เมื่อภาพสีถูกเปลี่ยนเป็นภาพระดับเทาแล้ว ภาพที่ได้โดยปกติจะสามารถนำมาประมวลผลได้ง่ายขึ้นและรวดเร็วขึ้น ซึ่งถ้าหากภาพสีมาเข้ากระบวนการทำงานอาจจะทำให้เกิดความช้าได้เพราะว่าภาพสีแต่ละภาพประกอบขึ้นด้วยภาพสามภาพที่เป็นภาพโทนสีแดง ภาพโทนสีเขียว และภาพโทนสีน้ำเงิน ฉะนั้นการที่จะเข้าถึงภาพและประมวลผลก็ต้องเข้าถึงข้อมูลทั้งสามข้อมูล (แดงเขียวน้ำเงิน) แต่ระดับสีเทานั้นจะทำให้ได้ง่ายและเร็วกว่าเพราะมีเพียง โทนสีเดียว

### 3.3.3 การปรับเท่าความสว่างฮิสโตแกรม

ในการปฏิบัติงานจริง นอกจากหุ่นยนต์จะมีกล้องติดไปด้วยแล้วยังมีแหล่งกำเนิดแสงติดไปด้วยเพื่อให้ความสว่างภายในเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ทำให้เมื่อมีการเคลื่อนที่ของรถ ความสว่างของภาพโดยรวมจะไม่เท่ากัน บางส่วนจะสว่างเกินไป บางส่วนอาจจะมืดเกินไป และการเกิดขึ้นเป็นการเกิดขึ้นแบบไม่สม่ำเสมอเหมือนกันทุกตำแหน่งที่หุ่นยนต์เคลื่อนไป เพื่อให้การนับจำนวนร่องระบายอากาศเป็นไปได้อย่างถูกต้องภายใต้ความสว่างที่ไม่สม่ำเสมอ จึงมีความจำเป็นที่จะต้องปรับความ

สว่างของภาพให้เท่ากันตลอดภาพให้ได้มากที่สุดที่เป็นไปได้ ในขั้นตอนนี้ภาพระดับสีเทาจากรูปที่ 3.5 ซ้ายมือ จะถูกนำมาเข้ามาเข้ากระบวนการปรับเท่าความสว่างภาพด้วยการทำฮิสโตแกรมดังที่ได้ อธิบายถึงวิธีการในบทที่ผ่านมา การทำฮิสโตแกรม เป็นวิธีการปรับแก้ความสว่าง ที่จะทำการยืด ข้อมูลภาพให้มีความสว่างเท่ากันทั่วทั้งภาพ วิธีการนี้คือการพยายามเปลี่ยนการกระจายข้อมูลที่ไม่ ปกติให้เป็นแบบปกติและปรับจำนวนจุดภาพในแต่ละค่าความเข้มให้มีจำนวนใกล้เคียงกัน ตัวอย่าง ผลลัพธ์ที่ได้แสดงได้ดังในรูปที่ 3.5 ขวามือ



รูปที่ 3.5 การทำฮิสโตแกรม

### 3.3.4 การกำจัดสัญญาณรบกวน

ในสภาพการใช้งานจริง หุ่นยนต์จะทำงานอยู่ภายในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซึ่งเป็นบริเวณที่บ แสง ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องใช้แหล่งกำเนิดแสงช่วยให้ความสว่างดังที่ได้อธิบายผ่านมา อย่างไรก็ตามความสว่างของแสงที่ให้อาจจะไม่เพียงพอและมีการสะท้อนฝุ่นละอองที่อยู่ภายในเครื่อง กำนเนิดไฟฟ้าทำให้ภาพถ่ายที่ได้มีสัญญาณรบกวนเกิดขึ้นด้วย ดังนั้นก่อนที่จะนำภาพที่ได้จาก กระบวนการที่ผ่านๆ มาจึงจำเป็นที่จะต้องลดผลของสัญญาณรบกวนเหล่านี้ก่อน



รูปที่ 3.6 การกำจัดสัญญาณรบกวน

การกำจัดสัญญาณรบกวนในที่นี้ จะใช้การกรองโดยวิธีคอนโวลูชัน เป็นการกรองเชิงพื้นที่ (spatial filtering) เพื่อการเน้นเส้นขอบ (edge enhancement) กรองผ่านความถี่ต่ำ (low-pass filtering) ตัวกรองนี้จะกรองข้อมูลบนภาพที่มีค่าความถี่เชิงพื้นที่สูงไว้ เช่น บริเวณรอยต่อของวัตถุต่างชนิดกัน และปล่อยให้ส่วนของข้อมูลบนภาพที่มีความถี่เชิงพื้นที่ต่ำกว่าระดับที่กำหนดผ่านออกไป ส่งผลให้ภาพดูเรียบขึ้น ตัวกรองความถี่ต่ำที่ใช้เป็นตัวกรองแบบเกาส์เซียน (Gaussian filter)

การกรองเชิงพื้นที่เป็นการเฉลี่ยเซตของจุดภาพทั้งภาพ โดยอาศัยตารางกริดรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส (matrix) ซึ่งจะมีจำนวนจุดภาพทั้งในแนวตั้งและแนวนอน เป็นเลขคู่เสมอ เช่น 3x3 5x5 และ 7x7 เป็นต้น เพื่อใช้ในการคำนวณค่าเฉลี่ยของจุดภาพ ณ ตำแหน่งกึ่งกลางของเมทริกซ์ ซึ่งในการทดลองนี้ใช้จำนวนจุดภาพในแนวตั้งและแนวนอนที่ 9x9

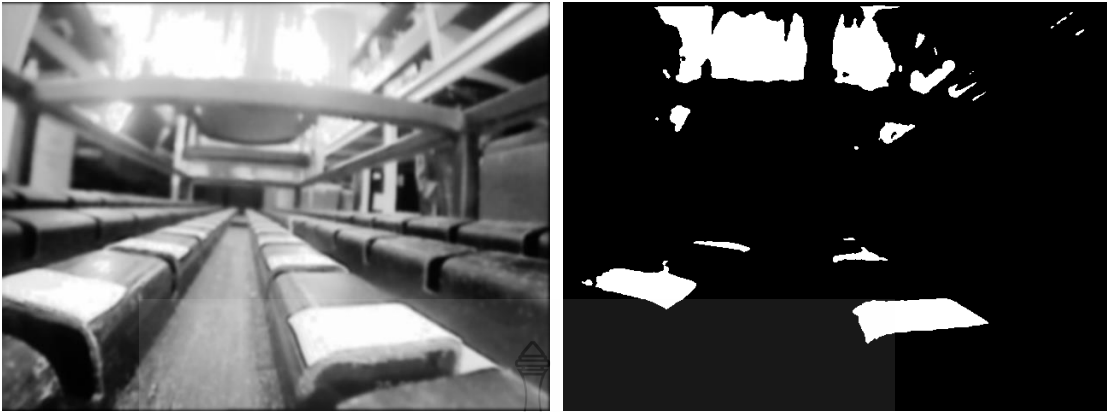
ดังนั้นภาพที่ผ่านการทำฮิสโตแกรมจากรูปที่ 3.6 ซ้ายมือ เมื่อนำมาเข้าสู่กระบวนการกำจัดสัญญาณรบกวนผ่านตัวกรองชนิดเกาส์เซียน ตัวอย่างผลลัพธ์ที่ได้ ดังแสดงในรูปที่ 3.6 ขวามือ ซึ่งจะสังเกตเห็นว่าภาพที่ได้มีความคมชัดลดลง แต่ภาพมีความเรียบขึ้น

### 3.3.5 การทำภาพขาวดำ (Binary Image)



รูปที่ 3.7 ภาพก่อนทำ Binary Image

พิจารณาผลลัพธ์ที่ได้จากกระบวนการที่ผ่านๆ มาดังแสดงในรูปที่ 3.7 จะเห็นว่าบริเวณร่องระบายอากาศจะมีค่าระดับสีที่สูงกว่าบริเวณ โคมรอบหรือพิกเซลบริเวณร่องระบายอากาศมีความสว่างมากกว่าบริเวณข้างเคียงอย่างเห็นได้ชัด ดังนั้นเพื่อให้สามารถทำการประมวลผลในขั้นต่อไปได้โดยง่าย จึงจะทำให้ภาพในบริเวณร่องระบายอากาศมีความเด่นชัดขึ้นมากกว่านี้อีกด้วยการทำเทรซโฮลภาพ (Image Thresholding) ดังวิธีการที่อธิบายไปแล้วในบทที่ผ่านมา เพื่อสร้างภาพขาวดำที่แต่ละพิกเซลมีค่าเพียงไม่ขาวก็ดำหรือภาพไบนารี เมื่อทำเทรซโฮลแล้วบริเวณที่เป็นร่องระบายอากาศควรที่จะสามารถแยกออกได้อย่างชัดเจนจากบริเวณ โคมรอบ เช่นเมื่อทำการกำจัดสัญญาณรบกวนจากภาพแล้วดังแสดงในรูปที่ 3.8 ด้านซ้ายมือหลังจากนั้นทำการแปลงข้อมูลภาพให้เป็นภาพไบนารี โดยการทำเทรซโฮล จะทำให้ภาพบริเวณร่องระบายอากาศที่ต้องการปรากฏเด่นชัดขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 3.8 ขวามือ เป็นต้น



รูปที่ 3.8 ขั้นตอนการทำ Binary Image

ในการทำเทรชโฮลภาพ การกำหนดค่าคงที่เทรชโฮลเป็นสิ่งที่ผู้ใช้งานต้องกำหนดค่าเอง ในที่นี้ได้เลือกใช้การหาค่าเทรชโฮลโดยการกำหนดค่าล่วงหน้า (Pre-Assigned Threshold Value) ซึ่งเป็นการกำหนดค่าเทรชโฮลโดยการกำหนดค่าเองโดยผู้ใช้งาน ซึ่งการกำหนดนี้จะขึ้นอยู่กับประสบการณ์ของผู้ใช้แต่ละคน โดยปรกติค่าเทรชโฮลที่เลือกใช้จะพิจารณาจากค่าความสว่างของร่องระบายอากาศโดยพยายามให้ค่าเทรชโฮลมีค่าเท่ากับความสว่างต่ำที่สุดของพิกเซลในบริเวณร่องระบายอากาศซึ่งจะทำให้เมื่อทำเทรชโฮลภาพแล้วบริเวณที่ไม่ใช่ร่องระบายอากาศจะเป็นสีดำ (ค่าพิกเซลเป็น 0) ส่วนบริเวณที่เป็นร่องระบายอากาศจะเป็นสีขาว (ค่าพิกเซลเป็น 255) ในการทดลองด้วยวิดีโอที่บันทึกได้ในห้องปฏิบัติการจะกำหนดค่าเทรชโฮลไว้ที่ 235 ส่วนภาพวิดีโอที่ได้จากหุ่นยนต์ที่นำไปใช้งานจริงในโรงไฟฟ้าจะกำหนดค่าเทรชโฮลไว้ที่ 213

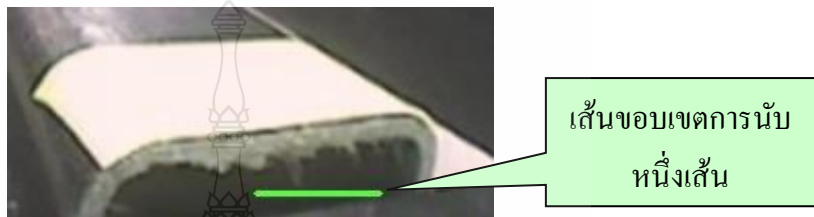
### 3.3.6 การกำหนดเส้นขอบเขตการนับ

เมื่อพิจารณาภาพใบนารีที่ได้ในขั้นตอนที่ผ่านมาจะพบว่าร่องระบายอากาศสามารถแยกออกมาได้โดยชัดเจนจากบริเวณอื่นๆ ของภาพ นอกจากนี้เมื่อหุ่นยนต์มีการเคลื่อนที่ไปข้างหน้า ตำแหน่งของร่องระบายอากาศในภาพต่อมาจะเกิดขึ้นที่ตำแหน่งเดิมซ้ำๆ ทั้งนี้เนื่องจากหุ่นยนต์มีการเคลื่อนที่ไปข้างหน้าในแนวเส้นตรง ดังนั้นการที่จะนับร่องระบายอากาศที่หุ่นยนต์เคลื่อนที่ผ่านจึงเป็นการง่ายที่จะกำหนดให้มีบริเวณที่สนใจจะตรวจนับร่องระบายอากาศ (Region of Interest) แทนที่จะสนใจนับร่องระบายอากาศในทุกๆ ส่วนของภาพ การทำเช่นนี้จะทำให้การประมวลผลทำได้รวดเร็วขึ้น เพราะไม่จำเป็นต้องทำการประมวลผลทั้งภาพ วิธีการนับจำนวนร่องระบายอากาศได้ถูกพัฒนาขึ้น



ด้วยวิธีที่คล้ายคลึงกัน 2 วิธี คือวิธีการนับจากเส้นขอบเขตการนับหนึ่งเส้น และ วิธีการนับจากเส้นขอบเขตการนับสองเส้น

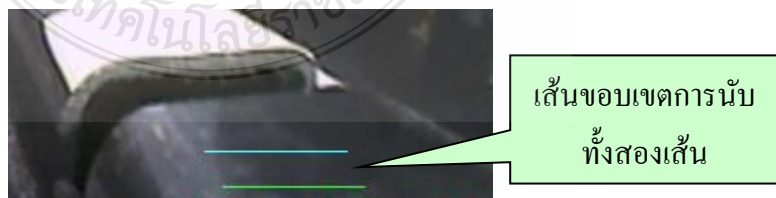
1. วิธีการนับจากเส้นขอบเขตการนับหนึ่งเส้น [7] เมื่อผ่านกระบวนการปรับปรุงภาพ ก็ทำการกำหนดเส้นการนับหนึ่งเส้นกำหนดไว้ที่ค่าแกน  $x$  เท่ากับ 280 ถึง 320 และแกน  $y$  เท่ากับ 450 จากนั้นก็ทำการนับร่องระบายอากาศ ดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 การทดลองนับร่องระบายอากาศโดยใช้เส้นการนับหนึ่งเส้น

การทดลองนับร่องระบายอากาศโดยใช้เส้นการนับหนึ่งเส้นนี้ยังให้ผลการนับที่ผิดพลาดอยู่ จึงได้แก้ไขความผิดพลาดโดยวิธีที่ 2

2. วิธีการนับจากเส้นขอบเขตการนับสองเส้น ในวิธีนี้การกำหนดเส้นการนับ จะกำหนดด้วยกันสองเส้นเพื่อทำการตรวจสอบซ้ำ เพิ่มความแม่นยำและกำหนดเฉพาะบริเวณที่จะนับจำนวนพิกเซล โดยจะไม่นำพื้นที่นอกเหนือจากพื้นที่ที่กำหนดมาประมวลผลด้วย ควรกำหนดขอบเขตให้น้อยที่สุดเพื่อลดการประมวลผลและจะช่วยให้การกำจัดสัญญาณรบกวนของภาพได้อีกทางหนึ่ง ซึ่งเส้นการนับที่กำหนดนี้จะอยู่ตำแหน่งเดิมในทุกเฟรมภาพด้วยสาเหตุดังที่ได้อธิบายผ่านมา ตัวอย่างของเส้นขอบเขตการนับดังแสดงในรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 เส้นขอบเขตการนับพิกเซล

จะเห็นว่าการกำหนดเส้นการนับ จะกำหนดในแนวเดียวกับวัตถุที่ต้องการนับเคลื่อนผ่าน ซึ่งในการทดลองจากวีดีโอในห้องปฏิบัติการนี้จะกำหนดเส้นขอบเขตการนับเส้นที่ 1 ในแนวแกน x ที่พิกเซล 450 ถึง 530 แนวแกน y ที่พิกเซล 415, กำหนดเส้นขอบเขตการนับเส้นที่ 2 ในแนวแกน x ที่พิกเซล 460 ถึง 540 แนวแกน y ที่พิกเซล 435 และระยะห่างระหว่างเส้นที่ทั้งสองห่างกัน 20 พิกเซล ในแนวแกน y ซึ่งต้องกำหนดให้ไม่เกินขนาดของร่องระบายอากาศที่ต้องการนับขณะที่ภาพของร่องระบายอากาศเคลื่อนที่ผ่านเส้นขอบเขตการนับทั้งสองเส้น

### 3.3.7 การนับจำนวนพิกเซลและนับวัตถุ

ในการนับจำนวนร่องระบายอากาศในขณะที่หุ่นยนต์มีการเคลื่อนที่จะอาศัยการนับพิกเซลของภาพไบนารีที่มีค่าไม่เท่ากับศูนย์ในบริเวณที่อยู่ในเส้นขอบเขตที่กำหนด หรือการนับพิกเซลจะสแกนตำแหน่งพิกเซลไปทีละแถวเพื่อนับเฉพาะพิกเซลที่มีค่าพิกเซลเป็นสีขาวจากภาพไบนารีภายในบริเวณเส้นขอบเขตที่กำหนด การนับจำนวนพิกเซลจากภาพไบนารีสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3.1

$$f(x_t, y_t) = \sum_{i=0}^n \cdot \sum_{j=0}^m I(x_t + i, y_t + j) \quad (3.1)$$

เมื่อ  $f(x,y)$  คือฟังก์ชันสำหรับการนับจำนวนพิกเซลภายในขอบเขตการนับเริ่มจากตำแหน่ง  $(x,y)$  และขอบเขตการนับมี  $m$  แถวและ  $n$  คอลัมน์  
 $I(x, y)$  คือค่าความเข้มของพิกเซล  $(x,y)$  ซึ่งเป็น 0 หรือ 1

#### 3.3.7.1 การนับจำนวนพิกเซลและนับวัตถุโดยเส้นขอบเขตการนับเส้นเดียว

การนับจำนวนพิกเซลแต่ละเฟรมในภาพวีดีโอ โดยแต่ละเฟรมภาพจะเคลื่อนเข้าหาเส้นขอบเขตที่กำหนดทีละเฟรม พื้นที่สีดำจากภาพไบนารีเมื่อเคลื่อนถึงเส้นขอบเขตที่กำหนด จะนับจำนวนพิกเซลได้เท่ากับศูนย์ 0 และพื้นที่สีขาวเมื่อเคลื่อนถึงเส้นขอบเขตที่กำหนด จะนับจำนวนพิกเซลได้เท่ากับ  $N$  หมายถึงนับได้  $N$  จำนวนคือจำนวนใดๆ ที่ไม่ใช่ศูนย์ โดยการนับพิกเซลจะนับในขอบเขตที่กำหนดเท่านั้นแล้วจึงนำค่าที่ได้มาเทียบกับเฟรมก่อนหน้า ซึ่งจะเกิดขึ้นได้ 4 กรณีดังนี้คือ

กรณีที่ 1 เฟรมก่อนหน้านับได้ 0 เฟรมปัจจุบันนับได้ 0 ( $0 \rightarrow 0$ ) ดังรูปที่ 3.11 (ก) เทียบกับ 3.11 (ข)

กรณีที่ 2 เฟรมก่อนหน้านับได้ 0 เฟรมปัจจุบันนับได้  $N$  จำนวน ( $0 \rightarrow "N"$ ) ดังรูปที่ 3.11 (ค) เทียบกับ 3.11 (ง)

กรณีที่ 3 เฟรมก่อนหน้านับได้ N จำนวนเฟรมปัจจุบันนับได้ N จำนวน (“N” → “N”) ดังรูปที่ 3.11 (จ) เทียบกับ 3.11 (ฉ)

กรณีที่ 4 เฟรมก่อนหน้านับได้ N จำนวนเฟรมปัจจุบันนับได้ 0 (“N” → 0) ดังรูปที่ 3.11 (ซ) เทียบกับ 3.11 (ญ)



(จ)

(ฉ)



(ค)

(ง)



(จ)

(ฉ)



(ซ)

(ญ)

เฟรมก่อนหน้า

เฟรมปัจจุบัน

รูปที่ 3.11 จำลองการนับจำนวนพิกเซลทั้ง 4 กรณีโดยใช้เส้นการนับเส้นเดียว

การนับจำนวนพิกเซลที่เกิดขึ้น 4 กรณีนี้ มีกรณีเดียวเท่านั้นที่จะนำมานับจำนวนร่องระบายอากาศคือกรณีที่ 4 (“N” → 0) ซึ่งเมื่อเกิดกรณีนี้จึงจะนับเป็นจำนวนร่องระบายอากาศ +1 และจำนวนที่นับได้จะแสดงบนหน้าจอมอนิเตอร์ดังรูปที่ 3.12 ว่านับร่องระบายอากาศได้จำนวนเท่าใดในระยะนั้นๆ



รูปที่ 3.12 แสดงผลการนับบนหน้าจอมอนิเตอร์

จากการทดลองวิธีการนี้ยังให้ผลการนับที่ผิดพลาดเนื่องจากจะนับรอยต่อแผ่นเวดจ์ ซึ่งเป็นจุดที่ไม่ต้องการนับเข้าไปด้วย ดังแสดงในรูป 3.13



รูปที่ 3.13 รอยต่อแผ่นเวดจ์ที่ไม่ต้องการนับ

### 3.3.7.2 การนับจำนวนพิกเซลและนับวัตถุโดยเส้นขอบเขตการนับสองเส้น

การนับจำนวนพิกเซลในแต่ละเฟรมภาพวิดีโอ แต่ละเฟรมจะเคลื่อนเข้าหาเส้นการนับที่กำหนดทั้งสองเส้นที่ละเฟรม พื้นที่สีดำจากภาพไบนารีเมื่อเคลื่อนถึงเส้นการนับที่กำหนด จะนับจำนวนพิกเซลได้เท่ากับศูนย์ 0 และพื้นที่สีขาวเมื่อเคลื่อนถึงเส้นการนับ จะนับจำนวนพิกเซลได้เท่ากับค่าหนึ่งที่ไม่ใช่ศูนย์ โดยจะแทนค่าที่นับได้นี้ด้วย  $N$  แล้วจึงนำค่าจำนวนพิกเซลที่นับได้จากเส้นการนับเส้นที่สองมาเทียบกับค่าพิกเซลของเฟรมก่อนหน้า ซึ่งจะเกิดขึ้นได้ 4 กรณีดังนี้คือ

กรณีที่ 1 เฟรมก่อนหน้านับได้ 0 เฟรมปัจจุบันนับได้ 0 ( $0 \rightarrow 0$ ) ดังรูปที่ 3.14 (ก) เทียบกับ 3.14 (ข)

กรณีที่ 2 เฟรมก่อนหน้านับได้ 0 เฟรมปัจจุบันนับได้  $N$  จำนวน ( $0 \rightarrow "N"$ ) ดังรูปที่ 3.14 (ค) เทียบกับ 3.14 (ง)

กรณีที่ 3 เฟรมก่อนหน้านับได้  $N$  จำนวนเฟรมปัจจุบันนับได้  $N$  จำนวน (" $N$ "  $\rightarrow$  " $N$ ") ดังรูปที่ 3.14 (จ) เทียบกับ 3.14 (ฉ) และ

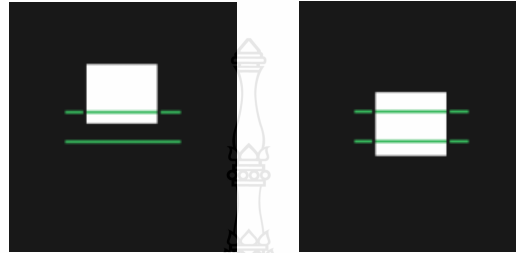
กรณีที่ 4 เฟรมก่อนหน้านับได้  $N$  จำนวนเฟรมปัจจุบันนับได้ 0 (" $N$ "  $\rightarrow$  0) ดังรูปที่ 3.14 (ซ) เทียบกับ 3.14 (ญ)

การนับจำนวนพิกเซลที่เกิดขึ้น 4 กรณีนี้ จะมีกรณีเดียวที่นำมานับจำนวนร่องระบายอากาศคือกรณีที่ 2 ( $0 \rightarrow "N"$ ) โดยจะนับร่องระบายอากาศที่ต่อเนื่องเมื่อร่องระบายอากาศเคลื่อนเข้าสู่เส้นการนับแล้วทั้งสองเส้น และเส้นการนับเส้นที่สองเกิดการเปลี่ยนแปลงของค่าจำนวนพิกเซลที่นับได้ นั่นคือในเฟรมก่อนหน้านับจำนวนพิกเซลได้ 0 แต่ในเฟรมปัจจุบันนับได้  $N$  จำนวน ซึ่งเมื่อเกิดกรณีนี้จึงจะนับเป็นร่องระบายอากาศ +1 และจำนวนที่นับได้จะแสดงบนหน้าจอมอนิเตอร์ดังรูปที่ 3.15 ว่านับร่องระบายอากาศได้จำนวนเท่าใดในระยะนั้น ๆ



(ก)

(ข)



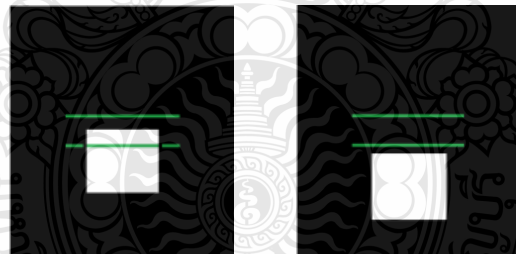
(ค)

(ง)



(จ)

(ฉ)



(ซ)

(ญ)

เฟรมก่อนหน้า

เฟรมปัจจุบัน

รูปที่ 3.14 จำลองการนับจำนวนพิกเซลทั้ง 4 กรณี โดยใช้เส้นการนับสองเส้น

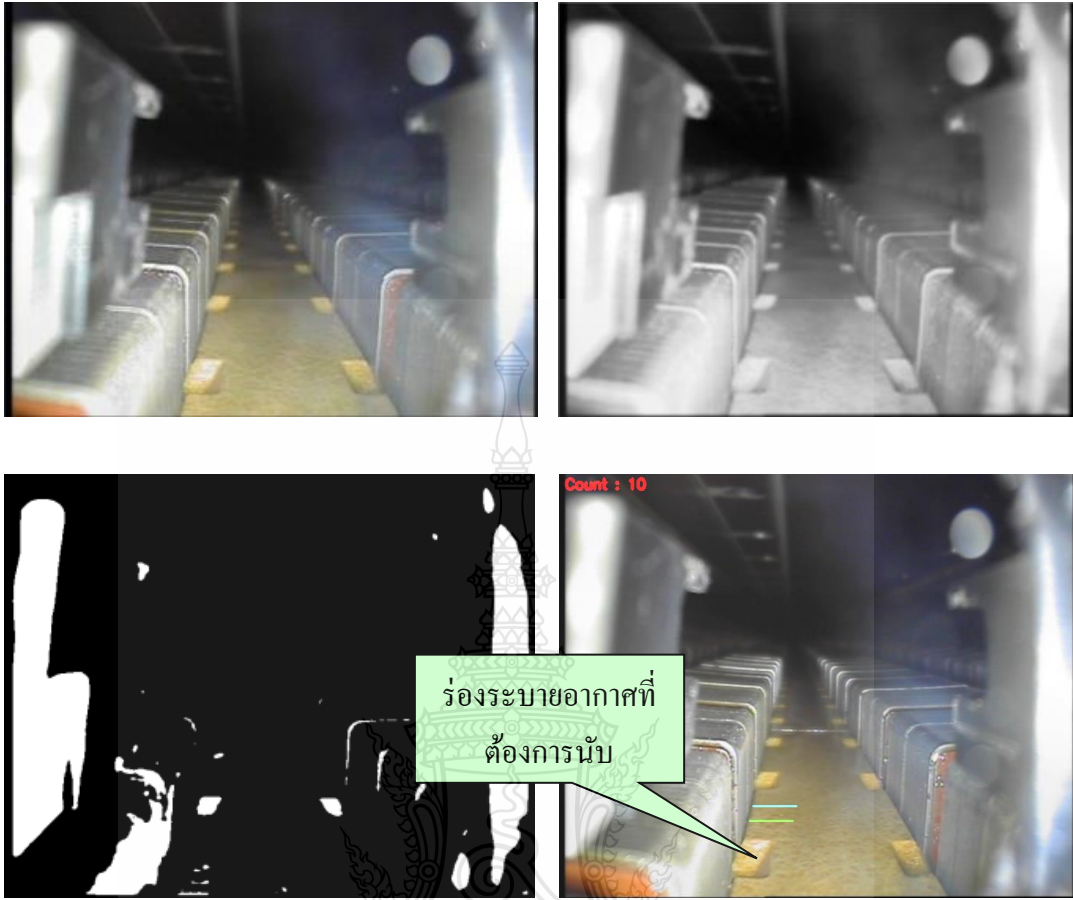


รูปที่ 3.15 ผลของการนับร่องระบายอากาศด้วยขั้นตอนวิธีที่นำเสนอ

### 3.4 การทดลองนับร่องระบายอากาศโดยใช้วิดีโอจากงานจริง

หลังจากได้พัฒนาโปรแกรมตามขั้นตอนต่างๆ ดังที่อธิบายผ่านมาและได้ทำการทดสอบในขั้นต้นกับสล็อตเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจำลองในจนให้ผลลัพธ์เป็นที่น่าพอใจ ขั้นตอนนี้จะเป็นการทดสอบการทำงานของโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นกับภาพวิดีโอที่บันทึกได้จากกล้องด้านหน้าของหุ่นยนต์ เมื่อมีการนำหุ่นยนต์ไปตรวจสอบสล็อตแต่ละแถวในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจริงๆ จากวิดีโอจะเห็นว่าสล็อตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีลักษณะแตกต่างไปจากสล็อตจำลองในห้องปฏิบัติการค่อนข้างมาก สิ่งที่ได้สังเกตเห็นอย่างหนึ่งคือในงานภาพวิดีโอที่ได้จากการใช้งานหุ่นยนต์จริงๆ นั้นจะมีร่องระบายอากาศที่เด่นชัดตรงขอบซ้ายและขวาของแผ่นเวจจ์และเหมาะกับการนำมาใช้นับมากกว่าตำแหน่งอื่นๆ

การทดลองนับร่องระบายอากาศจากวิดีโอในงานจริง จะนำวิดีโอที่ได้มาทำการทดลองตามขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมเช่นเดียวกันกับการทดลองโดยใช้วิดีโอที่ได้ในห้องปฏิบัติการแตกต่างกันที่ต้องกำหนดค่าคงที่ต่างๆ ที่ไม่เหมือนเดิม ได้แก่ ค่าตำแหน่งเส้นขอบเขตการนับและกำหนดค่าเทรซโฮลใหม่ ความกว้างระหว่างเส้นขอบเขตการนับ ซึ่งจะกำหนดเส้นขอบเขตการนับเส้นที่ 1 ในแนวแกน x ที่พิกเซล 280 ถึง 350 แนวแกน y ที่พิกเซล 450, กำหนดเส้นขอบเขตการนับเส้นที่ 2 ในแนวแกน x ที่พิกเซล 275 ถึง 345 แนวแกน y ที่พิกเซล 470 โดยระยะห่างระหว่างเส้นที่ทั้งสองห่างกัน 20 พิกเซลในแนวแกน y และกำหนดค่าเทรซโฮลไว้ที่ 213



รูปที่ 3.16 การนับร่องระบายอากาศในงานจริงด้วยขั้นตอนวิธีที่นำเสนอ





## บทที่ 4

### ผลการวิจัย

จากกระบวนการวิธีและโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นดังที่ได้อธิบายไปในบทที่ผ่านมา ได้ถูกนำมาทดสอบเพื่อทำการระบุตำแหน่งของหุ่นยนต์ภายในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจำลอง ทั้งด้วยวิธีอ่านจากเอ็นโคดเดอร์เพื่อระบุตำแหน่งของหุ่นยนต์เป็นระยะทางจากจุดเริ่มต้นในหน่วยเซนติเมตรและวิธีการนับร่องระบายอากาศภายในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าด้วยวิธีประมวลผลภาพเพื่อที่จะระบุตำแหน่งของหุ่นยนต์เป็นจำนวนร่องระบายอากาศที่หุ่นยนต์เคลื่อนที่ผ่านนับจากจุดเริ่มต้น ในการทดสอบวิธีการระบุตำแหน่งด้วยการนับร่องระบายอากาศภายในเครื่องกำเนิดไฟฟ้ายังได้นำภาพวิดีโอที่ได้จากกล้องด้านหน้าของหุ่นยนต์ขณะที่ทำการตรวจเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจริงมาใช้ในการทดสอบด้วย สำหรับในขั้นตอนการนับร่องระบายอากาศยังแยกออกไปเป็นสองวิธีด้วยกัน ประกอบด้วยวิธีการกำหนดเส้นการนับหนึ่งเส้น และ สองเส้น ตามลำดับ

ผลการทดลองสามารถนำเสนอได้ดังต่อไปนี้ โดยจะเริ่มจากการทดสอบสมมติฐานที่ว่าค่าตำแหน่งของหุ่นยนต์ที่ได้จากการอ่านค่าเอ็นโคดเดอร์มีความผิดพลาดที่มาก จึงจำเป็นต้องหาวิธีการอื่นในการระบุตำแหน่งของหุ่นยนต์ ซึ่งในวิทยานิพนธ์นี้ได้ใช้วิธีประมวลผลภาพถ่ายมาช่วยในการนับร่องระบายอากาศภายในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพื่อใช้อ้างอิงตำแหน่งของหุ่นยนต์ ผลการทดสอบในส่วนของการนับร่องระบายอากาศนี้จะมีด้วยกันสองส่วนคือผลที่ได้จากการทดสอบด้วยวิธีการกำหนดเส้นการนับหนึ่งเส้น และ สองเส้น

#### 4.1 ผลการทดลองการระบุตำแหน่งของหุ่นยนต์ด้วยการอ่านค่าเอ็นโคดเดอร์ในห้องปฏิบัติการ

จากสมมติฐานที่ว่าการระบุตำแหน่งของหุ่นยนต์ด้วยการวัดค่าจากเอ็นโคดเดอร์ที่ติดอยู่ที่ล้อของหุ่นยนต์ให้ค่าที่ผิดพลาด จนทำให้เจ้าหน้าที่ของกรไฟฟ้าผู้ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของหุ่นยนต์ไม่นำค่าที่อ่านได้มาใช้ในการระบุตำแหน่ง จึงได้ทำการทดสอบโดยการนำหุ่นยนต์มาวิ่งบนสล็อตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจำลองที่มีระยะห่างระหว่างร่อง 6 ซม. จำนวนทั้งสิ้น 26 ร่อง คิดเป็นระยะทางทั้งหมด 156 ซม. รูปตัวอย่างการทดสอบพร้อมด้วยโปรแกรมที่ใช้ในการอ่านค่าตำแหน่งจากเอ็นโคดเดอร์แสดงดังในรูปที่ 4.1 การทดสอบได้มีการทำซ้ำทั้งหมด 5 รอบด้วยกัน ซึ่งในแต่ละรอบของการทดสอบ นอกจากจะทำการอ่านค่าระบุตำแหน่งจากเอ็นโคดเดอร์แล้วยังได้ทำการบันทึกภาพ

วิดีโอด้านหน้าของหุ่นยนต์ไปด้วยเพื่อใช้ในการทดลองในขั้นต่อไป ผลการทดลองที่ได้แสดงดังในตารางที่ 4.1



รูปที่ 4.1 การทดลองเปรียบเทียบผลในห้องปฏิบัติการ

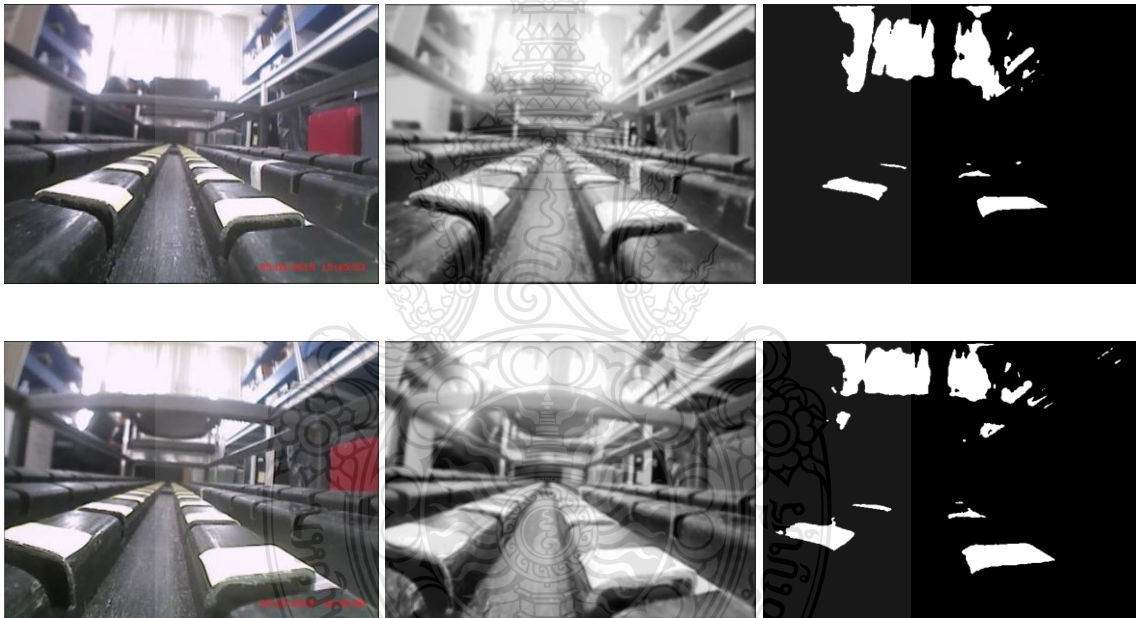
ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองการระบุตำแหน่งในห้องปฏิบัติการระยะทาง 156 ซม หรือ 26 ร่องอากาศ

อินพุต	นับโดยเอนโคดเดอร์
วิดีโอชุดที่ 1	15 ร่อง (95.33 ซม.)
วิดีโอชุดที่ 2	16 ร่อง (98.38 ซม.)
วิดีโอชุดที่ 3	15 ร่อง (93.27 ซม.)
วิดีโอชุดที่ 4	15 ร่อง (94.55 ซม.)
วิดีโอชุดที่ 5	15 ร่อง (95.82 ซม.)

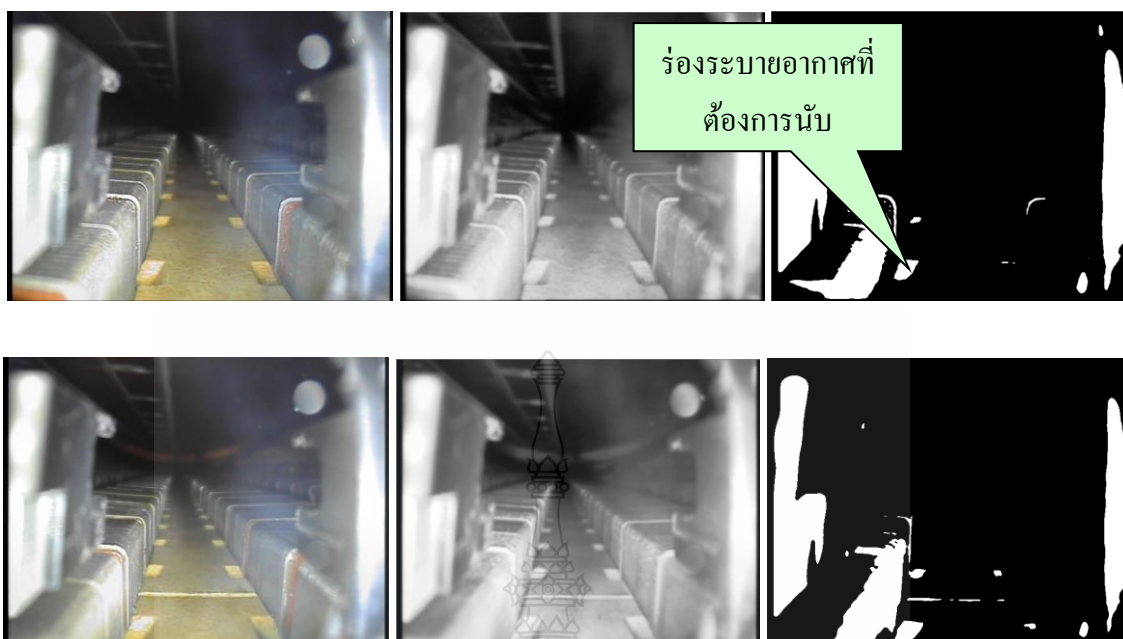
จากตารางที่ 4.1 จะเห็นว่า ผลการระบุตำแหน่งโดยการใช้ค่าจากเอนโคดเดอร์ คลาดเคลื่อนไปจากระยะจริงเฉลี่ย 60.53 ( $\pm 1.89$ ) ซม. ซึ่งถือว่าเป็นค่าที่ค่อนข้างมากจริงดังสมมติฐานที่ตั้งไว้ ทั้งนี้ อาจจะมีสาเหตุเนื่องมาจากการลื่นไถลของสายพานกับร่องเฟืองที่เป็นกลไก

## 4.2 ผลการปรับปรุงภาพวิดีโอ

ก่อนที่จะมีการเริ่มกระบวนการนับร่องระบายอากาศ จำเป็นจะต้องมีการนำภาพที่ได้จากวิดีโอไปผ่านกระบวนการเพื่อทำให้ร่องระบายอากาศสามารถแยกออกมาได้อย่างชัดเจนจากส่วนอื่นๆ ของภาพด้วยกระบวนการต่างๆ ที่ได้อธิบายไปในบทที่ผ่านมา ซึ่งประกอบไปด้วยการแปลงภาพสีเป็นภาพระดับเทา การปรับเท่าฮิสโตแกรมและกรองสัญญาณรบกวน แล้วนำมาผ่านการทำไบনারีภาพ ตัวอย่างผลลัพธ์ที่ได้แสดงดังในรูปที่ 4.2 ซึ่งเป็นผลการทดลองที่ได้จากการทดสอบโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นด้วยวิดีโอที่ได้จากกล้องหน้าของหุ่นยนต์เมื่อทำการทดสอบในห้องปฏิบัติการ ในขณะที่ตัวอย่างรูปที่แสดงในรูปที่ 4.3 เป็นผลการทดลองโดยใช้วิดีโอที่ได้จากกล้องหน้าของหุ่นยนต์ในขณะที่ทำการตรวจเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจริง



รูปที่ 4.2 ตัวอย่างภาพที่ได้จากการใช้งานหุ่นยนต์ในห้องปฏิบัติการเมื่อนำมาผ่านขั้นตอนการปรับปรุงภาพ

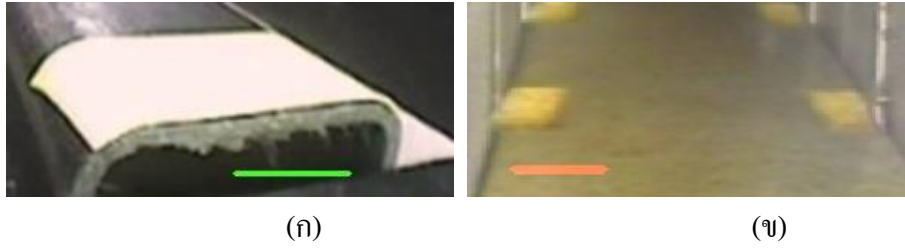


รูปที่ 4.3 ตัวอย่างภาพที่ได้จากการใช้งานหุ่นยนต์จริงเมื่อนำมาผ่านขั้นตอนการปรับปรุงภาพ

ผลการปรับปรุงภาพจากการทดลอง จะเห็นว่าเมื่อนำวีดีโออินพุตมาเข้าสู่ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นในส่วนของการปรับปรุงภาพแล้ว จะทำให้ภาพของร่องระบายอากาศภายในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ต้องการนับนั้นเด่นชัดขึ้น สามารถนำไปสู่ขั้นตอนการนับร่องระบายอากาศภายในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าต่อไปได้

#### 4.3 ผลการทดลองการนับร่องระบายอากาศด้วยเส้นการนับหนึ่งเส้น

การทดลองนี้จะเป็นการทดลองการนับร่องระบายอากาศภายในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าโดยอาศัยเส้นการนับเส้นเดียว หลังจากที่ได้ภาพสีได้ผ่านกระบวนการปรับปรุงภาพจนได้ภาพขาวดำแล้ว ในการนับร่องระบายอากาศก็จะกำหนดเส้นการนับโดยการกำหนดเส้นการนับให้ตรงกับตำแหน่งพิกเซลที่ภาพของร่องระบายอากาศจะเคลื่อนที่ผ่านและทำการกำหนดขนาดและความยาวของเส้นการนับให้ห่างจากพิกเซลที่คาดว่าจะเกิดสัญญาณรบกวนได้ กำหนดเส้นการนับเส้นเดียว ดังแสดงในรูป 4.4 (ก) แสดงการกำหนดเส้นการนับในวีดีโอจากห้องปฏิบัติการ และรูป 4.4 (ข) แสดงการกำหนดเส้นการนับในวีดีโอจากงานจริง



รูปที่ 4.4 ตัวอย่างการนับร่องระบายอากาศโดยใช้เส้นการนับเส้นเดียว

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองเปรียบเทียบการระบุตำแหน่งด้วยการนับร่องระบายอากาศหนึ่งเส้นการนับ

อินพุต	จำนวนร่องที่นับทั้งหมด	นับโดยวิธีที่นำเสนอ	คิดเป็นเปอร์เซ็นต์
วิธีไอซูดที่ 1	60	61	98.3%
วิธีไอซูดที่ 2	60	64	93.3%

การทดลองจากวิธีไอซูดสองชุดที่ได้จากงานจริง ผลการทดลองตารางที่ 4.2 คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องเฉลี่ยได้ 95.8% ซึ่งจะเห็นว่ายังมีการนับที่คลาดเคลื่อนอยู่ ซึ่งการนับที่ผิดพลาดเกิดจากรอยต่อของแผ่นเวจ์ที่ไม่ใช่ร่องระบายอากาศ ดังแสดงในรูปที่ 4.5 ถึงผลการทดสอบจะให้ความถูกต้องเฉลี่ยค่อนข้างสูง และสิ่งผิดพลาดที่เกิดขึ้นน่าจะสามารรถแก้ไขได้จึงได้หาทางพัฒนาการนับร่องระบายอากาศโดยการกำหนดเส้นขอบเขตการนับสองเส้นเพื่อจะให้ได้ความถูกต้อง 100%



รูปที่ 4.5 รอยต่อของแผ่นเวจ์ที่เกิดการนับผิดพลาดโดยใช้การนับร่องระบายอากาศโดยใช้เส้นการนับเส้นเดียว จากวิธีไออินพุตจากงานจริง

#### 4.4 ผลการทดลองการระบุตำแหน่งโดยการนับร่องระบายอากาศโดยใช้เส้นการนับสองเส้น

เพื่อแก้ไขข้อผิดพลาดจากการทดลองการนับโดยเส้นการนับหนึ่งเส้น จึงคิดวิธีการนับโดยกำหนดเส้นการนับสองเส้น ซึ่งจะกำหนดเส้นการนับจะตรงพิกเซลที่วัตถุจะเคลื่อนผ่าน ทำการกำหนดขนาดและความยาวให้ห่างจากพิกเซลที่จะเกิดสัญญาณรบกวนดังรูป 4.6 (ก) แสดงการกำหนดเส้นการนับในวิดีโอจากห้องปฏิบัติการ และรูป 4.6 (ข) แสดงการกำหนดเส้นการนับในวิดีโอจากงานจริง



รูปที่ 4.6 การกำหนดเส้นการนับพิกเซล

อ้างอิงจาดตารางผลการทดลองที่ 4.1 ที่ได้ทดลองความผิดพลาดของการระบุตำแหน่งโดยเอนโคเดอร์ในห้องปฏิบัติการ ในขั้นตอนนี้ได้นำผลนั้นกลับมาเปรียบเทียบกับวิธีการระบุตำแหน่งโดยการนับร่องระบายอากาศโดยใช้เส้นการนับสองเส้นที่น่าเสนอ ให้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองเปรียบเทียบการระบุตำแหน่งในห้องปฏิบัติการระยะทาง 156 ซม. = 26 ร่องอากาศ

อินพุต	นับโดยเอนโคเดอร์	นับโดยวิธีที่น่าเสนอ
วิดีโอชุดที่ 1	15 ร่อง (95.33 ซม.)	26 ร่อง
วิดีโอชุดที่ 2	16 ร่อง (98.38 ซม.)	26 ร่อง
วิดีโอชุดที่ 3	15 ร่อง (93.27 ซม.)	26 ร่อง
วิดีโอชุดที่ 4	15 ร่อง (94.55 ซม.)	26 ร่อง
วิดีโอชุดที่ 5	15 ร่อง (95.82 ซม.)	26 ร่อง

ผลการระบุตำแหน่งโดยการนับร่องระบายอากาศภายในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเปรียบเทียบกับ การระบุตำแหน่งโดยเอนโคเดอร์ ตามตารางที่ 4.3 ซึ่งจะเปรียบเทียบโดยให้ผลเป็นจำนวนร่อง ระบายอากาศ จะเห็นว่าเอนโคเดอร์ คลาดเคลื่อนไปจากระยะจริง เนื่องมาจากการลื่นไถลของ สายพานกับร่องเฟืองที่เป็นกลไกประกอบการวัดระยะในหุ่นยนต์ที่มีข้อจำกัดเรื่องขนาดทำให้ทำงาน ได้ไม่เต็มประสิทธิภาพ

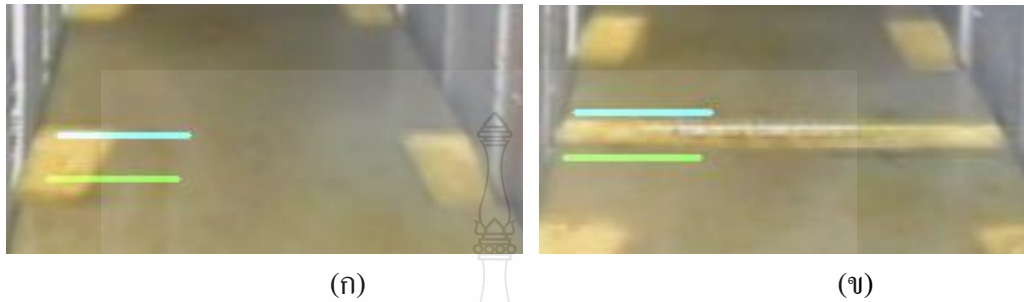
จากการทดลองโดยใช้หุ่นยนต์ถ่วงวิถีโอบายในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากงานจริง ซึ่งมี ระยะห่างร่องระบายอากาศในแต่ละสล็อตของสเตเตอร์เท่าๆกัน โปรแกรมจะทำการนับร่องระบาย อากาศภายในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าโดยใช้ข้อมูลของการเปรียบเทียบค่าการนับพิทเชลของแต่ละเฟรม ภาพ ผลการทดลองจากตารางที่ 4.4 เป็นการทดลองนับร่องระบายอากาศโดยใช้วิถีโอบายจากงานจริง ผล การทดลองในตารางที่ 4.4 นี้ไม่มีการเปรียบเทียบผลการนับเทียบกับเอนโคเดอร์ เนื่องจากปัญหาใน การเก็บฐานข้อมูลทำให้ไม่สามารถเก็บข้อมูลการวัดเอนโคเดอร์มาได้

**ตารางที่ 4.4** ผลการทดลองการระบุตำแหน่ง โดยการนับร่องระบายอากาศจากวิถีโอบายที่ได้จากงานจริง

อินพุต	จำนวนร่องทั้งหมดนับ โดยคน	นับ โดยวิธีที่น่าเสนอ	ผลการทดลอง
วิถีโอบายที่ 1	60	60	100%
วิถีโอบายที่ 2	98	98	100%
วิถีโอบายที่ 3	74	74	100%
วิถีโอบายที่ 4	61	61	100%
วิถีโอบายที่ 5	85	85	100%
วิถีโอบายที่ 6	75	75	100%
วิถีโอบายที่ 7	80	80	100%
วิถีโอบายที่ 8	68	68	100%
วิถีโอบายที่ 9	85	85	100%
วิถีโอบายที่ 10	92	92	100%
วิถีโอบายที่ 11	80	80	100%
วิถีโอบายที่ 12	68	68	100%

ผลจากการเพิ่มประสิทธิภาพการระบุตำแหน่งโดยการทดลองนับร่องระบายอากาศโดยใช้ เส้นขอบเขตการนับสองเส้น เพื่อแก้ไขข้อผิดพลาดจากการนับร่องระบายอากาศด้วยเส้นขอบเขตการ

นับหนึ่งเส้น จากการทดลองวิธีโอบิบบองซุด คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องเฉลี่ยได้ 100% และทำการทดลองซ้ำยังให้ผลเท่าเดิม ซึ่งผลจากงานวิจัย [7] นับได้ถูกต้องเฉลี่ย 95.8% เท่านั้น จะเห็นว่าจุดที่เค้นนับผิดพลาดตรงรอยต่อแผ่นเวดจ์ ได้มีการปรับปรุงให้นับได้อย่างถูกต้อง ดังแสดงในรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 การนับวัตถุที่ต้องการนับ (ก) ไม่นับวัตถุที่ไม่ต้องการนับ (ข)

การนับร่องระบายอากาศอาจมีข้อผิดพลาดได้ ซึ่งเกิดจากรอยต่อของแผ่นเวดจ์ที่เราไม่ต้องการนับนั่นเอง เส้นการนับสองเส้นซึ่งถูกกำหนดขึ้นเพื่อการตรวจสอบซ้ำ ได้นำมาใช้แก้ไขปัญหาการนับผิดพลาดนี้ด้วย จะเห็นว่าจากรูปที่ 4.7 (ก) เส้นขอบเขตการนับจะทำการนับได้ถูกต้องโดยเส้นขอบเขตการนับทั้งทั้งสองเส้นจะอยู่ในบริเวณของร่องระบายอากาศทั้งสองเส้น จากรูปที่ 4.7 (ข) วัตถุที่ไม่ต้องการนับนี้เป็นรอยต่อของแผ่นเวดจ์ ซึ่งเส้นขอบเขตการนับจะไม่ทำการนับเพราะเส้นขอบเขตการนับทั้งสองเส้นไม่มีความเป็นไปได้ที่อยู่ในบริเวณของรอยต่อแผ่นเวดจ์พร้อมทั้งสองเส้น



## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลอง

#### 5.1 สรุปผล

การระบุตำแหน่งของหุ่นยนต์ตรวจสอบภายในเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เป็นการใช้งานหุ่นยนต์เข้าไปตรวจสอบภายในเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ขณะที่ยังไม่มีการถอดโรเตอร์ออกมาจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ซึ่งเป็นพื้นที่ปิด จึงมีความจำเป็นที่จะต้องรู้ข้อมูลตำแหน่งของหุ่นยนต์ภายในเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เนื่องจากเมื่อหุ่นยนต์ตรวจพบความผิดปกติ เช่น ร่องรอยการชำรุดของวัสดุภายในเครื่องกำเนิดไฟฟ้า จุดหลวมของแผ่นเวดจ์ (ฉนวนที่ปิดขดลวดในแต่ละสล็อต) หรือมีเศษขยะติดอยู่ภายในเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เป็นต้น ผู้ทำการตรวจสอบจึงจำเป็นต้องทราบข้อมูลของตำแหน่งที่เกิดความผิดปกติเหล่านั้น เพื่อเมื่อถึงรอบระยะเวลาซ่อมบำรุงครั้งใหญ่ ด้วยการถอดโรเตอร์ออกมาจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า จะได้สามารถทำการตรวจสอบและซ่อมแซมตำแหน่งนั้นๆ ได้ การระบุตำแหน่งของหุ่นยนต์ที่มีอยู่เดิมจะใช้การอ่านค่าตำแหน่งจากเอนโคเดอร์ที่ติดอยู่กับล้อซึ่งเป็นสายพานในตัวหุ่นยนต์ อย่างไรก็ตามหุ่นยนต์ที่มีขนาดบางและใช้แม่เหล็กในการยึดเกาะกับสเตเตอร์ อีกประการหนึ่งคือ ต้องลากสายไฟและสายสัญญาณเข้าไปภายในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าด้วย ซึ่งเป็นน้ำหนักที่ค่อนข้างมาก จึงทำให้การเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์มีการสิ้นเปลืองระหว่างล้อสายพานกับร่องเฟือง ซึ่งเป็นส่วนที่ยึดติดกับเอนโคเดอร์ เป็นสาเหตุให้ค่าตำแหน่งที่อ่านได้จากเอนโคเดอร์ เกิดความผิดพลาดไม่ถูกต้องแบบสะสม เพราะยิ่งเคลื่อนที่ไกลขึ้น ก็จะยิ่งผิดพลาดมากขึ้น งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาวิธีการแก้ปัญหาของการระบุตำแหน่งของหุ่นยนต์ตรวจสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

ในทางปฏิบัติการระบุตำแหน่งของหุ่นยนต์ สามารถระบุโดยการอ้างอิงตำแหน่งของหุ่นยนต์กับตำแหน่งของร่องระบายอากาศภายในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าได้ และในการปฏิบัติงานทั่วไปแล้วในการใช้งานหุ่นยนต์ตรวจสอบนั้นจะมีการติดตั้งกล้องที่ด้านหน้าของตัวหุ่นยนต์อยู่แล้ว เพื่อใช้ในการตรวจสอบด้วยตาของผู้ใช้งานด้วย ซึ่งผู้ใช้งานสามารถที่จะนับร่องระบายอากาศได้จากภาพที่เห็นในระหว่างการปฏิบัติงานเพื่อใช้ระบุตำแหน่งของหุ่นยนต์ อย่างไรก็ตามการให้ผู้ใช้งานนับจำนวนร่องระบายอากาศด้วยตัวเอง เป็นเหตุให้ไม่สะดวกต่อผู้ใช้งาน เพราะผู้ใช้งานต้องทำการตรวจสอบสิ่งผิดปกติอย่างอื่นไปพร้อมๆ กัน ไม่ได้นับร่องระบายอากาศเพียงอย่างเดียว ทำให้โอกาสผิดพลาดที่เกิดจากการนับร่องระบายอากาศด้วยตัวผู้ใช้งานมีสูง ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้พัฒนาวิธีการ

ประมวลผลภาพจากกล้องด้านหน้าของหุ่นยนต์สำหรับนับร่องระบายอากาศโดยอัตโนมัติ เพื่อใช้ในการระบุตำแหน่ง

กระบวนการทำงานของวิธีการที่พัฒนาขึ้นเริ่มจากการแปลงภาพสีให้เป็นภาพระดับเทาเพื่อลดปริมาณข้อมูลที่ต้องทำการประมวลผล จากภาพระดับเทานำมาผ่านกระบวนการฮิสโตแกรมเพื่อทำให้ภาพทั้งภาพมีความสว่างโดยเฉลี่ยเท่ากัน และตามด้วยการทำให้ภาพเรียบเสมอกันด้วยเกาเซียนฟิลเตอร์ หลังจากนั้นทำให้ภาพบริเวณที่เป็นร่องระบายอากาศมีความเด่นชัดมากยิ่งขึ้นด้วยการทำเทรซโฮลภาพเพื่อสร้างภาพไบนารี จากภาพไบนารีจะเห็นว่าร่องระบายอากาศมีความเด่นชัดขึ้นมากและง่ายต่อการนำมาใช้ในการนับจำนวนร่องระบายอากาศ

จากภาพไบนารีได้พัฒนาวิธีการนับร่องระบายอากาศด้วยกันสองวิธี คือ วิธีการนับโดยใช้เส้นขอบเขตการนับเส้นเดียว กับ วิธีการนับโดยใช้เส้นขอบเขตการนับสองเส้น โดยวิธีใช้เส้นการนับเส้นเดียวจะให้ผลลัพธ์ที่ยังมีการนับร่องระบายอากาศผิดพลาดอยู่บ้าง ทั้งนี้เนื่องจากนับรอยต่อของแผ่นเวจจ์เข้าไปด้วย ซึ่งเป็นสิ่งที่ไม่ต้องการนับ ดังนั้นจึงได้พัฒนาวิธีการที่สองที่ใช้เส้นขอบเขตการนับสองเส้นในการนับ เพื่อแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นกับวิธีการแรก จากผลการทดลองปรากฏว่าสามารถนับร่องระบายอากาศได้ถูกต้องไม่มีความผิดพลาดเกิดขึ้นกับชุดภาพวิดีโอที่นำมาทดสอบ และเมื่อเทียบผลการทดสอบการระบุตำแหน่ง โดยใช้การอ่านค่าจากเอนโคเดอร์ภายในตัวหุ่นยนต์กับทรงจำลองในห้องปฏิบัติการ จะเห็นว่าวิธีการที่นำเสนอนี้ให้ผลลัพธ์ในการระบุตำแหน่งได้ดีกว่าวิธีระบุตำแหน่งจากเอนโคเดอร์เป็นอย่างมาก

ดังนั้นด้วยวิธีการประมวลผลภาพที่ใช้การนับจำนวนร่องระบายอากาศโดยอาศัยเส้นขอบเขตการนับสองเส้น จึงเป็นวิธีการที่เหมาะสมในการนำไปใช้งานเพื่อระบุตำแหน่งของหุ่นยนต์ตรวจสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้า นอกจากนี้จะให้ผลลัพธ์เป็นที่น่าพอใจแล้ว ตัวหุ่นยนต์เองยังไม่จำเป็นต้องมีการแก้ไขหรือคิดแปลงกลไกเพื่อให้สามารถระบุตำแหน่งของหุ่นยนต์ได้อย่างถูกต้อง

## 5.2 งานที่ควรพัฒนาต่อไป

แม้ว่าผลลัพธ์ของงานวิจัยนี้จะเป็นที่น่าพอใจ แต่เนื่องจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่การไฟฟ้าฝ่ายผลิตมีใช้งาน มีด้วยกันหลายชนิดและขนาด ดังนั้นจึงควรมีการศึกษาระเบียบวิธีการนับร่องระบายอากาศของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพื่อใช้ในการระบุตำแหน่งของหุ่นยนต์ด้วยการใช้วิธีประมวลผลภาพวิธีที่นำเสนอนี้หรือวิธีการอื่นๆ ทั้งนี้เพื่อทำให้การใช้งานของหุ่นยนต์ตรวจสอบภายในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสามารถนับร่องระบายอากาศของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหรือระบุตำแหน่งตัวหุ่นยนต์ได้ถูกต้องแม่นยำ และยืดหยุ่นขึ้น

นอกจากการใช้งานประมวลผลภาพจากกล้องหน้าของหุ่นยนต์เพื่อการระบุตำแหน่งแล้ว  
ยังมีความน่าจะเป็นที่จะใช้การประมวลผลภาพเพื่อทำการตรวจหาสิ่งผิดปกติภายในที่เกิดขึ้นกับ  
เครื่องกำเนิดไฟฟ้าได้โดยอัตโนมัติ เช่น มีเศษขยะอยู่ภายในเครื่องกำเนิดไฟฟ้า มีการหลุดร่อนของ  
ชิ้นส่วน หรือ มีรอยร้าวเกิดขึ้น เป็นต้น



## บรรณานุกรม

- [1] ภาณุพันธ์ ขวัญสุด และ จักริ ศรีนนท์ฉัตร, “การเพิ่มประสิทธิภาพการระบุตำแหน่งหุ่นยนต์ตรวจสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าโดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาพ”, การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 39 The 39<sup>th</sup> Electrical Engineering Conference (EECON-39), เพชรบุรี, 2-4 พฤศจิกายน 2559
- [2] การประมวลผลภาพดิจิทัล (ออนไลน์), สืบค้นจาก : <https://th.wikipedia.org/wiki/การประมวลผลภาพดิจิทัล>
- [3] เกศินี ตะละ, การตรวจหาป้ายจำกัดความเร็วในเงื่อนไขที่รูปภาพแวดล้อมบดบังด้วยการประมวลผลภาพ, วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารเทคโนโลยี วิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, 2554
- [4] Gonzalez, Rafael C., Wood Richard E. and Eddins Steven L., Digital Image Processing using MATLAB., Newjersey: Prentice Hall, 2004
- [5] ปิยะณัฐ และ จักริ ศรีนนท์ฉัตร, “การรู้จำตัวอักษรอังกฤษ-ไทยโดยใช้วิธีทางสถิติร่วมกับซอฟต์แวร์เวกเตอร์แมชชีน”การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ครั้งที่ 9(PEC-9), ภูเก็ต, 2-3 กันยายน 2554.
- [6] เครื่องกำเนิดไฟฟ้า (ออนไลน์), สืบค้นจาก : [www.wikiwand.com/th/เครื่องกำเนิดไฟฟ้า](http://www.wikiwand.com/th/เครื่องกำเนิดไฟฟ้า)
- [7] ภาณุพันธ์ ขวัญสุด และ จักริ ศรีนนท์ฉัตร, “การระบุตำแหน่งของหุ่นยนต์ตรวจสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดใหญ่ โดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาพ”, การประชุมวิชาการครุศาสตร์อุตสาหกรรมระดับชาติครั้งที่ 8 (8<sup>th</sup> NCTechEd), มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าพระนครเหนือ กรุงเทพมหานคร, หน้า 19-24, 26 – 27 พฤศจิกายน 2558.
- [8] Ruihua Ma, Liyuan Li, Weimin Huang, and Qi Tian, “On Pixel Count Based Crowd Density Estimation for Visual Surveillance,” Conference on Cybernetics and Intelligent Systems, pp. 170 – 173, 2004.
- [9] Rute Coimbra, and Federico Olo’riz, “Pixel counting for percentage estimation: Applications to sedimentary petrology,” Computers & Geosciences, vol. 42, pp. 212–216, 2012.
- [10] Saad Choudri, ames M. Ferryman, and Atta Badii, “Robust Background Model for Pixel Based People Counting using a Single Uncalibrated Camera,” in Performance Evaluation of Tracking and Surveillance (PETS-Winter), 2009 Twelfth IEEE International Workshop on, pp.1-8, 2009.

## บรรณานุกรม (ต่อ)

- [11] Teerapon Yodrot, and Jakkree Srinonchat, “Enhancement of Multi License Plate Location Technique Using Subtract Morphology Technique,” International Conference on Engineering, Applied Sciences, pp. 172-175, 2013.
- [12] Songcan Chen, and Daohong Li, “Image binarization focusing on objects,” Neurocomputing vol. 69, pp. 2411 – 2415, 2006.
- [13] Zuoyong Li, Chuancai Liu, Cairong Zhao, and Yong Cheng, “An Image Thresholding Method Based on Human Visual Perception,” in Image and Signal Processing, CISP '09. 2nd International Congress on, pp.1-4, 2009.
- [14] Yingjie Xia, Xingmin Shi, Guanghua Song, Qiaolei Geng, and Yuncai Liu, “Towards improving quality of video-based vehicle counting method for traffic flow estimation,” Signal Processing, Available online 6 Nov 2014, ISSN0165-1684, <http://dx.doi.org/10.1016/j.sigpro.2014.10.035>, 2014.
- [15] Zhaoxiang Zhang, Mo Wang, and Xin Geng, “Crowd counting in public video surveillance by label distribution learning,” Neurocomputing, vol. 166, pp. 151–163, 2015.
- [16] Kuan-Chieh Tseng, Ming-Tzuoo Yin, and Feng-Li Lian, “Range Sensing, Localization, and Error Elimination of Two-Wheeled Mobile Robots,” The 2010 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, pp. 1494 – 1499, 2010.
- [17] Chomtip Pornpanomchai, Thitinit Liamsanguan, and Vissakorn Vannakosit, “Vehicle detection and counting from a video frame,” Proceedings of the 2008 International Conference on Wavelet Analysis and Pattern Recognition, pp. 356-361, 2008.
- [18] Astha Jain, Harshul Gandhi, and Vikalp Paharia, “Pixel Area Based Target Distance Estimating and Corresponding Target Hitting Force Calculating Autonomous Robot Using Single Video Device,” 12th IEEE International Symposium on Computational Intelligence and Informatics, pp. 361-365, 2011.
- [19] Nilakorn Seenouvang, Ukrit Watchareeruetai, and Khamphong Khongsomboon, “A Computer Vision Based Vehicle Detection and Counting System,” 2016 8th International Conference on Knowledge and Smart Technology (KST), pp. 224-227, 2016.

## บรรณานุกรม (ต่อ)

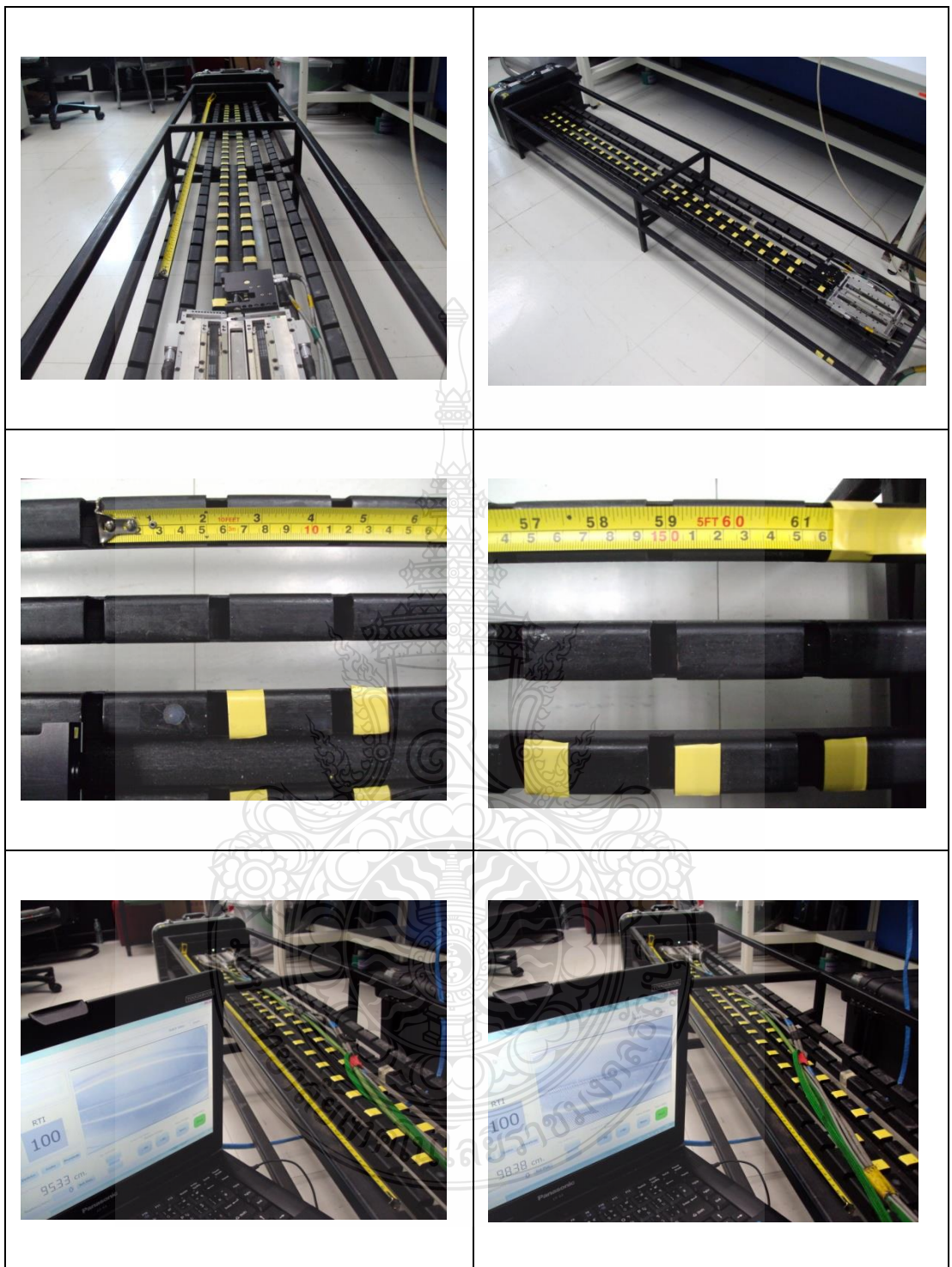
- [20] Neeraj K. Kanhere and Stanley T. Birchfield, “Real-Time Incremental Segmentation and Tracking of Vehicles at Low Camera Angles Using Stable Features,” *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 9, pp. 148–160, 2008.
- [21] Chen-Chien James Hsu, Ming-Chih Lu, and Yin-Yu Lu, “Distance and Angle Measurement of Objects on an Oblique Plane Based on Pixel Number Variation of CCD Images,” *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, vol. 60, pp. 1779 – 1794, 2011.
- [22] Carlos R. del-Blanco, Fernando Jaureguizar, and Narciso Garcia, “An Efficient Multiple Object Detection and Tracking Framework for Automatic Counting and Video Surveillance Applications,” *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, vol. 58, pp. 857-862, 2012.
- [23] Anshuman Agarwal, Shivam Gupta, and Dushyant Kumar Singh, “Review of Optical Flow Technique for Moving Object Detection,” 2016 2nd International Conference on Contemporary Computing and Informatics (ic3i), pp. 409-413, 2016.
- [24] Tian Wang and Hichem Snoussi, “Detection of Abnormal Visual Events via Global Optical Flow Orientation Histogram,” *IEEE Transactions on Information Forensics and security*, vol. 9, pp. 988–998, 2014.
- [25] Yung-Wei Chen, Kai Chen, Shih-Yi Yuan, and Sy-Yen Kuo, “Moving Object Counting Using a Tripwire in H.265/HEVC Bitstreams for Video Surveillance,” *IEEE Transactions on Content Mining*, vol. 4, pp. 2529 – 2541, 2016.
- [26] Ming-Chih Lu, Wei-Yen Wang, and Chun-Yen Chu, “Image-Based Distance and Area Measuring Systems,” *IEEE Sensors Journal*, vol. 6, pp. 495-503, 2006.

ภาคผนวก

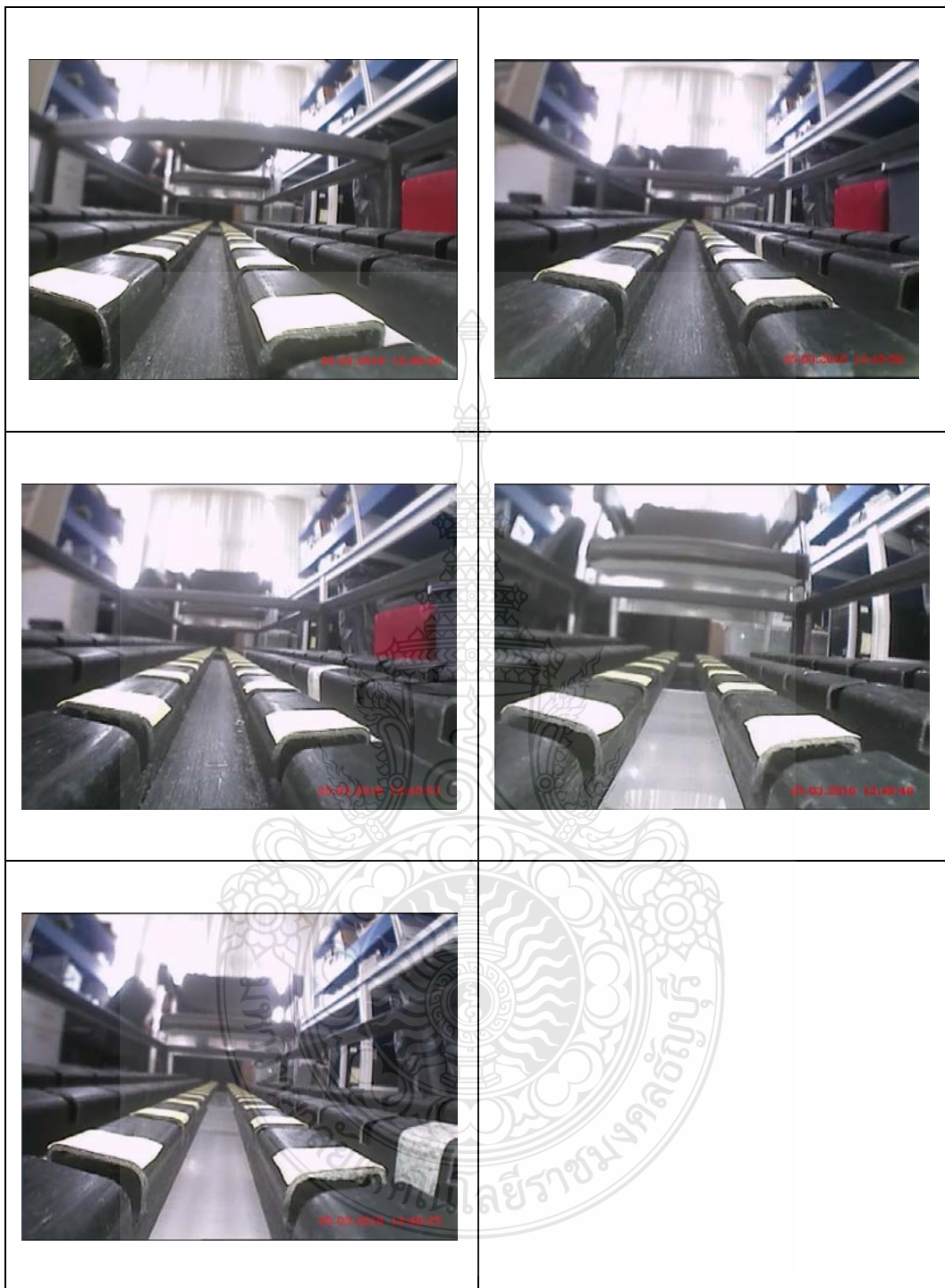




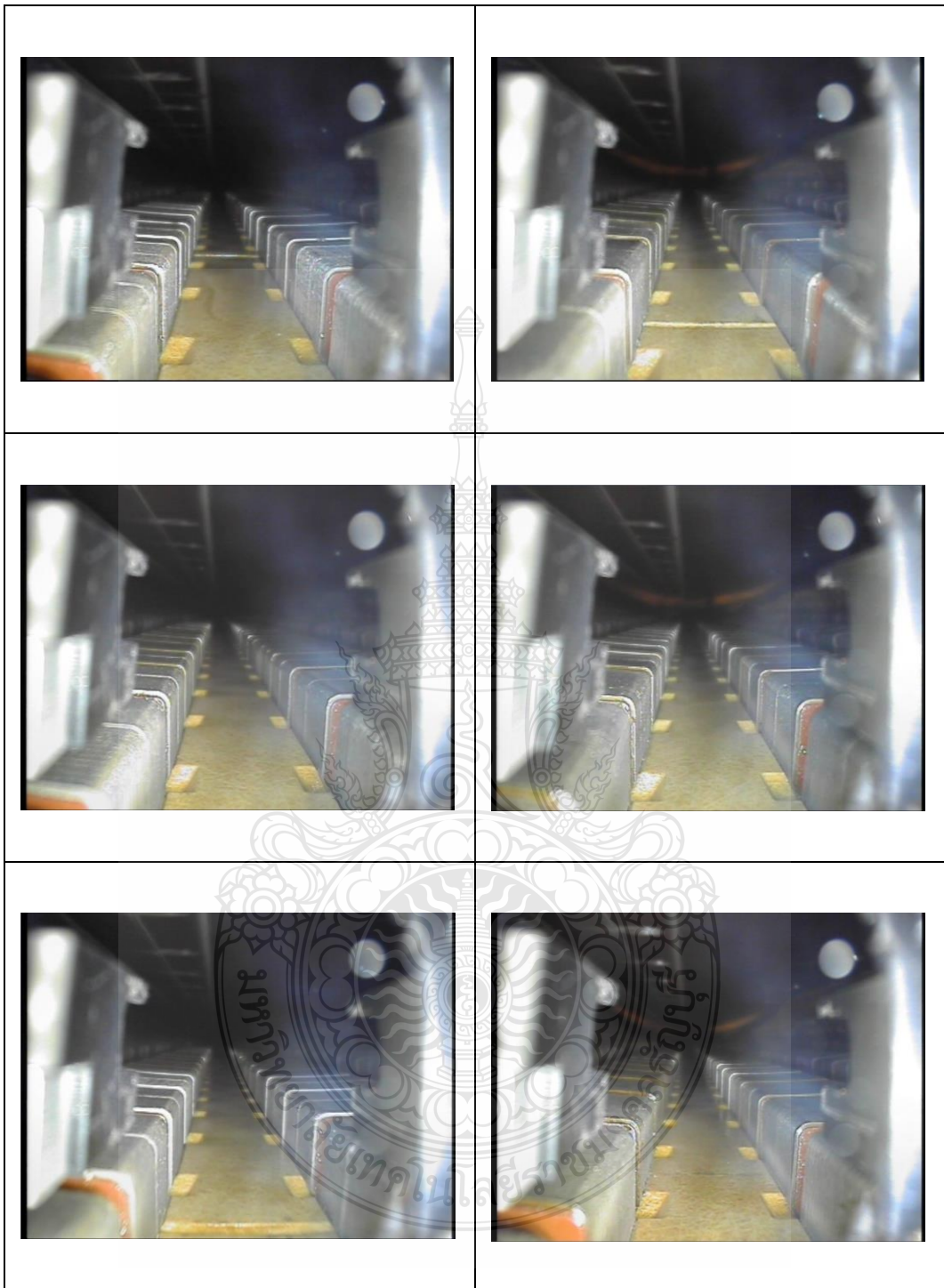




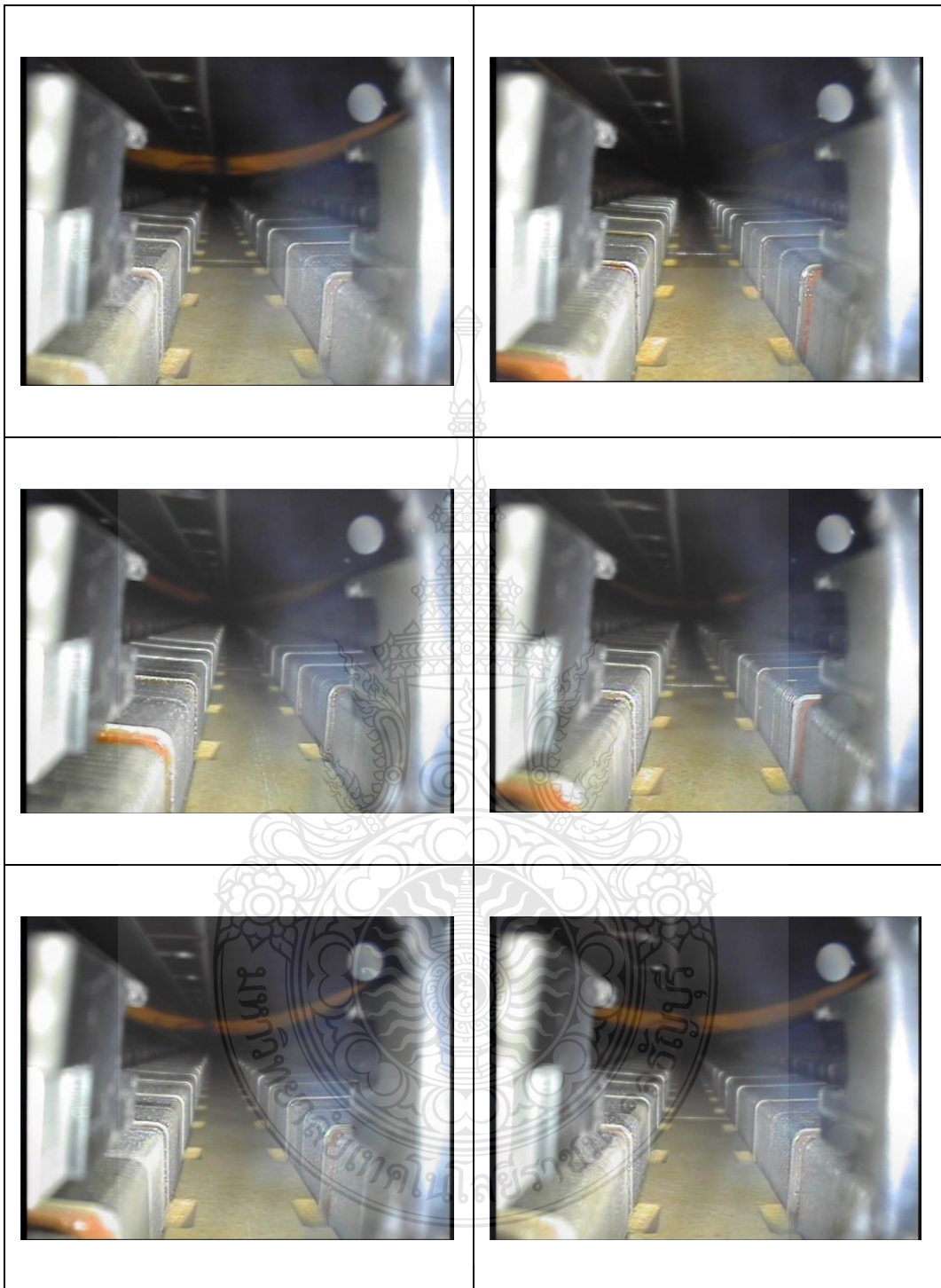
รูปที่ ก.1 ภาพการทดลองในห้องปฏิบัติการ



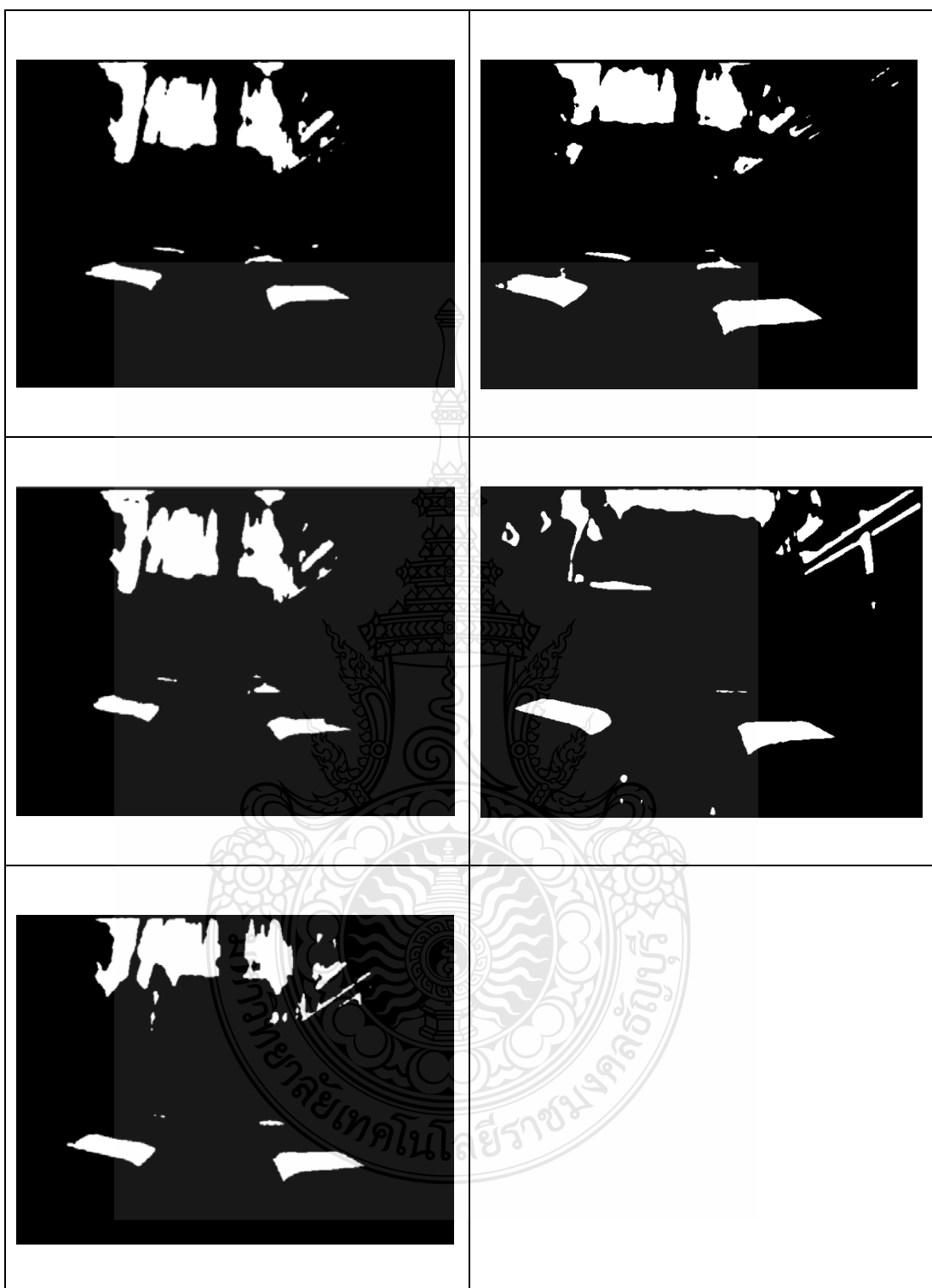
รูปที่ ก.2 วิธีโออินพุตที่ใช้ในการทดลองในห้องปฏิบัติการ



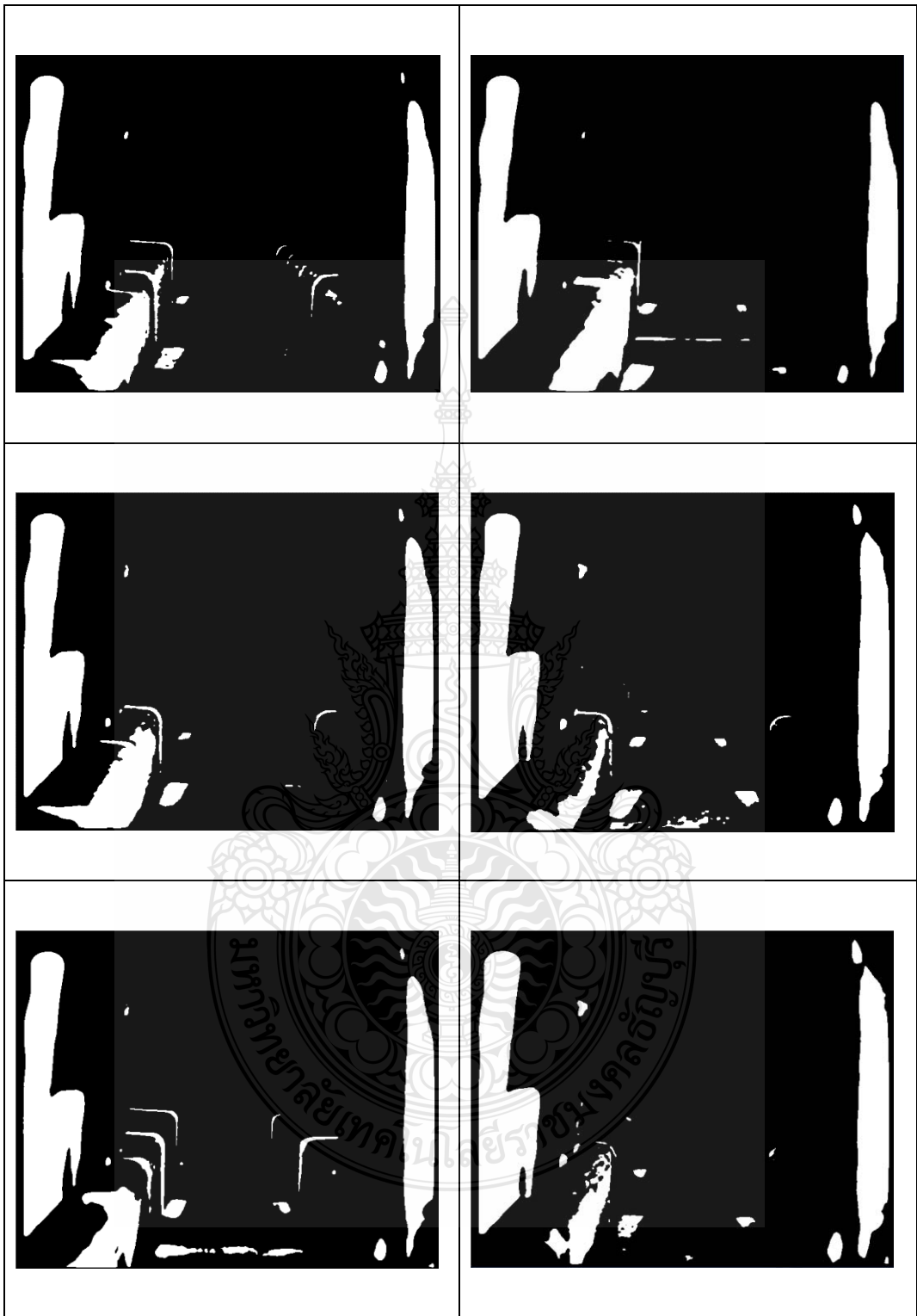
รูปที่ ก.3 วีดีโออินพุตที่ใช้ในการทดลองในงานจริง



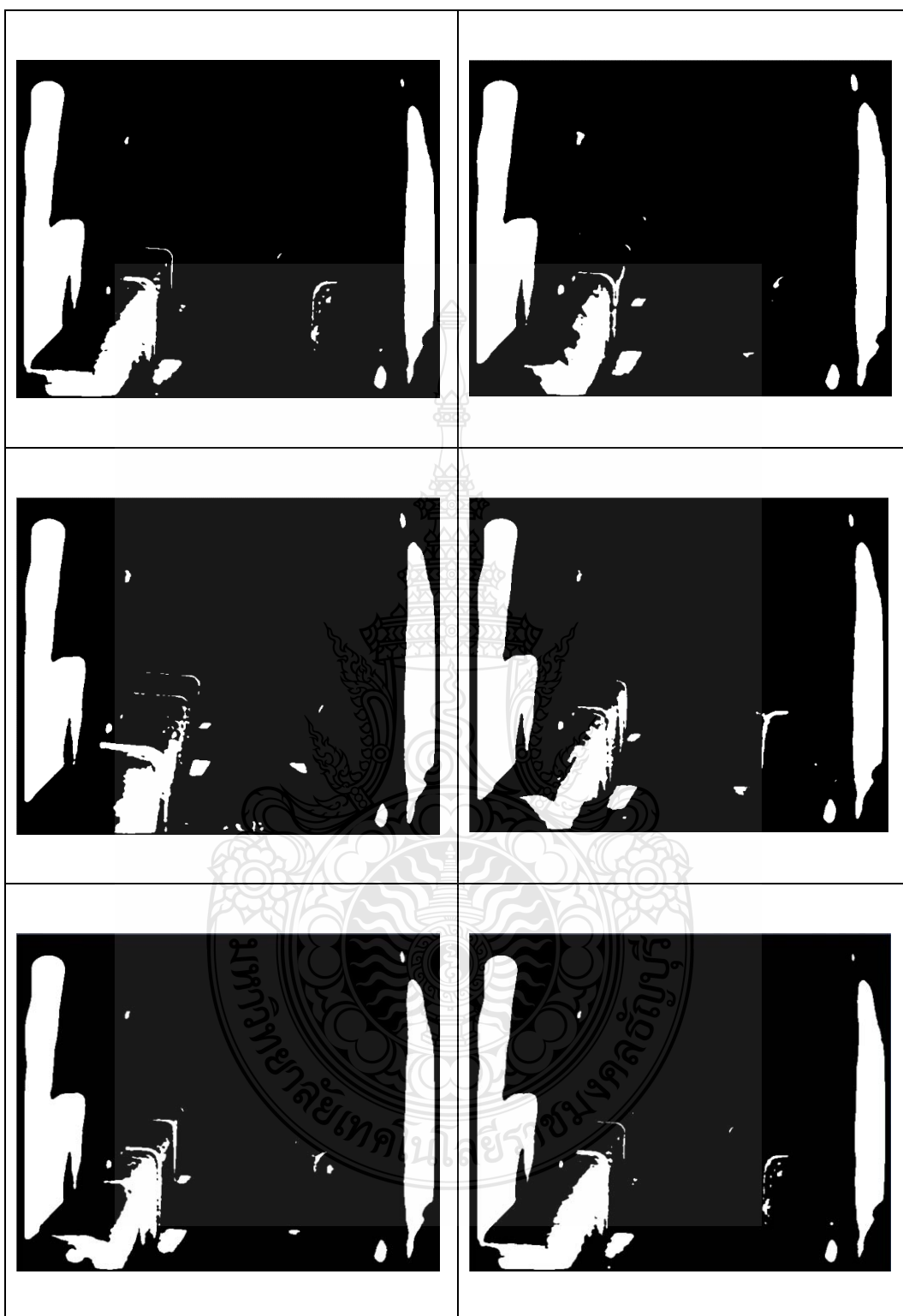
รูปที่ ก.3 วิธีโออินพุตที่ใช้ในการทดลองในงานจริง (ต่อ)



รูปที่ ก.4 ภาพใบนรีจากการทดลองในห้องปฏิบัติการ



รูปที่ ก.5 ภาพใบนารีจากการทดลองในงานจริง



รูปที่ ก.5 ภาพใบนรีจากการทดลองในงานจริง (ต่อ)



ภาคผนวก ข

ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่



## ผลงานวิจัยที่ผ่านการพิจารณาเผยแพร่แล้ว

1. การประชุมวิชาการครุศาสตร์อุตสาหกรรมระดับชาติครั้งที่ 8 The 8<sup>th</sup> National Conference on Technical Education (8<sup>th</sup> NCTechEd)

การประชุมวิชาการ  
ครุศาสตร์อุตสาหกรรม  
ระดับชาติ ครั้งที่ 8

The 8<sup>th</sup> National Conference on  
Technical Education  
[www.NCTechEd.org](http://www.NCTechEd.org)

Engineering & Technical Education

The 3<sup>rd</sup> International  
Conference on  
Technical Education

[www.ICTechEd.org](http://www.ICTechEd.org)

**November 26-27, 2015**

- Full paper submission due date September 15, 2015
- Notification of acceptance October 15, 2015
- Final paper submission and Registration due date November 10, 2015

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ  
Faculty of Technical Education  
King Mongkut's University of Technology North Bangkok (KMUTNB)

[www.ICTechEd.org](http://www.ICTechEd.org) [www.NCTechEd.org](http://www.NCTechEd.org)



การประชุมวิชาการคุณวุฒิอุตสาหกรรมระดับชาติ ครั้งที่ 8  
The 8<sup>th</sup> National Conference on Technical Education

# Engineering & Technical Education



วันที่ 26 พฤศจิกายน 2558  
คณะคุณวุฒิอุตสาหกรรม  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

### สารบัญ

รหัสบทความ	ชื่อบทความและผู้แต่ง	หน้า
	วิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า	
NCTechEd08TEE01	การพัฒนาระบบสำหรับทดสอบการส่งข้อมูลดิจิทัลด้วยเทคนิค QAM โดยใช้ SDR <i>กิติกรณ งามสมชาติ, อนุสรณ์ จึงตระกูล, ศิริวัฒน์ หงษ์ทอง</i>	1
NCTechEd08TEE02	เครื่องวัดค่าความชื้นข้าวเปลือก ไร้สาย <i>กนกศักดิ์ บุญทัน, ประภาศิต คันดือลงการ</i>	7
NCTechEd08TEE03	จักรยานกายภาพบำบัดแขนและขาสำหรับเด็กพิการทางสมอง <i>ปรีชา บานกลีบ, จตุรวิทย์ กฐินใหม่, ประภาศิต คันดือลงการ</i>	13
NCTechEd08TEE04	การระบุตำแหน่งของหุ่นยนต์ตรวจสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดใหญ่ โดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาพ <i>ภานุพันธ์ ขวัญสุด, จักรี ศรีนนท์จิตร</i>	19
NCTechEd08TEE05	เครื่องต้นแบบการจำแนกรูปประจำทางสาธารณะสำหรับผู้พิการทางสายตา <i>วุฒิชัย ปัทมกันอม, จุติศักดิ์ ทองรามภู, ประภาศิต คันดือลงการ</i>	25
NCTechEd08TEE06	โปรแกรมจำลองแบบแผนสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กตามขวางในท่อนำคลื่นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า โดยใช้วิธีฟูริเยร์ของแมทเทิล <i>สมภารธ ขำภักดิ์</i>	31
NCTechEd08TEE07	โปรแกรมออกแบบระบบไฟฟ้าที่มีโหลดเป็นเครื่องเชื่อมไฟฟ้า ตามมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้า สำหรับประเทศไทย พ.ศ. 2556 โดยใช้วิธีฟูริเยร์ของแมทเทิล <i>ไพศาล คงเรือง, สมภารธ ขำภักดิ์</i>	37
NCTechEd08TEE08	การศึกษาสาเหตุหลักของปัญหาของเสียในกระบวนการผลิตชิปไอซี วิทยาลัยอาชีวศึกษา โรงงานผลิตแผงวงจรไฟฟ้ารวม <i>พีรพัฒน์ บัวทอง, ไพโรจน์ หิภพเอกสิทธิ์</i>	43
NCTechEd08TEE09	ชุดต้นแบบการควบคุมอุณหภูมิไฟฟ้าด้วยการยับยั้งลมเหนือน้ำห้อง เพื่อผู้พิการทางกายภาพ <i>ปฏิภาณ อินทร์จ่าย, ปัญญา มัชชะตร</i>	49
NCTechEd08TEE10	ชุดเครื่องกำเนิดสัญญาณไฟโตเพลตัส โมดกรฟใช้ในการสอนและการฝึกปฏิบัติการทางด้านกรวิเคราะห์สัญญาณทางกายภาพ <i>วัชร อมศิริ</i>	55

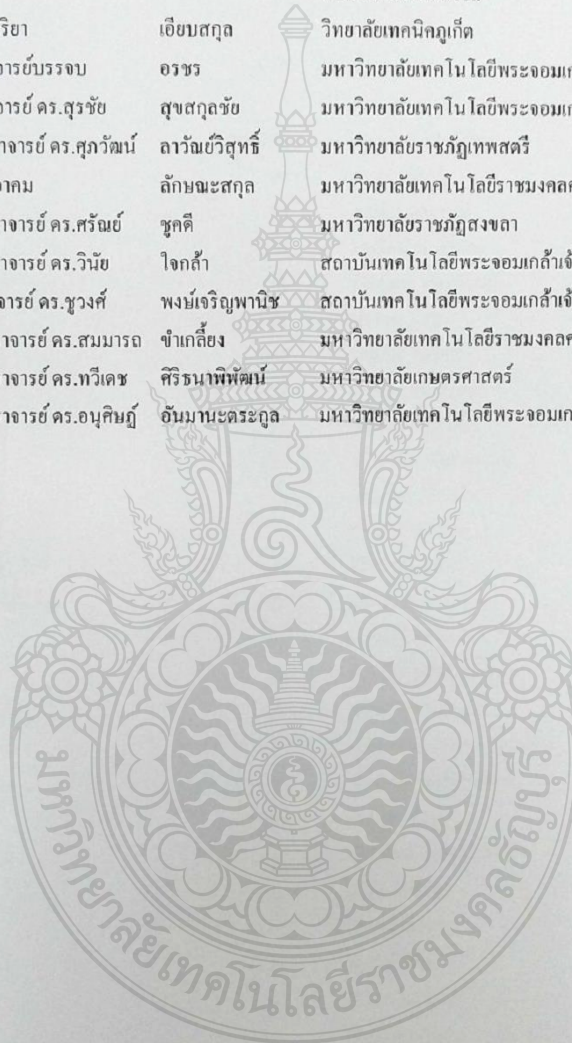
รายนามผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความ (ภายใน)

1. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นรินทร์	ศรีคอกไม้	คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
2. รองศาสตราจารย์ ดร.อนันต์	สืบสำราญ	คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
3. รองศาสตราจารย์ ดร.จิตติพงษ์	เลิศวิริยะประภา	คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
4. รองศาสตราจารย์ ดร.วัชรินทร์	โพธิ์เงิน	คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
5. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชัยพล	ธงชัยสุวัชต์กุล	คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
6. รองศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์	อรรคทิมานุกุล	คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
7. อาจารย์ ดร.ชูชาติ	ดีเทา	คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
8. อาจารย์ ดร.ภานี	น้อยยิ่ง	คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
9. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พงศธร	ชมทอง	คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
10. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จิรพันธุ์	ศรีสมพันธุ์	คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
11. รองศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต	สุขสวัสดิ์	คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
12. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จรัญ	แสนราช	คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
13. อาจารย์ ดร.ธัญญรัตน์	น้อยพลกรัง	คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
14. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มีชัย	โลหะการ	คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
15. รองศาสตราจารย์ ดร.สมสันต์	อุตกฤษฏ์	คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
16. รองศาสตราจารย์ ดร.พิเชษฐ	ศรีบรรยงก์	คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
17. อาจารย์ ดร.สมคิด	แซ่หัตถ์	คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
18. อาจารย์ ดร.สรเดช	ครุจางอิน	คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
19. รองศาสตราจารย์ ดร. สิทธิโชค	สุนทร โอภาส	วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
20. อาจารย์ ดร.วาทินี	นุ้ยเพียร	คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
21. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วัฒนา	แก้วฉวี	คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
22. ว่าที่ ร.ต.สรุจ	พันธุ์จันทร์	คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
23. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เอกยงค์	จันทร์ช่างพูด	คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
24. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บุลลศักดิ์	โกษิษาภรณ์	คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
25. อาจารย์ ดร.เอกกมล	บุญยะผลานันท์	คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
26. อาจารย์ ดร.สันติ	หุดะมาน	คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
27. รองศาสตราจารย์ ดร.วิทยา	วิภาวิวัฒน์	คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
28. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุวายุภรณ์	พรมจันทร์	คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
29. รองศาสตราจารย์ ดร.พานิช	วุฒิเพ็ญ	คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
30. อาจารย์ ดร.สุธิดา	ชัยรม ชื่น	คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม



รายนามผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความ (ภายนอก)

- |                                    |                   |  |
|------------------------------------|-------------------|--|
| 1. ศาสตราจารย์ ดร.สุชนันต์         | ห่อพิบูลสุข       | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี                                    |
| 2. อาจารย์ ดร.นพศักดิ์             | คันติศักดิ์ยานนท์ | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์<br>วิทยาเขตวังไกลกังวล |
| 3. อาจารย์ ดร.จริยา                | เอียบสกุล         | วิทยาลัยเทคนิคภูเก็ต   |
| 4. รองศาสตราจารย์ บรรจง            | อรชร              | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี                          |
| 5. รองศาสตราจารย์ ดร.สุรัช         | สุขสกุลชัย        | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี                          |
| 6. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศุภวัฒน์  | ลาวัญย์วิสุทธิ์   | มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี                                       |
| 7. อาจารย์ ดร.อาคม                 | ลักษณะสกุล        | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย                            |
| 8. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศรัณย์    | ชูคติ             | มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา   |
| 9. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วินัย     | ใจกล้า            | สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง                 |
| 10. รองศาสตราจารย์ ดร.ชวรงค์       | พงษ์เจริญพานิช    | สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง                 |
| 11. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมภาร    | ข้าเกลี้ยง        | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาลัยรัตภูมิ            |
| 12. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทวีเดช   | ศิริธนาพิพัฒน์    | มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์   |
| 13. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อนุศิษฐ์ | อันมานะตระกูล     | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี                          |





การระบุตำแหน่งของหุ่นยนต์ตรวจสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดใหญ่  
โดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาพ  
**Indicator Position of Generator Inspected Robot (GIR)  
Using Image Processing Technique**

ภาณุพันธ์ ขวัญสุด<sup>1</sup> และ จักรี ศรีนนท์ฉัตร<sup>2</sup>

ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม  
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี  
<sup>1</sup>phanuphan1976@gmail.com, <sup>2</sup>jakkree.s@en.rmutt.ac.th

**บทคัดย่อ**

ความผิดพลาดในการระบุตำแหน่งของหุ่นยนต์ตรวจสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเกิดจากการลื่นไหลระหว่างสายพานกับร่องเฟือง ดังนั้น เพื่อให้การระบุตำแหน่งของหุ่นยนต์ไม่ผิดพลาด บทความนี้นำเสนอการนับร่องระบายอากาศเครื่องกำเนิดไฟฟ้าโดยการประมวลผล ภาพวีดีโอสำหรับหุ่นยนต์ตรวจสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ในการทดลองภาพวีดีโอ 2 ชุดซึ่งถ่ายจากงานจริงถูกนำมาใช้ โดยระยะห่าง ระหว่างร่องระบายอากาศในเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีขนาดเท่ากัน เทคนิคการนับจำนวนพิกเซล ถูกนำมาใช้และนำมาเปรียบเทียบค่าการ เปลี่ยนแปลงของจำนวนพิกเซลในแต่ละเฟรมของวีดีโอเทียบกับเฟรมก่อนหน้า การทดสอบนี้ทำงานบนฐานเวลาจริง ผลการทดลอง แสดงให้เห็นว่า เทคนิคดังกล่าวสามารถนับร่องระบายอากาศของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าได้ถูกต้อง 98.3% และ 93.3% ตามลำดับ ทั้งนี้ จากผลการทดสอบดังกล่าวหุ่นยนต์ตรวจสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสามารถระบุตำแหน่งของตัวเองได้

คำสำคัญ: การประมวลผลภาพ ภาพไบนารี การนับจำนวนพิกเซล การนับวัตถุ

**Abstract**

The Generator Inspected Robot (GIR) faulted to identify its position because it slipped between the belts and groove motor gear in robot. Thus to solve that problem, this article presents grooves airflow counting of generator using image processing for GIR. In the experiment, two set of videos from the field work are used. In the generator, the gap of each grooves airflow are equal. The pixel counting technique is applied and compared the number of pixel in each video between the present and the previous frame. This experiment is based on real time processing. The results show that these techniques provides the accuracy of the grooves airflow counting as 98.3% and 93.3% respectively. Therefore, the GIR can defiantly identify its position.

**Keyword:** Image Processing, Binary Image, Pixel Counting, Object Counting

## 1. บทนำ

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดใหญ่สำหรับผลิตกระแสไฟฟ้าในระดับเมกกะวัตต์ซึ่งติดตั้งอยู่ตามโรงไฟฟ้าในแต่ละแห่ง ก่อนที่จะมีการซ่อมบำรุงครั้งใหญ่จะใช้หุ่นยนต์ตรวจสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเข้าไปตรวจสอบก่อนว่าจำเป็นต้องถอดเพื่อซ่อมบำรุงแล้วหรือไม่ ซึ่งการตรวจสอบโดยหุ่นยนต์จะลดเวลาลงได้เป็นอย่างมากเมื่อเทียบกับการตรวจสอบโดยคนเนื่องจากไม่จำเป็นต้องถอดโรเตอร์ออกมาจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า หุ่นยนต์ตรวจสอบภายในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดังกล่าวมีการระบุตำแหน่งของหุ่นยนต์ภายในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าโดยใช้เอนโคเดอร์ท้ายมอเตอร์ซึ่งอาจเกิดการผิดพลาดได้เนื่องจากการสั่นไหวระหว่างสายพานกับร่องเฟืองที่ติดกับมอเตอร์ จึงจำเป็นต้องหาวิธีการที่เหมาะสม โดยการประมวลผลภาพเป็นวิธีการหนึ่ง ทั้งนี้ตัวหุ่นยนต์ได้ติดตั้งกล้องถ่ายวิดีโอที่ตัวหุ่นยนต์อยู่แล้วจึงทำให้ไม่มีค่าใช้จ่ายเพิ่มเติม การพัฒนาเทคนิคในการนับร่องระบายอากาศภายในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าโดยการประมวลผลภาพเป็นส่วนหนึ่งที่จะนำไปใช้ระบุตำแหน่งหุ่นยนต์ตรวจสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดใหญ่ได้

บทความนี้เสนอการนับร่องระบายอากาศภายในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดใหญ่ที่มีระยะห่างระหว่างร่องเท่าๆ กันซึ่งเป็นพื้นที่ปิด ภาพวิดีโอจะได้จากกล้องที่ติดกับตัวหุ่นยนต์และนำมาประมวลผลภาพ เพื่อบันทึกร่องระบายอากาศภายในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าโดยการทำใบนารีภาพ กำหนดขอบเขตการนับและใช้ข้อมูลจากการนับจำนวนพิกเซลมาทำการนับร่องระบายอากาศ ตัวอย่างจากงานวิจัย [1] ได้ใช้ข้อมูลการนับจำนวนพิกเซลมาใช้ในการคำนวณเชิงเรขาคณิตเพื่อหาความหนาแน่นของฝูงชน และจากงานวิจัย [2] ใช้ข้อมูลการนับจำนวนพิกเซลไปใช้ในงานด้านธรณีวิทยาเพื่อหาเปอร์เซ็นต์ของหินตะกอนที่ปะปนในดิน ส่วนบทความนี้ใช้ข้อมูลการนับจำนวนพิกเซลมาเปรียบเทียบค่าการเปลี่ยนแปลงของจำนวนพิกเซลในแต่ละเฟรมเทียบกับเฟรมก่อนหน้า ก่อนที่จะนับเป็นจำนวนร่องระบายอากาศภายในเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

## 2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

วิธีการนับวัตถุในงานวิจัยที่หลากหลายโดยมากจะทำการนับคนหรือนับยานพาหนะ ที่มีอินพุตเป็นวิดีโอ โดยผ่านกระบวนการปรับปรุงภาพด้วยการลบสัญญาณรบกวน เปลี่ยนภาพสีเป็นภาพระดับเทาและทำใบนารีภาพโดยการเทรซโฮล

จากงานวิจัย [3] ทำการแบ่งแยกพิกเซลของคนที่จะนับด้วยการลบภาพพื้นหลังทำให้เห็นภาพคนได้ชัดเจนขึ้น แต่ก็ยังมีข้อจำกัดซึ่งจะนับได้ก็ต่อเมื่อภาพวิดีโอเคลื่อนไหวช้า จากงานวิจัย [4] ใช้เทคนิคมอร์โฟโลยีแบบหักล้างเพื่อระบุป้ายทะเบียนรถยนต์ แต่เมื่อวิเคราะห์ภาพที่มีความซับซ้อนของพื้นหลังมากผลความถูกต้องจึงลดลงด้วย จากงานวิจัย [5] นำเสนอวิธีการทำใบนารีภาพโดยเน้นความสม่ำเสมอในการกระจายภาพระดับสีเทา สามารถจัดสัญญาณรบกวนได้ดีและเห็นภาพวัตถุชัดเจนขึ้น แต่ก็ใช้การคำนวณที่เพิ่มขึ้นมากเช่นกัน จากงานวิจัย [6] เสนอวิธีเทรซโฮลซึ่งใช้คุณสมบัติการรับรู้ภาพของมนุษย์และลักษณะทางสถิติของภาพ ซึ่งช่วยลดการค้นหาและเวลาของการทำเทรซโฮล จากงานวิจัย [7] ได้กำหนดขอบเขตที่จะนับเพื่อปรับปรุงคุณภาพการนับยานพาหนะ โดยสามารถป้องกันสัญญาณรบกวนจากบริเวณที่ไม่ต้องการ ผลการนับได้ถูกต้องถึง 98% แต่ก็ยังต้องปรับปรุงคุณภาพในสภาพการจราจรที่แตกต่าง จากงานวิจัย [8] ทำการนับฝูงชนโดยกำหนดกรอบที่ต้องการนับและลบภาพนอกกรอบออกซึ่งเป็นบริเวณที่ไม่ต้องการ

### 2.1 หุ่นยนต์ตรวจสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

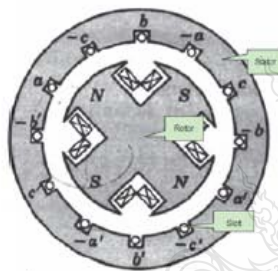
หุ่นยนต์ตรวจสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดใหญ่ มีลักษณะดังรูปที่ 1 ประกอบด้วยแผงควบคุม, กล้องควบคุม, คอมพิวเตอร์ และตัวหุ่นยนต์ ทำงานร่วมกัน โดยหุ่นยนต์จะเข้าไปตรวจสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าตรงช่องว่างระหว่างโรเตอร์ (Rotor) กับสเตเตอร์ (Stator) ดังรูปที่ 2 และผู้ใช้งานจะควบคุมหุ่นยนต์จากด้านนอกโดยคู่วิดีโอที่ได้จากกล้องที่ติดอยู่กับตัวหุ่นยนต์แบบเวลาจริงผ่านหน้าจอคอมพิวเตอร์ ส่วนประกอบตัวหุ่นยนต์มีกล้อง 2 ตัวเป็นกล้องหน้ากับกล้องมองข้างและชุดเคาะเวดจ์เป็นอุปกรณ์หลักในการตรวจสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

หุ่นยนต์เข้าไปทำหลายหน้าที่ หน้าที่หลักๆ คือการตรวจสอบความแน่นของเวดจ์โดยการเคาะ (เวดจ์คือแผ่นฉนวนที่ปิดขดลวดในแต่ละ Slot ของ Stator) และอีกหน้าที่หนึ่งคือใช้กล้องมองรอบๆ ว่ามีเศษขยะ เศษผง หรือร่องรอยครดล์ธาตุตรงไหนบ้างเป็นเหตุให้จำเป็นต้องรู้ระยะที่แน่นอนภายในเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และระยะที่ได้นี้ก็นำไปใช้ในการ

เกาะเวดจ์ให้ตรงตำแหน่งของแต่ละเวดจ์แต่ละแผ่นด้วย ซึ่งแผ่นเวดจ์ในแต่ละ slot เรียกว่ากันหลายแผ่นต่อ 1 slot



ภาพที่ 1 หุ่นยนต์ตรวจสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดใหญ่



ภาพที่ 2 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดใหญ่

## 2.2 การเปลี่ยนภาพสีเป็นภาพระดับสีเทา (Gray Scale)

การเปลี่ยนภาพสี (RGB) เป็นภาพระดับสีเทา (Gray Scale) กระบวนการนี้จะทำให้ภาพที่ได้สามารถนำมาประมวลผลได้ง่ายขึ้นและรวดเร็วขึ้น เพราะว่าการที่จะมีการวิเคราะห์การตรวจจับวัตถุจะมีการนำภาพมาเข้ากระบวนการตามขั้นตอนต่างซึ่งถ้านำภาพสีมาเข้ากระบวนการทำงานทำให้เกิดความซ้ำเพราะว่าภาพสีแต่ละภาพจะประกอบไปด้วยภาพสามภาพประกอบกันประกอบไปด้วยภาพ โทนสีแดงภาพ โทนสีเขียวและภาพ โทนสีน้ำเงินฉะนั้นการที่จะเข้าถึงภาพและประมวลผลก็จะต้องเข้าถึงข้อมูลทั้งสามข้อมูล (แดงเขียวน้ำเงิน) แต่ระดับสีเทานั้นจะทำให้ง่ายและเร็วกว่าเพราะมีเพียงโทนสีเดียว

$$Y = 0.3 * R + 0.59 * G + 0.11 * B \quad (1)$$

เมื่อ Y = ค่าของระดับสีเทา

R,G,B = ค่าของระดับภาพสี RGB

## 2.3 การปรับเท่าฮิสโตแกรม (Histogram Equalization)

วิธีการ Histogram Equalization เป็นวิธีการปรับแก้ความสว่าง ที่จะทำการยึดข้อมูลภาพให้คมชัด โดยใช้ความสัมพันธ์ที่ไม่ใช่ลักษณะเชิงเส้นตรง จุดประสงค์ในการใช้วิธีนี้คือ พยายามเปลี่ยนการกระจายข้อมูลที่ไม่ปกติให้เป็นแบบปกติและปรับจำนวนจุดภาพในแต่ละค่าความเข้มให้มีจำนวนใกล้เคียงกัน ค่าความเข้มใหม่ของจุดภาพเหล่านี้คำนวณได้โดยใช้สมการที่ 2

$$b_k = G_{\max} \sum_{i=0}^k h_i \quad \text{สำหรับ } 0 \leq k \leq G_{\max}$$

$$\text{โดยที่ } h_i = \frac{ni}{MN} \quad \text{สำหรับ } 0 \leq i \leq G_{\max} \quad (2)$$

เมื่อ  $b_k$  = ค่าความเข้มใหม่ของจุดภาพหลังปรับปรุงฮิสโตแกรม

$G_{\max}$  = ค่าความเข้มสูงสุดของภาพ

$ni$  = จำนวนจุดภาพที่มีความเข้มระดับ  $i$

$MN$  = จำนวนแถวและคอลัมน์ของภาพ

## 2.4 ภาพ Binary

เป็นการแปลงข้อมูลภาพที่มีความเข้มหลายระดับให้เป็นภาพที่มีระดับความเข้มเพียง 2 ระดับคือ 1 จุดภาพมีค่าได้ 2 ค่าเท่านั้นโดยเป็น 0 กับ 1 หรือเรียกอีกอย่างว่า Binary ซึ่ง 1 จะหมายถึงจุดภาพที่มีสีขาวและ 0 หมายถึงจุดภาพที่มีสีดำการแปลงภาพเป็น Binary จึงมีความสำคัญมากในการแสดงผลภาพที่มีระดับความเข้มของภาพหลายระดับบนอุปกรณ์ที่มีความสามารถในการแสดงผลได้ 2 ระดับและประโยชน์อีกอย่างหนึ่งคือการลดพื้นที่เก็บข้อมูลภาพให้เหลือเพียง 2 บิต ในการสร้างภาพ Binary นั้นสามารถทำได้โดยการใช้เทคนิคการทำเทรชโฮลด์ (Threshold Techniques) โดยพิจารณาว่าจุดใดควรเป็นจุดขาวหรือจุดดำจะกระทำโดยการเปรียบเทียบกันระหว่างจุดภาพเริ่มต้นกับค่าคงที่ค่าหนึ่งเรียกว่าค่า Threshold ซึ่งจะมีค่าตั้งแต่ 0-255 หากค่าของพิกเซลมีค่าน้อยกว่า Threshold ก็ให้พิกเซลนั้นเป็น 0 และหากค่าพิกเซลนั้นมีค่ามากกว่า Threshold ก็ให้พิกเซลนั้นมีค่าเป็น 1 ดังสมการที่ 3

$$g(x, y) = \begin{cases} 0, & f(x, y) < \text{Threshold} \\ 1, & f(x, y) \geq \text{Threshold} \end{cases} \quad (3)$$



เมื่อ  $g(x,y)$  = ระดับสีเทาที่จุด  $(x,y)$  ใดๆ ของภาพ  
 $f(x,y)$  = เป็นค่าความสว่างของจุด  $(x,y)$   
 Threshold = ระดับสีเทาที่ใช้อ้างอิงการแปลงข้อมูล

### 2.5 การนับจำนวนพิกเซล

โดยทั่วไปเราไม่สนใจพิกเซลเดี่ยว ๆ ที่แยกกันไป แต่เราสนใจกลุ่มของพิกเซลที่อยู่ติดกัน ซึ่งพิกเซลเหล่านี้อาจเป็นภาพของสิ่งที่เราสนใจ ข้อมูลที่เราต้องการทราบอยู่บ่อยๆ อย่างหนึ่งก็คือ จำนวนกลุ่มของพิกเซลที่อยู่ติดกัน การที่เราจะทราบจำนวนดังกล่าวได้เราต้องสามารถแยกพิกเซลออกเป็นกลุ่มๆ ที่ติดกัน การนับพิกเซลจะสแกนไปที่ละแถวเพื่อนับพิกเซลขาวจากภาพไบนารีเฉพาะขอบเขตที่กำหนด ภาพไบนารีที่จะนำมาประมวลผลถูกเก็บในแถวลำดับสองมิติดังสมการที่ 4

$$f(x,y) = \begin{bmatrix} (x,y) + & (x,y+1) + & \dots & + (x,y_n) \\ (x+1,y) + & (x+1,y+1) + & \dots & + (x+1,y_n) \\ \dots + & \dots + & \dots & + \dots \\ (x_m,y) + & (x_m,y+1) + & \dots & + (x_m,y_n) \end{bmatrix} \quad (4)$$

เมื่อ  $f(x,y)$  = พิกัดพิกเซล  $x,y$  ที่กำหนดขอบเขตการนับ  
 $x$  = พิกัดพิกเซลในแนวแกน  $x$  เมื่อ  $x = x$  ถึง  $x_m$   
 $y$  = พิกัดพิกเซลในแนวแกน  $y$  เมื่อ  $y = y$  ถึง  $y_n$

### 3. ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

#### 3.1 ขั้นตอนการตรวจสอบและบันทึกวิดีโอ

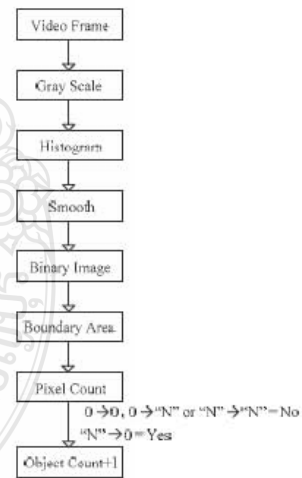
ขั้นตอนนี้เป็นหน้าที่ในการทำงานของหุ่นยนต์ซึ่งจะเข้าไปตรวจสอบ Slot แต่ละแถวในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและบันทึกวิดีโอ ซึ่งวิดีโอที่ได้จากกล้องหน้าของหุ่นจะเห็นร่องระบายอากาศอยู่ตามความยาวของ Slot แต่ละแถวดังรูปที่ 3 จะเห็นว่าในหนึ่ง Slot จะมีหลายร่องระบายอากาศที่มีระยะห่างเท่าๆ กัน จำนวนร่องระบายอากาศจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับขนาดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า วิดีโอที่นำมาทดลองมีสองชุดด้วยกัน ชุดที่ 1 เป็นภาพวิดีโอขนาด 720x576 อัตรา 25 เฟรมต่อวินาที และชุดที่ 2 เป็นภาพวิดีโอขนาด 640x480 อัตรา 24 เฟรมต่อวินาที



ภาพวิดีโอชุดที่ 1      ภาพวิดีโอชุดที่ 2  
ภาพที่ 3 วิดีโอที่นำมาเป็นอินพุตทั้ง 2 ชุด

#### 3.2 ขั้นตอนการวิเคราะห์ผล

ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยในรูปที่ 4 นำเสนอขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมเริ่มจากการนำข้อมูลไฟล์วิดีโอที่ได้บันทึกไว้ไปประมวลผลทีละเฟรมภาพ ทำการปรับปรุงภาพด้วยการปรับเปลี่ยนภาพให้เป็นภาพระดับสีเทาในรูปที่ 5 จากนั้นปรับเท่าความสว่างภาพด้วยการทำฮิสโตแกรม กำจัดสัญญาณรบกวนผ่านตัวกรองชนิดเกาเซียน แปลงข้อมูลภาพเป็นภาพไบนารีโดยการเทรชโฮล ทำให้ภาพที่ต้องการปรากฏเด่นชัดขึ้นในรูปที่ 6



ภาพที่ 4 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม



Grayscale Image วิดีโอชุดที่ 1      Grayscale Image วิดีโอชุดที่ 2  
ภาพที่ 5 Grayscale Image วิดีโอทั้ง 2 ชุด



Binary Image วิดีโอชุดที่ 1      Binary Image วิดีโอชุดที่ 2

ภาพที่ 6 Binary Image วิดีโอทั้ง 2 ชุด

กำหนดพื้นที่ (Boundary Area) เฉพาะบริเวณที่ต้องการเพื่อนับจำนวนพิกเซล จะกำหนดขอบเขตการนับเฉพาะพื้นที่บริเวณที่จะนับ โดยจะไม่นำพื้นที่นอกเหนือจากพื้นที่ที่กำหนดมาประมวลผลด้วย ควรกำหนดขอบเขตให้น้อยที่สุดเพื่อลดการประมวลผลและจะช่วยให้การจัดสัญญาณรบกวนของภาพได้อีกทางหนึ่ง ซึ่งเส้นขอบเขตที่กำหนดนี้จะอยู่ตำแหน่งเดิมในทุกเฟรมภาพ โดยจะเห็นขอบเขตที่ต้องการนับในรูปที่ 7



เส้นขอบเขตการนับวิดีโอชุดที่ 1      เส้นขอบเขตการนับวิดีโอชุดที่ 2

ภาพที่ 7 ขอบเขตการนับพิกเซลของวิดีโอทั้ง 2 ชุด

การนับจำนวนพิกเซลแต่ละเฟรมในภาพวิดีโอ โดยแต่ละเฟรมภาพจะเคลื่อนเข้าหาเส้นขอบเขตที่กำหนดทีละเฟรมพื้นที่ที่สีดำจากภาพไบนารีเมื่อเคลื่อนถึงเส้นขอบเขตที่กำหนดจะนับจำนวนพิกเซลได้เท่ากับศูนย์ 0 และพื้นที่สีขาวเมื่อเคลื่อนถึงเส้นขอบเขตที่กำหนด จะนับจำนวนพิกเซลได้เท่ากับ N หมายถึงนับได้ N จำนวนคือจำนวนใดๆ ที่ไม่ใช่ศูนย์ โดยการนับพิกเซลจะนับในขอบเขตที่กำหนดเท่านั้นแล้วจึงนำค่าที่ได้มาเทียบกับเฟรมก่อนหน้า ซึ่งจะเกิดขึ้นได้ 4 กรณีดังนี้คือ

กรณีที่ 1 เฟรมก่อนหน้านับได้ 0 เฟรมปัจจุบันนับได้ 0 ( $0 \rightarrow 0$ ) ดังรูปที่ 8(a) เทียบกับ 8(b)

กรณีที่ 2 เฟรมก่อนหน้านับได้ 0 เฟรมปัจจุบันนับได้ N จำนวน ( $0 \rightarrow "N"$ ) ดังรูปที่ 8(c) เทียบกับ 8(d)

กรณีที่ 3 เฟรมก่อนหน้านับได้ N จำนวนเฟรมปัจจุบันนับได้ N จำนวน ( $"N" \rightarrow "N"$ ) ดังรูปที่ 8(e) เทียบกับ 8(f)

กรณีที่ 4 เฟรมก่อนหน้านับได้ N จำนวนเฟรมปัจจุบันนับได้ 0 ( $"N" \rightarrow 0$ ) ดังรูปที่ 8(g) เทียบกับ 8(h)



(a)

(b)



(c)

(d)



(e)

(f)



(g)

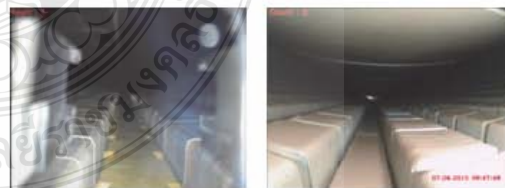
(h)

เฟรมก่อนหน้า

เฟรมปัจจุบัน

ภาพที่ 8 จำลองการนับจำนวนพิกเซลทั้ง 4 กรณี

การนับจำนวนพิกเซลที่เกิดขึ้น 4 กรณีนี้มีกรณีเดียวเท่านั้นที่จะนำมานับจำนวนร่องระบายอากาศคือกรณีที่ 4 ( $"N" \rightarrow 0$ ) ซึ่งเมื่อเกิดกรณีนี้จึงจะนับเป็นจำนวนร่องระบายอากาศ +1 และจำนวนที่นับได้จะแสดงบนหน้าจอมอนิเตอร์ดังรูปที่ 9 ว่านับร่องระบายอากาศได้จำนวนเท่าใดในระยะนั้นๆ



นับร่องระบายอากาศวิดีโอชุดที่ 1      นับร่องระบายอากาศวิดีโอชุดที่ 2

ภาพที่ 9 การนับร่องระบายอากาศจากวิดีโอทั้ง 2 ชุด

จากขั้นตอนการดำเนินการได้นำมาเขียนเป็นโปรแกรมที่พัฒนาด้วยภาษา C++ ใช้คอมพิวเตอร์ Visual Studio ร่วมกับฟังก์ชันการประมวลผลภาพของ OpenCV

#### 4. ผลการทดลอง

จากการทดลอง โดยใช้หุ่นยนต์ตรวจสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทำการถ่ายวิดีโอภายในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดใหญ่ที่มีระยะห่างร่องระบายอากาศในแต่ละ Slot ของสเตเตอร์เท่าๆกัน โปรแกรมจะทำการนับร่องระบายอากาศภายในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าโดยการนับจำนวนพิกเซล ผลการทดลองจากตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการทดลอง

อินพุต	จำนวนร่องที่นับทั้งหมด	นับได้	คิดเป็นเปอร์เซ็นต์
วิดีโอชุดที่ 1	60	61	98.3%
วิดีโอชุดที่ 2	60	64	93.3%

ผลการทดลองจากวิดีโอสองชุด คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องเฉลี่ยได้ 95.8% ซึ่งจะเห็นว่ายังมีการนับที่คลาดเคลื่อนอยู่ซึ่งจากวิดีโอชุดที่ 1 การนับที่ผิดพลาดเกิดจากรอยต่อของแผ่นเวคซ์ และจากวิดีโอชุดที่ 2 ความผิดพลาดเกิดจากรอยเชื่อมต่อของสเตเตอร์ที่ไม่ใช่ร่องระบายอากาศและบางจุดมีพื้นผิวขรุขระดังแสดงในรูปที่ 10 และ 11



ภาพวิดีโอชุดที่ 1

ภาพที่ 10 ภาพวิดีโอชุดที่ 1 ช่วงที่มีการนับผิดพลาด



Binary Image วิดีโอชุดที่ 1



ภาพวิดีโอชุดที่ 2

ภาพที่ 11 ภาพวิดีโอชุดที่ 2 ช่วงที่มีการนับผิดพลาด



Binary Image วิดีโอชุดที่ 2

#### 5. สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้นำเสนอการนับร่องระบายอากาศเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดใหญ่เพื่อนำไปใช้ในการระบุตำแหน่งของ

หุ่นยนต์ตรวจสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เพื่อทดแทนอุปกรณ์วัดตำแหน่งอื่นๆ โดยใช้กล้องทำหน้าที่เป็นเซนเซอร์ตำแหน่ง การประมวลผลภาพจะใช้วิธีการนับจำนวนพิกเซลมาช่วยในนับร่องระบายอากาศเครื่องกำเนิดไฟฟ้า อย่างไรก็ตามงานวิจัยนี้ยังมีปัญหาที่จะต้องได้รับการปรับปรุงให้สามารถนำไปพัฒนาได้อย่างหลากหลาย เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของโปรแกรมและการทำงานที่หลากหลายมากยิ่งขึ้น ตั้งแต่การปรับปรุงการประมวลผลภาพให้มีความละเอียดมากยิ่งขึ้นและให้การทำงานนั้นเร็วขึ้นหรือแม้แต่ในส่วนของเทคนิคต่างๆ ซึ่งสามารถพัฒนาได้โดยการปรับปรุงในส่วนหลักก็คือการนับจำนวนพิกเซลสามารถคิดค้นวิธีการนับได้มากมายสามารถปรับปรุงค่าเทรชโฮลด์ ให้มีความยืดหยุ่นมากยิ่งขึ้นเพื่อให้การทำงานนั้นมีประสิทธิภาพสูงที่สุด เมื่อทำการปรับปรุงการนับให้มีประสิทธิภาพแล้วก็สามารถนำไปพัฒนาใช้ระบุตำแหน่งหุ่นยนต์ได้ถูกต้องแม่นยำและมีประสิทธิภาพสูงที่สุดด้วย

#### 6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Ruihua Ma, Liyuan Li, Weimin Huang, and Qi Tian, "On Pixel Count Based Crowd Density Estimation for Visual Surveillance," Conference on Cybernetics and Intelligent Systems, pp. 170–173, 2004.
- [2] Rute Coimbra, and Federico Oloriz, "Pixel counting for percentage estimation: Applications to sedimentary petrology," Computers & Geosciences, vol. 42, pp. 212–216, 2012.
- [3] Saad Choudri, James M. Ferryman, and Atta Badii, "Robust Background Model for Pixel Based People Counting using a Single Uncalibrated Camera," in Performance Evaluation of Tracking and Surveillance (PETS-Winter), 2009 Twelfth IEEE International Workshop on, pp. 1-8, 2009.
- [4] Teerapon Yodrot, and Jakkree Srinonchat, "Enhancement of Multi License Plate Location Technique Using Subtract Morphology Technique," International Conference on Engineering, Applied Sciences, pp. 172-175, 2013.
- [5] Songcan Chen, and Daohong Li, "Image binarization focusing on objects," Neurocomputing vol. 69, pp. 2411 – 2415, 2006.
- [6] Zuoyong Li, Chuancai Liu, Cairong Zhao, and Yong Cheng, "An Image Thresholding Method Based on Human Visual Perception," in Image and Signal Processing, CISP '09. 2nd International Congress on, pp. 1-4, 2009.
- [7] Yingjie Xia, Xingmin Shi, Guanghua Song, Qiaolei Geng, and Yuncai Liu, "Towards improving quality of video-based vehicle counting method for traffic flow estimation," Signal Processing. Available online 6 Nov 2014, ISSN0165-1684, <http://dx.doi.org/10.1016/j.sigpro.2014.10.035>, 2014.
- [8] Zhaoxiang Zhang, Mo Wang, and Xin Geng, "Crowd counting in public video surveillance by label distribution learning," Neurocomputing, vol. 166, pp. 151–163, 2015.

## 2. การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 39 The 39<sup>th</sup> Electrical Engineering Conference (EECON-39)

### การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ ๓๙

### The 39th Electrical Engineering Conference (EECON-39)

วันที่ ๒ - ๔ พฤศจิกายน ๒๕๕๙ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ได้รับเกียรติให้เป็นเจ้าภาพ  
โรงแรมเดอะ รีเจนท์ ชะอำบีช รีสอร์ท จังหวัดเพชรบุรี <http://www.eecon39.eng.chula.ac.th/>




CALL FOR PAPERS

การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า (Electrical Engineering Conference หรือ EECON) เป็นการประชุมทางวิชาการระดับชาติที่มีมาตรฐานทางวิชาการเป็นที่ยอมรับในระดับสากล มีวัตถุประสงค์เพื่อให้ คณาจารย์ นิสิต นักศึกษา นักวิจัย รวมถึงวิศวกรและผู้ปฏิบัติงานในสาขาวิศวกรรมไฟฟ้าและสาขาอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องจากสถาบันการศึกษาและหน่วยงานต่าง ๆ ได้นำเสนอ ผลงานวิจัยและแลกเปลี่ยนความคิดเห็นทางด้านวิจัยระหว่างกัน การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้าดำเนินการโดยคณะกรรมการจัดการประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้าซึ่งประกอบด้วย คณะกรรมการสภาวิชาการวิศวกรรมไฟฟ้า ผู้แทนจากสถาบันกรรมการสามัญ ผู้แทนจากสถาบันสมทบ และคณะกรรมการดำเนินการจัดการประชุมจากสถาบันที่ได้รับเกียรติให้เป็นเจ้าภาพในแต่ละปี การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้าได้จัดขึ้นทุกปีตั้งแต่ปี พ.ศ. ๒๕๒๑ เป็นต้นมา และในปี พ.ศ. ๒๕๕๙ นี้ นับเป็นครั้งที่ ๓๙ โดยภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยได้รับเกียรติให้เป็นเจ้าภาพ ซึ่งนับเป็นโอกาสที่ดีเนื่องจากเป็นวาระครบรอบ ๑๐๐ ปี แห่งการสถาปนาจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สาขาของบทความ

- ไฟฟ้ากำลัง (PW)
- อิเล็กทรอนิกส์กำลัง (PE)
- ไฟฟ้าสื่อสาร (CM)
- ระบบควบคุมและการวัดคุม (CT)
- อิเล็กทรอนิกส์ (EL)
- การประมวลผลสัญญาณดิจิทัล (DS)
- ไฟโตนิกส์ (PH)
- วิศวกรรมชีวการแพทย์ (BE)
- คอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ (CP)
- งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิศวกรรมไฟฟ้า (GN)

การส่งบทความ

จัดทำบทความเป็นภาษาไทยหรือภาษาอังกฤษ ความยาวไม่เกิน 4 หน้ากระดาษขนาด A4 ตามแบบที่กำหนด ส่งผ่านระบบออนไลน์โดยขึ้นต้นและรายละเอียดในการส่งบทความสามารถเข้าสู่ได้ที่เว็บไซต์ของการประชุมที่ <http://www.eecon39.eng.chula.ac.th/>

คณะกรรมการจัดการประชุม

๑. คณะกรรมการสภาวิชาการวิศวกรรมไฟฟ้า
๒. สถาบันกรรมการสามัญ
  - สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
  - จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
  - มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
  - มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
  - มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
  - มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
  - มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
  - มหาวิทยาลัยขอนแก่น
  - มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
  - มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร
  - มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
  - มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
  - มหาวิทยาลัยศรีปทุม
  - มหาวิทยาลัยมหิดล
  - มหาวิทยาลัยสยาม
  - มหาวิทยาลัยกรุงเทพ
  - ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ
  - มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
  - มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย
  - มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์
  - มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต
  - มหาวิทยาลัยรังสิต
  - มหาวิทยาลัยเนเจอร์
  - มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต
  - มหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเซีย
  - มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
  - มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
  - มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
๓. สถาบันกรรมการสมทบ
  - มหาวิทยาลัยอัสสัมชัญ
  - มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา

กำหนดการสำคัญ

• หมดเขตรับบทความ	๑ กรกฎาคม ๒๕๕๙
• แจ้งผลการพิจารณาบทความ	๒๓ สิงหาคม ๒๕๕๙
• หมดเขตรับบทความฉบับสมบูรณ์	๕ กันยายน ๒๕๕๙
• วันสุดท้ายของการลงทะเบียนของผู้นำเสนอบทความ	๕ กันยายน ๒๕๕๙
• วันสุดท้ายของการลงทะเบียนล่วงหน้า	๓ ตุลาคม ๒๕๕๙
• การนำเสนอบทความ	๒ - ๔ พฤศจิกายน ๒๕๕๙

ต้องการข้อมูลเพิ่มเติมกรุณาติดต่อ

๑) อ.บุญช่วย ทวีพัฒน์ชัย  
๒) อ. ดร.อภิวัฒน์ เล็กอุทัย

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
๒๕๕ ถนนพญาไท แขวงวังใหม่ เขตปทุมวัน กทม. ๑๐๓๓๐  
อีเมล: [eecon39@gmail.com](mailto:eecon39@gmail.com)  
โทรศัพท์: 02 218 6490, 02 218 6492  
โทรสาร: 02 251 8991

กำหนดการประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 39

วันพุธที่ 2 พฤศจิกายน 2559								
08:00 – 13:00	Register in front of Phetchaburi 3 Room							
13:00 – 14:40	Presentation							
Room	Phetchaburi 1	Phetchaburi 2	Cha Um 1	Cha Um 2	Cha Um 3	Cha Um 4	Pribpree 1	Pribpree 2
Session	PW1	PW2	CT1	PE1	DS1	CM1		
Paper IDs	PW001-PW005	PW006-PW010	CT001-CP005	PE001-PE005	DS001-DS004	CM001-CM005		
Session Chair	ผศ.ศิริชัย แสงงาม	อ.ณัฐพงศ์ (TU)	ดร. ศรเดชฯ พวงดาวเรือง	ดร. ศรฤกษ์ณัฏฐ์ บุญเกิดกิจขจรูญ	ดร. ศรณิศาฯ สิ้นเลี้ยววิสัย	ผศ. ศรกันต์พงษ์ ศรีอภัย		
Session Co-Chair				ผศ.ศรธวัช แฉงสว่าง				
14:40 – 15:00	Coffee Break							
15:00 – 16:40	Presentation							
Room	Phetchaburi 1	Phetchaburi 2	Cha Um 1	Cha Um 2	Cha Um 3	Cha Um 4	Pribpree 1	Pribpree 2
Session	PW3	PW4	EL1	PH1	PE2	DS2	CM2	BE1
Paper IDs	PW011-PW015	PW016-PW020	ELO01-ELO05	PH001-PH006	PE006-PE009	DS005-DS008	CM006-CM0010	BE001-BE004
Session Chair	ดร. ศรฤกษ์ณัฏฐ์ บุญเกิดกิจขจรูญ	อ.นพเศรษฐ์ พิณแสง	ผศ. ศรสุวิทย์ ธนพิทักษ์	ดร. ศรทรงเกียรติ วรสุชีพ	ดร. ศรศกทัศน์ อารีรักษ์	ดร. ศรณิศาฯ สิ้นเลี้ยววิสัย	ดร. ศรสิริอุบลกร วุฒิสถาธิกุลกิจ	ผศ. ศรธกรณัฏฐ์ อิ่มนวลศรีศรี
Session Co-Chair		ผศ.ณัฐวุฒิ ชยาวณิช			ผศ. ศรภาคร โพธิ์งาม			
18:30 – 20:00	Welcome Reception at Le Vendome							

หมายเหตุ : กำหนดการอาจมีการเปลี่ยนแปลง

Code	Paper ID	Paper Title
PW051	รับเชิญ	การควบคุมการแกว่งความถี่ในระบบไฟฟ้าโดยการปรับค่า พารามิเตอร์ของ PSS ด้วยเทคนิค PSO กรณีโหลดสถานีประจุไฟฟ้าขนาดใหญ่สำหรับรถยนต์ไฟฟ้า
PW052	022	การวิเคราะห์ผลกระทบฮาร์มอนิกส์ที่เกิดจากการ เปลี่ยนหลอดฮาโลเจนแรงดันต่ำด้วยหลอดแอลอีดี เพื่อการประหยัดพลังงานไฟฟ้าตามมาตรฐาน IEC61000-3-2
PW053	197	การควบคุมประสานกันของ EV และอินเวอร์เตอร์ของ PV โดยใช้ MIMO-MPC เพื่อทำเสถียรภาพความถี่ในระบบไมโครกริด
PW054	214	การออกแบบขดลวดอย่างง่ายของระบบส่งกำลังไฟฟ้าแบบไร้สายสำหรับยานพาหนะไฟฟ้า
PW055	242	การออกแบบตัวควบคุมการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าแบบปรับสวิตช์ได้โดยใช้เทคนิคเชิงครอสเฟดเซอร์ สำหรับทำเสถียรภาพโครงข่ายสมรรถกวิติที่เชื่อมต่อกัน
PW056	278	โปรแกรมวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์สำหรับระบบพลังงานแบบไฮบริด
DS001	130	การปรับปรุงสัญญาณของแม่รอนอนสำหรับวัดอัตราการเต้นของหัวใจโดยตัวกรองดิจิทัล
DS002	071	การเพิ่มประสิทธิภาพการระบุตำแหน่งหุ่นยนต์ตรวจสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าโดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาพ
DS003	144	การตรวจสอบการวางมือของอุปกรณ์วัดขนาดมือจากความโค้งและขอบด้านนอก
DS004	053	ไต่เวอร์ชันสูงสุดที่ได้รับมาจากเครื่องรับแบบซิงค์ตัวอย่างเกิน
DS005	014	การมอดูเลชันเอ็มเอสเคด้วยออสซิลเลเตอร์แบบดิจิทัล
DS006	301	การตัดแยกเซลล์โซลาร์ที่ติดกันโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ค่าย้อนกลับ
DS007	302	การเพิ่มประสิทธิภาพของวิธีการอานานิคมมดเพื่อแก้ปัญหาการจัดการเส้นทางที่สั้นที่สุด
DS008	231	การคัดแยกกรตเนื้อเคด้วยการประมวลผลภาพบนโทรศัพท์มือถือ
DS009	รับเชิญ	Transmit Signal Processing Schemes for Decode-and-Forward MIMO Relay Networks
DS010	188	A Maximum Likelihood Look-Ahead Unscented Rao-Blackwellised Particle Filter
DS011	179	ระบบรู้จำตัวอักษรพิมพ์ไทยโดยใช้รูปหลักขมในการ จำแนกในภาพวีดิทัศน์ตามแนวเส้นบรรทัด
DS012	171	การรู้จำภาพที่มีปัญหาความเบลอ โดยการพัฒนาวอลูเมทรีชารนฟอร์มด้วย SIFT
PE001	232	วงจร ดีซี-ดีซี คอนเวอร์เตอร์สามระดับที่มีการสวิตช์แบบนุ่มนวลโดยใช้หลักการอินเทอร์พอลสำหรับการลด

การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ ๓๙  
The 39<sup>th</sup> Electrical Engineering



วันที่ ๒ - ๔ พฤศจิกายน ๒๕๕๙  
โรงแรมเดอะ ริเจนท์ ชะอำบีช รีสอร์ท  
จังหวัดเพชรบุรี



รวมบทความย่อในการประชุม

## Program Book

- ไฟฟ้ากำลัง (PW)
  - การประมวลผลสัญญาณดิจิทัล (DS)
  - อิเล็กทรอนิกส์กำลัง (PE)
  - โฟโตนิกส์ (PH)
  - ไฟฟ้าสื่อสาร (CM)
  - วิศวกรรมชีวการแพทย์ (BE)
  - ระบบควบคุมและการวัดคุม (CT)
  - คอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ (CP)
  - อิเล็กทรอนิกส์ (EL)
  - งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิศวกรรมไฟฟ้า (GN)
- สนับสนุนโดย



กฟผ.

ผลิตไฟฟ้าเพื่อความสุขของคนไทย



การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค  
PROVINCIAL ELECTRICITY AUTHORITY

จัดการประชุมโดย ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า  
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**CHULA ENGINEERING**  
Foundation toward Innovation

# EECON 39



## รายชื่อผู้พิจารณาบทความ

### การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ ๓๙

#### Reviewer

Amorn Jirasereeamornkun  
Anan Phonphoem  
Anantawat Kunakorn  
Anon Namin  
Anuree Lorsawatsiri  
Aphibal Pruksanubal  
Aphirak Jansang  
Apichai Bhatranand  
Apinan Aurasopon  
Apiwat Lekuthai  
Arporn Teeramongkonrasmee  
Arthit SodeYome  
Benjamas Panomruttanarug  
Boonchai Boonchu  
Boonchai Techaumnat  
Boonchuay Supmonchai  
Boonlert Suechoey  
Boonruang Marungsri  
Boonsong Sutapun  
Boonsri Kaewkhamai  
Boonyang Plangklang  
Budhapon Sawetsakulanond  
Chaiporn Jaikaeo  
Chaiyan Jettanasen  
Chaiyaporn Lothongkam  
Chaiyut Sumpavakup  
Chanchana Tangwongsan  
Channarong Banmongkol  
Chantana Chantrapornchai  
Chaodit Aswakul  
Charnyut Karnjanapiboon  
Chatkaew Jariyatantiwait

#### Organization

Mahanakorn University of Technology  
Kasetsart University  
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang  
Rajamangala University of Technology Lanna  
Mahanakorn University of Technology  
King Mongkut's University of Technology North Bangkok  
Kasetsart University  
King Mongkut's University of Technology Thonburi  
Mahasarakham University  
Chulalongkorn University  
Chulalongkorn University  
Siam University  
King Mongkut's University of Technology Thonburi  
Mahanakorn University of Technology  
Chulalongkorn University  
Chulalongkorn University  
Southeast Asia University  
Suranaree University of Technology  
Suranaree University of Technology  
Chiang Mai University  
Rajamangala University of Technology Thanyaburi  
Mahanakorn University of Technology  
Kasetsart University  
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang  
Mahanakorn University of Technology  
Suranaree University of Technology  
Chulalongkorn University  
Chulalongkorn University  
Kasetsart University  
Chulalongkorn University  
Rajamangala University of Technology Lanna  
Rajamangala University of Technology Phra Nakorn



## รายชื่อผู้พิจารณาบทความ

การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ ๓๙

Reviewer	Organization
Chawasak Rakpenthai	University of Phayao
Chirasak Sinsukudomchai	South East Asia University
Chokchai Sangdao	Mahanakorn University of Technology
Chonlatee Photong	Maharakham University
Chutham Sawigun	Mahanakorn University of Technology
Chuttchaval Jeraputra	Mahidol University
Daraneee Hormdee	Khonkhan University
David Banjerdpongchai	Chulalongkorn University
Doldet Tantraviwat	Chiang Mai University
Duang-rudee Worasuchee	Chulalongkorn University
Itthisek Nilkhamhang	Sirindhorn International Institute of Technology
Jirapat Sangthong	Mahanakorn University of Technology
Jitkomut Songsiri	Chulalongkorn University
Jukkrit Tagapanij	Mahanakorn University of Technology
Kampol Woradit	Srinakharinwirot University
Kanda Runapongsa Saikaew	Khonkhan University
Kanokphan Lertniphonphan	Chulalongkorn University
Karn Patanukhom	Chiang Mai University
Keerati Chayakulkheeree	Sripatum University
Khanittha Kaewdang	Ubon Ratchathani University
Kiattisin Kanjanawanishkul	Maharakham University
Kittaya Somsai	Rajamangala University of Technology Isan Sakonnakhon Campus
Kittiwann Nimkerdphol	Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Komson Daroj	Ubonratchathani University
Kongpan Areerak	Suranaree University of Technology
Kongpol Areerak	Suranaree University of Technology
Kosol Nithisopa	Rajamangala University of Technology Phra Nakorn
Krerk Piromsopa	Chulalongkorn University
Krisda Yingkayun	Rajamangala University of Technology Lanna
Kritchai Witthephanich	Srinakharinwirot University
Manat Boonthienthong	Rajamangala University of Technology Phra Nakorn





## รายชื่อผู้พิจารณาบทความ

### การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ ๓๙

Reviewer	Organization
Metha Kongpoon	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Mongkol Konghirun	King Mongkut University's Technology Thonburi
Monthon Nawong	Dhurakij Pundit University
Nalin Sidahao	Mahanakorn University of Technology
Narong Mettripun	Rajamangala University of Technology Lanna Chiang Rai
Nattachai Watcharapinchai	NECTEC
Nattachote Rugthaicharoencheep	Rajamangala University of Technology Phra Nakhon
Nattha Jindapetch	Prince of Songkla University
Nisachon Tangsangiumvisai	Chulalongkorn University
Nisai Fuengwarodsakul	King Mongkut 's University of Technology North Bangkok
Nithiphat Teerakawanich	Kasetsart University
Nitikarn Nimsuk	Thammasat University
Nopporn Patcharaprakiti	Rajamangala University of Technology Lanna
Norasage Pattanadech	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Nuttaporn Ritnoom	University of the Thai Chamber of Commerce
Nutthaphong Tanthanuch	Thammasat University
Paiboon Kiatsookkanatorn	Rajamangala University of Technology Suvarnabumhi
Paitoon Rakluea	Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Pakpum Somboon	Chulalongkorn University
Panich Intra	Rajamangala University of Technology Lanna
Panita Pongpaibool	NECTEC
Panuwat Janpugdee	Chulalongkorn University
Parachai Juanuwattanakul	Sripatum University
Pasist Suwanapingkarl	Rajamangala University of Technology Phra Nakorn
Patamaporn Sripadungtham	Kasetsart University
Peerapol Yuvapoositanon	Mahanakorn University of Technology
Peerapong Uthansakul	Suranaree University of Technology
Pennapa Pairodamonchai	King Mongkut's University of Technology North Bangkok
Phakkawat Jantree	Rajamangala University of Technology Suvarnabhumii
Phanumas Khumsat	Prince of Songkla University
Pichet Mhoeikham	Rajamangala University of Technology Lanna Chiang Rai
Pinit Jitjing	Rajamangala University of Technology Thanyaburi



## รายชื่อผู้พิจารณาบทความ

การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ ๓๙

### Reviewer

Pinit Nuangpirom  
Pisit Liutanakul  
Ponlakit Jariyatantiwait  
Poonsri Wannakarn  
Pracha Khamphakdi  
Prajub Inrawong  
Prajub Pawarangkoon  
Prasopchok Hothongkham  
Preecha Kocharoen  
Pruet Boonma  
Punyaphat Phumiphak  
Rachu Punalard  
Rathdharshagorn Suriyakulnaayudhya  
Rawid Banchuin  
Rungsimant Sitdhikorn  
Sakgasit Ramingwong  
Sakhon Woothipatanapan  
Sakorn PoNgam  
Salitip Sinthusonthisat  
Samphan Phrompichai  
Sansanee Auephanwiryakul  
Sawat Bunnjaweht  
Sermak Uatrongjit  
Settawit Poochaya  
Sinchai Kamolphiwong  
Singthong Pattanasethanon  
Sipat Triukose  
Sirichai Dangeam  
Siriroj Sirisukprasert  
Sitthidet Vachirasricirikul  
Somchat Jiriwibhakorn  
Sommart Sangngern

### Organization

Rajamangala University of Technology Lanna Chiang Mai  
King Mongkut's University of Technology North Bangkok  
Rajamangala University of Technology Phra Nakhon  
Rajamangala University of Technology Phra Nakorn  
Ubon-ratchathani University  
Rajamangala University of Thecnology Isan  
Mahanakorn University of Technology  
Rajamangala University of Technology Rattanakosin  
Sripatum University  
Chiang Mai University  
Mahanakorn University of Technology  
Mahanakorn University of Technology  
Kasetsart University  
Siam University  
Mahanakorn university  
Chiang Mai University  
Rajamangala University of Technology Phra Nakorn  
King Mongkut's University of Technology Thonburi  
Mahanakorn University of Technology  
Mahanakorn University of Technology  
Chiangmai University  
Mahanakorn University of Technology  
Chiang Mai University  
Suranaree University of Technology  
Prince of Songkla University  
Rajamangala University of Technology Thanyaburi  
Chulalongkorn University  
Rajamangala University of Technology Thanyaburi  
Kasetsart University  
University of Phayao  
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang  
Mahanakorn University of Technology



## รายชื่อผู้พิจารณาบทความ

### การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ ๓๙

Reviewer	Organization
Sompob Polmai	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Songphol Kanjanachuchai	Chulalongkorn University
Suchin Arunsawatwong	Chulalongkorn University
Suchin Trirongjitmoah	Ubon Rachatani University
Sudarat Khwanon	Suranaree University of Technology
Supachai Vorapojpisut	Thammasat University
Supachate Innet	University of the Thai Chamber of Commerce
Supakit Kawdungta	Rajamangala University of Technology Lanna Chiang Mai
Suparerk Janjarajitt	Ubon Ratchathani University
Supatana Auethavekiat	Chulalongkorn University
Supavadee Aramvith	Chulalongkorn University
Suphattra Phetnil	Mahanakorn University of Technology
Surachai Chaitusaney	Chulalongkorn University
Surachoke Thanapitak	Mahidol University
Surapong Suwankawin	Chulalongkorn University
Suree Pumrin	Chulalongkorn University
Suwat Pattaramalai	King Mongkut's University of Technology Thonburi
Suwit Kiravittaya	Naresuan University
Teerasak Somsak	Rajamankala University of Technology Lanna
Thanapat Promwatthanapakdee	Sripatum University
Thanaset Thosdeekoraphat	Suranaree University of Technology
Thanatchai Kulworawanichpong	Suranaree University of Technology
Thumrongrat Amornraksa	King Mongkut's University of Technology Thonburi
Touchai Angchuan	Prince of Songkla University
Trasapong Thaiupathump	Chiang Mai University
Trin Saengsuwan	Kasetsart University
Ukrit Mankong	Chiang Mai University
Upady Hatthasin	Rajamangala University of Technology Lanna Chiangmai
Uthen Kamnarn	Rajamangala University of Technology Lanna
Varakorn Kasemsuwan	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Vijit Kinnares	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Vinai Silaruam	Mahanakorn University of Technology



## รายชื่อผู้พิจารณาบทความ

การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ ๓๙

Reviewer	Organization
Vorapong Silaphan	Mahanakorn University of Technology
Vuttipon Tarateeraseth	Srinakharinwirot University
Wanchai Chimchavee	University of the Thai Chamber of Commerce
Wanchai Khamsen	Rajamangala University of Technology Lanna Lampang
Wanchak Lenwari	King Mongkut's University of Technology Thonburi
Wanchalerm Pora	Chulalongkorn University
Warachart Suwanngam	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Warayu Wongseree	King Mongkut's University of Technology North Bangkok
Watcharee Veerakachen	Kasetsart University
Wekin Piyarat	Srinakharinwirot University
Wipavan Narksarp	Siam University
Wipawee Hattagam	Suranaree University of Technology
Wirot Ponglangka	Rajamangala University of Technology Lanna Chiang Rai
Wirote Sangtungtong	Suranaree University of Technology
Worapong Tangsrirat	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Wuthiporn Loedwassana	Mahanakorn University of Technology
Wuttipong Kumwilaisak	King Mongkut's University of Technology Thonburi
Yuthapong Somchit	Chiang Mai University
Yuttana Kumsuwan	Chiang Mai University
Yuttapong Jiraksopakun	King Mongkut's University of Technology Thonburi
Yutthana Kanthaphayao	Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi
ชัยยัน สานะเสน	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
ตีพิมพ์นธ์ เจริญพงษ์	Srinakharinwirot University
دنุชา ประเสริฐสม	King Mongkut's University of Technology North Bangkok
ปานจิต ดำรงกุลกำจร	Kasetsart University
พีรวิทย์ ยูทธโกวิท	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

DS1

วันที่ 2 พฤศจิกายน 2559 เวลา 13:00-14:40 น. ห้องเซอ้า 3

Session Chair : รศ. ดร.นิชาชล ตั้งเสียมวิสัย

DS001

การปรับปรุงสัญญาณของแ่นรอนนอนสำหรับวัดอัตราการเต้นของหัวใจโดยตัวกรองดิจิทัล

นิตติกร นิมสุข, สรเสกข์ เนตรนาค และ อาณาภพ ศรีชามภ

บทความนี้นำเสนอวิธีการปรับปรุงสัญญาณที่ได้จากแ่นรอนนอนสำหรับตรวจวัดอัตราการเต้นของหัวใจ โดยทำการเทียบเคียงกับเครื่องวิเคราะห์การทำงานของหัวใจที่ได้มาตรฐานและได้รับการยอมรับจากทางการแพทย์ และจากผลลัพธ์ของการตรวจวัดพบว่าสัญญาณจากแ่นรอนนอนทั่วไปนั้นมีลักษณะการแกว่งของสัญญาณสูงเมื่อเทียบกับเครื่องวิเคราะห์การทำงานของหัวใจ ซึ่งจากการหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณทั้งสองเครื่องพบว่ามีความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลค่อนข้างต่ำ ในบทความนี้จะได้ใช้ตัวกรองความถี่ต่ำแบบต่าง ๆ มาทดลองเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพ โดยจากการทดลองได้ผลสรุปว่าการใช้ตัวกรองความถี่ดิจิทัลแบบอิลลิปติก สามารถเพิ่มประสิทธิภาพได้ดีที่สุด โดยเพิ่มขึ้นเฉลี่ยประมาณ 6 %

DS003

การตรวจสอบการวางมือของอุปกรณ์วัดขนาดมือจากความโค้งและขอบด้านนอกอกวิวัฒน์ สวัสดิรัตน์, ประสาน เอื้อทาน, อีรพล ยอดโรจน์ และ จักรวี ศรีนนท์ฉัตร

การตรวจสอบการวางมือของอุปกรณ์วัดขนาดมือเป็นขั้นตอนหลักที่ส่งผลกระทบต่อความถูกต้องกับประสิทธิภาพของระบบวัดขนาดมือ งานวิจัยนี้ได้นำเสนอการตรวจสอบการวางมือของอุปกรณ์วัดขนาดมือแบบไร้หมุดกำกับด้วยการหาความแตกต่างของทิศทางปลายนิ้วระหว่างวิธีความโค้งกับวิธีหาขอบด้านนอกของเส้นรอบรูปมือ ภาพมือจำนวน 180 ภาพจาก 60 บุคคลในท่าทางที่แตกต่างกันถูกนำมาใช้ในการทดสอบ ผลลัพธ์ที่ได้แสดงให้เห็นว่าวิธีการนี้มีประสิทธิภาพที่ดีที่มีความยืดหยุ่นสูงสามารถรองรับรูปร่างมือที่มีลักษณะที่แตกต่างกันได้ โดยมีอัตราความผิดพลาดสมมูลที่ร้อยละ 4

DS004

ไดเวอร์ซิตีสูงสุดที่ได้รับมาจากเครื่องรับแบบซิกตัดอย่างเกิน

สัมพันธ์ พรหมพิชัย

ผลการวิเคราะห์สมรรถนะแสดงให้เห็นว่า ไดเวอร์ซิตีสูงสุดที่ได้รับจากเครื่องรับแบบซิกตัดอย่างเกินสำหรับระบบเชื่อมโยงหลายแบบ OFDM จะมาจากผลคูณของจำนวนช่องสัญญาณคลื่นหลายวิถี (L) และ แพ็คเตอร์ของการซิกตัดอย่างเกิน (Z) ในบทความนี้ได้นำเสนอการขยายความยาวของเมตริกซ์ DFT ใน OFDM demodulator ด้วยคลื่นพหุข้อยที่มีความถี่ต่างกัน โดยมีจุดประสงค์เพื่อที่จะนำไดเวอร์ซิตีที่ได้รับมาจากเครื่องรับแบบซิกตัดอย่างเกินมาใช้ประโยชน์ได้อย่างเต็มที่ ผลการจำลองการทำงานแสดงให้เห็นว่าสมรรถนะ BER ของเครื่องรับที่นำเสนอนี้ให้ผลดีกว่าเครื่องรับแบบดั้งเดิมและเครื่องรับแบบซิกตัดอย่างเกินที่เมตริกซ์ DFT ใช้คลื่นพหุข้อยที่มีความถี่ไม่ตั้งฉากกันรวมทั้งไดเวอร์ซิตีเกินของเครื่องรับที่นำเสนอนี้จะมีการปรับปรุงตามจำนวนของ Z

DS002

การเพิ่มประสิทธิภาพการระบุตำแหน่งหุ่นยนต์ตรวจสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าโดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาพ

ภาณุพันธ์ ขวัญสุด และ จักรวี ศรีนนท์ฉัตร

ความผิดพลาดในการระบุตำแหน่งของหุ่นยนต์ตรวจสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเกิดจากการสั่นไหวระหว่างสายพานของหุ่นยนต์กับร่องเฟือง ดังนั้นเพื่อให้การระบุตำแหน่งของหุ่นยนต์ไม่ผิดพลาด บทความนี้จึงนำเสนอวิธีการระบุตำแหน่งของหุ่นยนต์โดยการนับร่องระบายอากาศภายในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าด้วยขั้นตอนวิธีการประมวลผลภาพอย่างมีประสิทธิภาพโดยวิธีตรวจสอบซ้ำ (Double check) ในการทดลองได้ใช้ภาพวีดีโอซึ่งถ่ายจากหุ่นยนต์ในงานจริง ซึ่งระยะห่างระหว่างร่องระบายอากาศในเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีขนาดเท่ากัน เทคนิคการแยกข้อมูลภาพ (Segmentation) และวิธีการนับจำนวนฟลักซ์ถูกนำมาใช้และเปรียบเทียบค่าการเปลี่ยนแปลงของจำนวนฟลักซ์ในแต่ละเฟรมของวีดีโอเทียบกับเฟรมก่อนหน้า การทดสอบนี้ทำงานบนฐานเวลาจริง ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า เทคนิคดังกล่าวสามารถนับร่องระบายอากาศของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าได้อย่างถูกต้อง และหุ่นยนต์สามารถระบุตำแหน่งของตัวเองได้เมื่อเทียบกับอุปกรณ์การระบุตำแหน่งอื่นในตัวหุ่นยนต์

การเพิ่มประสิทธิภาพการระบุตำแหน่งหุ่นยนต์ตรวจสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าโดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาพ  
Improvement the Location identified of Generator Inspection Robot (GIR) using Image Processing  
Technique

ภานุพันธ์ ขวัญสุด<sup>1</sup> และ จักรี ศรีนนท์ถวัลย์<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี phanuphan\_k@rmutt.ac.th

<sup>2</sup>ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี jakkree.s@en.rmutt.ac.th

**บทคัดย่อ**

ความคิดพลาดในการระบุตำแหน่งของหุ่นยนต์ตรวจสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเกิดจากการลื่นไถลระหว่างสายพานของหุ่นยนต์กับร่องเฟือง ดังนั้นเพื่อให้การระบุตำแหน่งของหุ่นยนต์ไม่ผิดพลาด บทความนี้จะนำเสนอวิธีการระบุตำแหน่งของหุ่นยนต์โดยการนับร่องระบายอากาศภายในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าด้วยขั้นตอนวิธีการประมวลผลภาพอย่างมีประสิทธิภาพโดยวิธีตรวจสอบซ้ำ (Double check) ในการทดลองได้ใช้ภาพวิดีโอซึ่งถ่ายจากหุ่นยนต์ในงานจริง ซึ่งระยะห่างระหว่างร่องระบายอากาศในเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีขนาดเท่ากัน เทคนิคการแยกข้อมูลภาพ (Segmentation) และวิธีการนับจำนวนพิกเซลถูกนำมาใช้และเปรียบเทียบค่าการเปลี่ยนแปลงของจำนวนพิกเซลในแต่ละเฟรมของวิดีโอเทียบกับเฟรมก่อนหน้า การทดสอบนี้ทำงานบนฐานเวลาจริง ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า เทคนิคดังกล่าวสามารถนับร่องระบายอากาศของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าได้อย่างถูกต้อง และหุ่นยนต์สามารถระบุตำแหน่งของตัวเองได้เมื่อเทียบกับอุปกรณ์การระบุตำแหน่งอื่นในตัวหุ่นยนต์

**คำสำคัญ:** การประมวลผลภาพ การแยกข้อมูลภาพ การนับจำนวนพิกเซล

**Abstract**

One of the failures in localizing a generator inspection robot (GIR) in a large generator is due to a slip between the generator's belts and the robot's groove motor gear. To overcome this problem, this paper proposes a method to localize a position of the GIR by counting airflow grooves in the generator using image processing technique. Given a video sequence of the GIR moving along the generator's belts, the airflow grooves are segmented from the input image and the length of each airflow groove is determined using pixel counting. The length of the airflow groove in the current frame (i.e. the number of counted pixels) is then compared to the previous frame to double check the detected airflow groove. This double checking technique improves efficiency in localizing the GIR. The method is tested and compared to data collected from a motor encoder attached to the GIR. The method runs in real-time and the results show that using the proposed method

improves the accuracy of counting the airflow grooves and localization of the GIR.

**Keywords:** Image Processing, Image Segmentation, Pixel Counting

**1. บทนำ**

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดใหญ่สำหรับผลิตกระแสไฟฟ้าในระดับเมกะวัตต์ซึ่งติดตั้งอยู่ตามโรงไฟฟ้าในแต่ละแห่งได้นำหุ่นยนต์ตรวจสอบภายในเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามาใช้ ซึ่งช่วยลดเวลาและงบประมาณการซ่อมบำรุงลงได้เป็นอย่างมากเมื่อเทียบกับการตรวจสอบโดยคน หุ่นยนต์ดังกล่าวมีการระบุตำแหน่งของหุ่นยนต์โดยใช้เอนโคเดอร์ ซึ่งจากการทดสอบแสดงให้เห็นว่าการระบุตำแหน่งเกิดความผิดพลาดจากการลื่นไถลระหว่างสายพานกับร่องเฟือง จากงานวิจัย [1] ใช้กรรมวิธีเซนเซอร์ช่วยในการระบุตำแหน่งของหุ่นยนต์ที่มีปัญหาการลื่นไถลได้ดีขึ้น แต่ข้อมูลที่ได้จากเอนโคเดอร์ยังคงคลาดเคลื่อน หากจะนำมาใช้ในหุ่นยนต์ตรวจสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าก็ต้องแก้ไขระบบกลไกของหุ่นยนต์ จึงจำเป็นต้องหาวิธีการที่เหมาะสมกว่านี้ โดยการประมวลผลภาพเป็นวิธีการหนึ่ง ทั้งนี้ตัวหุ่นยนต์มีการติดตั้งกล้องวิดีโออยู่แล้ว ทำให้ไม่ต้องไปติดตั้งแก้ไขกลไกใดๆ ของตัวหุ่นยนต์และไม่มีค่าใช้จ่ายเพิ่มเติม การพัฒนาเทคนิคในการนับร่องระบายอากาศภายในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าโดยการประมวลผลภาพเป็นส่วนหนึ่งที่จะนำไปใช้ระบุตำแหน่งหุ่นยนต์ตรวจสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าได้ จากงานวิจัย [2] การระบุตำแหน่งของหุ่นยนต์โดยการนับร่องระบายอากาศภายในเครื่องกำเนิดไฟฟ้ายังมีกรณีที่ผิดพลาดจากจุดที่ไม่ต้องการนับ ดังรูปที่ 1



รูป 1 ร่องที่ต้องการนับ และ ร่องที่ต้องการนับ  
รูปที่ 1. วิดีวที่ต้องการนับและไม่ต้องการนับ

งานวิจัยเกี่ยวกับการนับวัตถุนั้นมีหลากหลาย ส่วนมากเป็นการนับคนหรือยานพาหนะที่มีอินพุตเป็นวิดีโอโดยผ่านกระบวนการปรับปรุงภาพ แยกข้อมูลภาพ และนำข้อมูลจำนวนพิกเซลมาช่วยในการนับงานวิจัย [3] นำเสนอการนับยานพาหนะจากภาพวิดีโอ ซึ่งปัจจัยเรื่องสี ขนาดและความสว่างยังเป็นอุปสรรคในการนับ งานวิจัย [4] ใช้หุ่นยนต์ประมวลผลระยะทางของวัตถุจากภาพวิดีโอ โดยคำนวณพื้นที่พิกเซลของ

วัตถุ และงานวิจัย [5] นับยานพาหนะจากภาพวิดีโอ โดยวิธีการลบพื้นหลัง ทำการเทรชโฮล (Threshold) และกำหนดกรอบการนับ ผลการนับได้ถูกต้อง 96% ยังมีกรอบนับผิดพลาดจากวัตถุที่ไม่ชัดเจน

บทความนี้เสนอการนับร่องรอยบนอากาศภายในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดใหญ่ซึ่งเป็นพื้นที่ปิด โดยร่องรอยบนอากาศนี้มีระยะห่างระหว่างร่องรอยเท่า ๆ กัน ภาพวิดีโอได้ถูกอ่านจากกล้องที่ติดกับตัวหุ่นยนต์และนำมาประมวลผลภาพโดยการแยกข้อมูลภาพ กำหนดเส้นขอบเขตการนับ (Line Detector) และใช้ข้อมูลการนับจำนวนพิกเซลมาเปรียบเทียบค่าการเปลี่ยนแปลงของจำนวนพิกเซลในเฟรมปัจจุบันเทียบกับเฟรมก่อนหน้า โดยใช้เส้นขอบเขตการนับ 2 เส้นเพื่อตรวจสอบซ้ำเพิ่มความถูกต้องก่อนที่จะนับเป็นจำนวนร่องรอยบนอากาศภายในเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

## 2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 หุ่นยนต์ตรวจสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

หุ่นยนต์ตรวจสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดใหญ่ มีลักษณะดังรูปที่ 2 ประกอบด้วยแผงควบคุม, กล้องควบคุม, คอมพิวเตอร์ และตัวหุ่นยนต์ทำงานร่วมกัน โดยหุ่นยนต์จะเข้าไปตรวจเครื่องกำเนิดไฟฟ้าตรงช่องว่างระหว่างโรเตอร์ (Rotor) กับสเตเตอร์ (Stator) ดังรูปที่ 3 และผู้ใช้งานควบคุมหุ่นยนต์จากด้านนอกโดยดูวิดีโอที่ถ่ายจากกล้องที่ติดอยู่กับตัวหุ่นยนต์แบบเวลาจริงผ่านทางจอมอนิเตอร์ ส่วนประกอบตัวหุ่นยนต์มีกล้อง 2 ตัวเป็นกล้องนำกับกล้องมองข้างและชุดเคาะเวดจ์เป็นอุปกรณ์หลักในการตรวจสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้า



รูปที่ 2 หุ่นยนต์ตรวจสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้า



รูปที่ 3 ส่วนประกอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

หน้าที่ของหุ่นยนต์ตรวจสอบมีหลายหน้าที่ โดยหน้าที่หลัก ๆ คือ การตรวจสอบความแน่นของเวดจ์โดยการเคาะ (เวดจ์คือแผ่นนวมที่ปิด

ขดลวดในแต่ละสล็อตของสเตเตอร์) และใช้กล้องมองรอบ ๆ ว่ามีเศษขยะ เศษผง หรือร่องรอยคราบขรุขระตรงไหนบ้างเป็นเหตุให้จำเป็นต้องรู้ระยะที่แน่นอนภายในเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และระยะที่ได้นี้ก็นำไปใช้ในการเคาะเวดจ์ให้ตรงตำแหน่งของแผ่นเวดจ์แต่ละแผ่นด้วย ซึ่งแผ่นเวดจ์ในแต่ละสล็อตเรียงต่อกันหลายแผ่นต่อ 1 สล็อต

### 2.2 การแยกข้อมูลภาพ(Image Segmentation)

การแยกข้อมูลภาพ จะสามารถแยกข้อมูลภาพของส่วนที่ต้องการออกมาได้ โดยพิจารณาความเข้มของจุดต่างๆ ภายในภาพ ซึ่งจะสามารถทำได้โดยกำหนดค่าเทรชโฮล ซึ่งเป็นค่าความเข้มตั้งแต่ 0-255 ให้มีค่าที่สามารถแยกความแตกต่างของวัตถุและพื้นหลังได้ ดังสมการที่ 1

$$\text{Seg}(x,y) = \begin{cases} 1, & g(x,y) > T \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

Seg คือผลการแยกข้อมูลภาพ

g คือค่าระดับเทาของภาพอินพุต

T คือค่าเทรชโฮลที่ใช้อ้างอิงการแปลงข้อมูล

### 2.3 การนับจำนวนพิกเซล

โดยทั่วไปเราสนใจกลุ่มของพิกเซลที่อยู่ติดกัน ซึ่งพิกเซลเหล่านี้ อาจเป็นภาพของสิ่งที่เราสนใจ โดยข้อมูลที่เรากำลังมองหาอยู่บ่อยๆ อย่างหนึ่งก็คือ จำนวนกลุ่มของพิกเซลที่อยู่ติดกันนั่นเอง การนับพิกเซลจะสแกนไปที่ละแถวเพื่อนับพิกเซลขาวเฉพาะบริเวณเส้นขอบเขตที่กำหนด ภาพที่จะนำมาประมวลผลถูกเก็บในแถวลำดับสองมิติดังสมการที่ 2

$$f(x,y) = \begin{bmatrix} (x,y) + & (x,y+1) + & .. & +(x,y_n) \\ (x+1,y) + & (x+1,y+1) + & .. & +(x+1,y_n) \\ .. + & .. + & .. & +.. \\ (x_m,y) + & (x_m,y+1) + & .. & +(x_m,y_n) \end{bmatrix} \quad (2)$$

f(x,y) คือพิกัดพิกเซล x,y ที่กำหนดขอบเขตการนับ

x คือพิกัดพิกเซลในแนวแกน x เมื่อ x = x ถึง x<sub>m</sub>

y คือพิกัดพิกเซลในแนวแกน y เมื่อ y = y ถึง y<sub>n</sub>

## 3. ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

### 3.1 ขั้นตอนการบันทึกวิดีโอ

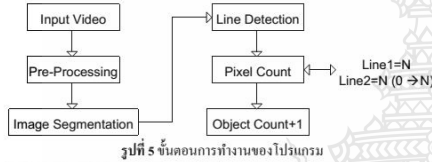
ขั้นตอนนี้เป็นหน้าที่ในการทำงานของหุ่นยนต์ซึ่งจะเข้าไปตรวจสอบสล็อตแต่ละแถวในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและบันทึกวิดีโอ ซึ่งวิดีโอที่ได้จากกล้องหน้าของหุ่นยนต์จะเห็นร่องรอยบนอากาศตามความยาวของสล็อตแต่ละแถวดังรูปที่ 4 จะเห็นว่าในหนึ่งสล็อตจะมีหลายร่องรอยบนอากาศที่มีระยะห่างเท่า ๆ กันจำนวนร่องรอยบนอากาศจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับขนาดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า วิดีโอที่นำมาทดลองเป็นภาพวิดีโอขนาด 640x480 อัตรา 24 เฟรมต่อวินาที และหุ่นยนต์มีความเร็วในการเคลื่อนที่ 1.9 เมตรต่อวินาที



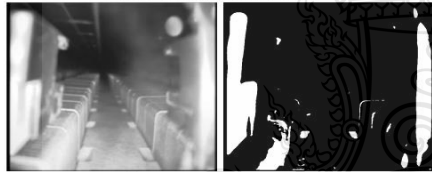
รูปที่ 4 วิดีโอที่นำมาเป็นอินพุต

### 3.2 ขั้นตอนการวิเคราะห์ผล

ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยในรูปที่ 5 นำเสนอขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมเริ่มจากการนำข้อมูลไฟล์วิดีโอที่ได้บันทึกไว้ไปประมวลผลทีละเฟรมภาพ ทำการปรับปรุงภาพด้วยการเปลี่ยนภาพสีเป็นภาพระดับสีเทา จากนั้นปรับแก้ความสว่างภาพด้วยการปรับเท่าสิดโดแกรม กำจัดสัญญาณรบกวนผ่านตัวกรองซอเบลเกาเซียน นำเทคนิคการแยกข้อมูลภาพ มาใช้ทำให้ภาพที่ต้องการปรากฏเด่นชัดขึ้นในรูปที่ 6

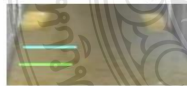


รูปที่ 5 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม



รูปที่ 6 Grayscale Image and Binary Image

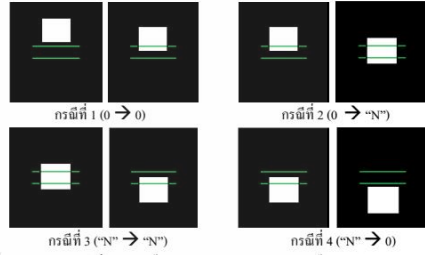
กำหนดเส้นการนับ จะกำหนดสองเส้นเพื่อตรวจสอบจำนวนที่นั่งเพิ่มเติมและกำหนดเฉพาะบริเวณที่จะนับจำนวนพิทเซล โดยจะไม่นำพื้นที่นอกเหนือจากที่กำหนดมาประมวลผลด้วย ควรกำหนดขอบเขตให้น้อยที่สุดเพื่อลดการประมวลผลและช่วยในการกำจัดสัญญาณรบกวนของภาพได้อีกทางหนึ่ง ซึ่งเส้นการนับที่กำหนดนี้จะอยู่ตำแหน่งเดิมในทุกเฟรมภาพ โดยจะเห็นเส้นขอบเขตที่ใช้นับในรูปที่ 7



รูปที่ 7 เส้นขอบเขตการนับพิทเซล

การนับจำนวนพิทเซลในแต่ละเฟรมภาพวิดีโอ แต่ละเฟรมจะเคลื่อนเข้าหาเส้นการนับที่กำหนดทั้งสองเส้นทีละเฟรม พื้นที่สีจากภาพไปนริเมื่อเคลื่อนถึงเส้นการนับที่กำหนด จะนับจำนวนพิทเซลได้เท่ากับศูนย์ 0 และพื้นที่สีขาวเมื่อเคลื่อนถึงเส้นการนับ จะนับจำนวนพิทเซลได้เท่ากับค่าหนึ่งที่ไม่ใช่ศูนย์ โดยจะแทนค่าที่นับได้นี้ด้วย N แล้วจึงนำค่าจำนวนพิทเซลที่นับได้จากเส้นการนับเส้นที่สองมาเทียบกับค่าพิทเซลของเฟรมก่อนหน้า ซึ่งจะเกิดขึ้นได้ 4 กรณีดังนี้คือ กรณีที่ 1

เฟรมก่อนหน้านับได้ 0 เฟรมปัจจุบันนับได้ 0 ( $0 \rightarrow 0$ ), กรณีที่ 2 เฟรมก่อนหน้านับได้ 0 เฟรมปัจจุบันนับได้ N จำนวน ( $0 \rightarrow "N"$ ), กรณีที่ 3 เฟรมก่อนหน้านับได้ N จำนวนเฟรมปัจจุบันนับได้ N จำนวน ( $"N" \rightarrow "N"$ ) และกรณีที่ 4 เฟรมก่อนหน้านับได้ N จำนวนเฟรมปัจจุบันนับได้ 0 ( $"N" \rightarrow 0$ ) ดังรูปที่ 8



รูปที่ 8 จำลองขั้นตอนวิธีการนับจำนวนพิทเซลทั้ง 4 กรณี

การนับจำนวนพิทเซลที่เกิดขึ้น 4 กรณีนี้ จะมีกรณีเดียวที่นำมานับจำนวนร่องระบายอากาศคือกรณีที่ 2 โดยจะนับร่องระบายอากาศที่ต่อเนื่องเมื่อร่องระบายอากาศเคลื่อนเข้าสู่เส้นการนับแล้วทั้งสองเส้น และเส้นการนับเส้นที่สองเกิดการเปลี่ยนแปลงของค่าจำนวนพิทเซลที่นับได้ นั่นคือในเฟรมก่อนหน้านับจำนวนพิทเซลได้ 0 แต่ในเฟรมปัจจุบันนับได้ N จำนวน ซึ่งเมื่อเกิดกรณีนี้จึงจะนับเป็นร่องระบายอากาศ +1 และจำนวนที่นับได้จะแสดงบนหน้าจอคอมพิวเตอร์ดังรูปที่ 9 ว่ามีร่องระบายอากาศได้จำนวนเท่าใดในระบะนั้น ๆ



รูปที่ 9 ผลของการนับร่องระบายอากาศด้วยขั้นตอนวิธีที่นำเสนอ

จากขั้นตอนการดำเนินการได้นำมาเขียนเป็น โปรแกรมที่พัฒนาด้วยภาษา C++ ใช้คอมพิวเตอร์ Visual Studio ร่วมกับฟังก์ชันการประมวลผลภาพของ OpenCV

## 4. ผลการทดลอง

### 4.1 เปรียบเทียบผลการวัดระยะในห้องปฏิบัติการ

นำการวัดระยะทางโดยอัตโนมัติกับการนับร่องระบายอากาศมาเปรียบเทียบผล โดยใช้รางจำลองมีระยะห่างระหว่างร่อง 6 ซม. จำนวน 26 ร่อง คิดเป็นระยะทาง 156 ซม. ดังแสดงในรูปที่ 10 และผลการทดลองจากการจริงที่ 1





รูปที่ 10 การทดลองเปรียบเทียบผลในห้องปฏิบัติการ

ตารางที่ 1 ผลการทดลองการนับในห้องปฏิบัติการระยะทาง 156 ซม. = 26 ร่อง

อินพุต	นับโดยเซนเซอร์	นับโดยวิธีนับเสนอ
วิดีโอชุดที่ 1	95.33 ซม.	26 ร่อง
วิดีโอชุดที่ 2	98.38 ซม.	26 ร่อง
วิดีโอชุดที่ 3	93.27 ซม.	26 ร่อง
วิดีโอชุดที่ 4	94.55 ซม.	26 ร่อง
วิดีโอชุดที่ 5	95.82 ซม.	26 ร่อง

จะเห็นว่าเซนเซอร์ คลาดเคลื่อน ไปจากระยะจริงเฉลี่ย 60.53 (±1.89) ซม. เนื่องมาจากการลื่นไถลของสายพานกับร่องเฟืองที่เป็นกลไกประกอบการวัดระยะในหุ่นยนต์ที่มีข้อจำกัดเรื่องขนาดทำให้ทำงานได้ไม่เต็มประสิทธิภาพ

#### 4.2 ผลการนับร่องโดยใช้วีดีโอที่เก็บจากการใช้งานจริงใน

##### เครื่องกำเนิดไฟฟ้า

จากการทดลองโดยใช้หุ่นยนต์ถ่ายภาพวีดีโอภายในเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ซึ่งมีระยะห่างร่องระบายอากาศในแต่ละ Slot ของสเตเตอร์เท่ากัน โปรแกรมจะทำการนับร่องระบายอากาศภายในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าโดยใช้ข้อมูลของการเปรียบเทียบค่าการนับพิกเซลของแต่ละเฟรมภาพ ผลการทดลองจากตารางที่ 2 ผลการทดลองในตารางที่ 2 นี้ไม่มีการเปรียบเทียบผลการนับเทียบกับเซนเซอร์ เนื่องจากปัญหาในการเก็บฐานข้อมูลทำให้ไม่สามารถเก็บข้อมูลการวัดเซนเซอร์มาได้

ตารางที่ 2 ผลการทดลองการนับโดยใช้วีดีโอที่เก็บจากการใช้งานจริง

อินพุต	จำนวนร่องทั้งหมด นับโดยคน	นับโดยวิธีนับเสนอ	คิดเป็นเปอร์เซ็นต์
วิดีโอชุดที่ 1	60	60	100%
วิดีโอชุดที่ 2	98	98	100%
วิดีโอชุดที่ 3	74	74	100%
วิดีโอชุดที่ 4	61	61	100%
วิดีโอชุดที่ 5	85	85	100%

ผลการทดลองจากวีดีโอห้าชุด คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องเฉลี่ยได้ 100% ซึ่งผลจากงานวิจัย [2] นับได้ถูกต้องเฉลี่ย 95.8% เท่านั้น จะเห็นว่าจุดที่เกยนับผิดพลาดตรงรอยต่อแผ่นเวดจ์ ได้มีการปรับปรุงให้นับได้อย่างถูกต้อง ดังแสดงในรูปที่ 11



รูปที่ 11 เปรียบเทียบการนับวัตถุที่ต้องการนับและไม่ต้องการนับ

#### 5. สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้นำเสนอการเพิ่มประสิทธิภาพการระบุตำแหน่งของหุ่นยนต์ตรวจสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าโดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาพ โดยการนับร่องระบายอากาศภายในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซึ่งเป็นส่วนสำคัญของการระบุตำแหน่งที่ได้นำเสนอ เพื่อทดแทนอุปกรณ์การวัดตำแหน่งอื่น ๆ โดยใช้กล้องที่มีอยู่ในตัวหุ่นยนต์ทำหน้าที่เป็นเซนเซอร์ตำแหน่ง โดยไม่ส่งผลกระทบต่อระบบกลไกของหุ่นยนต์ การประมวลผลภาพใช้เทคนิคการแยกข้อมูลภาพ และการนับจำนวนพิกเซลมาช่วยในการนับร่องระบายอากาศ โดยใช้เส้นการนับสองเส้นเพื่อตรวจสอบซ้ำ ซึ่งจากการทดลองสามารถนับร่องระบายอากาศและระบุตำแหน่งของหุ่นยนต์ตรวจสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าได้ถูกต้อง 100% เมื่อเทียบกับอุปกรณ์การระบุตำแหน่งอื่นในตัวหุ่นยนต์ อย่างไรก็ตามก็ยังมีวิธีการหาระเบียบวิธีที่คิดหุนกว่าเพื่อใช้งานร่วมกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีลักษณะที่แตกต่างไป

##### เอกสารอ้างอิง

- [1] Kuan-Chieh Tseng, Ming-Tzuuo Yin, and Feng-Li Lian, "Range Sensing, Localization, and Error Elimination of Two-Wheeled Mobile Robots," The 2010 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, pp. 1494 – 1499, 2010.
- [2] ภาณุพันธ์ ขวัญสุด และ จักรี ศรีนนท์จักร, "การระบุตำแหน่งของหุ่นยนต์ตรวจสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดใหญ่ โดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาพ," NCTechEd08TEE04, หน้า 19-24, 2558.
- [3] Chomtip Pompanomchai, Thitinut Liamsanguan, and Vissakorn Vannakositi, "Vehicle detection and counting from a video frame," Proceedings of the 2008 International Conference on Wavelet Analysis and Pattern Recognition, pp. 356-361, 2008.
- [4] Astha Jain, Harshul Gandhi, and Vikalp Paharia, "Pixel Area Based Target Distance Estimating and Corresponding Target Hitting Force Calculating Autonomous Robot Using Single Video Device," 12th IEEE International Symposium on Computational Intelligence and Informatics, pp. 361-365, 2011.
- [5] Nilakorn Seenuvong, Ukrit Watchareeruetai, and Khamphong Khongsomboon, "Computer Vision Based Vehicle Detection and Counting System," 2016 8th International Conference on Knowledge and Smart Technology (KST), pp. 224-227, 2016.

### 3. 2017 56th Annual Conference of the Society of Instrument and Control Engineers of Japan (SICE 2017)



#### General Chair

Yamamoto, Shigeru (Kanazawa Univ., Japan)

#### Program Co-Chairs

Hiraishi, Kunihiro (JAIST, Japan)

Tanaka, Shinobu (Kanazawa Univ., Japan)

#### Organizing Committee (in alphabetical order)

Asano, Fumihiko (JAIST, Japan)

Chong, Nak-Young (JAIST, Japan)

Jikuya, Ichiro (Kanazawa Univ., Japan)

Kawai, Hiroyuki (K.I.T., Japan)

Kawai, Yasunori (NIT, Ishikawa College, Japan)

Murao, Toshiyuki (K.I.T., Japan)

Naito, Hisashi (Kanazawa Univ., Japan)

Suzuki, Ryoichi (K.I.T., Japan)

Tsuji, Tokuo (Kanazawa Univ., Japan)

Watanabe, Tetsuyou (Kanazawa Univ., Japan)

#### Sponsors (Tentative)

Organized by the Society of Instrument and Control Engineers (SICE)

Technically Co-Sponsored by IEEE Control Systems Society (CSS)

IEEE Robotics and Automation Society (RAS)

IEEE Industrial Engineering Society (IES)

Institute of Control, Robotics and Systems (ICROS)

International Society of Automation (ISA)

Technical Committee on Control Theory (TCCT)

Chinese Association of Automation (CAA)

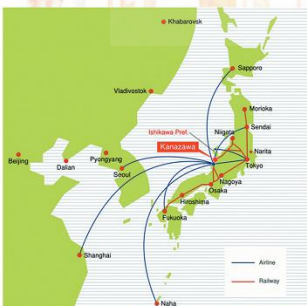
Japan Electric Measuring Instruments

Manufactures' Association (JEMIMA)

In Association with The Chinese Association of Automation (CAA)

China Instrument and Control Society (CIS)

Asian Control Association (ACA)



#### 1st Call for Papers

The SICE Annual Conference 2017, organized by the Society of Instrument and Control Engineers (SICE), will be held September 19-22, 2017, at Kanazawa University, Kanazawa, JAPAN. The SICE Annual Conference 2017 is an international conference covering a broad range of fields from measurement and control to system analysis and design, from theory to application, and from software to hardware. The technical program of SICE 2017 will consist of plenary and invited talks, tutorial courses, and workshops, as well as oral and interactive sessions.

#### Paper Submission

The SICE Annual Conference 2017 accepts two types of submissions for review:

**Regular paper:** Full papers (6 pages in conference format) must be submitted for review. The accepted papers will be submitted to the IEEE Xplore Digital Library. Normal length for the final manuscript of the regular paper is 6 pages. Papers exceeding 6 pages may be submitted upon payment of overlength page charges. A maximum of 2 extra pages above 6 pages are permitted.

**Position paper:** Extended abstracts (2-4 pages in conference format) must be submitted for review. This category is provided for authors who want to present a timely review of research, a case study, and so on. This type of paper will NOT be included in the IEEE Xplore Digital Library.

Both types of papers should be written in English, and will be included in the conference proceedings. The detailed submission policy is found on the conference web page.

#### Organized Session Proposal

The goal of organized sessions is to provide focused discussions on a new topic or innovative applications of a new approach. Each session consists of 5-6 papers, which will be reviewed via the normal review process. Both regular and position papers can be included in a session. For session proposals, it is recommended to include a brief statement of the session focus, together with the submission of the individual papers. For further instruction, please visit the conference web page.

#### Workshops and Tutorials

Proposals for workshops or tutorials that address technical topics related to control, automation, and systems in general are welcome. We encourage such programs that will attract industrial members, and programs with highly anticipated level of interest, impact, creativity and technical background of presenters. For details, please see the conference web page.

#### Important Dates (Tentative)

Feb 15, 2017 Deadline of Proposal of Workshop and Tutorials

Feb 28, 2017 Deadline of Proposal of Organized Sessions

March 15, 2017 Submission for Regular Papers and Position Papers

June 1, 2017 Notification of Paper Acceptance

July 1, 2017 Submission of Final Camera-ready Papers

From: sice2017-office@e-side.co.jp <sice2017-office@e-side.co.jp>  
Sent: 22 June 2017 16:23  
To: Phanuphan Kwansud  
Cc: jakkree.s@en.rmutt.ac.th  
Subject: Decision on SICE 2017 submission 368

Message from PaperCept Conference Management System

Message originated by SICE2017 Program Committee Desk

To: Phanuphan Kwansud  
From: SICE2017 Program Committee Desk

Dear Author,

We appreciate your time in submitting a paper to the Conference.

We are pleased to inform you that your paper has been accepted as a position paper for presentation at SICE 2017. We regret to tell you that after a careful evaluation and review of your initial submission, your paper has not been accepted as a regular paper. In the conference sessions, both type of papers will be treated evenly without distinction. The paper type is not considered in session making, and most general and OS sessions include both types of papers.

Normal length for the final manuscript of the position paper is 4 pages, and up to 2 extra pages are allowed without overlength page charges. While position papers will not be included in the IEEE Xplore Proceedings, they will be included in the DVD Proceedings distributed to attendees on site.

We look forward to your final paper submission, attendance and presentation of your paper.

If comments were provided by reviewers, they are attached in this mail. Please use them to improve your final paper.

For final submissions, you can download a LaTeX style file for SICE 2017 as well as an MS-Word template file from the conference website.  
<http://www.sice.or.jp/sice2017/submission2.html>

Please follow the instructions below to upload your final paper.

**0. Paper information**

Title: Location Identification of Generator Inspection  
Robot (GIR) using Image Processing Technique  
Submission number: 368  
Regular / Position: Position Paper  
Topics: Measurement

**1. Completion of conference registration and payment via  
the registration site (AMARYS)**  
<https://amarys-jtb.jp/sice2017/>

**# IMPORTANT #**

On the AMARYS system, at the time of registration, you (or  
a co-author) must enter your [papercept submission number]  
to receive a [keycode] associated with your paper. This  
[keycode] will be required for the final paper submission  
on the papercept site.

Your [papercept submission number] is 368 .

The keycode will be included in the payment confirmation  
email sent from the AMARYS registration system following  
completion of registration fee payment.

Author Registration Deadline: July 1, 2017 17:00 JST

**2. Completion of final paper submission via the submission  
site (papercept)**  
<https://controls.papercept.net/conferences/scripts/start.pl>

Final papers cannot be submitted until author registration  
and registration-fee payment has been confirmed.

Please note that the final paper submission deadline is  
July 1, 2017 24:00 JST. If we do not receive your final  
paper by the deadline, it will not be included in the  
Conference Proceedings nor will it appear in the printed  
collection of paper abstracts.

Final Paper Submission Deadline: July 1, 2017 24:00 JST

**3. Session details and conference program**

The initial program schedule and session details are

scheduled to be fixed and published in late June 2017. At this time, the Program at a Glance will be available on the SICE 2017 website and detailed session information will be provided on your papercept account.

4. Application for young author's award and scholarship (optional)  
<http://www.sice.or.jp/sice2017/awards.html>

# Additional information on JCMSI special issue #  
SICE Journal of Control, Measurement, and System Integration (JCMSI) announces the publication of "the special issue on SICE Annual Conference 2017" in May 2018. If you are interested in submitting a paper for possible publication in the special issue, please check  
[http://www.sice.jp/info/info\\_press/press\\_20170330.html](http://www.sice.jp/info/info_press/press_20170330.html)

On behalf of the program and organizing committees, I would like to thank you again for your contribution. We are looking forward to seeing you in Kanazawa in September.

If you have any enquiries, please contact the SICE 2017 Registration Desk at e-mail: [sice2017-office@e-side.co.jp](mailto:sice2017-office@e-side.co.jp)

Kind regards,  
Kunihiko Hiraishi  
SICE 2017 Program Committee Chair

-----  
Decision: Accepted as Position Paper

Final submission deadline July 1, 2017

-----  
Submission information

Authors and title:

Phanuphan Kwansud\*, Jakkree Srinonchat  
Location Identification of Generator Inspection Robot (GIR) using Image Processing Technique

Conference: SICE Annual Conference 2017  
Submission number: 368

-----  
To access your workspace please log in at <https://controls.papercept.net/conferences/scripts/start.pl>  
using your PIN 78976 and password

To see this decision message and the reviews choose the appropriate option under "Choose an option..." for this submission in your SICE 2017 author workspace

If you do not have your password then follow the link  
<https://controls.papercept.net/conferences/scripts/pinwizard.pl> to retrieve it

-----  
SICE2017 Program Committee Desk  
(c/o e-side, Inc. Kana Ohta)  
Tel: +81-3-6435-8789

--

Japan

E-mail address: [sice2017-office@e-side.co.jp](mailto:sice2017-office@e-side.co.jp)





Author or Proposer Phanuphan Kwansud's SICE 2017 Workspace

[Home](#) [Access](#) [Workspace](#) [PIN](#) [Refresh](#) [Log out](#) [Contact the SICE 2017 organizers](#) [Contact Technical Support](#)

59:21

[Cancel the page](#) [Download the Get started guide](#) [Pdf Test](#)

Phanuphan Kwansud's SICE 2017 Submissions

Check the column 'Status' for the status of your submission, and the column 'Actions for the corresponding author' for pending actions and deadlines

Move your mouse pointer over 'Choose an option' to open a menu with several useful options. Click anywhere within the browser window to close the menu

**Important notice**  
Links in the column 'Actions for the corresponding author' are ONLY available to the corresponding author (denoted by \* in the column 'Authors or proposers')



Number	Type of submission	Type of presentation	Authors or proposers *Corresponding author	Title	Profile	Status	Actions for the corresponding author Mandatory action ▶ Optional action Follow the link if available	Options
368	Position Paper	Oral Presentation Only	Phanuphan Kwansud*, jakkree srinonchat (78976, 79127)	Location Identification of Generator Inspection Robot (GIR) using Image Processing Technique	Measurement	Accepted	View the details of the submission Download the files that you submitted Inspect the reviews and decision letter Change the corresponding author	Choose an option

All Rights Reserved © 2017



Author or Proposer Phanuphan Kwansud's SICE 2017 Workspace

[Home](#) [Access](#) [Workspace](#) [PIN](#) [Refresh](#) [Log out](#) [Contact the SICE 2017 organizers](#) [Contact Technical Support](#)

59:39

[Cancel the page](#) [Download the Get started guide](#) [Pdf Test](#)

Phanuphan Kwansud's SICE 2017 Submissions

Check the column 'Status' for the status of your submission, and the column 'Actions for the corresponding author' for pending actions and deadlines

Move your mouse pointer over 'Choose an option' to open a menu with several useful options. Click anywhere within the browser window to close the menu

**Important notice**  
Links in the column 'Actions for the corresponding author' are ONLY available to the corresponding author (denoted by \* in the column 'Authors or proposers')



Number	Type of submission	Type of presentation	Authors or proposers *Corresponding author	Title	Profile	Status	Actions for the corresponding author Mandatory action ▶ Optional action Follow the link if available	Options
368	Position Paper	Oral Presentation Only	Phanuphan Kwansud* (78976), jakkree srinonchat (79127)	Location Identification of Generator Inspection Robot (GIR) Using Image Processing Technique	Measurement	Final version received	* The site closed for final submission on July 8, 2017	Choose an option

All Rights Reserved © 2017

SICE 2017 Technical Program Wednesday September 20, 2017								
Track 01	Track 02	Track 03	Track 04	Track 05	Track 06	Track 07	Track 08	Track 09
09:30-09:45 Lecture Hall WeOOp <a href="#">Opening Ceremony</a>								
09:45-10:45 Lecture Hall Plenary Session WePPI <a href="#">Plenary Talk I</a>								
11:15-12:45 Lecture Hall Organized Session WeA01 <a href="#">Autonomous Decentralized Systems: Biological Control Dialoging with Environment</a>	11:15-12:45 Room A (AV Hall) Regular Session WeA02 <a href="#">Robotic and Automation Systems I</a>	11:15-12:45 Room B (101) Regular Session WeA03 <a href="#">Transportation Systems</a>	11:15-12:45 Room C (103) Regular Session WeA04 <a href="#">Transportation Systems Control</a>	11:15-12:45 Room D (104) Regular Session WeA05 <a href="#">Signal And/or Image Processing I</a>	11:15-12:45 Room E (105) Regular Session WeA06 <a href="#">Sensors and Transducers</a>	11:15-12:45 Room F (107) Organized Session WeA07 <a href="#">Mathematical Models for Man-Made Systems</a>	11:15-12:45 Room G (108) Organized Session WeA08 <a href="#">Biomimetic Approach in Robotics and Machines</a>	11:15-12:45 Room H (109) Organized Session WeA09 <a href="#">ICROS-SICE Joint Organized Session: Advanced Robot Technology</a>
13:45-15:15 Lecture Hall Organized Session WeB01 <a href="#">Recent Advances on System Theory for Harmonized Power System Control</a>	13:45-15:15 Room A (AV Hall) Regular Session WeB02 <a href="#">Robotic and Automation Systems II</a>	13:45-15:15 Room B (101) Regular Session WeB03 <a href="#">Adaptive and Optimal Control I</a>	13:45-15:15 Room C (103) Regular Session WeB04 <a href="#">Nonlinear Control I</a>	13:45-15:15 Room D (104) Regular Session WeB05 <a href="#">Signal And/or Image Processing II</a>	13:45-15:30 Room E (105) Organized Session WeB06 <a href="#">Recent Advances in Thermometry</a>	13:45-15:30 Room F (107) Organized Session WeB07 <a href="#">Guidance, Navigation and Control of Vehicles and Aerospace - Theory and Applications</a>	13:45-15:45 Room G (108) Organized Session WeB08 <a href="#">Advanced Pattern Measurement and Recognition</a>	13:45-15:45 Room H (109) Organized Session WeB09 <a href="#">New Developments: Adaptation and Learning Control</a>

## SICE Annual Conference 2017

September 19-22, 2017, Kanazawa University, Kanazawa, Japan

[Program at a Glance](#) [Tuesday](#) [Wednesday](#) [Thursday](#) [Friday](#) [Author Index](#) [Keyword Index](#)

Last updated on August 1, 2017. This conference program is tentative and subject to change

### Technical Program for Wednesday September 20, 2017

To show or hide the keywords and abstract of a paper (if available), click on the paper title

[Open all abstracts](#) [Close all abstracts](#)

<b>WeOOp</b> <a href="#">Opening Ceremony</a>	Lecture Hall
<b>WePPI</b> <a href="#">Plenary Talk I</a>	Lecture Hall Plenary Session
09:45-10:45, Paper WePPI.1 <a href="#">Future Control System Architecture Enabling I4.0/Smart Manufacturing - Service-Oriented (Machine) Control Architecture in the Context of Smart Manufacturing</a> <a href="#">Zoitl, Alois</a> (fortiss GmbH)	
<b>WeA01</b> <a href="#">Autonomous Decentralized Systems: Biological Control Dialoging with Environment</a>	Lecture Hall Organized Session
Chair: <a href="#">Takamatsu, Atsuko</a> Organizer: <a href="#">Kobayashi, Ryo</a> Organizer: <a href="#">Takamatsu, Atsuko</a>	Waseda Univ Hiroshima Univ Waseda Univ
11:15-11:30, Paper WeA01.1 <a href="#">Body-To-Body and Body-To-Environment Interaction Emerging Dynamical Behavior in Cell Group of Motile Cyanobacteria (I)</a>	



13:45-14:00, Paper WeB05.1

*Medical round Robot Tracking a Specified Person Based on Highly Accurate Position Estimation Considering Attitude Angle Compensation of Wearable Sensor*

[Sakurai, Hiroto](#) (Toyohashi Univ. of Tech), [Tasaki, Ryosuke](#) (Toyohashi Univ. of Tech), [Terashima, Kazuhiko](#) (Toyohashi Univ. of Tech)

14:00-14:15, Paper WeB05.2

*A Study of Angular Estimation of the Mobile Robot by Using the Sun Azimuth Angle Based on Omnidirectional Image*

[Kawano, Tatsuya](#) (Hosei Univ), [Yoshida, Tomoya](#) (Hosei Univ), [Kobayashi, Kazuyuki](#) (Hosei Univ)

14:15-14:30, Paper WeB05.3

*Location Identification of Generator Inspection Robot (GIR) Using Image Processing Technique*

[Kwansud, Phanuphan](#) (NECTEC), [Srinonchat, Jakkree](#) (Rajamangala Univ. of Tech. Thanyaburi)

14:30-14:45, Paper WeB05.4

*Vision System Adapted to a Mobile Tracked Robot*

[González Escalona, José Uriel](#) (Inst. Pol. Nacional - CIC), [Rubio, Elsa](#) (CIC-IPN), [Sossa, Humberto](#) (CIC-IPN), [Ponce, Víctor H.](#) (Centro De Investigación En Computación)

14:45-15:00, Paper WeB05.5

*Method for Designing a Quantized Image for Digital Micromirror Device-Based Projectors Using a Weighted Evaluation Function*

[Inomoto, Kyohei](#) (Kumamoto Univ), [Okajima, Hiroshi](#) (Kumamoto Univ), [Koutaki, Gou](#) (Kumamoto Univ), [Matsunaga, Nobutomo](#) (Kumamoto Univ), [Uchimura, Keiichi](#) (Kumamoto Univ)



14:00-14:15, Paper WeB05.2

*[A Study of Angular Estimation of the Mobile Robot by Using the Sun Azimuth Angle Based on Omnidirectional Image](#)*

[Kawano, Tatsuya](#) (Hosei Univ), [Yoshida, Tomoya](#) (Hosei Univ), [Kobayashi, Kazuyuki](#) (Hosei Univ)

**Keywords:** [Signal and/or Image Processing](#), [Intelligent Systems](#), [Robotic and Automation Systems](#)

**Abstract:** The reliable moving direction of the mobile robot helps stable navigation as well as robust self-localization. Since the sun is one of visible dominant landmarks for outdoor navigation. In this paper, we describe a new estimation algorithm for the mobile robot direction, based on the sun azimuth angle from omnidirectional image. The proposed approach can be applicable outdoor navigated by using only omnidirectional camera without other extra sensors. Results are provided which show that our technique can estimate the relative moving direction of the mobile robot with good accuracy that is comparing to the sun azimuth angle.

14:15-14:30, Paper WeB05.3

*[Location Identification of Generator Inspection Robot \(GIR\) Using Image Processing Technique](#)*

[Kwansud, Phanuphan](#) (NECTEC), [Srinonchat, Jakkree](#) (Rajamangala Univ. of Tech. Thanyaburi)

**Keywords:** [Signal and/or Image Processing](#), [Robotic and Automation Systems](#)

**Abstract:** A generator inspection robot (GIR) is used to visually inspect a megawatt power generator installed in a power plant. Conventionally, the GIR's location inside the power generator is identified by an operator staff, or using encoders attached to the GIR's track. However, one of the failures in localizing the GIR using encoders is due to a slip between the generator's belts and the robot's track. To overcome this problem, this paper proposes a method to localize a digitized position of the GIR by counting airflow grooves in the generator using image processing technique, where the digitized position is the number of the airflow grooves. Given a video sequence of the GIR moving along the generator's belts, the airflow grooves are segmented from the input image, and the airflow groove is identified using the pixel counting technique. The length of the airflow groove in the current frame, i.e. the number of counted pixels, is then compared to the previous frame to double check the detected airflow groove. This double-checking technique improves efficiency in localizing the GIR. The proposed method is tested and compared to a data collected from a motor encoder attached to the GIR. The proposed method runs in real-time. The experimental results show that using the proposed method improves the accuracy of counting the airflow grooves and identifying the GIR's location.

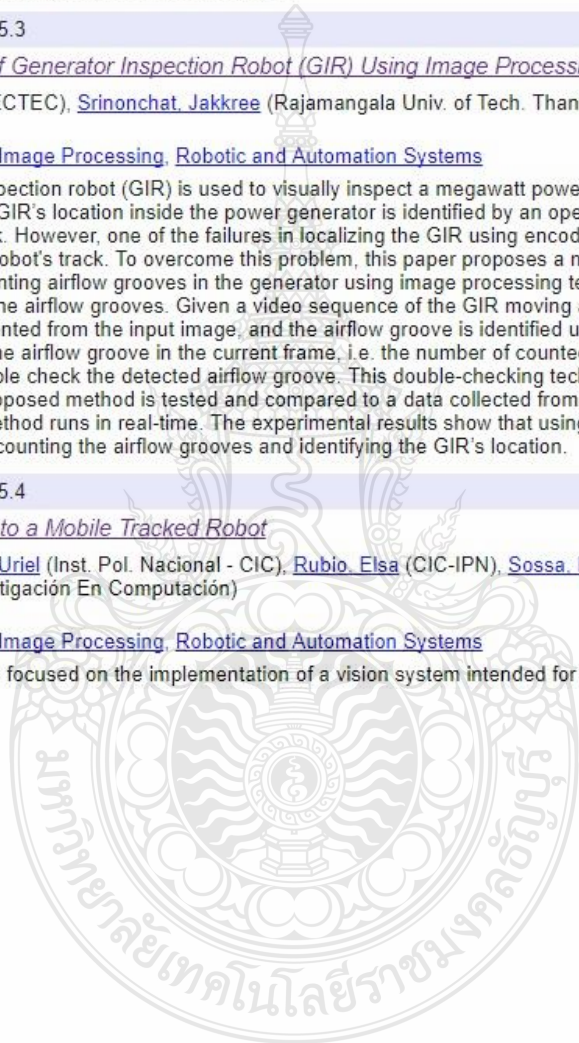
14:30-14:45, Paper WeB05.4

*[Vision System Adapted to a Mobile Tracked Robot](#)*

[González Escalona, José Uriel](#) (Inst. Pol. Nacional - CIC), [Rubio, Elsa](#) (CIC-IPN), [Sossa, Humberto](#) (CIC-IPN), [Ponce, Victor H.](#) (Centro De Investigación En Computación)

**Keywords:** [Signal and/or Image Processing](#), [Robotic and Automation Systems](#)

**Abstract:** This research is focused on the implementation of a vision system intended for a mobile tracked robot, based



## Location Identification of Generator Inspection Robot (GIR) using Image Processing Technique

Phanuphan Kwansud<sup>1†</sup> and Jakkree Srinonchat<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Smart Machine and Mixed Reality Laboratory, Advanced Automation and Electronics Research Unit, National Electronics and Computer Technology Center, Pathumthani, Thailand  
Electronic and Communication Engineering, Engineering Faculty, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Pathumthani, Thailand

(E-mail: phanuphan.kwansud@nectec.or.th)

<sup>2</sup>Electronic and Communication Engineering, Engineering Faculty, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Pathumthani, Thailand

(E-mail: jakkree.s@en.rmutt.ac.th)

**Abstract:** A generator inspection robot (GIR) is used to visually inspect a megawatt power generator installed in a power plant. Conventionally, the GIR's location inside the power generator is identified by an operator staff, or using encoders attached to the GIR's track. However, one of the failures in localizing the GIR using encoders is due to a slip between the generator's belts and the robot's track. To overcome this problem, this paper proposes a method to localize a digitized position of the GIR by counting airflow grooves in the generator using image processing technique, where the digitized position is the number of the airflow grooves. Given a video sequence of the GIR moving along the generator's belts, the airflow grooves are segmented from the input image, and the airflow groove is identified using the pixel counting technique. The length of the airflow groove in the current frame, i.e. the number of counted pixels, is then compared to the previous frame to double check the detected airflow groove. This double-checking technique improves efficiency in localizing the GIR. The proposed method is tested and compared to a data collected from a motor encoder attached to the GIR. The proposed method runs in real-time. The experimental results show that using the proposed method improves the accuracy of counting the airflow grooves and identifying the GIR's location.

**Keywords:** Image processing, image binarization, pixel counting, localization

### 1. INTRODUCTION

To visually inspect a megawatt power generator installed in a power plant, a generator inspection robot (GIR) is used. The GIR is a thin shape robot with the maximum thickness at 2 cm, and attached with frontal and side view cameras. Its thin shape allows an inspector staff to insert the robot into the channel between the generator's rotor and stator. The staff then visually inspects the power generator's condition by observing the video stream acquired from the GIR's cameras. Moreover, the power generator's insulator condition is also inspected using a wedge tuner of the GIR. By doing so, the staff can evaluate the power generator's health, identify the location in the power generator where the defects occurred, and plan whether the power generator need to be repaired.

This use of the GIR reduces the plant's downtime and budget compared to human inspection where the generator's rotor must be taken out from the stator before inspecting. A conventional GIR uses encoders attached to its tracked wheels to locate its position while operating in a power generator. However, using the encoders is not accurate due to a slip between the GIR's track and gear groove of the power generator.

Kuan-Chieh, et. al. [1] proposed a localization method by using a combination of an encoder odometry and range sensors. This method corrected the localization errors. However, using this method in a generator may not be an ideal solution as there could still be errors caused by the encoders. Moreover, the

GIR must be modified by adding the range sensors to the robot which may increase its thickness. Hence, an image processing technique is selected and used to localize the robot's position as the robot already has the frontal camera. There is no need to modify the robot.

There are various approaches used in object counting technique. Most applications are for counting people or vehicles in a video sequence. Pornpanomchai, et al. [2] proposed a vehicle counting from a video sequence using appearance and size of the vehicle as features. However, these features still caused errors when light intensity changes in the video. Chen and Li [3] presented an image binarization method focusing on consistency of the distribution of gray scale image. Their method could reduce the effect of noises and gave better segmentation result, yet it also required a lot of computational power. Jain, et al. [4] used a pixel counting technique to determine the distance between objects from an input video. Seenouvang, et al. [5] presented a vehicle counting technique by subtracting the vehicle from background using image binarization and virtual detection zone. The result showed 96% counting accuracy. However, their method still had limitations as the vehicles in the input video should be visually clear without any obstructions. Otherwise, errors in counting vehicles would occur.



Fig.1 Airflow grooves on the stator slot.

This paper presents a method for localizing the GIR while operating in a power generator using image processing technique. Fig. 1 presents an image extracted from a video of the GIR's frontal camera. The image shows that the airflow grooves are placed evenly along the stator slot. Therefore, by counting the number of airflow grooves being passed by the GIR, the GIR's distance from the starting position to its current location can be determined as a digitized position.

The proposed method localizes the robot by tracking airflow grooves located on a stator slot. The airflow grooves are detected using image binarization and pixel counting technique. The input video acquired from the GIR's frontal camera is processed to segment the airflow grooves from the background, and the GIR's digitized position in the generator is then acquired by counting the segmented airflow grooves being passed by the robot.

In section 2, the theory used in the proposed method is described. After that, the proposed method is explained in section 3. To show a comparison between the proposed method and other conventional method, an experimental setup as well as results are presented in section 4. Finally, conclusion including future work is discussed in section 5.

## 2. THEORY

### 2.1 Generator Inspection Robot (GIR)

The system of the GIR, as shown in Fig. 2, consists of a control panel, a control box, a computer, and a robot itself. The robot consists of a frontal camera, a side view camera, and a wedge tuner. The wedge tuner is the device attached to the lower part of the robot, and used to check the wedge's tightness. The wedge's tightness is inspected by tapping the tuner's pin on the wedge, and the tapping sound or vibration is then analyzed to determine the wedge's condition. The wedge is the insulating sheet between the generator's slot and the power generator's main component, and needs to be inspected. If the wedge is damaged or its tightness is below the standard value, that wedge needs to be replaced.

To use the GIR for inspecting the power generator in a conventional way, an operator inserts the robot into the channel between the generator's rotor and stator as shown in Fig. 3 The operator controls the robot using

the control box, visually inspects defects inside the generator by looking at the video stream obtained from the robot's cameras, and collects the wedge's tightness data using the wedge tuner. The data collected from the wedge tuner is necessary as it represents the condition of the wedge at that location. Traditionally, the inspector staff manually counts the number of the airflow grooves to keep the track of the GIR's location.



Fig.2 Generator Inspection Robot

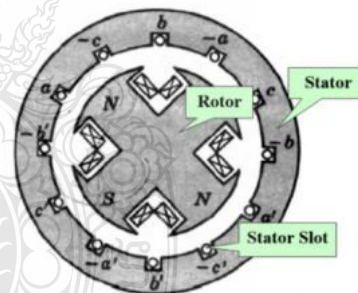


Fig.3 Components of the generator.

Therefore, it is necessary to know the exact distance from the robot's starting point to the location where those damages found. However, as mentioned, a traditional GIR needs the staff to manually count the number of airflow grooves to locate the GIR's current position inside the power generator. Though, the operator staff may lose count, and this action can cause the error in identifying the location of defects being found.

There is another method that uses encoders attached to the GIR's tracks. This encoder method locates the GIR's location inside the power generator by determining the signal acquired from the encoders. However, using the encoders may not be reliable and

accurate enough due to the slip between the GIR's tracks and the gear grooves.

### 2.2 Image binarization

The image binarization technique uses an image binarization function which can be defined as

$$\text{Seg}(x,y) = \begin{cases} 1, & g(x,y) > T \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

where  $\text{Seg}(x,y)$  is the binarization result of the pixel  $(x,y)$ ,  $g(x,y)$  is the gray-scale value ranged between  $[0,255]$ , and  $T$  is the threshold value. The pixel  $\text{Seg}(x,y)$  is set as 1 if its intensity is greater than  $T$ . Otherwise, it is set as 0.

The image binarization technique is normally used in a pre-processing step to prepare and localize a region of interest in the input image. For example, a known object has a distinct intensity, and using image binarization technique can extract the object of interest from the background.

### 2.3 Pixel counting

To count number of pixels inside a region of interest of a binary image, a mask of the region of interest is manually pre-defined. Then the number of pixels inside the mask can be calculated using

$$f(x_t, y_t) = \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^m I(x_t + i, y_t + j) \quad (2)$$

where  $f(x,y)$  is the function for counting the number of pixel inside the mask starting from  $(x,y)$  position, and the mask has  $m$  rows and  $n$  columns.  $I(x,y)$  is the intensity value of pixel  $(x,y)$  which is either 0 or 1.

This technique can be used in various applications. For example, the technique can be used as a simple object detector by counting number of pixels which its intensity is more than a specific threshold in the region of interest.

## 3. PROPOSED METHOD

The proposed method for estimating the GIR's digitized position inside the power generator is shown in Fig. 4. The process starts from acquiring an image of the video recorded from the frontal camera. The input image is then pre-processed to enhance and reduce noises starting from RGB to gray conversion, histogram equalization and image Gaussian filter. After that, the airflow grooves are segmented and counted. By counting the airflow grooves, the proposed method can identify the GIR's location inside the power generator from the number of the airflow grooves being passed by the robot. Each process showing in Fig. 4 can be explained as follows.

### 3.1 Video acquisition and pre-processing

Fig. 5 presents a sample of an image extracted from the GIR's frontal camera. The image is pre-processed to improve the brightness by converting it to a gray-scale image. The image's brightness is adjusted by using the histogram equalizer. After that, the noise which are also enhanced by the histogram equalizer is reduced by using a  $5 \times 5$  Gaussian low-pass filter.

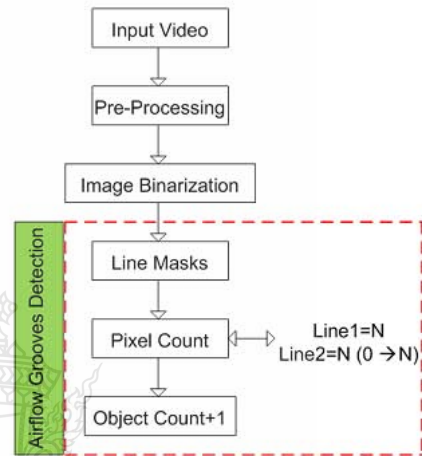


Fig.4 A flowchart diagram of the proposed method.



Fig.5 Input video acquired from the frontal camera.

### 3.2 Image binarization

As explained in Fig. 4, the airflow grooves are segmented after the preprocessing of the input image. The threshold  $T$  in Eq. (1) is defined as 195. Therefore, the pixel with intensity less than 195 will be set as 0, and the pixel with intensity greater or equal to 195 will be set as 1. A sample of the binarization result is presented in Fig. 6. After that, the binary image is passed to the next process to identify the airflow grooves.



(a)



(b)

Fig.6 Examples of the preprocessed image (a) and the binary image (b).

### 3.3 Airflow grooves detection

After the binarization process, the airflow grooves are identified using the pixel counting technique. A pixel counting mask is defined as a line, i.e. the mask is only one row. To detect the airflow grooves, two pixel counting masks are pre-defined for double checking the edges of the airflow grooves as presented in Fig. 7.

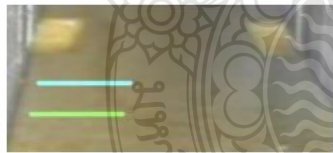


Fig.7 The masks for pixel counting.

Utilization of these two masks reduces the processing time as it defines the small region of interest in the image, and helps handling with noises occurred from the binarization process. To be noted, the locations of the masks are pre-defined on these specific locations since the detected airflow groove is mostly located over this spot on the input image.

As the GIR moving along a stator slot, the airflow grooves are approaching towards the camera. For each line mask, if it is located on the black area of the binary image, the pixel counting result using Eq. (2) is 0. Otherwise, the pixel counting result is "N".

To identify the airflow grooves, the change of binary values of the second line mask is used. The first line mask is used as a trigger switch to start detecting the change, and its status is set as detecting when it detects "N". Given the first line mask result as "N", the change of pixel number of the second line mask can be defined as the pixel number of the second line mask in frame  $t$  to the pixel number of the second line in frame  $t + 1$ . For example,  $(0 \rightarrow 0)$  means that the first line mask detects "N", so the detection process starts. After that, the second line mask detects 0 in the first frame, then 0 in the next frame. This technique therefore can be categorized into 4 cases as shown in Fig. 8.

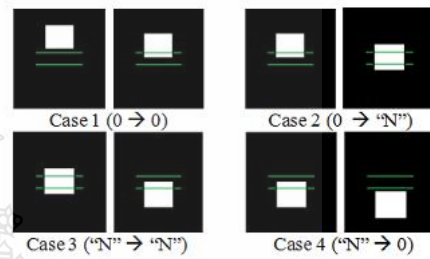


Fig.8 Samples represent 4 cases of using the change of the pixel number from two line masks.

As shown in Fig. 8, the detection result, which is defined as an airflow groove detected, is only the case 2. The proposed method ignores the other cases since there is no change of the detection on case 1 and 3. Moreover, case 4 is not considered as there is a change since the first line mask detects 0, so the detection process does not start. Fig. 9 presents an example of the proposed method used for counting the airflow grooves.



Fig.9 The result of counting the airflow grooves using the proposed method.

## 4. EXPERIMENTAL SETUP AND RESULTS

We tested the proposed method on a stator slot test rig in our laboratory as shown in Fig. 10, and in a real power generator. To acquire an input video, the GIR was put on the stator and controlled to move along the stator by a staff operator. The video was acquired at 24 fps and the video resolution was  $640 \times 480$ . The GIR velocity was measured at 1.9 m/s when the GIR was moving on a non-slip flat surface.

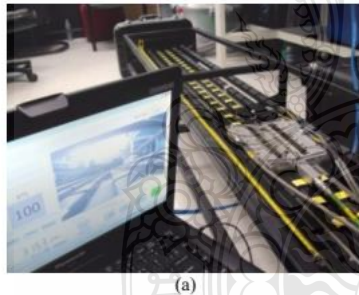
#### 4.1 Stator slot test rig results

Fig. 10(a) presents the stator slot test rig used in the experiment. The stator slot test rig is 156 cm long with 26 airflow grooves in total. The input image acquired from the GIR's frontal camera is also shown in Fig. 10(b). The airflow grooves are located evenly along the stator slot, and the distance between two airflow grooves is 6 cm long.

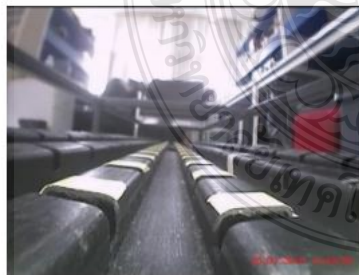
In this experiment, five videos were recorded and tested. The proposed method was used and compared with the results acquired from the encoders attached to the GIR tracks. The results obtained from the method using encoders was in cm from the starting position to the ending position. Therefore, the distance results were then transformed to number of the airflow grooves using the information that the distance between two airflow grooves was 6 cm.

Table 1 Results of the airflow grooves counting on the stator test rig.

Video number	Number of the airflow grooves	
	Encoders (distance)	Proposed method
1	15 (95.33 cm.)	26
2	16 (98.38 cm.)	26
3	15 (93.27 cm.)	26
4	15 (94.55 cm.)	26
5	15 (95.82 cm.)	26



(a)



(b)

Fig.10 Stator test rig used for testing in the laboratory (a), and the input image acquired from the frontal camera (b).

Table 1 shows the results obtained using the encoders and the proposed method. The results show that using the encoders gives the distance error of the robot as  $60.53(\pm 1.89)$  cm in average. Moreover, it only counts  $15.2(\pm 0.45)$  of the airflow grooves, while our proposed method can count 26 airflow grooves in every video which is 100% correct.

The results determined using the proposed method shows that they can identify the airflow grooves correctly. However, using encoders cannot identify all airflow grooves due to the slip between the GIR's track and the generator slots.

#### 4.2 Power generator results

In this scenario, the GIR was deployed in the power generator to collect videos of real power generator during inspection routines. However, this experimental setup did not have data acquired from encoders. The reason was that the videos were recorded from the real inspection routine which this routine could not accept risks or errors caused by any failures to happen. Therefore, to reduce the risk, the GIR using in this experimental setup was not modified to add an encoder, and there was only video data collected from the routine.

There were five videos collected from the inspection routine. The proposed method detected the airflow grooves, and the results were compared with ground-truth results which were the staff's manually counting results.

Table 2 Experimental results using video from real work.

Video number	Number of airflow grooves		Accuracy
	Ground-truth	Proposed method	
1	60	60	100%
2	98	98	100%
3	74	74	100%
4	61	61	100%
5	85	85	100%

Table 2 presents the results of the five videos. The proposed method can successfully detect all the airflow grooves as the accuracy is 100% in every video. Furthermore, the proposed method can also skip the gap between two insulators inside the stator slot as shown in Fig. 11, which is considered as an unwanted because its gap is too small compared to a gap from the airflow groove.

#### 5. CONCLUSION

This paper presents the technique to localize the GIR operating inside a power generator using image processing technique. The robot's frontal camera is used as a sensor to identify its location, which there is no need to modify the robot. We use the proposed method to count the number of airflow grooves being passed by

the robot while operating inside the generator, and the counting information is used to localize the robot's current position.

The proposed method shows that it outperforms the conventional method of using the encoders to identify the distance of the robot. Furthermore, its results give 100% accuracy compare to the results of manually counting of the airflow grooves.

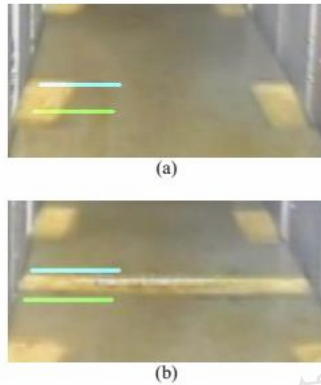


Fig.11 Samples of the airflow groove needs to be identified (a) and insulator gap needs to be skipped (b).

However, the proposed method was tuned and only tested with one type of the power generator. We plan to expand our work to other types of power generator, which may not have the same characteristic of the stator slot as the one we tested with. The size of the airflow grooves may not be the same as well as the position of the airflow grooves. Therefore, the algorithm should be more flexible and able to adapt to those differences mentioned before.

## 6. ACKNOWLEDGEMENT

This work is supported by National Electronics and Computer Technology Center (NECTEC) Thailand, and Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology, Thanyaburi. I would like to thank Teesid Leelasawassuk and all the colleagues in SMR laboratory for their help and support.

## REFERENCES

- [1] Kuan-Chieh Tseng, Ming-Tzuoo Yin, and Feng-Li Lian, "Range Sensing, Localization, and Error Elimination of Two-Wheeled Mobile Robots," The 2010 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, pp. 1494 – 1499, 2010.
- [2] Chomtip Pornpanomchai, Thititnut Liamsanguan, and Vissakorn Vannakosit, "Vehicle detection and counting from a video frame," Proceedings of the 2008 International Conference on Wavelet Analysis and Pattern Recognition, pp. 356-361, 2008.

[3] Songcan Chen, and Daohong Li, "Image binarization focusing on objects," *Neurocomputing* vol. 69, pp. 2411 – 2415, 2006.

[4] Astha Jain, Harshul Gandhi, and Vikalp Paharia, "Pixel Area Based Target Distance Estimating and Corresponding Target Hitting Force Calculating Autonomous Robot Using Single Video Device," 12th IEEE International Symposium on Computational Intelligence and Informatics, pp. 361-365, 2011.

[5] Nilakorn Seenouvang, Ukrit Watchareeruetai, and Khamphong Khongsomboon, "Computer Vision Based Vehicle Detection and Counting System," 2016 8th International Conference on Knowledge and Smart Technology (KST), pp. 224-227, 2016.

---

† Phanuphan Kwansud is the presenter of this paper.



## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ - นามสกุล	นายphanuphan ขวัญสุด
วัน เดือน ปีเกิด	23 ธันวาคม 2519
ที่อยู่	37/38 หมู่บ้านพฤษภาวิไลเลข 35 หมู่ 2 ถนนเลียบคลองสาม ตำบล คลองสาม อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12120
ประวัติการศึกษา	ปริญญาตรี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สาขาเทคโนโลยี ไฟฟ้าอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
ประวัติการทำงาน	ผู้ช่วยนักวิจัย ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์ แห่งชาติ พ.ศ. 2551 ถึงปัจจุบัน
เบอร์โทรศัพท์	08-7678-9495
อีเมล	phanuphan1976@gmail.com

