

การตรวจหาคอนแทกต์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคา
โดยใช้การประมวลผลภาพ



ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงานทดแทน
มหาวิทยาลัยแม่โจ้
พ.ศ. 2561

การตรวจทานบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคา
โดยใช้การประมวลผลภาพ



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของความสมบูรณ์ของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงานทดแทน

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยแม่โจ้

พ.ศ. 2561

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยแม่โจ้

การตรวจทานกบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคา
โดยใช้การประมวลผลภาพ

กัญญานัฐ ทองเทพ

วิทยานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของความสมบูรณ์ของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงานทดแทน

พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จงชัย มณีชูเกตุ)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วีรพล จิรจรีต)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ยิ่งรักษ์ อรรถเวชกุล)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.

ประธานอาจารย์ผู้รับผิดชอบหลักสูตร

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธนศ ไชยชนะ)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.

บัณฑิตวิทยาลัยรับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์ ดร.เกรียงศักดิ์ เม่งอำพัน)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.

ชื่อเรื่อง	การตรวจทานบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคา โดยใช้การประมวลผลภาพ
ชื่อผู้เขียน	นางสาวกัญญาณัฐ ทองเทพ
ชื่อปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงานทดแทน
อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธงชัย มณีชูเกตุ

บทคัดย่อ

ปัญหาที่พบในโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ส่วนหนึ่งเป็นปัญหาเรื่องเงาบัง ทั้งมาจากเงาบังของนก, มุลนก, ใบไม้ และวัสดุอื่นๆ ที่ตกอยู่บนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ หากไม่ได้รับการทำความสะอาดเป็นเวลานานจะเกิดเป็นจุดร้อนบนแผง ทำให้เกิดอุบัติเหตุแผงไหม้หรือทำลายโครงสร้างของแผงและลดประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้า การติดตั้งแผงในโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์นั้นใช้พื้นที่ติดตั้งเป็นจำนวนมาก โรงไฟฟ้าจึงมีขนาดใหญ่และพื้นที่กว้าง เพื่อความแม่นยำของการหาตำแหน่งวัตถุบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้สามารถจัดการกับปัญหาที่เกิดขึ้นได้ทันเวลา งานวิจัยนี้จึงได้นำเสนอการจำแนกนกกับสิ่งไม่มีชีวิต (ใบไม้หรือมุลนก) เพื่อให้จัดการกับปัญหาได้อย่างเหมาะสม จากนั้นหาตำแหน่งวัตถุบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยวิธีทฤษฎีสามเหลี่ยม (Triangle theory) เพื่อบอกตำแหน่งวัตถุแปลกปลอม โดยการเทียบตำแหน่งวัตถุที่ตรวจพบกับกรอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์นั้นๆ ใช้คุณสมบัติของแผงที่เป็นรูปทรงสี่เหลี่ยมขนาดเดียวกัน ลักษณะการจัดเรียงแผงที่เป็นรูปแบบตาราง มีระยะห่างระหว่างแต่ละแผงคงที่ตามการออกแบบทางวิศวกรรม ผลของการทดสอบความเชื่อถือได้ของระบบมีคลาดเคลื่อน 23.14% หลักการจำแนกวัตถุนี้สามารถประยุกต์ใช้กับงานด้านความปลอดภัยอื่นได้ เช่น การตรวจจับตารก ผู้สูงอายุ ซึ่งมีการเคลื่อนไหวตามช่วงเวลาเฉพาะตัว เพื่อแสดงสัญญาณเตือนเมื่อสิ่งมีชีวิตเหล่านี้มีการนิ่งเกินกว่าเวลาที่กำหนด และปรับใช้การหาตำแหน่งวัตถุใดๆ ที่อยู่บนโครงสร้างที่มีการเขียนแบบกำหนดขนาดที่แน่นอน มีจุดอ้างอิง ใช้หลักการคณิตศาสตร์หาตำแหน่งวัตถุ เมื่อทราบตำแหน่งของวัตถุจะสามารถดำเนินการสื่อให้หุ่นยนต์หรืออุปกรณ์ทำความสะอาดเข้าถึงวัตถุเป้าหมายได้อย่างถูกต้องและแม่นยำ

คำสำคัญ : แผงเซลล์แสงอาทิตย์, การประมวลผลภาพ, การตรวจจับตำแหน่ง, ทฤษฎีสามเหลี่ยม, นก

Title	DETECTION OF BIRDS ON SOLAR PV ROOFTOP USING IMAGE PROCESSING
Author	Miss Kunyanat Thongtep
Degree	Master of Engineering in Renewable Energy Engineering
Advisory Committee Chairperson	Assistant Professor Dr. Thongchai Maneechukate

ABSTRACT

Problems encountered in solar power plant is shadow of birds, bird feces, leaves, and other objects on the solar panel. If it is not cleaned or eliminated the shade area will influence accumulated heat on the solar panel which may results in damages, accidents as well as that it also reduce the efficiency in generating electricity. This thesis proposes the identification of birds with inanimate objects (Leaf or bird droppings) to handle the problem effectively and finding location of foreign objects on the solar panels by using Triangle theory. The solar panels are square in shape, the same size and are lined up in square shape. The distance between each solar panel is in accordance with engineering design. The system error is 23.14%. A reference point for mathematical principle is used when the object location on the panels is found. After which a robot or cleaning equipment is used for cleaning it correctly and accurately. This object classification can be applied to other safety tasks, setting off an alarm when movement is detected after a specific time like in monitoring babies or the elderly.

Keyword : solar panel, image processing, position detection, triangle theory, bird

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี โดยได้รับคำชี้แนะที่มีคุณค่าเป็นอย่างยิ่งจากคณาจารย์หลายท่าน และการสนับสนุนเงินทุนในการทำงานวิจัยจากหลายหน่วยงาน

ขอขอบพระคุณวิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่มอบทุนอุดหนุนการศึกษาผ่าน “โครงการผลิตและพัฒนาศัทยภาพทางด้านพลังงานทดแทนในกลุ่มประเทศอาเซียน สำหรับนักศึกษา ระดับบัณฑิตศึกษา ประจำปีการศึกษา 2559”

ขอขอบพระคุณบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่มอบงบประมาณสนับสนุนการพัฒนา นวัตกรรมสำหรับนักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา “โครงการนำร่องการพัฒนาบัณฑิตวิจัยนักปฏิบัติเพื่อ อุตสาหกรรม และธุรกิจอุตสาหกรรมการให้บริการเชิงเกษตร (ปีงบประมาณ พ.ศ. 2560)” และทุนสนับสนุนวัสดุสำหรับการพัฒนาผลิตภัณฑ์นวัตกรรม “โครงการพัฒนาหน่วยวิจัยระดับบัณฑิตศึกษาเพื่อ การสร้างนวัตกรรมด้านการเกษตร ปี พ.ศ. 2561”

ขอขอบพระคุณความอนุเคราะห์ คำแนะนำและความช่วยเหลือจากบุคคลหลายฝ่าย โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ศาสตราจารย์ ดร.โกสินทร์ จานงไทย ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และ โทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ที่ให้เกียรติเป็นประธาน กรรมการสอบวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธงชัย มณีชูเกตุ ที่กรุณาให้เกียรติเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาหลัก ช่วยตรวจสอบความเหมาะสม ความเรียบร้อยของเนื้อหางานวิจัย ให้คำปรึกษาและช่วย แก้ไขข้อบกพร่องและปัญหาต่างๆ ในวิทยานิพนธ์เล่มนี้

ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วีรพล จิรจรีต ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และ โทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ยิ่งรัช อรรถเวชกุล ที่กรุณาให้เกียรติเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาร่วม อาจารย์ดำรงศักดิ์ อรัญกุล คณะ วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนครพนม ที่คอยแนะนำและช่วยเหลือเกี่ยวกับคำสั่งในระบบประมวลผล รวมถึงผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สมถวิล ชันเขตต์ สาขาวิชาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัย ราชภัฏอุบลราชธานี ที่คอยแนะนำในเรื่องของหลักการทางด้านคณิตศาสตร์ที่ประยุกต์ใช้กับการ แก้ปัญหาในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จลุล่วงด้วยดี ผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณศูนย์บริการวิชาการที่ 7 (จังหวัดเชียงใหม่) กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและ อนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน ที่เอื้อเฟื้อสถานที่สำหรับใช้ในการศึกษา

ขอขอบพระคุณคณาจารย์หลายท่านที่มีได้กล่าวชื่อในครั้งนี้ เจ้าหน้าที่วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ทุกท่านที่ให้ความสะดวกตลอดการดำเนินงานวิจัย รวมถึงเพื่อน และญาติมิตรทุกท่านที่ไม่สามารถจะกล่าวไว้ในนี้ได้หมด สำหรับความช่วยเหลือและกำลังใจเสมอมา คุณประโยชน์อันใดที่เกิดจากงานวิจัยนี้ย่อมเป็นผลมาจากความกรุณาของท่านดังกล่าวข้างต้น ผู้วิจัยซาบซึ้งเป็นอย่างยิ่ง จึงใคร่ขอขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้

กัญญานัฐ ทองเทพ



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ง
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญภาพ.....	ฉ
สารบัญตารางผนวก.....	ณ
สารบัญภาพผนวก.....	ด
บทที่ 1 บทนำ.....	1
ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย.....	1
วัตถุประสงค์.....	4
ขอบเขตของการวิจัย.....	4
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	5
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	6
การอพยพของนก (Migration of birds).....	6
นกพิราบ.....	7
1. ข้อมูลทั่วไปของนกพิราบ.....	7
2. ผลกระทบจากนกพิราบ.....	8
ความรู้พื้นฐานสำหรับการประมวลผลภาพดิจิทัล.....	9
1. ความหมายของการประมวลผลภาพดิจิทัล.....	10
2. การนับจำนวนกลุ่มของพิกเซลที่อยู่ติดกัน.....	11

3. วิธีการอ่านข้อมูลพิกเซล (Pixel) ของภาพ.....	11
4. ตัวบอกลักษณะเชิงพื้นที่.....	12
5. การแทนภาพด้วยข้อมูลแบบดิจิทัล.....	14
6. ภาพนิ่ง.....	16
7. มาตรฐานของสี.....	16
8. ระบบสี RGB.....	17
9. การแปลงภาพสีให้เป็นภาพ ขาว-ดำ (Thresholding).....	17
10. ฮิสโทแกรม (Histogram).....	18
11. การหาศูนย์กลางของเป้าหมาย.....	19
12. Homogeneous Coordinate.....	20
การหาสิ่งแปลกปลอมที่เกิดขึ้นบนวัตถุต้นแบบ Model Exclusive OR, OR.....	21
การหาดำแหน่งวัตถุบนพื้นที่สี่เหลี่ยมด้วยทฤษฎีสามเหลี่ยม.....	22
ทฤษฎีบทพีทาโกรัส.....	22
การออกแบบโรงไฟฟ้าและลักษณะแผงเซลล์แสงอาทิตย์.....	24
การประเมินค่าความผิดพลาดของระบบ.....	25
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	26
บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย.....	34
การออกแบบโครงสร้างทางฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ของระบบประมวลผลภาพ.....	35
การจำแนกกับสิ่งไม่มีชีวิต.....	37
การใช้ค่าเฉลี่ยฮิสโทแกรม อาร์(R) ฮิสโทแกรม จี(G) และ ฮิสโทแกรม บี(B) เพื่อจำแนกกับพินาศ จากสัตว์ชนิดอื่น.....	39
ระบบประมวลผลภาพ.....	42
1. การกำหนดค่าเริ่มต้นของระบบ.....	42
2. การนำเข้าข้อมูลภาพ.....	43

3.	การปรับขนาดภาพ.....	43
4.	การแปลงภาพระดับสี เป็นภาพระดับเทา.....	44
5.	การลบส่วนที่ซ้ำกันของภาพ.....	45
6.	การหาขอบของภาพ.....	46
7.	การตีขอบนกพิราบบนภาพ.....	47
8.	การหาจุดอ้างอิงของภาพ.....	47
9.	การหาตำแหน่งของวัตถุ.....	49
10.	การแสดงค่าตำแหน่งของนกพิราบ.....	53
	ระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ในการทดสอบ.....	55
บทที่ 4	ผลการวิจัยและอภิปรายผล.....	56
	ผลของการจำแนกนกกับสิ่งไม่มีชีวิต.....	56
	ผลการจำแนกนกพิราบจากสัตว์ชนิดอื่น.....	59
1.	การหาเกณฑ์ค่าความกว้างของฮิสโทแกรมอ้างอิง.....	59
2.	การทดสอบการวัดค่าความถูกต้องของฮิสโทแกรม อาร์ จี และบี ของนกพิราบ.....	60
	ผลการทดสอบหาตำแหน่งนกพิราบจากระบบประมวลผลภาพ.....	61
1.	ผลการทดสอบตรวจหานกบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 1 ตัว.....	61
2.	ผลการทดสอบตรวจหานกบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 2 ตัว.....	61
3.	ผลการทดสอบตรวจหานกบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 3 ตัว.....	62
4.	ผลการทดสอบตรวจหานกบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 4 ตัว.....	63
	ผลการทดสอบระบบประมวลผลภาพกับชุดแผงเซลล์แสงอาทิตย์.....	66
	การสูญเสียกำลังการผลิตเนื่องจากการบังเงา.....	78
บทที่ 5	สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	81
	ข้อเสนอแนะ.....	82
	บรรณานุกรม.....	84

ภาคผนวก.....	93
ภาคผนวก ก ระบบประมวลผลภาพ.....	94
1. ระบบประมวลผลภาพเพื่อหาตำแหน่งนกพิราบ.....	95
2. การใช้ค่าเฉลี่ยฮิสโทแกรม อาร์(R) ฮิสโทแกรม จี(G) และ ฮิสโทแกรม บี(B) เพื่อจำแนก นกพิราบจากสัตว์ชนิดอื่น.....	97
3. ระบบประมวลผลภาพเพื่อหาตำแหน่งนกพิราบจากชุดแผงเซลล์แสงอาทิตย์จริง.....	100
4. ระบบประมวลผลเพื่อการจำแนกนกกับวัตถุอื่นด้วยการนับพิกเซล.....	104
ภาคผนวก ข ผลการทดลอง.....	107
1. ผลการทดสอบหาตำแหน่งนกพิราบจากระบบประมวลผลภาพ.....	108
2. ผลการทดสอบระบบประมวลผลภาพกับชุดแผงเซลล์แสงอาทิตย์.....	134
ภาคผนวก ค แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ในงานวิจัย.....	145
ภาคผนวก ง ภาพสัตว์ชนิดต่างๆ ที่ใช้ในงานวิจัย.....	147
ภาคผนวก จ การเผยแพร่ผลงานทางวิชาการ.....	151
ประวัติผู้วิจัย.....	182

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1 ความกว้างของฮิสโทแกรมของภาพตัวอย่าง.....	41
2 ผลการทดสอบจำนวนพิกเซลวัตถุตัวอย่าง	57
3 ผลการทดสอบจำนวนพิกเซลนกจริง.....	57
4 เกณฑ์ค่าความกว้างของฮิสโทแกรมของสัตว์แต่ละชนิด.....	59
5 ผลการทดสอบระบบประมวลผลภาพ	65
6 ตำแหน่งของนกที่ตรวจพบ.....	68
7 การเปรียบเทียบระยะห่างจากกรอบแมงเซลล์แสงอาทิตย์ระหว่างระบบประมวลผลภาพกับ ค่าที่วัดจริง.....	73



สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1 สถานภาพและเป้าหมายการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทน.....	2
2 นกพิราบเกาะบนหลังคาและทำรังใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์	3
3 มุลนบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ก่อให้เกิดความร้อนสะสมบนแผง.....	3
4 นกพิราบ	7
5 (a) ภาพอนาล็อกแบบต่อเนื่อง (Continuous) และ (b) วิธีการ Digitization ภาพเชิงตัวเลข... 9	9
6 การแบ่งกลุ่มของพิกเซลที่อยู่ติดกัน	11
7 เมทริกซ์ขนาด 3x3 บริเวณข้างเคียงพิกเซล $f(x, y)$ ในภาพ	11
8 การกรองข้อมูลภาพ	13
9 การกรองโดยใช้หน้าต่าง.....	14
10 การแทนภาพด้วยข้อมูลแบบดิจิทัล.....	15
11 การแสดงค่าจุดพิกเซล.....	15
12 การแสดงมาตรฐานของสี	16
13 สีผสมทางแสงหรือกระบวนการบวกแม่สีของระบบสีอาร์จีบี	17
14 (ก) ภาพ RGB ปกติ และ (ข) ภาพฮิสโทแกรม และ (ค) กราฟฮิสโทแกรม.....	18
15 แสดงการกำหนดวัตถุเป็นสีขาวและพื้นหลังเป็นสีดำ.....	19
16 แสดงการหาจุดศูนย์กลาง	20
17 การหาจุด Coordinate แบบ Cartesian coordinate และ Homogeneous Coordinate 21	21
18 ความแตกต่างของพิกเซลที่เกิดขึ้นบนภาพ (ก) Exclusive OR การตัดส่วนที่ซ้ำกันของภาพ และ (ข) OR การนำขอบภาพมาซ้อนทับ.....	21
19 การสร้างเส้นตรงจากวัตถุที่ตรวจพบไปยังมุมของรูปสี่เหลี่ยม.....	22
20 สามเหลี่ยมมุมฉาก.....	23

ภาพที่	หน้า
21 รูปสามเหลี่ยมที่มีด้าน a, b, c และมีมุม α, β, γ ตามลำดับ.....	23
22 (ก) ภาพรวมระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคา, (ข) โครงสร้างแผง และ (ค) แผง เซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคา.....	24
23 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคาที่กักได้รับผลกระทบจากฝุ่นและมูลนก.....	27
24 ภาพรวมของการทดลอง	28
25 การเปรียบเทียบกราฟสัมพันธ์ภาพที่สร้างโดยใช้วัตถุที่ต่างกัน.....	28
26 การทำแผนที่มุมมองผกผัน (ก) ภาพจริงที่ป้อนเข้า (ข) ข้อมูลที่ส่งออก (ค) การหาขอบภาพ และ (ง) ขอบภาพที่มีการซ้อนกันโดยใช้ค่าเฉลี่ยสามเฟรม	29
27 การติดตามแบบแยกและการติดตามเชิงพื้นที่	30
28 ปลาที่ตรวจจับภาพจากด้านบน (ก) ภาพดั้งเดิม (ข) ภาพตัดขอบ (ค) ขนาดภาพที่พอดีภายใน วงรีสีแดง และ (ง) ปลาที่ตรวจพบ.....	31
29 สิ่งที่ไม่ใช่ปลา (ก) ภาพดั้งเดิม (ข) ภาพตัดขอบ (ค) ขนาดภาพที่พอดีภายในวงรีสีแดง และ (ง) ตรวจไม่พบปลา.....	31
30 ภาพถ่าย (ก) นักด้านหน้าเรดาร์ และ (ข) ภาพฝูงนกนับร้อยตัวโดยจับภาพที่ระยะ 3.2 กิโลเมตร จากเรดาร์	32
31 ภาพถ่าย (ก) นักด้านหน้าเรดาร์ และ (ข) ภาพฝูงนกนับร้อยตัวโดยจับภาพที่ระยะ 3.2 กิโลเมตร จากเรดาร์	33
32 โครงสร้างทางฮาร์ดแวร์ของระบบการระบุตำแหน่ง นกที่เกาะบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้ง บนหลังคา	35
33 โครงสร้างทางซอฟต์แวร์ของระบบ	36
34 ตัวอย่างนกจำลองเหมือนจริงและใบไม้อย่างละ 3 ขนาด	38
35 ระยะห่างและการตั้งค่าเริ่มต้นกับอุปกรณ์ในการเก็บภาพข้อมูล	38
36 ตัวอย่างการหมุนนกจำลองในองศาต่างๆ.....	39
37 กราฟฮิสโทแกรมอาร์จีบี	40

ภาพที่	หน้า
38 ภาพต้นแบบ	42
39 (ก) ภาพต้นแบบ และ (ข) ภาพต้นแบบที่ผ่านการปรับขนาด.....	44
40 (ก) ภาพเปรียบเทียบ และ (ข) ภาพเปรียบเทียบที่ผ่านการปรับขนาด.....	44
41 (ก) ภาพต้นแบบ และ (ข) ภาพต้นแบบที่ผ่านการแปลงระดับสีเทา.....	45
42 (ก) ภาพเปรียบเทียบ และ (ข) ภาพเปรียบเทียบที่ผ่านการแปลงระดับสีเทา.....	45
43 หน้าต่างแสดงผลจากระบบประมวลผลภาพ	46
44 การตีขอบภาพของระบบประมวลผลภาพ.....	47
45 แสดงตำแหน่งของมุมต่างๆ จากคำสั่งการหามุมของโปรแกรม.....	48
46 การหาตำแหน่งของวัตถุบนภาพโดยความสัมพันธ์รูปสามเหลี่ยมในรูปสี่เหลี่ยม.....	49
47 ความยาวเส้นตั้งฉากจากวัตถุถึงแนวแกน x และแกน y.....	50
48 การหามุมภายในสามเหลี่ยมมุมฉาก (ก) ด้านบน และ (ข) ด้านล่าง	51
49 หน้าต่างแสดงผลระบบพบนกพิราบ 1 ตำแหน่ง	54
50 หน้าต่างแสดงผลระบบพบนกพิราบหลายตำแหน่ง	54
51 สัญลักษณ์ ▲ และ * บนภาพที่พบวัตถุแปลกปลอม.....	55
52 ชุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ทดสอบ.....	55
53 การทดสอบหาจำนวนพิกเซลของวัตถุตัวอย่าง (ก) สิ่งมีชีวิต และ (ข) สิ่งไม่มีชีวิต	58
54 ตัวอย่างผลการทดสอบโปรแกรมประมวลผลภาพ.....	61
55 ตัวอย่างผลการทดสอบโปรแกรมประมวลผลภาพนก 2 ตัว.....	62
56 ตัวอย่างผลการทดสอบโปรแกรมประมวลผลภาพที่ผิดพลาด	62
57 ตัวอย่างผลการทดสอบโปรแกรมประมวลผลภาพนก 3 ตัว.....	63
58 ตัวอย่างผลการทดสอบโปรแกรมประมวลผลภาพที่ผิดพลาดเนื่องจากนกอยู่ชิดติดกัน	63
59 ตัวอย่างผลการทดสอบโปรแกรมประมวลผลภาพ.....	64
60 ตัวอย่างผลการทดสอบโปรแกรมประมวลผลภาพ.....	64

ภาพที่	หน้า
61 ตัวอย่างภาพทดสอบ.....	66
62 ผลจากระบบประมวลผลภาพ	67
63 ผลจากระบบประมวลผลภาพ	67
64 การใช้หลักการทฤษฎีสามเหลี่ยม เพื่อระบุตำแหน่งนกที่ตรวจพบ.....	67
65 (ก) แผงเซลล์แสงอาทิตย์ และ (ข) การต่อเซลล์ภายในแผง.....	79
66 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่เกิดเงาบังเนื่องจากนก	79



สารบัญตารางผนวก

ตารางผนวกที่	หน้า
1 ตัวอย่างนกบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 1 ตัว.....	108
2 ตัวอย่างนกบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 2 ตัว.....	113
3 ตัวอย่างนกบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 3 ตัว.....	120
4 ตัวอย่างนกบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 4 ตัว.....	127
5 ตำแหน่งของนกที่ตรวจพบบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์.....	134
6 สัตว์ชนิดอื่นๆ สำหรับเปรียบเทียบเพื่อจำแนกนกพิราบ.....	148



สารบัญภาพผนวก

ภาพผนวกที่

หน้า

1	รายละเอียดแผงเซลล์แสงอาทิตย์.....	146
---	-----------------------------------	-----



บทที่ 1

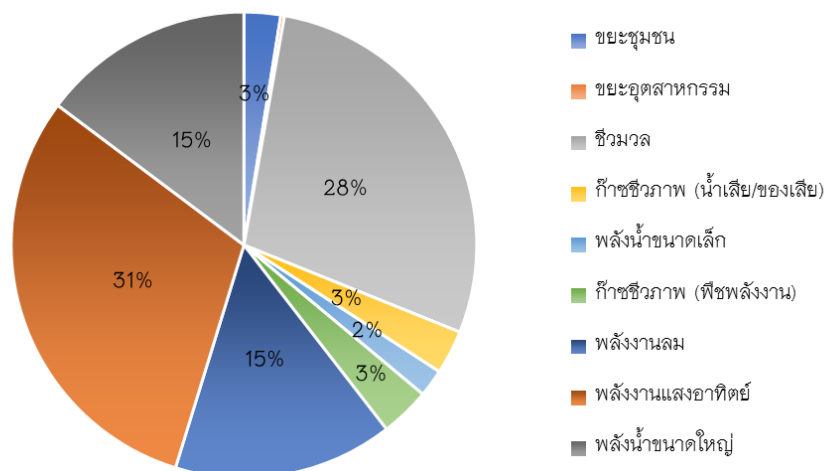
บทนำ

ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย

ไฟฟ้านับเป็นปัจจัยที่สำคัญในการดำเนินชีวิตและการดำเนินกิจกรรมทางเศรษฐกิจ ในช่วงที่ผ่านมาความต้องการไฟฟ้าของไทยเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยในปี 2560 ประเทศไทยมีการใช้ไฟฟ้า 185,370 GWh โดยภาพรวมการใช้พลังงานขั้นต้นเพิ่มขึ้นร้อยละ 2.4 เมื่อเทียบกับปีก่อน สอดคล้องกับอัตราการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจของไทย (GDP) ทั้งปีขยายตัวร้อยละ 3.9 ตามที่สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ (สศช.) คาดการณ์ (สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน, 2560) อีกทั้งยังมีความเสี่ยงจากความไม่แน่นอนในด้านเชื้อเพลิง ภาครัฐจึงมีนโยบายในการลดความเสี่ยงรวมทั้งเพิ่มความสามารถในการพัฒนาและเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ไฟฟ้า คือ สร้างความชัดเจนถึงการเพิ่มสัดส่วนการใช้เชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติในการผลิตไฟฟ้าในอนาคต ผลักดันการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ไฟฟ้าอย่างจริงจัง และกำกับการผลิตไฟฟ้าให้เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมเพื่อให้ประเทศไทยมีพลังงานไฟฟ้าที่เพียงพอ ในราคาที่เหมาะสม และมีความยั่งยืนในระยะยาว

กรอบการพัฒนาพลังงานของไทยในระยะ 20 ปีตามแผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย (Power Development Plan : PDP) พ.ศ.2558-2579 (PDP2558) มีการประมาณการการใช้พลังงานไฟฟ้าในอนาคตโดยความต้องการการใช้ไฟฟ้าในปี 2579 อยู่ที่ประมาณ 326,000 GWh หรือเติบโตเฉลี่ยประมาณปีละ 3% เพื่อรองรับความต้องการที่เพิ่มขึ้นนี้ แผน PDP เพิ่มกำลังการผลิตในระยะ 20 ปีอีก รวม 57,467 MW จากปัจจุบันที่ 37,612 MW ทั้งนี้ความเพียงพอ ราคาของการไฟฟ้าในอนาคตยังสอดคล้องกับแผนอนุรักษ์พลังงาน ซึ่งมีเป้าหมายเพื่อประหยัดและเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก ซึ่งตั้งเป้าการกระจายแหล่งเชื้อเพลิงเพื่อใช้พลังงานทดแทนที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากขึ้น

นอกจากนี้ยังมีกระจายแหล่งพลังงานให้มีความหลากหลายมากขึ้น โดยให้ก๊าซธรรมชาติมีสัดส่วนลดลงจากร้อยละ 64 เหลือร้อยละ 37 ของเชื้อเพลิงที่ใช้ทั้งหมด และเพิ่มสัดส่วนของถ่านหิน การนำเข้าไฟฟ้าพลังงานน้ำจากต่างประเทศ และพลังงานทดแทนแบบต่างๆ (ภัทรภรณ์, 2559) ซึ่งสอดคล้องกับแผนพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก (AEDP2558) ที่ตั้งเป้าในการใช้พลังงานทดแทน 20% โดยมีสถานภาพและเป้าหมายการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนแต่ละประเภทเชื้อเพลิง ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 สถานภาพและเป้าหมายการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทน

จากภาพที่ 1 จะเห็นว่าพลังงานทดแทนจากพลังงานแสงอาทิตย์ มีสัดส่วนมากที่สุดจากพลังงานทดแทนทั้งหมดเป็น 31% รองลงมาคือพลังงานชีวมวล 28% พลังงานน้ำขนาดใหญ่และพลังงานลมอย่างละ 15% เนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศที่มีศักยภาพด้านพลังงานแสงอาทิตย์ โดยค่ารังสีรวมของดวงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อปีของพื้นที่ทั่วประเทศ มีค่าเท่ากับ $18.0 \text{ MJ/m}^2 \cdot \text{day}$ ถือว่าเป็นค่าที่ค่อนข้างสูง เหมาะแก่การนำพลังงานนี้มาผลิตไฟฟ้าที่มีประสิทธิภาพ จากแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ.2558-2579 กระทรวงพลังงาน (AEDP2015) มีนโยบายส่งเสริมการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานทดแทน โดยพลังงานแสงอาทิตย์เป็นนโยบายที่ตั้งเป้าหมายในปี 2579 สูงถึง 6,000 MW (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2558) อีกทั้งพลังงานแสงอาทิตย์นี้ยังแบ่งออกได้เป็นเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนพื้นดินและแบบติดตั้งบนหลังคา ส่งผลให้ผู้ประกอบการในภาคอุตสาหกรรมและธุรกิจมีความสนใจลงทุนด้านพลังงานแสงอาทิตย์อย่างแพร่หลาย ในปัจจุบัน พลังงานแสงอาทิตย์มีกำลังการผลิตไฟฟ้า 2,464.57 MW (สำนักงานคณะกรรมการกำกับกิจการพลังงาน, 2559)

ประเทศไทยอยู่ในแถบอบอุ่นบริเวณเส้นศูนย์สูตร มีสภาพอากาศในแต่ละฤดูกาลไม่แตกต่างกันมากนัก ทำให้มีอาหารสมบูรณ์ให้คนกินได้หากินดำรงชีวิตได้อย่างสบายตลอดปี (สมาคมอนุรักษ์นก, ม.ป.ป.) โดยเฉพาะนกพิราบ เป็นนกที่พบได้โดยทั่วไป มีการปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อมโดยเฉพาะในเมืองได้ดีมาก นกพิราบไม่ชอบทำรังบนต้นไม้ เนื่องจากสืบสายพันธุ์มาจากนกที่อยู่ตามผาหิน จึงชอบทำรังบนพื้นแข็งที่เป็นช่องหรือซอก เช่น ใต้ชายคาบ้าน ใต้หลังคาหรือซอกอาคารต่างๆ (วิกิพีเดีย, 2560) ดังนั้นปัญหาที่พบได้บ่อยสำหรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคา มีหลากหลายปัญหา เช่น ปัญหานกพิราบเกาะบนแผงจนเกิดเงาบังหรือมูลของนกพิราบบน

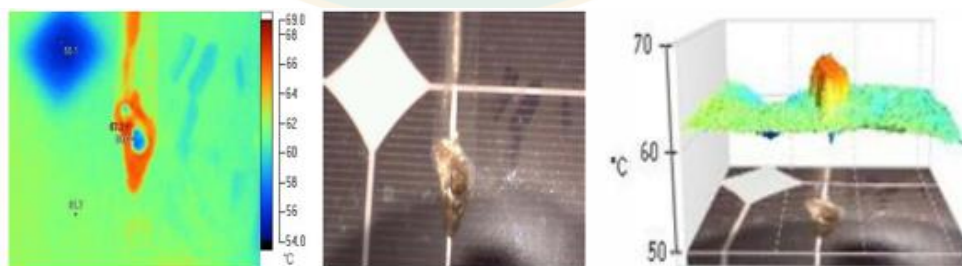
แผง ก่อให้เกิดความร้อนสะสมที่สูงเกินไปบนพื้นผิวแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เป็นตัวแปรที่ทำให้แผงเสียหายระยะยาว ลดประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในการผลิตไฟฟ้า (Ghazi et al, 2014) การทำรังใต้แผง ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 นกพิราบเกาะบนหลังคาและทำรังใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์

ที่มา: Professional pest management (no date: Online)

การที่นกพิราบทำรังนั้นทำให้บริเวณหลังคาที่ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เต็มไปด้วยเศษขยะและกิ่งไม้มากมายที่นกคาบมาทำรัง เกิดความสกปรกจากเศษขยะต่างๆ อีกทั้งการที่นกพิราบมีลำไส้สั้น ย่อยอาหารไว จึงปล่อยมูลบ่อย ทำให้บนหลังคาและแผงเซลล์แสงอาทิตย์เต็มไปด้วยมูลนก ส่งกลิ่นเหม็นไปทั่วบริเวณ อีกทั้งส่งผลเสียทางประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าโดยรวมให้ต่ำลง และมูลนกเหล่านี้เมื่ออยู่บนแผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็นเวลานาน หากไม่ได้รับการทำความสะอาดจุดนั้นจะกลายเป็นภาระทางไฟฟ้าให้แก่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ เมื่อแผงได้รับแสงแดด และเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้า จะเกิดเป็นความร้อนบนแผงสะสม ดังภาพที่ 3 ก่อให้เกิดอุบัติเหตุไฟไหม้ และอาจลุกลามจนกลายเป็นอุบัติเหตุใหญ่บนหลังคาได้



ภาพที่ 3 มูลนกบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ก่อให้เกิดความร้อนสะสมบนแผง

ที่มา: Al-Ammri et al. (2013)

ซึ่งอุบัติเหตุจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์นั้น แตกต่างจากอุบัติเหตุไฟไหม้ทั่วไป คือ พนักงานดับเพลิงไม่สามารถใช้น้ำในการดับไฟได้ เนื่องจากในขณะที่เกิดไฟไหม้นั้นแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งอยู่บนหลังคา ยังคงผลิตกระแสไฟฟ้าออกมาอย่างต่อเนื่อง ดังนั้นการใช้น้ำดับไฟอาจทำให้เกิดไฟฟ้าช็อตเจ้าหน้าที่ดับเพลิง จึงต้องใช้เจ้าหน้าที่ที่มีความรู้ความสามารถในด้านนี้โดยเฉพาะ

ด้วยเหตุนี้จึงเป็นที่มาของงานวิจัยการตรวจหาคาบหลังคาแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้การประมวลผลภาพ นำเสนอการจำแนกกับสิ่งไม่มีชีวิต (ใบไม้หรือมูลนก) เพื่อให้จัดการกับปัญหาได้อย่างเหมาะสม จากนั้นหาตำแหน่งวัตถุบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยวิธีทฤษฎีสามเหลี่ยม (Triangle theory) เพื่อบอกตำแหน่งวัตถุแปลกปลอม โดยการเทียบตำแหน่งวัตถุที่ตรวจพบกับกรอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์นั้นๆ ใช้คุณสมบัติของภาพที่เป็นรูปทรงสี่เหลี่ยมขนาดเดียวกัน ลักษณะการจัดเรียงภาพที่เป็นรูปแบบตาราง มีระยะห่างระหว่างแต่ละแผงคงที่ตามการออกแบบทางวิศวกรรม หลักการจำแนกวัตถุนี้สามารถประยุกต์ใช้กับงานด้านความปลอดภัยอื่นได้ เช่น การตรวจจับทารก ผู้สูงอายุ ซึ่งมีการเคลื่อนไหวตามช่วงเวลาเฉพาะตัว เพื่อแสดงสัญญาณเตือนเมื่อสิ่งมีชีวิตเหล่านี้มีการนิ่งเกินกว่าเวลาที่กำหนด และปรับใช้การหาตำแหน่งวัตถุใดๆ ที่อยู่บนโครงสร้างที่มีการเขียนแบบกำหนดขนาดที่แน่นอน มีจุดอ้างอิง ใช้หลักการคณิตศาสตร์หาตำแหน่งวัตถุ เมื่อทราบตำแหน่งของวัตถุจะสามารถดำเนินการสื่อให้หุ่นยนต์หรืออุปกรณ์ทำความสะอาดเข้าถึงวัตถุเป้าหมายได้อย่างถูกต้องและแม่นยำ เพื่อให้การผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคา ผลิตไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพและเสริมสร้างความปลอดภัยแก่ผู้ที่อาศัยอยู่ภายในตึก สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับโครงการการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคาได้จริง

วัตถุประสงค์

เพื่อออกแบบและพัฒนาวิธีการประมวลผลภาพสำหรับตำแหน่งนกเกาะบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคา

ขอบเขตของการวิจัย

1. ใช้โปรแกรม MATLAB เป็นซอฟต์แวร์หลักสำหรับหาวิธีการประมวลผลภาพสำหรับตำแหน่งนกเกาะบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคา
2. การประมวลผลภาพสามารถจำแนกกับวัตถุอื่นได้
3. วิเคราะห์ความถูกต้องแม่นยำของการประมวลผลภาพที่ใช้ได้

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้องค์ความรู้ใหม่ในวิธีการวิเคราะห์การทำงานของกรมผลภาพ
2. เพื่อเป็นการพัฒนาความสามารถของวิธีการระบุตำแหน่งบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์
3. เพื่อให้เจ้าหน้าที่หรือระบบนำข้อมูลที่ได้ไปตัดสินใจในการดำเนินการกับนกต่อไป



บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สำหรับทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในงานวิจัยนี้ ประกอบด้วย (1) ผลกระทบจากนกต่อประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าในโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ และ (2) โปรแกรมที่ใช้ในการพัฒนาการประมวลผลภาพของนก โดยมีเนื้อหาดังต่อไปนี้

การอพยพของนก (Migration of birds)

การอพยพย้ายถิ่นของนก คือการเคลื่อนย้ายซึ่งเกิดขึ้นเป็นประจำระหว่างพื้นที่ ซึ่งนกใช้เป็นแหล่งสร้างรังวางไข่ในฤดูผสมพันธุ์ กับพื้นที่ซึ่งนกใช้เป็นแหล่งหากินในช่วงนอกฤดูผสมพันธุ์ โดยมีสาเหตุสำคัญเพื่อหาพื้นที่ที่มีแหล่งอาหารสมบูรณ์และเหมาะสมในการสร้างรังวางไข่

ในประเทศไทยมีรายงานการพบนกอพยพทั้งสิ้น 415 ชนิด ซึ่งเป็นนกอพยพ 326 ชนิดและนกที่มีสถานภาพเป็นทั้งนกอพยพและนกประจำถิ่น 89 ชนิด สามารถแบ่งกลุ่มของนกอพยพได้ดังนี้ (วิลยา, 2548)

1. กลุ่มนกกบก (Terrestrial bird) เมื่ออากาศหนาว ดินแห้ง น้ำเป็นน้ำแข็ง ต้นพืชหยุดเจริญเติบโต ไม่ผลิดอกออกผล แมลงจะหลบพักซ่อนตัวอยู่ในหินหรือในแหล่งต่างๆ นกก็ต้องอพยพลงมาสู่พื้นที่ที่มีแหล่งอาหารสมบูรณ์ ได้แก่ นกกินเมล็ดพืช และนกกินแมลง เช่น นกจาบปีกอ่อน นกเด้าลม นกพงหญ้า นกแอ่นบ้าน
2. กลุ่มนกทะเล (Sea bird) เมื่ออากาศหนาว น้ำเป็นน้ำแข็งไม่สามารถจับปลาเป็นอาหารได้ก็ต้องอพยพเคลื่อนย้ายมาตามชายฝั่งที่อบอุ่นกว่า ได้แก่ พวคนกนางนวล
3. กลุ่มนกชายเลน (Shore bird) เมื่อน้ำเป็นน้ำแข็ง นกที่อาศัยในพื้นที่แหล่งน้ำก็ต้องอพยพไปหาแหล่งน้ำที่มีอาหารและที่หลบภัยทางตอนใต้ ซึ่งสามารถอยู่ได้อย่างปลอดภัยตลอดฤดูหนาว ได้แก่ นกทะเลขาแดง นกสติ้นท์ นกปากช่อ
4. กลุ่มนกลุยน้ำ (Wading bird) เช่นเดียวกันเมื่ออากาศหนาว นกที่อาศัยในพื้นที่แหล่งน้ำก็ต้องอพยพไปหาแหล่งน้ำที่มีอาหารและที่หลบภัยทางตอนใต้ ได้แก่ นกยาง นกกระสา นกอีลุ้ย
5. กลุ่มห่านป่าและนกเป็ดน้ำ (Waterfowl) ได้แก่ ห่านคอขาว เป็ดแดง เป็ดลาย ฯลฯ
6. กลุ่มนกล่าเหยื่อ เมื่อนกหรือสัตว์ที่เป็นเหยื่ออพยพลงมาทางใต้ นกล่าเหยื่อไม่สามารถหาอาหารกินได้ก็ต้องอพยพตามลงมาเช่นกัน ได้แก่ เหยี่ยวและนกอินทรีชนิดต่างๆ เช่น เหยี่ยวนกเขาพันธุ์จีน เหยี่ยวนกเขาพันธุ์ญี่ปุ่น ฯลฯ

แหล่งที่พบนกอพยพในประเทศไทย

1. ป่าดงดิบและป่าเขาสูง พุ่มหญ้าป่าโปร่งและป่าละเมาะทั่วประเทศ ได้แก่ กลุ่มนกบก เช่น นกเดินดง นกจับแมลง นกกระจ้อยและนกกระจิบ นกเต่าดิน นกเต่าลม นกพงหญ้า นกนางแอ่น นกอีเสือและเหยี่ยวชนิดต่างๆ เป็นต้น
2. ทะเลและชายฝั่งในทะเลอันดามันตามเกาะและชายฝั่งรวมทั้งในอ่าวไทย ได้แก่ นกนางนวล ชนิดต่างๆ
3. ป่าชายเลนตามชายฝั่งรอบอ่าวไทยและทะเลอันดามัน ได้แก่ นกหัวโต นกชายเลน และ นกอีโก้ย เป็นต้น
4. พื้นที่ชุ่มน้ำที่สำคัญของประเทศ เช่น หนองบึงคาย จังหวัดเชียงราย บึงบอระเพ็ด จังหวัดนครสวรรค์ พุ่มสามร้อยยอด จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ได้แก่ นกยาง นกกระสา เป็นต้น
5. แหล่งน้ำจืด เช่น ตามทะเลสาบ หนอง บึง อ่างเก็บน้ำขนาดใหญ่ เช่น บึงบอระเพ็ด จังหวัดนครสวรรค์ ห้วยจรเข้มาก ห้วยศาลา จังหวัดบุรีรัมย์ ทะเลสาบสงขลา จังหวัดสงขลา ทะเลน้อย จังหวัดพัทลุง เป็นต้น โดยจะมีพวกนกเป็ดน้ำชนิดต่างๆ ห่านป่า และนกกระเต็น เป็นต้น
6. พื้นที่เกษตรกรรมและแหล่งชุมชนเมือง ได้แก่ กลุ่มนกบก

นกพิราบ

1. ข้อมูลทั่วไปของนกพิราบ

นกพิราบ (อังกฤษ: Rock pigeon, Rock dove; ชื่อวิทยาศาสตร์: *Columba livia*) ดังภาพที่ 4 เป็นนกในวงศ์นกพิราบและนกเขา (Columbidae) โดยปกติคำว่า "นกพิราบ" จะหมายถึงนกพิราบเลี้ยง ส่วนนกพิราบนอกเหนือจากนี้จะเรียกว่า "นกพิราบป่า"



ภาพที่ 4 นกพิราบ

ที่มา: วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี (2560: ระบบออนไลน์)

นกพิราบป่า มีขนสีเทาอ่อน มีแถบสีดำสองแถบบนปีกแต่ละข้าง แต่ทั้งนกป่าและนกเลี้ยงนั้น มีความหลากหลายของสีและรูปแบบของขนเป็นอย่างมาก มีความแตกต่างระหว่างเพศเล็กน้อย นกชนิดนี้มักมีคู่ครองตัวเดียว มีลูกครั้งละสองตัว เพิ่มจำนวนได้อย่างรวดเร็ว ผสมพันธุ์ได้ตลอดทั้งปี โดยภายในหนึ่งปีอาจมีลูกได้ถึง 6 ครอบ ทำให้ประชากรของนกพิราบเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว

นกพิราบมักอาศัยในสิ่งแวดล้อมเปิดแถบพื้นที่เกษตรกรรมและในเมือง ทำรังวางไข่ตามหน้าผาและขอบหิน มีถิ่นกำเนิดในยุโรป แอฟริกาเหนือ และทางตะวันตกของเอเชีย และแพร่กระจายตามเมืองต่างๆ ทั่วโลก เพราะเป็นนกที่มีการปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อมโดยเฉพาะในเมืองได้ดีมาก ดังนั้นเมื่ออาศัยอยู่ในชุมชนเมือง จึงมีการปรับตัวจากการสร้างรังอยู่อาศัยชอกหน้าผาเป็นชอกหลังคา ระเบียงห้อง หรือแม้แต่ใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคา การที่นกพิราบทำรังนี้ นอกจากจะรบกวนผู้คนที่อยู่อาศัยแล้ว นกพิราบป่านั้นยังเป็นที่รวมของเชื้อโรคชนิดต่างๆ ที่ติดต่อมาสู่มนุษย์ได้ อาทิ โรคสมองอักเสบจากเชื้อรา, ปอดอักเสบ, ท้องเสีย, เครียด หรือแม้กระทั่งหมัดจากตัวนก มูลนกพิราบที่ หากนกพิราบถ่ายมูลบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ก็จะรบกวนการทำงานของระบบผลิตไฟฟ้า และลดประสิทธิภาพของระบบอีกด้วย

2. ผลกระทบจากนกพิราบ

นกพิราบ มีผลกระทบสำคัญต่อการเสื่อมสภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคา ด้วยการเหยียบย่ำหรือมูลของนกพิราบที่จะทำให้เกิดคราบสกปรกก่อให้เกิดการกัดกร่อนผิววัสดุกระจกแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เพราะมูลนกพิราบมีฤทธิ์เป็นกรดหรือมีสารเคมีที่มีผลต่อการเสื่อมสภาพของแผง มูลนกพิราบยังมีธาตุอาหารพืชเป็นส่วนประกอบ ซึ่งจะทำให้พืชต่างๆ เจริญเติบโตได้ เช่น พอสเฟตและไนเตรต หากมีการสะสมอยู่ในวัสดุก่อสร้างจะทำให้เกิดผลเสียหายตามมา ดังที่เมือง Karmakura พระพุทธรูปที่ทำจากสำริดขนาดใหญ่ และอนุสาวรีย์ Figure of place ซึ่งทำจากคอนกรีต ถูกทำให้เสื่อมสภาพด้วยมูลนกพิราบป่า Columba livia ซึ่งเป็นนกพิราบที่มีในประเทศไทยด้วย ทั้งนี้การถ่ายของนกพิราบ นอกจากเกิดร่องรอยสกปรกแล้วยังอาจชักนำให้จุลินทรีย์สาหร่าย รา และพืชชั้นสูงอื่นๆ เข้ามาเจริญในบริเวณนั้นได้

การเสื่อมสภาพของกระจกแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีสาเหตุมาจากนกพิราบสามารถสรุปได้ดังนี้

- มูลของนกพิราบมีผลกระทบเชิงลบในด้านการผลิตไฟฟ้า
- ขน มูลนกพิราบ และซากนกพิราบที่ตายแล้วสามารถปิดกั้นทางระบายน้ำฝนทำให้เกิดความเสี่ยงเสียหายตามมา
- รังและมูลของนกพิราบเป็นแหล่งเพาะพันธุ์เชื้อรา แบคทีเรีย และแมลง

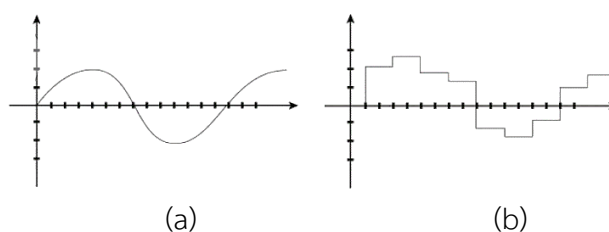
- มุลนกรพิราบมีฤทธิ์เป็นกรดทำให้เกิดการเสื่อมสภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้ ซึ่งจะเกิดปฏิกิริยากับความชื้นและสามารถจัดการวัสดุ อาจทำให้เกิดความเสียหายอย่างรุนแรงต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์

จากความรู้เรื่องการอพยพของนก อุปนิสัยของนกพิราบและผลกระทบจากนกพิราบ ทำให้ทราบว่าชนิดของนกที่จะมีผลต่อการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคานั้น โดยส่วนมากจะมาจากนกพิราบ ด้วยเหตุนี้ งานวิจัยชิ้นนี้จึงได้พัฒนาโปรแกรมเพื่อหาตำแหน่งของนกพิราบที่เกาะบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคา

ความรู้พื้นฐานสำหรับการประมวลผลภาพดิจิทัล

นิตยา สายสวาท และคณะ ได้นำเสนอความรู้พื้นฐานสำหรับการประมวลผลภาพดิจิทัล โดยให้ความหมายนิยามของ Digital image คือภาพที่เก็บอยู่ในรูปแบบของดิจิทัล ภาพที่มองเห็นด้วยสายตาทั่วไปนั้น เป็นภาพในลักษณะสามมิติ คือ มีมิติของความกว้าง ความยาว และความลึกหรือความสูง ส่วน ภาพถ่ายในโทรทัศน์หรือเครื่องคอมพิวเตอร์นั้นเป็นการแปลงภาพจากสามมิติมาเป็นสองมิติโดยการ แปลงสัญญาณไฟฟ้าในรูปแบบอนาล็อก เช่น กล้องวิดีโอ เช่นเซอร์ในกล้องจะทำการสแกนหรือวัด ผลรวมความเข้มที่จุดต่างๆ ไปตามแนวสแกนที่เรียกว่า Raster Scan การสแกนแบบนี้จะมีทิศทาง จากบนลงล่าง และจากซ้ายไปขวา ภาพที่ได้จากการสแกนนั้นจัดเป็นภาพต่อเนื่องด้วยความเร็วทั่วไป ที่ 24 ภาพต่อวินาที เช่นเดียวกับในเครื่องรับภาพ วิดีโอจะรับภาพที่ได้มาจากเครื่องถ่ายวิดีโอและ แสดงผลโดยเริ่มจากบนลงล่างและจากซ้ายไปขวาเช่นเดียวกัน

ภาพที่ได้มาจากระบบอนาล็อกเป็นภาพแบบต่อเนื่องที่ไม่สามารถนำมาใช้ในการประมวลผลได้ ต้องทำการแปลงให้เป็นภาพเชิงตัวเลขด้วยวิธีการ Digitization แปลงฟังก์ชันต่อเนื่อง $f(x,y)$ ให้เป็นฟังก์ชันไม่ต่อเนื่อง $g(x, y)$ เพื่อนำมาประมวลผลด้วยคอมพิวเตอร์ ดังแสดงในภาพที่ 5



ภาพที่ 5 (a) ภาพอนาล็อกแบบต่อเนื่อง (Continuous) และ(b) วิธีการ Digitization ภาพเชิงตัวเลข

ที่มา: นิตยา สายสวาท และคณะ (2551)

1. ความหมายของการประมวลผลภาพดิจิทัล

การประมวลผลภาพ หมายถึง การเลือกใช้ขั้นตอนหรือกรรมวิธีใดๆ มากระทำกับภาพ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงคุณภาพของภาพให้ได้ภาพใหม่ที่มีคุณสมบัติตามต้องการ เช่น ความคมชัด หรือการประหยัดพื้นที่ในการเก็บข้อมูล หรือใช้สำหรับการประมวลผลในระดับสูง เช่น การจดจำรูปร่างลักษณะได้อย่างแม่นยำ โดยทั่วไปแล้ววัตถุประสงค์ของการประมวลผลภาพคือ

Image Processing : Image in ---> Image out

วิธีนี้จะใช้กระบวนการประมวลผลภาพเพื่อให้ได้ภาพออกมา เช่น การตกแต่งภาพด้วยโปรแกรม Photoshop เป็นต้น

Image Analysis : Image in ---> Measurements out

วิธีการนี้จะใช้กระบวนการประมวลผลภาพเพื่อให้ได้ค่าการวัดออกมา เช่น การวัดขนาดในงานอุตสาหกรรม เป็นต้น

Image Understanding : Image in ---> High-level description out

วิธีการนี้จะใช้การประมวลผลภาพเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ออกมาเป็นความหมาย ตัวอย่างของ High-level description เช่น การจดจำตัวอักษร (Optical character recognition : OCR) เป็นต้น การประมวลผลภาพด้วยคอมพิวเตอร์ สามารถทำได้โดยนำภาพที่ได้มาจากกล้องหรือ Image Source ต่างๆ ซึ่งเป็นสัญญาณอนาล็อก แปลงเป็นสัญญาณดิจิทัลที่มีรหัสเชิงตัวเลข 0, 1 ใช้รูปแบบทางคณิตศาสตร์ช่วยในการคำนวณและการประมวลผลข้อมูลด้วยคอมพิวเตอร์ การประมวลผลภาพแบ่งได้เป็น 2 ระดับคือ

การประมวลผลภาพระดับต่ำ (Low level image processing)

เป็นการประมวลผลค่าแรกสุดก่อนนำไปสู่การประมวลผลระดับสูง ภาพที่ได้จะประกอบด้วยองค์ประกอบต่างๆ มากมายรวมถึงสิ่งที่ไม่ต้องการ เรียกว่าสัญญาณรบกวน (Noise) ซึ่งทำให้ได้ภาพที่มีคุณสมบัติไม่ดี ไม่สามารถนำไปใช้ประมวลผลได้ ดังนั้น การประมวลผลภาพในระดับต่ำ ซึ่งประกอบด้วย การกำจัดสัญญาณรบกวน การทำให้ภาพชัด (High pass filter) การหาขอบภาพ (Edge detection) การแปลง Binary image การแบ่งแยก รูปร่างวัตถุ (Image segmentation) เป็นต้น เพื่อหาค่าตัวแปรต่างๆ สำหรับอธิบายข้อมูลภาพและมี วัตถุประสงค์ที่จะนำตัวแปรเหล่านี้มาใช้ในการประมวลผลภาพในระดับสูงต่อไป

การประมวลผลภาพระดับสูง (High level image processing)

คือการทำให้คอมพิวเตอร์รู้จักและเข้าใจภาพ เช่น การจดจำใบหน้าคนหรือตัวอักษร การประมวลผลระดับต่ำจะใช้ค่าความสว่างหรือความเข้มของแสงโดยตรง แต่การประมวลผลภาพระดับสูง จะใช้ข้อมูลที่อยู่ในรูปแบบของสัญลักษณ์ ซึ่งแสดงถึงสิ่งต่างๆ ที่อยู่ในภาพ และการใช้ตัวแปรที่

ได้จากการประมวลผลภาพระดับต่ำมาอธิบายถึงสัญลักษณ์เหล่านี้ การประมวลผลภาพระดับสูงนั้น ส่วนใหญ่มักใช้ทฤษฎีช่วยในการทำงานหรือเป็นหัวใจของโปรแกรม เช่น Fuzzy logic, Neural network

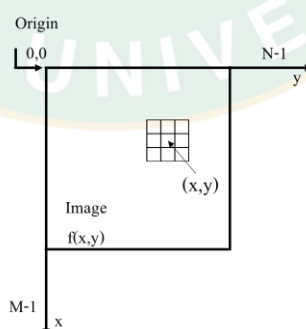
2. การนับจำนวนกลุ่มของพิกเซลที่อยู่ติดกัน

กลุ่มพิกเซลที่อยู่ติดกัน อาจเป็นภาพของตัวอักษรในเอกสาร หรืออาจเป็นภาพของสิ่งที่สนใจ ข้อมูลที่ต้องการทราบ เช่น จำนวนตัวอักษรในภาพเอกสารการ ต้องสามารถแยกพิกเซลออกเป็นกลุ่ม กลุ่มที่ติดกัน นิยามคล้ายกับนิยามของ Connected component จากทฤษฎีกราฟ คือ ทุกคู่ของ พิกเซลในกลุ่มเดียวกันจะต้องมีเส้นทางเชื่อมที่ประกอบไปด้วยพิกเซลอื่นๆ ในกลุ่มที่เรียงต่อกันโดย ต้องไม่มีเส้นทางระหว่างคู่พิกเซลต่างกลุ่ม ภาพที่ 6 เป็นการแจกหมายเลขกลุ่มให้กับแต่ละพิกเซล พิกเซลที่อยู่คนละกลุ่มจะได้หมายเลขต่างกัน

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

ภาพที่ 6 การแบ่งกลุ่มของพิกเซลที่อยู่ติดกัน

3. วิธีการอ่านข้อมูลพิกเซล (Pixel) ของภาพ



ภาพที่ 7 เมทริกซ์ขนาด 3×3 บริเวณข้างเคียงพิกเซล $f(x, y)$ ในภาพ

จากภาพที่ 7 จุดที่อยู่ในพิกัด Space คือ พิกเซลหรือ Picture element เป็นความสว่างหรือค่า Luminance (L) ของภาพ หากเป็นภาพขาวดำ ขนาด 8 บิต ค่า L จะเท่ากับ 28 หรือ 256 ระดับ

(ระดับ 0 ถึง 255 ($0 < L < 255$)) ค่าความสว่างหรือระดับความละเอียดของภาพ (Image resolution) หากพิกเซลเป็นภาพขาวดำ จะอ่านค่าภาพดิจิทัลในรูปของเมทริกซ์ 2 มิติ ขนาด $M \times N$ ได้ดังสมการที่ 1

$$f(x, y) = \begin{bmatrix} f(0,0) & f(1,0) & : & f(0,N-1) \\ f(1,0) & f(1,1) & : & f(1,N-1) \\ : & : & : & : \\ f(m-1,0) & f(m-1,1) & : & f(M-1,N-1) \end{bmatrix}_{M \times N} \quad \text{สมการที่ 1}$$

โดยที่ค่า $f(x, y)$ จะอยู่ในช่วง 0 ถึง 255 ตัวอย่างเช่น ค่าพิกเซล $f(x, y)$ เท่ากับ 10 คือ จุดพิกเซลมีความสว่างน้อยมากหรือค่อนข้างจะดำ ค่าพิกเซล 250 แสดงว่าจุดพิกเซลมีความสว่างมาก

4. ตัวบอกลักษณะเชิงพื้นที่

รูปร่างของกลุ่มพิกเซลที่อยู่ติดกันสามารถบอกได้ด้วยตัวบอกลักษณะเชิงพื้นที่ ตัวบอกลักษณะเชิงพื้นที่ ของกลุ่มพิกเซล R ตัวแรกที่จะกล่าวถึง คือ โมเมนต์ (Moment) ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 2

$$m_{k,l} = \sum_{(x,y) \in R} x^k y^l \quad \text{สมการที่ 2}$$

โดยที่ (x,y) คือ พิกัดของแต่ละพิกเซลในกลุ่ม R และค่า $k+j$ คือ ค่าอันดับของโมเมนต์ โมเมนต์ที่อันดับต่างๆ ให้ค่าจำนวนพิกเซลที่อยู่ในกลุ่ม ซึ่งถ้ากำหนดให้แต่ละพิกเซลมีพื้นที่หนึ่งหน่วย ค่า A ที่ได้ คือพื้นที่ของกลุ่มพิกเซล R

นอกจากใช้หาพื้นที่ ยังสามารถหาจุดศูนย์กลางมวลของกลุ่มพิกเซล R ได้จากการคำนวณโมเมนต์อันดับ 1 นั่นคือ พิกัดของศูนย์กลางมวลเป็น $(x_0, y_0) = (m_{0,1}, m_{1,0})$

นอกจากโมเมนต์ที่กล่าวถึง ยังมีค่าโมเมนต์รอบศูนย์กลาง (Central moment) ซึ่งให้ค่าที่ไม่ขึ้นกับตำแหน่งของกลุ่มพิกเซลโมเมนต์รอบศูนย์กลาง คำนวณได้ดังสมการที่ 3

$$\mu_{k,l} = \sum_{(x,y) \in R} (x-x_c)^k (y-y_c)^l \quad \text{สมการที่ 3}$$

ในความเป็นจริงโมเมนต์รอบศูนย์กลาง คือ โมเมนต์ธรรมดา เมื่อเลื่อนกลุ่มพิกเซล R ให้ศูนย์กลางมวลอยู่ที่จุดกำเนิด จะสามารถคำนวณแกนกลางของกลุ่มพิกเซล R ได้ โดยแกนกลางของกลุ่มพิกเซลนี้ คือแกนกลางที่ให้ค่าโมเมนต์อินเนอเซีย (Moment of inertia) ต่ำสุด แกนกลางจะวางตัวตามทางยาวของกลุ่มพิกเซลและผ่านจุดศูนย์กลางมวลของกลุ่มพิกเซล โดยทำมุมกับแกน X เท่ากับสมการที่ 4

$$\frac{1}{2} a \tan 2(\mu_{1,1}, \mu_{2,0} - \mu_{0,2}) \quad \text{สมการที่ 4}$$

สามารถใช้ตัวบอกลักษณะเชิงพื้นที่ในการตรวจสอบอย่างคร่าวๆ ว่าภาพที่ได้รับนั้นมีโอกาสเป็นภาพของวัตถุต้นแบบหรือไม่ โดยการเปรียบเทียบตัวบอกลักษณะเชิงพื้นที่ของภาพที่ได้ กับภาพของวัตถุต้นแบบ ทั้งนี้ภาพที่ต้องการตรวจสอบนั้น ต้องถูกถ่ายในสภาวะเดียวกันกับภาพของวัตถุต้นแบบหรืออาจใช้ภาพต้นแบบในการเปรียบเทียบโดยตรงกับภาพที่ต้องการตรวจสอบโดยไม่ต้องคำนวณตัวบอกลักษณะก่อน เรียกว่าวิธีการนี้ว่าการจับคู่กับแม่แบบ (Template matching)

การกรองข้อมูลภาพ (Image filtering) คือการนำภาพไปผ่านตัวกรองสัญญาณเพื่อให้ได้ภาพผลลัพธ์ออกมา โดยภาพจะมีคุณสมบัติ แตกต่างจากภาพเริ่มต้น วัตถุประสงค์ของการกรองข้อมูลภาพคือการเน้น (Enhance) หรือลดทอน (Attenuate) คุณสมบัติบางประการของภาพเพื่อให้ได้ภาพที่มีคุณสมบัติตามต้องการ ดังแสดงในภาพที่ 8



ภาพที่ 8 การกรองข้อมูลภาพ

ที่มา: นิตยา สายสวาท และคณะ (2551)

ข้อมูลของภาพหนึ่งอาจเป็นสัญญาณได้ด้วยการกำหนดให้ระดับความเข้มแสงของแต่ละจุด ที่เรียกว่า ขนาด (Amplitude) ของสัญญาณ ณ ตำแหน่งนั้น ข้อแตกต่างระหว่างสัญญาณไฟฟ้ากับภาพคือ

1. ขนาดของสัญญาณไฟฟ้าคือค่าแรงดันหรือกระแส แต่ขนาดของภาพคือระดับความเข้มแสงของจุดภาพ
2. การเปลี่ยนแปลงของสัญญาณไฟฟ้า เป็นการเปลี่ยนแปลงเทียบกับเวลา ความถี่ของสัญญาณไฟฟ้าถูกกำหนดโดยอัตราการเปลี่ยนแปลงของขนาดสัญญาณในช่วงเวลาหนึ่ง แต่การเปลี่ยนแปลงของข้อมูลภาพเป็นการเปลี่ยนแปลงเทียบกับตำแหน่งของจุดภาพ ความถี่ของการเปลี่ยนแปลงขึ้นอยู่กับอัตราการเปลี่ยนระดับความเข้มแสงของจุดที่อยู่ถัดไป

3. สัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณมิติเดียว (Amplitude Vs time) แต่ภาพเป็นสัญญาณสองมิติ (Intensity vs X&Y) การออกแบบตัวกรองจึงเป็นการกำหนดว่าต้องการกำจัดสัญญาณความถี่ใดออกไปหรือต้องการเลือกสัญญาณความถี่ใดบ้าง

การกรองโดยการเฉลี่ยจากหลายภาพ หากชุดของภาพคุณภาพต่ำหลายๆ ภาพซึ่งถ่ายจากมุมกล้องเดียวกัน สามารถสร้างภาพใหม่ ที่มีคุณภาพสูงกว่าจากชุดภาพนั้นได้ หากสัญญาณรบกวนเกิดขึ้นแบบสุ่ม ภาพที่เก็บแต่ละครั้งย่อมมี ลักษณะที่แตกต่างกัน หากความเข้มแสงของจุดในภาพหนึ่งถูกรบกวนและสามารถนำข้อมูลความเข้ม แสงของจุดจากภาพอื่น ณ ตำแหน่งเดียวกันมาแทนแต่ละจุดในภาพ ผลลัพธ์ที่ได้จะเกิดจากการเฉลี่ย จากจุดที่ตรงกันของภาพต่างๆ ในชุดของภาพ

การกรองโดยใช้หน้าต่าง การกรองข้อมูลภาพวิธีนี้จะใช้หน้าต่างในการกำหนดขอบเขตของการพิจารณาเพื่อหาระดับ ความเข้มแสงจุดต่างๆ ในภาพผลลัพธ์ ความเข้มแสงของจุดที่อยู่รอบๆ จุดกึ่งกลางของหน้าต่างจะถูก นำมาหาค่าเฉลี่ย ค่าเฉลี่ยที่ได้คือค่าความเข้มแสงของจุดในภาพผลลัพธ์ หน้าต่างจะถูกเลื่อนไปยัง ตำแหน่งต่างๆ ในภาพจนครบทุกจุด



ภาพที่ 9 การกรองโดยใช้หน้าต่าง

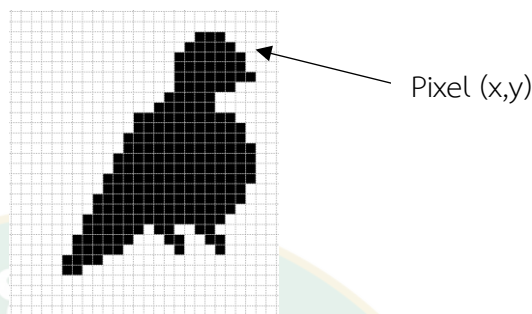
ที่มา: นิตยา สายสวาท และคณะ (2551)

จากภาพที่ 9 มีหน้าต่างขนาด 3x3 ครอบคลุมที่มุมบนด้านซ้ายของภาพ ความเข้มแสง ณ จุดกึ่งกลางของหน้าต่างมีค่าเท่ากับ 1 ความเข้มแสงของจุดในภาพผลลัพธ์ ณ ตำแหน่งที่ตรงกับจุดกึ่งกลางของหน้าต่างที่ครอบคลุมบนภาพเริ่มต้น (จุด A) สามารถคำนวณได้จากค่าเฉลี่ยความเข้มแสงของทุกจุดในหน้าต่าง

5. การแทนภาพด้วยข้อมูลแบบดิจิทัล

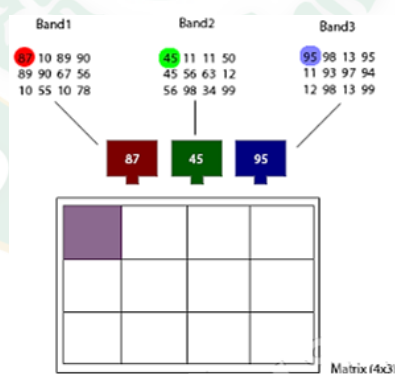
ข้อมูลภาพแบบดิจิทัลเป็นภาพที่ถูกตัดแปลงมาจากภาพแบบต่อเนื่องให้อยู่ในรูปตัวเลขด้วยวิธีการ Digitization โดยภาพอนาล็อกจะถูกแบ่งให้เป็นพื้นที่สี่เหลี่ยมเล็กๆ ที่เรียกว่าพิกเซล (Pixel) ใช้ (x,y) ในการระบุตำแหน่งของพิกเซล สามารถอธิบายได้ด้วยเมทริกซ์ (M×N) และให้จุดต่างๆ ที่อยู่

ในเมทริกซ์เป็นจุดที่พิกัด (x,y) ใดๆ เป็นส่วนประกอบของภาพ โดยมุมล่างซ้ายจะเป็นจุดกำเนิดภาพ และมุมบนซ้ายเป็นจุดกำเนิดพิกเซล ซึ่งเป็นการประมวลผลภาพและกราฟฟิกของคอมพิวเตอร์ ดังแสดงในภาพที่ 10



ภาพที่ 10 การแทนภาพด้วยข้อมูลแบบดิจิทัล

ค่าของพิกเซล พิกัด (x, y) ณ จุดใดๆ แสดงด้วย ค่าความเข้มแสง แบ่งได้หลายระดับ ตัวอย่างเช่น หากแบ่ง 2 ระดับ คือ 0 กับ 1 จากภาพที่ 11 จุดต่างๆ ที่แสดงคือ พิกเซล หรือ Picture Element เป็นค่าความสว่าง หรือ Luminance ของภาพ หากเป็นภาพขาวดำ ขนาด 8 บิต จะมีค่า L เท่ากับ 28 หรือเท่ากับ 256 คือตั้งแต่ระดับ 0 จนถึง 255 บางครั้งค่าความสว่างอาจหมายถึงระดับความละเอียดของภาพ (Image resolution)



ภาพที่ 11 การแสดงค่าจุดพิกเซล

ที่มา: นิตยา สายสวาท และคณะ (2551)

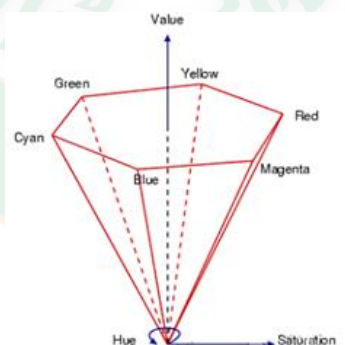
จากภาพที่ 11 ช่วยทำให้เข้าใจการแสดงค่าพิกเซลในเมทริกซ์มากขึ้น เริ่มต้นด้วยพิกัด $f(x,y) = f(0,0)$ ค่าของพิกเซลที่ได้จะเป็นการผสมสีกันระหว่างค่าของแม่สีทั้งสาม ได้แก่ สีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน

6. ภาพนิ่ง

ภาพที่ใช้ในการประมวลผลของคอมพิวเตอร์ในระบบอาร์จีบี จะประกอบด้วยความเข้มแสงสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน ภาพนิ่งคือภาพที่มีอยู่ภาพเดียว (ภาพเคลื่อนไหวจะประกอบด้วยภาพนิ่งหลายๆ ภาพ) มีหลายรูปแบบ เช่น .bmp หรือ .jpg โดย .bmp เป็นที่นิยมเพราะไม่ต้องถอดรหัสภาพ ส่วน .jpg เป็นภาพที่ถูกบีบอัดเพื่อให้ขนาดของภาพเล็กลงกว่าภาพต้นฉบับ ก่อนการใช้งานจึงต้องคลายข้อมูลภาพออกก่อนนำไปใช้งานในระบบประมวลผล

7. มาตรฐานของสี

มาตรฐานของสีที่ใช้อยู่ในปัจจุบันมีหลายระบบด้วยกัน แต่โดยทั่วไปแล้วทุกมาตรฐานจะมีแนวคิดเดียวกัน คือ การแทนจุดสีด้วยจุดที่อยู่ในสเปซ 3 มิติ โดยจะมีการอ้างอิงสำหรับจุดสีนั้นในสเปซ ซึ่งแต่ละแกนจะมีอิสระต่อกันตัวอย่างเช่น ในระบบอาร์จีบีจะมีแกนสี คือ แกนสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน ในระบบ HLS จะมีแกนเป็นค่าสี (Hue) ความสว่าง (Lightness) และความบริสุทธิ์ของสี (Saturation) ดังภาพที่ 12

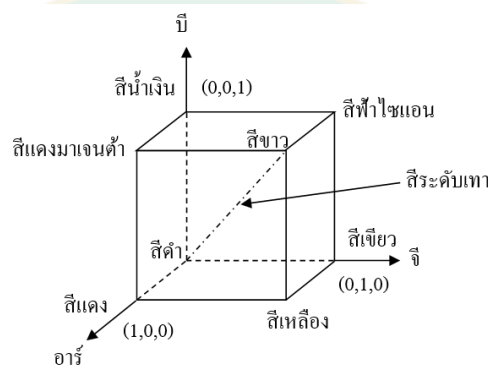


ภาพที่ 12 การแสดงมาตรฐานของสี

ที่มา: นิตยา สายสวาท และคณะ (2551)

8. ระบบสี RGB

ระบบสีอาร์จีบี เป็นระบบสีที่เกิดจากการรวมกันของแสงสีแดง เขียว และน้ำเงิน โดยปกติจะใช้ในจอภาพแบบ CRT และเนื่องจากระบบสีอาร์จีบีเป็นระบบสีของแสง ซึ่งทำให้ภาพที่ได้ออกมานั้น มีความสมจริงและยังดูสวยงาม โมเดลสีหรือ Color Space ประกอบด้วย 3 แม่สีหลัก ได้แก่ สีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน ถ้านำแต่ละสีมาพล็อตกราฟในระดับพิกัด Color Space โดยแต่ละสีมีค่า 0 ถึง 1 (0 แสดงถึงค่าความมืดและ 1 แสดงถึงค่าความสว่าง) จะได้ภาพการผสมสีทางแสงหรือการบวกแม่สีเข้าด้วยกัน (Additive primary color) (ปพน พันธุมาศ, 2556) ดังภาพที่ 13



ภาพที่ 13 สีผสมทางแสงหรือกระบวนการบวกแม่สีของระบบสีอาร์จีบี

ที่มา: ปพน พันธุมาศ (2556)

9. การแปลงภาพสีให้เป็นภาพ ขาว-ดำ (Thresholding)

เป็นกระบวนการแปลงภาพสีให้มีการแสดงผล 2 ระดับ คือ ขาวและดำ โดยจะแปลงข้อมูลภาพที่เป็นภาพไบนารี (Binary image) มีกระบวนการแปลงภาพที่มีความเข้มหลายระดับ (Multilevel image) ให้เป็นภาพที่มีความเข้มเพียง 2 ระดับ หรือ 1 บิต (bit) คือ 0 และ 1 โดย 0 แทนด้วยจุดที่มีภาพสีขาว และ 1 แทนด้วยจุดที่มีภาพสีดำ

Thresholding technique คือการพิจารณาจุดพิกเซลในภาพว่าจุดใดควรจะเป็นจุดขาวหรือจุดใดควรจะเป็นจุดที่มีค่าเท่ากับ 1 (จุดดำ) โดยทำการเปรียบเทียบค่าของแต่ละพิกเซล ($f(x,y)$) กับค่าคงที่ที่เรียกว่า Threshold (Threshold value) เทคนิคนี้นิยมใช้มากในกรณีที่มีค่าความแตกต่างระหว่างวัตถุ (Object) และพื้นหลัง (Background) ค่าพิกเซลในภาพที่มีค่าน้อยกว่าค่า Threshold จะถูกกำหนดเป็น 1 (จุดดำ) และถ้าค่าของพิกเซลใดๆ ในภาพมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับค่า Threshold จะถูกกำหนดให้เป็น 0 (จุดขาว)

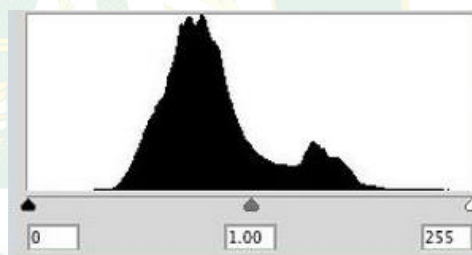
ในการทำภาพไบนารีโดยการทำให้ Thresholding ให้ได้ภาพดีและคมชัด ต้องเลือกค่าที่ถูกต้อง และเหมาะสม หากมากหรือน้อยจนเกินไป ภาพที่ได้จะขาดความคมชัด รายละเอียดขาดหายไป อาจมืดหรือสว่างเกินไปหรืออาจมีสิ่งรบกวน (Noise) ทำให้ได้ภาพที่ไม่ชัดเจน

10. ฮิสโทแกรม (Histogram)

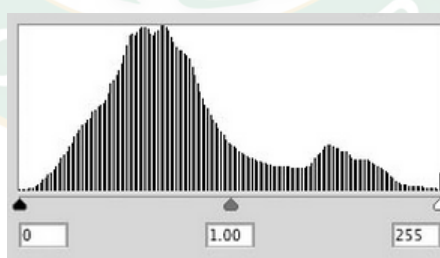
มาตรวัดที่ใช้ในการบอกการกระจายของค่าระดับเทาในภาพทั้งภาพ โดยการนำภาพสี (RGB) ที่มีอยู่มาทำการแปลงค่าของสีภาพเป็นระดับเทา เพื่อนำมาทำการวิเคราะห์ ซึ่งการวิเคราะห์จาก ฮิสโทแกรม นี้จะได้ผลออกมาเป็นกราฟแท่งที่บอกความสว่างในแต่ละช่วงของภาพ เช่น ภาพที่ 14 (ก) จะเป็นภาพ RGB ปกติ ภาพที่ 14 (ข) เป็นฮิสโทแกรม และภาพที่ 14 (ค) เป็นกราฟฮิสโทแกรม ซึ่งเป็นลักษณะของภาพที่มีคอนทราสต์ (Contrast) ต่ำ และมีปริมาณพิกเซลจำนวนมากปรากฏอยู่ช่วง โทนกลาง (Midtone) เท่านั้น ทำให้ภาพไม่มีสีสั่น เมื่อนำภาพที่มีคอนทราสต์ต่ำ ไปแก้ไขในโปรแกรมโฟโตช็อป โดยใช้อุปกรณ์ Level หรือ Curve ในการยืดขยายฮิสโทแกรมให้ครอบคลุมโทนภาพทั้ง Highlights และ Shadows ผลที่ได้ภาพดูมีคอนทราสต์และสีสั่นที่ดีขึ้น (APPDISQUS, 2013: Online)



(ก)



(ข)



(ค)

ภาพที่ 14 (ก) ภาพ RGB ปกติ และ (ข) ภาพฮิสโทแกรม และ (ค) กราฟฮิสโทแกรม

ที่มา: APPDISQUS (2013: Online)

11. การหาศูนย์กลางของเป้าหมาย

การหาพื้นที่จะต้องทำให้วัตถุเป็นสีขาวและพื้นหลังเป็นสีดำ แล้วกำหนดวัตถุสีขาวให้เป็น $B(i, j)$ หรือ $f(i, j) = 1$ ดังแสดงในสมการที่ 5 เป็นการนับจุดขาวทั้งหมด

$$A = \sum_{t=0}^{N-1} \sum_{t=0}^{M-1} B[i, j] \quad \text{สมการที่ 5}$$

เมื่อ A คือ ขนาดพื้นที่ของภาพ

$B(i, j)$ คือ วัตถุสีขาว

M คือ จำนวนของจุดวัตถุสีขาวของภาพนับตามแกน x

N คือ จำนวนของจุดวัตถุสีขาวของภาพนับตามแกน y

ดัชนีตามแกน y แทนแถว โดย $i=0$ คือแถวบนสุด และ $i=N - 1$ เป็นแถวล่างสุด และ เป็นดัชนีตามแกน X แทนคอลัมน์ โดน $j=0$ เป็นคอลัมน์ซ้ายสุด และ $j=M - 1$ เป็นคอลัมน์ขวาสุด ดังภาพที่ 15



ภาพที่ 15 แสดงการกำหนดวัตถุเป็นสีขาวและพื้นหลังเป็นสีดำ

ที่มา: นิตยา สายสวาท และคณะ (2551)

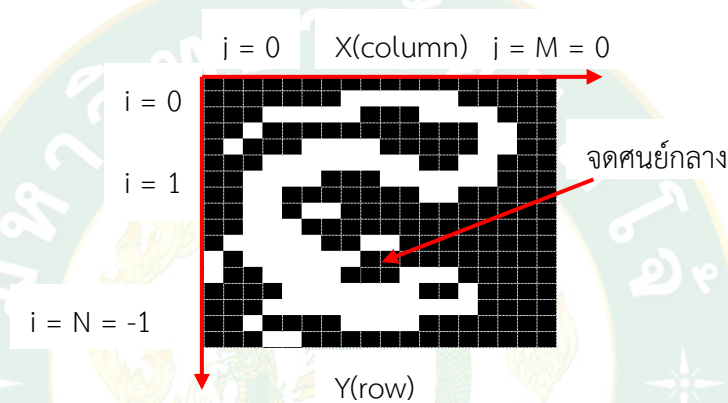
ตำแหน่งศูนย์กลางมวล (Center of gravity) ในการหาศูนย์กลางของวัตถุนี้ใช้อาศัยวิธีการหาจุดศูนย์กลางของภาพตามแกน x และแกน y ตำแหน่งของรูปทรงแต่ละชิ้นคือตำแหน่งของจุดศูนย์กลาง (Centroid) เทียบกับแกนทั้งสองของระบบ พิกัดฉาก แสดงได้ดังภาพที่ 16 สมการที่ 6 และ 7

$$\bar{x} = \frac{\sum_{t=0}^{N-1} \sum_{t=0}^{M-1} B[i, j]}{A} \quad \text{สมการที่ 6}$$

$$\bar{y} = \frac{\sum_{t=0}^{N-1} \sum_{t=0}^{M-1} B[i, j]}{A}$$

สมการที่ 7

- เมื่อ x คือ จุดศูนย์กลางของภาพตามแกน x
 y คือ จุดศูนย์กลางของภาพตามแกน y
 $iB[i, j]$ คือ จำนวนของจุดวัตถุสีขาวของภาพนับตามแกน x
 $jB[i, j]$ คือ จำนวนของจุดวัตถุสีขาวของภาพนับตามแกน y
 A คือ ขนาดพื้นที่ของภาพ

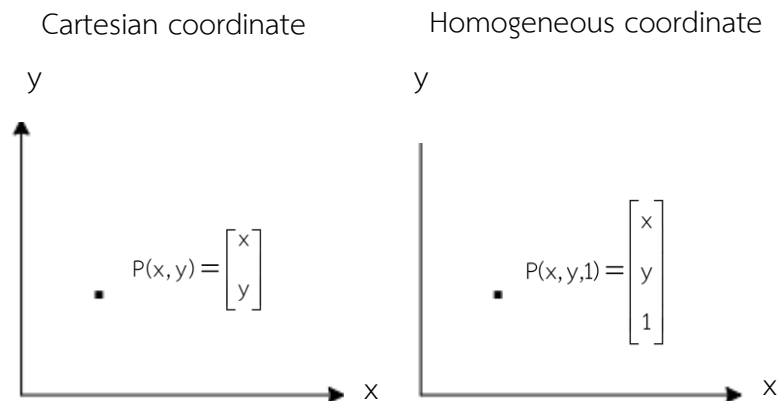


ภาพที่ 16 แสดงการหาจุดศูนย์กลาง

ที่มา: นิตยา สายสวาท และคณะ (2551)

12. Homogeneous Coordinate

การอ้างอิงโคออดิเนตที่ผ่านมาจะมีลักษณะเป็น 2 ตำแหน่ง คือ x และ y ซึ่งเรียกว่า Cartesian Coordinate ข้อเสียของการใช้โคออดิเนตแบบนี้คือ เมื่อมีการแปลงภาพหลายๆ อย่างเข้าด้วยกัน จะทำให้ผลลัพธ์ของเมทริกซ์ของภาพอยู่ในรูปของการบวกและการคูณกันของเมทริกซ์ ดังนั้น เพื่อให้ผลลัพธ์ของการแปลงภาพอยู่ในรูปของการคูณกันของเมทริกซ์ทั้งหมด ซึ่งทำให้ง่ายต่อการคำนวณ จึงกำหนดให้มีโคออดิเนตแบบ Homogeneous ซึ่งจะมีลักษณะดังภาพที่ 17

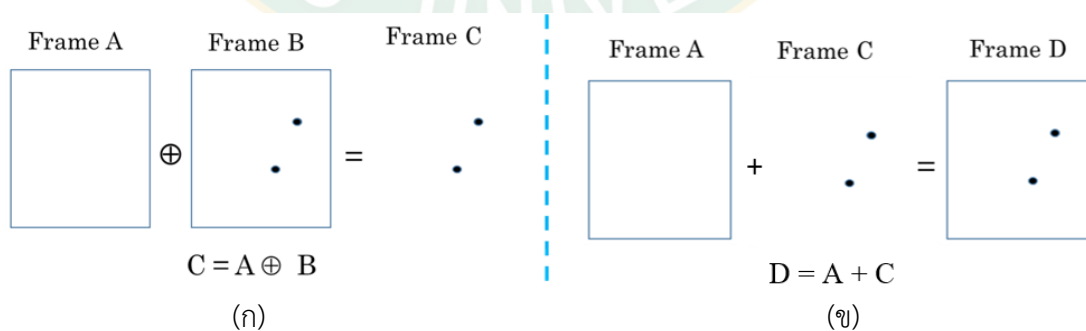


ภาพที่ 17 การหาจุด Coordinate แบบ Cartesian coordinate และ Homogeneous Coordinate

ที่มา: นิตยา สายสวาท และคณะ (2551)

การหาสิ่งแปลกปลอมที่เกิดขึ้นบนวัตถุต้นแบบ Model Exclusive OR, OR

การหาสิ่งแปลกปลอมที่เกิดขึ้นบนวัตถุต้นแบบด้วยความสัมพันธ์ระหว่าง Exclusive OR และ OR เป็นการลบภาพในตำแหน่งเดียวกันระหว่างภาพต้นแบบกับภาพเปรียบเทียบออก แสดงผลเป็นพิกเซลที่แตกต่างกัน การลบภาพเป็นเทคนิคที่ใช้กันอย่างแพร่หลายสำหรับการตรวจหาการเปลี่ยนแปลงระหว่างสองภาพ

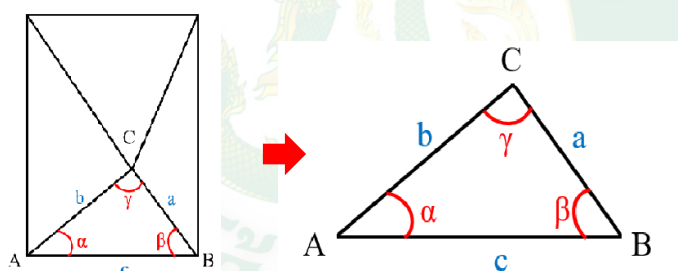


ภาพที่ 18 ความแตกต่างของพิกเซลที่เกิดขึ้นบนภาพ (ก) Exclusive OR การตัดส่วนที่ซ้ำกันของภาพ และ (ข) OR การนำขอบภาพมาซ้อนทับ

ภาพที่ 18 (ก) กำหนดให้ Frame A เป็นภาพต้นแบบ Frame B เป็นภาพเปรียบเทียบ เมื่อใช้ความสัมพันธ์ของ Exclusive OR ระหว่างสองภาพ คำสั่งจะทำการลบภาพส่วนที่เหมือนกันออก แสดงผลเป็น Frame C ที่เกิดพิกเซลที่แตกต่างกันระหว่างสองภาพ ภาพที่ 18 (ข) เป็นการใช้ความสัมพันธ์ของ OR โดยการนำภาพต้นแบบ (Frame A) ซ้อนทับภาพของสิ่งแปลกปลอมที่ตรวจพบ (Frame C) ผลลัพธ์คือ Frame D เป็นภาพใหม่ซึ่งมีความคล้ายกับภาพต้นแบบ

การหาตำแหน่งวัตถุบนพื้นที่สี่เหลี่ยมด้วยทฤษฎีสามเหลี่ยม

การหาตำแหน่งวัตถุบนรูปสี่เหลี่ยมใดๆ สามารถใช้ความสัมพันธ์ระหว่างมุมภายในรูปสามเหลี่ยมจากรูปสี่เหลี่ยมได้ เมื่อต้องการทราบตำแหน่งของวัตถุใดๆ ให้ทำการสร้างรูปสี่เหลี่ยมคอรอบวัตถุนั้นๆ ทำการลากเส้นตรงจากวัตถุนั้นไปยังมุมทั้งสี่ของรูปสี่เหลี่ยม จะเกิดเป็นรูปสามเหลี่ยมชั้น 4 รูป ดังแสดงในภาพที่ 19 จากนั้นใช้กฎของไซน์และโคไซน์จากทฤษฎีบทพีทาโกรัสในการบอกตำแหน่งของวัตถุ



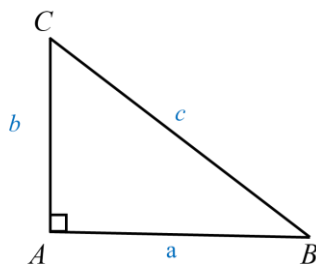
ภาพที่ 19 การสร้างเส้นตรงจากวัตถุที่ตรวจพบไปยังมุมของรูปสี่เหลี่ยม

ทฤษฎีบทพีทาโกรัส

ทฤษฎีบทพีทาโกรัส (Pythagorean theorem) (วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี, 2560) รูปสามเหลี่ยมมุมฉากใดๆ กำลังสองของความยาวของด้านตรงข้ามมุมฉาก จะเท่ากับผลรวมของกำลังสองของความยาวของทั้งสองด้านที่เหลือ ถ้าด้านตรงข้ามมุมฉากยาว c หน่วย และด้านประกอบมุมฉากยาว a และ b หน่วย ดังแสดงในภาพที่ 20 และสมการที่ 8

$$a^2 + b^2 = c^2$$

สมการที่ 8



ภาพที่ 20 สามเหลี่ยมมุมฉาก

ที่มา: วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี (2560: ระบบออนไลน์)

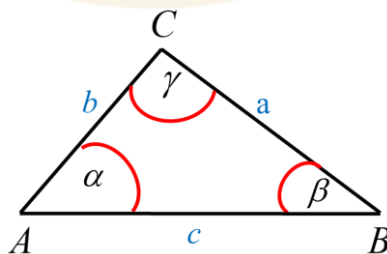
ฟังก์ชันตรีโกณมิติผกผันสามารถใช้คำนวณมุมภายในของรูปสามเหลี่ยม เมื่อทราบความยาวของด้านสองด้านใดๆ สามารถหาความยาวด้านที่เหลือได้ดังแสดงในสมการที่ 9-11 จากกฎของไซน์ (Law of sine) หรือกฎโคไซน์ (Sine rule) ระบุไว้ว่าอัตราส่วนของความยาวของด้าน a ที่สมนัยกับมุม α (มุมตรงข้าม) จะเท่ากับอัตราส่วนของความยาวของด้าน b ที่สมนัยกับมุม β ดังแสดงในสมการที่ 12 และตำแหน่งของมุมแสดงดังภาพที่ 21

$$a^2 = b^2 + c^2 - 2bc \cos(\alpha) \quad \text{สมการที่ 9}$$

$$b^2 = a^2 + c^2 - 2ac \cos(\beta) \quad \text{สมการที่ 10}$$

$$c^2 = a^2 + b^2 - 2ab \cos(\gamma) \quad \text{สมการที่ 11}$$

$$\frac{a}{\sin\alpha} = \frac{b}{\sin\beta} = \frac{c}{\sin\gamma} \quad \text{สมการที่ 12}$$

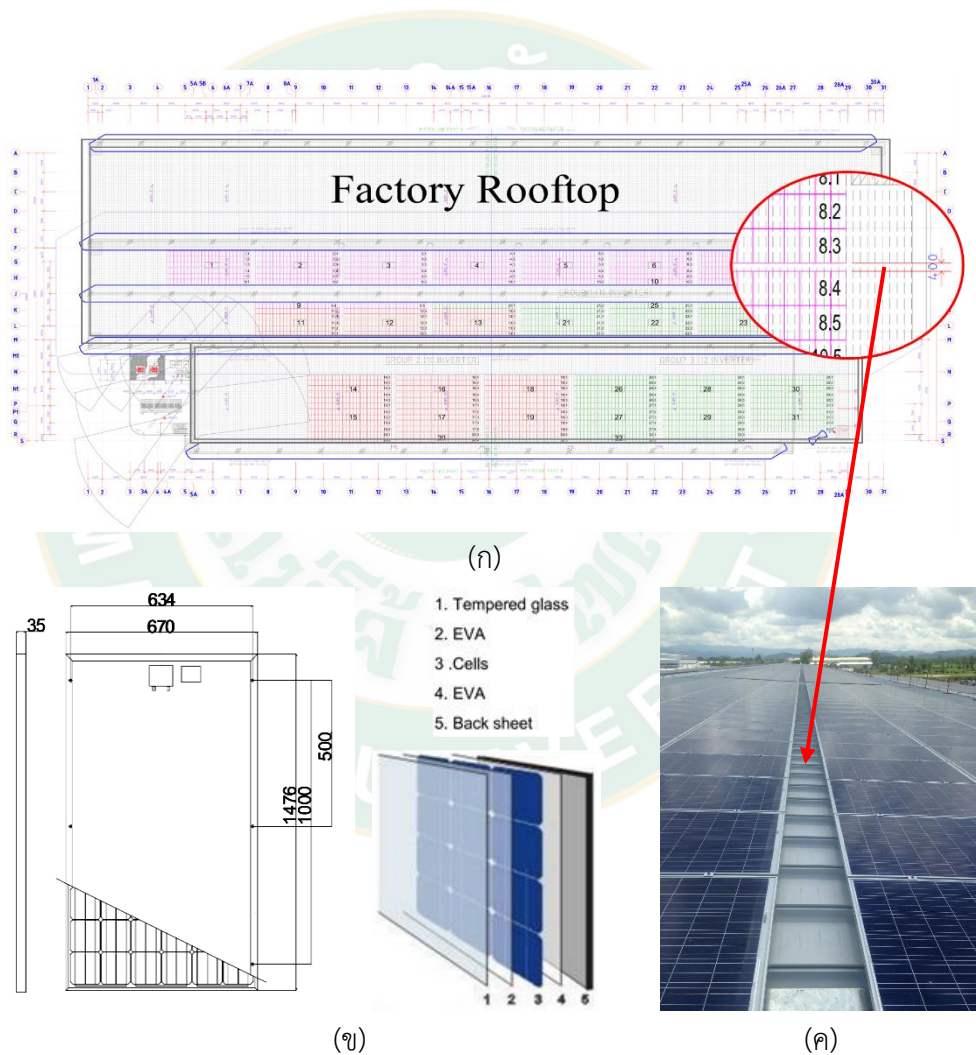


ภาพที่ 21 รูปสามเหลี่ยมที่มีด้าน a, b, c และมีมุม α, β, γ ตามลำดับ

ที่มา: วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี (2560: ระบบออนไลน์)

การออกแบบโรงไฟฟ้าและลักษณะแผงเซลล์แสงอาทิตย์

การออกแบบโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ 1 ระบบ มีความจำเป็นต้องคำนวณหาจำนวนอุปกรณ์ต่างๆ ที่จะติดตั้งในโรงไฟฟ้าให้พอดีกับขนาดของระบบที่ต้องการ เช่น จำนวนแผงเซลล์แสงอาทิตย์, อินเวอร์เตอร์ รวมถึงสายไฟที่ใช้ในโรงไฟฟ้าต้องเป็นไปตามหลักวิศวกรรม แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ในระบบเดียวกันจำเป็นต้องใช้แผงรุ่นเดียวกัน เนื่องจากแผงแต่ละรุ่นจะมีโครงสร้างภายในทางไฟฟ้าแตกต่างกัน หากนำมาต่อในระบบเดียวกันจะส่งผลเสียต่อการผลิตไฟฟ้า



ภาพที่ 22 (ก) ภาพรวมระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคา, (ข) โครงสร้างแผง และ (ค) แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคา

ที่มา: Kunyanat et al. (2018)

ภาพที่ 22 (ก) เป็นรูปแบบการออกแบบการจัดเรียงแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคา จะเห็นว่าการจัดเรียงแผงเซลล์แสงอาทิตย์อย่างเป็นระเบียบติดต่อกันเรียงเป็นตารางสี่เหลี่ยม ตามขนาดและลักษณะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ มีระยะห่างระหว่างแต่ละแผงเป็นระยะเท่ากันทุกแผง นอกจากนี้ยังมีระยะห่างระหว่างแผงแต่ละกลุ่มที่เท่ากันด้วย จากภาพที่ 22 (ข) แสดงถึงขนาดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และส่วนประกอบในแต่ละชั้นของแผง ประกอบด้วย 1) ชั้นบนสุดคือกระจกใส มีหน้าที่ป้องกันเศษหิน กรวด ฝุ่นละออง ฯลฯ ที่จะส่งผลกระทบต่อเซลล์ด้านใน 2) ชั้น EVA (Ethylene Vinyl Acetate) Film (เยวาลักษณ์ และอรัย, 2556) มีลักษณะเป็นฟิล์มบางๆ มีความยืดหยุ่นสูง ทำหน้าที่เพิ่มความแข็งแรงและป้องกันความชื้นไม่ให้เข้าเซลล์ 3) ชั้นเซลล์แสงอาทิตย์ เป็นชั้นที่ประกอบด้วยเซลล์แสงอาทิตย์หลายๆ เซลล์ ต่อกันแบบอนุกรม 4) ชั้น EVA ด้านล่าง และ 5) แผ่นรองด้านหลัง ทำหน้าที่ป้องกันส่วนประกอบต่างๆ ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ตลอดอายุการใช้งาน ทนทานต่อสภาพแวดล้อมจริงขณะใช้งาน เช่น ความชื้นหรือการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ ซ้อนกันเป็นชั้นๆ ตามลำดับ ประกอบรวมกันในกรอบแผงที่มีขนาดกว้าง 670 มิลลิเมตร ยาว 1,476 มิลลิเมตร หนา 35 มิลลิเมตร และภาพที่ 22 (ค) เป็นภาพของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาที่มีการจัดเรียงแผงตามแบบที่วิศวกรกำหนด มีระยะห่างระหว่างแผงแต่ละแผงที่เท่ากัน และระยะห่างระหว่างแต่ละกลุ่มเท่ากันด้วย

การประเมินค่าความผิดพลาดของระบบ

การประเมินประสิทธิภาพการทำงานของระบบของผลการทดลองในหัวข้อต่างๆ จะใช้การเปรียบเทียบค่าผลลัพธ์ที่แท้จริงกับค่าผลลัพธ์ของระบบ ด้วยวิธีการหาค่าเฉลี่ยความผิดพลาดร้อยละสัมบูรณ์ (Mean Absolute Percent Error; MAPE) ดังแสดงในสมการ 13

$$MAPE = \frac{100}{n} \times \left[\left| \frac{a_1 - y_1}{a_1} \right| + \dots + \left| \frac{a_n - y_n}{a_n} \right| \right] \quad \text{สมการที่ 13}$$

เมื่อ a คือ ค่าข้อมูลที่แท้จริง

y คือ ค่าผลลัพธ์ของระบบ

n คือ จำนวนข้อมูลทั้งหมดที่ทดสอบ

การหาค่าเฉลี่ยความผิดพลาดร้อยละสัมบูรณ์ (MAPE) ทั้งระบบที่เกิดจากการส่งข้อมูลย่อยหลายระบบผ่านกันรวมเป็นระบบเดียว เปรียบเสมือนการคูณกันของข้อมูลทั้งระบบ (พีรพัฒน์ คำเกิด, 2560) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 14

$$XY = (A \times B) \pm (MAPE A + MAPE B)$$

สมการที่ 14

เมื่อ X, Y คือ การทำงานของระบบ

A, B คือ ขนาดของระบบ

ในงานวิจัยนี้ กำหนดขนาดของแต่ละระบบมีค่าเท่ากัน ส่งผลให้การประเมินประสิทธิภาพการทำงานรวมของระบบ ด้วยวิธีการหาค่าเฉลี่ยความผิดพลาดร้อยละสัมบูรณ์ทั้งระบบ คือการนำค่า MAPE ของแต่ละระบบมารวมกัน

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษางานวิจัยในอดีต สามารถแยกประเด็นโดยสรุป 3 ประเด็น คือ

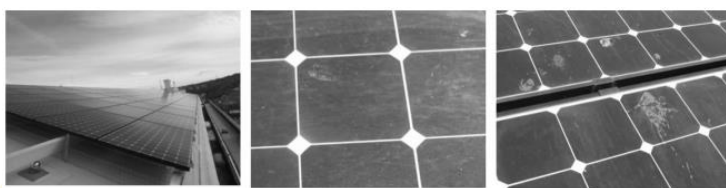
1. ผลกระทบของนกหรือปัญหาเงาบังต่อการผลิตไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์
2. การจำแนกวัตถุโดยใช้คุณลักษณะของค่าสีเฉพาะของแต่ละวัตถุ
3. การพัฒนาโปรแกรมเพื่อการตรวจจับภาพและการบอกตำแหน่ง ดังต่อไปนี้

เธียรวิภา กลิ่นบุปผา (2011) ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยทางชีวภาพและกายภาพที่ส่งผลต่อการเสื่อมสภาพของโบราณสถานบางแห่งในจังหวัดพระนครศรีอยุธยา พบว่านกพิราบทำลายโบราณสถานโดยตรงด้วยการเหยียบย่ำ หรือทางอ้อมคือผลจากมูลนกพิราบ โดยมูลของนกพิราบมีค่า pH ระหว่าง 6-7 มีฤทธิ์เป็นกรดอ่อนๆ เมื่อทำปฏิกิริยากับความชื้นในอากาศ จะทำให้โบราณสถานเกิดการเสื่อมสภาพ และสามารถจัดการวัสดุต่างๆ ได้ ทำให้เกิดความเสียหายอย่างรุนแรงต่อโบราณสถาน และยังเป็นแหล่งดำรงชีพให้แก่จุลินทรีย์

Al-Ammri et al. (2013) ศึกษาผลกระทบต่อประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์โฟลตอนในเมืองแบกแดด พบว่ามูลนก หรือใบไม้ที่ร่วงลงบนพื้นผิวแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ก่อให้เกิดความร้อนที่สูงเกินไป เป็นตัวแปรที่ทำให้แผงเสียหายระยะยาว อีกทั้งหากมูลนกเหล่านี้สะสมเป็นเวลานาน จะให้ผลที่เลวร้ายยิ่งกว่าฝุ่น โดยจะฝังลงในแผงและทำลายโครงสร้างของแผงเซลล์แสงอาทิตย์อย่างถาวร

Ghazi Sanaz, Ali Sayigh and Kenneth Ip (2014) ศึกษาผลกระทบของสภาพอากาศต่อประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคา ที่สภาวะการทำงานจริง ทางตะวันออกเฉียง

ใต้ของประเทศอังกฤษ การศึกษาได้กล่าวถึงประเด็นทางภูมิศาสตร์ โดยมีนกอาศัยอยู่ในเมืองชายฝั่งแห่งนี้ ผลกระทบที่เกิดจากนกเหล่านี้คือมูลของพวกนก ดังแสดงในภาพที่ 23 เมื่ออยู่บนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ระยะหนึ่งหากไม่ได้รับการทำความสะอาด จะเกิดจุดที่ทำให้ร้อนเกินไปบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ลดการส่งออกการผลิตพลังงานไฟฟ้าและลดอายุการใช้งานของระบบ สิ่งนี้ชี้ให้เห็นถึงความจริงที่ว่า ข้อมูลจำเพาะหรือข้อมูลประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จากห้องปฏิบัติการ มักไม่เพียงพอที่จะแสดงถึงประสิทธิภาพที่สามารถผลิตได้จากการใช้งานในสภาวะจริง

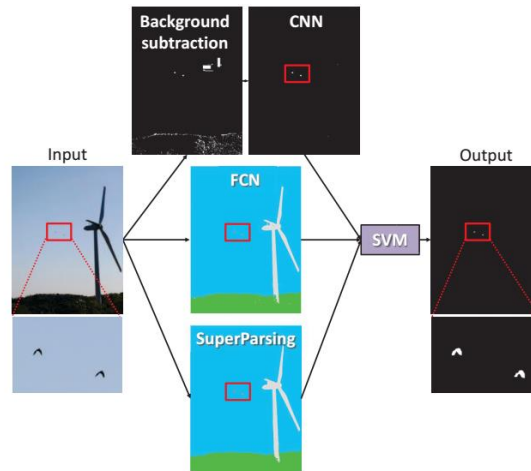


ภาพที่ 23 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคาตึกได้รับผลกระทบจากฝุ่นและมูลนก

ที่มา: Ghazi Sanaz, Ali Sayigh and Kenneth Ip. (2014)

Minh Quan Duong et al. (2017) ศึกษาผลกระทบของเงาบังต่อประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยเสนอการกำหนดค่าบายพาสไดโอดเพื่อลดผลกระทบของเงาบังและเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของระบบผลิตไฟฟ้า ใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์กำลังการผลิตสูงสุด (P_m) 310 W_p ประกอบด้วยเซลล์แสงอาทิตย์จำนวน 72 เซลล์ ทำการทดลองเงาบังบนเซลล์จำนวน 1, 6, 12 และ 36 เซลล์ คิดเป็นกำลังการผลิตที่สูญเสียเท่ากับ 1.39%, 8.33%, 16.67% และ 50 % ตามลำดับ การวิเคราะห์ผลการจำลองแสดงเป็นกราฟ I-V และ P-V แสดงให้เห็นถึงข้อดีและข้อเสียของการกำหนดค่าบายพาสไดโอดแบบต่างๆ รวมทั้งความสามารถของการใช้งานบายพาสไดโอดในทางปฏิบัติ

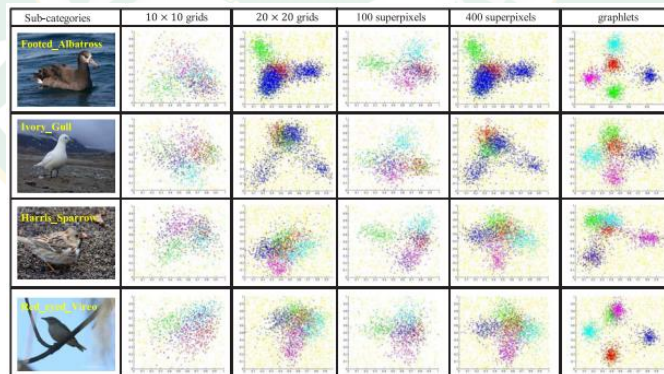
Akito Takeki et al. (2016) ศึกษาการตรวจจับภาพนกในฟาร์มกังหันลมขนาดใหญ่โดยเทคนิคเครือข่ายประสาทเทียม (CNNs) เป็นเทคนิคคลับพื้นหลัง การแบ่งส่วนภาพ (FCNs) ทำงานคล้ายเครื่องตรวจจับ สามารถหาวัตถุโดยการมองผ่านเลเยอร์ของภาพ รวมและแบ่งภาพวัตถุต่างๆ ได้ภาพที่มีคุณภาพสูง และการแบ่งส่วนตามลักษณะ ดังภาพที่ 24 พบว่ามีความแม่นยำสูงถึง 0.872



ภาพที่ 24 ภาพรวมของการทดลอง

ที่มา: Akito Takeki et al. (2016)

Luming Zhang et al. (2015) ศึกษาการตรวจจับภาพเพื่อแบ่งหมวดหมู่ย่อยอย่างละเอียด โดยอาศัยข้อมูลกราฟความสัมพันธ์ของวัตถุแต่ละชนิด โดยการตรวจจับนก สุนัขและดอกไม้ พบว่ามีความแม่นยำ 60.19% 50.83% และ 87.54% ตามลำดับ

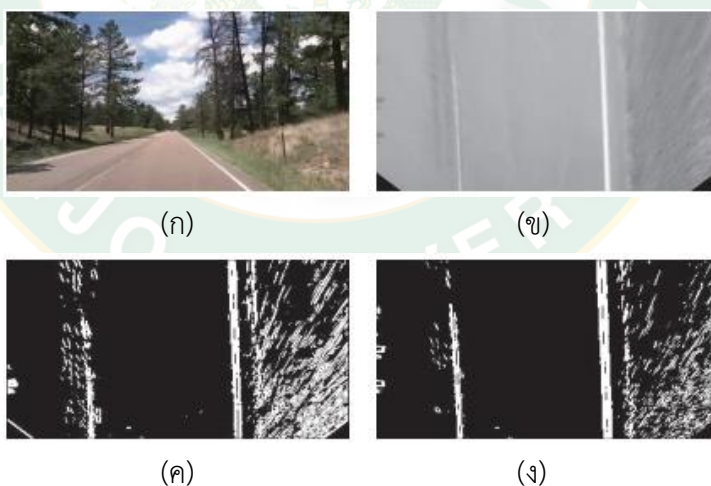


ภาพที่ 25 การเปรียบเทียบกราฟสัมพันธ์ภาพที่สร้างโดยใช้วัตถุที่ต่างกัน

ที่มา: Luming Zhang et al. (2015)

Rosniza Roslan et al. (2017) ศึกษาการจำแนกนกโดยใช้พื้นฐานสี (Color-based) ที่มีคุณลักษณะมาตรฐาน สีมาตรฐาน 9 สี ที่เป็นค่าเฉพาะของสายพันธุ์นกแต่ละชนิด งานวิจัยนี้เสนอวิธีแก้ปัญหาด้านอิเล็กทรอนิกส์สำหรับผู้ใช้งานซึ่งวิธีการต้องสามารถใช้งานได้ตามเขตข้อมูลที่มีอยู่แล้ว และง่ายต่อการใช้งาน การทดลองใช้ภาพนกจากฐานข้อมูลที่มีอยู่แล้ว เพื่อหาค่าสีมาตรฐาน 9 สี โดยหาข้อมูลหาค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และความเข้มของสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน (RGB) จากภาพนก ใช้ภาพทดสอบ 100 ภาพ ในแต่ละชนิดนก ทดสอบสองชนิดคือนกฮูกหิมะและนกทูแคน การจำแนกนกโดยใช้ขั้นตอนวิธีการนี้ สามารถจำแนกนกซึ่งมีความถูกต้อง 98.33% สำหรับข้อมูลการทดสอบ

Umar Ozgunalp and Naim Dahnoun (2016) ศึกษาและพัฒนาวิธีการตรวจหาเลนถนนบนแผนที่ให้มีคุณภาพที่ดีขึ้น โดยการทำให้มุมมองผกผัน (Inverse perspective mapping; IPM) IPM จะลบภาพที่ไม่เกี่ยวข้องออกไปจากถนนและสร้างมุมมองภาพจากมุมสูง การศึกษานี้จะคำนวณฮิสโตแกรมแนวขอบภาพ จากนั้นทำการปรับปรุงอัตราส่วนสัญญาณเสียง โดยการจับคู่ภาพกับแผนที่จริง การหาตำแหน่งเลนจะใช้วิธีการ Hough transform (การหาเส้นขอบภาพเป็นเส้นตรง) จากนั้นทำการปรับภาพเลนแบบพาราโบลาของพื้นที่ที่สนใจ โดยวิธีการนี้สามารถตรวจจับภาพที่ซับซ้อนได้มากกว่า 96% ซึ่งขั้นตอนการปรับภาพแสดงดังภาพที่ 26

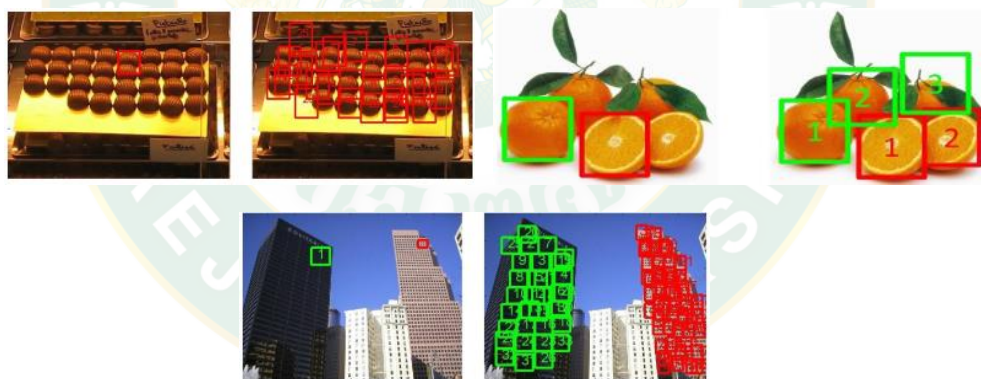


ภาพที่ 26 การทำให้มุมมองผกผัน (ก) ภาพจริงที่ป้อนเข้า (ข) ข้อมูลที่ส่งออก (ค) การหาขอบภาพ และ (ง) ขอบภาพที่มีการซ้อนกันโดยใช้ค่าเฉลี่ยสามเฟรม

ที่มา: Umar Ozgunalp and Naim Dahnoun. (2016)

M. Ramasubramanian et al. (2015) ศึกษาและพัฒนาวิธีการตรวจหาและติดตามวัตถุที่สนใจ เพื่อตรวจสอบวัตถุในวิดีโอและค้นหาว่าวัตถุนั้นเป็นอย่างไร โดยการแบ่งส่วนพื้นที่ที่สนใจจากฉากในวิดีโอ จัดจำพิกัดการวางตำแหน่งและทำการล็อกตำแหน่งปกติเป็นตำแหน่งหลัก ใช้การติดตามวัตถุด้วยวิธีลำดับภาพ แล้วทำการจำแนกได้ประเภทวัตถุต่างๆ เช่น คน ยานพาหนะ นก เมฆลอย ต้นไม้โยก และวัตถุเคลื่อนที่อื่นๆ การติดตามวัตถุจะทำได้โดยใช้วิธีนับการเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่และเวลาของภาพระหว่างการตรวจสอบวิดีโอ รวมทั้งตำแหน่ง ขนาดรูปร่าง ฯลฯ วิธีการนี้ยังถูกนำไปใช้ในแอปพลิเคชันหลายอย่าง เช่น ใช้หุ่นยนต์เฝ้าระวังโดยการมองภาพจากวิดีโอ การตรวจสอบการจราจรจากภาพวิดีโอที่ภาพเคลื่อนไหว รวมถึงการวิเคราะห์และเปรียบเทียบการใช้เทคนิคต่างๆ ในขั้นตอนการตรวจจับภาพ

Steve Gu and Carlo Tomasi (2011) ศึกษากระบวนการติดตามภาพจากภาพที่มีวัตถุอื่นคล้ายคลึงกันโดยอาศัยการติดตามเชิงพื้นที่ เนื่องจากปัญหาของการติดตามภาพนั้นคือ ค่าแสงมุมมองจะแตกต่างกันไปตามช่วงเวลา ภาพที่ต้องการติดตามอาจถูกรบกวนด้วยพื้นหลังที่เปลี่ยนไปหรือวัตถุอื่นที่คล้ายกัน ดังแสดงในภาพที่ 27 ด้านซ้ายเป็นการติดตามภาพแบบระบุโดยผู้ใช้งาน ด้านขวาเป็นการแสดงผลการติดตามเชิงพื้นที่ผ่านระบบพัฒนาแล้ว



ภาพที่ 27 การติดตามแบบแยกและการติดตามเชิงพื้นที่

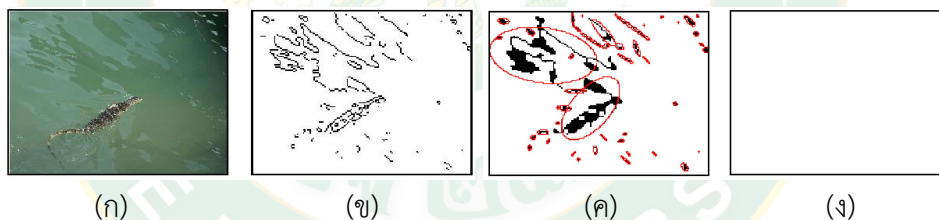
ที่มา: Steve Gu and Carlo Tomasi. (2011)

ChingSeong Tan and Aryunto Soetedjo. (2008) ศึกษาระบบตรวจจับผู้บุกรุกอัตโนมัติสำหรับฟาร์มเลี้ยงปลา โดยวิธีการถ่ายภาพด้วยแสงจากกล้องหลายหมื่นที่ติดตั้งอยู่รอบๆ ตาข่ายบ่อเลี้ยงปลา เพื่อตรวจจับการบุกรุกของนกในพื้นที่ยังปลาเลี้ยงหรือบริเวณใกล้เคียง กล้องจะถูกติดตั้งต่ำกว่าพื้นที่ให้อาหาร ในช่วงเริ่มต้น ระบบกล้องจะบันทึกภาพเป็นภาพหลักในการเปรียบเทียบ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงระบบจะทำการวิเคราะห์หาปลาผู้ล่าอื่นที่ไม่ใช่ปลาเทียบกับภาพหลัก จากภาพ

มุมข้างและมุมสูง ขั้นตอนแรกอัลกอริทึมจะตรวจจับนักล่าโดยใช้การไล่ระดับสี หากเป้าหมายกำลังเคลื่อนที่เร็วกว่าพื้นหลังปัจจุบัน การเคลื่อนไหวแบบนี้จะใช้การวิเคราะห์แบบหมวดหมู่ ขั้นตอนที่สอง การนับขนาดของเป้าหมาย นักล่าโดยทั่วไป เช่น นากทะเล, มนุษย์, จระเข้ จะมีขนาดใหญ่กว่าปลา (เปรียบเทียบขนาดของเป้าหมายกับภาพปลาที่บันทึกก่อนหน้านี้) ดังแสดงในภาพที่ 28 และภาพที่ 29 หากจะทำระบบเตือนภัย ควรมีการเรียกใช้ในขั้นตอนนี้ โดยการประมวลผลภาพนี้ใช้อัลกอริทึมเดียวกันกับการหาความคลาดเคลื่อนของเครื่องบินจากระนาบการบิน ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่า แม้จะมีต้นทุนต่ำ ก็สามารถใช้อัลกอริทึมนี้เพื่อการประมวลผลภาพได้



ภาพที่ 28 ปลาที่ตรวจจับภาพจากด้านบน (ก) ภาพดั้งเดิม (ข) ภาพตัดขอบ (ค) ขนาดภาพที่พอดีภายในวงรีสีแดง และ (ง) ปลาที่ตรวจพบ

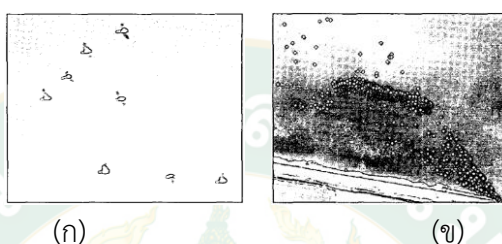


ภาพที่ 29 สิ่งที่ไม่ใช่ปลา (ก) ภาพดั้งเดิม (ข) ภาพตัดขอบ (ค) ขนาดภาพที่พอดีภายในวงรีสีแดง และ (ง) ตรวจไม่พบปลา

ที่มา: ChingSeong Tan and Aryuanto Soetedjo. (2008)

Lawrence A. Klein et al. (2004) ออกแบบและสร้างเทคโนโลยีคลื่นความถี่ระดับมิลลิเมตร มีความสามารถในการรับส่งข้อมูลสูง (MMW) เพื่อการตรวจจับนกโดยเฉพาะ เนื่องจากนกมีการเพิ่มประชากรอย่างรวดเร็ว ความเสียหายที่เกิดจากนก เช่น บินเข้าในปีกเครื่องบินพาณิชย์หรือเครื่องบินทหาร สร้างความเสียหายแก่ระบบการบิน จึงทำการออกแบบและสร้างเรดาร์เฉพาะชั้นเพื่อใช้งานในสนามบิน ระหว่างการเดินทาง และก่อนการลงจอดของเครื่องบิน โดยเรดาร์จะทำการจำแนกนกหรือฝูงนกตามมวลชีวภาพของนก ระบุระยะทางและตำแหน่งระดับความสูงของนก ระบบ

นี้สามารถตรวจจับนกสูงสุดอยู่ที่ประมาณ 3 ไมล์ (4.8 กม.) ในการสร้างเรดาร์นี้มีต้นทุนต่ำ เนื่องจากใช้เรดาร์นี้ติดบนเสาอากาศทั่วไปของสนามบินได้โดยไม่ต้องใช้การตรวจสอบด้วยคลื่นเสียงความถี่สูงแบบจัดเรียงเฟสให้ยุ่งยาก เมื่อทำการติดตั้งแล้วสามารถสแกนหาความกว้างในทิศทางแนวนอนหรือด้านข้างได้โดยใช้เรดาร์นี้เท่านั้น เรดาร์นี้ยังมีขนาดเล็กใช้ไฟเพียง 12 V จากแบตเตอรี่ สามารถทำงานไกลและพกพาสะดวก กล้องวิดีโอที่ใช้ในการจับภาพจะทำการติดตั้งบนเรดาร์เพื่อให้ได้ภาพที่ต้องการต่อการวิเคราะห์และออกแบบนั่นเอง ตัวอย่างของภาพที่เกิดจากการใช้เรดาร์ แสดงดังภาพที่ 30



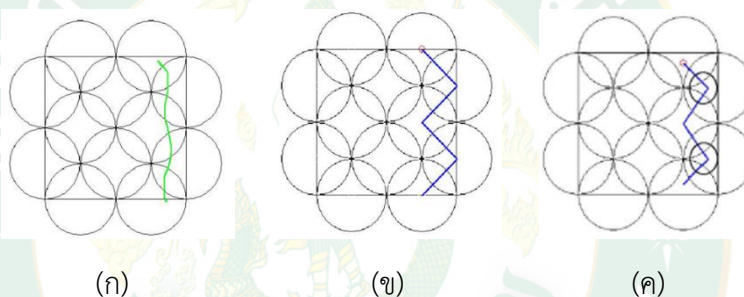
ภาพที่ 30 ภาพถ่าย (ก) นกด้านหน้าเรดาร์ และ (ข) ภาพฝูงนกนักร้อยตัวโดยจับภาพที่ระยะ 3.2 กิโลเมตรจากเรดาร์

ที่มา: Lawrence A. Klein et al. (2004)

J. Jose Gonzalez E. et al. (2017) ศึกษาการตรวจหาตำแหน่งสำหรับการนำทางโดยใช้หน่วยตรวจวัดความเคลื่อนไหว (Inertial measurement units; IMUs) ด้วยเครื่องจักรที่สามารถเรียนรู้และประมาณค่าระยะทางได้ พบว่า IMUs สามารถทำงานได้ด้วยตนเองถ้าเพิ่มข้อมูลโครงสร้างหรือข้อมูลทางภูมิศาสตร์เกี่ยวกับพื้นที่ทางกายภาพที่ผู้ใช้งานมีการสำรวจแล้ว หรือใช้แผนที่ทางภูมิศาสตร์ของสถานที่จริง การทำงานของเครื่องจักรจะอาศัยข้อมูลการวัดการหมุนวนและข้อมูลความเร็ว จะสามารถระบุเส้นทางเดินหรือวิ่งของมนุษย์บนแผนที่จริงได้อย่างถูกต้อง วิธีการนี้ใช้พลังงานเพียง 0.44 ซึ่งน้อยกว่าการใช้พลังงานมาตรฐานจากระบบเดียวกันถึง 27 เท่า มีความถูกต้องของเส้นทาง 4.3 เมตร ซึ่งดีกว่าตำแหน่งสำหรับการนำทางโดยใช้ IMUs จากการสนับสนุนของระบบ GPS ที่พบว่ามีคามผิดพลาดโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 8.7 เมตร

Kyoung Nam Ha, Kyung Chang Lee and Suk Lee. (2006) ศึกษาการพัฒนาาระบบตรวจจับตำแหน่งภายในอาคารสำหรับบ้านอัจฉริยะ โดยใช้ตัวตรวจจับรังสีอินฟราเรด (PIR) ทำการติดตั้งเซนเซอร์รอบๆ บริเวณห้องเพื่อตรวจจับการเคลื่อนไหว โดยการกวาดภาพของตัวเซ็นเซอร์แต่ละตัวซ้อนทับกันเพื่อไม่ให้เกิดช่องว่าง การวิจัยมุ่งเน้นไปที่วิธีการสั่งการอุปกรณ์ โดยมี 2 แบบ ได้แก่ 1) วิธีการที่ใช้เทอร์มินัล และ 2) วิธีการที่ไม่ใช้เทอร์มินัล สำหรับวิธีการที่ใช้เทอร์มินัล (Terminal-Based

Method) จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ประเภทหนึ่งที่อยู่อาศัยต้องทำการสั่งการอุปกรณ์ ระบบจึงจะสามารถทำงานได้ ในขณะที่วิธีการที่ไม่ใช่เทอร์มินัลไม่จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ดังกล่าวและไม่ต้องมีการสั่งการจากผู้อยู่อาศัย บทความนี้นำเสนอแนวทางใหม่ที่ไม่ใช่เทอร์มินัล โดยใช้อาร์เรย์ของเซ็นเซอร์อินฟราเรด (Pyroelectric infrared sensor; PIR) ที่สามารถตรวจจับผู้อยู่อาศัยได้ ความเป็นไปได้ของระบบได้รับการทดสอบโดยทดลองบนเตียงทดสอบ ภาพที่ 31 (ก) เป็นการเคลื่อนที่จริงของผู้อยู่อาศัยเมื่อเคลื่อนที่เป็นเส้นตรง ภาพที่ 31 (ข) แสดงค่าความผิดพลาดของตำแหน่ง ซึ่งมีขนาดใหญ่มากเมื่อไม่มีการใช้วิธีการชดเชยค่าความแม่นยำ อย่างไรก็ตามหลังจากใช้วิธีการชดเชยแล้วในภาพที่ 31 (ค) จะได้ผลของตำแหน่งที่ผู้อยู่อาศัยเคลื่อนที่จริง ที่สามารถสั่งการให้ระบบในบริเวณนั้นทำงานได้อย่างถูกต้องเมื่อผู้อยู่อาศัยเคลื่อนที่ผ่านได้ ผลการทดสอบระบบพบว่าสามารถตรวจจับผู้อยู่อาศัยได้ และมีความคลาดเคลื่อนน้อยกว่า 50 ซม.



ภาพที่ 31 ภาพถ่าย (ก) นักด้านหน้าเรดาร์ และ (ข) ภาพฝูงนกนับร้อยตัวโดยจับภาพที่ระยะ 3.2 กิโลเมตรจากเรดาร์

ที่มา: Kyoung Nam Ha, Kyung Chang Lee and Suk Lee. (2006)

บทที่ 3

วิธีดำเนินงานวิจัย

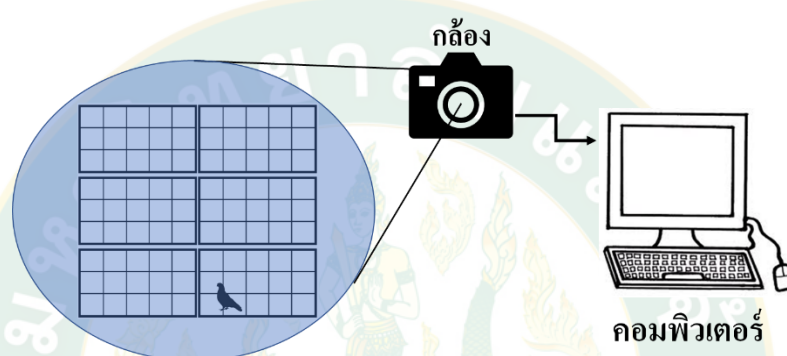
งานวิจัยการตรวจทานบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคาโดยการประมวลผลภาพนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจหาวัตถุแปลกปลอมบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคา ซึ่งวัตถุแปลกปลอมที่กล่าวถึงนี้คือ นกพิราบ จากพฤติกรรมของนกพิราบที่สร้างรังอยู่อาศัยตามซอกหลังคาหรือช่องว่างระหว่างแผงเซลล์แสงอาทิตย์กับหลังคา ทำให้มีนกพิราบอาศัยอยู่เป็นจำนวนมาก ในเวลากลางวันนกพิราบจะเกาะและเดินบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ส่งผลต่อการผลิตไฟฟ้าเนื่องจากเกิดเงาบังแผง หรือการถ่ายมูลของนกพิราบ เมื่อไม่ได้รับการทำความสะอาดจะทำให้เกิดคราบมูลนกที่ฝังแน่นทำลายโครงสร้างของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้ มีขั้นตอนและวิธีการดำเนินการของงานวิจัยแสดงดังรายละเอียดต่อไปนี้

1. ศึกษา ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีการรู้จำงานด้วยวิธีประมวลผลภาพ และผลกระทบที่เกิดจากนกเกาะบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์
2. ศึกษาหลักการทางทฤษฎีและหลักการประยุกต์ใช้งานของการประมวลผลภาพ
3. ศึกษาข้อมูลทางกายภาพของนกพิราบ และแผงเซลล์แสงอาทิตย์
4. ทำการเก็บตัวอย่างของปัญหาด้วยภาพถ่าย เพื่อเป็นฐานข้อมูลสำหรับการศึกษาวิจัย
 - 4.1 การจำแนกนกกับสิ่งไม่มีชีวิต
 - 4.2 การจำแนกนกจากสัตว์ชนิดอื่น
 - 4.3 การทดสอบหาตำแหน่งนกพิราบจากระบบประมวลผลภาพ
 - 4.4 การทดสอบระบบประมวลผลภาพกับชุดแผงเซลล์แสงอาทิตย์
5. ออกแบบระบบเพื่อตรวจทานนกพิราบและการระบุตำแหน่งบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคา
6. ทดลองวิธีการที่นำเสนอ วิเคราะห์ผลที่ได้จากการทดลอง หาค่าความถูกต้องของระบบ และสรุปผลการทดลอง
7. เสนอแนวทางการพัฒนา

ในส่วนของการออกแบบระบบเพื่อตรวจทานนกพิราบและการระบุตำแหน่งบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคา ผู้วิจัยทำการอธิบายในหัวข้อต่อไป

การออกแบบโครงสร้างทางฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ของระบบประมวลผลภาพ

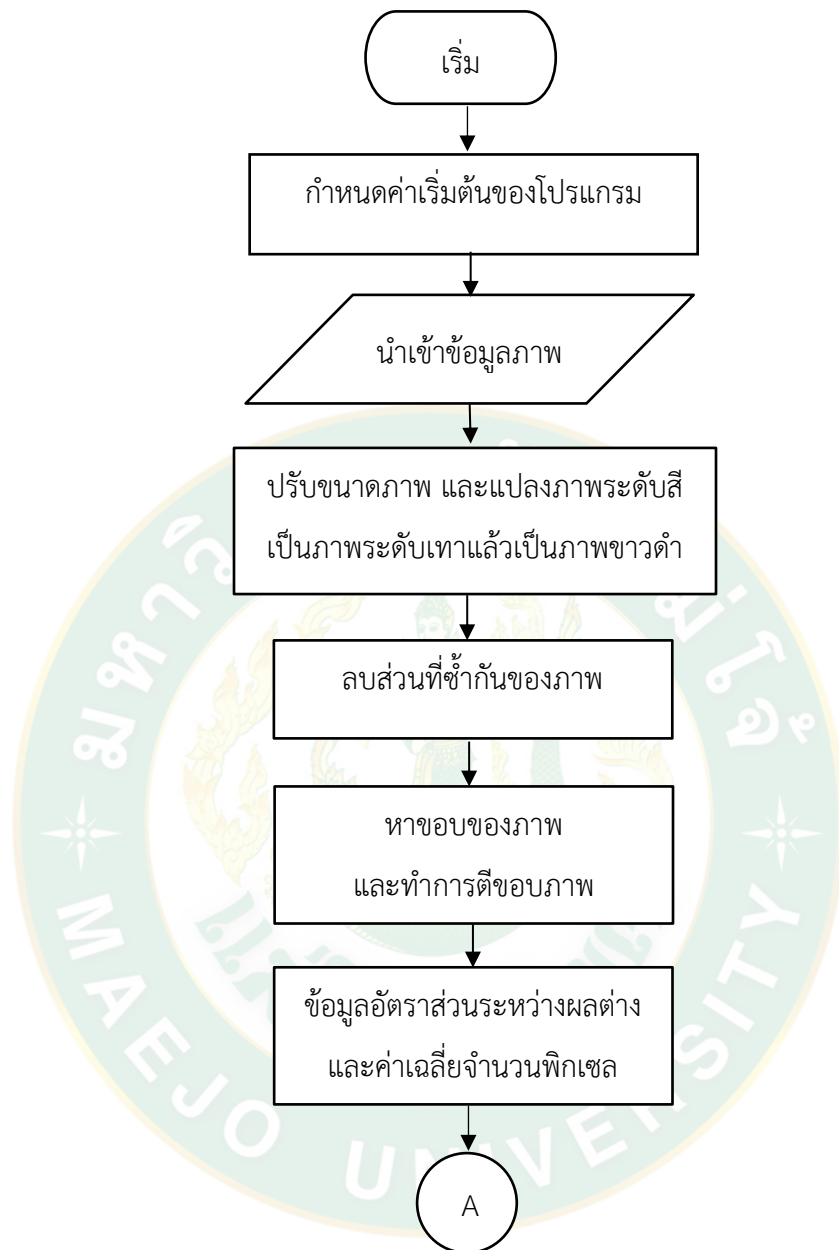
การออกแบบระบบเพื่อตรวจหานกพิราบและการระบุตำแหน่ง ผู้วิจัยเลือกใช้ระบบฮาร์ดแวร์ที่ราคาไม่แพง สามารถหาซื้อได้ทั่วไปตามท้องตลาด เนื่องจากระบบประมวลผลภาพที่ออกแบบในงานวิจัยนี้ เป็นระบบที่ไม่จำเป็นต้องใช้หน่วยความจำหรืออุปกรณ์ประมวลผลที่มีความเร็วสูง เพื่อให้ง่ายและสะดวกต่อการนำไปใช้งาน ระบบประกอบด้วยกล้อง Sony Cyber-shot HX200V ความละเอียด 18.2 Megapixel รับภาพและส่งให้กับคอมพิวเตอร์ขนาดพกพา ดังภาพที่ 32



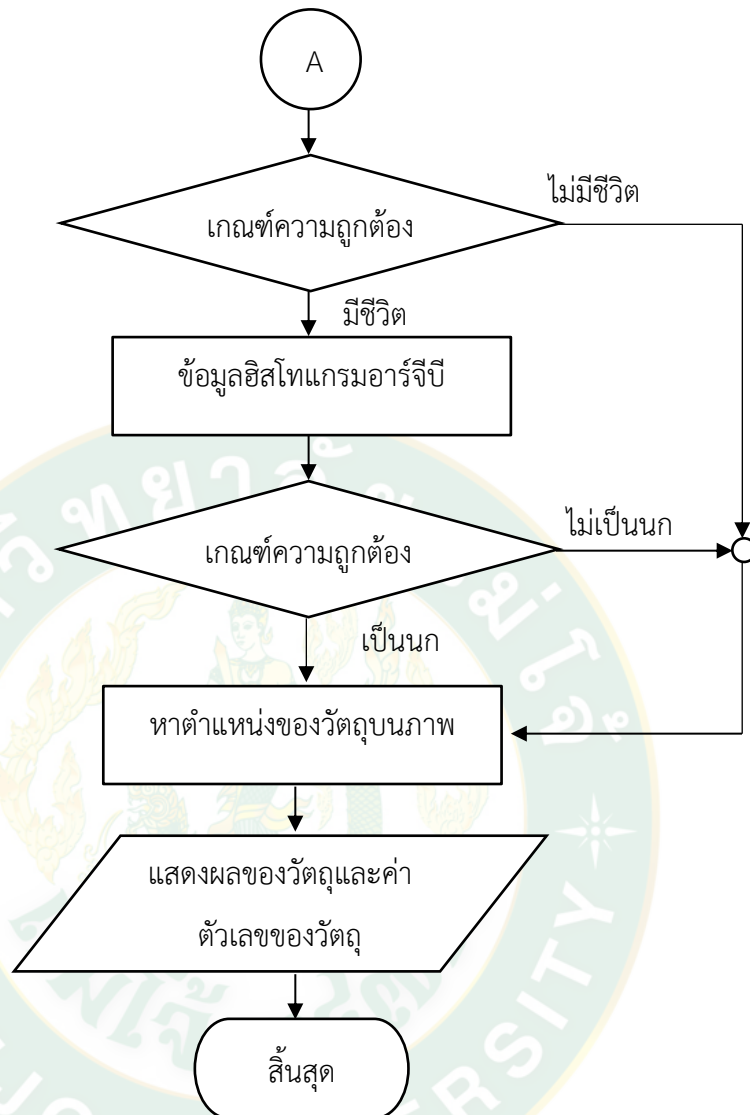
ภาพที่ 32 โครงสร้างทางฮาร์ดแวร์ของระบบการระบุตำแหน่งนกที่เกาะบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคา

ในงานวิจัยนี้ ใช้กล้องถ่ายภาพ ยี่ห้อ Sony Cyber-shot HX200V ความละเอียด 18.2 Megapixel คอมพิวเตอร์พกพายี่ห้อ Lenovo ideapad 310 หน่วยประมวลผลกลาง intel core i5 เป็นฮาร์ดแวร์ในการประมวลผลข้อมูล การระบุตำแหน่งของนกพิราบจะต้องมีการกำหนดระยะห่างแผงเซลล์แสงอาทิตย์ถึงหน้ากล้องให้คงที่ ซึ่งก่อนการใช้งานทุกครั้งในแต่ละพื้นที่ต้องมีการปรับเทียบระบบเป็นค่าเริ่มต้นและสามารถใช้งานได้ตลอด เนื่องจากนกพิราบและระยะห่างระหว่างกล้องมีขนาดเท่าเดิม แล้วทำการบันทึกรูปในการทดลองบันทึกลงหน่วยความจำเครื่องคอมพิวเตอร์

ด้านระบบซอฟต์แวร์ มีโครงสร้างการทำงานของระบบดังภาพที่ 33 โดยนำเข้าข้อมูลภาพจากกล้องถ่ายภาพ ปรับขนาดภาพให้มีขนาดเท่ากันเพื่อให้ระบบประมวลผลภาพระบุตำแหน่งเป็นตำแหน่งเดียวกัน แปลงภาพระดับสีเป็นภาพระดับเทาและขาวดำ เปรียบเทียบภาพต้นแบบกับภาพที่นำเข้ามาโดยการลบส่วนที่ซ้ำกันของภาพ ปรากฏส่วนที่แตกต่างขึ้นจากภาพทั้งสองขึ้น เมื่อระบบพบว่ามีส่วนที่ต่างกัน ระบบจึงนำภาพเข้ามาสู่กระบวนการหาขอบภาพและตีขอบภาพขึ้น หาตำแหน่งของวัตถุบนภาพโดยใช้ความสัมพันธ์รูปสามเหลี่ยมในรูปสี่เหลี่ยม และแสดงผลตำแหน่งของนกพิราบบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์เทียบกับกรอบของแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหน้าต่างแสดงผล



ภาพที่ 33 โครงสร้างทางซอฟต์แวร์ของระบบ



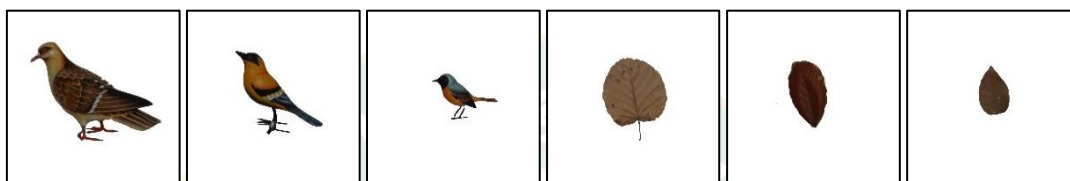
ภาพที่ 33 (ต่อ)

การจำแนกนกกับสิ่งไม่มีชีวิต

สิ่งที่สามารถพบบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์หลังจากที่มีการติดตั้งแผงเพื่อผลิตไฟฟ้าแล้วนั้น จะมีทั้งฝุ่นละออง เงาน้ำจากนก มูลนกหรือใบไม้ที่ปลิวมาจากที่อื่น สิ่งเหล่านี้ถือเป็นปัญหาเงาน้ำที่เกิดผลกระทบต่อการผลิตไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ความแตกต่างระหว่างนกกับมูลนกและใบไม้คือ นกเป็นสิ่งมีชีวิต มีการเคลื่อนไหวอย่างต่อเนื่อง ส่วนมูลนกหรือใบไม้เป็นสิ่งไม่มีชีวิต ไม่มีการเคลื่อนไหว การจำแนกนกกับสิ่งไม่มีชีวิตจึงใช้การประมวลผลภาพด้วยวิธีการนับค่าพิกเซลของวัตถุ (กัญญาณัฐ ทองเทพ และคณะ, 2561) เนื่องจากนกมีการเคลื่อนไหวทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลง

ปริมาณพิกเซล ซึ่งมีความแตกต่างมากกว่าใบไม้ที่มีการเปลี่ยนแปลงปริมาณพิกเซลน้อยกว่าเมื่อเทียบกับภาพเดิม สามารถคัดแยกกว่าเป็นนกหรือใบไม้ นำไปสู่การหาวิธีดำเนินการกับวัตถุนั้นได้อย่างเหมาะสม

ในการทดลองใช้นกจำลองที่มีสัดส่วนรูปร่างเหมือนจริง และใบไม้จริง อย่างละ 3 ขนาด ได้แก่ ขนาดใหญ่ ขนาดกลาง และขนาดเล็ก ดังแสดงในภาพที่ 34 โดยใช้กล้อง Sony Cyber-shot รุ่น HX200V ความละเอียด 18.2-megapixel CMOS Exmor R sensor ในการเก็บข้อมูลภาพ

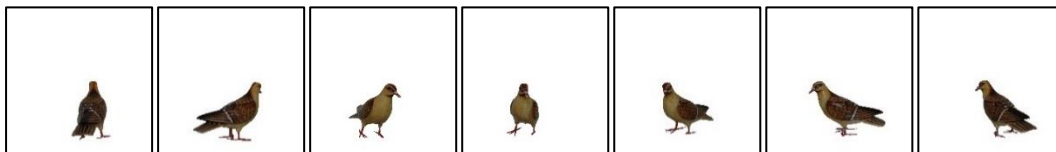


ภาพที่ 34 ตัวอย่างนกจำลองเหมือนจริงและใบไม้ตัวอย่างละ 3 ขนาด

ขั้นตอนการเก็บข้อมูลภาพคือ ตั้งกล้องห่างจากนกให้อยู่ในระยะที่สามารถเก็บภาพขนาดของนกได้ทั้งหมด ในการทดลองตั้งกล้องห่างจากนกเป็นระยะ 135 เซนติเมตร สูง 45 เซนติเมตร ติดนกไว้กับฐานหมุนสูง 25 เซนติเมตร ดังแสดงในภาพที่ 35 เมื่อทำการเปลี่ยนขนาดนก ต้องใช้ระยะห่างและส่วนสูงของทุกอุปกรณ์ที่เท่าเดิมกับภาพชุดแรก เพื่อให้ภาพที่ได้เป็นภาพมุมเดียวกัน เมื่อทดสอบภาพในระบบประมวลผลภาพจะทำให้ภาพมีขนาดต่างกันตามขนาดนกจำลองจริง แล้วถ่ายภาพนกทีละขนาด โดยนกแต่ละขนาดทำการหมุนนกทีละ 10 องศา ตั้งแต่ 0-360 องศา เนื่องจากนกเป็นสิ่งมีชีวิต จะเกิดการเคลื่อนไหวท่าทางต่างๆ จะได้ภาพนกในแต่ละมุมที่มีขนาดแตกต่างกันแต่ยังเป็นนกตัวเดิม ดังแสดงในภาพที่ 36 ในหนึ่งตัวอย่างทดสอบ เก็บข้อมูลจำนวน 37 ค่าข้อมูล ส่วนใบไม้ทำการถ่ายภาพด้านหน้าและด้านหลังใบเนื่องจากใบไม้ที่ร่วงหล่นตามธรรมชาติจะอยู่ในลักษณะแบนราบไปบนแผง จึงทำการเก็บข้อมูลภาพหน้าและหลังของใบไม้ จำนวน 4 ภาพต่อหนึ่งตัวอย่าง จากนั้นนำภาพข้อมูลทั้งหมดเข้าสู่กระบวนการประมวลผลภาพเพื่อหาขนาดของพิกเซลในแต่ละภาพ



ภาพที่ 35 ระยะห่างและการตั้งค่าเริ่มต้นนกกับอุปกรณ์ในการเก็บภาพข้อมูล



ภาพที่ 36 ตัวอย่างการหมูนกจำลองในองศาต่างๆ

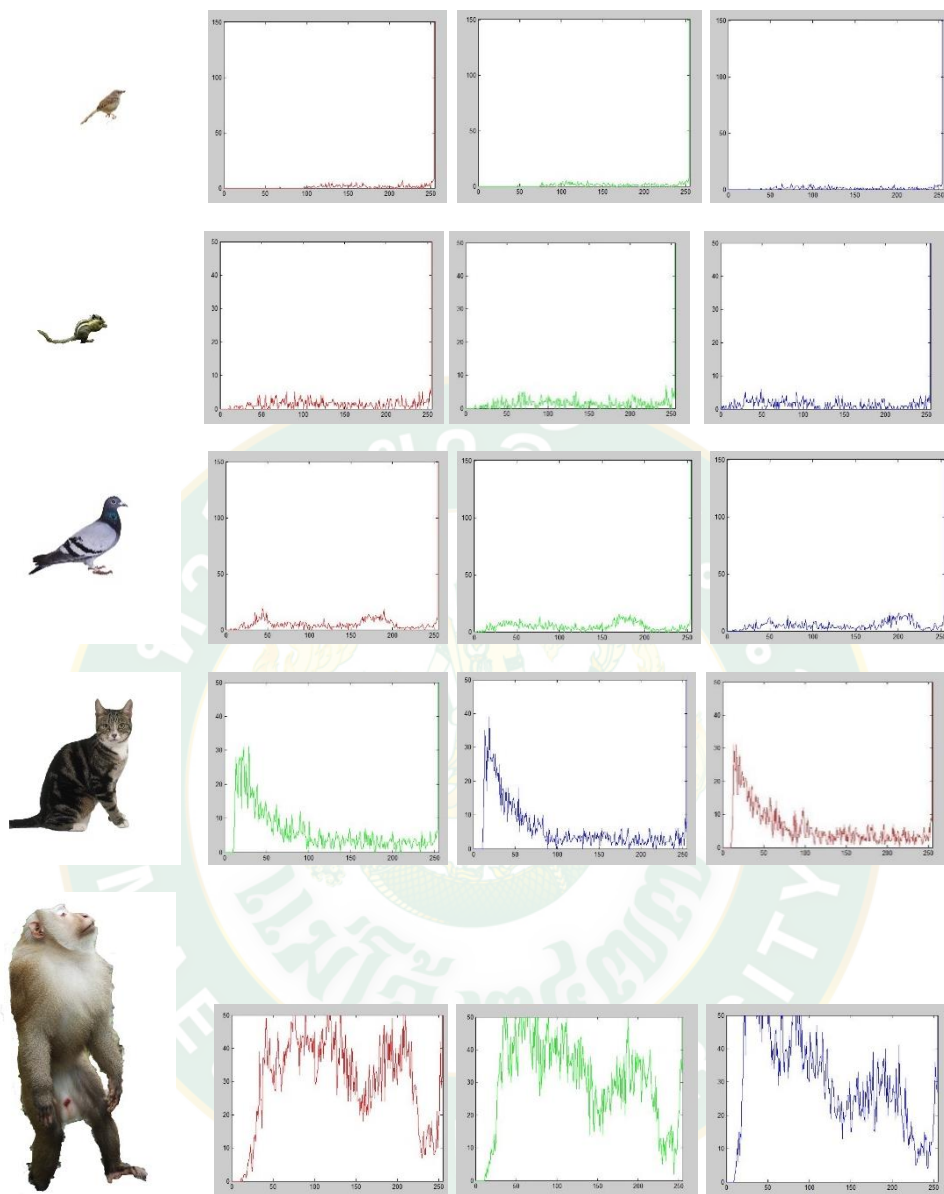
นอกจากนี้ได้ทำการศึกษาพฤติกรรมของนกพิราบจริง เพื่อกำหนดช่วงเวลาที่เหมาะสมในการเก็บภาพข้อมูล โดยจับภาพเมื่อนกพิราบมีการเคลื่อนไหว หันหัวหรือขยับปีก ใช้ข้อมูลจากวิดีโอของ Asian animals Daily (Asian animals Daily, 2017) และ PE Daily HD (PE Daily HD, 2017) พบว่านกพิราบมีการเคลื่อนไหวเฉลี่ย 1 ครั้ง/วินาที จึงทำการเก็บภาพข้อมูลจากทั้งสองวิดีโอ และนำภาพข้อมูลเข้าสู่ระบบประมวลผลภาพหาจำนวนพิกเซลเพื่อใช้เปรียบเทียบกับผลการทดลอง

การใช้ค่าเฉลี่ยฮิสโทแกรม อาร์(R) ฮิสโทแกรม จี(G) และ ฮิสโทแกรม บี(B) เพื่อจำแนกนกพิราบจากสัตว์ชนิดอื่น

สัตว์ที่สามารถพบบนหลังคามากเป็นสัตว์ปีกที่บินได้หรือสัตว์ที่สามารถปีนป่ายได้ เช่น นก แมว ลิง กระรอก จะมีขนาดและสีแตกต่างกันเป็นคุณลักษณะเฉพาะตัวของสัตว์ชนิดนั้นๆ จะเห็นได้ว่านกพิราบจะมีสีและขนาดแตกต่างจากนกอื่นๆ ถ้าเทียบกับสัตว์อื่น เช่น แมวหรือลิง ก็มีขนาดและสีที่ไม่เหมือนกัน ส่วนกระรอกอาจมีขนาดใกล้เคียงกัน แต่สีไม่เหมือนกัน การใช้ค่าเฉลี่ยฮิสโทแกรมอาร์จีบีมาทำการคัดแยกนกพิราบออกจากสัตว์อื่นจึงเหมาะสมและสามารถทำได้ เนื่องจากสีและขนาดของนกต่างจากสัตว์อื่น ส่งผลให้ค่าเฉลี่ยฮิสโทแกรมอาร์จีบี ขนาดรวมของฮิสโทแกรม แตกต่างจากสัตว์ชนิดอื่นค่าใดค่าหนึ่งหรือทั้งสองค่า

การทดสอบในขั้นตอนนี้ นำภาพสัตว์ที่ต้องการจำแนกเข้าสู่ระบบประมวลผลภาพเพื่อหาค่าเฉลี่ยฮิสโทแกรมอาร์จีบี โดยกำหนดขนาดภาพก่อนเข้าให้มีขนาดที่เท่ากัน และขนาดของสัตว์ที่เข้าสู่ระบบต้องเป็นอัตราส่วนจริงเมื่อเทียบกับขนาดภาพ

การใช้งานฮิสโทแกรมจะแสดงกราฟความสว่างความมืดของภาพในแนวนอน และจำนวนพิกเซลที่มีของรูปในแนวตั้ง ดังแสดงในภาพที่ 37 เป็นตัวอย่างข้อมูลภาพสัตว์สำหรับใช้ในการจำแนกนกพิราบจากสัตว์ชนิดอื่น ซึ่งมีสีที่แตกต่างกันและขนาดของสัตว์มีการลดขนาดภาพตามอัตราส่วนจริงของสัตว์ชนิดนั้นๆ ผลของค่าของฮิสโทแกรมอาร์จีบี แสดงในตารางที่ 1



ภาพที่ 37 กราฟฮิสโทแกรมอาร์จีบี

ตารางที่ 1 ความกว้างของฮิสโทแกรมของภาพตัวอย่าง

ที่	รายละเอียด	เกณฑ์ของฮิสโทแกรม			
		อาร์ (R)	จี (G)	บี (B)	ผลรวม
1	นกกระจิบ	0.3432	0.3118	0.2811	0.9361
2	กระรอก	0.3633	0.3595	0.3034	1.0262
3	นกพิราบ	1.1704	1.1581	1.2911	3.6195
4	แมว	2.0651	1.9551	1.8216	5.8418
5	ลิง	7.4045	6.9482	6.1995	20.5522

จากตารางที่ 1 แสดงค่าฮิสโทแกรมอาร์จีบีของภาพนกกระจิบ กระรอก นกพิราบ แมว และลิง พบว่าสัตว์แต่ละชนิดมีช่วงของค่าสีแดง สีน้ำเงิน สีเขียว เป็นค่าเฉพาะตัวของสัตว์นั้นๆ และค่าผลรวมของฮิสโทแกรมยังใช้บอกขนาดของสัตว์แต่ละชนิดได้ โดยนกกระจิบ กระรอก นกพิราบ แมว และลิง มีค่าผลรวมของฮิสโทแกรม 0.9361, 1.0262, 3.6195, 5.8418 และ 20.5522 ตามลำดับ แสดงว่าสัตว์ที่แสดงนี้มาขนาดเรียงจากเล็กไปใหญ่ คือ จากภาพนกกระจิบมีขนาดเล็กที่สุด และลิงมีขนาดใหญ่ที่สุด

การเปรียบเทียบระบบการจำแนกนกพิราบจากสัตว์ชนิดอื่น

ก่อนทำการจำแนกนกพิราบจากสัตว์ชนิดอื่นนั้น จะต้องทำการกำหนดค่าเริ่มต้น หรือค่ามาตรฐาน ที่ไว้ใช้สำหรับเป็นข้อมูลอ้างอิง ซึ่งจะเป็นข้อมูลฮิสโทแกรมอาร์จีบีที่ถูกต้องและเชื่อถือได้ โดยใช้ภาพตัวอย่างนกพิราบเสมือนจริงเป็นค่ามาตรฐาน ทำการเตรียมภาพข้อมูลด้วยการนำพื้นหลังของแต่ละภาพตัวอย่างออก ให้เหลือเพียงตัวสัตว์ที่จะทำการหาค่าเฉลี่ยสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน เนื่องจากภาพพื้นหลังจะส่งผลกระทบต่อค่าลักษณะเฉพาะของสีในสัตว์แต่ละชนิด ภาพที่ใช้สำหรับการทดลองมีขนาด $4,896 \times 3,672$ พิกเซล เป็นรูปสี่ การประมวลผลภาพจะทำการเปลี่ยนขนาดให้เหลือ 300×450 พิกเซล เพื่อให้รูปมีขนาดเล็กลดพื้นที่การจัดเก็บ และให้การทำงานได้เร็วขึ้นเมื่อต้องมีการประมวลผล หลังการเปรียบเทียบระบบการจำแนกนกพิราบแล้ว จะได้ค่าของข้อมูลฮิสโทแกรมที่สูงสุดและต่ำสุด นำมาใช้กำหนดค่าเกณฑ์ช่วงความกว้างของฮิสโทแกรมอาร์จีและบี ที่เป็นค่ามาตรฐาน วิธีการประมวลผลภาพก็จะใช้วิธีเดียวกันกับกลุ่มตัวอย่าง

ระบบประมวลผลภาพ

การนำภาพเข้ามาเปรียบเทียบกับภาพต้นแบบเพื่อหาตำแหน่งของนกพิราบบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ผู้วิจัยใช้รูปแบบคำสั่งจากโปรแกรม MATLAB โดยมีคำสั่งและรายละเอียดขั้นตอนการทำงานของระบบ ดังนี้

1. การกำหนดค่าเริ่มต้นของระบบ

เนื่องจากคอมพิวเตอร์ทั่วไป มีการทำงานในส่วนอื่นๆ ของระบบปฏิบัติการอยู่ตลอดเวลา ก่อนการประมวลผลภาพจึงจำเป็นต้องมีการคืนค่าข้อมูล การปิดและล้างคำสั่งของระบบก่อนหน้าทั้งหมดออกก่อน เพื่อให้ระบบประมวลผลภาพไม่สับสนในคำสั่งและทำงานได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ โดยมีรูปแบบคำสั่ง

close all

clear all

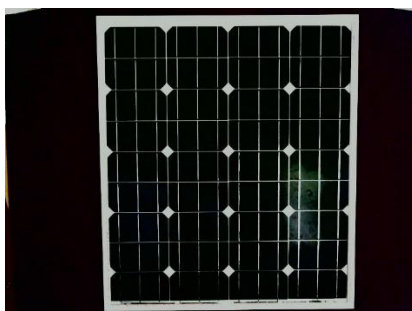
clc;

- ▶ การปิดคำสั่งก่อนหน้าออกทั้งหมด
- ▶ การล้างคำสั่งก่อนหน้าออกทั้งหมด
- ▶ การล้างข้อมูลที่นำเข้าและผลลัพธ์จากหน้าต่างแสดงผล และทำหน้าจอให้ว่าง

การทำงานของระบบประมวลผลภาพจากการนำภาพเข้ามาเปรียบเทียบ จำเป็นต้องกำหนดภาพที่จะใช้เป็นภาพต้นแบบของระบบก่อน ภาพต้นแบบที่ใช้สำหรับระบบประมวลผลภาพนี้ เป็นภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่มีวัตถุแปลกปลอมบนแผง แสดงดังภาพที่ 38 และมีรูปแบบคำสั่ง

```
BW4 = imread('picture 44.jpg');
```

เมื่อ BW4 เป็นภาพต้นแบบ



ภาพที่ 38 ภาพต้นแบบ

2. การนำเข้าข้อมูลภาพ

หลังจากกำหนดภาพต้นแบบของระบบประมวลผลภาพ การนำเข้าข้อมูลภาพเพื่อใช้เป็นภาพเปรียบเทียบกับภาพต้นแบบในการหาตำแหน่งของนกพิราบบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์นั้น ภาพที่นำเข้าต้องเป็นภาพที่ถ่ายจากมุมและระยะห่างเดียวกันกับภาพต้นแบบ ผู้วิจัยเลือกใช้รูปแบบคำสั่งเปิดกล่องตอบโต้อัตโนมัติ ทำให้สามารถเลือกแหล่งที่มาของภาพเปรียบเทียบได้ง่ายและสะดวก โดยนำเข้าข้อมูลภาพนามสกุล .jpg หากไม่พบไฟล์ภาพระบบสามารถเลือกไฟล์ที่ซ่อนในโฟลเดอร์ต่างๆ ได้มีรูปแบบคำสั่ง

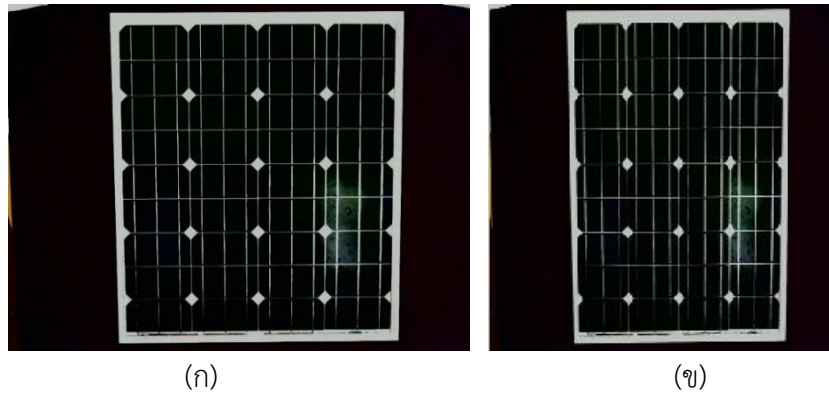
```
[img path] = uigetfile('*.*','IMPORT');
if img ~= 0
    BW1 = imread(strcat(path,img));
if(~isdeployed)
    cd(fileparts(which(mfilename)));
end
เมื่อ BW1 เป็นภาพเปรียบเทียบที่นำเข้าในระบบจากกล่องตอบโต้อัตโนมัติ
```

- ▶ การนำเข้าไฟล์ภาพนามสกุล .jpg จากไฟล์ภาพ
- ▶ มีการนำเข้าไฟล์ภาพ
- ▶ แสดงภาพจากไฟล์นั้น
- ▶ หากไม่พบไฟล์ภาพ
- ▶ ระบบเปิดไฟล์ซ่อนในโฟลเดอร์ต่างๆ

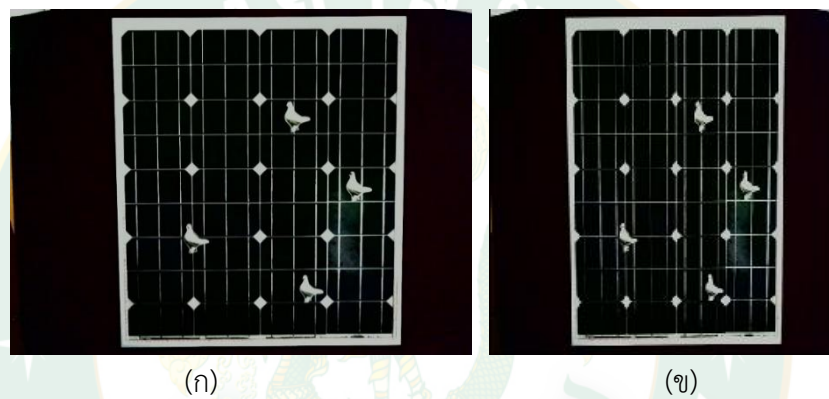
3. การปรับขนาดภาพ

เมื่อนำเข้าข้อมูลภาพแล้ว ต้องมีการปรับขนาดภาพ ซึ่งภาพที่ทำการปรับขนาดนั้นผู้วิจัยปรับขนาดทั้งภาพต้นแบบและภาพที่นำเข้ามาเปรียบเทียบเพื่อให้ได้ภาพที่มีขนาดเท่ากัน สามารถบอกตำแหน่งได้เป็นตำแหน่งเดียวกัน โดยขนาดภาพที่ผู้วิจัยกำหนดคือ ด้านกว้าง 450 pixels ด้านยาว 300 pixels ดังภาพที่ 39 (ก) เป็นภาพต้นแบบขนาดเดิม และ (ข) ภาพต้นแบบที่ทำการปรับขนาดภาพแล้ว ภาพที่ 40 (ก) เป็นภาพเปรียบเทียบขนาดเดิม และ (ข) ภาพเปรียบเทียบที่ทำการปรับขนาดภาพแล้ว โดยมีรูปแบบคำสั่ง

```
BW2 = imresize(BW1,[450 300]);
BW5 = imresize(BW4,[450 300]);
เมื่อ BW2 เป็นภาพเปรียบเทียบที่ทำการปรับขนาดแล้ว
BW5 เป็นภาพต้นแบบที่ทำการปรับขนาดแล้ว
```

ภาพที่ 39 (ก) ภาพต้นแบบ และ (ข) ภาพต้นแบบที่ผ่านการปรับขนาด



ภาพที่ 40 (ก) ภาพเปรียบเทียบ และ (ข) ภาพเปรียบเทียบที่ผ่านการปรับขนาด

4. การแปลงภาพระดับสี เป็นภาพระดับเทา

การแปลงภาพสีให้เป็นภาพระดับเทา ดังแสดงในภาพที่ 41 และภาพที่ 42 โดยมีรูปแบบคำสั่ง

BW3 = rgb2gray(BW2);

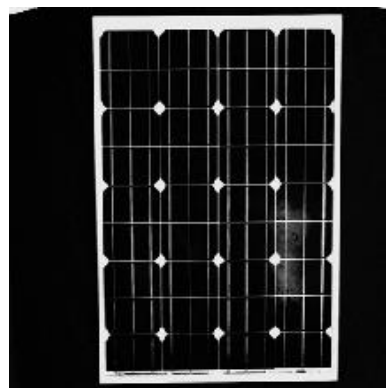
BW6 = rgb2gray(BW5);

เมื่อ BW3 เป็นภาพเปรียบเทียบที่ปรับขนาดแล้วแปลงเป็นภาพระดับเทา

BW6 เป็นภาพต้นแบบที่ปรับขนาดแล้วแปลงเป็นภาพระดับเทา

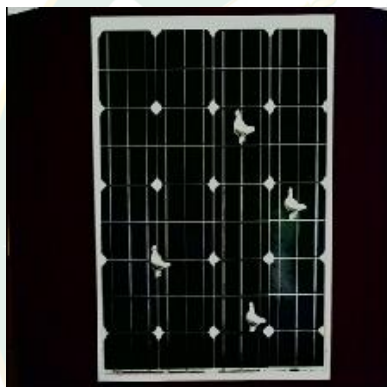


(ก)

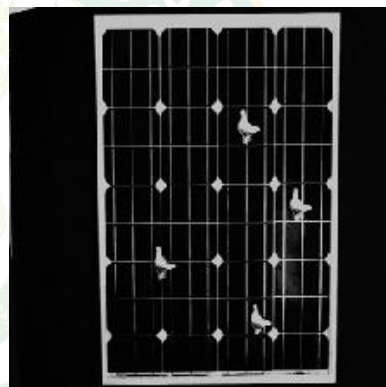


(ข)

ภาพที่ 41 (ก) ภาพต้นแบบ และ (ข) ภาพต้นแบบที่ผ่านการแปลงระดับสีเทา



(ก)



(ข)

ภาพที่ 42 (ก) ภาพเปรียบเทียบ และ (ข) ภาพเปรียบเทียบที่ผ่านการแปลงระดับสีเทา

5. การลบส่วนที่ซ้ำกันของภาพ

หลังจากกระบวนการแปลงภาพ กระบวนการถัดมาเป็นกระบวนการลบส่วนที่ซ้ำกันของภาพ ออกเพื่อให้ระบบประมวลผลหาจุดแตกต่างที่เกิดขึ้นระหว่างภาพต้นแบบกับภาพเปรียบเทียบ แสดงผลภาพที่แตกต่าง โดยมีรูปแบบคำสั่ง

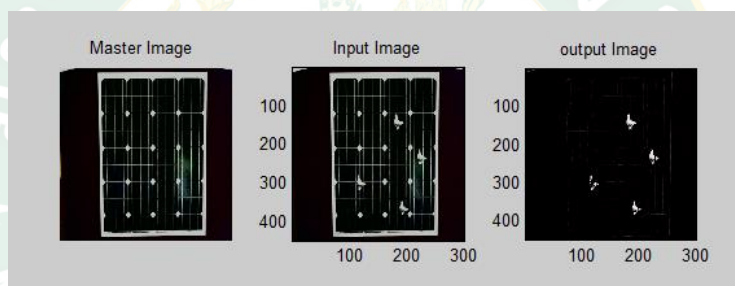
$$BW7 = \text{imsubtract}(BW3, BW6);$$

เมื่อ $BW7$ เป็นการลบส่วนที่ซ้ำกันระหว่างภาพต้นแบบกับภาพเปรียบเทียบ

เมื่อระบบประมวลผลภาพสามารถหาส่วนที่แตกต่างระหว่างภาพต้นแบบและภาพเปรียบเทียบแล้ว ส่วนของหน้าต่างแสดงผล ได้กำหนดให้ภาพแรกของหน้าต่างแสดงผลเป็นภาพ

ต้นแบบ เรียกว่า Master Image ถัดมาเป็นภาพเปรียบเทียบ เรียกว่า Input Image และสุดท้ายเป็นภาพที่ผ่านกระบวนการลบส่วนที่ซ้ำกันของภาพ แสดงเพียงส่วนที่แตกต่างเท่านั้น เรียกว่า Output Image ดังภาพที่ 43 และมีรูปแบบคำสั่ง

```
figure(1);
subplot(1, 3, 1); imshow(BW5);colormap(gray(256)); title('Master Image '); axis
square;
subplot(1, 3, 2); imagesc(BW2); colormap(gray(256)); title('Input Image'); axis
square;
subplot(1, 3, 3); imagesc(BW7); colormap(gray(256)); title('output Image'); axis
square;
```



ภาพที่ 43 หน้าต่างแสดงผลจากระบบประมวลผลภาพ

6. การหาขอบของภาพ

ระบบประมวลผลจำแนกขอบภาพและขอบเขตภายนอก ภายใน จำนวนของวัตถุที่ตรวจพบ จากนั้นให้หน้าต่างแสดงผลภาพค้างไว้ เพื่อใช้ภาพในกระบวนการถัดไป โดยมีรูปแบบคำสั่ง

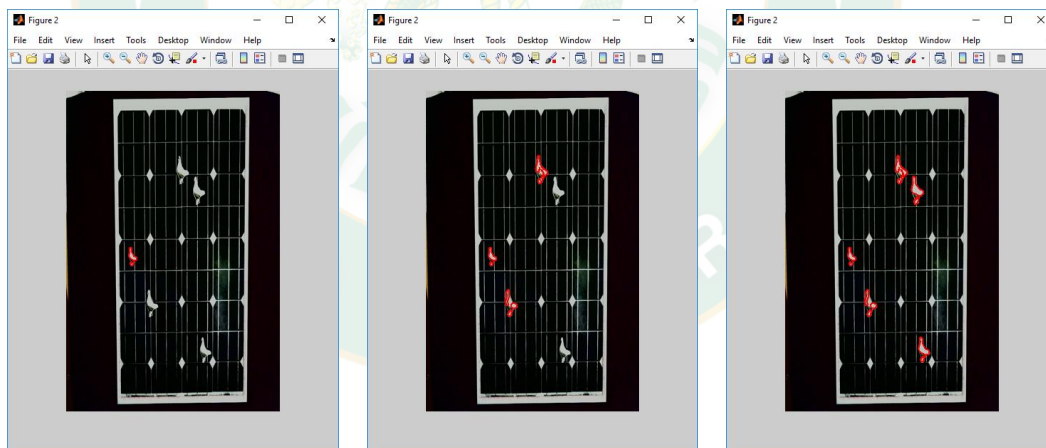
```
[BB,thr] = edge(BW7,'canny',0.5);           ► การหาขอบภาพ
[B,L,N,A] =bwboundaries(BB);               ► การหาจำนวนขอบของวัตถุ
figure; imshow(BW2); hold on;              ► การแสดงภาพค้างไว้ที่หน้าต่างใหม่
```

เมื่อ B เป็นวัตถุที่มีขอบเขตภายนอก ภายใน
 L เป็นแถวและคอลัมน์ของตำแหน่งวัตถุที่มีขอบเขต
 N เป็นจำนวนวัตถุที่ตรวจพบ
 A เป็นการเก็บข้อมูลเมทริกในการจัดเก็บเอ็ดจ์

7. การตีขอบนกพิราบบนภาพ

ระบบประมวลผลภาพทำการแสดงภาพที่ผ่านกระบวนการหาจำนวนขอบของภาพจากกระบวนการทำงานก่อนหน้า ดังนั้นในส่วนนี้ จึงเป็นรูปแบบคำสั่งระบายนขอบที่ได้จากการหาขอบที่ผ่านมาซ้ำๆ จนสามารถตีขอบนกพิราบได้ครบตามจำนวนที่ตรวจพบ ดังแสดงในภาพที่ 44 ระบบประมวลผลภาพจะเริ่มตีขอบภาพนกพิราบทีละตัว และย้อนกลับไปปฏิบัติคำสั่งตีขอบภาพซ้ำอีกครั้งจนครบตามจำนวนนกที่ปรากฏ โดยระบบจากเริ่มตีขอบภาพจากบนลงล่าง และจากซ้ายไปขวา มีรูปแบบคำสั่ง

```
for k=1:length(B),
    if(~sum(A(k,:)))
        boundary = B{k};
        plot(boundary(:,2),...
            boundary(:,1),'r','LineWidth',2);
    end
end
```

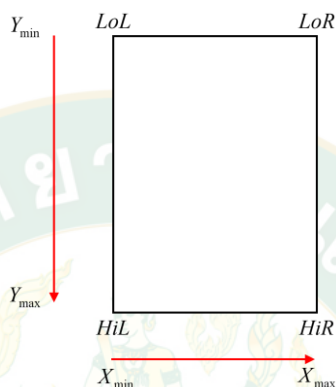


ภาพที่ 44 การตีขอบภาพของระบบประมวลผลภาพ

8. การหาจุดอ้างอิงของภาพ

เนื่องจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีรูปทรงเป็นเรขาคณิตแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้า ในการหาตำแหน่งของนกพิราบบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยระบบประมวลผลภาพนั้น จำเป็นต้องกำหนดจุดอ้างอิงให้กับภาพก่อนจึงจะสามารถหาตำแหน่งนกพิราบเทียบกับจุดอ้างอิงแต่ละจุดได้ ภาพที่ได้จากโปรแกรมประมวลผลภาพนี้ แกน x ค่าน้อยสุดจะอยู่ทางด้านซ้ายและค่ามากที่สุดจะอยู่ทางด้านขวา แต่

ในแกน y ค่าน้อยสุดจะอยู่ด้านบนและค่ามากที่สุดจะอยู่ด้านล่างของรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ผู้วิจัยได้กำหนดจุดสำหรับทั้ง 4 มุมของสี่เหลี่ยมผืนผ้าและแทนแต่ละมุมด้วยตัวแปรที่ต่างกันตามลักษณะแกน x และแกน y ได้แก่ มุมซ้ายบนของรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า แทนด้วย LoL, มุมขวาบนของรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า แทนด้วย LoR, มุมซ้ายล่างของรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า แทนด้วย HiL, มุมขวาล่างของรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า แทนด้วย HiR แสดงดังภาพที่ 45



ภาพที่ 45 แสดงตำแหน่งของมุมต่างๆ จากคำสั่งการหามุมของโปรแกรม

โดยระบบประมวลผลภาพแสดงค่าทั้ง 4 มุมของสี่เหลี่ยมผืนผ้า มีรูปแบบคำสั่ง

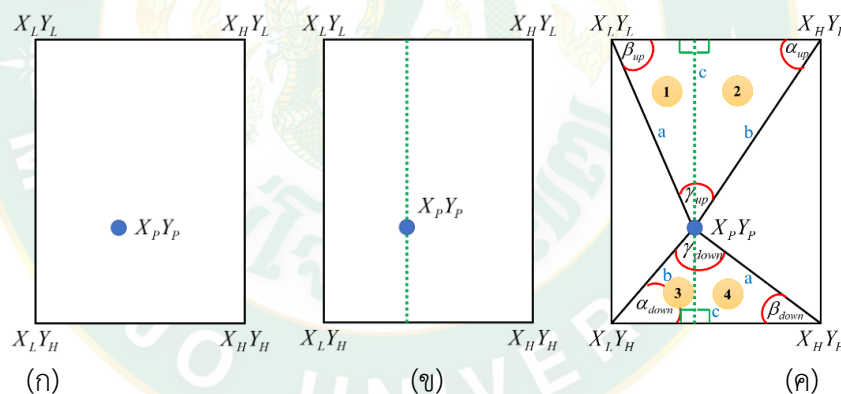
```
CXmin = min(C(:,1)); %find X value min
CXmax = max(C(:,1)); %find X value max
CYmin = min(C(:,2)); %find Y value mim
CYmax = max(C(:,2)); %find Y value max
LoL = [CXmin CYmin];
LoR = [CXmax CYmin];
HiL = [CXmin CYmax];
HiR = [CXmax CYmax];
```

เมื่อ CXmin เป็นจุดค่าต่ำสุดของแกน x
 CXmax เป็นจุดค่าสูงสุดของแกน x
 CYmin เป็นจุดค่าต่ำสุดของแกน y
 CYmax เป็นจุดค่าสูงสุดของแกน y

LoL	เป็นจุดค่าต่ำสุดของแกน x และแกน y (มุมซ้ายบน)
LoR	เป็นจุดค่าสูงสุดของแกน x และจุดค่าต่ำสุดของแกน y (มุมขวาบน)
HiL	เป็นจุดค่าต่ำสุดของแกน x และจุดค่าสูงสุดของแกน y (มุมซ้ายล่าง)
HiR	เป็นจุดค่าสูงสุดของแกน x และแกน y (มุมขวาล่าง)

9. การหาตำแหน่งของวัตถุ

กำหนดให้ $X_p Y_p$ เป็นพิกัดตำแหน่งของวัตถุที่ตรวจพบบนภาพ จากนั้นหาพิกัดตั้งฉากระหว่างวัตถุที่ตรวจพบบนภาพกับแนวแกน x และแกน y ของขอบภาพ (ขอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์) ใช้พิกัด X_p เป็นจุดอ้างอิงในการหาความยาวของเส้นในแนวแกน x ด้านซ้ายและด้านขวา ใช้พิกัด Y_p เป็นจุดอ้างอิงในการหาความยาวของเส้นในแนวแกน y ด้านบนและด้านล่าง หาความยาวเส้นทะแยงมุมจากวัตถุถึงทั้ง 4 มุม ได้รูปสามเหลี่ยมมุมฉาก 4 รูป จากนั้นใช้ทฤษฎีบทพีทาโกรัสหาความยาวเส้นทะแยงมุมจากตำแหน่งวัตถุที่ตรวจพบ บอกตำแหน่งแต่ละมุม ซึ่งแทนพิกัดของวัตถุที่ตรวจพบได้ ดังแสดงในภาพที่ 46



ภาพที่ 46 การหาตำแหน่งของวัตถุบนภาพโดยความสัมพันธ์รูปสามเหลี่ยมในรูปสี่เหลี่ยม
(ก) ตำแหน่งวัตถุ $X_p Y_p$ บนสี่เหลี่ยมผืนผ้า (ข) สร้างจุด cc ของวัตถุ และ (ค) รูปสามเหลี่ยมที่เกิดขึ้น

จากกระบวนการตีขอบวัตถุนี้ จุดที่ได้จากภาพจะมีจำนวนมาก ทำให้จุด $X_p Y_p$ ที่เกิดขึ้นจึงมีจำนวนมากตามไปด้วย การระบุตำแหน่ง $X_p Y_p$ จะเกิดความผิดพลาด ดังนั้น ผู้วิจัยจึงใช้คำสั่งหาค่า $X_p Y_p$ เฉลี่ยในแนวแกน x และแกน y เพื่อให้ระบบประมวลผลแสดงจุด $X_p Y_p$ ของข้อมูลที่เกาะกลุ่มกันเพียงจุดเดียว

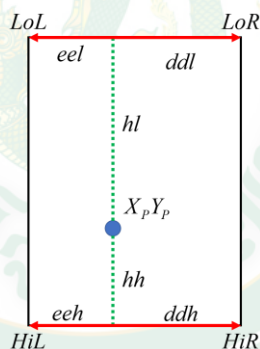
```

for k=1:N,
    [r , c] = find(L == k);
    rbar = mean(r);
    cbar = mean(c);
    Point(:,1) = rbar;      % find point xy center
    Point(:,2) = cbar;

```

เมื่อ Point(:,1) เป็นค่าเฉลี่ยในแนวแกน x
 Point(:,2) เป็นค่าเฉลี่ยในแนวแกน y

ผู้วิจัยได้นำวิธีการหาตำแหน่งของวัตถุโดยความสัมพันธ์รูปสามเหลี่ยมในรูปสี่เหลี่ยม ใช้กับระบบประมวลผลภาพ โดยหลังจากที่ระบบประมวลผลภาพได้จุด $X_p Y_p$ ของนกพิราบบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์แล้ว กระบวนการถัดมาคือการหาความยาวระยะห่างจากพิกัดนกพิราบถึงเส้นขอบภาพทั้ง 4 ด้าน และกำหนดตัวแปรแทนความยาวด้านแต่ละด้าน ดังแสดงในภาพที่ 47



ภาพที่ 47 ความยาวเส้นตั้งฉากจากวัตถุถึงแนวแกน x และแกน y

เมื่อกำหนดจุดและสัญลักษณ์แทนความยาวด้านแต่ละด้านแล้ว จึงใช้รูปแบบคำสั่งต่อไปนี้เพื่อหาความยาวแต่ละเส้น

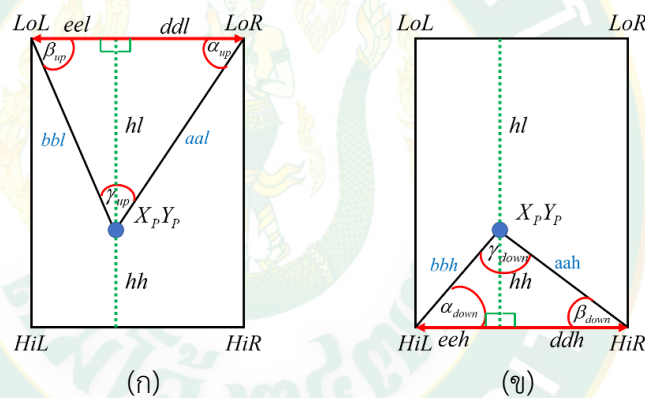
```

eel = Point(:,1) - LoL(:,1);    % distance between center Point to left edge
ddl = LoR(:,1) - Point(:,1);    % distance between center Point to right edge
hl = Point(:,2) - CYmin;        % distance between center Point to low edge
eeh = Point(:,1) - HiL(:,1);    % distance between center Point to left edge
ddh = HiR(:,1) - Point(:,1);    % distance between center Point to right edge
hh = CYmax - Point(:,2);        % distance between center Point to high edge

```


เมื่อ	eel	เป็นระยะห่างระหว่างวัตถุในแนวแกน x ถึงมุมซ้ายบนของเส้นขอบ
	ddl	เป็นระยะห่างระหว่างมุมขวาบนของเส้นขอบ ถึงวัตถุในแนวแกน x
	hl	เป็นระยะห่างระหว่างวัตถุในแนวแกน y ถึงจุดที่ y มีค่าน้อยสุด
	eeh	เป็นระยะห่างระหว่างวัตถุในแนวแกน x ถึงมุมซ้ายล่างของเส้นขอบ
	ddh	เป็นระยะห่างระหว่างมุมขวาล่างของเส้นขอบ ถึงวัตถุในแนวแกน x
	hh	เป็นระยะห่างจากจุดที่ y มีค่ามากที่สุด ถึงวัตถุในแนวแกน y

การหาความยาวเส้นทแยงมุมและมุมภายในของสามเหลี่ยมมุมฉากที่สร้างขึ้น เพื่อบอกตำแหน่งนกพิราบบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ แบ่งสามเหลี่ยมออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่สามเหลี่ยมด้านบนและสามเหลี่ยมด้านล่าง ดังแสดงในภาพที่ 48 (ก) มุมภายในของสามเหลี่ยมด้านบนเป็นมุม α_{up} β_{up} γ_{up} และ (ข) มุมภายในของสามเหลี่ยมด้านล่างเป็นมุม α_{down} β_{down} และ γ_{down}



ภาพที่ 48 การหามุมภายในสามเหลี่ยมมุมฉาก (ก) ด้านบน และ (ข) ด้านล่าง

รูปแบบคำสั่งที่ใช้สำหรับหาค่าตำแหน่งนกพิราบบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยระบบประมวลผลภาพ ใช้การคำนวณความยาวเส้นทแยงมุมดังสมการที่ 8 ได้แก่ $a^2 + b^2 = c^2$ เมื่อต้องการหาความยาวด้าน c จะได้ $c = \sqrt{a^2 + b^2}$ และการหาค่ามุมภายในรูปสามเหลี่ยม ใช้สมการที่ 12 ได้แก่

$$\frac{a}{\sin \alpha} = \frac{b}{\sin \beta} = \frac{c}{\sin \gamma}$$

เมื่อต้องการหามุม α จะได้ $\alpha = \sin^{-1}\left(\frac{a}{c}\right)$

หามุม β จะได้ $\beta = \sin^{-1}\left(\frac{b}{c}\right)$

หามุม γ จะได้ $\gamma = 180 - (\alpha + \beta)$

สำหรับสามเหลี่ยมด้านบน กำหนดความยาวด้าน c แทนด้วยคำสั่งสัญลักษณ์ bb_l , aa_l ของสามเหลี่ยมด้านบนซ้ายและขวา ความยาวด้าน a , b แทนด้วยคำสั่งสัญลักษณ์ ee_l , hl ตามลำดับ มีรูปแบบคำสั่งดังต่อไปนี้

$bb_l = \sqrt{ee_l^2 + hl^2};$ ▶ ความยาวเส้นทแยงมุมสามเหลี่ยมด้านบนซ้าย

$\alpha_{low} = \text{asind}(hl/bb_l);$ ▶ มุม α ของสามเหลี่ยมด้านบน

$aa_l = \sqrt{dd_l^2 + hl^2};$ ▶ ความยาวเส้นทแยงมุมสามเหลี่ยมด้านบนขวา

$\beta_{low} = \text{asind}(hl/aa_l);$ ▶ มุม β ของสามเหลี่ยมด้านบน

$\gamma_{low} = 180 - (\alpha_{low} + \beta_{low});$

▶ มุม γ ของสามเหลี่ยมด้านบน

เมื่อ bb_l เป็นความยาวเส้นทแยงมุมจากวัตถุถึงมุมซ้ายบนของเส้นขอบ

α_{low} เป็นมุม α ของรูปสามเหลี่ยมด้านบน

aa_l เป็นความยาวเส้นทแยงมุมจากวัตถุถึงมุมขวาบนของเส้นขอบ

β_{low} เป็นมุม β ของรูปสามเหลี่ยมด้านบน

γ_{low} เป็นมุม γ ของรูปสามเหลี่ยมด้านบน

สามเหลี่ยมด้านล่าง กำหนดความยาวด้าน c แทนด้วยคำสั่งสัญลักษณ์ bb_h , aa_h ของสามเหลี่ยมด้านล่างซ้ายและขวา ความยาวด้าน a , b แทนด้วยคำสั่งสัญลักษณ์ ee_h , hh ตามลำดับ มีรูปแบบคำสั่งดังต่อไปนี้

$bb_h = \sqrt{ee_h^2 + hh^2};$ ▶ ความยาวเส้นทแยงมุมสามเหลี่ยมด้านล่างซ้าย

$\alpha_{upper} = \text{asind}(hh/bb_h);$ ▶ มุม α ของสามเหลี่ยมด้านล่าง

$aa_h = \sqrt{dd_h^2 + hh^2};$ ▶ ความยาวเส้นทแยงมุมสามเหลี่ยม

ด้านล่างขวา

$\beta_{upper} = \text{asind}(hh/aa_h);$ ▶ มุม β ของสามเหลี่ยมด้านบน

$\gamma_{upper} = 180 - (\alpha_{upper} + \beta_{upper});$

▶ มุม γ ของสามเหลี่ยมด้านบน

เมื่อ	bbh	เป็นความยาวเส้นทแยงมุมจากวัตถุถึงมุมซ้ายล่างของเส้นขอบ
	alpha_upper	เป็นมุม α ของรูปสามเหลี่ยมด้านล่าง
	aah	เป็นความยาวเส้นทแยงมุมจากวัตถุถึงมุมขวาล่างของเส้นขอบ
	beta_upper	เป็นมุม β ของรูปสามเหลี่ยมด้านล่าง
	gramma_upper	เป็นมุม γ ของรูปสามเหลี่ยมด้านล่าง

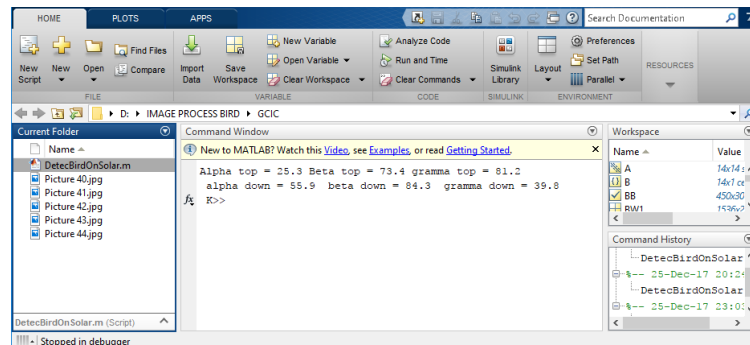
10. การแสดงค่าตำแหน่งของนกพิราบ

รูปแบบคำสั่งเพื่อให้ระบบประมวลผลภาพแสดงผลที่ได้จากการทำงานระบบในหน้าต่างแสดงผล (Command Window) ใช้รูปแบบคำสั่งต่อไปนี้

```
caption = sprintf('Alpha top = %.1f Beta top = %.1f gamma top = %.1f\n
alpha down = %.1f beta down = %.1f gamma down = %.1f \n', alpha_low,
beta_low, gamma_low, alpha_upper, beta_upper, gamma_upper);
fprintf(caption, 'FontSize', 10);
```

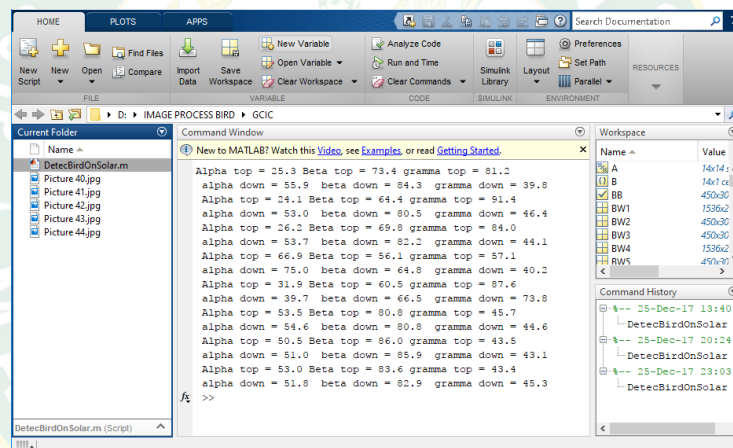
เมื่อ	Alpha top	เป็นมุม α รูปสามเหลี่ยมด้านบน
	Beta top	เป็นมุม β รูปสามเหลี่ยมด้านบน
	gramma top	เป็นมุม γ รูปสามเหลี่ยมด้านบน
	alpha down	เป็นมุม α รูปสามเหลี่ยมด้านล่าง
	beta down	เป็นมุม β รูปสามเหลี่ยมด้านล่าง
	gramma down	เป็นมุม γ รูปสามเหลี่ยมด้านล่าง

ค่าของมุมทั้ง 6 มุม ที่แสดงบนหน้าต่างแสดงผล นับเป็น 1 ชุดข้อมูล แทนค่าของตำแหน่งนกพิราบบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ จำนวน 1 ตำแหน่ง ดังภาพที่ 49



ภาพที่ 49 หน้าต่างแสดงผลระบบพบนกพิราบ 1 ตัวแห่ง

เมื่อตำแหน่งนกพิราบบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีหลายตำแหน่ง (นกหลายตัว) ค่าที่แสดงผลในหน้าต่างแสดงผล จะมีหลายค่า ดังภาพที่ 50



ภาพที่ 50 หน้าต่างแสดงผลระบบพบนกพิราบหลายตำแหน่ง

เพื่อให้ระบบประมวลผลแสดงจุด $X_p Y_p$ ของนกพิราบให้ขึ้นที่หน้าต่างแสดงผลด้วย ผู้วิจัยจึงใช้รูปแบบคำสั่งแสดงสัญลักษณ์ ▲ และ * บนตำแหน่งของนกพิราบที่ตรวจพบบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ใช้รูปแบบคำสั่งต่อไปนี้ และผลของสัญลักษณ์ที่กำหนดแสดงในภาพที่ 51

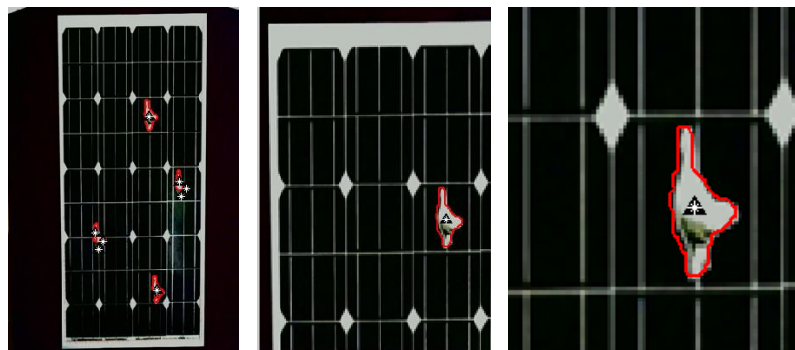
```
plot(cbar,rbar,'Marker','^','MarkerEdgeColor','k',...
```

```
'MarkerFaceColor','k','MarkerSize',10)
```

```
plot(cbar,rbar,'Marker','*','MarkerEdgeColor','w')
```

end

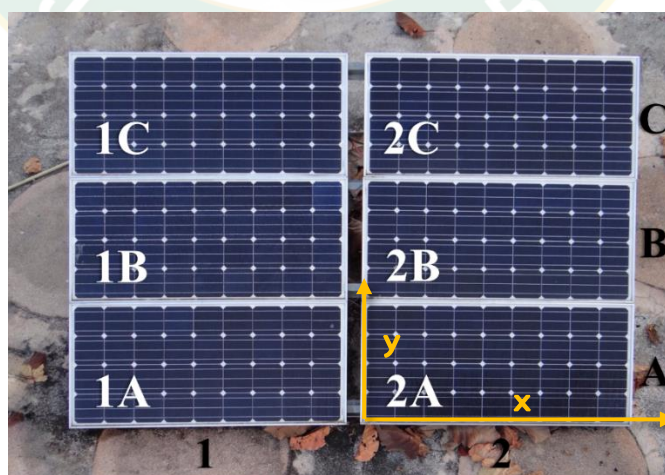
end



ภาพที่ 51 สัญลักษณ์ ▲ และ * บนภาพที่พบวัตถุแปลกปลอม

ระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ในการทดสอบ

ในการทดสอบความถูกต้องของระบบ งานวิจัยนี้ใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยว (Monocrystalline) กำลังการผลิต 140 W มีขนาดกว้าง 670 มิลลิเมตร ยาว 1,476 มิลลิเมตร และหนา 35 มิลลิเมตร จำนวน 6 แผง จัดเรียงแบบเมทริกซ์ 3x2 กำหนดชื่อแถวจากล่างขึ้นบนคือ A, B และ C กำหนดชื่อหลักจากซ้ายไปขวาคือ 1 และ 2 เพื่อให้สะดวกต่อการบอกตำแหน่งว่าวัตถุอยู่บนแผงเซลล์แสงอาทิตย์แผงใดจากแผงทั้งหมด ค่าระยะห่างของนกเทียบกับกรอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ใช้กรอบแผงด้านซ้ายและด้านล่างเป็นหลัก ทำการวัดจากด้านซ้ายไปขวาและวัดจากล่างขึ้นบน บอกตำแหน่งนกที่ตรวจพบด้วยพิกัดในแกน (x,y) โดยมีระยะเท่ากับความกว้างและความยาวของแผงจริง ดังแสดงในภาพที่ 52



ภาพที่ 52 จุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ทดสอบ

บทที่ 4

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ผลการวิจัยเพื่อตรวจทานกบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคาโดยใช้การประมวลผลภาพ ผู้วิจัยได้แบ่งหัวข้อออกเป็น 5 หัวข้อ และรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. ผลของการจำแนกกับสิ่งไม่มีชีวิต
2. ผลการจำแนกจากสัตว์ชนิดอื่น
3. ผลการทดสอบหาตำแหน่งนกพิราบจากระบบประมวลผลภาพ
4. ผลการทดสอบระบบประมวลผลภาพกับชุดแผงเซลล์แสงอาทิตย์
5. การสูญเสียกำลังการผลิตเนื่องจากการบังเงา

ผลของการจำแนกกับสิ่งไม่มีชีวิต

การจำแนกกับสิ่งไม่มีชีวิตใช้การประมวลผลภาพด้วยวิธีการนับค่าพิกเซลของวัตถุ เนื่องจากนกมีการเคลื่อนไหวทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงปริมาณพิกเซล ซึ่งมีความแตกต่างมากกว่าใบไม้ที่มีการเปลี่ยนแปลงปริมาณพิกเซลน้อยกว่าเมื่อเทียบกับภาพเดิม เปรียบเทียบจำนวน 2 รอบ เพื่อความถูกต้องในการตรวจหาวัตถุแปลกปลอมบนแผงและสามารถคัดแยกว่าเป็นนกหรือใบไม้

กำหนดให้	Δ_{pixel}	คือ ผลต่างของจำนวนพิกเซล โดยที่ ค่ามาก-ค่าน้อย
	\bar{X}_{pixel}	คือ ค่าเฉลี่ยของจำนวนพิกเซลจากข้อมูลทั้งหมดที่ทดสอบในแต่ละตัวอย่าง
	$\text{Ratio}_{\text{pixel}}$	คือ อัตราส่วนระหว่างผลต่างและค่าเฉลี่ยของจำนวนพิกเซล

เมื่อค่า $\text{Ratio}_{\text{pixel}}$ มีค่าเข้าใกล้ 0 ถือว่าตัวอย่างที่ทดสอบนั้นเป็นสิ่งไม่มีชีวิต

จากการทดสอบระบบประมวลผลภาพเพื่อจำแนกนก (สิ่งมีชีวิต) กับใบไม้ (สิ่งไม่มีชีวิต) ใช้นกจำลองเหมือนจริง 3 ขนาด นกแต่ละขนาดมีข้อมูลภาพในการทดสอบ 37 ภาพข้อมูล ใบไม้ 3 ขนาด แต่ละใบมีข้อมูลภาพในการทดสอบ 4 ภาพข้อมูล รวมทั้งสิ้น 123 ภาพข้อมูล ดังแสดงในตารางที่ 2 ผลการทดสอบหาจำนวนพิกเซลของวัตถุตัวอย่างแต่ละชนิด

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบจำนวนพิกเซลวัตถุตัวอย่าง

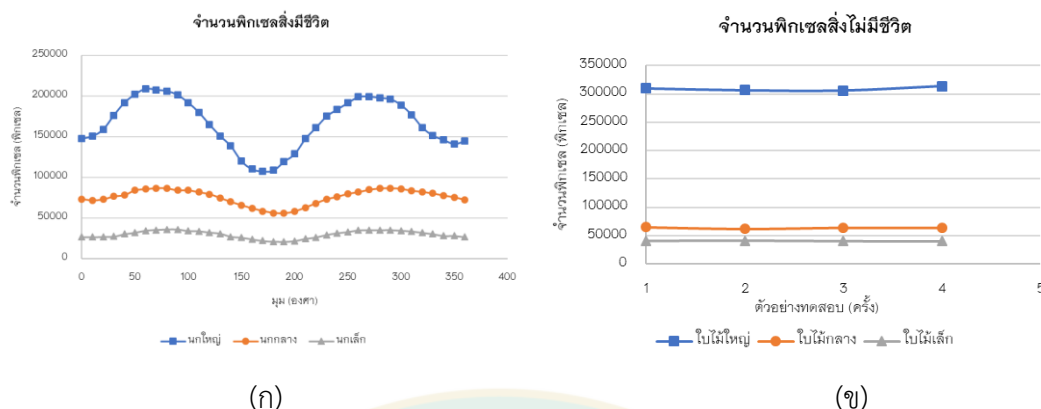
ตัวอย่าง ทดสอบ	ปริมาณพื้นที่ของวัตถุในภาพทดสอบ (พิกเซล)				
	ค่ามากที่สุด	ค่าน้อยสุด	Δ_{pixel}	\bar{x}_{pixel}	$\text{Ratio}_{\text{pixel}}$
นกใหญ่	209418.0	107764.0	101654.0	158591.0	0.64
นกกกลาง	86985.0	55798.0	31187.0	71391.5	0.44
นกเล็ก	36143.0	21127.0	15016.0	28635.0	0.52
ใบไม้ใหญ่	305652.0	304008.0	861.5	304830.0	0.01
ใบไม้กลาง	63898.0	62605.0	650.3	63251.5	0.02
ใบไม้เล็ก	41024.0	40206.0	402.0	40615.0	0.02

จากการศึกษาข้อมูลวิดีโอของ Asian animals Daily (Asian animals Daily, 2017) เก็บภาพข้อมูลได้ 21 ภาพข้อมูล ในเวลา 20 วินาที และข้อมูลวิดีโอของ PE Daily HD (PE Daily HD, 2017) เก็บภาพข้อมูลได้ 9 ภาพข้อมูล ในเวลา 7 วินาที รวมทั้งสิ้น 30 ภาพข้อมูล ตารางที่ 3 แสดงผลการทดสอบหาจำนวนพิกเซลของนกจริง

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบจำนวนพิกเซลนกจริง

ตัวอย่าง ทดสอบ	ปริมาณพื้นที่ของวัตถุในภาพทดสอบ (พิกเซล)				
	ค่ามากที่สุด	ค่าน้อยสุด	Δ_{pixel}	\bar{x}_{pixel}	$\text{Ratio}_{\text{pixel}}$
นกจริง 1	83904.0	55188.0	28716.0	69546.0	0.41
นกจริง 2	11823.0	1081.0	10742.0	6452.0	1.66

จากผลการทดสอบแสดงค่าจำนวนพิกเซลของนกจำลองเสมือนจริง ใบไม้ และนกจริงจากวิดีโอในตารางที่ 2 และ 3 พบว่าหากเป็นสิ่งมีชีวิตจะมีอัตราส่วนระหว่างค่าส่วนต่างกับค่าเฉลี่ยของจำนวนพิกเซลมากกว่า 0.41 เมื่อเปรียบเทียบกับสิ่งไม่มีชีวิตพบว่ามีค่าอัตราส่วนน้อยกว่า 0.02 ซึ่งถือว่าแตกต่างกันมาก จึงสามารถใช้ค่าอัตราส่วนนี้เป็นตัวบอกความแตกต่างระหว่างสิ่งมีชีวิตกับสิ่งไม่มีชีวิตได้



ภาพที่ 53 การทดสอบหาจำนวนพิกเซลของวัตถุตัวอย่าง (ก) สิ่งมีชีวิต และ (ข) สิ่งไม่มีชีวิต

จากภาพที่ 53 เป็นกราฟแสดงจำนวนพิกเซลของสิ่งมีชีวิตและไม่มีชีวิตเทียบกับจำนวนครั้งที่ทำการทดสอบโดยแกน y เป็นจำนวนพิกเซลที่นับได้ และแกน x เป็นองศาหรือครั้งที่จับภาพ ภาพที่ 53 (ก) เป็นกราฟจำนวนพิกเซลสิ่งมีชีวิตคือ นกจำลองทั้ง 3 ขนาด โดยหมุนนกจำลองทีละ 10 องศา ตั้งแต่ 0-360 องศา เริ่มต้นภาพข้อมูลที่ 0 องศา นกหันหน้าตรงเข้าฉากถ่ายภาพ จากการหมุนจนครบ 360 องศา จำนวนพิกเซลของข้อมูลจะขึ้น ลง ตามพื้นที่ที่มองเห็นตัวนก ซึ่งถือว่าเป็นการเคลื่อนไหวที่เป็นไปได้ของนก ภาพที่ 53 (ข) เป็นกราฟจำนวนพิกเซลสิ่งไม่มีชีวิตคือใบไม้ 3 ขนาด ที่จำนวนพิกเซลมีค่าใกล้เคียงกันแม้ว่าจะมีการหมุนใบไม้

การทดสอบหาจำนวนพิกเซลของสิ่งมีชีวิตและไม่มีชีวิตโดยการเปรียบเทียบกับภาพก่อนหน้าจากการทดสอบนกจำลองจำนวน 3 ขนาด และนกจริงจากวิดีโอ 2 คลิป พบว่าสิ่งมีชีวิตนั้นมีการเคลื่อนไหว ไม่ว่าจะเป็นการหัวซ้าย-ขวา การหมุนตัว ทำให้มีจำนวนของพิกเซลไม่เท่ากันในแต่ละท่วงท่าของการเคลื่อนไหว ยิ่งนกมีขนาดใหญ่จำนวนพิกเซลก็จะมีค่าส่วนต่างมาก ถ้านกมีขนาดเล็กค่าส่วนต่างจำนวนพิกเซลก็จะน้อยลง แต่ยิ่งมากกว่าใบไม้ซึ่งเป็นสิ่งไม่มีชีวิต การทดสอบใบไม้จำนวน 3 ขนาด พบว่าจำนวนพิกเซลมีค่าใกล้เคียงกันมากแม้ว่าจะมีการหมุนใบไม้ โดยปัจจัยที่ทำให้จำนวนพิกเซลของภาพสิ่งไม่มีชีวิตแตกต่างกันคือเมื่อนำภาพข้อมูลเข้าระบบประมวลผลภาพแสงหรือเงาที่ตกกระทบวัตถุในขณะเก็บข้อมูลภาพมีการเปลี่ยนแปลง ทำให้ผลการนับจำนวนพิกเซลแตกต่างจากภาพก่อนหน้าเล็กน้อย ทั้งนี้จากค่าพิกเซลที่เปลี่ยนไปสามารถคำนวณหาอัตราส่วนระหว่างค่าส่วนต่างกับค่าเฉลี่ยของจำนวนพิกเซล หากค่าอัตราส่วนนี้มีค่ามากแสดงว่าชุดข้อมูลภาพที่นำเข้าประมวลผลเป็นชุดข้อมูลภาพของสิ่งมีชีวิต หากค่าอัตราส่วนนี้มีค่าน้อยมากจนเกือบเป็นศูนย์ แสดงว่าชุดข้อมูลภาพที่นำเข้าประมวลผลเป็นชุดข้อมูลภาพของสิ่งไม่มีชีวิต

ผลการจำแนกนกพิราบจากสัตว์ชนิดอื่น

การจำแนกนกพิราบจากสัตว์อื่นต้องทำการหาข้อมูลฮิสโทแกรมอาร์จีบีอ้างอิงก่อน จึงจะสามารถเปรียบเทียบกับข้อมูลฮิสโทแกรมอาร์จีบีของกลุ่มตัวอย่าง การเปรียบเทียบข้อมูลนั้นจะใช้ข้อมูลนกพิราบ 3 ฮิสโทแกรม ถ้าข้อมูลของกลุ่มตัวอย่างฮิสโทแกรมอาร์จีบี ทั้ง 3 อยู่ในเกณฑ์ของฮิสโทแกรมอาร์จีบีอ้างอิง ทั้ง 3 แสดงว่าภาพตัวอย่างที่ทดสอบนั้นเป็นนกพิราบ แต่ถ้าข้อมูลกลุ่มตัวอย่างไม่อยู่ในเกณฑ์ของข้อมูลอ้างอิงแสดงว่าเป็นนกหรือสัตว์ชนิดอื่น

1. การหาเกณฑ์ค่าความกว้างของฮิสโทแกรมอ้างอิง

การจำแนกนกพิราบจากสัตว์อื่นใช้วิธีการประเมินภาพนกพิราบ นกต่างชนิด สัตว์อื่น ได้แก่ แมว ลิง และกระรอก ตัวอย่างละ 15 ภาพ รวมเป็น 75 ภาพทดสอบ ใช้คุณลักษณะของสีฮิสโทแกรม อาร์ (R) ฮิสโทแกรม จี (G) และ ฮิสโทแกรม บี (B) สำหรับค่าเฉลี่ยของข้อมูลอาร์จีบี

ตารางที่ 4 เกณฑ์ค่าความกว้างของฮิสโทแกรมของสัตว์แต่ละชนิด

ที่	รายละเอียด	เกณฑ์ของฮิสโทแกรม			ผลรวม
		อาร์ (ΔR_{ref})	จี (ΔG_{ref})	บี (ΔB_{ref})	
1	นกชนิดอื่น	0.19-0.57	0.17-0.52	0.16-0.45	0.52-1.55
2	กระรอก	0.19-0.53	0.19-0.46	0.19-0.45	0.59-1.37
3	นกพิราบ	0.58-1.37	0.61-1.38	0.56-1.50	1.84-4.25
4	แมว	1.49-4.47	1.43-4.48	1.41-4.78	4.33-13.73
5	ลิง	3.31-10.56	3.04-10.06	2.68-9.65	9.03-30.27

เมื่อ	ΔR_{ref}	= เกณฑ์ของฮิสโทแกรมเฉลี่ยจาก $R_{ref(min)}$ ถึง $R_{ref(max)}$
	ΔG_{ref}	= เกณฑ์ของฮิสโทแกรมเฉลี่ยจาก $G_{ref(min)}$ ถึง $G_{ref(max)}$
	ΔB_{ref}	= เกณฑ์ของฮิสโทแกรมเฉลี่ยจาก $B_{ref(min)}$ ถึง $B_{ref(max)}$
	$R_{ref(min)}$	= ฮิสโทแกรมอาร์ เฉลี่ยต่ำสุด
	$R_{ref(max)}$	= ฮิสโทแกรมอาร์ เฉลี่ยสูงสุด
	$G_{ref(min)}$	= ฮิสโทแกรมจี เฉลี่ยต่ำสุด

$G_{ref(max)}$ = ฮิสโทแกรมจี เฉลี่ยสูงสุด

$B_{ref(min)}$ = ฮิสโทแกรมบี เฉลี่ยต่ำสุด

$B_{ref(max)}$ = ฮิสโทแกรมบี เฉลี่ยสูงสุด

การจำแนกนกพิราบจากสัตว์อื่นด้วยการหาค่าความถูกต้องของฮิสโทแกรม อาร์ จี และบี ของสัตว์แต่ละชนิดทั้งหมด 30 ภาพ ได้แก่ นกพิราบ นกชนิดอื่น แมว ลิง และกระรอก โดยแสดงภาพทดสอบ ในภาคผนวก ง จากนั้นหาค่าเฉลี่ยของแต่ละฮิสโทแกรม แล้วนำค่าฮิสโทแกรมที่ได้มาเลือกค่าสูงสุด และต่ำสุด จะได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4 ซึ่งแสดงให้เห็นว่ามีความแตกต่างกันอย่างชัดเจน ค่าของฮิสโทแกรมอาร์ ของนกพิราบ มีค่าอยู่ระหว่าง 0.58-1.37 ห่างจากค่าของฮิสโทแกรมอาร์ ของนกชนิดอื่น กระรอก แมว และลิง ที่มีค่าอยู่ระหว่าง 0.19-0.57, 0.19-0.53, 1.49-4.47 และ 3.31-10.56 ตามลำดับ ค่าของฮิสโทแกรมจี ของนกพิราบมีค่าอยู่ระหว่าง 0.61-1.38 ห่างจากค่าของฮิสโทแกรมจี ของนกชนิดอื่น กระรอก แมว และลิง ที่มีค่าอยู่ระหว่าง 0.17-0.52, 0.19-0.46, 1.43-4.48 และ 3.04-10.06 ตามลำดับ และค่าของฮิสโทแกรมบีของนกพิราบมีค่าอยู่ระหว่าง 0.56-1.50 ห่างจากค่าของฮิสโทแกรมบีของนกชนิดอื่น กระรอก แมว และลิง ที่มีค่าอยู่ระหว่าง 0.16-0.45, 0.19-0.45, 1.41-4.78 และ 2.68-9.65 ตามลำดับ

จากการวิเคราะห์กลุ่มตัวอย่างสามารถจำแนกนกพิราบกับสัตว์ชนิดอื่นได้อย่างชัดเจน เนื่องจากค่าฮิสโทแกรมไม่ได้เท่ากันหรือทับซ้อนกัน อีกทั้งค่าผลรวมของฮิสโทแกรมยังสามารถใช้บอกขนาดของสัตว์ที่นำเข้าทดสอบเรียงจากสัตว์ขนาดเล็กไปยังสัตว์ขนาดใหญ่ ได้แก่ นกชนิดอื่น กระรอก นกพิราบ แมว และลิง โดยการสรุปผลภาพที่นำเข้าด้วยวิธีการหาค่าฮิสโทแกรมอาร์จีบีนั้น จะต้องแสดงผลของค่าฮิสโทแกรมอาร์ ฮิสโทแกรมจี และฮิสโทแกรมบี ที่อยู่ในช่วงของค่าอ้างอิงทั้งหมด จึงจะสามารถสรุปผลของสัตว์แต่ละชนิดได้

2. การทดสอบการวัดค่าความถูกต้องของฮิสโทแกรม อาร์ จี และบี ของนกพิราบ

การทดสอบการวัดค่าความถูกต้องของฮิสโทแกรม อาร์ จี และบี นกพิราบ ทั้งหมด 70 ภาพ ได้ทำการทดสอบตามวิธีที่เสนอ โดยนำค่าฮิสโทแกรมมาเปรียบเทียบกับค่าเกณฑ์ที่ได้ตั้งไว้ดังแสดงในตารางที่ 4 วิธีการวัดค่าความถูกต้องของระบบ ได้จากการนำข้อมูลมาประมวลผลหาค่าเฉลี่ยฮิสโทแกรม ซึ่งค่าต้องอยู่ในขอบเขตที่เป็นเกณฑ์ทั้ง 3 ฮิสโทแกรม เพื่อให้ได้นกพิราบจริง ถ้าค่าฮิสโทแกรม อาร์ จี และบี น้อยหรือมากเกินไปขอบเขตที่เป็นเกณฑ์ตั้งไว้แสดงว่าภาพทดสอบไม่ใช่ นกพิราบหรือเป็นค่าความผิดพลาดของระบบ การทำงานของระบบแสดงให้เห็นว่าสามารถจำแนกได้ 63 ภาพ ดังนั้นจากการสมการ 13 จึงสามารถคำนวณค่าความผิดพลาดได้เท่ากับ 10.00% และแสดงภาพตัวอย่างทดสอบทั้งหมดใน ภาคผนวก ง

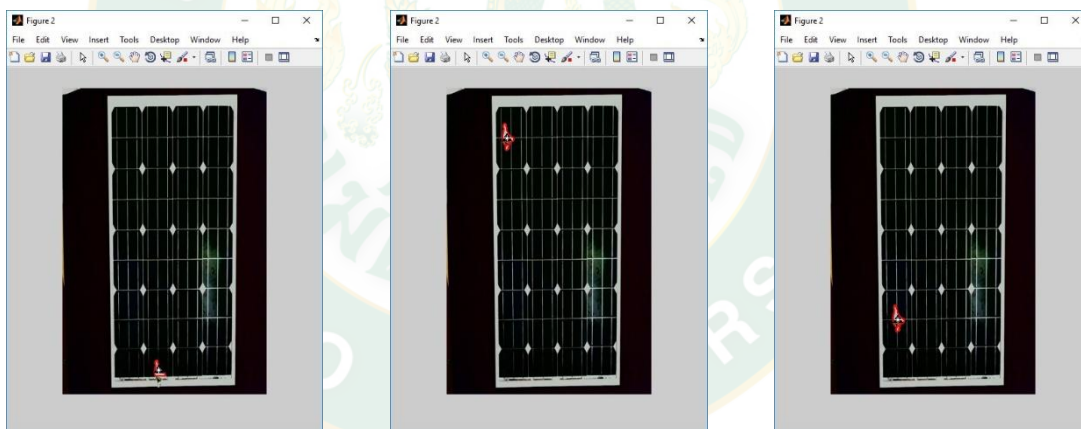
ผลการทดสอบหาตำแหน่งนกพิราบจากระบบประมวลผลภาพ

การตรวจหานกบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคาโดยใช้การประมวลผลภาพ ใช้ตัวอย่างในการทดสอบทั้งหมด 100 ตัวอย่าง แบ่งเป็น 4 กลุ่มข้อมูล ดังนี้

1. ตัวอย่างนกบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 1 ตัว จำนวน 25 ตัวอย่าง รวมเป็นนก 25 ตำแหน่ง
2. ตัวอย่างนกบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 2 ตัว จำนวน 25 ตัวอย่าง รวมเป็นนก 50 ตำแหน่ง
3. ตัวอย่างนกบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 3 ตัว จำนวน 25 ตัวอย่าง รวมเป็นนก 75 ตำแหน่ง
4. ตัวอย่างนกบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 4 ตัว จำนวน 25 ตัวอย่าง รวมเป็นนก 100 ตำแหน่ง

1. ผลการทดสอบตรวจหานกบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 1 ตัว

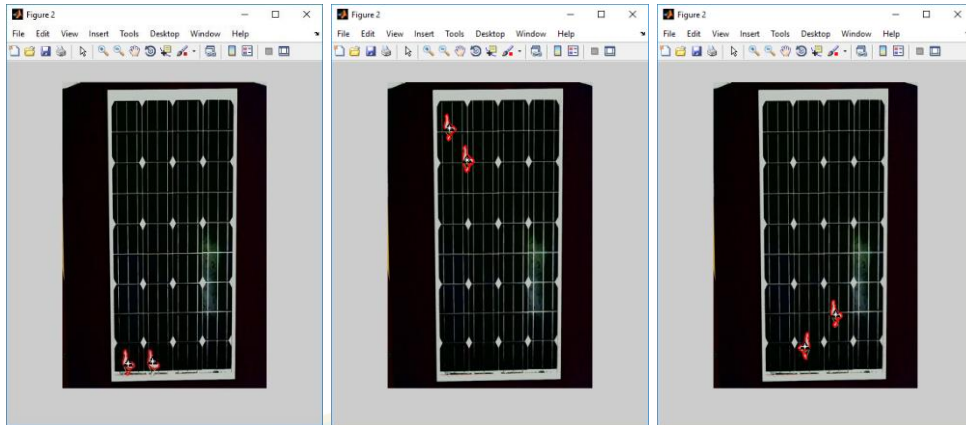
ผลการทดสอบตัวอย่างนกบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 1 ตัว จำนวน 25 ตัวอย่าง พบว่าระบบประมวลผลภาพสามารถตรวจหามและบอกตำแหน่งนกที่พบได้ถูกต้องทั้ง 25 ตำแหน่ง ตัวอย่างผลการทดสอบแสดงดังภาพที่ 54



ภาพที่ 54 ตัวอย่างผลการทดสอบโปรแกรมประมวลผลภาพ

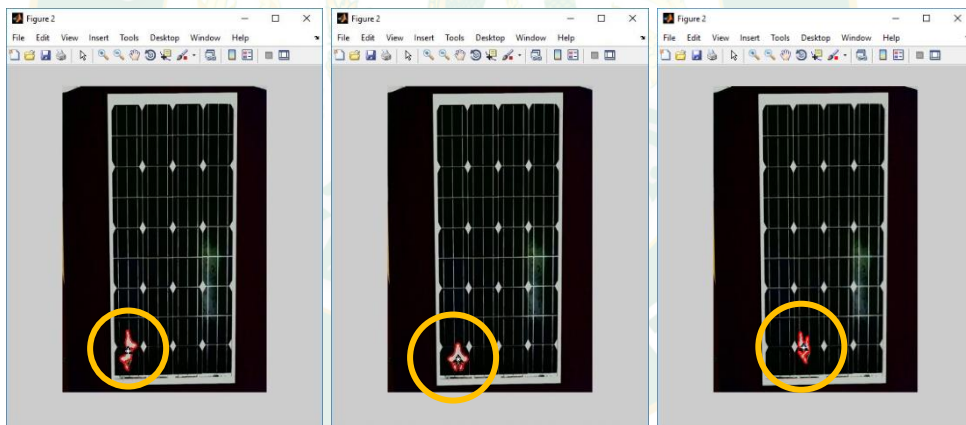
2. ผลการทดสอบตรวจหานกบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 2 ตัว

ผลการทดสอบตัวอย่างนกบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 2 ตัว จำนวน 25 ตัวอย่าง พบว่าระบบประมวลผลภาพสามารถตรวจหามได้ทั้งหมด 47 ตำแหน่ง ตัวอย่างผลการทดสอบแสดงดัง ภาพที่ 55



ภาพที่ 55 ตัวอย่างผลการทดสอบโปรแกรมประมวลผลภาพนก 2 ตัว

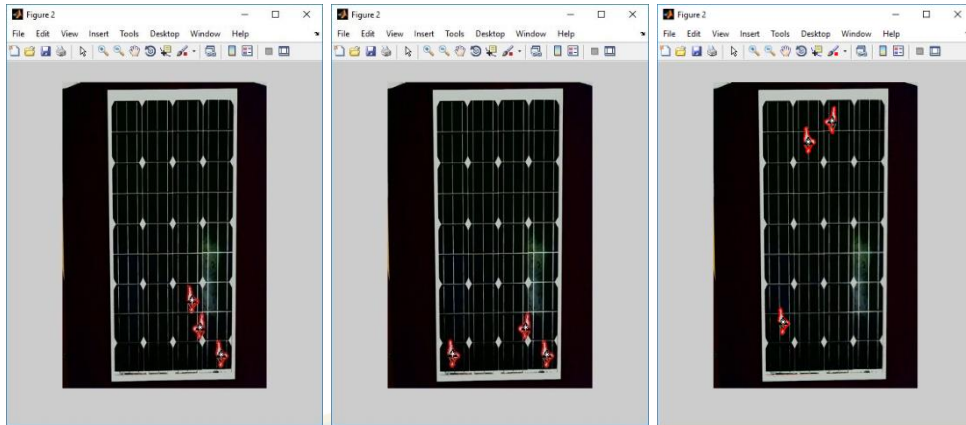
ตัวอย่างผลการทดสอบที่ผิดพลาด แสดงดังภาพที่ 56 ความผิดพลาดเกิดขึ้นเนื่องจากนก 2 ตัวอยู่ซ้อนกันหรือชิดติดกันมาก ระบบประมวลผลภาพไม่สามารถตีกรอบวัตถุแยกกันได้ จึงแสดงตำแหน่งเพียงตำแหน่งเดียว



ภาพที่ 56 ตัวอย่างผลการทดสอบโปรแกรมประมวลผลภาพที่ผิดพลาด

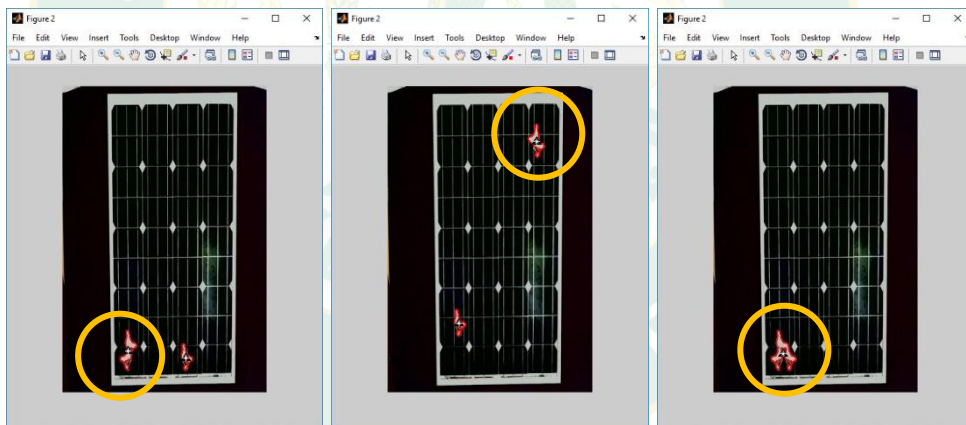
3. ผลการทดสอบตรวจห่านกบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 3 ตัว

ผลการทดสอบตัวอย่างนกบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 3 ตัว จำนวน 25 ตัวอย่าง พบว่าระบบประมวลผลภาพสามารถตรวจห่านกได้ทั้งหมด 71 ตำแหน่ง ตัวอย่างผลการทดสอบแสดงดังภาพที่



ภาพที่ 57 ตัวอย่างผลการทดสอบโปรแกรมประมวลผลภาพนก 3 ตัว

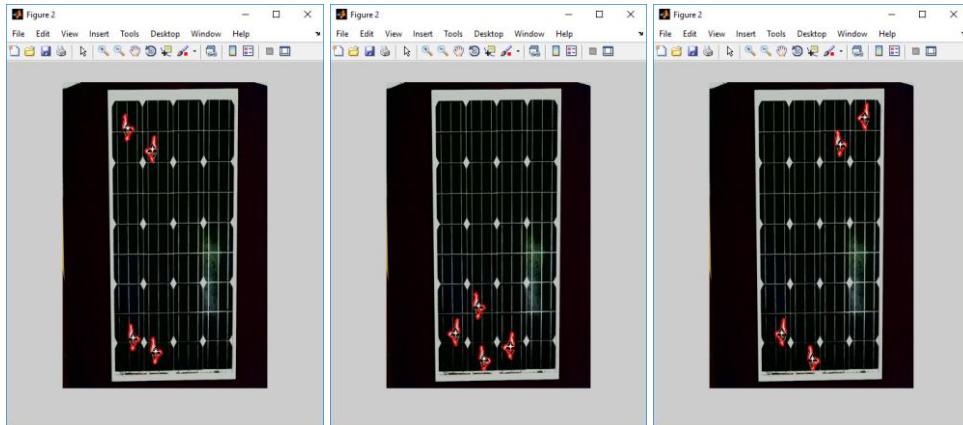
ตัวอย่างผลการทดสอบที่ผิดพลาดแสดงดังภาพที่ 58 ความผิดพลาดเนื่องจากนก 2 ตัวอยู่ชิดติดกัน บางตัวอย่าง นกทั้ง 3 ตัวอยู่ชิดติดกันมากหรือซ้อนทับกัน ระบบประมวลผลภาพไม่สามารถตีกรอบวัตถุแยกกันได้ จึงแสดงตำแหน่งเพียงตำแหน่งเดียว หรือสองตำแหน่ง



ภาพที่ 58 ตัวอย่างผลการทดสอบโปรแกรมประมวลผลภาพที่ผิดพลาดเนื่องจากนกอยู่ชิดติดกัน

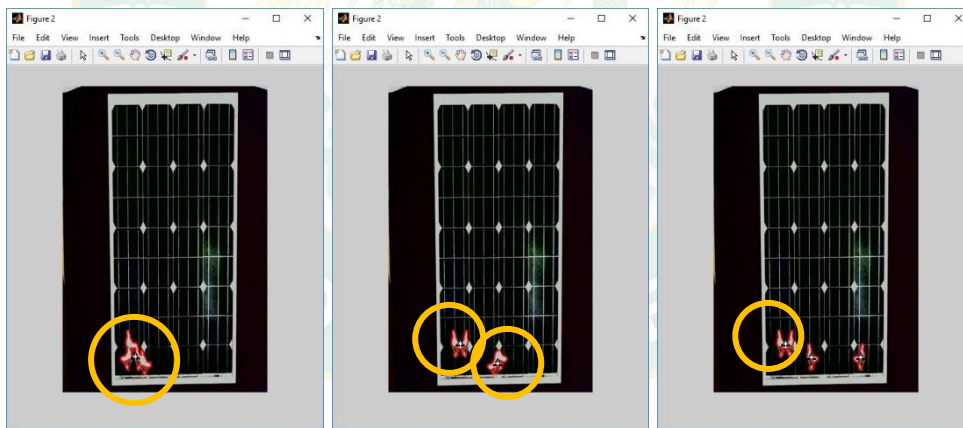
4. ผลการทดสอบตรวจห่านกบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 4 ตัว

ผลการทดสอบตัวอย่างนกบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 4 ตัว จำนวน 25 ตัวอย่าง พบว่าระบบประมวลผลภาพสามารถตรวจห่านกได้ทั้งหมด 86 ตำแหน่ง ตัวอย่างผลการทดสอบแสดงดังภาพที่



ภาพที่ 59 ตัวอย่างผลการทดสอบโปรแกรมประมวลผลภาพ

ตัวอย่างผลการทดสอบที่ผิดพลาดแสดงดังภาพที่ 60 ความผิดพลาดเนื่องจากนก 2 ตัวอยู่ชิดติดกัน บางตัวอย่าง นกทั้ง 3 ตัวอยู่ชิดติดกัน หรือบางตัวอย่างนกอยู่เป็นกลุ่มเดียวกันทั้ง 4 ตัว ระบบประมวลผลภาพไม่สามารถตีกรอบวัตถุแยกกันได้ จึงแสดงตำแหน่งเพียงตำแหน่งเดียว สองตำแหน่ง หรือสามตำแหน่ง



ภาพที่ 60 ตัวอย่างผลการทดสอบโปรแกรมประมวลผลภาพ

จากตัวอย่างในการทดสอบทั้งหมด จำนวน 100 ตัวอย่าง แบ่งเป็น 4 กลุ่มข้อมูล ได้แก่ กลุ่มนกบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 1, 2, 3 และ 4 ตัว กลุ่มข้อมูล 25 ตัวอย่าง รวมเป็นนก 250 ตัว ได้ผลการทดสอบแสดงในตารางที่ 5 ดังนี้

ตารางที่ 5 ผลการทดสอบระบบประมวลผลภาพ

จำนวนครั้งทดสอบ	จำนวนตำแหน่งในชุดทดสอบ ที่ตรวจพบ (ตำแหน่ง)			
	1 ตัว	2 ตัว	3 ตัว	4 ตัว
1	1	2	3	4
2	1	2	3	4
3	1	2	3	4
4	1	2	3	1
5	1	2	2	4
6	1	2	3	4
7	1	1	3	2
8	1	2	3	4
9	1	2	3	4
10	1	2	2	3
11	1	2	3	4
16	1	2	3	4
17	1	2	3	4
18	1	2	3	1
19	1	2	3	4
20	1	2	3	4
21	1	2	1	4
22	1	2	3	4
23	1	2	3	2
24	1	2	3	4
25	1	2	3	4
รวมทั้งสิ้น	25	47	71	86

จากตัวอย่างในการทดสอบทั้งหมด 100 ตัวอย่าง แบ่งเป็น 4 กลุ่มข้อมูล คือตัวอย่างนกบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 1, 2, 3 และ 4 ตัว อย่างละ 25 ตัวอย่าง เมื่อนกอยู่ในลักษณะขีดกันระบบไม่สามารถจำแนกนกจากกันได้ ระบบระบุตำแหน่งนกรวมกันเป็นตำแหน่งเดียว ผลการทดสอบพบว่าสามารถตรวจและแสดงตำแหน่งได้ถูกต้อง 88 ตัวอย่าง ดังนั้นจากการสมการ 13 จึงสามารถคำนวณค่าความผิดพลาดได้เท่ากับ 12.00%

ผลการทดสอบระบบประมวลผลภาพกับชุดแผงเซลล์แสงอาทิตย์

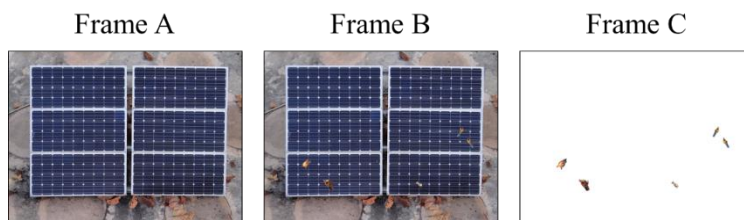
เมื่อระบบประมวลผลภาพสามารถทำงานได้กับตัวอย่างชุดทดสอบแล้ว ทำการนำระบบประมวลผลภาพทดสอบกับชุดแผงเซลล์แสงอาทิตย์จริง กระบวนการทำงานของระบบเริ่มจากนำภาพข้อมูลที่ถ่ายจากกล้องถ่ายภาพผ่านกระบวนการก่อนเริ่มการประมวลผลภาพ (Preprocessing) ข้อมูล ให้มีขนาดของภาพเท่ากับภาพต้นแบบ เพื่อให้ระบบสามารถแสดงผลข้อมูลได้เป็นตำแหน่งเดียวกัน เมื่อมีวัตถุแปลกปลอมบนแผงไม่ว่าจะขนาดใดก็ตาม ระบบจะสามารถตรวจสอบและระบุตำแหน่งของนกบนและบอกตำแหน่งบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้



ภาพที่ 61 ตัวอย่างภาพทดสอบ

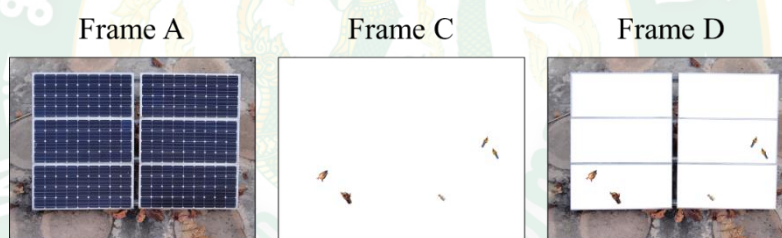
ภาพที่ 61 เป็นตัวอย่างหนึ่งของภาพที่นำมาทดสอบ (Kunyanat et al. 2018) เป็นภาพถ่ายของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีการวางระยะห่างระหว่างกล้องกับแผงเท่ากับภาพต้นแบบ และผ่านกระบวนการปรับภาพก่อนเริ่มการประมวลผลแล้ว บนชุดแผงเซลล์แสงอาทิตย์นี้ มีวัตถุแปลกปลอมคือนก จำนวน 5 ตัว อยู่บนแผง 1A จำนวน 2 ตัว, 2A จำนวน 1 ตัว และ 2B จำนวน 2 ตัว เมื่อนำภาพเข้าสู่ระบบประมวลผล ระบบจะแสดงผลดังภาพที่ 62 ประกอบด้วย ภาพของ Frame A มีแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 6 แผง จัดเรียงแบบเมทริกซ์ 3x2 กำหนดชื่อแถวจากล่างขึ้นบนคือ A, B และ C กำหนดชื่อหลักจากซ้ายไปขวาคือ 1 และ 2 เป็นภาพต้นแบบ

Frame B เป็นภาพที่นำเข้ามาเพื่อทดสอบ มินิเกาะอยู่บนแผง จากการเปรียบเทียบกับภาพต้นแบบ Frame A จะตรวจจับสิ่งแปลกปลอมได้คือนก 5 ตัว แสดงผลของความแตกต่างระหว่างภาพต้นแบบและภาพเปรียบเทียบใน Frame C และผ่านกระบวนการลบภาพส่วนที่ซ้ำกันออกไป



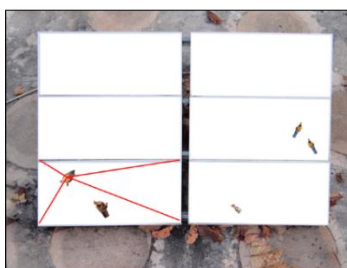
ภาพที่ 62 ผลจากระบบประมวลผลภาพ

ภาพที่ 63 เป็นการนำภาพนกที่ตรวจพบ (Frame C) วางซ้อนทับกับกรอบของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ แสดงผลใน Frame D แสดงค่าระยะห่างของนกที่ตรวจพบกับขอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อบอกตำแหน่งที่ตรวจพบนก



ภาพที่ 63 ผลจากระบบประมวลผลภาพ

เมื่อได้ตำแหน่งของนกจาก Frame D แล้ว ใช้หลักการทฤษฎีสามเหลี่ยม (Triangle theory) ดังแสดงในภาพที่ 64 เพื่อหาตำแหน่งของนกบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยเทียบกับกรอบเซลล์แสงอาทิตย์นั้นๆ แสดงผลของตำแหน่งดังแสดงในตารางที่ 4 ประกอบด้วยตำแหน่งนกบนแผงที่ทดสอบ ระยะห่างจากขอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์และมุมภายในสามเหลี่ยม



ภาพที่ 64 การใช้หลักการทฤษฎีสามเหลี่ยม เพื่อระบุตำแหน่งนกที่ตรวจพบ

ตารางที่ 6 ตำแหน่งของนกที่ตรวจพบ

ชุด ทดสอบที่	แผงที่	ตำแหน่งที่ทดสอบ (x, y)	มุมภายในสามเหลี่ยม		
			Alpha	Beta	Gamma
1	1B	(274.18, 263.02)	81.40	33.60	64.90
2	2B	(978.58, 542.97)	43.00	79.00	58.10
3	2A	(472.12, 312.82)	16.90	32.50	130.60
4	1A	(1255.40, 192.00)	16.80	12.20	151.00
5	1B	(192.16, 187.62)	83.40	30.70	65.90
6	1A	(151.89, 141.61)	61.40	5.60	113.00
	1A	(369.31, 492.63)	69.20	20.30	90.60
7	1C	(188.54, 533.21)	87.10	52.60	40.30
	1C	(1137.90, 202.30)	69.40	58.40	52.20
8	1A	(177.25, 196.43)	65.40	7.80	106.80
	1C	(616.85, 410.79)	79.80	55.30	44.90
9	1C	(616.85, 410.79)	79.80	55.30	44.90
	2A	(338.94, 231.91)	13.50	22.50	143.90
10	1A	(360.83, 192.39)	46.40	8.20	125.40
	2A	(339.10, 164.52)	9.70	16.40	153.90
11	2B	(386.05, 197.33)	40.90	58.00	81.10
	2A	(636.72, 214.91)	10.90	27.80	141.30
12	1C	(527.38, 226.31)	80.30	51.20	48.50
	1C	(1174.50, 518.40)	72.20	63.40	44.40
13	2C	(386.10, 509.58)	61.80	73.80	44.40
	2B	(416.16, 253.02)	42.20	60.30	77.50
14	1A	(357.82, 185.27)	45.60	7.90	126.60
	1A	(960.16, 327.84)	33.90	17.60	128.50

ตารางที่ 6 (ต่อ)

ชุด ทดสอบที่	แผงที่	ตำแหน่งที่ทดสอบ (x, y)	มุมภายในสามเหลี่ยม		
			Alpha	Beta	Gamma
15	2A	(543.47, 227.39)	12.00	26.60	141.40
	2A	(1255.30, 386.50)	15.10	76.40	88.50
	2B	(1295.80, 325.70)	34.20	85.70	60.10
16	1B	(1000.80, 236.50)	60.40	41.40	78.20
	2C	(354.37, 155.75)	56.90	69.70	53.40
	2A	(1282.10, 319.20)	12.50	75.90	91.60
17	1C	(997.77, 190.22)	71.60	56.30	52.10
	2A	(666.49, 137.25)	6.90	19.30	153.80
	2A	(1275.90, 133.80)	5.30	58.10	116.60
18	1B	(184.55, 234.40)	84.00	32.00	64.00
	1A	(323.54, 130.49)	38.50	5.50	136.00
	2A	(1195.20, 277.40)	11.20	65.90	102.90
19	1B	(318.39, 190.19)	79.20	31.90	68.90
	2C	(280.15, 358.08)	61.10	70.80	48.10
	2C	(1075.40, 112.60)	47.20	82.70	50.10
20	1A	(1279.20, 515.30)	38.40	30.50	111.00
	2A	(320.00, 183.19)	10.90	17.90	151.30
	2A	(655.66, 158.23)	8.00	21.70	150.30
21	1A	(440.20, 193.87)	40.90	8.50	130.60
	1B	(1103.50, 227.60)	57.70	42.60	79.70
	2A	(655.66, 158.23)	8.00	21.70	150.30
22	1B	(347.64, 175.91)	78.00	31.80	70.20
	1B	(502.10, 328.62)	75.50	37.90	66.60
	2A	(655.66, 158.23)	8.00	21.70	150.30

ตารางที่ 6 (ต่อ)

ชุดทดสอบที่	แผงที่	ตำแหน่งที่ทดสอบ (x, y)	มุมภายในสามเหลี่ยม		
			Alpha	Beta	Gamma
23	2C	(365.18, 489.07)	61.80	73.30	44.90
	2B	(663.00, 167.80)	36.20	64.50	79.30
	2B	(905.05, 273.77)	36.70	73.80	69.60
24	2C	(365.18, 489.07)	61.80	73.30	44.90
	2B	(1066.70, 226.50)	33.60	77.90	68.50
	2B	(1299.90, 525.30)	39.20	86.60	54.30
25	1B	(545.18, 208.17)	72.30	34.80	72.90
	1A	(1109.30, 158.70)	15.70	9.40	154.90
	2A	(785.57, 326.70)	15.30	44.50	120.10
	2A	(1149.00, 189.90)	7.90	52.10	120.00
26	1A	(262.40, 503.92)	75.20	19.90	84.90
	1B	(1101.50, 164.30)	55.80	40.50	83.80
	2A	(483.49, 349.95)	18.60	35.80	125.60
	2B	(1130.00, 509.30)	40.50	82.30	57.20
27	1A	(366.11, 331.44)	60.70	13.90	105.40
	1C	(1305.00, 496.30)	70.10	64.80	45.10
	2A	(1093.50, 154.40)	6.50	41.30	132.20
	2A	(1238.40, 449.80)	17.60	77.20	85.20
28	1C	(343.33, 515.36)	84.60	53.90	41.50
	1A	(642.00, 484.23)	56.10	22.00	101.90
	2B	(484.33, 466.30)	47.30	66.70	66.10
	2B	(1117.00, 185.60)	31.80	79.00	69.20
29	1A	(642.00, 484.23)	56.10	22.00	101.90
	1A	(1309.40, 184.40)	15.50	12.10	152.40
	2A	(316.13, 498.69)	27.60	41.20	111.20
	2A	(788.05, 155.86)	7.50	25.20	147.30

ตารางที่ 6 (ต่อ)

ชุดทดสอบที่	แผงที่	ตำแหน่งที่ทดสอบ (x, y)	มุมภายในสามเหลี่ยม		
			Alpha	Beta	Gamma
30	1C	(158.61, 178.75)	87.00	46.40	46.70
	1C	(362.00, 370.87)	83.80	51.90	44.30
	1C	(514.33, 249.22)	80.60	51.40	47.90
	2A	(563.45, 189.51)	10.00	23.10	147.00
31	1A	(728.76, 71.28)	10.90	3.50	165.60
	1A	(1086.10, 173.50)	17.50	10.10	152.40
	2B	(182.32, 526.08)	53.20	61.70	65.10
	2B	(984.00, 210.78)	33.90	75.10	71.00
32	1B	(248.33, 234.33)	82.00	32.60	65.50
	1C	(1217.20, 202.60)	68.10	59.50	52.40
	2A	(243.45, 524.48)	29.80	40.80	109.40
	2A	(972.39, 523.02)	22.10	65.60	92.30
33	1A	(326.56, 229.16)	54.10	9.60	116.30
	1B	(628.60, 509.70)	74.70	44.10	61.20
	1A	(1174.50, 239.50)	21.90	14.50	143.60
	2C	(1248.80, 193.70)	47.00	86.40	46.70
34	1A	(358.03, 504.35)	70.20	20.60	89.20
	1B	(509.18, 240.29)	73.90	35.40	70.70
	1C	(1309.40, 189.30)	66.40	60.60	53.00
	2B	(690.31, 568.42)	47.00	72.80	60.20
35	1A	(443.43, 245.38)	76.00	34.80	69.20
	2A	(373.80, 207.55)	11.90	21.00	147.10
	2A	(765.65, 159.42)	7.70	25.00	147.30
	2A	(1317.20, 504.60)	19.10	83.00	78.00

ตารางที่ 6 (ต่อ)

ชุดทดสอบที่	แผงที่	ตำแหน่งที่ทดสอบ (x, y)	มุมภายในสามเหลี่ยม		
			Alpha	Beta	Gamma
36	1C	(935.33, 230.78)	73.10	56.20	50.70
	2A	(414.30, 189.66)	10.70	20.00	149.30
	2C	(592.62, 110.26)	52.90	73.40	53.70
	2B	(1137.90, 204.70)	32.20	79.90	67.90
37	1A	(167.56, 531.04)	80.90	20.30	78.80
	1A	(335.86, 192.83)	48.50	8.10	123.40
	1B	(546.75, 249.06)	73.00	36.10	70.90
	1A	(1180.20, 175.80)	16.40	10.80	152.90
38	1A	(387.60, 227.07)	80.90	20.30	78.80
	1A	(167.55, 531.75)	49.10	9.70	121.20
	1B	(1025.40, 566.60)	67.00	50.70	62.30
	1B	(1268.00, 259.20)	54.90	46.20	78.90
39	2A	(332.50, 159.19)	9.40	15.80	154.80
	1A	(1294.60, 243.30)	20.30	15.70	144.00
	2A	(360.94, 146.30)	8.50	15.00	156.50
	2A	(870.64, 185.19)	8.50	32.70	138.80
	2A	(1150.50, 240.70)	9.90	58.60	111.50
	2C	(1280.60, 514.80)	52.00	87.50	40.50
40	1A	(333.23, 491.49)	71.00	20.00	89.00
	1A	(644.16, 257.52)	38.20	12.20	129.60
	2A	(484.20, 182.73)	10.00	20.60	149.40
	2B	(1152.40, 365.20)	36.60	81.90	61.50
	2B	(1247.60, 222.20)	31.70	83.70	64.60

จากนั้นทำการวัดระยะห่างจริงของนกแต่ละตัวกับกรอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อเปรียบเทียบกับค่าระยะห่างที่ได้จากระบบประมวลผลภาพ หาระยะทางคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้น โดยใช้ความสัมพันธ์ของรูปสามเหลี่ยม จาก $c = \sqrt{a^2 + b^2}$ ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 7 ใช้ตัวอย่างทดสอบจำนวน 40 ตัวอย่าง เพื่อหาค่าจำนวน 120 ตำแหน่ง แสดงผลการทดสอบระบบประมวลผลภาพ ดังนี้

ตารางที่ 7 การเปรียบเทียบระยะห่างจากกรอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ระหว่างระบบประมวลผลภาพกับค่าที่วัดจริง

ชุดที่	แผงที่	ตำแหน่งที่ทดสอบ (มิลลิเมตร)	ตำแหน่งวัดจริง (มิลลิเมตร)	ระยะทางคลาดเคลื่อน (มิลลิเมตร)
1	1B	(274.18, 263.02)	(282.95, 259.91)	9.30
2	2B	(978.58, 542.97)	(977.71, 537.16)	5.88
3	2A	(472.12, 312.82)	(473.22, 306.12)	6.79
4	1A	(1255.40, 192.00)	(1248.12, 190.60)	7.41
5	1B	(192.15, 187.61)	(191.54, 196.38)	8.78
6	1A	(151.89, 141.61)	(159.01, 147.50)	9.23
	1A	(369.31, 492.63)	(371.82, 501.83)	9.53
7	1C	(188.54, 533.21)	(192.81, 525.60)	8.72
	1C	(1137.90, 202.30)	(1136.72, 202.16)	1.19
8	1A	(177.25, 196.43)	(180.27, 205.93)	9.97
	1C	(616.85, 410.79)	(608.43, 414.31)	9.13
9	1C	(616.85, 410.79)	(607.16, 414.31)	10.31
	2A	(338.94, 231.91)	(336.75, 232.59)	2.30
10	1A	(360.83, 192.39)	(360.55, 195.26)	2.88
	2A	(339.10, 164.52)	(336.75, 173.28)	9.07
11	2B	(386.05, 197.33)	(381.82, 199.05)	4.57
	2A	(636.72, 214.91)	(638.43, 213.71)	2.09
12	1C	(527.38, 226.31)	(529.56, 225.26)	2.42
	1C	(1174.50, 518.40)	(1169.52, 514.05)	6.61

ตารางที่ 7 (ต่อ)

ชุดที่	แผงที่	ตำแหน่งที่ทดสอบ (มิลลิเมตร)	ตำแหน่งวัดจริง (มิลลิเมตร)	ระยะทางคลาดเคลื่อน (มิลลิเมตร)
13	2C	(386.10, 509.58)	(379.28, 514.05)	8.15
	2B	(416.16, 253.02)	(409.28, 246.81)	9.26
14	1A	(357.82, 185.27)	(359.28, 190.38)	5.31
	1A	(960.16, 327.84)	(965.18, 326.55)	5.18
15	2A	(543.47, 227.39)	(536.56, 231.03)	7.81
	2A	(1255.30, 386.50)	(1248.12, 379.43)	10.07
	2B	(1295.80, 325.70)	(1295.73, 323.45)	2.25
16	1B	(1000.80, 236.50)	(991.51, 236.81)	9.29
	2C	(354.37, 155.75))	(348.02, 161.72)	8.72
	2A	(1282.10, 319.20)	(1274.39, 320.22)	7.78
17	1C	(997.77, 190.22)	(990.24, 188.83)	7.65
	2A	(666.49, 137.25)	(658.50, 142.17)	9.39
	2A	(1275.90, 133.80)	(1269.39, 140.17)	9.11
18	1B	(184.55, 234.40)	(180.27, 236.81)	4.91
	1A	(323.54, 130.49)	(326.75, 134.40)	5.06
	2A	(1195.20, 277.40)	(1191.79, 281.90)	5.65
19	1B	(318.39, 190.19)	(313.95, 190.60)	4.46
	2C	(280.15, 358.08)	(272.15, 357.88)	8.01
	2C	(1075.40, 112.60)	(1082.58, 115.52)	7.75
20	1A	(1279.20, 515.30)	(1271.92, 519.83)	8.57
	2A	(320.00, 183.19)	(326.75, 190.60)	10.03
	2A	(655.66, 158.23)	(652.23, 167.50)	9.88
21	1A	(440.20, 193.87)	(439.42, 203.71)	9.87
	1B	(1103.50, 227.60)	(1094.65, 231.03)	9.49
	2A	(655.66, 158.23)	(653.50, 163.28)	5.49

ตารางที่ 7 (ต่อ)

ชุดที่	แผงที่	ตำแหน่งที่ทดสอบ (มิลลิเมตร)	ตำแหน่งวัดจริง (มิลลิเมตร)	ระยะทางคลาดเคลื่อน (มิลลิเมตร)
22	1B	(347.64, 175.91)	(349.28, 179.05)	3.55
	1B	(502.10, 328.62)	(507.02, 323.45)	7.14
	2A	(655.66, 158.23)	(653.23, 163.28)	5.60
23	2C	(365.18, 489.07)	(357.02, 485.17)	9.05
	2B	(663.00, 167.80)	(654.96, 163.17)	9.28
	2B	(905.05, 273.77)	(897.57, 271.47)	7.83
24	2C	(365.18, 489.07)	(356.75, 490.95)	8.64
	2B	(1066.70, 226.50)	(1063.31, 229.48)	4.51
	2B	(1299.90, 525.30)	(1292.39, 523.05)	7.84
25	1B	(545.18, 208.17)	(548.29, 198.83)	9.84
	1A	(1109.30, 158.70)	(1101.65, 158.62)	7.65
	2A	(785.57, 326.70)	(779.17, 320.78)	8.72
	2A	(1149.00, 189.90)	(1146.72, 197.48)	7.92
26	1A	(262.40, 503.92)	(259.15, 509.83)	6.74
	1B	(1101.50, 164.30)	(1096.65, 170.05)	7.52
	2A	(483.49, 349.95)	(477.22, 353.88)	7.40
	2B	(1130.00, 509.30)	(1122.92, 514.05)	8.53
27	1A	(366.11, 331.44)	(360.55, 335.00)	6.61
	1C	(1305.00, 496.30)	(1296.19, 492.40)	9.64
	2A	(1093.50, 154.40)	(1087.65, 158.50)	7.14
	2A	(1238.40, 449.80)	(1245.85, 452.07)	7.79
28	1C	(343.33, 515.36)	(350.55, 512.50)	7.76
	1A	(642.00, 484.23)	(643.50, 494.05)	9.94
	2B	(484.33, 466.30)	(481.95, 456.29)	10.29
	2B	(1117.00, 185.60)	(1106.65, 184.83)	10.38

ตารางที่ 7 (ต่อ)

ชุดที่	แผงที่	ตำแหน่งที่ทดสอบ (มิลลิเมตร)	ตำแหน่งวัดจริง (มิลลิเมตร)	ระยะทางคลาดเคลื่อน (มิลลิเมตร)
29	1A	(642.00, 484.23)	(642.23, 485.17)	0.97
	1A	(1309.40, 184.40)	(1299.46, 186.38)	10.14
	2A	(316.13, 498.69)	(314.21, 490.95)	7.98
	2A	(788.05, 155.86)	(786.17, 157.50)	2.50
30	1C	(158.61, 178.75)	(156.47, 184.83)	6.44
	1C	(362.00, 370.87)	(359.28, 375.43)	5.31
	1C	(514.33, 249.22)	(517.02, 255.69)	7.01
	2A	(563.45, 189.51)	(563.36, 192.16)	2.65
31	1A	(728.76, 71.28)	(732.37, 76.64)	6.46
	1A	(1086.10, 173.50)	(1081.65, 180.60)	8.38
	2B	(182.32, 526.08)	(174.74, 525.60)	7.60
	2B	(984.00, 210.78)	(975.18, 207.93)	9.27
32	1B	(248.33, 234.33)	(246.61, 225.26)	9.23
	1C	(1217.20, 202.60)	(1209.32, 208.38)	9.77
	2A	(243.45, 524.48)	(235.34, 525.60)	8.18
	2A	(972.39, 523.02)	(964.18, 525.60)	8.61
33	1A	(326.56, 229.16)	(325.48, 235.69)	6.62
	1B	(628.60, 509.70)	(619.69, 514.05)	9.91
	1A	(1174.50, 239.50)	(1170.52, 242.59)	5.04
	2C	(1248.80, 193.70)	(1244.32, 200.26)	7.94
34	1A	(358.03, 504.35)	(360.55, 509.83)	6.03
	1B	(509.18, 240.29)	(499.76, 242.59)	9.70
	1C	(1309.40, 189.30)	(1301.46, 184.83)	9.11
	2B	(690.31, 568.42)	(684.76, 566.03)	6.03

ตารางที่ 7 (ต่อ)

ชุดที่	แผงที่	ตำแหน่งที่ทดสอบ (มิลลิเมตร)	ตำแหน่งวัดจริง (มิลลิเมตร)	ระยะทางคลาดเคลื่อน (มิลลิเมตร)
35	1A	(443.43, 245.38)	(439.42, 254.14)	9.63
	2A	(373.80, 207.55)	(370.55, 209.48)	3.78
	2A	(765.65, 159.42)	(763.63, 167.50)	8.33
	1A	(1180.20, 175.80)	(1172.52, 182.60)	10.26
36	1C	(935.33, 230.78)	(933.91, 225.48)	5.48
	2A	(414.30, 189.66)	(405.62, 190.60)	8.73
	2C	(592.62, 110.26)	(583.36, 109.74)	9.27
	2B	(1137.90, 204.70)	(1134.18, 209.48)	6.06
37	1A	(167.56, 531.04)	(170.27, 530.26)	2.83
	1A	(335.86, 192.83)	(338.02, 202.26)	9.67
	1B	(546.75, 249.06)	(540.82, 248.36)	5.97
	1A	(1180.20, 175.80)	(1172.52, 182.60)	10.26
38	1A	(387.60, 227.07)	(384.08, 236.81)	10.36
	1A	(167.55, 531.75)	(171.54, 532.93)	4.17
	1B	(1025.40, 566.60)	(1022.78, 566.03)	2.68
	1B	(1268.00, 259.20)	(1260.66, 258.36)	7.39
	2A	(332.50, 159.19)	(339.28, 154.83)	8.06
39	1A	(1294.60, 243.30)	(1294.46, 251.47)	8.17
	2A	(360.94, 146.30)	(359.28, 143.28)	3.45
	2A	(870.64, 185.19)	(869.57, 176.28)	8.98
	2A	(1150.50, 240.70)	(1146.72, 248.47)	8.64
	2C	(1280.60, 514.80)	(1280.66, 519.83)	5.03

ตารางที่ 7 (ต่อ)

ชุดที่	แผงที่	ตำแหน่งที่ทดสอบ (มิลลิเมตร)	ตำแหน่งวัดจริง (มิลลิเมตร)	ระยะทางคลาดเคลื่อน (มิลลิเมตร)
40	1A	(333.23, 491.49)	(336.55, 501.05)	10.12
	1A	(644.16, 257.52)	(647.93, 267.22)	10.40
	2A	(484.20, 182.73)	(487.97, 186.31)	5.20
	2B	(1152.40, 365.20)	(1154.62, 372.26)	7.40
	2B	(1247.60, 222.20)	(1254.95, 215.57)	9.90
		ระยะทางคลาดเคลื่อนสูงสุด		10.40

ชุดตัวอย่างทดสอบ จำนวน 40 ชุดตัวอย่าง เพื่อหาค่าความคลาดเคลื่อนค่าของระยะห่างที่ได้ออกแบบไว้ บอกระยะห่างจากตำแหน่งบนแผงจริง นำไปหาค่าความคลาดเคลื่อน ค่าของระยะห่างที่ได้มีคลาดเคลื่อนไม่เกิน 10.40 มิลลิเมตร เมื่อคิดค่าความผิดพลาดของระบบจากสมการที่ 13 พบว่าระบบประมวลผลภาพกับชุดแผงเซลล์แสงอาทิตย์นี้ มีค่าความผิดพลาดเท่ากับ 1.14%

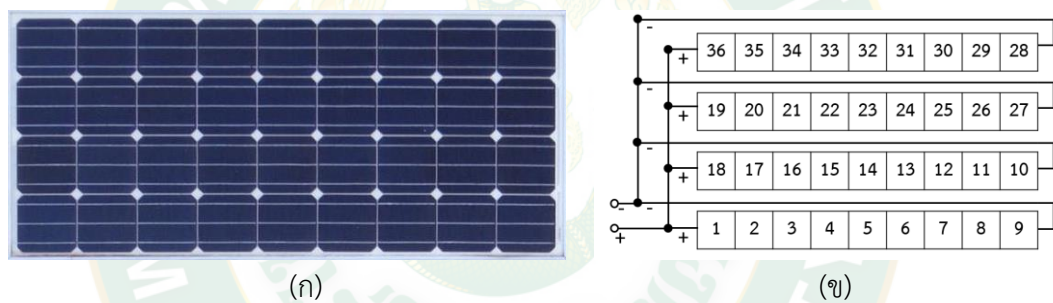
จากผลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าระบบประมวลผลภาพสามารถทำงานได้ที่สภาวะจริง โดยก่อนเริ่มการทำงานของระบบต้องมีการปรับเทียบระบบให้เป็นค่าเริ่มต้นก่อน จึงจะสามารถใช้งานได้ตลอดเวลา และก่อนการนำภาพข้อมูลเข้าสู่ระบบนั้นต้องผ่านกระบวนการก่อนเริ่มการประมวลผลภาพก่อนเพื่อให้ระบบประมวลผลภาพสามารถทำงานได้อย่างถูกต้องและแม่นยำ

การสูญเสียกำลังการผลิตเนื่องจากการบังเงา

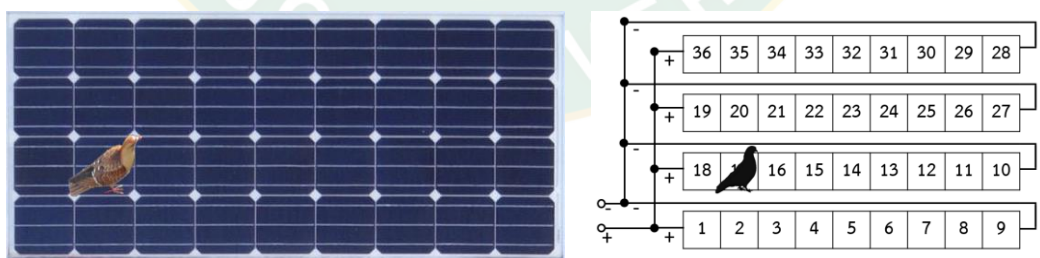
ปัจจัยที่ส่งผลต่อการลดลงของประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์มีหลายอย่าง เช่น ความเข้มรังสีอาทิตย์ อุณหภูมิ หรือปัญหาเงาบัง ปัญหาเงาบังนี้เกิดขึ้นได้จากหลายสาเหตุ เงาบังจากสิ่งปลูกสร้างหรือต้นไม้ นั่นเป็นปัญหาที่วิศวกรออกแบบโรงไฟฟ้าได้ออกแบบโครงสร้างเพื่อหลีกเลี่ยงปัญหานี้ตั้งแต่เริ่มต้น แต่ปัญหาการบังเงาเนื่องจากฝุ่น นก มูลนก หรือใบไม้ที่ปลิวจากที่อื่น

มาติดบนแผง เป็นปัญหาเฉพาะหน้าที่ไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้แต่สามารถเลือกวิธีการจัดการกับปัญหาเหล่านี้ได้อย่างเหมาะสมได้ การจัดการจะเกิดขึ้นหลังจากที่ผู้ดูแลระบบตรวจพบปัญหาเงาบัง ซึ่งขณะที่เกิดปัญหานี้ขึ้น ได้ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าของแผงแล้ว จากงานวิจัยของ Minh Quan Duong และคณะ (Minh Quan Duong et al. 2017) ได้ศึกษาผลที่เกิดขึ้นกับบายพาสไดโอดในโมดูลแสงอาทิตย์จากปรากฏการณ์การแรเงา ผู้วิจัยจึงได้นำแนวคิดจากงานวิจัยนี้มาเป็นแนวทางในการหากล้างการผลิตที่สูญเสียเนื่องจากการบังเงาของนก โดยปัญหาการบังเงาของนกบนเซลล์ใดๆ ถือเป็นเงาบัง 100% กล่าวคือเซลล์นั้นไม่สามารถผลิตไฟฟ้าได้ขณะที่เกิดเงาบัง

แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ศึกษาในงานวิจัย เป็นแผงชนิดชนิดผลึกเดี่ยว ประกอบด้วยเซลล์แสงอาทิตย์จำนวน 36 เซลล์ (ขนาดเซลล์ 156 mm × 156 mm) ต่อขนานกัน 4 สตริง แต่ละสตริงต่ออนุกรมด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ 9 เซลล์ ดังแสดงในภาพที่ 65 กำลังการผลิต (W_p) 140 W ($V_{oc} = 22.4$ V, $I_{sc} = 8.46$ A, $V_m = 17.8$ V, $I_m = 7.88$ A)



ภาพที่ 65 (ก) แผงเซลล์แสงอาทิตย์ และ (ข) การต่อเซลล์ภายในแผง



ภาพที่ 66 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่เกิดเงาบังเนื่องจากนก

จากภาพที่ 66 มีเงาบังที่เกิดจากนกอยู่บนเซลล์ที่ 17 ของสตริงที่ 2 ขนาดของนกที่บังเซลล์เป็นจำนวน 1 เซลล์ แต่เนื่องจากเซลล์ที่ 17 ได้ต่ออนุกรมกับเซลล์ 10-18 เมื่อเกิดเงาบังที่เซลล์ใดเซลล์หนึ่ง สตริงที่ 2 นั้นจะไม่สามารถจ่ายกระแสไฟเข้าสู่ระบบได้ กำลังการผลิตของแผงจึงหายไป 1 สตริง จากทั้งหมด 4 สตริง ดังนั้นการคำนวณค่ากำลังการผลิตสูงสุดของแผง (P_m) เมื่อทดสอบที่

สภาวะมาตรฐาน ความเข้มแสง $1,000 \text{ W/m}^2$ อุณหภูมิ $25 \text{ }^\circ\text{C}$ AM 1.5 สามารถหาค่ากำลังการผลิต
ขณะโดนบังได้จากสมการที่ 15

$$P_{sh} = P_m \times P_{loss} \quad \text{สมการที่ 15}$$

เมื่อ P_{sh} = กำลังการผลิตขณะโดนบังเงา

P_m = กำลังการผลิตของแผง

P_{loss} = กำลังการผลิตที่สูญเสีย

$$P_{sh} = 140 \times (1/4) \quad \text{W}$$

$$= 35 \quad \text{W}$$

ดังนั้น แผงเซลล์แสงอาทิตย์นี้สามารถผลิตไฟฟ้าขณะที่มีนกกบังเงาอยู่บนแผงเซลล์ได้จาก
สมการที่ 16

$$P_{pd} = P_m - P_{sh} \quad \text{สมการที่ 16}$$

เมื่อ P_{pd} = กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้

$$P_{pd} = 140 - 35 \quad \text{W}$$

$$= 105 \quad \text{W}$$

จากโครงสร้างแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ในงานวิจัย ประกอบด้วยเซลล์แสงอาทิตย์จำนวน 36
เซลล์ ต่อขนานกัน 4 สตริง แต่ละสตริง ต่ออนุกรมด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ 9 เซลล์ จากภาพตัวอย่าง มี
นกกบังเซลล์ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็นจำนวน 1 เซลล์ แต่ส่งผลต่อการจ่ายกระแสไฟทั้งสตริง คิด
เป็นกำลังการผลิตไฟฟ้าที่สูญเสีย 0.25% หรือ 35 W หากเกิดการบังเงาในขณะที่แผงผลิตไฟฟ้าได้
เต็มกำลัง 140 W แผงเซลล์แสงอาทิตย์จะจ่ายไฟได้ 105 W

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

วิทยานิพนธ์การตรวจทานกบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคาโดยการประมวลผลภาพนี้ นำเสนอวิธีการตรวจทานกบิราบบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคา เนื่องจากการอาศัยอยู่ของนกพิราบจำนวนมากบริเวณแผงเซลล์ ทำให้ในเวลากลางวันนกพิราบจะเกาะและเดินบนแผงเกิดเงาบังแผง นอกจากเงาบังของนกพิราบแล้วการถ่ายมูลของนกบนแผงก็เป็นปัญหาเช่นกัน มูลของนกพิราบจะกลายเป็นคราบที่ฝังแน่นทำลายโครงสร้างของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ส่งผลต่อการผลิตไฟฟ้าได้ เป้าหมายหลักวิทยานิพนธ์นี้คือ เพื่อตรวจทานกบิราบบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์และบอกตำแหน่งได้อย่างถูกต้อง โดยก่อนเริ่มการทำงานของระบบต้องมีการปรับเทียบระบบให้เป็นค่าเริ่มต้นก่อน จึงจะสามารถใช้งานได้ตลอดเวลา และก่อนการนำภาพข้อมูลเข้าสู่ระบบนั้นต้องผ่านกระบวนการก่อนเริ่มการประมวลผลภาพก่อนเพื่อให้ระบบประมวลผลภาพสามารถทำงานได้อย่างถูกต้องและแม่นยำ

สามารถสรุปผลการทดลองการตรวจทานกบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคาโดยการประมวลผลภาพได้เป็น 3 หัวข้อ ดังนี้

1. การจำแนกนกกับสิ่งไม่มีชีวิต

จากการทดลองตัวอย่างนกเสมือนจริง 111 ภาพ นกจริงจากวิดีโอ 30 ภาพ และใบไม้ 12 ภาพ ใช้ค่าอัตราส่วนระหว่างผลต่างและค่าเฉลี่ย ($Ratio_{pixel}$) ของจำนวนพิกเซลในการจำแนกนกกับสิ่งไม่มีชีวิต เมื่อค่า $Ratio_{pixel}$ ที่ได้มีค่าเข้าใกล้ 0 จะถือว่าตัวอย่างที่ทดสอบนั้นเป็นสิ่งไม่มีชีวิต และจากการทดสอบหาตำแหน่งนกพิราบ 100 ตัวอย่าง ระบบตรวจและแสดงตำแหน่งได้ถูกต้อง 88 ตัวอย่าง สามารถคำนวณค่าความผิดพลาดของระบบเท่ากับ 12.00% ความผิดพลาดเนื่องมาจากนกพิราบบางกลุ่มตัวอย่างที่นำมาใช้ในการทดสอบอยู่ใกล้กัน ระบบมองเห็นเป็นนกพิราบเพียงตัวเดียว จึงแสดงตำแหน่งเพียงตำแหน่งเดียว แต่ตำแหน่งนั้นไม่ได้คลาดเคลื่อนจากตำแหน่งจริงมาก จึงถือว่าเป็นตำแหน่งเดียวกัน

2. การจำแนกนกพิราบจากสัตว์ชนิดอื่น

การจำแนกนกพิราบจากสัตว์อื่นด้วยการเปรียบเทียบข้อมูลฮิสโทแกรมอาร์จีบีอ้างอิงกับข้อมูลฮิสโทแกรมอาร์จีบีของกลุ่มตัวอย่าง ทดสอบการวัดค่าความถูกต้องของฮิสโทแกรม อาร์ จี และ บี ของนกพิราบ ทั้งหมด 70 ภาพ การทำงานของระบบแสดงให้เห็นว่าสามารถจำแนกได้ 63 ภาพ ดังนั้นค่าความผิดพลาดของระบบนี้เท่ากับ 10.00%

3. การทดสอบหาตำแหน่งวัตถุบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยวิธีทฤษฎีสามเหลี่ยม

การทดสอบหาตำแหน่งวัตถุบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยวิธีทฤษฎีสามเหลี่ยม (Triangle theory) เพื่อบอกตำแหน่งนกด้วยมุมภายในสามเหลี่ยม โดยการเทียบตำแหน่งวัตถุที่ตรวจพบกับกรอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์นั้นๆ และทำการเปรียบเทียบพิกัดของนกพิราบที่ตรวจพบด้วยระบบประมวลผลภาพเทียบกับการวัดระยะนกพิราบจากกรอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์จริง มีความคลาดเคลื่อนจากตำแหน่งจริงไม่เกิน 1.04 เซนติเมตร คิดเป็นความผิดพลาด 1.14%

จากข้อสรุปทั้งหมด ส่งผลให้วิทยานิพนธ์การตรวจหานกบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคาโดยการประมวลผลภาพนี้ มีค่าความผิดพลาดรวมของระบบ เท่ากับ 23.14%

ข้อเสนอแนะ

วิทยานิพนธ์นี้ ใช้ภาพที่เก็บข้อมูลในเวลาเที่ยงวันของวันที่ท้องฟ้าโปร่งใส เพื่อทดสอบหลักการ ความถูกต้องและเชื่อถือได้ของระบบ การพัฒนาระบบต่อไปเพื่อให้สามารถใช้ได้ในทุกช่วงเวลาของทุกวันนั้น ต้องใช้ภาพที่เก็บข้อมูลตามปริมาณของรังสีอาทิตย์ที่มีการเปลี่ยนแปลงตามเวลาในรอบวัน ขึ้นกับตำแหน่งของดวงอาทิตย์และสิ่งแวดล้อม โดยทั่วไปในตอนเช้าจะมีค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ต่ำแล้วค่อยๆ เพิ่มขึ้นจนมีค่าสูงสุดในตอนเที่ยงวัน จากนั้นจะค่อยๆ ลดลงอีกครั้งในตอนบ่ายถึงเย็น อย่างไรก็ตามในระหว่างวันรังสีอาทิตย์อาจมีการเปลี่ยนแปลงจากการบดบังดวงอาทิตย์ของเมฆ ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ที่พื้นผิวโลกมีการเปลี่ยนแปลงแบบเป็นระบบและไม่เป็นระบบผสมกัน ทำให้การคำนวณปริมาณรังสีอาทิตย์บนพื้นผิวโลกในสภาพท้องฟ้าทั่วไปทำได้ยาก ในทางปฏิบัติจะสามารถทราบค่าปริมาณรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบที่พื้นผิวโลกได้ด้วยการวัด กล่าวคือถ้าต้องการทราบปริมาณรังสีรวมจะใช้อุปกรณ์วัดที่เรียกว่า ไพราโนมิเตอร์ (Pyranometer) (ภาสกร เดชโค้น, 2558)

โดยทั่วไปโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์มีการติดตั้งเครื่องวัดรังสีอาทิตย์ไว้ในที่โล่งแจ้ง เพื่อวัดรังสีอาทิตย์ได้เต็มที่ ผลของรังสีอาทิตย์ที่ไพราโนมิเตอร์วัดได้จะส่งออกมาเป็นสัญญาณไฟฟ้าขนาด 4-20 mA (Kipp & Zonen, 2004) สัญญาณไฟฟ้าจะถูกบันทึกด้วยเครื่องบันทึกข้อมูล โดยจะแปลงสัญญาณไฟฟ้าที่บันทึกได้ให้เป็นค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ และโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์จะนำค่าที่วัดได้ไปคำนวณประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้า ว่ามีปริมาณการผลิตเท่าไรในเวลาปัจจุบันนั้น

ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ที่เปลี่ยนแปลงส่งผลต่อการเก็บข้อมูลภาพพื้นหลังที่ได้จะมีค่าเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย ดังนั้นในการวิจัยขั้นต่อไปควรกระทำดังนี้

1. จัดกลุ่มภาพต้นแบบของพื้นหลังที่เปลี่ยนแปลงตามปริมาณรังสีอาทิตย์ที่เปลี่ยนไปในแต่ละช่วง หาค่าเฉลี่ยรังสีอาทิตย์ในแต่ละช่วงและเลือกภาพต้นแบบจากช่วงรังสีอาทิตย์นั้นๆ
2. กำหนดค่าความเข้มของเส้นเทรซโฮลด์ของภาพต้นแบบในแต่ละช่วงของปริมาณรังสีอาทิตย์
3. ดึงภาพข้อมูลจริงในแต่ละช่วงของปริมาณรังสีอาทิตย์ สำหรับใช้เป็นภาพต้นแบบของระบบประมวลผลภาพต่อไป



บรรณานุกรม

- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2558). **แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ. 2558- 2579**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://www.dede.go.th/ewt_news.php?nid=42195 (14 มีนาคม 2560).
- กัญญานัฐ ทองเทพ, ดำรงค์ดี อรัญกุล, สมถวิล ชันเชตต์, วีรพล จิรจิต, ธงชัย มณีชูเกต และ ยิ่งรักษ์ อรรถเวชกุล. (2561). **การจำแนกนกกับสิ่งไม่มีชีวิตด้วยวิธีการประมวลผลภาพ**. ใน การประชุมวิชาการ และการประกวดนวัตกรรมบัณฑิตศึกษาระดับชาติและนานาชาติ เชียงใหม่, 686-693.
- ณัฐพล ราชจันทร์. (2558). **ชนิดของลิงในประเทศไทย**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <http://mythailandmonkey.blogspot.com/> (11 ตุลาคม 2561).
- ทองสุข สิงห์พิมพ์. (2560). **จังหวัดปราจีนบุรี นายอำเภอลงพื้นที่ตรวจสอบฝูงลิงแสม กว่า 100 ตัว ครอบงำชาวบ้าน**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <http://www.khaochad.com/139479?r=1&width=1366> (11 ตุลาคม 2561).
- ไทยรัฐออนไลน์. (2553). **แฉห้องแล็บช่วยฆ่าลิงตายทั้งเป็น 33 ตัว**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <https://www.thairath.co.th/content/71590> (11 ตุลาคม 2561).
- เจริญวิภา กลิ่นบุปผา. (2554). **ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยทางชีวภาพและกายภาพที่ส่งผลต่อการเสื่อมสภาพของโบราณสถานบางแห่งในจังหวัดพระนครศรีอยุธยา**. วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต, สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม, ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม, คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- นิตยา สายสวาท, เบญจพร เกียรติไกรวัลศิริ และเอกสิทธิ์ นवलสุวรรณ. (2551). **ระบบตรวจสอบสภาพความบกพร่องของรหัสแท่งของสินค้าแบบอัตโนมัติโดยวิธีประมวลผลภาพ**. วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยบูรพา.
- บริษัท ดีมาร์ค อุตสาหกรรม จำกัด. (2559). **ปัญหาจากภัยนกพิราบ**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <http://birdaway.net/2016/12/14/ปัญหาจากภัยนกพิราบ/> (11 ตุลาคม 2561).
- บริษัท บัณฑิต เซ็นเตอร์ จำกัด. (2552). **แมววิเชียรมาศ เพชรแห่งดวงจันทร์ แมวไทยโบราณที่สร้างชื่อไปทั่วโลก**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <https://pet.kapook.com/view165.html> (11 ตุลาคม 2561).

- บริษัท ลักซบูนพลัส จำกัด. (2558). **นกพิราบกำจัดไม่ยากอย่างที่คิด**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <http://www.laksaboonplus.com/นกพิราบกำจัดไม่ยากอย่างที่คิด-25416.page> (11 ตุลาคม 2561)
- บริษัท เบิร์ด คอนโทรล (ประเทศไทย) จำกัด. (2559). **ความเป็นมาของนกพิราบ**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <http://www.birdcontrolthailand.com/ความเป็นมาของนกพิราบ/> (11 ตุลาคม 2561).
- _____. (2559). **ทำไมไล่นกพิราบถึงไม่ได้ผล**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <http://www.birdcontrolthailand.com/ทำไมไล่นกพิราบถึงไม่ได้ผล/> (11 ตุลาคม 2561).
- บุษบง กาญจนสาขา อัมพรพิมล ประยูร และเมตต์จ บุญขาว. (2558). **โครงการศึกษาสถานภาพ การแพร่กระจายและความชุกชุมของกระรอกในสกุล *Callosciurus*, *Tamiops* และ *Menetes* ในประเทศไทย**. ใน ผลงานวิจัย และรายงานความก้าวหน้างานวิจัย ประจำปี 2556-2558. กลุ่มงานวิจัยสัตว์ป่า สำนักอนุรักษ์สัตว์ป่า กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช. กรุงเทพฯ. หน้า 1-23.
- ปพน พันธุมาศ. (2556). **การระบุเมล็ดพันธุ์ข้าวแบบไม่ทำลายโดยใช้การวิเคราะห์ภาพดิจิทัล**. ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, วิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและสารสนเทศ, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- ประภากร ธาราฉาย. (2555). **นกในมหาวิทยาลัยแม่โจ้**. เชียงใหม่, มหาวิทยาลัยแม่โจ้. 114 หน้า.
- ปศุสัตว์.คอม. (2560). **นกพิราบ ประโยชน์ และการเลี้ยงนกพิราบ**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <http://pasusat.com/นกพิราบ/> (11 ตุลาคม 2561).
- เปมิกา ตูลาภรณ์. (ม.ป.ป.). **แมวโกนจา**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <https://sites.google.com/site/pemikatulaporn/home/maew-kon-ca> (11 ตุลาคม 2561).
- _____. (ม.ป.ป.). **แมวมาเลส (สีสวาท)**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <https://sites.google.com/site/pemikatulaporn/home/maew-ma-les-si-swath> (11 ตุลาคม 2561).
- ผู้จัดการออนไลน์. (2561). **กทม.จัดบtlองโทษ “ห้ามให้อาหารนกพิราบ” ทั้งจำ-ปรับ เตือนเสี่ยงโรคปอดอักเสบ**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <https://amp.mgronline.com/onlinesection/9610000094369.html> (11 ตุลาคม 2561).
- พลกฤษณ์ เหลืองอร่าม. (2557). **3.นกแก้วไฮยาซิน (Hyacinthine Macaw)**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <http://plorakitpay.blogspot.com/2014/01/3-hyacinthine-macaw.html> (11 ตุลาคม 2561).

- พิมนารา งามมัน. (2560). **รวมแมวพันธุ์ไทย ให้โชค 17 ชนิด พาโชคร้าย 6 ชนิด**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <http://pimnara2003.blogspot.com/p/17-6.html> (11 ตุลาคม 2561).
- พีรพัฒน์ คำเกิด. (2560). **Fundamental Physics**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <https://nsru4211308.files.wordpress.com/2017/01/fundamental-physics-4211303-week2-e0b8abe0b899e0b988e0b8a7e0b8a2-e0b881e0b8b2e0b8a3e0b8a7e0b8b1e0b894-e0b89be0b8a3e0b8b4e0b8a1e0b8b2e0b893e0b897.pdf> (11 ตุลาคม 2561).
- ภัทรภรณ์ หิรัญวงศ์ และสิงห์พันธุ์ สิงห์เสนี. (2559). **อนาคตพลังงานไฟฟ้าไทย พอเพียงแต่เสี่ยงภัย**. วารสาร FOCUSED AND QUICK (FAQ) สายนโยบายการเงิน ธนาคารแห่งประเทศไทย, ฉบับ 102. หน้า 1-7.
- ภาสกร เดชไค่น. (2558). **การพัฒนาระบบสอบเทียบเครื่องวัดรังสีอาทิตย์ตามมาตรฐานขององค์การมาตรฐานสากล**. วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต, สาขาฟิสิกส์, ภาควิชาฟิสิกส์, มหาวิทยาลัยศิลปากร.
- เยาวลักษณ์ คีรีเดช และ อรทัย นวลโย. (2556). **1.3 ส่วนประกอบของเซลล์แสงอาทิตย์**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <https://sites.google.com/site/solarenergy5534/solar-sell/swn-prakxb-khxng-sell-saeng-xathity> (29 กรกฎาคม 2561).
- วัลยา ชนิดดาววงศ์ และมงคล ไชยภักดี. (2548). **นกอพยพในประเทศไทย**. รายงานความก้าวหน้างานวิจัย. Wildlife yearbook 7, 206-213.
- วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี. (2561). **ลิงกังเหนือ**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <https://th.wikipedia.org/wiki/ลิงกังเหนือ> (11 ตุลาคม 2561).
- _____. (2560). **นกพิราบ**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <https://th.wikipedia.org/wiki/นกพิราบ> (14 มีนาคม 2560).
- _____. (2560). **รูปสามเหลี่ยม**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <https://th.wikipedia.org/wiki/รูปสามเหลี่ยม> (10 ธันวาคม 2560).
- วิภาพร พรอินทร. 2558. **ความหลากหลายชนิดและความหนาแน่นของนกในมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์วิทยาเขตบางเขน**. ใน ผลงานวิจัย และรายงานความก้าวหน้างานวิจัย ประจำปี 2556-2558. สาขาวิชาการจัดการสัตว์ป่าและทุ่งหญ้า, ภาควิชาชีววิทยาป่าไม้, คณะวนศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สมบัติ อนุพันธ์. (ม.ป.ป.). **นกพิราบ: ปัญหาและแนวทางแก้ไข**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <http://sombatnet.blogspot.com/2012/08/Feralpigeons.html> (11 ตุลาคม 2561).

- สุทธาสินี จิตรกรรมไทย เจียจันทร์พงษ์. (2561). **ณรงค์ เจียรนวนนท์ เปิดกลยุทธ์ ชิงชัยสมรภูมิ “แข่งนกพิราบ”**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <http://www.forbesthailand.com/forbes-life-detail.php?did=2382> (11 ตุลาคม 2561).
- สมาคมอนุรักษ์นก. (มปป.) **พฤติกรรมของนก**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://www.bcst.or.th/?page_id=55 (14 มีนาคม 2560).
- สำนักงานคณะกรรมการกำกับกิจการพลังงาน. 2559. **ข้อมูลผู้ผลิตไฟฟ้า SPP/VSPP**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <http://www.erc.or.th/ERCSP/default.aspx?x=&muid=23&prid=41> (14 มีนาคม 2560).
- สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน. 2560. **สถานการณ์พลังงานปี 2560 และแนวโน้มปี 2561**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://www.eppo.go.th/images/Information_service/public_relations/forecast/Energy2016-Forcast2017.pdf (12 สิงหาคม 2561).
- Akito Takeki, Tu Tuan Trinh, Ryota Yoshihashi, Rei Kawakami, Makoto Iida and Takeshi Naemura. (2016). **Detection of small birds in large images by combining A deep detector with semantic segmentation**. Image Processing (ICIP), 2016 IEEE International Conference, 3,977-3,981.
- Antipest. (2561). **รวมวิธีไล่นกพิราบไม่ให้มากวนใจ**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <https://www.antipestthailand.com/article/31/รวมวิธีไล่นกพิราบไม่ให้มากวนใจ> (11 ตุลาคม 2561).
- Alena Tucimova. (ม.ป.ป.). **ลิง**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <https://pixabay.com/th/ลิง-วอก-สวนสัตว์-chomutov-การทำงาน-1326495/> (11 ตุลาคม 2561).
- Al-Ammri AS, Ghazi A, Mustafa F. (2013). **Dust effects on the performance of PV street lights in Baghdad City**. In: Proceedings of the renewable and sustainable energy conference (IRSEC), international. 18–22.
- Americanbuff. (2558). **นกแก้ว เป็นนกแสนรู้ที่คนไทยนิยมเลี้ยงกันมากในปัจจุบัน**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <http://www.americanbuff.com/นกแก้ว-เป็นนกแสนรู้ที่ค/> (11 ตุลาคม 2561).
- Anajim. (2560). **เมืองของลิง ประเทศไทย Lopburi ลิง เจ้าคณะ**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <https://pixabay.com/th/เมืองของลิง-ประเทศไทย-lopburi-ลิง-2310988/> (11 ตุลาคม 2561).

- Anirut Rassameesritrakool. (no date). **Feeding Bird at river front of the Nonthaburi temple Thailand.** [Online]. Available https://www.123rf.com/photo_31357289_feeding-bird-at-river-front-of-the-nonthaburi-temple-thailand.html?term=pigeons%2Bthailand&vti=o8ecfd4vy5so0eq51i-1-1 (11 October 2018).
- APPDISQUS. (2013). **Histogram.** [Online]. Available <https://www.appdisqus.com/2013/04/02/histogram-smartphone-camera.html> (20 March 2017).
- Asian animals Daily. (2017). **Awesome Quick Bird Trap Using Net Bird Trap and Plastic Bottle - How To Make Net Bird Trap Work 100%.** [Online]. Available <https://www.youtube.com/watch?v=ve73u-LWbOc&t=228s> (10 March 2018).
- ChingSeong Tan and Aryuanto Soetedjo. (2008). Feasibility Study on An Automated Intruder Detection for Tropical Fish Farm. **IEEE Conference on Robotics, Automation and Mechatronics**, 1,018-1,021.
- Dog VS Cat. (2561). **แมวลายสลิตแบ่งได้ 5 ลักษณะ ที่แบ่งตามลวดลายอันเป็นเอกลักษณ์.** [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <https://dog-vs-cat.com/5-identify-tabby-cat-5-10-2018> (11 ตุลาคม 2561).
- Full Solar Co., Ltd. (no date). **Mono-Crystalline Solar PV Module 36 Cells Series (156MMX156MM).** [Online]. Available: <http://www.fullsolar.co.th/pdf/mono%2036.pdf> (24 January 2018).
- fxxu. (2560). **ลิง เอก สัตว์ป่า ธรรมชาติ สัตว์ เลี้ยงลูกด้วยนม.** [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <https://pixabay.com/th/ลิง-เอก-สัตว์ป่า-ธรรมชาติ-สัตว์-3225822/> (11 ตุลาคม 2561).
- Ghazi Sanaz, Ali Sayigh and Kenneth Ip. (2014). Dust effect on flat surfaces—a review paper. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. 33: 742–751.
- GOAL90. (2561). **Siamese Cat :Thailand :แมวไทย .** [Online]. Available <http://goal90antique.blogspot.com/2018/02/siamese-cat-thailand.html> (11 October 2018).
- Greg Montani. (2559). **ลิง ลิงกัง ประเทศไทย แมวทะเล ยาม รวบบันได สีฟ้า.** [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <https://pixabay.com/th/ลิง-ลิงกัง-ประเทศไทย-แมวทะเล-ยาม-1884731/> (11 ตุลาคม 2561).

- Health Kapook. (2561). **นกพิราบ เชื้อโรคไม่ธรรมดา ก่อเชื้อรา ร้ายถึงสมอง !**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <https://health.kapook.com/view196847.html> (11 ตุลาคม 2561).
- J. Jose Gonzalez E, Chen Luo, Anshumali Shrivastava, Krishna Palem Yongshik Moon, Soonhyun Noh, Daedong Park and Seongsoo Hong. (2017). Location Detection for Navigation Using IMUs with a Map Through Coarse-Grained Machine Learning. Design, **Automation & Test in Europe Conference & Exhibition (DATE)**, 2017. 500-505.
- Katherine. (2560). **“สัตว์ทรงเลี้ยง” ความสุขเล็กๆของ ในหลวง ร.9**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <https://spiceee.net/th/articles/27336> (11 ตุลาคม 2561).
- Kipp & Zonen. (2004). **Instruction manual CM21 Precision Pyranometer**. [Online]. Available <http://www.kippzonen.com/Download/52/CM-21-Pyranometer-Manual> (11 October 2018).
- Kunyanat Thongtep, Damrongsak Arungool, Somthawin Khunkhet, Werapon Chiracharit, Thongchai Maneechukate and Yingrak Auttawaitkul. (2018). Bird location detection in an enclosed environment of PV power plant. 2018 **International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology**. 449-452.
- Kyoung Nam, Kyung Chang Lee and Suk Lee. (2006). Development of PIR sensor based indoor location detection system for smart home. **SICE-ICASE International Joint Conference 2006**. 2,162-2,167.
- Lawrence A. Klein, R. Mino, M.J. Hovan, P. Antonik and G. Genello. (2004). MMW radar for dedicated bird detection at airports and airfields. **First European Radar Conference (EURAD)**, 157-160.
- Luming Zhang, Yang Yang, Meng Wang, Richang Hong, Liqiang Nie and Xuelong Li. (2015). Detecting Densely Distributed Graph Patterns for Fine-Grained Image Categorization. **IEEE TRANSACTIONS ON IMAGE PROCESSING**, vol. 25, 2: 553-565.
- ninakasvio0. (2558). **ลิง ไทย สัตว์**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <https://pixabay.com/th/ลิง-ไทย-สัตว์-664208/> (11 ตุลาคม 2561).
- _____. (2558). **ลิง ไทย สัตว์**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <https://pixabay.com/th/664219/> (11 ตุลาคม 2561).

- Manfred Antranias Zimmer. (2557). **นกพิราบ ฤดูใบไม้ผลิ เครื่องแต่งตัว ขนนก สัตว์ป่า**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <https://pixabay.com/th/นกพิราบ-ฤดูใบไม้ผลิ-เครื่องแต่งตัว-542599/> (11 ตุลาคม 2561).
- Minh Quan Duong, Kim Hung Le, Thi Sen Dinh, Marco Mussetta, Gabriela Nicoleta Sava. (2017). Effects of Bypass Diode Configurations on Solar Photovoltaic Modules Suffering from Shading Phenomenon. **THE 10th INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ADVANCED TOPICS IN ELECTRICAL ENGINEERING**, 731-735.
- Mona Jensen. (2561). **ลิง สัตว์ ประเทศไทย**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <https://pixabay.com/th/ลิง-สัตว์-ประเทศไทย-3542832/> (11 ตุลาคม 2561).
- _____. (2561). **ลิง สัตว์ ประเทศไทย**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <https://pixabay.com/th/ลิง-สัตว์-ประเทศไทย-3542834/> (11 ตุลาคม 2561).
- M. Ramasubramanian, M A. Dorai Rangaswamy and G. N. V. Raja Reddy. (2015). A survey study on detecting and tracking objective methods. **IEEE National Conference on Emerging Trends In New & Renewable Energy Sources And Energy Management (NCET NRES EM)**, 159-164.
- Nina Golgowski. (2016). **Stop Hating On Black Cats! It's National Black Cat Day!**. [Online]. Available https://www.huffingtonpost.com/entry/national-black-cat-day_us_582c6aaee4b0e39c1fa72a5f (11 October 2018).
- Oknation.net. (2555). **นกเอี้ยงแค่เลี้ยงควาย นกแก้ว..เลี้ยงทั้งควายและโจร.....!!**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <http://oknation.nationtv.tv/blog/print.php?id=784510> (11 ตุลาคม 2561).
- Ortrun Wagner. (2017). **Rassekatzen – Vorstellung live Kostbarkeit aus Südostasien: “Khao Manee”**. [Online]. Available https://www.mein-suedhessen.de/event/darmstadt/c-verschiedenes/rassekatzen-vorstellung-live-kostbarkeit-aus-suedostasiengkao-manee_e20651 (11 October 2018).
- Parrot all. (2561). **ไฮยาซินมาคอว์**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <http://parrotall.com/parrotall/hyacinth-macaw/> (11 ตุลาคม 2561).
- PE Daily HD. (2017). **Awesome Quick Bird Trap Using Box Paper - How To Make Bird Trap Using Cardboard (Works 100%)**. [Online]. Available <https://www.youtube.com/watch?v=7SBFKanLiC0&t=1s> (10 March 2018).

- Phornpimon. (2560). “นกพิราบ” เสี่ยงโรคสมอง – เชื้อโรคเข้าปอด กรมอนามัยเตือน. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <https://www.thaiquote.org/content/19108> (11 ตุลาคม 2561).
- Phuong Nguyen Duy. (no date a). **Pigeons at the main square in the central of city. Close up.** [Online]. Available https://www.123rf.com/photo_73678475_pigeons-at-the-main-square-in-the-central-of-city-close-up.html?fromid=YjMrZmV4N2NLVmtReEJsalExcU0xQT09 (11 October 2018).
- _____. (no date b). **Pigeons eating bread on the square in Old Delhi, India. Delhi is the capital of India and the second most populated city in the country.** [Online]. Available https://www.123rf.com/photo_72021587_pigeons-eating-bread-on-the-square-in-old-delhi-india-delhi-is-the-capital-of-india-and-the-second-most-populated-city-in-the-country.html?fromid=STNWTTBDUHEQUJmQ1nR1RzWWpmZz09 (11 October 2018).
- Pichayanon Pairojana. (no date). **Pigeon, it lives at NONGPRAJAK PUBLIC PARK, Udonthani Thailand.** [Online]. Available https://www.123rf.com/photo_101584326_pigeon-it-lives-at-nongprajak-public-park-udonthani-thailand.html?term=pigeons%2Bthailand&vti=o8ecfd4vy5so0eq51i-1-72 (11 October 2018).
- Plains-wanderer. (2553). **นกกระजิบหญ้าสีน้ำตาล / Brown Prinia (Prinia polychroa).** [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <http://oknation.nationtv.tv/blog/plains-wanderer/2010/09/05/entry-1> (11 ตุลาคม 2561).
- Porntippa. (2558). **สายพันธุ์ที่นิยมเลี้ยงในไทย.** [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <https://sites.google.com/site/porntippa581110062/say-phanthu> (11 ตุลาคม 2561).
- Professional pest management. (no date). **Bird Control.** [Online]. Available <http://www.professionalpestmgmt.com/services/commercial/bird-control/> (14 March 2017).
- Puffychan. (2551). **[กระรอกต้นไม้] กระถิก(กระเล็น)ขนปลายหูสั้น.** [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <http://www.ma-tang.com/bbs/forum.php?mod=viewthread&tid=1310> (11 ตุลาคม 2561).
- P&A petshop. (2559). **นกพิราบ.** [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <http://www.pa-petshop.com/category/31/นกพิราบ> (11 ตุลาคม 2561).

- Rosniza Roslan, Nursuriati Jamil, Nur Amalina Nazery and Raseeda Hamzah. (2017). Color-Based Bird Image Classification using Support Vector Machine. **IEEE 6th Global Conference on Consumer Electronics (GCCE 2017)**, 1-5.
- Sanaz Ghazia and Kenneth Ip. (2014). The effect of weather conditions on the efficiency of PV panels in the southeast of UK. **Renewable Energy**. Vol 69, 50–59.
- Shariff Che Lah. (2552). **Image of pigeons feeding at Boudhanath Temple, Kathmandu, Nepal**. [Online]. Available <https://www.dreamstime.com/royalty-free-stock-photo-pigeons-boudhanath-temple-kathmandu-nepal-image12630845> (11 October 2018).
- Steve Gu and Carlo Tomasi. (2011). Branch and track. **IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)**, 1,169-1,174.
- The International Maew Boran Association. (2561). **แมวขามณี**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <http://www.timba.org/khaomanee-th.html> (11 ตุลาคม 2561).
- TipsDD. (2561). **CAT HAS NINE LIVES แมวไทย 5 ชนิด ก้าวชีวิตในตำนาน**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <https://www.tipsdd.com/pet/cat-has-nine-lives-แมวไทย-5-ชนิด-ก้าวชีวิต/> (11 ตุลาคม 2561).
- Umar Ozgunalp and Naim Dahnoun. (2016). Lane detection based on improved feature map and efficient region of interest extraction. **Conference on IEEE Global Signal and Information Processing (GlobalSIP)**, 923-927.
- WIKIPEDIA. (2007). **Ficheiro:Northern pig-tailed macaque.JPG**. [Online]. Available https://pt.m.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:Northern_pig-tailed_macaque.JPG (11 October 2018).
- 3dman_eu. (2559). **ลิง ลิงกัง ประเทศไทย ชายหาด**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <https://pixabay.com/th/ลิง-ลิงกัง-ประเทศไทย-ชายหาด-1201221/> (11 ตุลาคม 2561).
- 3thai. (2559). **กระเล็น กระถิก กระจ้อน กระแต**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <http://3thai.com/articles/2769> (11 ตุลาคม 2561).



ภาคผนวก



ภาคผนวก ก
ระบบประมวลผลภาพ

1. ระบบประมวลผลภาพเพื่อหาตำแหน่งนกพิราบ

```

close all
clear all
clc;

BW4 = imread('picture 44.jpg');
[img path] = uigetfile('*.jpg','IMPORT jpg');
if img ~= 0
    BW1 = imread(strcat(path,img));
if(~isdeployed)
    cd(fileparts(which(mfilename)));
end

BW2 = imresize(BW1,[450 300]);
BW5 = imresize(BW4,[450 300]);
BW3 = rgb2gray(BW2);
BW6 = rgb2gray(BW5);
BW7 = imsubtract(BW3 , BW6) ;%~(imsubtract(BW3 , BW6) )
BW8 = imadd(BW5 , BW2) ;

figure(1);
subplot(1, 3, 1); imshow(BW5);colormap(gray(256)); title('Master Image '); axis square;
subplot(1, 3, 2); imagesc(BW2); colormap(gray(256)); title('Input Image'); axis square;
subplot(1, 3, 3); imagesc(BW7); colormap(gray(256)); title('output Image'); axis square;
[BB,thr] = edge(BW7,'canny',0.5); %BB = imfill(BB1, 4,'holes');
[B,L,N,A] =bwboundaries(BB);
figure; imshow(BW2); hold on;
for k=1:length(B),
    if(~sum(A(k,:)))
        boundary = B{k};
        plot(boundary(:,2),...
            boundary(:,1),'r','LineWidth',2);
    end
end

```

```

end

CXmin = min(C(:,1));% min(C(:,1)); %find X value min
CXmax = max(C(:,1));%max(C(:,1)); %find X value max
CYmin = min(C(:,2));%min(C(:,2)); %find Y value mim
CYmax = max(C(:,2));%max(C(:,2)); %find Y value max

LoL = [CXmin CYmin];
LoR = [CXmax CYmin];
UpL = [CXmin CYmax];
UpR = [CXmax CYmax];

for k=1:N,
    [r , c] = find(L == k);
    rbar = mean(r);
    cbar = mean(c);
    Point(:,1) = rbar;
    Point(:,2) = cbar;

    eel = Point(:,1) - LoL(:,1); % center Point to left edge
    ddl = LoR(:,1) - Point(:,1); % center Point to right edge
    hl = Point(:,2) - CYmin; % center Point to low edge
    eeh = Point(:,1) - HiL(:,1); % center Point to left edge
    ddh = HiR(:,1) - Point(:,1); % center Point to right edge
    hh = CYmax - Point(:,2) ; % center Point to high edge
    %*****find alpha value low section*****

    bbl = sqrt(eel^2 + hl^2);
    alpha_low = asind(hl/bbl);
    aal = sqrt(ddl^2 + hl^2);
    beta_low = asind(hl/aal);
    gamma_low = 180 - (alpha_low + beta_low);
    %*****find value upper section *****

    bbh = sqrt(eeh^2 + hh^2);
    alpha_upper = asind(hh/bbh);

```

```

aah = sqrt(ddh^2 + hh^2);
beta_upper = asind(hh/aah);
gamma_upper = 180 - (alpha_upper + beta_upper);
%*****
caption = sprintf('Alpha top = %.1f Beta top = %.1f gamma top = %.1f\n alpha down
= %.1f beta down = %.1f gamma down = %.1f \n ', alpha_low, beta_low,
gamma_low, alpha_upper, beta_upper, gamma_upper);
fprintf(caption, 'FontSize', 10);
plot(cbar,rbar,'Marker','^','MarkerEdgeColor','k',...
'MarkerFaceColor','k','MarkerSize',10)
plot(cbar,rbar,'Marker','*','MarkerEdgeColor','w')
end
end

```

2. การใช้ค่าเฉลี่ยฮิสโทแกรม อาร์(R) ฮิสโทแกรม จี(G) และ ฮิสโทแกรม บี(B) เพื่อจำแนกนกพิราบจากสัตว์ชนิดอื่น

```

tic;
clc;
clear all;
close all;

[img path] = uigetfile('*.jpg','IMPORT jpg');
if img ~= 0
    BW1 = imread(strcat(path,img));
    if(~isdeployed)
        cd(fileparts(which(mfilename)));
    end

    I = imresize(BW1,[450 300]);
    BW3 = rgb2gray(I);
    red=I(:, :,1);
    green=I(:, :,2);

```

```

blue=l(:, :,3);
figure(1); imagesc(l); colormap(gray(256)); title('Input Image'); axis square;
figure(2);
[pixCouR grayR] = imhist(red,256);
R_sum_in = sum(pixCouR(2:256)); %average all pic.
x = 2;
while x < 256
    Rxx(x) = pixCouR(x)* x ;
    x=x+1;
end
R_sum_in_all = sum(Rxx(:));
R_mean_in = R_sum_in_all / R_sum_in;
R_count = 0;
x = 2;
while x < 256
    if pixCouR(x)>50
        R_count = R_count + 1;
    else
    end
    x=x+1;
end
[pixCouG grayG] = imhist(green,256);
G_sum_in = sum(pixCouG(2:256));
x = 2;
while x < 256
    Gxx(x) = pixCouG(x)* x ;%count more value 50
    x=x+1;
end
G_sum_in_all = sum(Gxx(:));
G_mean_in = G_sum_in_all / G_sum_in;
G_count = 0;

```



```

        x = 2;
while x < 256
    if pixCouG(x)>50
        G_count = G_count + 1;
    else
    end
    x=x+1;
end

[pixCouB grayB] = imhist(blue,256);
B_sum_in = sum(pixCouB(2:256));
x = 2;
while x < 256
    Bxx(x) = pixCouB(x)* x ;
    x=x+1;
end
B_sum_in_all = sum(Bxx(:));
B_mean_in = B_sum_in_all / B_sum_in;
B_count = 0;
x = 2;
while x < 256
    if pixCouB(x)>50
        B_count = B_count + 1;
    else
    end
    x=x+1;
end

caption = sprintf('R_mean_in = %.1f G_mean_in = %.1f B_mean_in = %.1f\n ',
R_mean_in, G_mean_in, B_mean_in);
fprintf(caption, 'FontSize', 10);
hold on

```

```

plot(grayR, pixCouR, 'r');
plot(grayG, pixCouG, 'g');
plot(grayB, pixCouB, 'b');
axis([0 255 0 150])
set(gca,'xtick',0:50:255)
set(gca,'ytick',0:50:150)
figure(3);
plot(grayR, pixCouR, 'r');
axis([0 255 0 150])
set(gca,'xtick',0:50:255)
set(gca,'ytick',0:50:150)
figure(4);
%bar(grayG, pixCouG, 'green', 'g');
plot(grayG, pixCouG, 'g');
axis([0 255 0 150])
set(gca,'xtick',0:50:255)
set(gca,'ytick',0:50:150)
figure(5);
%bar(grayB, pixCouB, 'blue', 'b');
plot(grayB, pixCouB, 'b');
axis([0 255 0 150])
set(gca,'xtick',0:50:255)
set(gca,'ytick',0:50:150)
end

```

3. ระบบประมวลผลภาพเพื่อหาตำแหน่งนกพิราบจากชุดแผงเซลล์แสงอาทิตย์จริง

```

close all
clear all
clc;
BW4 = imread('pv.jpg');

```

```

[img path] = uigetfile('* .jpg','IMPORT jpg');
if img ~= 0
    BW1 = imread(strcat(path,img));
if(~isdeployed)
    cd(fileparts(which(mfilename)));
end
BW2 = imresize(BW1,[450 300]);
BW5 = imresize(BW4,[450 300]);
BW3 = rgb2gray(BW2);
BW6 = rgb2gray(BW5);
BW7 = imsubtract(BW3 , BW6) ;%~(imsubtract(BW3 , BW6) )
BW8 = imadd(BW5 , BW2) ;
figure(1);
subplot(2, 3, 1); imshow(BW5);colormap(gray(256)); title('Master Image '); axis square;
subplot(2, 3, 2); imagesc(BW2); colormap(gray(256)); title('Input Image'); axis square;
subplot(2, 3, 3); imagesc(BW7); colormap(gray(256)); title('output Image'); axis square;
subplot(2, 3, 4); imshow(BW5);colormap(gray(256)); title('Master Image '); axis square;
subplot(2, 3, 5); imagesc(BW7); colormap(gray(256)); title('Input Image'); axis square;
subplot(2, 3, 6); imagesc(BW8); colormap(gray(256)); title('output Image'); axis square;
[BB,thr] = edge(BW7,'canny',0.5);
%BB = imfill(BB1, 4,'holes');
[B,L,N,A] =bwboundaries(BB);
figure; imshow(BW2); hold on;
for k=1:length(B),
    if(~sum(A(k,:)))
        boundary = B{k};
        plot(boundary(:,2),...
            boundary(:,1),'r','LineWidth',2);
    end
end
end

```

```

CXmin = 28;% min(C(:,1)); %find X value min
CXmax = 280;%max(C(:,1)); %find X value max
CYmin = 38;%min(C(:,2)); %find Y value mim
CYmax = 372;%max(C(:,2)); %find Y value max

LoL = [38 28];
LoR = [38 278];
UpL = [368 30];
UpR = [368 278];
Rp = 670/114 ;
Cp = 1476/124 ;
cc = LoR(:,2) - LoL(:,2); %Distane low point axis X
hh = UpR(:,1) - LoL(:,1); %axis Y
for k=1:N,
[r , c] = find(L == k);
rbar = mean(r);
cbar = mean(c);
Point(:,1) = rbar; % find point xy center
Point(:,2) = cbar;
Tp(k,1) = rbar;
Tp(k,2) = cbar;
eel = Point(:,2) - LoL(:,2); % axis X distance between center Point to left edge
ddl = LoR(:,2) - Point(:,2); % axis X distance between center Point to right edge
hl = Point(:,1) - LoL(:,1); % axis Y distance between center Point to low edge
hu = UpL(:,1) - Point(:,1); % axis Y distance between center Point to low edge
%*****find position *****
if ((eel > (cc/2)) && (hl > (hh*(2/3))))
num2a(k,2) = (Point(:,2)-158)*Cp
num2a(k,1) = (368-Point(:,1))*Rp
elseif ((eel > (cc/2)) && (hl > (hh*(1/3))))
num2b(k,2) = (Point(:,2)-158)*Cp
num2b(k,1) = (260-Point(:,1))*Rp

```

```

elseif ((eel > (cc/2)) && (hl < (hh*(1/3))))
    num2c(k,2) = (Point(:,2)-158)*(1476/123)
    num2c(k,1) = (149-Point(:,1))*Rp
elseif (eel < (cc/2)) && (hl > (hh*(2/3))) %compare left edge more length axis
    num1a(k,2) = (Point(:,2)-28)*Cp
    num1a(k,1) = (368-Point(:,1))*Rp
elseif (eel < (cc/2)) && (hl > (hh*(1/3)))
    num1b(k,2) = (Point(:,2)-28)*Cp
    num1b(k,1) = (260-Point(:,1))*Rp
elseif (eel < (cc/2)) && (hl < (hh*(1/3)))
    num1c(k,2) = (Point(:,2)-28)*Cp
    num1c(k,1) = (149-Point(:,1))*Rp
end
%*****find alpha value low section*****
bbl = sqrt(eel^2 + hl^2);
alpha_low = asind(hl/bbl);
aal = sqrt(ddl^2 + hl^2);
beta_low = asind(hl/aal);
gamma_low = 180 - (alpha_low + beta_low);
%*****find value upper section *****
bbu = sqrt(eel^2 + hu^2);
alpha_upper = asind(hu/bbu);
aau = sqrt(ddl^2 + hu^2);
beta_upper = asind(hu/aau);
gamma_upper = 180 - (alpha_upper + beta_upper);
%*****
caption = sprintf('Alpha top = %.1f Beta top = %.1f gamma top = %.1f\n alpha down
= %.1f beta down = %.1f gamma down = %.1f \n ', alpha_low, beta_low,
gamma_low, alpha_upper, beta_upper, gamma_upper);
fprintf(caption, 'FontSize', 10);
plot(cbar,rbar,'Marker','^','MarkerEdgeColor','k',...

```

```

        'MarkerFaceColor','k','MarkerSize',10)
    plot(cbar,rbar,'Marker','*','MarkerEdgeColor','w')
end
end

```

4. ระบบประมวลผลเพื่อการจำแนกกับวัตถุอื่นด้วยการนับพิกเซล

```

tic; % Start timer.
clc; % Clear command window.
clear all;
close all;

disp('Running test.m...'); % Message sent to command window.
workspace; % Show panel with all the variables.
[img path] = uigetfile('*.*','IMPORT jpg');
if img ~= 0
    originalImage1 = imread(strcat(path,img));
    if(~isdeployed)
        cd(fileparts(which(mfilename)));
    end
    i1 = im2double(originalImage1);
    i2 = 2*(i1.^1.75);
    originalImage = imadjust(i2,[0 1],[0 1],1./2);
    figure(1);
    subplot(1, 3, 1);
    imshow(originalImage);
    set(gcf, 'Position', get(0, 'ScreenSize'));
    drawnow;
    caption = sprintf('Original "bird" image showing. ');
    title(caption);
    axis square;
    binaryImage1 = im2bw(originalImage,0.80);
    binaryImage = ~binaryImage1;

```



```

hold on;
subplot(1, 3, 2); imagesc(binaryImage); colormap(gray(256)); title('Binary Image,
obtained by thresholding'); axis square;
[labeledImage dd] = bwlabel(binaryImage, 8); % Label each blob so we can make
measurements of it
fundStats = regionprops(labeledImage, 'Area');
idx = find([fundStats.Area] > 1000);
BW2 = ismember(labeledImage,idx);
blobMeasurements = regionprops(BW2, 'all');% originalImage,
numberOfBlobs = size(blobMeasurements, 1);
subplot(1, 3, 3); imagesc(originalImage);
title('Outlines, from bwboundaries()'); axis square;
hold on;
boundaries = bwboundaries(BW2);
numberOfBoundaries = size(boundaries);
for k = 1 : numberOfBoundaries
    thisBoundary = boundaries{k};
    plot(thisBoundary(:,2), thisBoundary(:,1), 'g', 'LineWidth', 2);
end
fontSize = 14;
labelShiftX = -7;
blobECD = zeros(1, numberOfBlobs);
% Print header line in the command window.
fprintf(1,'Number #    Mean Intensity Area Perimeter Centroid Diameter\n');
for k = 1 : numberOfBlobs
    thisBlobsPixels = blobMeasurements(k).PixelIdxList;
    meanGL = mean(originalImage(thisBlobsPixels));
    blobArea = blobMeasurements(k).Area;
    blobPerimeter = blobMeasurements(k).Perimeter;
    blobCentroid = blobMeasurements(k).Centroid;
    blobECD(k) = sqrt(4 * blobArea / pi);

```

```
fprintf(1,'%2d %17.1f %11.1f %8.1f %8.1f %8.1f % 8.1f\n', k, meanGL, blobArea,  
blobPerimeter, blobCentroid, blobECD(k));  
text(blobCentroid(1) + labelShiftX, blobCentroid(2), num2str(k), 'FontSize', fontSize,  
'FontWeight', 'Bold');  
end  
elapsedTime = toc;  
hold off;  
end
```









ภาคผนวก ข
ผลการทดลอง

1. ผลการทดสอบหาตำแหน่งนกพิราบจากระบบประมวลผลภาพ





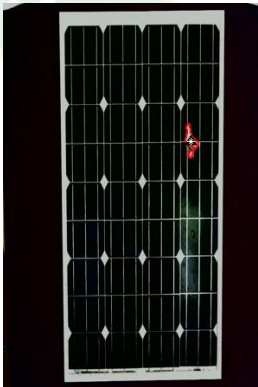
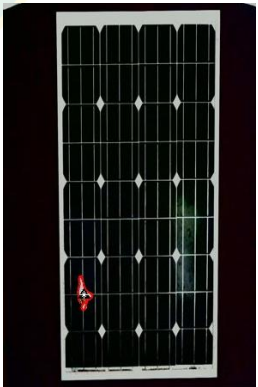
การตรวจหานกบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคาโดยใช้การประมวลผลภาพ ใช้ตัวอย่างในการทดสอบทั้งหมด 100 ตัวอย่าง แบ่งเป็น 4 กลุ่มข้อมูล

1. ตัวอย่างนกบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 1 ตัว จำนวน 25 ตัวอย่าง รวมเป็นนก 25 ตำแหน่ง
 2. ตัวอย่างนกบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 2 ตัว จำนวน 25 ตัวอย่าง รวมเป็นนก 50 ตำแหน่ง
 3. ตัวอย่างนกบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 3 ตัว จำนวน 25 ตัวอย่าง รวมเป็นนก 75 ตำแหน่ง
 4. ตัวอย่างนกบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 4 ตัว จำนวน 25 ตัวอย่าง รวมเป็นนก 100 ตำแหน่ง
- ผลการทดสอบ แสดงดังต่อไปนี้


ตารางผนวกที่ 1 ตัวอย่างนกบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 1 ตัว

ชุดทดสอบและผลของตำแหน่ง	ผลการทดสอบ	ชุดทดสอบและผลของตำแหน่ง	ผลการทดสอบ
No. 1 Top Alpha = 83.6 Beta = 34.1 Gamma = 62.3 Down Alpha = 85.2 Beta = 53.7 Gamma = 41.1		No. 2 Top Alpha = 85.2 Beta = 23.2 Gamma = 71.6 Down Alpha = 89.8 Beta = 61.7 Gamma = 28.5	
No. 3 Top Alpha = 84.8 Beta = 53.1 Gamma = 42.1 Down Alpha = 86.3 Beta = 48.8 Gamma = 44.9		No. 4 Top Alpha = 14.5 Beta = 33.5 Gamma = 132.0 Down Alpha = 48.0 Beta = 70.0 Gamma = 62.0	


ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

ชุดทดสอบและผลของ ตำแหน่ง	ผลการทดสอบ	ชุดทดสอบและผล ของตำแหน่ง	ผลการทดสอบ
No. 5 Top Alpha = 33.7 Beta = 56.8 Gamma = 89.5 Down Alpha = 30.6 Beta = 53.0 Gamma = 96.4		No. 6 Top Alpha = 82.8 Beta = 46.1 Gamma = 51.1 Down Alpha = 79.3 Beta = 41.4 Gamma = 59.3	
No. 7 Top Alpha = 58.5 Beta = 66.6 Gamma = 54.9 Down Alpha = 66.5 Beta = 71.7 Gamma = 41.8		No. 8 Top Alpha = 27.7 Beta = 56.5 Gamma = 95.8 Down Alpha = 43.3 Beta = 69.4 Gamma = 67.3	
No. 9 Top Alpha = 65.7 Beta = 65.0 Gamma = 49.3 Down Alpha = 68.0 Beta = 65.6 Gamma = 46.4		No. 10 Top Alpha = 18.1 Beta = 48.1 Gamma = 113.8 Down Alpha = 51.7 Beta = 76.5 Gamma = 51.8	




ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

ชุดทดสอบและผลของตำแหน่ง	ผลการทดสอบ	ชุดทดสอบและผลของตำแหน่ง	ผลการทดสอบ
No. 11 Top Alpha = 68.9 Beta = 66.6 Gamma = 44.5 Down Alpha = 66.5 Beta = 61.8 Gamma = 51.7		No. 12 Top Alpha = 55.1 Beta = 76.3 Gamma = 48.6 Down Alpha = 58.6 Beta = 77.2 Gamma = 42.2	
No. 13 Top Alpha = 15.6 Beta = 43.0 Gamma = 121.4 Down Alpha = 52.6 Beta = 76.8 Gamma = 50.6		No. 14 Top Alpha = 20.6 Beta = 47.2 Gamma = 112.2 Down Alpha = 47.5 Beta = 71.8 Gamma = 60.7	
No. 15 Top Alpha = 38.0 Beta = 75.1 Gamma = 66.9 Down Alpha = 45.0 Beta = 78.0 Gamma = 57.0		No. 16 Top Alpha = 74.7 Beta = 20.7 Gamma = 84.6 Down Alpha = 85.0 Beta = 58.0 Gamma = 37.0	





ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

ชุดทดสอบและผลของ ตำแหน่ง	ผลการทดสอบ	ชุดทดสอบและผล ของตำแหน่ง	ผลการทดสอบ
No. 17 Top Alpha = 30.6 Beta = 69.6 Gamma = 79.8 Down Alpha = 49.4 Beta = 78.9 Gamma = 51.7		No. 18 Top Alpha = 24.1 Beta = 45.4 Gamma = 110.5 Down Alpha = 38.9 Beta = 60.8 Gamma = 80.3	
No. 19 Top Alpha = 84.9 Beta = 49.8 Gamma = 45.3 Down Alpha = 87.3 Beta = 51.6 Gamma = 41.1		No. 20 Top Alpha = 23.3 Beta = 51.7 Gamma = 105.0 Down Alpha = 46.5 Beta = 71.6 Gamma = 61.9	
No. 21 Top Alpha = 20.9 Beta = 40.7 Gamma = 118.4 Down Alpha = 40.8 Beta = 62.2 Gamma = 77.0		No. 22 Top Alpha = 81.8 Beta = 40.2 Gamma = 58.0 Down Alpha = 81.8 Beta = 47.6 Gamma = 50.6	





ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

ชุดทดสอบและผลของ ตำแหน่ง	ผลการทดสอบ	ชุดทดสอบและผล ของตำแหน่ง	ผลการทดสอบ
No. 23 Top Alpha = 38.1 Beta = 40.1 Gamma = 101.8 Down Alpha = 75.2 Beta = 75.0 Gamma = 29.8		No. 24 Top Alpha = 22.9 Beta = 76.0 Gamma = 81.1 Down Alpha = 64.7 Beta = 87.0 Gamma = 28.3	
No. 25 Top Alpha = 41.4 Beta = 84.7 Gamma = 53.9 Down Alpha = 50.0 Beta = 58.9 Gamma = 44.1			

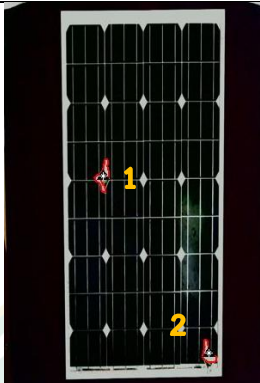


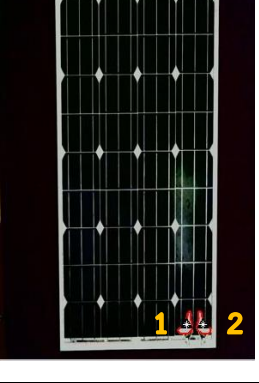
ตารางผนวกที่ 2 ตัวอย่างนกบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 2 ตัว

จุดทดสอบและผลของตำแหน่ง	ผลการทดสอบ	จุดทดสอบและผลของตำแหน่ง	ผลการทดสอบ
No. 1		1) Top: Alpha = 14.2, Beta = 29.7, Gamma = 136.1 Down: Alpha = 45.0, Beta = 65.6, Gamma = 69.4 2) Top: Alpha = 19.8, Beta = 39.5, Gamma = 120.7 Down: Alpha = 42.0, Beta = 63.5, Gamma = 74.5	
No. 2		1) Top: Alpha = 14.7, Beta = 36.3, Gamma = 129.0 Down: Alpha = 49.9, Beta = 29.7, Gamma = 57.2 2) Top: Alpha = 14.2, Beta = 29.7, Gamma = 136.1 Down: Alpha = 45.0, Beta = 65.6, Gamma = 69.4	
No. 3		1) Top: Alpha = 14.2, Beta = 29.7, Gamma = 136.1 Down: Alpha = 45.0, Beta = 65.6, Gamma = 69.4 2) Top: Alpha = 33.3, Beta = 56.3, Gamma = 90.4 Down: Alpha = 30.9, Beta = 53.2, Gamma = 95.8	
No. 4		1) Top: Alpha = 14.2, Beta = 29.7, Gamma = 136.1 Down: Alpha = 45.0, Beta = 65.6, Gamma = 69.4 2) Top: Alpha = 79.4, Beta = 31.3, Gamma = 69.3 Down: Alpha = 83.6, Beta = 53.4, Gamma = 43.0	


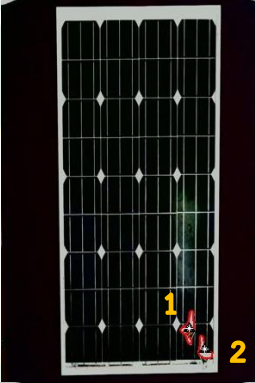

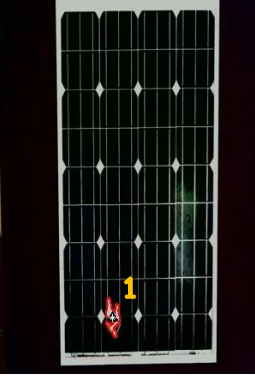
ตารางผนวกที่ 2 (ต่อ)

ชุดทดสอบและผลของ ตำแหน่ง	ผลการทดสอบ	ชุดทดสอบและผล ของตำแหน่ง	ผลการทดสอบ
No. 5		1) Top: Alpha = 14.2, Beta = 29.7, Gamma = 136.1 Down: Alpha = 45.0, Beta = 65.6, Gamma = 69.4 2) Top: Alpha = 35.3, Beta = 59.8, Gamma = 84.9 Down: Alpha = 31.3, Beta = 55.3, Gamma = 93.4	
No. 6		1) Top: Alpha = 23.4, Beta = 44.7, Gamma = 111.9 Down: Alpha = 39.6, Beta = 61.6, Gamma = 78.8 2) Top: Alpha = 33.8, Beta = 56.9, Gamma = 89.3 Down: Alpha = 30.4, Beta = 52.7, Gamma = 96.9	
No. 7		1) Top: Alpha = 72.2, Beta = 20.0, Gamma = 87.8 Down: Alpha = 84.5, Beta = 57.8, Gamma = 37.7 2) Top: Alpha = 33.8, Beta = 56.9, Gamma = 89.3 Down: Alpha = 30.4, Beta = 52.7, Gamma = 96.9	
No. 8		1) Top: Alpha = 89.9, Beta = 48.1, Gamma = 42.0 Down: Alpha = 87.7, Beta = 47.3, Gamma = 45.0 2) Top: Alpha = 33.8, Beta = 56.9, Gamma = 89.3 Down: Alpha = 30.4, Beta = 52.7, Gamma = 96.9	




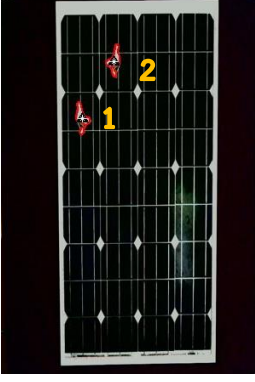
ตารางผนวกที่ 2 (ต่อ)

ชุดทดสอบและผลของ ตำแหน่ง	ผลการทดสอบ	ชุดทดสอบและผล ของตำแหน่ง	ผลการทดสอบ
No. 9		1) Top: Alpha = 38.0, Beta = 62.5, Gamma = 79.5 Down: Alpha = 67.9, Beta = 80.1, Gamma = 32.0 2) Top: Alpha = 33.8, Beta = 56.9, Gamma = 89.3 Down: Alpha = 30.4, Beta = 52.7, Gamma = 96.9	
No. 10		1) Top: Alpha = 15.8, Beta = 33.8, Gamma = 130.4 Down: Alpha = 45.3, Beta = 66.8, Gamma = 67.9	
No. 11		1) Top: Alpha = 15.3, Beta = 34.3, Gamma = 130.4 Down: Alpha = 47.0, Beta = 69.0, Gamma = 64.0	
No. 12		1) Top: Alpha = 31.6, Beta = 54.6, Gamma = 93.8 Down: Alpha = 32.7, Beta = 55.1, Gamma = 92.2 2) Top: Alpha = 33.8, Beta = 56.9, Gamma = 89.3 Down: Alpha = 30.4, Beta = 52.7, Gamma = 96.9	





ตารางผนวกที่ 2 (ต่อ)

ชุดทดสอบและผลของ ตำแหน่ง	ผลการทดสอบ	ชุดทดสอบและผล ของตำแหน่ง	ผลการทดสอบ
No. 13		1) Top: Alpha = 89.4, Beta = 23.0, Gamma = 67.6 Down: Alpha = 88.8, Beta = 68.8, Gamma = 30.4 2) Top: Alpha = 66.1, Beta = 36.8, Gamma = 77.2 Down: Alpha = 82.8, Beta = 65.5, Gamma = 31.7	
No. 14		1) Top: Alpha = 33.6, Beta = 59.3, Gamma = 87.1 Down: Alpha = 34.6, Beta = 59.6, Gamma = 85.8 2) Top: Alpha = 33.8, Beta = 56.9, Gamma = 89.3 Down: Alpha = 30.4, Beta = 52.7, Gamma = 96.9	
No. 15		1) Top: Alpha = 21.5, Beta = 44.5, Gamma = 114.0 Down: Alpha = 43.7, Beta = 66.7, Gamma = 69.6 2) Top: Alpha = 31.9, Beta = 64.5, Gamma = 83.6 Down: Alpha = 43.7, Beta = 72.2, Gamma = 64.0	
No. 16		1) Top: Alpha = 21.4, Beta = 44.9, Gamma = 113.7 Down: Alpha = 44.3, Beta = 67.5, Gamma = 68.2	

ตารางผนวกที่ 2 (ต่อ)

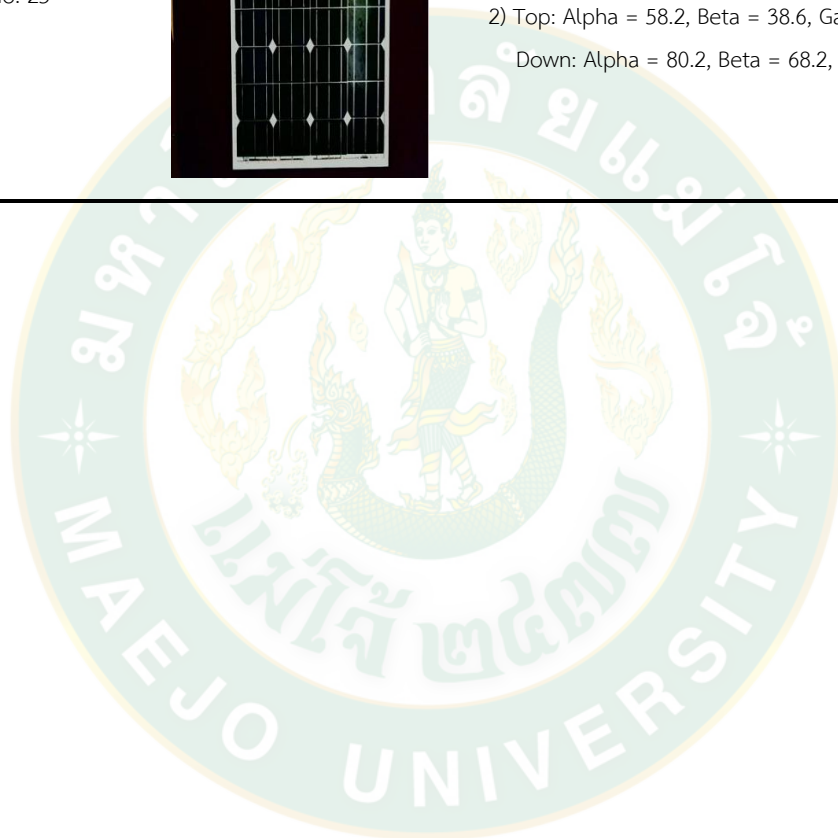
ชุดทดสอบและผลของตำแหน่ง	ผลการทดสอบ	ชุดทดสอบและผลของตำแหน่ง	ผลการทดสอบ
No. 17		1) Top: Alpha = 16.2, Beta = 37.2, Gamma = 126.6 Down: Alpha = 47.7, Beta = 70.4, Gamma = 61.9 2) Top: Alpha = 54.1, Beta = 51.7, Gamma = 74.2 Down: Alpha = 74.2, Beta = 71.4, Gamma = 34.4	
No. 18		1) Top: Alpha = 78.1, Beta = 27.8, Gamma = 74.1 Down: Alpha = 88.1, Beta = 62.6, Gamma = 29.3 2) Top: Alpha = 36.4, Beta = 80.1, Gamma = 63.5 Down: Alpha = 61.5, Beta = 85.8, Gamma = 32.7	
No. 19		1) Top: Alpha = 80.3, Beta = 27.6, Gamma = 72.1 Down: Alpha = 88.6, Beta = 62.0, Gamma = 29.4 2) Top: Alpha = 82.9, Beta = 35.5, Gamma = 61.6 Down: Alpha = 88.5, Beta = 59.4, Gamma = 32.1	
No. 20		1) Top: Alpha = 47.0, Beta = 38.8, Gamma = 94.2 Down: Alpha = 77.5, Beta = 71.9, Gamma = 30.6 2) Top: Alpha = 82.9, Beta = 35.5, Gamma = 61.6 Down: Alpha = 88.5, Beta = 59.4, Gamma = 32.1	

ตารางผนวกที่ 2 (ต่อ)





ชุดทดสอบและผลของ ตำแหน่ง	ผลการทดสอบ	ชุดทดสอบและผล ของตำแหน่ง	ผลการทดสอบ
No. 21		1) Top: Alpha = 82.9, Beta = 35.5, Gamma = 61.6 Down: Alpha = 88.5, Beta = 59.4, Gamma = 32.1 2) Top: Alpha = 86.2, Beta = 47.6, Gamma = 46.2 Down: Alpha = 83.3, Beta = 43.5, Gamma = 53.2	
No. 22		1) Top: Alpha = 33.5, Beta = 59.0, Gamma = 87.5 Down: Alpha = 34.3, Beta = 59.1, Gamma = 86.6 2) Top: Alpha = 87.2, Beta = 47.2, Gamma = 45.6 Down: Alpha = 84.8, Beta = 45.3, Gamma = 49.9	
No. 23		1) Top: Alpha = 15.7, Beta = 35.6, Gamma = 128.7 Down: Alpha = 47.5, Beta = 69.8, Gamma = 62.7 2) Top: Alpha = 62.9, Beta = 71.2, Gamma = 45.9 Down: Alpha = 61.6, Beta = 68.9, Gamma = 49.5	
No. 24		1) Top: Alpha = 23.3, Beta = 47.9, Gamma = 108.8 Down: Alpha = 43.2, Beta = 66.9, Gamma = 69.9 2) Top: Alpha = 62.9, Beta = 71.2, Gamma = 45.9 Down: Alpha = 61.6, Beta = 68.9, Gamma = 49.5	

ตารางผนวกที่ 2 (ต่อ)





ชุดทดสอบและผลของ ตำแหน่ง	ผลการทดสอบ	ชุดทดสอบและผล ของตำแหน่ง	ผลการทดสอบ
No. 25		1) Top: Alpha = 41.1, Beta = 38.8, Gamma = 100.1 Down: Alpha = 76.2, Beta = 73.8, Gamma = 30.0 2) Top: Alpha = 58.2, Beta = 38.6, Gamma = 83.2 Down: Alpha = 80.2, Beta = 68.2, Gamma = 31.6	






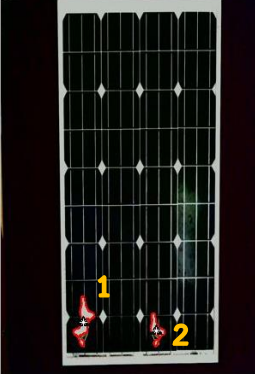
ตารางผนวกที่ 3 ตัวอย่างนกบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 3 ตัว

ชุดทดสอบและผลของ ตำแหน่ง	ผลการทดสอบ	ชุดทดสอบและผล ของตำแหน่ง	ผลการทดสอบ
No. 1		1) Top: Alpha = 14.1, Beta = 30.8, Gamma = 135.1 Down: Alpha = 46.5, Beta = 67.8, Gamma = 65.7 2) Top: Alpha = 35.9, Beta = 64.6, Gamma = 79.5 Down: Alpha = 36.7, Beta = 64.7, Gamma = 78.6 3) Top: Alpha = 33.4, Beta = 57.3, Gamma = 89.3 Down: Alpha = 32.2, Beta = 55.5, Gamma = 92.3	
No. 2		1) Top: Alpha = 35.7, Beta = 71.6, Gamma = 72.7 Down: Alpha = 44.8, Beta = 76.0, Gamma = 59.02 2) Top: Alpha = 33.4, Beta = 62.5, Gamma = 84.1 Down: Alpha = 39.1, Beta = 66.5, Gamma = 74.4 3) Top: Alpha = 33.9, Beta = 57.8, Gamma = 88.3 Down: Alpha = 31.7, Beta = 55.0, Gamma = 93.3	
No. 3		1) Top: Alpha = 33.4, Beta = 62.5, Gamma = 84.1 Down: Alpha = 39.1, Beta = 66.5, Gamma = 74.4 2) Top: Alpha = 87.3, Beta = 47.8, Gamma = 44.9 Down: Alpha = 84.7, Beta = 44.6, Gamma = 50.7 3) Top: Alpha = 33.9, Beta = 57.8, Gamma = 88.3 Down: Alpha = 31.7, Beta = 55.0, Gamma = 93.3	
No. 4		1) Top: Alpha = 14.6, Beta = 31.8, Gamma = 133.6 Down: Alpha = 46.2, Beta = 67.5, Gamma = 66.3 2) Top: Alpha = 33.4, Beta = 62.5, Gamma = 84.1 Down: Alpha = 39.1, Beta = 66.5, Gamma = 74.4 3) Top: Alpha = 33.9, Beta = 57.8, Gamma = 88.3 Down: Alpha = 31.7, Beta = 55.0, Gamma = 93.3	

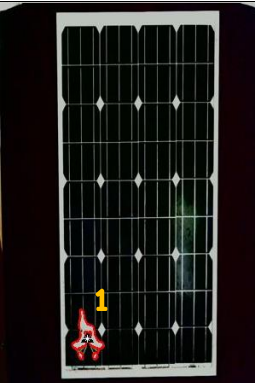



ตารางผนวกที่ 3 (ต่อ)

ชุดทดสอบและผลของ ตำแหน่ง	ผลการทดสอบ	ชุดทดสอบและผล ของตำแหน่ง	ผลการทดสอบ
No. 5		1) Top: Alpha = 66.1, Beta = 37.5, Gamma = 76.4 Down: Alpha = 82.6, Beta = 65.5, Gamma = 31.9 2) Top: Alpha = 33.4, Beta = 62.5, Gamma = 84.1 Down: Alpha = 39.1, Beta = 66.5, Gamma = 74.4 3) Top: Alpha = 33.9, Beta = 57.8, Gamma = 88.3 Down: Alpha = 31.7, Beta = 55.0, Gamma = 93.3	
No. 6		1) Top: Alpha = 13.7, Beta = 29.8, Gamma = 136.5 Down: Alpha = 46.5, Beta = 67.6, Gamma = 65.9 2) Top: Alpha = 18.2, Beta = 45.7, Gamma = 116.1 Down: Alpha = 50.3, Beta = 74.7, Gamma = 55.0 3) Top: Alpha = 33.9, Beta = 57.8, Gamma = 88.3 Down: Alpha = 31.7, Beta = 55.0, Gamma = 93.3	
No. 7		1) Top: Alpha = 13.7, Beta = 29.8, Gamma = 136.5 Down: Alpha = 46.5, Beta = 67.6, Gamma = 65.9 2) Top: Alpha = 87.9, Beta = 47.5, Gamma = 44.6 Down: Alpha = 85.6, Beta = 45.8, Gamma = 48.6 3) Top: Alpha = 33.9, Beta = 57.8, Gamma = 88.3 Down: Alpha = 31.7, Beta = 55.0, Gamma = 93.3	
No. 8		1) Top: Alpha = 80.4, Beta = 22.2, Gamma = 77.4 Down: Alpha = 86.3, Beta = 58.7, Gamma = 35.0 2) Top: Alpha = 13.7, Beta = 29.8, Gamma = 136.5 Down: Alpha = 46.5, Beta = 67.6, Gamma = 65.9 3) Top: Alpha = 86.3, Beta = 30.0, Gamma = 63.7 Down: Alpha = 89.8, Beta = 59.7, Gamma = 30.5	

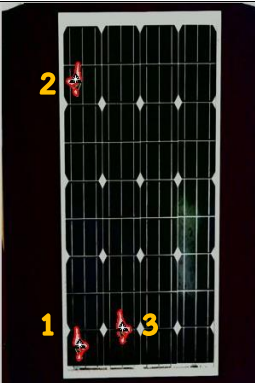



ตารางผนวกที่ 3 (ต่อ)

ชุดทดสอบและผลของ ตำแหน่ง	ผลการทดสอบ	ชุดทดสอบและผล ของตำแหน่ง	ผลการทดสอบ
No. 9		1) Top: Alpha = 22.9, Beta = 45.9, Gamma = 111.2 Down: Alpha = 42.1, Beta = 65.1, Gamma = 72.8 2) Top: Alpha = 24.9, Beta = 46.7, Gamma = 108.4 Down: Alpha = 38.6, Beta = 60.7, Gamma = 80.7 3) Top: Alpha = 88.4, Beta = 49.7, Gamma = 41.9 Down: Alpha = 89.5, Beta = 47.8, Gamma = 42.7	
No. 10		1) Top: Alpha = 89.7, Beta = 22.3, Gamma = 68.0 Down: Alpha = 88.8, Beta = 61.0, Gamma = 30.2 2) Top: Alpha = 23.3, Beta = 48.0, Gamma = 108.7 Down: Alpha = 43.4, Beta = 67.2, Gamma = 69.4 3) Top: Alpha = 24.8, Beta = 47.2, Gamma = 108.0 Down: Alpha = 39.5, Beta = 62.0, Gamma = 78.5	
No. 11		1) Top: Alpha = 23.3, Beta = 49.0, Gamma = 107.7 Down: Alpha = 44.2, Beta = 68.4, Gamma = 67.4 2) Top: Alpha = 24.8, Beta = 47.2, Gamma = 108.0 Down: Alpha = 39.5, Beta = 62.0, Gamma = 78.5	
No. 12		1) Top: Alpha = 15.3, Beta = 34.3, Gamma = 130.4 Down: Alpha = 47.0, Beta = 69.0, Gamma = 64.0 2) Top: Alpha = 27.5, Beta = 51.2, Gamma = 101.3 Down: Alpha = 37.9, Beta = 61.1, Gamma = 81.0	

ตารางผนวกที่ 3 (ต่อ)

ชุดทดสอบและผลของ ตำแหน่ง	ผลการทดสอบ	ชุดทดสอบและผล ของตำแหน่ง	ผลการทดสอบ
No. 13		1) Top: Alpha = 16.0, Beta = 35.0, Gamma = 129.0 Down: Alpha = 46.1, Beta = 68.0, Gamma = 65.9	
No. 14		1) Top: Alpha = 18.1, Beta = 45.2, Gamma = 116.7 Down: Alpha = 50.1, Beta = 74.4, Gamma = 55.5 2) Top: Alpha = 81.1, Beta = 37.2, Gamma = 61.7 Down: Alpha = 87.6, Beta = 59.7, Gamma = 32.7 3) Top: Alpha = 86.5, Beta = 39.2, Gamma = 54.3 Down: Alpha = 86.0, Beta = 52.0, Gamma = 42.0	
No. 15		1) Top: Alpha = 18.8, Beta = 47.1, Gamma = 114.1 Down: Alpha = 50.2, Beta = 74.8, Gamma = 55.0 2) Top: Alpha = 85.9, Beta = 49.7, Gamma = 44.4 Down: Alpha = 88.2, Beta = 50.5, Gamma = 41.3	
No. 16		1) Top: Alpha = 73.5, Beta = 24.7, Gamma = 81.8 Down: Alpha = 87.5, Beta = 64.0, Gamma = 28.5 2) Top: Alpha = 87.7, Beta = 31.7, Gamma = 60.6 Down: Alpha = 89.4, Beta = 58.6, Gamma = 32.0 2) Top: Alpha = 23.0, Beta = 47.7, Gamma = 109.3 Down: Alpha = 43.7, Beta = 67.5, Gamma = 68.8	

ตารางผนวกที่ 3 (ต่อ)

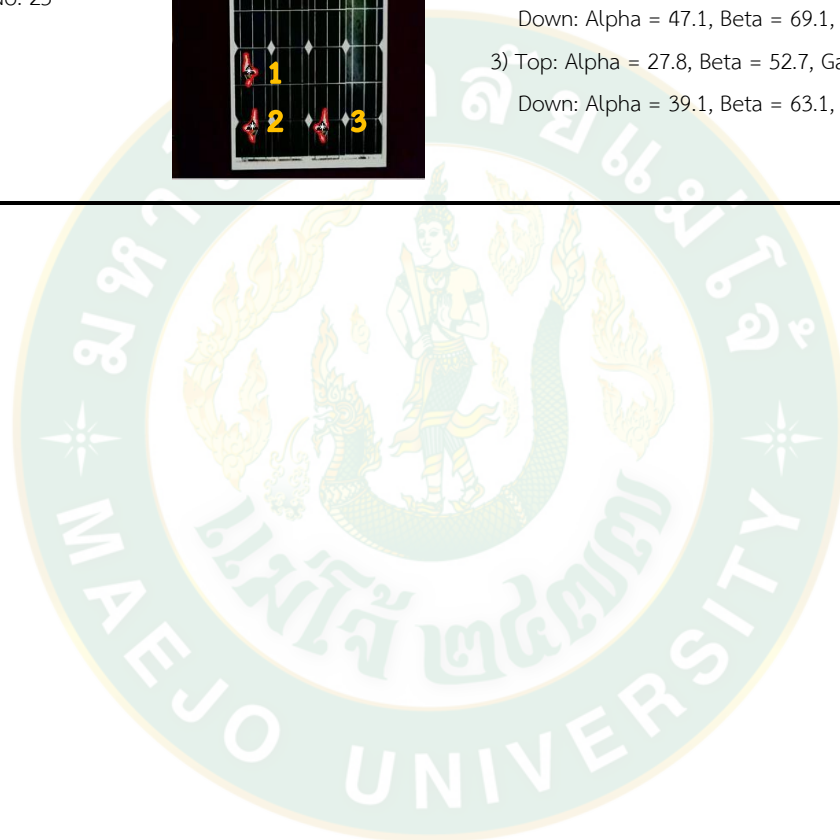
ชุดทดสอบและผลของ ตำแหน่ง	ผลการทดสอบ	ชุดทดสอบและผล ของตำแหน่ง	ผลการทดสอบ
No. 17		1) Top: Alpha = 73.5, Beta = 24.7, Gamma = 81.8 Down: Alpha = 87.5, Beta = 64.0, Gamma = 28.5 2) Top: Alpha = 14.0, Beta = 30.5, Gamma = 135.5 Down: Alpha = 46.5, Beta = 67.7, Gamma = 65.8 3) Top: Alpha = 23.0, Beta = 47.7, Gamma = 109.3 Down: Alpha = 43.7, Beta = 67.5, Gamma = 68.8	
No. 18		1) Top: Alpha = 73.5, Beta = 24.7, Gamma = 81.8 Down: Alpha = 87.5, Beta = 64.0, Gamma = 28.5 2) Top: Alpha = 23.0, Beta = 47.7, Gamma = 109.3 Down: Alpha = 43.7, Beta = 67.5, Gamma = 68.8 3) Top: Alpha = 26.6, Beta = 49.9, Gamma = 103.5 Down: Alpha = 38.5, Beta = 61.5, Gamma = 80.0	
No. 19		1) Top: Alpha = 59.2, Beta = 30.5, Gamma = 90.3 Down: Alpha = 83.0, Beta = 67.3, Gamma = 29.7 2) Top: Alpha = 85.3, Beta = 26.8, Gamma = 67.9 Down: Alpha = 87.1, Beta = 58.2, Gamma = 34.7 3) Top: Alpha = 23.8, Beta = 47.8, Gamma = 108.4 Down: Alpha = 42.2, Beta = 65.6, Gamma = 72.2	
No. 20		1) Top: Alpha = 59.2, Beta = 30.5, Gamma = 90.3 Down: Alpha = 83.0, Beta = 67.3, Gamma = 29.7 2) Top: Alpha = 85.3, Beta = 26.8, Gamma = 67.9 Down: Alpha = 87.1, Beta = 58.2, Gamma = 34.7 3) Top: Alpha = 87.9, Beta = 46.5, Gamma = 45.6 Down: Alpha = 85.8, Beta = 46.9, Gamma = 47.3	

ตารางผนวกที่ 3 (ต่อ)




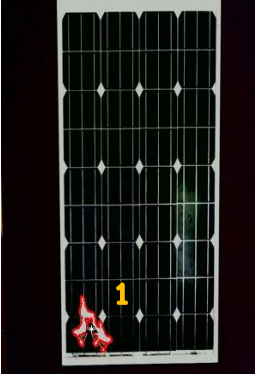
ชุดทดสอบและผลของ ตำแหน่ง	ผลการทดสอบ	ชุดทดสอบและผล ของตำแหน่ง	ผลการทดสอบ
No. 21		1) Top: Alpha = 15.9, Beta = 35.3, Gamma = 128.8 Down: Alpha = 46.7, Beta = 68.8, Gamma = 64.5 2) Top: Alpha = 83.0, Beta = 48.3, Gamma = 48.7 Down: Alpha = 86.2, Beta = 54.2, Gamma = 39.6 3) Top: Alpha = 87.9, Beta = 46.5, Gamma = 45.6 Down: Alpha = 85.8, Beta = 46.9, Gamma = 47.3	
No. 22		1) Top: Alpha = 21.1, Beta = 43.4, Gamma = 115.5 Down: Alpha = 43.4, Beta = 66.2, Gamma = 70.4 2) Top: Alpha = 85.9, Beta = 42.2, Gamma = 51.9 Down: Alpha = 89.2, Beta = 55.3, Gamma = 35.5 3) Top: Alpha = 88.0, Beta = 47.3, Gamma = 44.7 Down: Alpha = 85.7, Beta = 46.1, Gamma = 48.2	
No. 23		1) Top: Alpha = 85.4, Beta = 26.1, Gamma = 68.5 Down: Alpha = 87.2, Beta = 58.5, Gamma = 34.3 2) Top: Alpha = 86.0, Beta = 44.4, Gamma = 49.6 Down: Alpha = 89.0, Beta = 54.0, Gamma = 37.0 3) Top: Alpha = 34.4, Beta = 60.9, Gamma = 84.7 Down: Alpha = 34.9, Beta = 60.7, Gamma = 84.4	
No. 24		1) Top: Alpha = 15.2, Beta = 34.1, Gamma = 130.7 Down: Alpha = 47.1, Beta = 69.1, Gamma = 63.8 2) Top: Alpha = 30.2, Beta = 78.8, Gamma = 71.0 Down: Alpha = 55.0, Beta = 85.2, Gamma = 39.8 3) Top: Alpha = 27.8, Beta = 52.7, Gamma = 99.5 Down: Alpha = 39.1, Beta = 63.1, Gamma = 77.8	

ตารางผนวกที่ 3 (ต่อ)


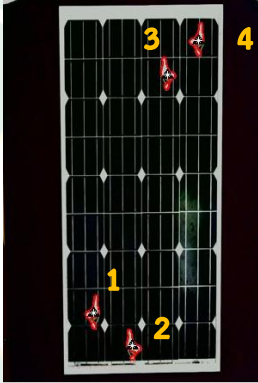
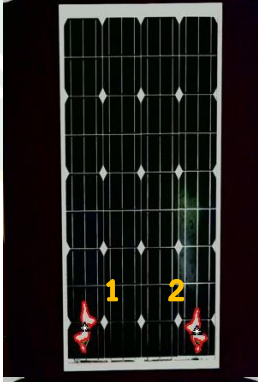

ชุดทดสอบและผลของ ตำแหน่ง	ผลการทดสอบ	ชุดทดสอบและผล ของตำแหน่ง	ผลการทดสอบ
No. 25		<p>1) Top: Alpha = 18.2, Beta = 53.0, Gamma = 108.8 Down: Alpha = 54.0, Beta = 79.5, Gamma = 46.5</p> <p>2) Top: Alpha = 15.2, Beta = 34.1, Gamma = 130.7 Down: Alpha = 47.1, Beta = 69.1, Gamma = 63.8</p> <p>3) Top: Alpha = 27.8, Beta = 52.7, Gamma = 99.5 Down: Alpha = 39.1, Beta = 63.1, Gamma = 77.8</p>	







ตารางผนวกที่ 4 ตัวอย่างนกบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 4 ตัว

ชุดทดสอบและผลของ ตำแหน่ง	ผลการทดสอบ	ชุดทดสอบและผล ของตำแหน่ง	ผลการทดสอบ
No. 1		1) Top: Alpha = 83.5, Beta = 21.7, Gamma = 74.8 Down: Alpha = 87.1, Beta = 59.6, Gamma = 33.3 2) Top: Alpha = 66.2, Beta = 31.8, Gamma = 82.0 Down: Alpha = 84.2, Beta = 65.5, Gamma = 30.3 3) Top: Alpha = 81.4, Beta = 25.7, Gamma = 72.9 Down: Alpha = 85.9, Beta = 57.4, Gamma = 36.7 4) Top: Alpha = 23.3, Beta = 48.0, Gamma = 108.7 Down: Alpha = 43.4, Beta = 67.2, Gamma = 69.4	
No. 2		1) Top: Alpha = 82.6, Beta = 26.9, Gamma = 70.5 Down: Alpha = 89.3, Beta = 61.6, Gamma = 29.1 2) Top: Alpha = 76.2, Beta = 38.8, Gamma = 65.0 Down: Alpha = 85.4, Beta = 61.5, Gamma = 33.1 3) Top: Alpha = 22.8, Beta = 45.6, Gamma = 111.6 Down: Alpha = 41.9, Beta = 64.8, Gamma = 73.3 4) Top: Alpha = 89.8, Beta = 41.3, Gamma = 48.9 Down: Alpha = 88.3, Beta = 53.2, Gamma = 38.5	
No. 3		1) Top: Alpha = 15.4, Beta = 34.0, Gamma = 130.6 Down: Alpha = 46.5, Beta = 68.3, Gamma = 65.2 2) Top: Alpha = 22.0, Beta = 54.0, Gamma = 104.0 Down: Alpha = 49.9, Beta = 75.7, Gamma = 54.4 3) Top: Alpha = 26.2, Beta = 52.3, Gamma = 101.5 Down: Alpha = 41.9, Beta = 66.5, Gamma = 71.6 4) Top: Alpha = 88.0, Beta = 48.6, Gamma = 43.4 Down: Alpha = 85.4, Beta = 44.5, Gamma = 50.1	
No. 4		1) Top: Alpha = 16.5, Beta = 35.5, Gamma = 128.0 Down: Alpha = 45.5, Beta = 67.3, Gamma = 67.2	





ตารางผนวกที่ 4 (ต่อ)

ชุดทดสอบและผลของ ตำแหน่ง	ผลการทดสอบ	ชุดทดสอบและผล ของตำแหน่ง	ผลการทดสอบ
No. 5		1) Top: Alpha = 89.2, Beta = 24.3, Gamma = 66.5 Down: Alpha = 88.9, Beta = 60.5, Gamma = 30.6 2) Top: Alpha = 17.0, Beta = 39.2, Gamma = 123.8 Down: Alpha = 47.7, Beta = 70.7, Gamma = 61.6 3) Top: Alpha = 75.2, Beta = 37.4, Gamma = 67.5 Down: Alpha = 85.4, Beta = 62.1, Gamma = 32.5 4) Top: Alpha = 21.2, Beta = 43.1, Gamma = 115.7 Down: Alpha = 42.9, Beta = 65.5, Gamma = 71.6	
No. 6		1) Top: Alpha = 18.0, Beta = 42.0, Gamma = 120.0 Down: Alpha = 48.2, Beta = 71.7, Gamma = 60.1 2) Top: Alpha = 22.8, Beta = 44.3, Gamma = 112.9 Down: Alpha = 40.4, Beta = 62.5, Gamma = 77.1 3) Top: Alpha = 82.4, Beta = 47.4, Gamma = 50.2 Down: Alpha = 86.1, Beta = 55.2, Gamma = 38.7 4) Top: Alpha = 86.2, Beta = 46.6, Gamma = 47.2 Down: Alpha = 83.7, Beta = 44.8, Gamma = 51.5	
No. 7		1) Top: Alpha = 15.3, Beta = 34.3, Gamma = 130.4 Down: Alpha = 47.0, Beta = 69.0, Gamma = 64.0 2) Top: Alpha = 33.8, Beta = 58.5, Gamma = 87.7 Down: Alpha = 33.0, Beta = 57.1, Gamma = 89.9	
No. 8		1) Top: Alpha = 17.1, Beta = 40.4, Gamma = 122.5 Down: Alpha = 48.6, Beta = 71.9, Gamma = 59.5 2) Top: Alpha = 25.7, Beta = 61.2, Gamma = 93.1 Down: Alpha = 49.7, Beta = 77.0, Gamma = 53.3 3) Top: Alpha = 21.6, Beta = 42.5, Gamma = 115.9 Down: Alpha = 41.2, Beta = 63.1, Gamma = 75.7 4) Top: Alpha = 28.3, Beta = 53.4, Gamma = 98.3 Down: Alpha = 38.8, Beta = 62.9, Gamma = 78.3	

ตารางผนวกที่ 4 (ต่อ)

ชุดทดสอบและผลของ ตำแหน่ง	ผลการทดสอบ	ชุดทดสอบและผล ของตำแหน่ง	ผลการทดสอบ
No. 9		1) Top: Alpha = 16.4, Beta = 44.2, Gamma = 119.4 Down: Alpha = 52.0, Beta = 76.3, Gamma = 51.7 2) Top: Alpha = 15.9, Beta = 36.1, Gamma = 128.0 Down: Alpha = 47.5, Beta = 69.9, Gamma = 62.6 3) Top: Alpha = 21.8, Beta = 45.8, Gamma = 112.4 Down: Alpha = 44.2, Beta = 67.7, Gamma = 68.1 4) Top: Alpha = 34.5, Beta = 60.5, Gamma = 85.0 Down: Alpha = 34.1, Beta = 59.5, Gamma = 86.4	
No. 10		1) Top: Alpha = 17.2, Beta = 39.0, Gamma = 123.8 Down: Alpha = 47.3, Beta = 70.1, Gamma = 62.6 2) Top: Alpha = 22.1, Beta = 44.1, Gamma = 113.8 Down: Alpha = 41.9, Beta = 64.4, Gamma = 73.7 3) Top: Alpha = 31.9, Beta = 56.0, Gamma = 92.1 Down: Alpha = 34.1, Beta = 57.6, Gamma = 88.3	
No. 11		1) Top: Alpha = 21.8, Beta = 45.8, Gamma = 112.4 Down: Alpha = 44.2, Beta = 67.7, Gamma = 68.1 2) Top: Alpha = 28.7, Beta = 54.6, Gamma = 96.7 Down: Alpha = 39.4, Beta = 64.1, Gamma = 76.5 3) Top: Alpha = 35.2, Beta = 68.5, Gamma = 76.3 Down: Alpha = 42.5, Beta = 72.7, Gamma = 64.8 4) Top: Alpha = 87.0, Beta = 46.5, Gamma = 46.5 Down: Alpha = 89.5, Beta = 51.9, Gamma = 38.6	
No. 12		1) Top: Alpha = 16.2, Beta = 37.4, Gamma = 126.4 Down: Alpha = 47.9, Beta = 70.6, Gamma = 61.5 2) Top: Alpha = 29.5, Beta = 55.0, Gamma = 95.5 Down: Alpha = 38.2, Beta = 62.6, Gamma = 79.2 3) Top: Alpha = 35.8, Beta = 63.6, Gamma = 80.6 Down: Alpha = 35.5, Beta = 62.7, Gamma = 81.8 4) Top: Alpha = 89.1, Beta = 49.5, Gamma = 41.4 Down: Alpha = 88.7, Beta = 47.2, Gamma = 44.1	


ตารางผนวกที่ 4 (ต่อ)

ชุดทดสอบและผลของ ตำแหน่ง	ผลการทดสอบ	ชุดทดสอบและผล ของตำแหน่ง	ผลการทดสอบ
No. 13		1) Top: Alpha = 16.9, Beta = 37.0, Gamma = 126.1 Down: Alpha = 46.1, Beta = 68.2, Gamma = 65.7	
No. 14		1) Top: Alpha = 20.4, Beta = 55.0, Gamma = 104.6 Down: Alpha = 52.4, Beta = 78.3, Gamma = 49.3 2) Top: Alpha = 28.6, Beta = 70.0, Gamma = 81.4 Down: Alpha = 51.6, Beta = 80.7, Gamma = 47.7 3) Top: Alpha = 29.5, Beta = 55.0, Gamma = 95.5 Down: Alpha = 38.2, Beta = 62.6, Gamma = 79.2 4) Top: Alpha = 35.8, Beta = 63.6, Gamma = 80.6 Down: Alpha = 35.5, Beta = 62.7, Gamma = 81.8	
No. 15		1) Top: Alpha = 35.0, Beta = 53.2, Gamma = 91.8 Down: Alpha = 70.6, Beta = 78.9, Gamma = 30.5 2) Top: Alpha = 29.5, Beta = 55.0, Gamma = 95.5 Down: Alpha = 38.2, Beta = 62.6, Gamma = 79.2 3) Top: Alpha = 41.9, Beta = 84.7, Gamma = 53.4 Down: Alpha = 49.5, Beta = 85.8, Gamma = 44.7 4) Top: Alpha = 35.8, Beta = 63.6, Gamma = 80.6 Down: Alpha = 35.5, Beta = 62.7, Gamma = 81.8	
No. 16		1) Top: Alpha = 50.3, Beta = 30.3, Gamma = 99.4 Down: Alpha = 81.1, Beta = 69.6, Gamma = 29.3 2) Top: Alpha = 35.0, Beta = 53.2, Gamma = 91.8 Down: Alpha = 70.6, Beta = 78.9, Gamma = 30.5 3) Top: Alpha = 29.5, Beta = 55.0, Gamma = 95.5 Down: Alpha = 38.2, Beta = 62.6, Gamma = 79.2 4) Top: Alpha = 35.8, Beta = 63.6, Gamma = 80.6 Down: Alpha = 35.5, Beta = 62.7, Gamma = 81.8	

ตารางผนวกที่ 4 (ต่อ)

ชุดทดสอบและผลของตำแหน่ง	ผลการทดสอบ	ชุดทดสอบและผลของตำแหน่ง	ผลการทดสอบ
No. 17		<p>1) Top: Alpha = 52.2, Beta = 29.6, Gamma = 98.2 Down: Alpha = 81.7, Beta = 69.0, Gamma = 29.3</p> <p>2) Top: Alpha = 35.0, Beta = 53.2, Gamma = 91.8 Down: Alpha = 70.6, Beta = 78.9, Gamma = 30.5</p> <p>3) Top: Alpha = 17.3, Beta = 39.2, Gamma = 123.5 Down: Alpha = 47.2, Beta = 70.0, Gamma = 62.8</p> <p>4) Top: Alpha = 89.6, Beta = 33.0, Gamma = 57.4 Down: Alpha = 88.6, Beta = 57.5, Gamma = 33.9</p>	
No. 18		<p>1) Top: Alpha = 89.0, Beta = 46.8, Gamma = 44.2 Down: Alpha = 86.9, Beta = 47.8, Gamma = 45.3</p>	
No. 19		<p>1) Top: Alpha = 77.3, Beta = 25.6, Gamma = 77.1 Down: Alpha = 88.2, Beta = 63.0, Gamma = 28.8</p> <p>2) Top: Alpha = 86.5, Beta = 41.9, Gamma = 51.6 Down: Alpha = 85.5, Beta = 49.9, Gamma = 44.6</p> <p>3) Top: Alpha = 75.1, Beta = 58.5, Gamma = 46.4 Down: Alpha = 76.3, Beta = 56.9, Gamma = 46.8</p> <p>4) Top: Alpha = 89.6, Beta = 49.0, Gamma = 41.4 Down: Alpha = 87.3, Beta = 46.1, Gamma = 46.7</p>	
No. 20		<p>1) Top: Alpha = 88.3, Beta = 23.3, Gamma = 68.4 Down: Alpha = 89.1, Beta = 61.0, Gamma = 29.9</p> <p>2) Top: Alpha = 15.9, Beta = 36.1, Gamma = 128.0 Down: Alpha = 47.5, Beta = 69.9, Gamma = 62.6</p> <p>3) Top: Alpha = 74.6, Beta = 37.3, Gamma = 68.1 Down: Alpha = 85.2, Beta = 62.4, Gamma = 32.4</p> <p>4) Top: Alpha = 21.8, Beta = 45.8, Gamma = 112.4 Down: Alpha = 44.2, Beta = 67.7, Gamma = 68.1</p>	

ตารางผนวกที่ 4 (ต่อ)

ชุดทดสอบและผลของ ตำแหน่ง	ผลการทดสอบ	ชุดทดสอบและผล ของตำแหน่ง	ผลการทดสอบ
No. 21		1) Top: Alpha = 56.1, Beta = 30.5, Gamma = 93.4 Down: Alpha = 82.3, Beta = 68.1, Gamma = 29.6 2) Top: Alpha = 15.4, Beta = 33.8, Gamma = 130.8 Down: Alpha = 46.5, Beta = 68.2, Gamma = 65.3 3) Top: Alpha = 88.9, Beta = 27.2, Gamma = 63.9 Down: Alpha = 88.9, Beta = 59.7, Gamma = 31.4 4) Top: Alpha = 21.8, Beta = 45.8, Gamma = 112.4 Down: Alpha = 44.2, Beta = 67.7, Gamma = 68.1	
No. 22		1) Top: Alpha = 15.4, Beta = 33.8, Gamma = 130.8 Down: Alpha = 46.5, Beta = 68.2, Gamma = 65.3 2) Top: Alpha = 21.8, Beta = 45.8, Gamma = 112.4 Down: Alpha = 44.2, Beta = 67.7, Gamma = 68.1 3) Top: Alpha = 87.0, Beta = 46.5, Gamma = 46.5 Down: Alpha = 89.5, Beta = 51.9, Gamma = 38.6 4) Top: Alpha = 85.1, Beta = 46.0, Gamma = 48.9 Down: Alpha = 82.5, Beta = 44.2, Gamma = 53.3	
No. 23		1) Top: Alpha = 17.2, Beta = 39.0, Gamma = 123.8 Down: Alpha = 47.3, Beta = 70.1, Gamma = 62.6 2) Top: Alpha = 24.0, Beta = 45.7, Gamma = 110.3 Down: Alpha = 39.5, Beta = 61.6, Gamma = 78.9	
No. 24		1) Top: Alpha = 83.2, Beta = 24.4, Gamma = 72.4 Down: Alpha = 89.7, Beta = 61.9, Gamma = 28.4 2) Top: Alpha = 47.7, Beta = 33.4, Gamma = 98.9 Down: Alpha = 79.5, Beta = 70.8, Gamma = 29.7 3) Top: Alpha = 87.5, Beta = 46.5, Gamma = 46.0 Down: Alpha = 85.3, Beta = 46.4, Gamma = 48.3 4) Top: Alpha = 34.0, Beta = 59.2, Gamma = 86.8 Down: Alpha = 33.6, Beta = 58.3, Gamma = 88.1	

ตารางผนวกที่ 4 (ต่อ)



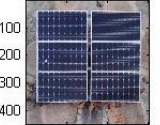
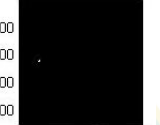






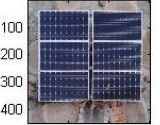







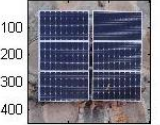

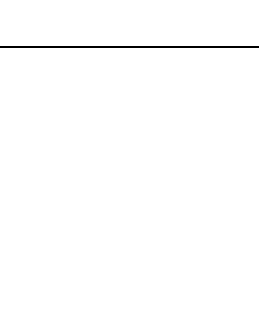
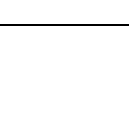
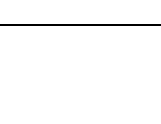
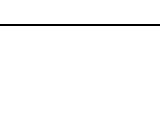






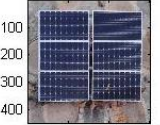

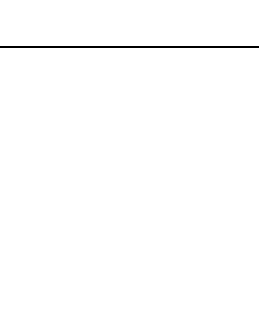
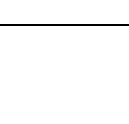
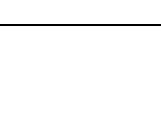
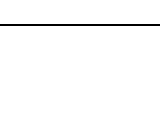
ชุดทดสอบและผลของ ตำแหน่ง	ผลการทดสอบ	ชุดทดสอบและผล ของตำแหน่ง	ผลการทดสอบ
No. 25		<p>1) Top: Alpha = 17.6, Beta = 50.6, Gamma = 111.8 Down: Alpha = 53.6, Beta = 78.8, Gamma = 47.6</p> <p>2) Top: Alpha = 22.1, Beta = 54.3, Gamma = 103.6 Down: Alpha = 50.0, Beta = 75.8, Gamma = 54.2</p> <p>3) Top: Alpha = 29.5, Beta = 55.0, Gamma = 95.5 Down: Alpha = 38.2, Beta = 62.6, Gamma = 79.2</p> <p>4) Top: Alpha = 35.8, Beta = 63.6, Gamma = 80.6 Down: Alpha = 35.5, Beta = 62.7, Gamma = 81.8</p>	






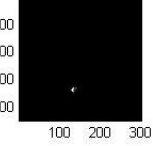


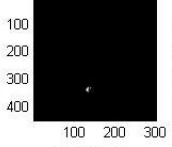
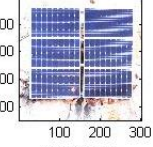


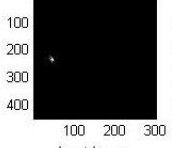
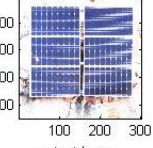


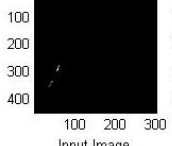
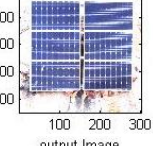

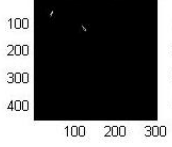
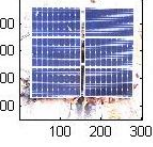
2. ผลการทดสอบระบบประมวลผลภาพกับชุดแผงเซลล์แสงอาทิตย์

การทดสอบระบบประมวลผลภาพเพื่อหาตำแหน่งนกบนแผงด้วยทฤษฎีสามเหลี่ยม โดยใช้กรอบของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็นจุดอ้างอิงวัตถุที่ตรวจพบด้วยตัวเอง ใช้ตัวอย่างทดสอบ จำนวน 40 ตัวอย่าง เพื่อหาค่าจำนวน 120 ตำแหน่ง ผลการทดสอบแสดงดังนี้




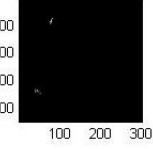


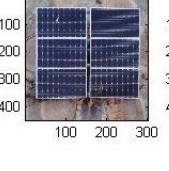
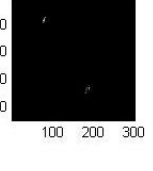
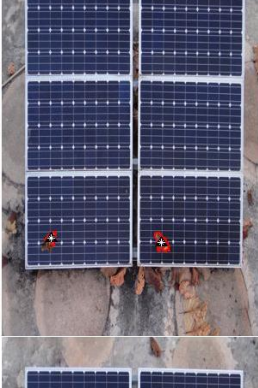

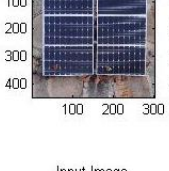
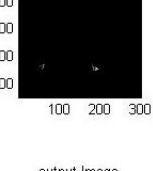


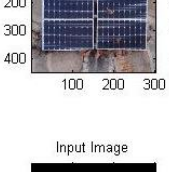
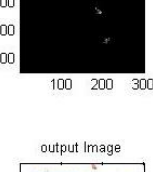
ตารางผนวกที่ 5 ตำแหน่งของนกที่ตรวจพบบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์

ที่	ผลการทดสอบ				
1		Master Image 	Input Image 	output Image 	ตรวจพบนก จำนวน 1 ตัว บนแผง 1B
		Master Image 	Input Image 	output Image 	
		Master Image 	Input Image 	output Image 	
2		Master Image 	Input Image 	output Image 	ตรวจพบนก จำนวน 1 ตัว บนแผง 2B
		Master Image 	Input Image 	output Image 	
		Master Image 	Input Image 	output Image 	
3		Master Image 	Input Image 	output Image 	ตรวจพบนก จำนวน 1 ตัว บนแผง 2A
		Master Image 	Input Image 	output Image 	
		Master Image 	Input Image 	output Image 	




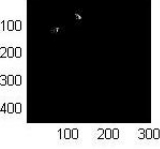



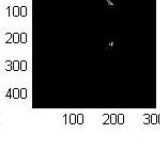


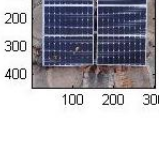
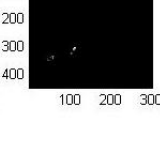


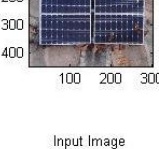
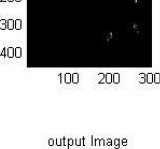
ตารางผนวกที่ 5 (ต่อ)

ที่	ผลการทดสอบ			ตรวจพบนก จำนวน 1 ตัว	
4		<p>Master Image</p> 	<p>Input Image</p> 	<p>output Image</p> 	<p>บนแผง 1A</p>
5		<p>Master Image</p> 	<p>Input Image</p> 	<p>output Image</p> 	<p>ตรวจพบนก จำนวน 1 ตัว</p>
6		<p>Master Image</p> 	<p>Input Image</p> 	<p>output Image</p> 	<p>ตรวจพบนก จำนวน 2 ตัว</p>
7		<p>Master Image</p> 	<p>Input Image</p> 	<p>output Image</p> 	<p>ตรวจพบนก จำนวน 2 ตัว</p>
		<p>Master Image</p> 	<p>Input Image</p> 	<p>output Image</p> 	<p>บนแผง 1C และ 1C</p>

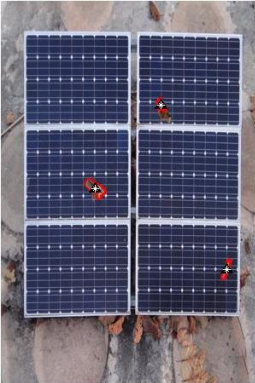

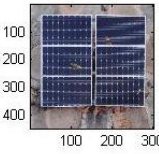
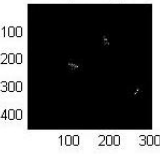


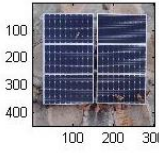
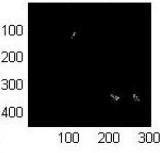



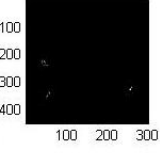



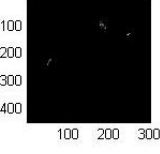
ตารางผนวกที่ 5 (ต่อ)

ที่	ผลการทดสอบ				
8		<p>Master Image</p> 	<p>Input Image</p> 	<p>output Image</p> 	<p>ตรวจพบนก จำนวน 2 ตัว บนแผง 1A และ 1C</p>
9		<p>Master Image</p> 	<p>Input Image</p> 	<p>output Image</p> 	<p>ตรวจพบนก จำนวน 2 ตัว บนแผง 1C และ 2A</p>
10		<p>Master Image</p> 	<p>Input Image</p> 	<p>output Image</p> 	<p>ตรวจพบนก จำนวน 2 ตัว บนแผง 1A และ 2A</p>
11		<p>Master Image</p> 	<p>Input Image</p> 	<p>output Image</p> 	<p>ตรวจพบนก จำนวน 2 ตัว บนแผง 2B และ 2A</p>




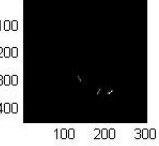


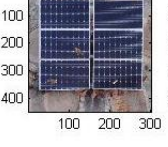
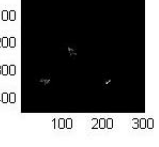


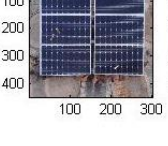
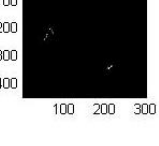



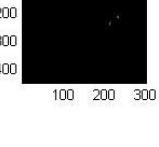
ตารางผนวกที่ 5 (ต่อ)

ที่	ผลการทดสอบ				
12		<p>Master Image</p> 	<p>Input Image</p> 	<p>output Image</p> 	<p>ตรวจพบนก จำนวน 2 ตัว บนแผง 1C และ 1C</p>
13		<p>Master Image</p> 	<p>Input Image</p> 	<p>output Image</p> 	<p>ตรวจพบนก จำนวน 2 ตัว บนแผง 2C และ 2B</p>
14		<p>Master Image</p> 	<p>Input Image</p> 	<p>output Image</p> 	<p>ตรวจพบนก จำนวน 2 ตัว บนแผง 1A และ 1A</p>
15		<p>Master Image</p> 	<p>Input Image</p> 	<p>output Image</p> 	<p>ตรวจพบนก จำนวน 3 ตัว บนแผง 2A, 2A และ 2B</p>




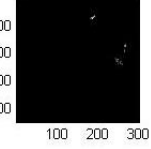


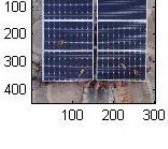
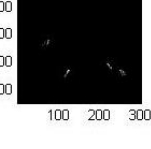



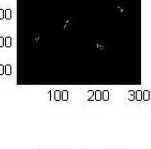


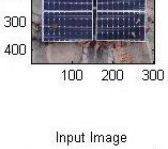
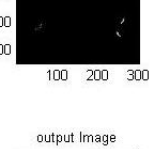
ตารางผนวกที่ 5 (ต่อ)

ที่	ผลการทดสอบ				
16		<p>Master Image</p> 	<p>Input Image</p> 	<p>output Image</p> 	<p>ตรวจพบนก จำนวน 3 ตัว บนแผง 1B, 2C และ 2A</p>
17		<p>Master Image</p> 	<p>Input Image</p> 	<p>output Image</p> 	<p>ตรวจพบนก จำนวน 3 ตัว บนแผง 1C, 2A และ 2A</p>
18		<p>Master Image</p> 	<p>Input Image</p> 	<p>output Image</p> 	<p>ตรวจพบนก จำนวน 3 ตัว บนแผง 1B, 1A และ 2A</p>
19		<p>Master Image</p> 	<p>Input Image</p> 	<p>output Image</p> 	<p>ตรวจพบนก จำนวน 3 ตัว บนแผง 1B, 2C และ 2C</p>




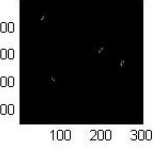


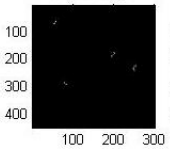
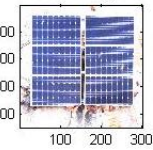



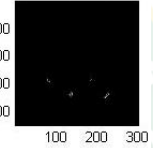



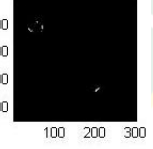

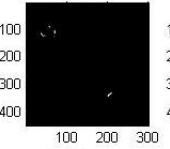
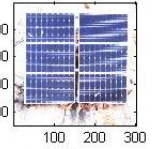

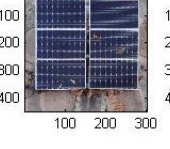
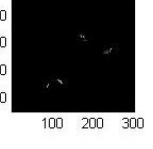

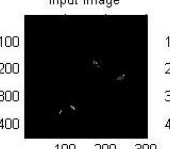
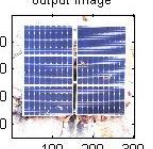
ตารางผนวกที่ 5 (ต่อ)

ที่	ผลการทดสอบ				
20		<p>Master Image</p> 	<p>Input Image</p> 	<p>output Image</p> 	<p>ตรวจพบนก จำนวน 3 ตัว บนแผง 1A, 2A และ 2A</p>
21		<p>Master Image</p> 	<p>Input Image</p> 	<p>output Image</p> 	<p>ตรวจพบนก จำนวน 3 ตัว บนแผง 1A, 1B และ 2A</p>
22		<p>Master Image</p> 	<p>Input Image</p> 	<p>output Image</p> 	<p>ตรวจพบนก จำนวน 3 ตัว บนแผง 1B, 1B และ 2A</p>
23		<p>Master Image</p> 	<p>Input Image</p> 	<p>output Image</p> 	<p>ตรวจพบนก จำนวน 3 ตัว บนแผง 2C, 2B และ 2B</p>




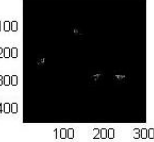



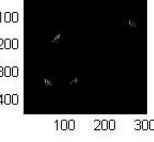



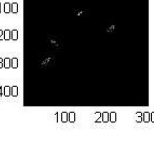


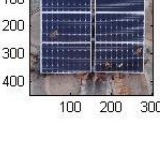
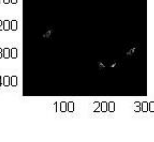
ตารางผนวกที่ 5 (ต่อ)

ที่	ผลการทดสอบ				
24		<p>Master Image</p> 	<p>Input Image</p> 	<p>output Image</p> 	<p>ตรวจพบนก จำนวน 3 ตัว บนแผง 2C, 2B และ 2B</p>
25		<p>Master Image</p> 	<p>Input Image</p> 	<p>output Image</p> 	<p>ตรวจพบนก จำนวน 4 ตัว บนแผง 1B, 1A, 2A และ 2A</p>
26		<p>Master Image</p> 	<p>Input Image</p> 	<p>output Image</p> 	<p>ตรวจพบนก จำนวน 4 ตัว บนแผง 1A, 1B, 2A และ 2B</p>
27		<p>Master Image</p> 	<p>Input Image</p> 	<p>output Image</p> 	<p>ตรวจพบนก จำนวน 4 ตัว บนแผง 1A, 1C, 2A และ 2A</p>




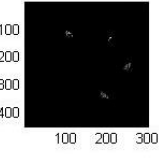


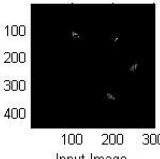
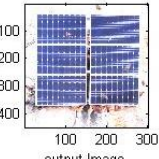


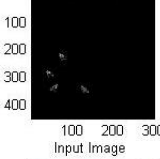
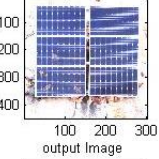


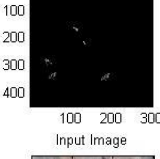
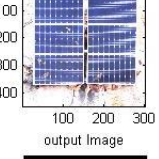
ตารางผนวกที่ 5 (ต่อ)

ที่	ผลการทดสอบ				
28		<p>Master Image</p> 	<p>Input Image</p> 	<p>output Image</p> 	<p>ตรวจพบนก จำนวน 4 ตัว บนแผง 1C, 1A, 2B และ 2B</p>
29		<p>Master Image</p> 	<p>Input Image</p> 	<p>output Image</p> 	<p>ตรวจพบนก จำนวน 4 ตัว บนแผง 1A, 1A, 2A และ 2A</p>
30		<p>Master Image</p> 	<p>Input Image</p> 	<p>output Image</p> 	<p>ตรวจพบนก จำนวน 4 ตัว บนแผง 1C, 1C, 1C และ 2A</p>
31		<p>Master Image</p> 	<p>Input Image</p> 	<p>output Image</p> 	<p>ตรวจพบนก จำนวน 4 ตัว บนแผง 1A, 1A, 2B และ 2B</p>
		<p>Master Image</p> 	<p>Input Image</p> 	<p>output Image</p> 	
		<p>Master Image</p> 	<p>Input Image</p> 	<p>output Image</p> 	
		<p>Master Image</p> 	<p>Input Image</p> 	<p>output Image</p> 	



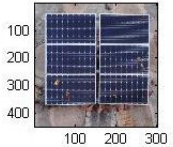
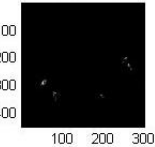

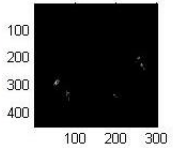
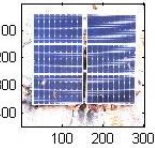
ตารางผนวกที่ 5 (ต่อ)

ที่	ผลการทดสอบ				
32		Master Image 	Input Image 	output Image 	ตรวจพบนก จำนวน 4 ตัว บนแผง 1B, 1C, 2A และ 2A
33		Master Image 	Input Image 	output Image 	ตรวจพบนก จำนวน 4 ตัว บนแผง 1A, 1B, 1A และ 2C
34		Master Image 	Input Image 	output Image 	ตรวจพบนก จำนวน 4 ตัว บนแผง 1A, 1B, 1C และ 2B
35		Master Image 	Input Image 	output Image 	ตรวจพบนก จำนวน 4 ตัว บนแผง 1B, 2A, 2A และ 2A

ตารางผนวกที่ 5 (ต่อ)

ที่	ผลการทดสอบ				
36		<p>Master Image</p> 	<p>Input Image</p> 	<p>output Image</p> 	<p>ตรวจพบนก จำนวน 4 ตัว บนแผง 1C, 2A, 2C และ 2B</p>
37		<p>Master Image</p> 	<p>Input Image</p> 	<p>output Image</p> 	<p>ตรวจพบนก จำนวน 4 ตัว บนแผง 1A, 1A, 1B และ 1A</p>
38		<p>Master Image</p> 	<p>Input Image</p> 	<p>output Image</p> 	<p>ตรวจพบนก จำนวน 5 ตัว บนแผง 1A, 1A, 1B, 1B และ 2A</p>
39		<p>Master Image</p> 	<p>Input Image</p> 	<p>output Image</p> 	<p>ตรวจพบนก จำนวน 5 ตัว บนแผง 1A, 2A, 1A, 1A และ 2C</p>

ตารางผนวกที่ 5 (ต่อ)

ที่	ผลการทดสอบ			ตรวจพบนก จำนวน 5 ตัว บนแผง 1A, 1A, 2A, 2B และ 2B	
40		Master Image 	Input Image 		output Image 
		Master Image 	Input Image 	output Image 	






ภาคผนวก ค

แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ในงานวิจัย

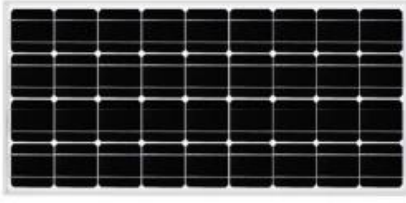
รายละเอียดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ในงานวิจัย แสดงดังภาพผนวกที่ 1



Full solar, Full Energy
เพื่อให้ได้กำไร ให้เต็มพิกัด

Mono Solar PV Module
<http://www.fullsolar.co.th>

**Mono-Crystalline Solar PV Module
36 Cells Series (156MMX156MM)**



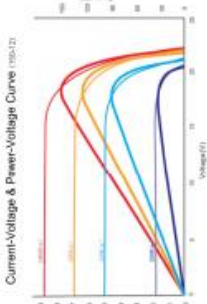
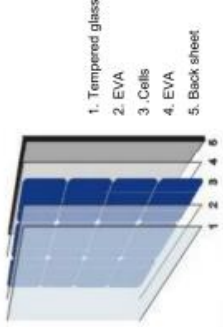
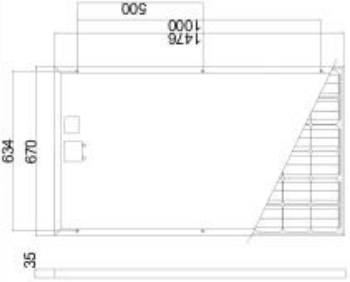
Electrical Characteristics

Specification	F-130M	F-135M	F-140M	F-145M	F-150M	F-155M	F-160M
Rating power at STC (Wp)	130W	135W	140W	145W	150W	155W	160W
Open circuit voltage (Voc)	22.1V	22.2V	22.4V	22.6V	22.8V	23.0V	23.1V
Short circuit current (Isc)	7.96A	8.21A	8.46A	8.76A	8.83A	8.95A	9.01A
Rated voltage (Vm)	17.5V	17.6V	17.8V	17.9V	18.4V	18.7V	19.0V
Rated current (Im)	7.43A	7.68A	7.88A	8.10A	8.19A	8.27A	8.43A
Module efficiency (%)	13.14%	13.65%	14.16%	14.66%	15.17%	15.67%	16.18%
Power tolerance	0 - 3 % (W)						
Temperature coefficient of Pm	-0.45%/K						
Temperature coefficient of Isc	+0.052%/K						
Temperature coefficient of Voc	-0.33%/K						
Maximum system voltage	DC600V (UL) / DC1000V (IEC)						

All technical data at STC: AM1.5; 1000W/m²; 25 °C

Mechanical Characteristics

Solar Cell	Monocrystalline 156 x 156 mm (6 inches)
No. of cells	36 (4x9)
Nominal Operating Cell Temperature (NOCT)	46 ± 2 °C
Operation temperature	From -40 to +85 °C
Typical Application	12V DC
Max series fuse rating	10A
Max wind resistance	2400Pa
Surface max. load capacity	5400Pa
Weight	10.6kg
Dimension	1475x670x35MM

Performance

- Water resistant junction box with bypass diode and high strength polymer sheet on module's rear ensures module is sealed from moisture and mechanical damage
- High transmissivity low-iron toughened glass
- Excellent weak light performance
- Unique drainage hole design and aluminum frame

Quality and Reliability

- Superior reliability with guaranteed 0-3% power output tolerance
- 10 years warranty on materials and workmanship.
- 25 years linear power warranty, 97% in the first year, 91% in 10th year, and ending with 80% in 25th year
- Cells are individually tested, characterized and mated prior to interconnection
- Test and produce standard: IEC61215, IEC61730, ISO 9001:2008, ISO14001:2004, OHSAS18001:2007, TIS18001:2011, TIS1843:2553, TIS2580:2555

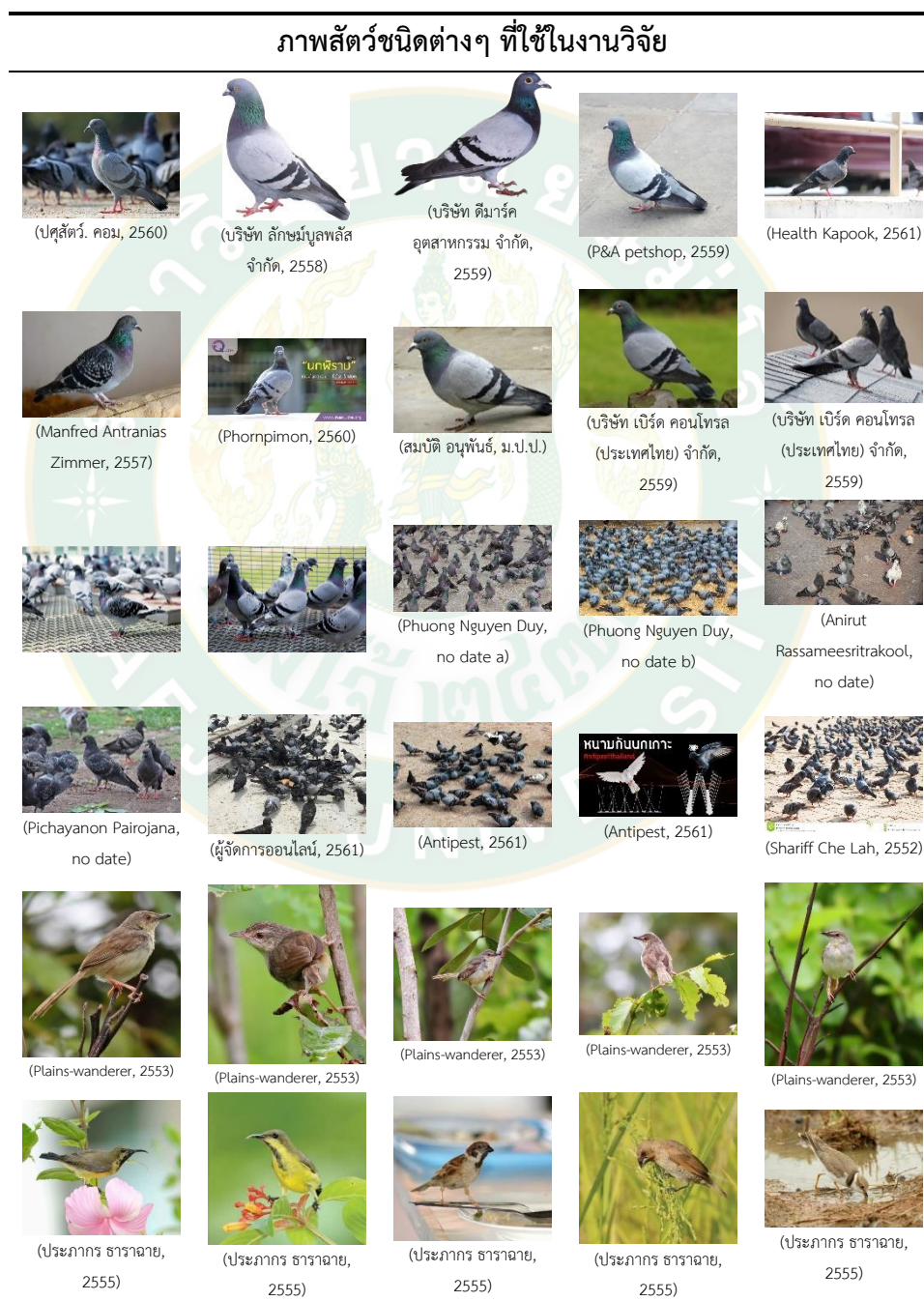
ภาพผนวกที่ 1 รายละเอียดแผงเซลล์แสงอาทิตย์



ภาคผนวก ง
ภาพสัตว์ชนิดต่างๆ ที่ใช้ในงานวิจัย

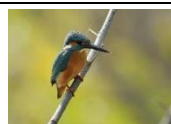
ในขั้นตอนการจำแนกนกพิราบจากสัตว์ชนิดอื่น จะมีการแยกสีจากภาพเพื่อดูค่าเฉลี่ยฮิสโทแกรม อาร์จีบี การจำแนกนกพิราบจากสัตว์อื่นใช้วิธีการประเมินภาพนกพิราบ นกต่างชนิด สัตว์อื่น ได้แก่ แมว ลิง และกระรอก ดังแสดงในตารางผนวกที่ 6

ตารางผนวกที่ 6 สัตว์ชนิดอื่นๆ สำหรับเปรียบเทียบเพื่อจำแนกนกพิราบ



ตารางผนวกที่ 6 (ต่อ)

ภาพสัตว์ชนิดต่างๆ ที่ใช้ในงานวิจัย



(ประภากร ธาราฉาย,
2555)



(ประภากร ธาราฉาย,
2555)



(ประภากร ธาราฉาย,
2555)



(ประภากร ธาราฉาย,
2555)



(ประภากร ธาราฉาย,
2555)



(Dog VS Cat, 2561)



(tipsDD, 2561)



(พินนารา งามสนัน., 2560)



(บริษัท บันจิต เซ็นเตอร์
จำกัด, 2552)



(เปมิกา ตูลากรณ์,
ม.ป.ป.)



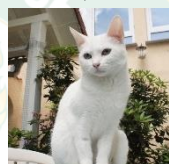
(Nina Golgowski, 2016)



(The International
Maew Boran
Association, 2561)



(Ortrun Wagner, 2017)



(Porn Tippa, 2558)



(เปมิกา ตูลากรณ์,
ม.ป.ป.)



(เปมิกา ตูลากรณ์,
ม.ป.ป.)



(เปมิกา ตูลากรณ์,
ม.ป.ป.)



(GOAL90, 2561)



(GOAL90, 2561)



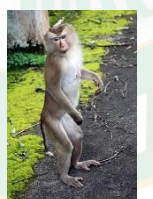
(GOAL90, 2561)



(ไทยรัฐออนไลน์, 2553)



(Alena Tucimova,
ม.ป.ป.)



(วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี,
2561)



(WIKIPEDIA, 2007)



(Katherine, 2560)



(ทองสุข สิงห์พิมพ์, 2560)



(ณัฐพล ราชจันทร์, 2558)



(Greg Montani, 2559)



(fxxu, 2560)



(Mona Jensen, 2561)

ตารางผนวกที่ 6 (ต่อ)

ภาพสัตว์ชนิดต่างๆ ที่ใช้ในงานวิจัย



(Anajim, 2560)



(Mona Jensen, 2561)



(Anajim, 2560)



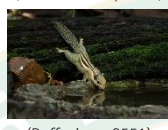
(3dman_eu, 2559)



(Greg Montani, 2559)



(3thai, 2559)



(Puffychan, 2551)



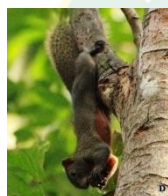
(บุษบง กาญจนสาขา
และคณะ, 2558)



(บุษบง กาญจนสาขา
และคณะ, 2558)



(บุษบง กาญจนสาขา
และคณะ, 2558)



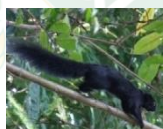
(บุษบง กาญจนสาขา
และคณะ, 2558)



(บุษบง กาญจนสาขา
และคณะ, 2558)



(บุษบง กาญจนสาขา
และคณะ, 2558)



(บุษบง กาญจนสาขา
และคณะ, 2558)



(บุษบง กาญจนสาขา
และคณะ, 2558)



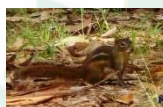
(บุษบง กาญจนสาขา
และคณะ, 2558)



(บุษบง กาญจนสาขา
และคณะ, 2558)



(บุษบง กาญจนสาขา
และคณะ, 2558)



(บุษบง กาญจนสาขา
และคณะ, 2558)



(บุษบง กาญจนสาขา
และคณะ, 2558)



ภาคผนวก จ
การเผยแพร่ผลงานทางวิชาการ

1. เผยแพร่ผลงานทางวิชาการ เรื่อง “การตรวจทานกบนหลังคาแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้การประมวลผลภาพ” ในงานประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 13 ระหว่างวันที่ 31 พฤษภาคม – 2 มิถุนายน พ.ศ. 2560 ณ โรงแรม ดิเอ็มเพรส เชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่



E-NETT 13TH
การประชุมวิชาการ
เครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 13
13TH CONFERENCE ON ENERGY NETWORK OF THAILAND
 “ Sustainable Energy Development for Community and Innovation ”
31 พ.ค. - 2 มิ.ย. 2560 ณ โรงแรม ดิเอ็มเพรส เชียงใหม่

MAEJO GO ECO UNIVERSITY

ITALTHAI Engineering
 STC สังกัดกองทัพเรือ
 cristalla TCC sugar industry
 SCB ไทยพาณิชย์

จัดการประชุมโดย : วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ร่วมกับ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

www.e-nett.org Enett13.mju@gmail.com 053 875590 fax : 053 875599

รายชื่อผู้ทรงคุณวุฒิ

ศาสตราจารย์ ดร.นคร	ทิพยาวงศ์	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
รองศาสตราจารย์ ดร.จอมภพ	แววศักดิ์	มหาวิทยาลัยทักษิณ
รองศาสตราจารย์ ดร.อภิชาติ	เทิดโยธิน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
รองศาสตราจารย์ ดร.อดิศักดิ์	นาถกรณกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
รองศาสตราจารย์ ดร.ศิริชัย	เทพา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
รองศาสตราจารย์ ดร.ณัฐ	กาศยปนนันท์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
รองศาสตราจารย์ ดร.ณัฐพร	ไชยญาติ	มหาวิทยาลัยแม่โจ้
รองศาสตราจารย์ ดร.ยุทธนา	ภูริระวีชัยกุล	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
รองศาสตราจารย์ ดร.อนิรุทธ์	มัทธูจักษ์	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
รองศาสตราจารย์ ดร.สันติ	หวังนิพนพานโต	สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน
รองศาสตราจารย์ ดร.สมิทธิ์	เอี่ยมสะอาด	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร
รองศาสตราจารย์ ดร.กฤษณ์ชนม์	ภูมิภคิตพิชญ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
รองศาสตราจารย์ ดร.พานิช	อินดีะ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
รองศาสตราจารย์ ดร.สมร	หิรัญประดิษฐ์กุล	มหาวิทยาลัยนเรศวร
รองศาสตราจารย์ สมชาย	กฤตพลวิวัฒน์	มหาวิทยาลัยนเรศวร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิบูลย์	ช่างเรือ	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประสาน	สถิตย์เรืองศักดิ์	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธวัฒน์ชัย	เทพนวล	มหาวิทยาลัยทักษิณ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อุษา	อันทอง	มหาวิทยาลัยทักษิณ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จตุพร	แก้วอ่อน	มหาวิทยาลัยทักษิณ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กุสภานา	กูปาฮา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พัฒนะ	รักความสุข	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พงศกร	เกิดช้าง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิรัช	โรยนรินทร์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บุญยัง	ปลั่งกลาง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปณยภัทร	ภูมิภาค	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรียา	แก้วอาษา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เผด็จ	เผ่าลออ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อัมพร	เวียงมูล	มหาวิทยาลัยนเรศวร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สิทธิพงษ์	เพิ่มพิทักษ์	มหาวิทยาลัยนเรศวร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมชาย	มณีวรรณ	มหาวิทยาลัยนเรศวร

รายชื่อผู้ทรงคุณวุฒิ

ศาสตราจารย์ ดร.นคร	ทิพยาวงศ์	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
รองศาสตราจารย์ ดร.จอมภพ	แววศักดิ์	มหาวิทยาลัยทักษิณ
รองศาสตราจารย์ ดร.อภิชาติ	เทิดโยธิน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
รองศาสตราจารย์ ดร.อดิศักดิ์	นาถกรณกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
รองศาสตราจารย์ ดร.ศิริชัย	เทพา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
รองศาสตราจารย์ ดร.ณัฐ	กาศยปนนันท์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
รองศาสตราจารย์ ดร.ณัฐพร	ไชยญาติ	มหาวิทยาลัยแม่โจ้
รองศาสตราจารย์ ดร.ยุทธนา	ภูริระวีชัยกุล	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
รองศาสตราจารย์ ดร.อนิรุทธ์	มัทธูจักษ์	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
รองศาสตราจารย์ ดร.สันติ	หวังนิพนพานโต	สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน
รองศาสตราจารย์ ดร.สมิทธิ์	เอี่ยมสะอาด	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร
รองศาสตราจารย์ ดร.กฤษณ์ชนม์	ภูมิภคิตพิชญ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
รองศาสตราจารย์ ดร.พานิช	อินดีะ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
รองศาสตราจารย์ ดร.สมร	หิรัญประดิษฐ์กุล	มหาวิทยาลัยนครสวรรค์
รองศาสตราจารย์ สมชาย	กฤตพลวิวัฒน์	มหาวิทยาลัยนครสวรรค์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิบูลย์	ช่างเรือ	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประสาน	สถิตย์เรืองศักดิ์	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธวัฒน์ชัย	เทพนวล	มหาวิทยาลัยทักษิณ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อุษา	อันทอง	มหาวิทยาลัยทักษิณ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จตุพร	แก้วอ่อน	มหาวิทยาลัยทักษิณ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กุสกาณา	กูปาษา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พัฒนะ	รักความสุข	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พงศกร	เกิดช้าง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิรัชชัย	โรยนรินทร์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บุญยัง	ปลั่งกลาง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปณัยภัทร	ภูมิภาค	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรียา	แก้วอาษา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เผด็จ	เผ่าลออ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อัมพร	เวียงมูล	มหาวิทยาลัยนครสวรรค์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สิทธิพงษ์	เพิ่มพิทักษ์	มหาวิทยาลัยนครสวรรค์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมชาย	มณีวรรณ	มหาวิทยาลัยนครสวรรค์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิรินุช	จินดารักษ์	มหาวิทยาลัยนเรศวร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วราภรณ์	รัตตงพิสัย	มหาวิทยาลัยนเรศวร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต	เวียงมูล	มหาวิทยาลัยนเรศวร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นินนาท	ราชประดิษฐ์	มหาวิทยาลัยนเรศวร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ดลเดช	ตั้งตระการพงษ์	มหาวิทยาลัยนเรศวร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฉันทนา	พันธุ์เหล็ก	มหาวิทยาลัยนเรศวร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อุษาวดี	ตันติวานุรักษ์	มหาวิทยาลัยบูรพา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภาวิณี	ศักดิ์สุนทรศิริ	มหาวิทยาลัยบูรพา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อัครินทร์	อินทนิเวศน์	มหาวิทยาลัยแม่โจ้
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุพัตรา	วงศ์แสนใหม่	มหาวิทยาลัยแม่โจ้
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธเนศ	ไชยชนะ	มหาวิทยาลัยแม่โจ้
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธนศิษฐ์	วงศ์ศิริอำนาจ	มหาวิทยาลัยแม่โจ้
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธงชัย	มณีชูเกตุ	มหาวิทยาลัยแม่โจ้
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชูรัตน์	ธรรารักษ์	มหาวิทยาลัยแม่โจ้
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จักรพันธ์	ถาวรงามยิ่งสกุล	มหาวิทยาลัยแม่โจ้
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปาณิสรา	แก้วสวัสดิ์	มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รวิภา	ยงประยูร	มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กิตติ	สถาพรประสาน	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เจริญพร	เลิศสถิตธนกร	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ณัฐพร	ฤทธิ์นุเม	มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ เสริมสุข	บัวเจริญ	มหาวิทยาลัยแม่โจ้
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สุวิทย์	เพชรห้วยลึก	มหาวิทยาลัยทักษิณ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ มารีนา	มะหนิ	มหาวิทยาลัยทักษิณ
ดร.นเรศ	สุริยะโรจน์	มหาวิทยาลัยนอร์ท-เชียงใหม่
ดร.มันตนา	รังสิโยภาส	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
ดร.กันยาพร	ไชยวงศ์	มหาวิทยาลัยราชมงคลล้านนา
อ.กิตติกร	สาสุจิตต์	มหาวิทยาลัยแม่โจ้
ดร.สุลักษณ์	มงคล	มหาวิทยาลัยแม่โจ้
ดร.สรารุช	พลวงษ์ศรี	มหาวิทยาลัยแม่โจ้
ดร.วรวรรณ	เพชรอุไร	มหาวิทยาลัยแม่โจ้
ดร.รจพรพรรณ	นิรัญศิลป์	มหาวิทยาลัยแม่โจ้
ดร.ยิ่งรักษ์	อรรถเวชกุล	มหาวิทยาลัยแม่โจ้
ดร.ปริญ	คกงระพันธ์	มหาวิทยาลัยแม่โจ้

ดร.นิกราน	หอมดวง	มหาวิทยาลัยแม่โจ้
ดร.ธวัฒน์	สร้อยทอง	มหาวิทยาลัยแม่โจ้
ดร.ณัฐต์นิษา	สุขเกษม	มหาวิทยาลัยแม่โจ้
ดร.ชวโรจน์	ใจสิน	มหาวิทยาลัยแม่โจ้
ดร.จุฑาภรณ์	ชนะถาวร	มหาวิทยาลัยแม่โจ้
Dr.Rameshprabu	Ramaraj	มหาวิทยาลัยแม่โจ้
ดร.ประกิตต์	โกะสูงเนิน	มหาวิทยาลัยแม่โจ้ แพร่ฯ
ดร.พิพัฒน์พงศ์	วัฒนวันยู	มหาวิทยาลัยรังสิต
ดร.วิชญา	รุ่งสุวรรณ์	มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์
ดร.ภราดร	หนูทอง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
ดร.สุนันทศักดิ์	ระวีวงศ์	มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี
ดร.จักรพงษ์	จำรูญ	มหาวิทยาลัยพะเยา
ดร.อุกฤษ	สมัครสมาน	มหาวิทยาลัยนเรศวร
ดร.พิสิษฐ์	มณีโชติ	มหาวิทยาลัยนเรศวร
ดร.ธีระชาติ	พรพิบูลย์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ดร.ณัฐดนัย	พรรณเจริญวงศ์	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต
Dr.Wanlop	Chutipong	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ดร.ศุภลักษณ์	อำลอย	มหาวิทยาลัยทักษิณ
ดร.นิรมล	จันทร์ชาติ	มหาวิทยาลัยทักษิณ
ดร.ฉัตร	ผลนาค	มหาวิทยาลัยทักษิณ
ดร.อนนท์	นำอิน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
Dr.Juan Manuel José Domínguez		มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

การตรวจหาบนหลังคาแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้การประมวลผลภาพ
Detection of Birds on Solar Rooftop Using Image Processing

กัญญาณัฐ ทองเทพ¹, ดำรงศักดิ์ อรัญกุล², สมถวิล ชันเขตต์³, วีรพล จิระจิต⁴, ธงชัย มณีชูเกต¹ และอัยย์รัชช์ อรรถถาวรกุล¹

¹วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ 63 หมู่ 4 ตำบลหนองหาร อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่ 50290

²วิทยาลัยอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยนครพนม 103 ถนนชยางกูร ตำบล ชานแด่ อำเภอเมืองนครพนม นครพนม 48000

³ สาขาวิชาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี

⁴ 2 ถนนราชธานี ตำบลในเมือง อำเภอเมือง จังหวัดอุบลราชธานี 34000

⁵ ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี 126 ถนนประชาธิปไตย แขวงบางมด เขตทุ่งครุ กรุงเทพฯ 10140

*ผู้ติดต่อ: E-mail, kunyanat.kn@gmail.com เบอร์โทรศัพท์, 053333194 เบอร์โทรสาร, 053333194

บทคัดย่อ

แผนพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ.2558-2579 กระทรวงพลังงาน (AEDP2015) ที่ตั้งเป้าในการใช้พลังงานทดแทน 20% โดยมีสถานะภาพและเป้าหมายการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนพลังงานแสงอาทิตย์ 31% พลังงานชีวมวล 28% พลังงานน้ำขนาดใหญ่และพลังงานลมอย่างละ 15% ส่งผลให้ผู้ประกอบการในภาคอุตสาหกรรมและธุรกิจมีความสนใจลงทุนด้านพลังงานแสงอาทิตย์ทั้งแบบติดตั้งบนหลังคาและบนพื้นดิน โดยปัจจุบันมีกำลังการผลิตไฟฟ้ารวมทั้งประเทศ 2,464.57 MW จากเป้าหมาย 6,000 MW นักพืราบเป็นนกที่พบได้โดยทั่วไป จึงเป็นปัญหาสำหรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคา ไม่ว่าจะเป็นเงาบังเนื่องจากการเกาะของนก มูลนกที่ราบบนแผง เกิดความร้อนสะสมที่สูงเกินไปบนพื้นผิวแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ลดประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในการผลิตไฟฟ้า บทความนี้จึงศึกษาการตรวจหาบนหลังคาแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้การประมวลผลภาพ โดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาพจากการซ้อนภาพหาจุดต่างที่เกิดขึ้น ตรวจหากนกด้วยวิธีฮับวรี แล้ววัดระยะห่างของวัตถุเทียบกับกรอบเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคา ผลของตำแหน่งใช้ควบคุมอุปกรณ์ป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นเนื่องจากการ การทดสอบ 20 ชุดข้อมูล เพื่อหานก 95 ตัว พบว่า ระบบสามารถบอกตำแหน่งนกถูกต้อง 100% และจำแนกนกถูกต้อง 76%

คำหลัก: เซลล์แสงอาทิตย์, หลังคา, การประมวลผลภาพ, การหาตำแหน่ง, ฮับวรี

Abstract

Ministry of Energy (AEDP2015) Alternative Energy Development Plan 2015-2022 Targeted 20% for renewable energy. The status targets for electricity from renewable energy were solar energy 31%, Biomass energy 28%, Large hydropower and wind power 15%. As a result, entrepreneurs in industry and business are interested in investing in both solar rooftop and mounted solar. Currently, the country has a total capacity of 2,464.57 MW. from the target of 6,000 MW . Pigeon bird was generally found. It was a problem for solar panels installed on the roof. Bird shadow cover and droppings on the panel were heat build-up on the surface of solar panels and reduce solar panel efficiency in electricity. This research proposes the detection of birds on solar rooftop using image processing. Using image processing techniques for image overlays, find out the differences to detect birds by using hough ellipse. Then measure the distance of the object relative to the solar frame mounted on the roof. The effect of the position is to control the device against possible damage due to the bird. In 20 sets of tests to find 95 birds found that the system can accurately position birds 100% and correctly classified detection of birds 76%

Keywords: Solar panel, Rooftop, Image procession, Detection, Hough ellipse

1. บทนำ

กรอบการพัฒนาพลังงานของไทยในระยะ 20 ปีตามแผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย (Power Development Plan : PDP) พ.ศ.2558-2579 (PDP2558) มีการประมาณการการใช้พลังงานไฟฟ้าในอนาคตโดยความต้องการการใช้ไฟฟ้าในปี 2579 อยู่ที่ประมาณ 326,000 GWh หรือเติบโตเฉลี่ยประมาณปีละ 3% เพื่อรองรับความต้องการที่เพิ่มขึ้นนี้ แผน PDP เพิ่มกำลังการผลิตในระยะ 20 ปีอีก รวม 57,467 MW จากปัจจุบันที่ 37,612 MW [1] ทั้งนี้ความเพียงพอ ราคาของการไฟฟ้าในอนาคตยังสอดคล้องกับแผนอนุรักษ์พลังงาน ซึ่งมีเป้าหมายเพื่อประหยัดและเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก ซึ่งตั้งเป้าการกระจายแหล่งเชื้อเพลิงเพื่อใช้พลังงานทดแทนที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากขึ้น

นอกจากนี้ยังมีกระจายแหล่งพลังงานให้มีความหลากหลายมากขึ้น โดยให้ก๊าซธรรมชาติมีส่วนลดลงจากร้อยละ 64 เหลือร้อยละ 37 ของเชื้อเพลิงที่ใช้ทั้งหมด และเพิ่มสัดส่วนของถ่านหิน การนำเอาไฟฟ้าพลังงานน้ำจากต่างประเทศ และพลังงานทดแทนแบบต่างๆ [2] ซึ่งสอดคล้องกับแผนพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก (AEDP2558) ที่ตั้งเป้าในการใช้พลังงานทดแทน 20% โดยมีสถานะภาพและเป้าหมายการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนแต่ละประเภทเชื้อเพลิง ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 สถานภาพและเป้าหมายการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทน

จากรูปที่ 1 จะเห็นว่าพลังงานทดแทนจากพลังงานแสงอาทิตย์ มีสัดส่วนมากที่สุดจากพลังงานทดแทนทั้งหมดเป็น 31% รองลงมาคือพลังงานชีวมวล 28% พลังงานน้ำขนาดใหญ่ และพลังงานลมอย่างละ 15% เนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศที่มีศักยภาพด้านพลังงานแสงอาทิตย์ โดยค่ารังสีรวมของดวงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อปีของพื้นที่ทั่วประเทศ มีค่าเท่ากับ 18.0 MJ/m²-day ถือว่าเป็นค่าที่ค่อนข้างสูง เหมาะแก่การนำพลังงานนี้มาผลิตไฟฟ้าที่มีประสิทธิภาพ

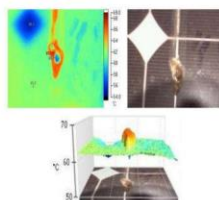
ประเทศไทยอยู่ในแถบอบอุ่นบริเวณเส้นศูนย์สูตร มีสภาพอากาศในแต่ละฤดูกาลไม่แตกต่างกันมากนัก ทำให้มี

อาหารสมบูรณ์ให้คนกินได้หากินดำรงชีวิตอย่างสบายตลอดปี [3] โดยเฉพาะนกพิราบ เป็นนกที่พบได้โดยทั่วไป มีการปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อมโดยเฉพาะในเมืองได้ดีมาก นกพิราบไม่ชอบทำรังบนต้นไม้ เนื่องจากสืบสายพันธุ์มาจากนกที่อยู่ตามผาหิน จึงชอบทำรังบนพื้นแข็งที่เป็นช่องหรือซอก เช่น ใต้ชายคาบ้าน ใต้หลังคาหรือซอกอาคารต่างๆ [4] ดังนั้นปัญหาที่พบได้บ่อยสำหรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคา มีหลากหลายปัญหา เช่น ปัญหานกพิราบเกาะบนแผงจนเกิดเงาบังหรือมูลของนกพิราบบนแผง ก่อให้เกิดความร้อนสะสมที่สูงเกินไปบนพื้นผิวแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เป็นต้น ประสิทธิภาพที่ลดลงของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในระยะยาว ลดประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในการผลิตไฟฟ้า [5] การทำรังได้แก่ ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 นกพิราบเกาะบนหลังคาและทำรังได้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ [6]

การที่นกพิราบทำรังนั้นทำให้บริเวณหลังคาที่ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เต็มไปด้วยเศษขยะและกิ่งไม้มากมายที่นกคาบมาทำรัง เกิดความสกปรกจากเศษขยะต่างๆ อีกทั้งการที่นกพิราบมีลำไส้สั้น ย่อยอาหารไว จึงปล่อยมูลเร็วรวดเป็นจำนวนมากทำให้บนหลังคาและแผงเซลล์แสงอาทิตย์เต็มไปด้วยมูลนก ส่งกลิ่นเหม็นไปทั่วบริเวณ อีกทั้งส่งผลเสียทางประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าโดยรวมให้ต่ำลง และมูลนกเหล่านี้เมื่ออยู่บนแผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็นเวลานาน หากไม่ได้รับการทำความสะอาดจุดนั้นจะกลายเป็นภาระทางไฟฟ้าให้แก่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ เมื่อแผงได้รับแสงแดด และเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้า จะเกิดเป็นความร้อนบนแผงสะสม ดังรูปที่ 3 มูลนกบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ก่อให้เกิดความร้อนสะสมบนแผง [7]



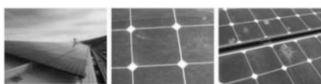
รูปที่ 3 มูลนกบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ก่อให้เกิดความร้อนสะสมบนแผง [7]

จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมาสามารถแยกประเด็น โดยสรุปได้ 2 ประเด็น คือ 1) ผลกระทบของมลพิษต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และ 2) การพัฒนาโปรแกรมเพื่อการตรวจจับภาพ ดังต่อไปนี้

เยีรวริภา กลิ่นบุปผา (2011) ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยทางชีวภาพและกายภาพที่ส่งผลกระทบต่อเสื่อสภาพของโบราณสถานบางแห่งในจังหวัดพระนครศรีอยุธยา พบว่านกพิราบ ทำลายโบราณสถานโดยตรงด้วยการเหยียบย่ำ หรือทางอ้อมคือมูลนก โดยมูลของนกพิราบมีค่า pH ระหว่าง 6-7 มีฤทธิ์เป็นกรดอ่อนๆ เมื่อทำปฏิกิริยากับความชื้นในอากาศ จะทำให้โบราณสถานเกิดการเสื่อมสภาพ และสามารถจัดการวิธีต่างๆ ได้ ทำให้เกิดความเสียหายอย่างรุนแรงต่อโบราณสถาน และยังเป็นแหล่งดำรงชีพให้แก่จุลินทรีย์ด้วย [8]

Al-Amri et al. (2013) ศึกษาผลกระทบต่อประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์ฟิโตนในเมืองแบกแดด พบว่ามูลนก หรือไปไม่ที่ร่วงลงบนพื้นผิวแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ก่อให้เกิดความร้อนที่สูงเกินไป เป็นตัวแปรที่ทำให้แผงเสียหายระยะยาว อีกทั้งหากมูลนกเหล่านี้สะสมเป็นเวลานาน จะให้ผลที่เลวร้ายยิ่งกว่าฝุ่น โดยจะฝังลงในแผง และทำลายโครงสร้างของแผงเซลล์แสงอาทิตย์อย่างถาวร [7]

Sanaz Ghazi and Kenneth Ip (2014) ศึกษาผลกระทบต่อสภาพอากาศต่อประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคา ที่สภาวะการทำงานจริง ทางตะวันออกเฉียงใต้ของประเทศไทย การศึกษาได้กล่าวถึงประเด็นทางภูมิศาสตร์ โดยมีนกอาศัยอยู่ในเมืองชายฝั่งแห่งนี้ ผลกระทบที่เกิดจากนกเหล่านี้คือมูลของพวกมัน ดังแสดงในรูปที่ 4 เมื่ออยู่บนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ระยะหนึ่ง แล้วไม่ได้รับการทำความสะอาด จะเกิดจุดที่ทำให้ร้อนเกินไปบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ลดการส่งออกการผลิตพลังงานไฟฟ้าและลดอายุการใช้งานของระบบ สิ่งนี้ชี้ให้เห็นถึงความจริงที่ว่า ข้อมูลจำเพาะหรือข้อมูลประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จากห้องปฏิบัติการ มักไม่เพียงพอที่จะแสดงถึงประสิทธิภาพที่สามารถผลิตได้จากการใช้งานในสภาวะจริง [9]

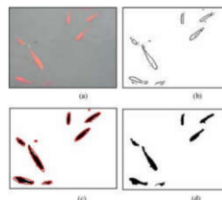


รูปที่ 4 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคาตึกได้รับผลกระทบจากฝุ่นและมูลนก

M. Ramasubramanian et al. (2014) ศึกษาและพัฒนาวิธีการตรวจหาและติดตามวัตถุที่สนใจ เพื่อตรวจสอบวัตถุในวิดีโอและค้นหาว่าวัตถุนั้นเป็นอย่างไร โดยการแบ่งส่วนพื้นที่ที่สนใจจากฉากในวิดีโอ จัดจำกับการวางตำแหน่งและ

ทำการเลือกตำแหน่งปกติเป็นตำแหน่งหลัก ใช้การติดตามวัตถุด้วยวิธีลำดับภาพ แล้วทำการจำแนกได้ประเภทวัตถุต่างๆ เช่น คน ยานพาหนะ นก เมฆลอย ต้นไม้โยก และวัตถุเคลื่อนที่อื่นๆ การติดตามวัตถุจะทำโดยใช้วิธีปรับการเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่ และเวลาของภาพระหว่างการตรวจสอบวิดีโอ รวมทั้งตำแหน่งขนาดรูปร่าง ฯลฯ วิธีการนี้ยังถูกนำไปใช้ในแอปพลิเคชันหลายอย่าง เช่น ใช้หุ่นยนต์เฝ้าระวังโดยการมองภาพจากวิดีโอ การตรวจสอบการจราจรจากภาพวิดีโอที่ภาพเคลื่อนไหว รวมถึงการวิเคราะห์และเปรียบเทียบการใช้เทคนิคต่างๆ ในขั้นตอนการตรวจจับภาพ [10]

ChingSeong Tan and Aryuanto Soetedjo (2008) ศึกษากระบวนการจับภาพกรุกอัตโนมัติสำหรับพารเมตริกปลา โดยวิธีการถ่ายภาพด้วยแสงจากกล้องหลายหมื่นที่ติดตั้งอยู่รอบๆ ตาข่ายปล่อยปลา เพื่อตรวจจับการกรุกของนักล่าในพื้นที่ของปลาเลี้ยงหรือบริเวณใกล้เคียง กล้องจะถูกติดตั้งต่ำกว่าพื้นที่ให้อาหาร ในช่วงเริ่มต้น ระบบกล้องจะบันทึกภาพเป็นภาพหลักในการเปรียบเทียบ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงระบบ จะทำการวิเคราะห์หาปลาผู้ล่าที่ไม่ใช่ปลาเทียบกับภาพหลักจากภาพมุมข้างและมุมสูง ขั้นตอนแรกอัลกอริทึมจะตรวจจับนักล่าโดยใช้การไล่ระดับสี หากเป้าหมายกำลังเคลื่อนที่เร็วกว่าพื้นหลังปัจจุบัน การเคลื่อนไหวแบบนี้จะใช้การวิเคราะห์แบบหมวดหมู่ ขั้นตอนที่สองการนับขนาดของเป้าหมาย นักล่าโดยทั่วไป เช่น นกทะเล, มนุษย์, จะจะมีขนาดใหญ่มากกว่าปลา (เปรียบเทียบขนาดของเป้าหมายกับภาพปลาที่บันทึกก่อนหน้านี้) ดังแสดงในรูปที่ 5 หากจะทำระบบเตือนภัย ควรมีการเรียกใช้ในขั้นตอนนี้ โดยการประมวลผลภาพนี้ใช้อัลกอริทึมเดียวกันกับการหาความคลาดเคลื่อนของเครื่องบินจากระนาบการบิน ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าแม้จะมีต้นทุนต่ำ ก็สามารถใช้อัลกอริทึมนี้เพื่อการประมวลผลภาพได้ [11]



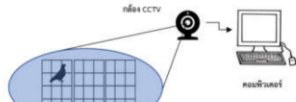
รูปที่ 5 ปลาที่ตรวจจับภาพจากด้านบน (a) ภาพดั้งเดิม (b) ภาพตัดขอบ (c) ขนาดภาพที่พอดีภายในวงรีสีแดง และ (d) ปลาที่ตรวจพบ [11]

ด้วยเหตุนี้จึงเป็นที่มาของงานวิจัยการตรวจหาบนหลังคาแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้การประมวลผลภาพนี้ โดย

เทคนิคการประมวลผลภาพจากการซ้อนภาพหาจุดต่างที่เกิดขึ้นบนตารางกรอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่เรียงเป็นแบบกรอบสี่เหลี่ยมต่อกัน การหาการใช้วิธีฮิวริสติก เนื่องจากโครงสร้างนั้นมีลักษณะเป็นวงรี เมื่อพบแล้ววัดระยะห่างของวัตถุเทียบกับกรอบเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคา เป็นค่าของตำแหน่งใช้ควบคุมอุปกรณ์ป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นเนื่องจากนก ซึ่งแต่ละพื้นที่มีอุปกรณ์ที่ใช้ป้องกันแตกต่างกันไป ทั้งนี้เพื่อให้การผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคา ผลิตไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพและเสริมสร้างความปลอดภัยแก่ผู้ที่อยู่ภายในตึกและสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับโครงการการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคาได้จริง

2. อุปกรณ์และวิธีทดลอง

ในการทดลองระบบตำแหน่งนกพิราบนี้ ประกอบด้วยสองส่วน คือ ส่วนฮาร์ดแวร์และส่วนซอฟต์แวร์ ดังแสดงในรูปที่ 8 และ 9 ตามลำดับ



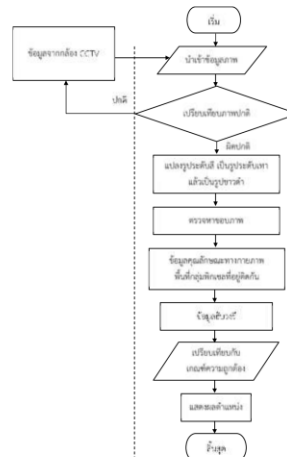
รูปที่ 6 โครงสร้างฮาร์ดแวร์ของระบบการระบุตำแหน่งนกที่เกาะบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคา

โดยระบบฮาร์ดแวร์ประกอบด้วยกล้อง CCTV ซึ่งมีความละเอียด 2 Mega-pixel รับภาพ และส่งให้กับคอมพิวเตอร์ รุ่น Lenovo ideapad 310 หน่วยประมวลผลกลาง intel core i5 ในการประมวลผลข้อมูล

ด้านระบบซอฟต์แวร์ มีโครงสร้างการทำงานของระบบดังรูปที่ 7 โดยนำเข้าข้อมูลภาพจากกล้อง CCTV และเปรียบเทียบว่าเป็นภาพที่มีสิ่งผิดปกติบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์หรือไม่ ถ้าไม่มีก็รับภาพจากกล้องมาประมวลผลต่อไป ถ้ามีนำวัตถุแปลกปลอมมาทำภาพระดับสีเทาและขาวดำ เพื่อหาขอบภาพ หลังจากนั้นนำภาพที่ได้มาดูข้อมูลคุณลักษณะทางกายภาพ พื้นที่วงรี กลุ่มพิกเซลที่อยู่ติดกัน เปรียบเทียบกับเกณฑ์ความถูกต้อง และแสดงผลตำแหน่งของนกพิราบบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์

ก่อนการระบุตำแหน่งของนกพิราบจะต้องมีการปรับเทียบระบบ สำหรับการปรับเทียบจะแยกออกเป็น 2 รูปแบบ คือ การปรับเทียบกล้อง CCTV ระยะห่างระหว่างกล้องกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อหาความยาวโฟกัสที่แท้จริงและอัตราส่วนของขนาดนกพิราบ โดยกำหนดระยะห่างแผงเซลล์แสงอาทิตย์ถึงหน้ากล้องให้คงที่ ซึ่งก่อนการใช้งานทุกครั้ง

ในแต่ละพื้นที่ต้องมีการปรับเทียบระบบเป็นค่าเริ่มต้นและสามารถใช้งานได้ตลอด เนื่องจากนกพิราบ และระยะห่างระหว่างกล้องมีขนาดเท่าเดิม แล้วทำการการบันทึกข้อมูลในการทดลอง บันทึกลงหน่วยความจำเครื่องคอมพิวเตอร์



รูปที่ 7 โครงสร้างซอฟต์แวร์ของระบบการระบุตำแหน่งนกที่เกาะบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคา

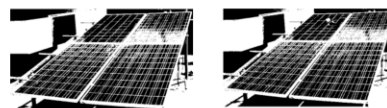
3. ผลการทดลอง

ข้อมูลภาพที่ได้จากกล้อง CCTV นำเข้าโปรแกรมประมวลผลโดยเป็นการเปรียบเทียบภาพต้นแบบกับภาพเป้าหมายที่มีนกเกาะหรือมีวัตถุบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ดังรูปที่ 8



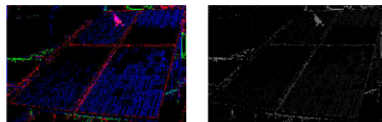
รูปที่ 8 ภาพต้นแบบและภาพเป้าหมายที่นำมาทดสอบ

เมื่อนำเข้าโปรแกรมประมวลผลเปรียบเทียบ โดยเริ่มจากการแปลงภาพเป็นภาพระดับขาวดำ ดังรูปที่ 9



รูปที่ 9 ภาพต้นแบบและภาพเป้าหมายแปลงขาวดำ

จากนั้นหาขอบของภาพเปรียบเทียบความผิดปกติระหว่างภาพต้นแบบและทำการระบายตำแหน่งที่ผิดปกติ ดังรูปที่ 10



รูปที่ 10 ตรวจสอบหาขอบภาพ เปรียบเทียบกับเกณฑ์

รูปที่ 11 แสดงผลการระบายตำแหน่งนกด้วยโปรแกรมประมวลผล (ก) ตำแหน่งที่ปกติ และ (ข) ตำแหน่งที่ผิดพลาดเนื่องจากนกอยู่ใกล้กันหรือชิดติดกันมาก



(ก) (ข)

รูปที่ 11 ผลการระบายตำแหน่งนก (ก) ปกติ และ (ข) ผิดพลาด

ผลการทดลองมีตัวอย่างทั้งหมด 95 ตัวอย่างแบ่งออกเป็นวัตถุที่วางบนแผงโซลาร์เซลล์ 1, 3, 5 และ 10 ชิ้น อย่งละ 5 ตัวอย่าง ตามลำดับ เมื่อนำเข้าโปรแกรมประมวลผลภาพและทำการประมวลผลแล้วแสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการทดลองการประมวลผลภาพ

ชุดรูปทดสอบ	จำนวนนก (ตัว)	เป็นนก		ตำแหน่ง	
		นก	ไม่นก	ถูก	ผิด
1	1	5	-	5	-
2	3	11	4	11	-
3	5	21	4	21	-
4	10	35	15	35	-

จากผลการทดลอง ชุดรูปทดสอบจำนวน 4 ชุดทดสอบ 20 ชุดข้อมูล จำนวนนกในการทดสอบ 95 ตัว พบว่า สามารถตรวจพบนกทั้งหมด 72 ตัว ตรวจผิดพลาด 23 ตัว เนื่องจากนกตัวอย่างอยู่ชิดติดกันมาก บางตัวอย่างเกือบซ้อนทับเป็นตัวเดียวกัน ลักษณะการอยู่ชิดกันมีทั้งอยู่ชิดแบบ 2 ตัว หรืออยู่ซ้อนใกล้กันมากแบบ 3 ตัว ทำให้โปรแกรมประมวลผลภาพเกิดความผิดพลาดได้

4. สรุปผลการทดลอง

การประมวลผลภาพการตรวจหานกบนหลังคาแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่นำเสนอ มีผลการทดลอง คือ สามารถ

จำแนกนกบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ระบบสามารถบอกตำแหน่งนกถูกต้อง 100% และจำแนกนกถูกต้อง 76% ความผิดพลาดที่เกิดขึ้นเนื่องจาก นกจากภาพตัวอย่างอยู่ใกล้ชิดติดกันมากเกินไป โปรแกรมวิธีประมวลผลภาพจึงวางเป็นตัวเดียวกันและนกที่ซ้อนกันใกล้เคียงเกือบเป็นตัวเดียวกัน ก็สามารถแยกว่าเป็นนกได้

การตรวจพบวัตถุได้มีข้อดี คือ สามารถบอกตำแหน่งที่มีวัตถุผิดปกติบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์แก่ผู้ดูแลระบบรับรู้และนำข้อมูลที่ได้ไปตัดสินใจในการดำเนินการกับนกต่อไป

5. กิตติกรรมประกาศ

บทความฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี โดยได้รับงบประมาณสนับสนุนการดำเนินงานวิจัยภายใต้โครงการนำร่องการพัฒนาบัณฑิตวิจัยนักปฏิบัติเพื่ออุตสาหกรรม และธุรกิจอุตสาหกรรมการให้บริการเชิงเกษตร (ปีงบประมาณ พ.ศ. 2560) และบริษัท อีทีไอวิศวกรรม จำกัด ที่ให้การสนับสนุนด้านข้อมูลและสถานที่สำหรับบทความนี้

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] ภัทธกรณ์ หิรัญวงศ์ และสิงห์พันธุ์ สิงห์เสนี. (2559). *อนาคตพลังงานไฟฟ้าไทย พอเพียงแต่เสี่ยงภัย*. วารสาร FOCUSED AND QUICK (FAQ) สายนโยบายการเงิน ธนาคารแห่งประเทศไทย, ฉบับ 102. หน้า 1-7.
- [2] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2558). *แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ. 2558-2579*. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://www.dede.go.th/ewt_news.php?id=42195 (14 มีนาคม 2560).
- [3] สมาคมอนุรักษ์นก. (ม.ป.ป.) *พฤติกรรมของนก*. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://www.bcst.or.th/?page_id=55 (14 มีนาคม 2560).
- [4] วิกีพีเดีย สารานุกรมเสรี. (2560). *นกพิราบ*. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <https://th.wikipedia.org/wiki/นกพิราบ> (14 มีนาคม 2560).
- [5] Ghazi, Sanaz Ali Sayigh, Ip Kenneth. (2014). *Dust effect on flat surfaces—a review paper*. Renewable and Sustainable Energy Reviews. Vol 33, 742–751.
- [6] Professional pest management. (no date). *Bird Control*. [Online]. Available <http://www.professionalpestmgmt.com/services/commercial/bird-control/> (14 March 2017).
- [7] Al-Ammri AS, Ghazi A, Mustafa F. (2013). *Dust effects on the performance of PV street lights in Baghdad City*. In: Proceedings of the renewable and

sustainable energy conference (IRSEC), international. 18–22.

[8] เขียววิภา กลิ่นบุปผา. (2554). *ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยทางชีวภาพและกายภาพที่ส่งผลต่อการเสื่อมสภาพของโบราณสถานบางแห่งในจังหวัดพระนครศรีอยุธยา*. วิทยาสตมหาบัณฑิต, สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม, ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม, คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

[9] Sanaz Ghazia and Kenneth Ip. (2014). *The effect of weather conditions on the efficiency of PV panels in the southeast of UK*. Renewable Energy. Vol 69, 50–59.

[10] M. Ramasubramanian, M A. Dorai Rangaswamy and G. N. V. Raja Reddy. (2015). *A survey study on detecting and tracking objective methods*. IEEE National Conference On Emerging Trends In New & Renewable Energy Sources And Energy Management (NCET NRES EM), 159-164.

[11] ChingSeong Tan and Aryunto Soetedjo. (2008). *Feasibility Study on An Automated Intruder Detection for Tropical Fish Farm*. IEEE Conference on Robotics, Automation and Mechatronics, 1,018-1,021.

2. เผยแพร่ผลงานทางวิชาการ เรื่อง “การจำแนกนกกับสิ่งไม่มีชีวิตด้วยวิธีการประมวลผลภาพ” ใน การประชุมวิชาการ และการประกวดนวัตกรรมบัณฑิตศึกษาระดับชาติและนานาชาติ ระหว่างวันที่ 17-18 พฤษภาคม 2561 ณ ศูนย์ประชุมนานาชาติดิเอ็มเพรส โรงแรมดิเอ็มเพรส เชียงใหม่



บทความฉบับสมบูรณ์ในรายงานการประชุมวิชาการ

การประชุมวิชาการและประกวดนวัตกรรมบัณฑิตศึกษาแห่งชาติ ครั้งที่ 2
(2nd National Graduate Research Conference and Creative Innovation Competition)

“งานวิจัยและนวัตกรรมบัณฑิตศึกษาเพื่อความยั่งยืนทางเศรษฐกิจและสังคม”

วันที่ 17 – 18 พฤษภาคม 2561
ณ ห้องเชียงใหม่ ชั้น 2 ศูนย์ประชุมนานาชาติดิเอ็มเพรส
โรงแรมดิเอ็มเพรสเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่

Copyright © 2018

จัดทำโดย : บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยแม่โจ้

เชียงใหม่ ประเทศไทย || พฤษภาคม 2561



รายนามผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความวิจัยฉบับสมบูรณ์

กลุ่มสาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ต่อ)

รายชื่อผู้ทรงคุณวุฒิ	ที่อยู่/สังกัด
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. โชนน ศรีเกตุ	คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กังสดาล กนกพงษ์	คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กฤษณะ สาน้ำเที่ยง	คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. หนึ่งหทัย ชัยอาภากร	คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชูพงษ์ ภาคภูมิ	คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุทินันท์ รัตนพรหม	คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมการศึกษา มหาวิทยาลัยแม่โจ้
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ปริญญา สุทธิกุลบุตร	คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นภาพร ปิญโญใหญ่	คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมการศึกษา มหาวิทยาลัยแม่โจ้
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชูปน ชื่นบาล	คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศิราภรณ์ ชื่นบาล	คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. หยาดฝน ทะนงการกิจ	คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมการศึกษา มหาวิทยาลัยแม่โจ้
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กฤษณีย์ อัครวณิชชัย	คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมการศึกษา มหาวิทยาลัยแม่โจ้
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุภาพร แสงศรีจันทร์	คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศักดิ์ชัย เล็กเกียรติระกุล	คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สมนิตย์ อิชยาวณิชชัย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าพระนาครเหนือ วิทยาเขตปราจีนบุรี
อาจารย์ ดร. กนกวรรณ กรรเชียง	คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้
อาจารย์ ดร. กิตติศักดิ์ โอสถานันต์กุล	คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้
อาจารย์ ดร. นณิ ตันติธรรมากุล	คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้
อาจารย์ ดร. สมคิด ตีจวง	คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้
อาจารย์ ดร. อุทุมพร กันแก้ว	คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้
อาจารย์ ดร. กิตติกร หาญตระกูล	คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้
อาจารย์ ดร. ยวลี อัมพาพรหม	คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้
อาจารย์ ดร. สุรีย์พร สราภิรมย์	คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้
อาจารย์ ดร. ชีระพล ชูรกิจเสวี	คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้
อาจารย์ ดร. กิตติคุณ พระกระจ่าง	คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้
อาจารย์ ดร. นภัสน์ จันทร์มี	คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้
อาจารย์ ดร. มธุรส ชัยหาญ	คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้
อาจารย์ ดร. รัฐพร จันทร์เดช	คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้
อาจารย์ ดร. สมนึก ลินอุปวน	คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้
อาจารย์ ดร. ไพโรจน์ วงศ์พิชิตสิน	คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้
อาจารย์ ดร. กิรติญา จันทร์ผง	คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้
อาจารย์ ดร. ชวโรจน์ ใจสิน	วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้
อาจารย์ ดร. ศิวโรจน์ บุญราศรี	คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมการศึกษา มหาวิทยาลัยแม่โจ้
อาจารย์ ดร. ชนันท์ภัทร์ ราษฎร์นิยม	คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมการศึกษา มหาวิทยาลัยแม่โจ้



รายนามผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความวิจัยฉบับสมบูรณ์

กลุ่มสาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ต่อ)

รายชื่อผู้ทรงคุณวุฒิ	ที่อยู่/สังกัด
อาจารย์ ดร.กาญจนา นาคประสม	คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้
อาจารย์ ดร.นิสรา กิจเจริญ	คณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ มหาวิทยาลัยแม่โจ้
อาจารย์ ดร.จุฬาร ปานะถึก	คณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยแม่โจ้
อาจารย์จักรพงษ์ ไชยวงศ์	คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้
อาจารย์ ดร.สิริมา เกกิงวงศ์ตระกูล	คณะศุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
อาจารย์ ดร.ปณิธิ แสนจิต	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ลำปาง
อาจารย์ ดร.ไพบุลย์ ปะนาเส	คณะเกษตรศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยพะเยา
อาจารย์ ดร.ธนาพร บุญมี	คณะเกษตรศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยพะเยา
อาจารย์ ดร.สุพรรณนิการ์ กล่อมจ้อหอ	คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่
อาจารย์ ดร.นิราภรณ์ ชัยวัง	คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่
อาจารย์ ดร.สรุจพิสิษฐ์ พืชศรภาพ	คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่
อาจารย์ ดร.เดือนเพ็ญ วงศ์สอน	คณะวิทยาศาสตร์และศิลปะศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญธานี
อาจารย์ ดร.นันทพร สุทธิ	คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
อาจารย์สัญญา พันธุ์แพง	วิทยาลัยแม่ฮ่องสอน มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่

กลุ่มสาขาวิชามนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์

รายชื่อผู้ทรงคุณวุฒิ	ที่อยู่/สังกัด
รองศาสตราจารย์ ดร.เฉลิมชัย ปัญญาดี	วิทยาลัยบริหารศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้
รองศาสตราจารย์ ดร.ณัฐวิทย์ ติกุล	คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการออกแบบสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยแม่โจ้
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วีระ เลิศสมพร	คณะรัฐศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กันต์ อินทวงศ์	คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมบัติ เวชกามา	คณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อุดม คำชาติ	คณะศุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธนกร สิริสุคันธา	คณะวิทยาการจัดการ มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นพวรรณ บุญธรรม	วิทยาลัยบริหารศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สถาพร แสงสุโพธิ์	วิทยาลัยบริหารศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เอกพิชญ์ ชินะชัย	วิทยาลัยบริหารศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปรารถนา ยศสุข	วิทยาลัยบริหารศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บงกชมาศ เอกเอี่ยม	วิทยาลัยบริหารศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศรภา สุธรินทร์	วิทยาลัยบริหารศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปฏิภาณ สุทธิกุลบุตร	คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้



รายนามผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความวิจัยฉบับสมบูรณ์

กลุ่มสาขาวิชามนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ (ต่อ)

รายชื่อผู้ทรงคุณวุฒิ	ที่อยู่/สังกัด
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภัทรอนันท์ ศรีจอมทอง	คณะศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เสาวลักษณ์ ชัยทวีป	คณะศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ว่าที่ร้อยตรี ดร.นิโรจน์ สินณรงค์	คณะเศรษฐศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภัทริกา มณีพันธ์	คณะบริหารธุรกิจ มหาวิทยาลัยแม่โจ้
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ยงยุทธ ยะบุญอง	คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
อาจารย์ ดร.ชยา วรรณะภูติ	คณะสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
อาจารย์ ดร.มนต์กวี มโนการณ	คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
อาจารย์ ดร.สุทธิดา จำรัส	คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
อาจารย์ ดร.วรงค์ ตระการศิริมนตรี	คณะรัฐศาสตร์และรัฐประศาสนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
อาจารย์ ดร.อติชาต หาญชาญชัย	วิทยาลัยศิลปะ สื่อ และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
อาจารย์ ดร.ขวัญนภา สุขคร	มหาวิทยาลัยสวนดุสิต จังหวัดลำปาง
อาจารย์ ดร.ศศิธร รมะบุตร	มหาวิทยาลัยสวนดุสิต จังหวัดลำปาง
อาจารย์ ดร.สุวดี อุบิโนใจ	คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย
อาจารย์ ดร.พูนชัย ยิววิราช	คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย
อาจารย์ ดร.อนุรัตน์ อนันตนาธร	คณะรัฐศาสตร์และนิติศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา
อาจารย์ ดร.อุเทน ลาพิงค์	มหาวิทยาลัยมหามกุฏราชวิทยาลัย วิทยาเขตล้านนา
อาจารย์ ดร.รักษ์ศรี เกียรติบุตร	คณะรัฐศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา
อาจารย์ ดร. สุวรัฐ แลสันกลาง	คณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง
อาจารย์ ดร.โลยเพ็ญ เฉิดเจิม	คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตต์
อาจารย์ ดร.วันชาติ นาคศรี	วิทยาลัยบริหารศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้
อาจารย์ ดร.เกรียงไกร เจริญผล	วิทยาลัยบริหารศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้
อาจารย์ ดร.สุริยจรัส เตชะต้นมีนสกุล	วิทยาลัยบริหารศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้
อาจารย์ ดร.วินิจ มาเจริญ	วิทยาลัยบริหารศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้
อาจารย์ ดร.ชมชน นุญระหงษ์	วิทยาลัยบริหารศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้
อาจารย์ ดร.สุชาดา สายทิ	วิทยาลัยบริหารศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้
อาจารย์ ดร.ชัยวัฒน์ หน่อรัตน์	วิทยาลัยบริหารศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้
อาจารย์ ดร. ธาศรี รอดชำนานู	คณะศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้
อาจารย์ ดร.บงอร ศิริสิบลักษณ์	คณะศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้
อาจารย์ ดร.นทีทิพย์ สรรพทานนท์	คณะบริหารธุรกิจ มหาวิทยาลัยแม่โจ้



การประชุมวิชาการ และการประกวดนวัตกรรมบัณฑิตศึกษาระดับชาติและนานาชาติ
ระหว่างวันที่ 17-18 พฤษภาคม 2561
ณ ศูนย์ประชุมนานาชาติดิเอ็มเพรส โรงแรมดิเอ็มเพรส เชียงใหม่



NGRC02010197

การจำแนกนกกับสิ่งไม่มีชีวิตด้วยวิธีการประมวลผลภาพ

Classification of Birds from Inorganism by Using the Image Processing

กัญญาณัฐ ทองเทพ^{1*} ดำรงศักดิ์ อรัญกุล² สมถวิล ชันเขตต์³ วีรพล จิรจรีต⁴ ธงชัย มณีชูเกตุ¹ และ ยິงรักษ์ อรรถเวชกุล¹

Kunyanat Thongtep^{1*}, Damrongsak Arungool², Somthawin Khunkhet³, Werapon Chiracharit⁴, Thongchai Maneechukate¹ and Yingrak Auttawaitkul¹

¹ วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่ ประเทศไทย 50290

¹ School of Renewable Energy, Maejo University, Chiang Mai, Thailand, 50290

² วิทยาลัยธาตุพนม มหาวิทยาลัยนครพนม จังหวัดนครพนม ประเทศไทย 48000

² Thatphanom Collage, Nakhonphanom University, Nakhonphanom, Thailand, 48000

³ สาขาวิชาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี จังหวัดอุบลราชธานี ประเทศไทย 34000

³ Faculty of Science, Ubon Ratchathani Rajabhat University, Ubon Ratchathani, Thailand, 34000

⁴ ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี กรุงเทพฯ ประเทศไทย 10140

⁴ Faculty of Engineering, King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangkok, Thailand, 10140

*Corresponding author, e-mail: kunyanat.kn@gmail.com

บทคัดย่อ

ภาครัฐมีนโยบายผลักดันการใช้พลังงานทดแทนส่งผลให้ภาคเอกชนสนใจลงทุนในอุตสาหกรรมพลังงานทดแทนอย่างมาก พลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานทดแทนชนิดหนึ่งที่ภาคเอกชนให้ความสนใจเป็นอันดับต้นๆ ในปี 2560 มีการลงทุนในพลังงานแสงอาทิตย์ 2,692.26 เมกะวัตต์ (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.), 2560) หรือ 26% จากพลังงานทดแทนทั้งหมด โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ทั่วไปมีการติดตั้ง 2 แบบ คือแบบติดตั้งบนพื้นดินและแบบติดตั้งบนหลังคา ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขึ้นกับความเข้มแสงจากดวงอาทิตย์ตกกระทบแผงโดยตรง หากแผงได้รับแสงมากเท่าไรปริมาณการผลิตไฟฟ้าก็มากขึ้นเท่านั้น ปัญหาลำดับที่ส่งผลต่อกำลังการผลิตไฟฟ้า คือ อุณหภูมิของแผงและการมีเงาบังแผง ซึ่งใบไม้กับนกที่เกาะส่งผลให้เกิดเงาบังบนแผง ทำให้การผลิตไฟฟ้าไม่เป็นที่ตามเป้าหมายที่คาดการณ์ไว้ หากใบไม้หรือมูลของนกอยู่บนแผงเป็นเวลานานโดยไม่ได้รับการทำความสะอาดจะนำไปสู่การเกิดจุดร้อนถาวรบนเซลล์ในแผงและทำลายโครงสร้างแผงให้เสียหายในระยะยาว ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าของระบบผลิต (S. Abhishek and J. Prashant, 2016) ปัญหานี้มีทั้งการแก้ปัญหาไม่เหมือนกัน หากเป็นนกการขับไล่ให้ออกจากแผงด้วยวิธีการต่างๆ ขึ้นกับแต่ละพื้นที่เห็นสมควรแต่มูลนกหรือใบไม้จะต้องทำการหยิบหรือล้างออก งานวิจัยนี้เสนอการจำแนกนกกับสิ่งไม่มีชีวิตโดยการประมวลผลภาพด้วยวิธีการหาอัตราส่วนระหว่างค่าส่วนต่างกับค่าเฉลี่ยของจำนวนพิกเซลเมื่อเทียบกับภาพเดิมเนื่องจากนกเป็นสิ่งมีชีวิตจึงมีการเคลื่อนไหวอย่างต่อเนื่องทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงปริมาณพิกเซล อัตราส่วนระหว่างค่าส่วนต่างกับค่าเฉลี่ยของจำนวนพิกเซลจะมีค่ามากกว่า 0.41 ซึ่งมากกว่าใบไม้ที่มีอัตราส่วนน้อยกว่า 0.02 เมื่อตรวจพบวัตถุแปลกปลอมบนแผงและสามารถคัดแยกว่าเป็นนกหรือใบไม้แล้วก็จะสามารถหาวิธีดำเนินการกับวัตถุนั้นได้อย่างเหมาะสม

คำสำคัญ: นก ใบไม้ แผงเซลล์แสงอาทิตย์ การประมวลผลภาพ พิกเซล



การประชุมวิชาการ และการประกวดนวัตกรรมบัณฑิตศึกษาระดับชาติและนานาชาติ
ระหว่างวันที่ 17-18 พฤษภาคม 2561

ณ ศูนย์ประชุมนานาชาติดิเอ็มเพรส โรงแรมดิเอ็มเพรส เชียงใหม่



GRADUATE
SCHOOL
CHIANG MAI UNIVERSITY

Abstract

The public sector has a policy on renewable energy using for the public which makes the private sector is interested in it so much. In 2017, there was the investment on solar energy for 2,692.26 MW (Department of Alternative Energy Development and Efficiency, 2017) or 26 percent of the whole renewable energy. Generally, they are 2 types of installation in the solar energy plant: on the ground and on the roof. Efficiency in electricity generating of solar module depends on sunlight intensity directly goes straight to the solar module. That is, the more it gets sunlight the more It can generate electricity. However, an important problem effecting the power of electricity generating is temperature of the solar module and shade. Leaves and birds on the solar module cause shade on it, making electricity generating performance cannot be as expected. In the case of leaves and birds are on the solar module for a long time, there it will have permanent heat ignition which destroys or damages the solar module results in decreased efficiency in electricity generating (S. Abhishek and J. Prashant, 2016). Solving the shade problem is in different methods. To drive away birds from the solar module can be done in many ways, depending on each area but bird dung and leaves must be removed. This study presents classification of birds from inorganism by using image processing with the ratio between the difference and the average of pixels compared to the original image. Since birds are organism so it can move continually making change in the ratio of pixel more than 0.41. This is different from that of leaves which the ratio less than 0.02. When foreign matters are found on the solar cell module and it can be detected birds or leaves then an appropriate way to manage the foreign matters will be used.

Keyword: birds, leaves, solar module, image processing, pixel

บทนำ

ภาครัฐมีนโยบายผลักดันการใช้พลังงานทดแทนส่งผลให้ภาคเอกชนสนใจลงทุนในอุตสาหกรรมพลังงานทดแทนอย่างมาก พลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานทดแทนชนิดหนึ่งที่ภาคเอกชนให้ความสนใจเป็นอันดับต้นๆ ในปี 2560 มีการลงทุนในพลังงานแสงอาทิตย์ 2,692.26 เมกะวัตต์ (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2560) หรือ 26% จากพลังงานทดแทนทั้งหมด จึงมีบริษัทเกี่ยวกับธุรกิจติดตั้งพลังงานแสงอาทิตย์มากมาย ซึ่งโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ทั่วไป เมื่อแบบตามพื้นที่ติดตั้ง จะแบ่งได้ 2 แบบ คือแบบติดตั้งบนพื้นดินและแบบติดตั้งบนหลังคา ในการสร้างโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ขนาด 1 MW ต้องใช้พื้นที่ประมาณ 12 ไร่ ซึ่งเป็นพื้นที่ในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์และห้องควบคุมระบบ ด้วยความกว้างของพื้นที่ติดตั้งนี้ทำให้เกิดปัญหาในโรงไฟฟ้าผู้ดูแลระบบจะไม่สามารถตรวจสอบและแก้ปัญหาอย่างทันทีได้

ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์นั้นขึ้นกับความเข้มแสงจากดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบแผงโดยตรง หากแผงได้รับแสงมากปริมาณการผลิตไฟฟ้าก็มากเช่นกัน ปัญหาสำคัญที่ส่งผลต่อกำลังการผลิตไฟฟ้า คือ อุณหภูมิของแผงและการมีเงาบังแผง โดยประสิทธิภาพการทำงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะลดลง 0.5% ทุกๆ อุณหภูมิแผงที่เพิ่มขึ้น 1 °C (K. Sopian et al., 1996) เป็นผลต่อการผลิตไฟฟ้าของแผงโดยตรงก่อให้เกิดการสูญเสียกำลังการผลิตในโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

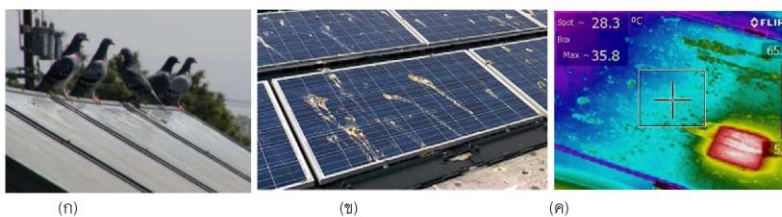
ใบไม้ที่ร่วงและหล่นลงบนแผง นกที่เกาะเงาในเวลากลางวันที่มีการผลิตไฟฟ้าและมูลนกที่อยู่บนแผง สิ่งเหล่านี้คือปัญหาเฉพาะหน้าที่เกิดขึ้นจริงในโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ จะส่งผลให้เกิดเงาบังบนแผง ทำให้การผลิตไฟฟ้าไม่เป็นไปตาม



การประชุมวิชาการ และการประกวดนวัตกรรมบัณฑิตศึกษาระดับชาติและนานาชาติ
ระหว่างวันที่ 17-18 พฤษภาคม 2561
ณ ศูนย์ประชุมนานาชาติเอ็มเพรส โรงแรมดิเอ็มเพรส เชียงใหม่



เป้าหมายที่คาดการณ์ไว้ ภาพที่ 5 (ก) คือภาพที่กลุ่มนกพิราบเกาะบริเวณขอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ทำให้เกิดปัญหาเงาบังขณะที่แผงกำลังผลิตไฟฟ้า ภาพที่ 5 (ข) เป็นภาพมุมมองบนแผง ซึ่งหากใบไม้หรือมูลของนกอยู่บนแผงเป็นเวลานานโดยไม่ได้รับการทำความสะอาดจะนำไปสู่การเกิดจุดร้อนที่เรียกว่า Hotspot ดังภาพที่ 5 (ค) เกิดเป็นจุดร้อนแบบถาวรในเซลล์บนแผงและทำลายโครงสร้างแผงให้เสียหาย ทำให้ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าของระบบลดลง (S. Abhishek and J. Prashant, 2016) ซึ่งการแก้ไขปัญหาจำเป็นต้องทำการเปลี่ยนแผงใหม่เท่านั้น นอกจากประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าที่ลดลงอาจเกิดอุบัติเหตุแผงใหม่ได้เพราะจุดร้อนนี้จะกลายเป็นภาวะทางไฟฟ้าในขณะที่ระบบผลิตไฟฟ้าทำงาน เมื่อเกิดการสะสมของความร้อนมากขึ้นเรื่อยๆ จึงเกิดการไหม้ของแผง เกิดความเสียหายด้านทรัพย์สินและเป็นอันตรายต่อผู้ดูแลระบบได้



ภาพที่ 5 (ก) การเกาะขอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ของกลุ่มนกพิราบ (BIRD BARRIER AMERICA, INC., no date) (ข) มูลนกพิราบบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคา (Clean solar solution (AUS), 2016) และ (ค) ภาพถ่ายความร้อนจากจุดที่มีมูลบนแผง (Clean solar solution (AUS), 2016)

จากที่กล่าวมาข้างต้นทำให้ทราบว่าปัญหาเงาบังนี้เป็นที่มาของปัญหาใหญ่เฉพาะหน้าที่เกิดกับโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ดังนั้นการป้องกันเพื่อไม่ให้เกิดปัญหาที่หนักตามมา ผู้วิจัยนำเสนอบทความในการแก้ปัญหาเงาบังในแต่ละกรณีซึ่งจะมีการแก้ปัญหาที่ไม่เหมือนกัน หากเงาบังเกิดจากนกเกาะ จะใช้วิธีขับไล่กให้ออกจากแผงด้วยวิธีการต่างๆ ขึ้นกับแต่ละพื้นที่ที่เห็นสมควร เช่น ใช้น้ำฉีดไล่หรือใช้เสียงไล่ก หากเป็นมูลนกหรือใบไม้ซึ่งเป็นสิ่งไม่มีชีวิต จะไม่สามารถใช้วิธีเดียวกันกับการไล่สิ่งมีชีวิตได้ จะต้องทำการหยิบหรือล้างออกเท่านั้น ซึ่งส่วนมากผู้ประกอบการจะใช้วิธีการล้างแผงด้วยน้ำ แต่การทำความสะอาดนี้จะมีระยะเวลาของการทำความสะอาดที่แตกต่างกัน ขึ้นกับสถานที่และสภาพแวดล้อม เช่น ในฤดูร้อนหรือฤดูหนาวทำความสะอาดทุก 1-2 เดือน ส่วนในฤดูฝนระยะเวลาในการทำความสะอาดจะห่างขึ้นเนื่องจากน้ำฝนสามารถชำระล้างฝุ่นละอองได้บางส่วน การล้างแผงที่เกิดจากมูลนกหรือใบไม้มีถือว่าเป็นเหตุการณ์ที่ไม่อยู่ในรอบทำความสะอาดโดยปกติเนื่องจากสิ่งที่เกิดขึ้นเป็นการบังเงาแบบ 100% จะส่งผลเสียต่อแผงและระบบการผลิตไฟฟ้า

จากการศึกษางานวิจัยในอดีต ความเสียหายที่เกิดกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์จากปัญหาเงาบังมีดังต่อไปนี้

Mohammad Reza Maghami et al. (2016). ทำการศึกษาการสูญเสียกำลังการผลิตไฟฟ้าเนื่องจากความสกปรกบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ในการทดลองจะแบ่งลักษณะของความสกปรกเป็นความสกปรกที่เกิดจากฝุ่นจำนวนเล็กน้อยกับความสกปรกที่เกิดจากฝุ่นจำนวนมาก ซึ่งความฝุ่นมากนี้จะนับเป็นปัญหาเงาบัง ในกรณีฝุ่นเล็กน้อยจะส่งผลต่อการผลิตไฟฟ้าคือทำให้แรงดันไฟฟ้าของระบบต่ำลง อินเวอร์เตอร์ในระบบผลิตไฟฟ้าจะทำหน้าที่ปรับแรงดันของระบบให้อยู่ในสภาวะปกติได้ แต่หากฝุ่นหนาแน่นจะทำให้แรงดันไฟฟ้าของระบบต่ำลงมากๆ อินเวอร์เตอร์ในระบบผลิตไฟฟ้าไม่สามารถปรับแรงดันของระบบให้อยู่ในสภาวะปกติได้ สร้างความเสียหายให้กับระบบและลดประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้า ในงานวิจัยจึงมีการติดตั้ง



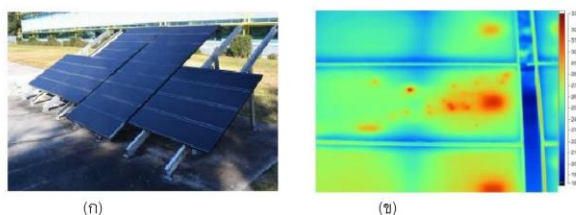
การประชุมวิชาการ และการประกวดนวัตกรรมบัณฑิตศึกษาระดับชาติและนานาชาติ
ระหว่างวันที่ 17-18 พฤษภาคม 2561



ณ ศูนย์ประชุมนานาชาติดิเอ็มเพรส โรงแรมดิเอ็มเพรส เชียงใหม่

micro-inverter ให้กับแต่ละ string ของการติดตั้งแผง แต่วิธีการนี้ก็ยังมีความเสี่ยงสูงและต้องใช้ micro-inverter จำนวนมากจึงจะครอบคลุมระบบผลิตไฟฟ้าทั้งหมด อีกทั้งประสิทธิภาพของวิธีการนี้ยังต่ำจึงไม่เป็นที่ยอมรับ

N. G. Dhere et al. (2015). ทำการศึกษามลกระทบจากเงาบังบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในสภาวะจริงที่ผ่านการใช้งานกว่า 12 ปี พบว่า กำลังไฟของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์จะลดลงเมื่อมีเงาบังทั้งหมดหรือเงาบังบางส่วน เงาบังทั้งหมดอาจเกิดขึ้นเนื่องจากมีเมฆปกคลุม บดบังแสงอาทิตย์ ในขณะที่เงาบังบางส่วนเกิดขึ้นเนื่องจากวัตถุใกล้เคียง เช่น รั้วไม้หรือใบไม้ที่ร่วงบนแผง การต่อเซลล์ในแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบ thin film นั้นจะไม่มีบายพาสไดโอด (bypass diodes) ในแต่ละเซลล์ ทำให้เกิดความเสี่ยงต่อเซลล์อื่นๆ เมื่อมีปัญหาเงาบังเกิดขึ้นบนแผง ปัญหาเงาบังนี้มีผลต่อการลดลงของการผลิตไฟฟ้าหรือทำให้เซลล์ในแผงเสียหายอย่างถาวร และส่งผลต่อด้านความปลอดภัย เงาบังที่เกิดขึ้นเป็นเวลานาน จะพัฒนาเป็นจุดร้อนบนแผง ดังแสดงในภาพที่ 6 ทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานโดยรวมประมาณ 45%

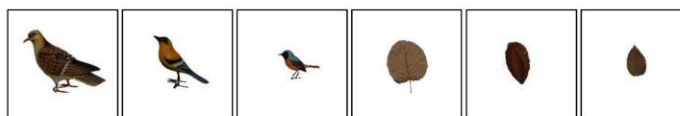


ภาพที่ 6 (ก) แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ถูกเงาบังบางส่วนในตอนกลางวัน และ (ข) จุดร้อนบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด thin film (N. G. Dhere et al., 2015)

งานวิจัยนี้นำเสนอการจำแนกนกกับสิ่งไม่มีชีวิตโดยการประมวลผลภาพด้วยวิธีการนับค่าพิกเซลของวัตถุ เนื่องจากนกเป็นสิ่งมีชีวิตจึงมีการเคลื่อนไหวอย่างต่อเนื่องทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงปริมาณพิกเซล ซึ่งมีความแตกต่างมากกว่าใบไม้ที่มีการเปลี่ยนแปลงปริมาณพิกเซลน้อยกว่าเมื่อเทียบกับภาพเดิม เปรียบเทียบจำนวน 2 รอบเพื่อความถูกต้องในการตรวจหาวัตถุแปลกปลอมบนแผงและสามารถตัดแยกว่าเป็นนกหรือใบไม้ นำไปสู่การหาริธิตำเนินการกับวัตถุนั้นได้อย่างเหมาะสม

อุปกรณ์และวิธีการ / วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการจำแนกนกซึ่งเป็นสิ่งมีชีวิตกับสิ่งไม่มีชีวิตไม่ว่าจะเป็นใบไม้หรือมูลนกด้วยวิธีการประมวลผลภาพในการทดลองใช้นกจำลองที่มีสัดส่วนรูปร่างเหมือนจริง และใบไม้จริง อย่างละ 3 ขนาด ได้แก่ ขนาดใหญ่ ขนาดกลาง และขนาดเล็ก ดังภาพที่ 3 โดยใช้กล้อง Sony Cyber-shot รุ่น HX200V ความละเอียด 18.2-megapixel CMOS Exmor R sensor ในการเก็บข้อมูลภาพ



ภาพที่ 7 ตัวอย่างนกจำลองเหมือนจริงและใบไม้อย่างละ 3 ขนาด



การประชุมวิชาการ และการประกวดนวัตกรรมบัณฑิตศึกษาระดับชาติและนานาชาติ
ระหว่างวันที่ 17-18 พฤษภาคม 2561
ณ ศูนย์ประชุมนานาชาติเอ็มเพรส โรงแรมดิเอ็มเพรส เชียงใหม่

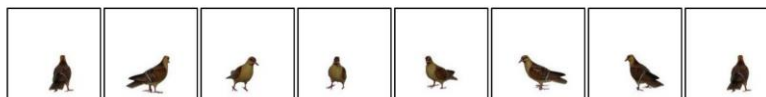


GRADUATE
SCHOOL

ขั้นตอนการเก็บข้อมูลภาพคือ ตั้งกล้องห่างจากนกให้อยู่ในระยะที่สามารถเก็บภาพขนาดของนกได้ทั้งหมด ในการทดลองตั้งกล้องห่างจากนกเป็นระยะ 135 เซนติเมตร สูง 45 เซนติเมตร ติดนกไว้กับฐานหมุนสูง 25 เซนติเมตร ดังภาพที่ 4 เมื่อทำการเปลี่ยนขนาดนก ต้องใช้ระยะห่างและส่วนสูงของทุกอุปกรณ์ที่เท่าเดิมกับภาพชุดแรก เพื่อให้ภาพที่ได้เป็นภาพมุมเดียวกัน เมื่อทดสอบภาพในระบบประมวลผลภาพจะทำให้ภาพมีขนาดต่างกันตามขนาดนกจำลองจริง แล้วถ่ายภาพนกทีละขนาด โดยนกแต่ละขนาดทำการหมุนนกทีละ 10 องศา ตั้งแต่ 0-360 องศา เนื่องจากนกเป็นสิ่งมีชีวิต จะเกิดการเคลื่อนไหวท่าทางต่างๆ จะได้ภาพนกในแต่ละมุมที่มีขนาดแตกต่างกันแต่ยังเป็นนกตัวเดิม ดังภาพที่ 5 ในหนึ่งตัวอย่างทดสอบ เก็บข้อมูลจำนวน 37 ค่าข้อมูล ส่วนไปไม้ทำการถ่ายภาพด้านหน้าและด้านหลังของไปไม้เนื่องจากไปไม้ที่ร่วงหล่นตามธรรมชาติจะอยู่ในลักษณะแบนราบไปบนแผง จึงทำการเก็บข้อมูลภาพหน้าและหลังของไปไม้ จำนวน 4 ภาพต่อหนึ่งตัวอย่าง จากนั้นนำภาพข้อมูลทั้งหมดเข้าสู่กระบวนการประมวลผลภาพเพื่อหาขนาดของปีกเซลในแต่ละภาพ



ภาพที่ 8 ระยะห่างและการตั้งค่าเริ่มต้นนกกับอุปกรณ์ในการเก็บภาพข้อมูล



ภาพที่ 9 ตัวอย่างการหมุนนกจำลองในองศาต่างๆ

นอกจากนี้ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาพฤติกรรมของนกพิราบจริง เพื่อกำหนดช่วงเวลาที่เหมาะสมในการเก็บภาพข้อมูล โดยจับภาพเมื่อนกพิราบมีการเคลื่อนไหว หันหัวหรือขยับปีก ใช้ข้อมูลจากวิดีโอของ Asian animals Daily และ PE Daily HD พบว่านกพิราบมีการเคลื่อนไหวเฉลี่ย 1 ครั้ง/วินาที จึงทำการเก็บภาพข้อมูลจากทั้งสองวิดีโอ และนำภาพข้อมูลเข้าสู่ระบบประมวลผลภาพหาจำนวนปีกเซลเพื่อใช้เปรียบเทียบกับผลการทดลองที่ได้

ผลการวิจัย

จากการทดสอบระบบประมวลผลภาพเพื่อจำแนกนก (สิ่งมีชีวิต) กับไปไม้ (สิ่งไม่มีชีวิต) ใช้นกจำลองเหมือนจริง 3 ขนาด นกแต่ละขนาดมีข้อมูลภาพในการทดสอบ 37 ภาพข้อมูล ไปไม้ 3 ขนาด แต่ละไปไม้มีข้อมูลภาพในการทดสอบ 4 ภาพข้อมูล รวมทั้งสิ้น 123 ภาพข้อมูล ผลการทดสอบหาจำนวนปีกเซลของวัตถุตัวอย่างแต่ละชนิดแสดงดังตารางที่ 1



การประชุมวิชาการ และการประกวดนวัตกรรมบัณฑิตศึกษาระดับชาติและนานาชาติ
ระหว่างวันที่ 17-18 พฤษภาคม 2561
ณ ศูนย์ประชุมนานาชาติดิเอ็มเพรส โรงแรมดิเอ็มเพรส เชียงใหม่



ตารางที่ 1 ผลการทดสอบจำนวนพิกเซลวัตถุตัวอย่าง

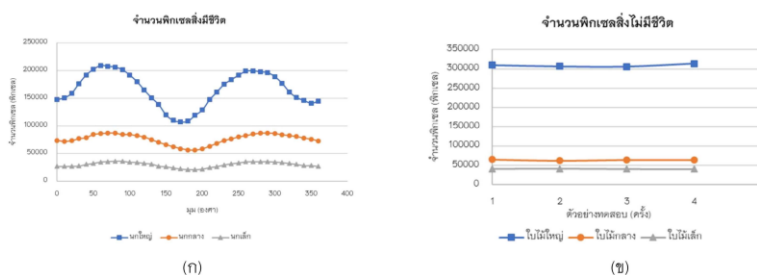
ตัวอย่างทดสอบ	จำนวนพิกเซล (พิกเซล)				
	ค่ามาก	ค่าน้อย	ส่วนต่าง	ค่าเฉลี่ย	ส่วนต่าง / ค่าเฉลี่ย
นกใหญ่	209418.0	107764.0	101654.0	158591.0	0.64
นกกลาง	86985.0	55798.0	31187.0	71391.5	0.44
นกเล็ก	36143.0	21127.0	15016.0	28635.0	0.52
ใบไม้ใหญ่	305652.0	304008.0	861.5	304830.0	0.01
ใบไม้กลาง	63898.0	62605.0	650.3	63251.5	0.02
ใบไม้เล็ก	41024.0	40206.0	402.0	40615.0	0.02

จากการศึกษาข้อมูลวิดีโอของ Asian animals Daily เก็บภาพข้อมูลได้ 21 ภาพข้อมูล ในเวลา 20 วินาที และข้อมูลวิดีโอของ PE Daily HD เก็บภาพข้อมูลได้ 9 ภาพข้อมูล ในเวลา 7 วินาที รวมทั้งสิ้น 30 ภาพข้อมูล ผลการทดสอบหาจำนวนพิกเซลของนกจริงแสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบจำนวนพิกเซลนกจริง

ตัวอย่างทดสอบ	จำนวนพิกเซล (พิกเซล)				
	ค่ามาก	ค่าน้อย	ส่วนต่าง	ค่าเฉลี่ย	ส่วนต่าง / ค่าเฉลี่ย
นกจริง 1	83904.0	55188.0	28716.0	69546.0	0.41
นกจริง 2	11823.0	1081.0	10742.0	6452.0	1.66

จากตารางที่ 1 และ 2 ผลการทดสอบแสดงค่าจำนวนพิกเซลของนกจำลองเสมือนจริง ใบไม้ และนกจริงจากวิดีโอพบว่าหากเป็นสิ่งมีชีวิตจะมีอัตราส่วนระหว่างค่าส่วนต่างกับค่าเฉลี่ยของจำนวนพิกเซลมากกว่า 0.41 เมื่อเปรียบเทียบกับสิ่งไม่มีชีวิตพบว่ามีค่าอัตราส่วนน้อยกว่า 0.02 ซึ่งถือว่าแตกต่างกันมาก จึงสามารถใช้ค่าอัตราส่วนนี้เป็นตัวบอกความแตกต่างระหว่างสิ่งมีชีวิตกับสิ่งไม่มีชีวิตได้



ภาพที่ 10 การทดสอบหาจำนวนพิกเซลของวัตถุตัวอย่าง (ก) สิ่งมีชีวิต และ (ข) สิ่งไม่มีชีวิต



การประชุมวิชาการ และการประกวดนวัตกรรมบัณฑิตศึกษาระดับชาติและนานาชาติ
ระหว่างวันที่ 17-18 พฤษภาคม 2561



ณ ศูนย์ประชุมนานาชาติเอ็มเพรส โรงแรมดิเอ็มเพรส เชียงใหม่

จากภาพที่ 6 เป็นกราฟแสดงจำนวนพิกเซลของสิ่งมีชีวิตและไม่มีชีวิตเทียบกับจำนวนครั้งที่ทำการทดสอบโดยแกน y เป็นจำนวนพิกเซลที่นับได้ และแกน x เป็นองศาหรือครั้งที่จับภาพ ภาพที่ 6 (ก) เป็นกราฟจำนวนพิกเซลของสิ่งมีชีวิตคือ นกจำลองทั้ง 3 ชนิด โดยหมูนกจำลองที่ละ 10 องศา ตั้งแต่ 0-360 องศา เริ่มต้นภาพข้อมูลที 0 องศา นกหันหน้าตรงเข้าฉากถ่ายภาพ จากการหมุนจนครบ 360 องศา จำนวนพิกเซลของข้อมูลจะขึ้น ลง ตามพื้นที่ที่มองเห็นตัวนก ซึ่งถือว่าเป็นการเคลื่อนไหวที่เป็นไปได้ของนก ภาพที่ 6 (ข) เป็นกราฟจำนวนพิกเซลของสิ่งมีชีวิตคือใบไม้ 3 ชนิด ที่จำนวนพิกเซลมีค่าใกล้เคียงกันแม้ว่าจะมีการหมุนใบไม้

วิจารณ์ผลการวิจัย

การทดสอบหาจำนวนพิกเซลของสิ่งมีชีวิตและไม่มีชีวิตโดยการเปรียบเทียบกับภาพก่อนหน้า จากการทดสอบนกจำลองจำนวน 3 ชนิด และนกจริงจากวิดีโอ 2 คลิป พบว่าสิ่งมีชีวิตนั้นมีการเคลื่อนไหว ไม่ว่าจะเป็นการหัวซ้าย-ขวา การหมุนตัว ทำให้มีจำนวนของพิกเซลไม่เท่ากันในแต่ละช่วงของการเคลื่อนไหว ยิ่งนกมีขนาดใหญ่จำนวนพิกเซลก็จะมีค่าส่วนต่างมาก ถ้านกมีขนาดเล็กค่าส่วนต่างจำนวนพิกเซลก็จะน้อยลง แต่ยิ่งมากกว่าใบไม้ซึ่งเป็นสิ่งไม่มีชีวิต การทดสอบใบไม้จำนวน 3 ชนิด พบว่าจำนวนพิกเซลมีค่าใกล้เคียงกันมากแม้ว่าจะมีการหมุนใบไม้ โดยปัจจัยที่ทำให้จำนวนพิกเซลของภาพสิ่งไม่มีชีวิตแตกต่างกันคือเมื่อนำภาพข้อมูลเข้าระบบประมวลผลภาพแสงหรือเงาที่ตกกระทบบัดดูในขณะเก็บข้อมูลภาพมีการเปลี่ยนแปลง ทำให้ผลการนับจำนวนพิกเซลแตกต่างจากภาพก่อนหน้าเล็กน้อย ทั้งนี้จากค่าพิกเซลที่เปลี่ยนไปสามารถคำนวณหาอัตราส่วนระหว่างค่าส่วนต่างกับค่าเฉลี่ยของจำนวนพิกเซล หากค่าอัตราส่วนนี้มีค่ามากแสดงว่าข้อมูลภาพที่นำเข้าประมวลผลเป็นชุดข้อมูลภาพของสิ่งมีชีวิต หากค่าอัตราส่วนมีค่าน้อยมากจนเกือบเป็นศูนย์ แสดงว่าชุดข้อมูลภาพที่นำเข้าประมวลผลเป็นชุดข้อมูลภาพของสิ่งไม่มีชีวิต

สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยการจำแนกนกกับสิ่งไม่มีชีวิตด้วยวิธีการประมวลผลภาพนี้ สามารถจำแนกสิ่งมีชีวิตกับสิ่งไม่มีชีวิตได้ โดยใช้คุณสมบัติที่แตกต่างกันของสองสิ่งคือ สิ่งมีชีวิตจะมีการเคลื่อนไหวทำให้อัตราส่วนระหว่างค่าส่วนต่างกับค่าเฉลี่ยของจำนวนพิกเซลมีค่ามากถึง 0.41 ขึ้นไป ส่วนสิ่งไม่มีชีวิตไม่มีการเคลื่อนไหวทำให้อัตราส่วนนี้มีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับสิ่งมีชีวิต คือมีค่าน้อยกว่า 0.02 ผลของการจำแนกวัตถุส่งผลให้สามารถกำหนดวิธีการจัดการกับ 2 สิ่งที่ไม่เหมือนกันได้อย่างเหมาะสม เช่นเมื่อตรวจพบใบไม้บนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ต้องทำการหยิบออก หากตรวจพบนกพิราบเกาะแผงอาจใช้วิธีฉีดน้ำไล่หรือใช้เสียงไล่เพื่อไม่ให้เกิดปัญหาบังขณะที่โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์กำลังทำการผลิตไฟฟ้า

นอกจากนี้ ยังสามารถประยุกต์ใช้หลักการนี้กับงานด้านความปลอดภัยอื่นที่มีลักษณะงานในสถานการณ์ที่ต่างกันได้ เช่น การตรวจจับทารก ผู้สูงอายุ ซึ่งมีการเคลื่อนไหวตามช่วงเวลาเฉพาะของแต่ละตัวอย่าง เพื่อแสดงสัญญาณเตือนเมื่อสิ่งมีชีวิตเหล่านี้มีการนั่งเกินเวลาที่กำหนด

เอกสารอ้างอิง

- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.). 2560. **สถานการณ์พลังงานของประเทศไทย เดือนมกราคม - พฤศจิกายน 2560 (Energy Situation January - November 2017)**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://www.dede.go.th/ewt_news.php?id=46734 (12 กุมภาพันธ์ 2561).
- Asian animals Daily. 2017. **Awesome Quick Bird Trap Using Net Bird Trap And Plastic Bottle - How To Make Net Bird Trap Work 100%**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <https://www.youtube.com/watch?v=ve73u-LWbOc&t=228s> (10 March 2018).



การประชุมวิชาการ และการประกวดนวัตกรรมบัณฑิตศึกษาระดับชาติและนานาชาติ
ระหว่างวันที่ 17-18 พฤษภาคม 2561
ณ ศูนย์ประชุมนานาชาติดิเอ็มเพรส โรงแรมดิเอ็มเพรส เชียงใหม่



- BIRD BARRIER AMERICA, INC. no date. **Birds on or Under Solar Panels**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <https://birdbarrier.com/birds-under-solar-panels> (2 March 2018)
- Clean solar solution (AUS). 2016. **What Is The Effect Of Bird Droppings On Solar Panels?**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <http://cleansolar.solutions/effect-of-bird-droppings-on-solar-panels> (2 March 2018)
- K. Sopian, K.S. Yigit, H.T. Liu, S. Kakac and T.N. Veziroglu. 1996. Performance Analysis of Photovoltaic Thermal Air Heaters. **J Energy Convers.** 37(11): 1657–1670.
- M. Reza Maghami, H. Hizam, C. Gomes, M. Amran Radzi, M. Ismael Rezadad, and S. Hajjighorbani. 2016. Power loss due to soiling on solar panel: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews.** 59: 1307–1316.
- N. G. Dhere, E. Schneller, and A. Kaul. 2015. Effect of Shading on CIGS Thin Film Photovoltaic Modules. Pp. 1–3. in **IEEE 42nd Photovoltaic Specialist Conf. (PVSC)**, December 2015. New Orleans, LA, USA.
- PE Daily HD. 2017. **Awesome Quick Bird Trap Using Box Paper – How To Make Bird Trap Using Cardboard (Works 100%)**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <https://www.youtube.com/watch?v=7SBFKanLiC0&t=1s> (10 March 2018).
- S. Abhishek and J. Prashant. 2016. Case Study of Soiling of Photovoltaic Panels on Roof Top Structures. **International Journal of Industrial Electronics and Electrical Engineering.** 4(10): 81–83.

3. เผยแพร่ผลงานทางวิชาการ เรื่อง “Bird location detection in an enclosed environment of PV power plant” in *Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON 2018)*. Chiang Rai, Thailand.



Organizing Committee

Honorary Chairs

Monai Krairiksh, KMITL
Prabhas Chongsatitwattana, CU

International Advisory Committee

Prayoot Akkarakthalin, KMUTNB
Somsak Choomchuay, KMITL
Yasumasa Fujisaki, SICE, Japan
Chul Joo Hwnag, ICROS, Korea
Yoshihiro Matsui, TNCT, Japan
David Banjerdpongchai, CU
Pornchai Supnithi, KMITL
Thongchai Yooyativong, MFU

General Chair

Kosin Chamnongthai, KMUTT
Sinchai Kamolphiwong, PSU
Teeravisit Laohapensaeng, MFU
Nitipong Somchaiwong, RMUTL

Technical Program Chairs

Eryk Dutkiewicz, UTS, AU
Roungsan Chaisricharoen, MFU
Norasage Pattanadech, KMITL
Pipat Prommee, KMITL
Ekkarat Boonchieng, CMU
Chaiporn Jaikaeo, KU
Benjamas Panomruttanarug, KMUTT
Suramate Chalermwisutkul, TGGS
Pornchai Phukpattaranont, PSU
Chanon Warisarn, KMITL
Wiwat Tippachon, RMUTL
Yuttana Kumsuwan, CMU

Special Session Chairs

Sathaporn Promwong, KMITL
Tomoaki Sato, Hirosaki U, Japan
Nopporn Patcharaprakiti, RMUTL
Rawid Banchuin, SU

Tutorial Chair

Keattisak Sripimanwat

Publication Chairs

Narong Mettripun, RMUTL
Wichet Thipprasert, RMUTL
Wirot Ponglangka, RMUTL
Apirath Limmanee, BUU

Publicity Chair

Soohee Han, POSTECH, Korea
Kou Yamada, Gunma U., Japan
Punnarumol Temdee, MFU

Registration Chair

Panuwat Janpugdee, CU
Pakorn Sereepulwong, RMUTL

Finance Chairs

Kanjana Pattanaworapan, BU
Pairin Kaewkuay, ECTI
Nattapol Aunsri, MFU

Local Arrangement Chairs

Preecha Ponchai, RMUTL
Sithichai Jeenawong, RMUTL

Information System Chair

Chayapol Kamyod, MFU

Secretariat

Nurak Chaisri, RMUTL

Bird location detection in an enclosed environment of PV power plant

Kunyanat Thongtep
School of Renewable Energy
Maejo University
Chiang Mai, Thailand
kunyanat.kn@gmail.com

Werapon Chiracharit
Faculty of Engineering
King Mongkut's University of
Technology Thonburi
Bangkok, Thailand
werapon.chi@kmutt.ac.th

Damrongsak Arungool
Faculty of Engineering
Nakhonphanom University
Nakhonphanom, Thailand
damrongsaka@hotmail.com

Thongchai Maneechukate
School of Renewable Energy
Maejo University
Chiang Mai, Thailand
thongchai_m@mju.ac.th

Somthawin Khunkhet
Faculty of Science
Ubon Ratchathani Rajabhat University
Ubon Ratchathani, Thailand
k.somthawin@gmail.com

Yingrak Auttawaitkul
School of Renewable Energy
Maejo University
Chiang Mai, Thailand
yingrak.mju@gmail.com

Abstract—The installation of PV power plants (Photovoltaic) can be classified into 2 forums: 1) PV power plant on the ground (solar farm) and PV power plant on rooftop (solar rooftop). According to a report of Thailand Solar PV Policy Update 01/2017, PV power plants sending electricity to the commercial system (COD; Commercial Operation data) with a total of 2,761 MW (Solar farm 2,631 MW and Solar rooftop 130 MW) [1]. One problem encountered is shadow of birds, bird feces, leaves, and other objects on the solar panel. If it is not cleaned or eliminated the shade area will have an effect on accumulated heat on the solar panel which may result in damages and an accident and it also reduce the efficiency in electricity generating [2]. In fact, it needs a big area to install a big PV power plant for the accuracy of location finding of foreign objects on the solar panel by using Triangle theory method. The solar panels are square in shape with the same size and it is lined up in square shape. The distance between each solar panel is in accordance with engineering design. 40 samples are tested for the reliability of object finding and the object locations accuracy is 1.04 cm. from the middle point of the object found.

Keywords— Solar PV, image processing, position detection, triangle theory, bird

I. INTRODUCTION

Presently, leaders of each country throughout the world are interested in the problem about energy and the reduction of gas releasing. However, there is seeking for energy which can replace fossil fuel and natural gas such as wind energy solar energy, and biomass energy. Appropriateness of the selection of renewable energy depends on environmental condition and energy potential of each country for solar, installed capacity globally has seen immense growth, reaching approximately 227 GW_e by the end of 2015, equivalent to producing 1% of the electricity used globally [3].

Naturally, electricity generating power and efficiency of the solar panel will decrease every year due to nature of the solar panel. Besides, there are other factors effecting decreased efficiency in electricity generating particularly shadow on the

solar panel. However, this problem can be prevented or solved when it is detected. Damages caused by shadows of cloud, bird, bird feces, laves, other objects on the solar panel and accumulated dust are a serious problem. In the case of solar rooftop, distance between each solar panel and the roof is suitable for bird nest building. Bird feces on the solar panel must be cleaned to eliminate because it has uric acid [4]. If it is accumulated for a long time it will be the hot spot and damages the solar panel (Figure 1) [2].



Fig. 1. Solar rooftop burning in California [5]

It needs an area covering around 12 rai to build a 1 MW PV Solar plant. Big size of the installation area makes the system care-taker cannot find or detect location of the shade, because each solar panel has the same size and shape. According to the past research, finding location of an object on the earth at present can be done by using GPS system (Global Position System), radar system, infrared system, camera system, etc. To find accurate position of an object needs an appropriate method although the object is on the ground, in the air or water.

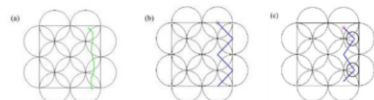
Mohan Kumar et al. 2014 [6] studied AUV location detection in an enclosed environment in the experiments perform on underwater robot localization, this was not the case. The sonar localization equipment use perform flawlessly in open water as it was designed to do, but poorly in an indoor pool. It is believed that the sonar had too much power causing too many reflections in the enclosed space. The main difference in these runs is that the bare sonar head would show a maximum depth of about 5 m. compared to the actual depth of 6 m. while the foam and bubble wrapped sonar heads reported the maximum depth as about 4 m. A difference in the reported

position was expected as they are interfering with the travel time of the sonar pulse.

J. Jose Gonzalez E. et al. 2017 [7] studied location detection for navigation using IMUs with a map through coarse-grained machine learning. In this paper, they show that IMUs are sufficient by themselves if they augment them with known structural or geographical information about the physical area being explored by the user. By using the map of the region being explored and the fact that humans typically walk in a structured manner,

that by relying on gyroscope and accelerometer data alone, they can correctly identify the path-segment where the user is walking/running on a known map, as well as the position within the path with an accuracy of 4.3 meters on the average using 0.44 Joules. This is a factor of 27X cheaper in energy lower than the "gold standard" that one could consider based on GPS support which, surprisingly, has an associated error of 8.7 meters on the average.

Kyoung Nam Ha, Kyung Chang Lee and Suk Lee. 2006 [8] studied development of PIR sensor based indoor location detection system for smart home, the research effort is focused on two approaches: terminal-based and non-terminal-based method. The terminal-based method employs a type of device that should be arrived by the resident while the non-terminal-based method requires no such device. This paper presents a novel non-terminal-based approach using an array of pyroelectric infrared sensors (PIR sensors) that can detect residents. The feasibility of the system is evaluated experimentally on a test bed. When the resident moves in a straight line, as shown in Figure 2(a), the location error is relatively large without using the compensation method, as shown in Figure 2(b). However, after applying the compensation method, we verified that the recognition results for the areas in the small circles are enhanced by about 3000.



(a) The resident's actual movement path (b) Before compensating for the outer sensors and (c) After compensating for the outer sensors

Fig. 2. Experimental results based on compensating for the outer sensors' center points

This paper presents the detection of foreign objects causing shadow on the solar panel by using Exclusive OR, AND method and the original Image. Triangle theory method is used for detecting location on the solar panel in which the solar panel frame which the foreign object is found is the reference point. The solar panels are lined up in matrix and it has certain width, length, and distance between solar panel. When foreign objects have already been eliminated will an appropriate method, the efficiency in electricity generating will increase and people in the structure or the plant will be safe.

II. RELATED THEORIES

A. Finding foreign matters happening on the prototype object Model Exclusive OR, AND

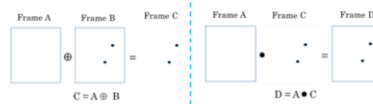


Fig. 3. The difference between the pixels in frame of the two images

A new image is obtained as a result of the difference between the pixels in the same location of the two images being subtracted. Image subtraction is widely used for change detection. For detecting the missing components in product assembly by using equation $X=A\oplus B$ and $Y=A\bullet X$

B. Finding object location on the square by using triangle theory

Finding an object location on any rectangular can be done by using a relationship between angles in the triangle and the square. When we want to know an object location, draw a straight line from the object to the angles of the square then there is the occurrence of 4 triangles as shown in Figure 4. Then, use the law of sine and cosine in the indication of the object location.

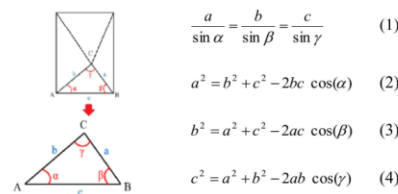


Fig. 4. Triangle in square [9]

Law of sine and cosine [9] indicates that the length of a $\sin(a)$ which correspond with $\sin(a)$ is equivalent to the ratio of the length of $\sin(b)$ which correspond with $\sin(\beta)$ as show in the equation 1

Law of cosine is the connection of a relationship between one side of a triangle which its length is unknown to the rest sides and opposite corner. Suppose that we know the length of a and b sides and the size of opposite corner as well as the length of c side as shown in the equation 2-4

III. EXPERIMENTAL METHOD

A. Hardware and software structure

The experiment on pigeon position indication comprised 2 parts: hardware and software as show in Figure 5 and 6, respectively.

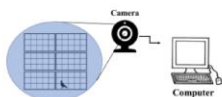


Fig. 5. Hardware structure of the system of bird position indication on solar cell rooftop

The hardware system consisted of Sony Cyber-shot HX200V of 18.2-megapixel CMOS Exmor R-sensor. It received and send the image to Lenovo ideapad 310 computer with the central assessment unit (intel core i5). The software system had a functional structure as shown in Figure 6. The preprocessing image data were brought in from the camera and compared whether there was abnormal thing on the solar cell screen or not; if not the image from camera would be further processed. However, if there was abnormal thing its image would be made to be gray and black image for finding image edge. After that, the obtained image was studied in terms of physical appearance, pixel groups and compared with the correctness criterion. A number of pixels which was counted in the fixed interval was considered to be the bird. However, if a number of pixels was the same as before, it was considered as an object.

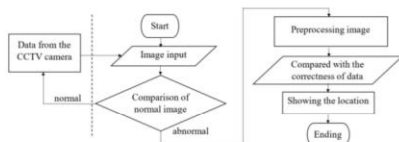


Fig. 6. Software structure of the bird location identifying system on the solar cell rooftop

Prior to the position or location identifying, it must have system comparison. The comparison was divided into two forms: 1) Calibration of the camera – the distance between the camera and the solar panel for finding the actual focus length and 2) the ration of the pigeon size. The distance from the solar panel to the camera was fixed to be constant. Before using it every time in each area, it must have the calibration system as the start value. This was because the distance between the camera was the same as before.

B. PV power plant design and properties of the solar panel

One-system power plant design needs to have the computation for finding an amount of the solar panels, inverters, and electrical wires in accordance will an engineering principle. The solar panel of the same kind needs to use the same solar specification. This is because the solar panel of each specification has different electrical internal structure which will have a negative effect on electricity generating.

Figure 7(a) is a design form of the solar panels lining up on the rooftop. It can be seen that it lines up in a square grid shape. Figure 7(b) shows size of the solar panel and its components are tempered glass, EVA, cells, EVA and back sheet which overlays in the frame of 670 mm. in width, 1,476 mm. inlength,

and 35 mm. in thickness, Figure 7(c) show solar rooftop lining up in accordance with the design determined by an engineer.

Regarding the examining of the correctness of the system in this study, 6 solar panels of monocrystalline type of 140 W (670 mm. in width, 1,476 mm. in length, and 33 mm. in width are lined up of 3×2 matrix form. The rows from bottom to top are named as A, B and C. and from left to right are 1 and 2. This aims to be convenient in the indication of an object whether it is located on which solar panel as shown in Figure 8.

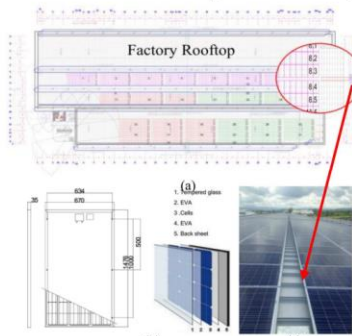


Fig. 7. (a) Overall layout solar rooftop, (b) solar panel structure [10] and (c) solar on rooftop



Fig. 8. The solar panel used for the experiment

IV. RESULTS OF THE EXPERIMENT

The images obtained from the camera are in data preprocessing and then checked if there whether there is a bird on the solar panel or not. According to figure 9. Frame A is the original images frame B is the image having a bird and it is compared with frame A to detect a foreign object. It is found that there are 4 birds as determined in frame C.

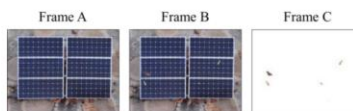


Fig. 9. Find a bird by model exclusive OR

Figure 10 presents bird images which are detected and placed it on the original images frame A and the bird image occur on the solar panel in frame D.

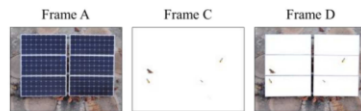


Fig. 10. Find a bird by model exclusive AND

After obtaining data from frame D, the principle of triangle theory is used to detect the bird location by comparing with the solar panel frame as shown in Figure 11.

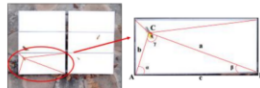


Fig. 11. Find a bird location by Triangle theory

The Triangle theory is used on examining the image processing system for finding the bird location on the solar panel. The solar panel frame which and object is found is used as the reference point. The samples are examined for 40 times to find the bird for 120 location. Results of the examining are shown in Table 1.

Table 1 Results of the image processing experiment

No.	Location estimation	Location actual	Error cm.
1	1A (12.30,15.84)	1A (11.35,16.26)	1.04
2	2A (31.98,15.23)	2A (31.47,15.29)	0.52
3	1B (22.14,54.21)	1B (21.41,54.32)	0.74
4	2B (96.35,15.29)	2B (97.17,15.84)	0.99

For the reliability of the system, it is found that the value obtain from the image processing system has the error value for not more than 1.04 cm. For location detection, locations depend on near or far distance of the detection. If an object wanted to the detected is far, the error value is high (Table 2)

Table 2 Comparison of location error

No.	Location estimation method	Location error in meters
1	Location detection for navigation using IMUs with a map through coarse-grained machine learning	4.3
2	Development of PIR sensor based indoor location detection system for smart home	0.3
3	AUV location detection in an enclosed environment	0.1
4	Our method	0.0104

According to Table 2, For No.1, location estimation is done by using IMUs with a map through coarse-grained machine learning and the location error is found at 4.3 m. when compared with the GPS. For No. 2, 3, and it is the detection of an object location within the distance of 3 m. and it is a small area. Meanwhile, No.2 Uses sensor installation for detecting the location. Overlapping sensor operation is used to separate the area for gaining more details and a location error is found at 30 cm. in the experimental area of 4×4 m. For No.3, sonar

wave is used for detecting the object location in water and the error value is only not more than 10 cm. In this presented article, the detection of an object location is done by measuring the structure of an installed object to examine the solar panel of 670 mm. in width and 1,476 mm. in length and the error value is not more than 1.04 cm.

V. CONCLUSIONS

The method of process image processing used for detecting a foreign object on the solar panel in this article can be applied to the detection of any object on the structure having a curtain size and there is a reference point for mathematical principle using. In other words, it aims to find the distance of an object location from the reference point when the object location is found, a robot or an equipment used for cleaning can approach it correctly and accurately. This is because the object distance and the reference distance is near each other rather than the GPS system, radar system, infrared system, camera system, etc.

ACKNOWLEDGMENT

This research is completed by "Material support for innovative product development of graduate research for innovation in agriculture" Graduate School, Maejo University. The researchers wish to thank Italhai Engineering Co., Ltd. That supports data for this research and the Academic Service center 7 (Chiang Mai) province that prepares the place for conducting the research.

REFERENCES

- [1] Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, Thailand Solar PV Policy Update 01/2017, German, 2017, pp. 1.
- [2] A. Katherine Kim, Gab-Su Seo, Bo-Hyung Cho, and T. Philip Krein, "Photovoltaic Hot-Spot Detection for Solar Panel Substrings Using AC Parameter Characterization," IEEE Trans. Power Electronics, vol. 31, pp. 1121-1130, February 2016.
- [3] The World Energy Council, World Energy Issues Monitor 2017, United Kingdom, 2018, pp. 16.
- [4] N&N services (Thailand) Co., Ltd., "Damages Due to Pigeon Feces," 2017, [Online]. Available: http://termitthailand.com/detail.php?id_detail=62 [Accessed: Jan. 30, 2018].
- [5] G. Vellante, "California Home Builders Fired Up for Solar Safety," 2015, [Online]. Available: <http://tehomebuilder.com/emagazine-articles-1/california-home-builders-fired-solar-safety> [Accessed: Jan. 30, 2018].
- [6] M. Kumar, S. Vaishnav, M. Jamshidi, and M. Joordens, "AUV location detection in an enclosed environment," World Automation Congress (WAC), pp. 1-5, August 2014.
- [7] E. J. Jose Gonzalez, L. Chen, A. Shrivastava, K. Palem, M. Yongshik, N. Soonhyun, P. Daedong, and H. Seongsoo, "Location detection for navigation using IMUs with a map through coarse-grained machine learning Sign In or Purchase," 2017 Design, Automation & Test in Europe Conf. & Exhi. (DATE), pp. 500-505, March 2017.
- [8] N. H. Kyoung, C. L. Kyung, L. Suk, "Development of PIR sensor based indoor location detection system for smart home," SICE-ICASE, 2006. Int. J. Conf. pp. 2162-2167, October 2006.
- [9] Wikipedia, "triangle," 2017, [Online]. Available: <https://th.wikipedia.org/wiki/triangle>. [Accessed: Jan. 24, 2018].
- [10] Full Solar Co., Ltd., "Mono-Crystalline Solar PV Module 36 Cells Series (156MMX156MM)," [Online]. Available: <http://www.fullsolar.co.th/pdf/mono%2036.pdf> [Accessed: Jan. 24, 2018].

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล	นางสาวกัญญานัฐ ทองเทพ
เกิดเมื่อ	6 สิงหาคม 2536
ประวัติการศึกษา	พ.ศ. 2559 ปริญญา วิทยาศาสตร์บัณฑิต (วท.บ.) สาขาพลังงานทดแทน เกียรตินิยมอันดับ 1 วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ พ.ศ. 2555 มัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนนารีนุกูล อุบลราชธานี อีเมล kunyanat.kn@gmail.com ผลงานทางวิชาการ กัญญานัฐ ทองเทพ, ดำรงค์ศักดิ์ อรัญกุล, สมถวิล ชั้นเขตต์, วีรพล จิรจริต, ธงชัย มณีชูเกตุ และยิ่งรัช อรรถเวชกุล. 2560. การตรวจทานกบนหลังคาแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้การประมวลผลภาพ. เชียงใหม่: การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 13. หน้า 386-391. กัญญานัฐ ทองเทพ, ดำรงค์ศักดิ์ อรัญกุล, สมถวิล ชั้นเขตต์, วีรพล จิรจริต, ธงชัย มณีชูเกตุ และยิ่งรัช อรรถเวชกุล. 2561. การจำแนกนกกับ สิ่งไม่มีชีวิตด้วยวิธีการประมวลผลภาพ. เชียงใหม่: การประชุม วิชาการเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษาแห่งชาติ ครั้งที่ 46. หน้า 686- 693. Kunyanat Thongtep, Damrongsak Arungool, Somthawin Khunkhet, Werapon Chiracharit, Thongchai Maneechukate and Yingrak Auttawaitkul. 2018. Bird location detection in an enclosed environment of PV power plant. Chiang Rai: ECTICON 2018. Pp. 449-452.