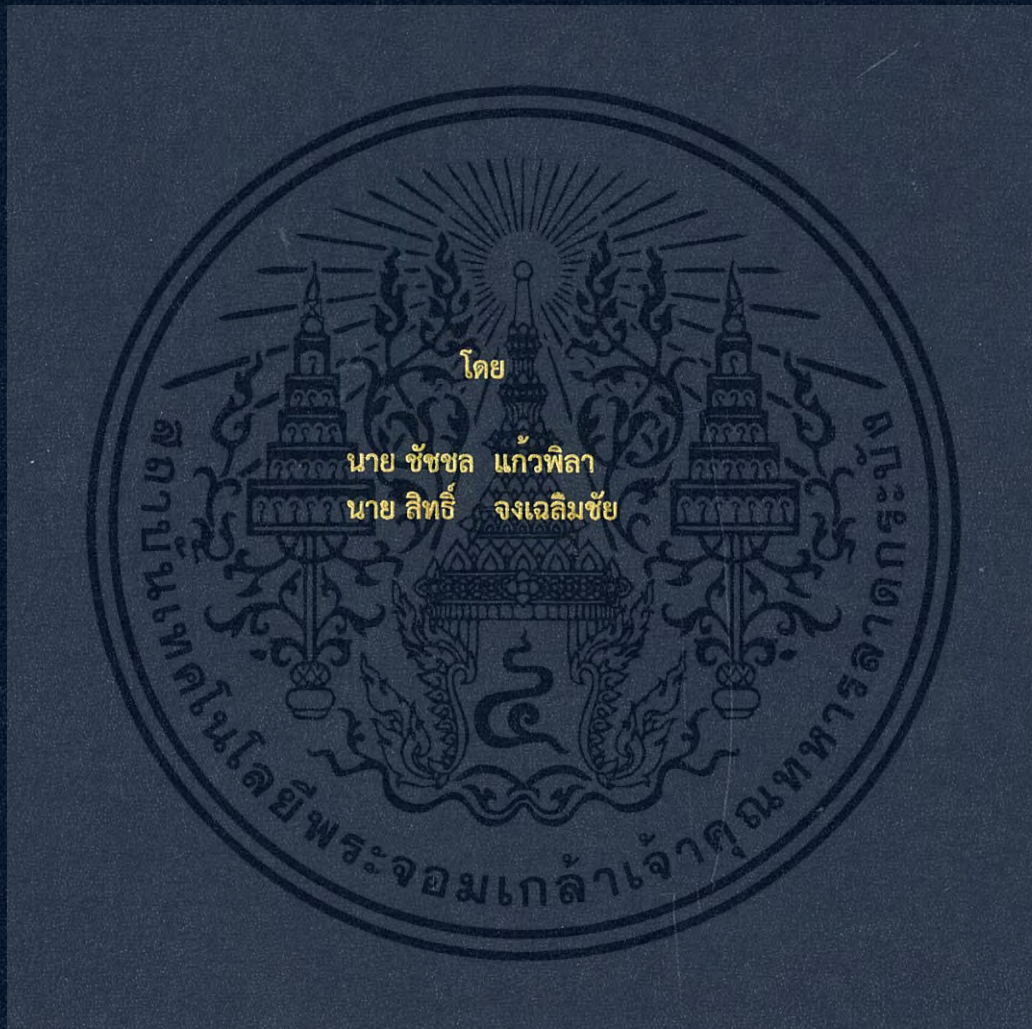


การจำลองระบบรวมแสงอาทิตย์และติดตามดวงอาทิตย์แบบสะท้อนแสงโดยใช้ปัญญาประดิษฐ์
Simulation of Solar Tracking and Focusing with Planar Reflector by Artificial
Intelligence



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2560

การจำลองระบบรวมแสงอาทิตย์และติดตามดวงอาทิตย์แบบสะท้อนแสงโดยใช้ปัญญาประดิษฐ์

Simulation of Solar Tracking and Focusing with Planar Reflector by Artificial
Intelligence



๖.๐๐๒๖๖๐๕๘

TB00233

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Simulation of Solar Tracking and Focusing with Planar Reflector by Artificial
Intelligence



THIS PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT

FOR THE BACHELOR DEGREE IN ELECTRICAL ENGINEERING

DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2017

ปีการศึกษา 2560

การจำลองระบบรวมแสงอาทิตย์และติดตามดวงอาทิตย์แบบสะท้อนแสงโดยใช้ปัญญาประดิษฐ์

Simulation of Solar Tracking and Focusing with Planar Reflector by Artificial
Intelligence



อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.ดร. นิรุช จิรสวรรณกุล

รศ.ดร. ดร.สมชาติ จิรวិภากร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโทปีการศึกษา 2560

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สาขาวิชาพลังงานไฟฟ้า


คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การจำลองระบบรวมแสงอาทิตย์และติดตามดวงอาทิตย์แบบสะท้อนแสง

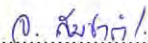
ผู้จัดทำ

1. นาย ชัชชล แก้วพิลา

2. นาย สิทธิ จงเฉลิมชัย

..........อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก

(ผศ.ดร.นิรุช จิรสวรรณกุล)

..........อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(รศ.ดร.สมชาติ จิริวิภากร)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การจำลองระบบรวมแสงอาทิตย์และติดตามดวงอาทิตย์แบบสะท้อนแสงโดยใช้ปัญญาประดิษฐ์

นาย ชัชชล แก้วพิลา

นาย สิทธิ จองเฉลิมชัย

ผศ.ดร.นิรุช จิรสวรรณกุล อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก

รศ.ดร.สมชาติ จิรวิภากร อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

ปีการศึกษา 2560

บทคัดย่อ

ปฏิญานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอการออกแบบระบบติดตามดวงอาทิตย์แบบสะท้อนแสงโดยใช้ระบบโครงข่ายประสาทเทียม จุดประสงค์ของการออกแบบระบบเพื่อที่จะนำไปใช้กับตัว ฮีลิโอสแตต ซึ่งเป็นองค์ประกอบหนึ่งของการผลิตไฟฟ้าโดยการรวมแสงอาทิตย์ ระบบประกอบด้วย 2 ส่วน ส่วนแรกเป็นการออกแบบโครงข่ายประสาทเทียมเพื่อนำค่าถ่วงน้ำหนักกับค่าย้อนกลับมาสร้างโครงข่ายประสาทเทียมและทำการเปรียบเทียบเพื่อหาค่าที่ดีที่สุดมาใช้งานโดยใช้ข้อมูลการสอนและการทดสอบจากสมการการคำนวณตำแหน่งของดวงอาทิตย์ ค่าที่ได้จะนำมาปรับแกนกระจกให้สะท้อนไปยังหอคอยรับแสงให้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งตัวสะท้อนเคลื่อนที่สองแนวมี 2 มม. คือ มุมอัลติจูด และ มุมอะซิมูท โดยทั้งสองตำแหน่งถูกวิเคราะห์จากระบบโครงข่ายประสาทเทียมและส่งค่าไปให้ควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ให้สั่งการในการทำงานที่มอเตอร์ และอีกวิธีคือการทำตัวสะท้อนสองแกนให้ติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์โดยใช้การประมวลผลภาพแสงของดวงอาทิตย์ที่ตกสะท้อนโดยทำการวิเคราะห์ประมวลผลภาพและปรับตัวสะท้อน เมื่อนำข้อมูลที่ได้มาสั่งไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อแสดงประสิทธิภาพของระบบจึงจัดการทดลองออกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกเป็นการจำลองการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์โดยใช้ไฟฉาย ส่วนที่สองเป็นการทดลองกับสถานการณ์จริงจากการทดลองทั้งสองแสดงให้เห็นว่าระบบที่ได้ออกแบบสามารถติดตามดวงอาทิตย์แบบสะท้อนแสงได้อย่างถูกต้องและแม่นยำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Simulation of Solar Tracking and Focusing with Planar Reflector by Artificial Intelligence

MR.CHACHON KARWPILA

MR.SITH CHONGCHALERMCHAI

Dr. Nirudh Jirasuwankul Supervisor

Dr.Somchat Jiriwipakon Co-Supervisor

ABSTRACT

This thesis proposes Design of reflective sun tracking system using artificial neural network. Purpose of the system design is Purpose of the system design is to apply for lab scale heliostat which is a part of concentrating solar power generation (CSP). The system comprises of two parts. The first part is Neural network design for Apply the weight and Bias to the artificial neural network and compare to find the best value. Used by teaching and testing data from the sun's positional equation. The result is altitude and azimuth angles, which both positions will be analyzed and controlled by image processing and microcontroller. And another way is. Two-axis reflection to track the motion of the sun by using sun-reflecting image processing by analyzing image processing and adjusting reflectors. When the information was acquired, the microcontroller was ordered. To demonstrate the efficiency of the system, the experiment was divided into two parts. Firstly, lab test on simulation of an arbitrary movement of the sun by using LED light torch, and secondly, field test of real situation. The test results of both experiments illustrated that the designed system can perform reflective solar tracking precisely and effectively.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จไปได้ด้วยดี ด้วยความช่วยเหลือจากหลายท่าน โดยเฉพาะอย่างยิ่งต้องขอขอบพระคุณ ผศ.ดร. นิรุช จิรสวรรณกุล และ รศ.ดร.สมชาติ จิรวិภากร อาจารย์ที่ปรึกษา เป็นอย่างยิ่ง ซึ่งท่านเป็น อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ได้กรุณาให้ข้อเสนอแนะและ ข้อคิดเห็นต่างๆ ที่เป็นประโยชน์เป็นอย่างมากมา ด้วยดีตลอด และได้กรุณาตรวจสอบแก้ไขปริญญา นิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จเรียบร้อยเป็นอย่างดี ขอขอบพระคุณ อาจารย์และเจ้าหน้าที่ภาค วิศวกรรมไฟฟ้าที่ให้คำแนะนำที่ดีมาโดย ตลอด นอกจากนั้นผู้จัดทำต้องขอขอบคุณ คุณ นครศักดิ์ เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการที่ให้ เบิกใช้เครื่องมือ ตลอดจนคุณ กมลวรรณ เจ้าหน้าที่ห้องธุรการที่ให้ คำแนะนำเกี่ยวกับการเบิกใบเสร็จ ของโครงการ ท้ายนี้คณะผู้จัดทำ ขอกราบพระคุณ บิดามารดา และครอบครัวซึ่งให้การ สนับสนุนในด้านการเงินและให้กำลังใจ อีกทั้งเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ที่ให้ความ ช่วยเหลือในด้านการจัดหา อุปกรณ์ต่างๆ ในการทำโครงการครั้งนี้จนสำเร็จได้ด้วยดี จึงขอขอบคุณ ไว้ ณ ที่นี้ด้วย

คณะผู้จัดทำ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
ABSTRACT	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูปภาพ	VI
สารบัญตาราง	IX
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและที่มาของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์โครงการ	2
1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงการ	3
1.4 วิธีการที่ใช้ในการทำโครงการ	3
1.5 แผนการดำเนินโครงการ	4
1.6 ประโยชน์ที่รับจากการวิจัย	6
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	7
2.1 การใช้ประโยชน์จากแสงอาทิตย์ในด้านการผลิตไฟฟ้า	7
2.2 Machine Vision	9
2.3 ปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence)	9
2.4 ระบบโครงข่ายประสาทเทียม (Neural Network)	17
2.5 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับการประมวลผลภาพดิจิทัล	19
2.6 มาตรฐานของสี	20
2.7 ซีชาร์ป (C#)	22
2.8 AForge.NET	23
2.9 การสะท้อนแสง	24
2.10 สเต็ปป์มอเตอร์ (Stepping Motor)	25
2.11 ตำแหน่งของดวงอาทิตย์ที่ปรากฏบนโลก	26
2.12 การคำนวณการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์	27
2.13 MATLAB	29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และ IV ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 เทคนิคการติดตามดวงอาทิตย์แบบสะท้อนแสงโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม	30
3.1 การออกแบบโครงข่ายประสาทเทียม	31
3.2 การทำงานของโปรแกรมประมวลผลภาพและการส่งข้อมูลไมโครคอนโทรลเลอร์	33
3.3 โปรแกรมประมวลผลภาพ	36
3.4 Flow Chart การทำงานของโปรแกรม	43
3.5 การส่งผลลัพธ์ออกจากโปรแกรมประมวลผลภาพ	46
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	47
4.1 การทดลองครั้งที่ 1 ณ วันที่ 1/4/61 ตั้งแต่เวลา 10.10 – 11.10 น.	48
4.2 การทดลองครั้งที่ 2 ณ วันที่ 1/4/61 ตั้งแต่เวลา 12.00 – 13.10 น.	50
4.3 การทดลองครั้งที่ 3 ณ วันที่ 4/4/61 ตั้งแต่เวลา 10.10 – 11.10 น.	52
4.4 การทดลองครั้งที่ 4 ณ วันที่ 4/4/61 ตั้งแต่เวลา 12.20 – 13.20 น.	54
4.5 การทดลองครั้งที่ 5 ณ วันที่ 4/4/61 ตั้งแต่เวลา 13.40 – 14.41 น.	57
4.6 การทดลองครั้งที่ 6 ณ วันที่ 4/4/61 ตั้งแต่เวลา 15.00 – 16.05 น.	60
4.6 การทดลองครั้งที่ 7 ณ วันที่ 23/4/61 ตั้งแต่เวลา 15.15 – 16.15 น.	63
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	66
5.1 สรุปผลการทดลอง	66
5.2 ปัญหาที่พบในการทำวิจัยและแนวทางการแก้ปัญหา	68
5.3 ข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนา	69
เอกสารอ้างอิง	70
ภาคผนวก ก	72
รายละเอียดของอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	72
ประวัติผู้เขียน	98

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 โรงไฟฟ้าแบบหอคอยพลังงาน และ โรงไฟฟ้าพลังงานความร้อน ระบบจานรับแสง	8
2.2 โรงไฟฟ้าพลังงานความร้อน ระบบรางพาราโบลิก และ โรงไฟฟ้าพลังงานความร้อน ปล่องลมพลังแสงอาทิตย์	8
2.3 แสดงการทดสอบปัญญาประดิษฐ์ (TURING TEST)	10
2.4 การแบ่งประเภทของโครงข่ายประสาทเทียม	17
2.5 SINGLE INPUT NEURON ที่ไม่มีค่า BIAS (B)	18
2.6 SINGLE INPUT NEURON ที่มีค่า BIAS (B)	18
2.7 การต่อเพื่อทำการสอนโครงข่ายประสาทเทียม	19
2.8 การแปลงภาพแอนะล็อกให้เป็นภาพดิจิทัล	20
2.9 ระบบสี RGB (RED-GREEN-BLUE)	21
2.10 ระบบสี HSL (HUE-SATURATION-LIGHTNESS)	22
2.11 สเต็ปป์มอเตอร์	25
2.12 โครงสร้างภายในสเต็ปป์มอเตอร์	25
2.13 การโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์	26
3.1 แผนผังการทำงานของระบบการติดตามดวงอาทิตย์	30
3.2 ลำดับการทำงานของโปรแกรมประมวลผลภาพ	33
3.3 ภาพระดับเทา (GRAY SCALE)	34
3.4 การใช้ HSL FILTER (HUE, SATURATION, LIGHTNESS) หลังจากผ่านการเปลี่ยนภาพเป็นภาพระดับเทา (GRAY SCALE)	34
3.5 การใช้ BLOBCOUNTER และตีกรอบจุดที่พิจารณา	35
3.6 หน้าต่างการทำงานของโปรแกรมประมวลผลภาพ	36
3.7 การเลือกใช้กล้อง	37
3.8 ตำแหน่งของปุ่ม START	38
3.9 ตำแหน่งของปุ่ม STOP	38
3.10 ตำแหน่งกรอบแสดงผลพิกัด แกน X และ แกน Y	39

เอกสาร 3.11 ตำแหน่งกรอบแสดงขนาดรูปสี่เหลี่ยมมุมพิจารณา นั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้าน 39
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และ/หรืออ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.12 กรอบแสดงผลภาพจากกล้อง	40
3.13 ส่วนแสดงผลภาพระดับเทา (GRAY SCALE)	40
3.14 แถบปรับค่า HSL FILTER	41
3.15 ส่วนแสดงค่าสีที่เราต้องการตรวจสอบ	41
3.16 แถบช่วยแสดงผลย้อนหลัง	42
3.17 แถบกำหนดคาบเวลาในการตรวจจับ	43
3.18 แผนผังการทำงานของระบบสะท้อนแสงอาทิตย์โดยใช้ระบบโครงข่ายประสาทเทียม	44
3.19 แผนผังการทำงานของระบบสะท้อนแสงอาทิตย์โดยใช้ระบบโครงข่ายประสาทเทียม (ต่อ)	45
4.1 ตัวจำลอง RECEIVER	47
4.2 หน้าต่างโปรแกรมขณะที่ไม่มีแสง ณ เวลา 11.06 น.	48
4.3 กราฟที่ได้จากโปรแกรมโดย ภาพซ้ายจากการทดลองและภาพขวา จากการคำนวณ	49
4.4 มุมของกระจกสะท้อน ณ เวลา 10.10 – 11.10 น.	49
4.5 หน้าต่างโปรแกรมขณะที่ไม่มีแสง ณ เวลา 13.00 น.	50
4.6 กราฟที่ได้จากโปรแกรมโดย ภาพซ้ายจากการทดลองและภาพขวา จากการคำนวณ	51
4.7 มุมของกระจกสะท้อน ณ เวลา 12.00 – 13.10 น.	51
4.8 แสงอาทิตย์ที่ตกสะท้อน ณ เวลา 10.10	52
4.9 แสงอาทิตย์ที่ตกสะท้อน ณ เวลา 10.11	52
4.10 กราฟที่ได้จากโปรแกรมโดย ภาพซ้ายจากการทดลองและภาพขวา จากการคำนวณ	53
4.11 ตำแหน่งแสงอาทิตย์ และ มุมของกระจกสะท้อน ณ เวลา 10.10 – 11.10 น.	54
4.12 แสงอาทิตย์ที่ตกสะท้อน ณ เวลา 12.20	54
4.13 แสงอาทิตย์ที่ตกสะท้อน ณ เวลา 12.21	55
4.14 กราฟที่ได้จากโปรแกรมโดย ภาพซ้ายจากการทดลองและภาพขวา จากการคำนวณ	56
4.15 ตำแหน่งแสงอาทิตย์ และ มุมของกระจกสะท้อน ณ เวลา 12.20 – 13.20 น.	56
4.16 แสงอาทิตย์ที่ตกสะท้อน ณ เวลา 13.40	57
4.17 แสงอาทิตย์ที่ตกสะท้อน ณ เวลา 13.41	57
4.18 กราฟที่ได้จากโปรแกรมโดย ภาพซ้ายจากการทดลองและภาพขวา จากการคำนวณ	58
4.19 ตำแหน่งแสงอาทิตย์ และ มุมของกระจกสะท้อน ณ เวลา 13.40 – 14.41 น.	59

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.20 แสงอาทิตย์ที่ตกสะท้อน ณ เวลา 15.00	60
4.21 แสงอาทิตย์ที่ตกสะท้อน ณ เวลา 15.01	60
4.22 กราฟที่ได้จากโปรแกรมโดย ภาพซ้ายจากการทดลองและภาพขวา จากการคำนวณ	61
4.23 ตำแหน่งแสงอาทิตย์ และ มุมของกระจกสะท้อน ณ เวลา 15.00 – 16.05 น.	62
4.24 แสงอาทิตย์ที่ตกสะท้อน ณ เวลา 15.00	63
4.25 แสงอาทิตย์ที่ตกสะท้อน ณ เวลา 15.01	63
4.26 กราฟที่ได้จากโปรแกรมโดย ภาพซ้ายจากการทดลองและภาพขวา จากการคำนวณ	64
4.27 ตำแหน่งแสงอาทิตย์ และ มุมของกระจกสะท้อน ณ เวลา 15.00 – 16.05 น.	65
ก-1 Arduino Uno R3	95
ก-2 SUPPLY 12V 5A	97
ก-3 SUPPLY 5V 5A	97



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้าที่
1.1 แผนการดำเนินโครงการประจำปีเดือน ส.ค. 2560 ถึง ธ.ค. 2560	4
1.2 แผนการดำเนินโครงการประจำปีเดือน ม.ค. 2561 ถึง พ.ค. 2561	5
2.1 แสดงข้อเปรียบเทียบระหว่างคอมพิวเตอร์ปัญญาประดิษฐ์และคอมพิวเตอร์ทั่วไป	13
2.2 ค่ามุมอะซิมุทขณะขึ้น - ตก และมุมเงยสูงสุดของดวงอาทิตย์ วัดที่กรุงเทพมหานคร	27
4.1 ผลการทดลอง ณ วันที่ 4/4/61 ตั้งแต่เวลา 10.10 – 11.10 น.	53
4.2 ผลการทดลอง ณ วันที่ 4/4/61 ตั้งแต่เวลา 12.20 – 13.20 น.	55
4.3 ผลการทดลอง ณ วันที่ 4/4/61 ตั้งแต่เวลา 13.40 – 14.41 น.	58
4.4 ผลการทดลอง ณ วันที่ 4/4/61 ตั้งแต่เวลา 15.00 – 16.05 น.	61
4.5 ผลการทดลอง ณ วันที่ 23/4/61 ตั้งแต่เวลา 15.15 – 16.15 น.	64



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และXอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.1 ความเป็นมาและที่มาของปัญหา

จากการเจริญเติบโตของจำนวนประชากรและการพัฒนาด้านเศรษฐกิจและเทคโนโลยีจะสังเกตเห็นว่า ความก้าวหน้าของเทคโนโลยีมีความจำเป็นต่อเศรษฐกิจไม่ว่าจะเป็น ด้านอุตสาหกรรม ด้านการคมนาคม เป็นต้น ซึ่งความก้าวหน้าของสิ่งต่างๆสะท้อนให้เห็นถึงความต้องการในการใช้พลังงานของมนุษย์ในแต่ละปีจะมีแนวโน้มมากขึ้นเรื่อยๆ ทำให้ในอนาคตความต้องการเหล่านี้ส่งผลต่อความมั่นคงของทรัพยากรพลังงานที่มีอยู่อย่างจำกัด ดังนั้นจึงต้องหาวิธีการผลิตพลังงานจากแหล่งต่างๆเพื่อตอบสนองความต้องการในการใช้พลังงานของมนุษย์ แต่ด้วยข้อจำกัดด้านทรัพยากรและเทคโนโลยีในปัจจุบันทำให้ไม่สามารถผลิตพลังงานได้เพียงพอต่อความต้องการส่งผลให้เกิดสภาวะวิกฤติของการขาดแคลนพลังงาน ด้วยเหตุผลข้างต้นจึงต้องสรรหาแหล่งพลังงานทางเลือกต่างๆ ซึ่งพลังงานแสงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานทางเลือกที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายมากที่สุด เนื่องจากเป็นแหล่งทรัพยากรหมุนเวียนที่ไม่มีวันหมด จากเหตุผลที่กล่าวมาผู้วิจัยจึงนำเสนอโครงการที่เกี่ยวกับการพัฒนาเทคโนโลยีการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ให้ได้ประโยชน์ และมีประสิทธิภาพสูงสุด

ในปัจจุบันเทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าแบ่งเป็น 2 ระบบ ได้แก่ ระบบแรก คือ ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ เช่น ระบบไฟฟ้าผลิตเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่อและระบบผสมผสาน (PV Hybrid System) ระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ (PV Standalone System) ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่อกับระบบจำหน่าย (PV Grid-connected system) และระบบที่สอง คือ ระบบไฟฟ้าผลิตไฟฟ้าด้วยความร้อนแสงอาทิตย์ เช่น แบบ ตัวรับรังสีรวมกลาง (Central receivers) จานพาราโบลิก (Parabolic dishes) และ แบบรางพาราโบลิก (Parabolic – troughs) โดยระบบทั้งสองนี้จะมีประสิทธิภาพสูงสุดได้จำเป็นต้องมีการพัฒนา ติดตั้งระบบการติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ โดยทางผู้วิจัยมีความสนใจในการศึกษาและพัฒนาในส่วนของการจำลองระบบรวมแสงอาทิตย์ และติดตามดวงอาทิตย์แบบสะท้อนแสงโดยใช้ปัญญาประดิษฐ์แบบโครงข่ายสมองเทียม (Neuron - network) จากการศึกษาสามารถนำไปต่อยอดในส่วนของการระบบไฟฟ้าผลิตไฟฟ้าด้วยความร้อนแสงอาทิตย์แบบตัวรับรังสีรวม

ดังนั้นจึงได้มีการศึกษาและนำเสนอการสร้างระบบติดตามแสงอาทิตย์แบบ สะท้อนแสงโดยใช้ปัญญาประดิษฐ์แบบโครงข่ายสมองเทียม (Neuron - network) จากการประมวลผลโดยเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใช้โปรแกรม Visual Studio และ Arduino ทำงานในส่วน Machine Vision และใช้อุปกรณ์ ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) ติดตามดวงอาทิตย์ในเวลาจริง (Real time) รวมทั้งยังสามารถเคลื่อนที่ตามการออกแบบสมการการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ตามปฏิทินเวลาจริงในช่วงที่ไม่ใช้ระบบติดตามแสงอาทิตย์ได้ในเวลาจริง จึงทำให้เกิดเป็นปัญญานิพนธ์ฉบับนี้ขึ้นมา

1.2 วัตถุประสงค์โครงการ

1.2.1 เพื่อศึกษาเส้นทางการโคจรของดวงอาทิตย์ และตำแหน่งของดวงอาทิตย์ที่สังเกต ณ บนพื้นผิวโลก

1.2.2 ศึกษาสมการคณิตศาสตร์ของการเคลื่อนที่และตำแหน่งของดวงอาทิตย์ที่สังเกตได้ ณ ตำแหน่งอ้างอิงบนพื้นผิวโลก เพื่อนำมาประยุกต์ใช้ให้เกิดความต่อเนื่องในการติดตามตำแหน่งของดวงอาทิตย์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

1.2.3 เพื่อศึกษาการทำงานของระบบ Artificial Neural Networks เพื่อประยุกต์ใช้ในระบบติดตามตำแหน่งของดวงอาทิตย์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

1.2.4 ตรวจสอบและปรับปรุงแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบบนหอคอยรับแสงอาทิตย์ (Solar Tower Receiver) จากการถ่ายภาพที่ปรากฏจากกล้องเว็บแคมเรจิบภาพ เพื่อปรับตำแหน่งของแสงที่สะท้อนจากแผ่นสะท้อน (Reflector) ไปยังตำแหน่งที่กำหนดบนหอคอยรับแสงโดยใช้ระบบ Artificial Neural Networks เนื่องจากสามารถกำหนดระบบให้ปรับตำแหน่งจากแผ่นสะท้อนได้อย่างมีประสิทธิภาพ

1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงการงาน

1.3.1 ใช้กล้องเว็บแคมเป็นอุปกรณ์รับภาพแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบไปสู่หอคอยรับแสง

1.3.2 สร้างระบบ Artificial Neural Networks โดยใช้โปรแกรม Visual Studio สำหรับการวิเคราะห์ และประมวลผลภาพที่ได้รับจากกล้องเว็บแคม เพื่อควบคุมแผ่นสะท้อนแสงอาทิตย์

1.3.3 เพิ่มประสิทธิภาพของการติดตามแสงอาทิตย์ด้วยระบบ Artificial Neural Networks โดยการประมวลผลภาพที่ได้จากกล้องเว็บแคมมาประมาณค่าตำแหน่งปัจจุบันของดวงอาทิตย์จากปฏิทินเวลาจริงในเวลาที่ไม่สามารถจับภาพของแสงได้

1.3.5 ทำการออกแบบระบบควบคุมและติดตามแสงอาทิตย์โดยใช้ระบบ Artificial Neural Networks

1.3.4 ทดสอบโปรแกรมการสะท้อนแสงอาทิตย์ให้อยู่ ณ ตำแหน่งที่กำหนด เพื่อให้หอคอยรับแสงมีประสิทธิภาพ

1.4 วิธีการที่ใช้ในการทำโครงการงาน

ใช้กล้องเว็บแคมเป็นตัวรับภาพแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบไปสู่หอคอยรับแสง เพื่อส่งตำแหน่งแสงอาทิตย์ไปยังโปรแกรมประมวลผลภาพ เพื่อใช้วิเคราะห์ตำแหน่งดวงอาทิตย์จากการทำงานของ Machine Vision โดยใช้โปรแกรม Visual Studio ประมวลผลภาพ วิเคราะห์ตำแหน่ง และส่งข้อมูลเพื่อขับเคลื่อนระบบการสะท้อนแสงอาทิตย์ไปยังหอคอยรับแสง (Solar Tower Receiver) โดยใช้อุปกรณ์ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) และใช้ระบบ Artificial Neural Networks มาประยุกต์ใช้ให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

1.5 แผนการดำเนินงาน

ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินงานประจำเดือน ส.ค. 2560 ถึง ธ.ค. 2560

หัวข้อ	ส.ค. 60				ก.ย.60				ต.ค.60				พ.ย.60				ธ.ค.60			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1. ศึกษาหาข้อมูลเกี่ยวกับโครงการ	←-----→																			
2. เขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานของระบบติดตามดวงอาทิตย์โดยใช้กล้องเว็บแคมเรา	←-----→																			
3. เชื่อมต่อโปรแกรมที่สร้างขึ้นกับอุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุมแผ่นสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์	←-----→																			
4. ทดสอบประสิทธิภาพโปรแกรมที่สร้างขึ้น	←-----→																			
5. ตรวจสอบ และปรับปรุงประสิทธิภาพในการทำงานของโปรแกรมที่สร้างขึ้น	←-----→																			
7. ทำรูปเล่มปริญญานิพนธ์	←-----→																			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1.2 แผนการดำเนินงานประจำปี เดือน ม.ค. 2561 ถึง พ.ค. 2561

หัวข้อ	ม.ค. 61				ก.พ. 61				มี.ค. 61				เม.ย. 61				พ.ค. 61			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1. ศึกษาหาข้อมูลเกี่ยวกับโครงการ	←→																			
2. เขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานของระบบติดตามดวงอาทิตย์โดยใช้กล้องเว็บแคม	←→																			
3. เชื่อมต่อโปรแกรมที่สร้างขึ้นกับอุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุมแผ่นสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์	←→																			
4. ทดสอบประสิทธิภาพโปรแกรมที่สร้างขึ้น	←→																			
5. ตรวจสอบ และปรับปรุงประสิทธิภาพในการทำงานของโปรแกรมที่สร้างขึ้น	←→																			
6. ทำรูปเล่มปริญญานิพนธ์	←→																			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

1.6.1 ประยุกต์ใช้ระบบควบคุมแบบ Artificial Neural Networks ช่วยควบคุมแผ่นสะท้อนแสงอาทิตย์ในการรับภาพแสงอาทิตย์จากหอคอยรับแสงผ่านทางกล้องเว็บแคม และใช้สมการคณิตศาสตร์ของการเคลื่อนที่และตำแหน่งของดวงอาทิตย์ที่สังเกตได้ ณ ตำแหน่งอ้างอิงบนพื้นผิวโลก ในการคำนวณตำแหน่งของดวงอาทิตย์และใช้ปฏิทินเวลาจริงในกรณีเวลาที่ไม่มีแสงอาทิตย์

1.6.2 ประยุกต์ใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับระบบผลิตไฟฟ้า

1.6.3 ประยุกต์ใช้ Artificial Neural Networks จากโปรแกรม Visual Studio ในการพัฒนาระบบเพื่อเป็นต้นแบบในการศึกษาและพัฒนาระบบติดตามแสงอาทิตย์แบบสะท้อนแ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ปัจจุบันทั่วโลกต่างได้รับผลกระทบทางด้านพลังงานไฟฟ้าที่ไม่เพียงพอต่อการใช้งาน ส่งผลให้ต้องหาพลังงานอื่นมาใช้ทดแทน อย่างการใช้พลังงานนิวเคลียร์ แต่อาจส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเมื่อเลิกใช้งาน และจำเป็นต้องมีการป้องกันที่ดีมาก ซึ่งประเทศญี่ปุ่นเองยังเคยได้รับผลกระทบจากเหตุการณ์โรงไฟฟ้านิวเคลียร์ระเบิด เนื่องจากภัยพิบัติทางธรรมชาติ ฉะนั้นจึงต้องหาพลังงานทดแทนประเภทอื่นเพื่อความปลอดภัยในอนาคต โดยผู้วิจัยได้ศึกษาเรื่องของพลังงานแสงอาทิตย์ พบว่าเป็นแหล่งพลังงานที่ไม่มีวันหมดและไม่ส่งผลกระทบต่อธรรมชาติ สามารถประยุกต์ใช้ได้ง่าย

2.1 การใช้ประโยชน์จากแสงอาทิตย์ในด้านการผลิตไฟฟ้า

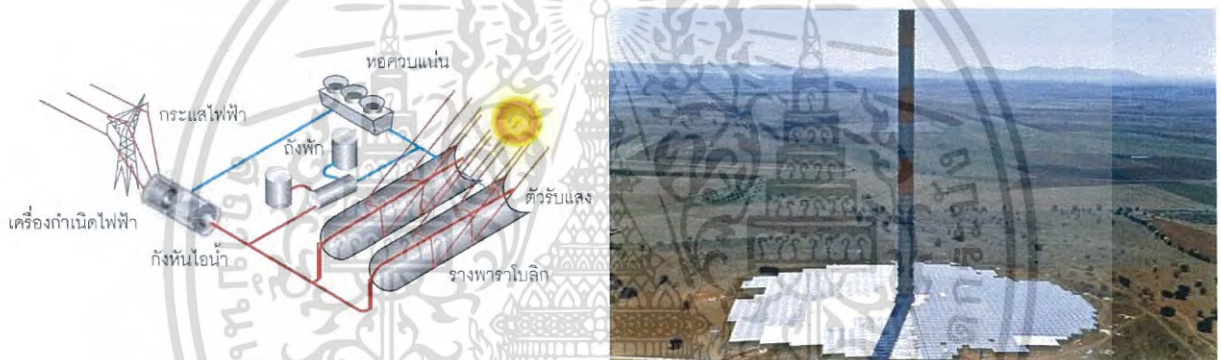
พลังงานแสงอาทิตย์ สามารถนำมาใช้ในการผลิตไฟฟ้าได้หลายรูปแบบ นอกเหนือจากการใช้แผงโซลาร์เซลล์แล้ว ยังมีการใช้ความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ผลิตไฟฟ้า เราเรียกเทคโนโลยีนี้ว่า Solar Thermal Power Plant (โรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์) หลักการทำงานของ Solar Thermal Power Plant จะทำงานคล้ายการรวมแสงจากแว่นขยาย แล้วเกิดความร้อน ณ จุดที่มีการรวมแสง เราเรียกว่า ตัวรับแสง ซึ่งทำหน้าที่ในการเปลี่ยนรูปพลังงาน ถ่ายเทความร้อนสู่ตัวกลาง เพื่อเข้าสู่ระบบผลิตไฟฟ้าต่อไปโดย Solar Thermal Power Plant สามารถแบ่งออกเป็น 4 รูปแบบดังนี้

1. โรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนระบบหอคอยรวมแสง (Central Receiver System)
2. โรงไฟฟ้าพลังงานความร้อน ระบบจานรับแสง/เครื่องจักรกลสเตอร์ลิง (Dish/Stirling Engine System)
3. โรงไฟฟ้าพลังงานความร้อน ระบบรางพาราโบลา (Parabolic trough system)
4. โรงไฟฟ้าพลังงานความร้อน ปล่องลมพลังแสงอาทิตย์ (Solar chimney)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 โรงไฟฟ้าแบบหอคอยพลังงาน และ โรงไฟฟ้าพลังงานความร้อน ระบบงานรับแสง



รูปที่ 2.2 โรงไฟฟ้าพลังงานความร้อน ระบบรางพาราโบลิก และ โรงไฟฟ้าพลังงานความร้อน ปล่องลมพลังแสงอาทิตย์

ผู้วิจัยทำแบบจำลองการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ในการให้ความร้อนเช่นเดียวกัน โรงไฟฟ้าพลังงานความร้อน ปกติจะใช้กระจกส่องไปที่หอคอยหรือจุดที่กำหนดไว้ แต่ในงานวิจัยจะทำการติดตั้งตามดวงอาทิตย์เพื่อให้อยู่จุดที่กำหนดเท่านั้น เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานโดยใช้ Machine Vision ในหัวข้อถัดมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 Machine Vision

Machine Vision คือระบบที่ถูกออกแบบมาเพื่อให้อุปกรณ์ประมวลผลภาพ เช่น คอมพิวเตอร์ หรืออุปกรณ์ประมวลผลสัญญาณดิจิทัล (Digital Signal Processor, DSP) นั้นสามารถรับรู้ข้อมูลภาพเพื่อที่จะใช้ในการตรวจสอบและตัดสินใจ สิ่งงานกลไกในส่วนต่างๆได้ Machine Vision ถูกจัดทำขึ้นเพื่อให้เครื่องจักรหรืออุปกรณ์ประมวลผลต่างๆมีความสามารถในการตรวจสอบเทียบเท่ากับการมองเห็นของมนุษย์ แต่ยังมีข้อจำกัดของเทคโนโลยีเนื่องจาก Machine Vision ไม่สามารถทำให้เครื่องจักรมีความสามารถในการมองเห็นหรือรับรู้ได้เทียบเท่ามนุษย์

แม้ว่าเทคโนโลยี Machine Vision ยังมีข้อจำกัดอยู่เพราะไม่สามารถพัฒนาความสามารถการมองเห็นและรับรู้ของเครื่องจักรให้เทียบเท่าสมองมนุษย์ แต่จากการศึกษาและพัฒนา Machine Vision จึงทำให้สามารถนำ Machine Vision มาประยุกต์ใช้งานได้ในหลายรูปแบบ เช่น ตรวจสอบตำแหน่งของวัตถุ หรือใช้ตรวจสอบความผิดพลาดของชิ้นงานต่างๆในระบบผลิต

ในงานวิจัยชิ้นนี้จะนำเทคโนโลยี Machine Vision มาประยุกต์ใช้ในงานวิจัยโดยจะใส่ระบบควบคุมโดยใช้ระบบปัญญาประดิษฐ์เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพมากขึ้นโดยมีรายละเอียดในอีกหัวข้อถัดไป

2.3 ปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence)

ในช่วงแรกก่อนจะมีปัญญาประดิษฐ์ เครื่องคอมพิวเตอร์มีหน้าที่เป็นเครื่องคำนวณทั่วไป ไม่สามารถทำงานได้ด้วยตัวเองต้องมีมนุษย์คอยวิเคราะห์ให้ ต่อมาต้องการที่จะลดการทำงานของมนุษย์และต้องการให้ทำงานซับซ้อนได้เหมือนเดิมจึงทำการวิจัย เพิ่มให้เครื่องคอมพิวเตอร์สามารถวิเคราะห์และทำงานที่ซับซ้อนได้ เพื่อตอบโจทย์ในงานนั้น ซึ่งสิ่งที่ถูกพัฒนามานั้นถูกเรียกว่า “ปัญญาประดิษฐ์”

ปัญญาประดิษฐ์ หรือเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า AI (Artificial Intelligence) คือวิธีการพัฒนาเครื่องคอมพิวเตอร์ในรูปแบบหนึ่ง ที่ทำให้เครื่องคอมพิวเตอร์สามารถคิด วิเคราะห์ แยกแยะ และตัดสินใจทำสิ่งต่างๆได้ใกล้เคียงกับมนุษย์ โดยใช้วิธีการศึกษาแนวความคิด การตัดสินใจ การวิเคราะห์ การแยกแยะ และวิธีการให้เหตุและผลของมนุษย์เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาเครื่องคอมพิวเตอร์ให้ต่างจากเครื่องจักรกลหรือโปรแกรมทั่วไป ส่งผลให้เครื่องคอมพิวเตอร์สามารถทำงาน

เอกสารได้ซับซ้อนและมีประสิทธิภาพมากขึ้นเพื่อการศึกษานั้น ไม่นุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัญญาประดิษฐ์นั้นสามารถอธิบายได้หลากหลาย แต่สามารถสรุปได้ 2 ประเภท ได้แก่ 1.ปัญญาประดิษฐ์ คือ การศึกษาและการเรียนรู้เพื่อพัฒนาให้เครื่องคอมพิวเตอร์สามารถทำงาน วิเคราะห์ แก้ไข และตัดสินใจได้เทียบเท่ามนุษย์ 2.ปัญญาประดิษฐ์ คือ ศาสตร์แขนงหนึ่งของ วิทยาการคอมพิวเตอร์ที่ศึกษาเกี่ยวกับการออกแบบสมอง หรือกระบวนการคิดของเครื่อง คอมพิวเตอร์ ให้มีลักษณะที่คล้ายคลึงกับการตัดสินใจของสมองมนุษย์รวมถึงพฤติกรรมที่ใกล้เคียงกัน ด้วย ซึ่งทั้งสองความหมายที่กล่าวมาข้างต้นสามารถสรุปได้อีกว่า ปัญญาประดิษฐ์ คือ การเพิ่ม ประสิทธิภาพให้เครื่องคอมพิวเตอร์ และเครื่องจักรสามารถทำงานได้เท่าเทียมกับมนุษย์

2.3.1 การทดสอบปัญญาประดิษฐ์

หากไม่มีมาตรวัดในปัญญาประดิษฐ์จะไม่สามารถบ่งบอกสิ่งที่กำลังศึกษาและ พัฒนาว่าถึงจุดที่ยอมรับได้ว่ามี “ความฉลาด” หรือยัง ฉะนั้นในปี ค.ศ. 1950 Alan Turing เป็น ผู้ออกแบบการทดสอบปัญญาประดิษฐ์ หรือเรียกว่า Turing Test เพื่อพิสูจน์ให้เห็นว่าปัญญาประดิษฐ์ ที่สร้างขึ้นนั้นอยู่ในจุดที่ยอมรับว่ามี “ความฉลาด” ทัดเทียมกับมนุษย์ โดยการทดสอบจะมีลักษณะ เป็นดังรูป ที่ 2.3



รูปที่ 2.3 แสดงการทดสอบปัญญาประดิษฐ์ (Turing Test)

การทดสอบนี้คือ การใช้ปัญญาประดิษฐ์สัมภาษณ์ผู้สัมภาษณ์โดยมีฉากกั้นเพื่อไม่ให้ ผู้สัมภาษณ์รู้ว่าสิ่งที่ผู้สัมภาษณ์กำลังสัมภาษณ์นั้นเป็นมนุษย์หรือเป็นสิ่งประดิษฐ์ เพื่อบ่งบอก “ความ ฉลาด” ของปัญญาประดิษฐ์ที่ทัดเทียมกับมนุษย์ได้ทันที จากการทดสอบที่ผ่านมายังไม่เคยมี ปัญญาประดิษฐ์ที่ผ่านการทดสอบแบบนี้ไปได้ เมื่อพิจารณาสิ่งที่จะทำให้ปัญญาประดิษฐ์ผ่านทดสอบ มีดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. Natural Language Processing ปัญญาประดิษฐ์สามารถเข้าใจและสื่อสารกับมนุษย์ได้โดยใช้ภาษามนุษย์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2. Knowledge Representation ปัญญาประดิษฐ์สามารถจัดเก็บสิ่งที่ได้รับรู้และสร้างรูปแบบแทนความรู้

3. Automated Reasoning ปัญญาประดิษฐ์สามารถให้เหตุผลแบบอัตโนมัติ โดยการนำรูปแบบแทนความรู้ที่จัดเก็บมาคิดวิเคราะห์ เพื่อตอบคำถามที่ได้รับมาและสนทนาตอบกลับ

4. Machine Learning ปัญญาประดิษฐ์มีกลไกความรู้ สามารถเรียนรู้และปรับสภาวะให้เหมาะสมเมื่อตรวจพบสิ่งใหม่ในสิ่งแวดล้อมหรือเหตุการณ์ต่างๆ

ณ ปัจจุบันได้มีปัญญาประดิษฐ์ นามว่า UT² จาก มหาลัย University of Texas at Austin และ MirrorBot สามารถผ่านการทดสอบเป็นครั้งแรกของ Turing Test ได้สำเร็จหลังจากเวลาผ่านไปได้ 100 ปี

2.3.2 คุณสมบัติและข้อจำกัดของปัญญาประดิษฐ์

เนื่องจากการมองภาพรวมในการพัฒนาให้เครื่องคอมพิวเตอร์ทั่วไปเปลี่ยนเป็นเครื่องมือที่มีศักยภาพที่เทียบเท่าหรือมากกว่ามนุษย์ การทำความเข้าใจเรื่องปัญญาประดิษฐ์เป็นสิ่งที่ค่อนข้างยาก คุณสมบัติหลังจากพัฒนาปัญญาประดิษฐ์แล้ว ดังนี้

1. ศักยภาพของการเรียนรู้และการเข้าใจจากประสบการณ์
2. ศักยภาพของการเรียนรู้เข้าใจเนื้อหา และข้อมูลที่ไม่แน่ชัดหรือมีการขัดแย้งซึ่งกันและกัน
3. ศักยภาพในการวิเคราะห์ข้อมูลและให้เหตุผลเพื่อการแก้ไขปัญหา พร้อมทั้งยังนำเสนอวิธีการแลพแนวทางแก้ปัญหาได้อย่างมีประสิทธิภาพ
4. ศักยภาพในการวิเคราะห์และทำความเข้าใจเนื้อหาที่ยากมีความซับซ้อน เพื่อหาข้อสรุปที่เหมาะสมที่สุดได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ศักยภาพในการนำสิ่งที่ได้เรียนรู้มาประยุกต์ใช้กับสภาพแวดล้อมต่างๆได้อย่างเหมาะสม และมีประสิทธิภาพ

6. ศักยภาพในการแยกแยะความสำคัญของข้อมูล ปัญหา หรือโครงสร้างต่างๆ ตามความเหมาะสมของสถานการณ์ได้

7. ศักยภาพในการตอบสนองด้วยความรวดเร็ว ถูกต้อง และแม่นยำ

จากที่กล่าวไปข้างต้นสามารถสรุปความแตกต่างระหว่างคอมพิวเตอร์ ปัญญาประดิษฐ์กับคอมพิวเตอร์ทั่วไปมีข้อแตกต่างกันตรงไหนบ้างได้จากตารางที่ 2.1



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 แสดงข้อเปรียบเทียบระหว่างคอมพิวเตอร์ปัญญาประดิษฐ์และคอมพิวเตอร์ทั่วไป

หัวข้อการเปรียบเทียบ	คอมพิวเตอร์ปัญญาประดิษฐ์	คอมพิวเตอร์ทั่วไป
การประมวลผล	ประมวลผลด้วยวิธีการวิเคราะห์รูปแบบสัญลักษณ์	ประมวลผลตาม Algorithm ที่สร้างไว้
ข้อมูลนำเข้า	ข้อมูลนำเข้าไม่จำเป็นต้องสมบูรณ์	ข้อมูลนำเข้าต้องมีความสมบูรณ์
วิธีการค้นหา	ใช้วิธีการโดยไม่อาศัยกฎเกณฑ์ตายตัวเรียกว่า Heuristic	ใช้วิธีการตามรูปแบบ Algorithm
จุดมุ่งหมาย	การได้มาซึ่งองค์ความรู้	การได้มาซึ่งข้อมูล และสารสนเทศ
การให้เหตุผล	สามารถให้เหตุผลได้	ไม่สามารถให้เหตุผลได้
การตัดสินใจ	สามารถตัดสินใจได้ด้วยตัวเอง	ต้องอาศัยมนุษย์ช่วยในการตัดสินใจ หากอยู่นอกเหนือ Algorithm
การวิเคราะห์ข้อมูล	วิเคราะห์ข้อมูลอย่างสมเหตุสมผล	วิเคราะห์ข้อมูลตาม Algorithm
การเรียนรู้	สามารถเรียนรู้ได้ด้วยตัวเอง	ไม่สามารถเรียนรู้ได้ด้วยตัวเอง

จากการเปรียบเทียบดังกล่าวเห็นได้ว่า คอมพิวเตอร์ทั่วไปส่วนใหญ่ยังคงอ้างอิงกับ Algorithm ที่สร้างไว้ เพราะคอมพิวเตอร์ทั่วไปถูกทำให้ทำงานตามขั้นตอนที่กำหนดไว้ข้างต้น ต่างจากคอมพิวเตอร์ปัญญาประดิษฐ์ที่ไม่อ้างอิงตาม Algorithm แต่จะอ้างอิงจากข้อมูล และวิเคราะห์ความเป็นไปได้ตามสถานการณ์ต่างๆ เรียกว่า การประมวลผลจากสัญลักษณ์ (Symbolic Processing) ซึ่งประสิทธิภาพที่ได้แตกต่างกันออกไป ในการทำงานจริงไม่สามารถบอกได้ว่าแบบไหนดีกว่ากัน ขึ้นอยู่กับลักษณะงานที่จะถูกนำไปใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากที่กล่าวมาทั้งหมดเป็นการเปรียบเทียบปัญญาประดิษฐ์กับมนุษย์ แต่ยังมีอีกหลายปัจจัยที่ยังทำให้ปัญญาประดิษฐ์ไม่สามารถตอบสนองได้ดีเทียบเท่ามนุษย์ เนื่องจากมนุษย์มีความคิดและประสบการณ์ที่หลากหลาย ต่างคนต่างความคิดและต่างคนต่างมีการเรียนรู้ที่แตกต่างกันออกไป บางครั้งผู้ที่มีประสบการณ์อาจเข้าใจปัญหาได้ลึกซึ้งดีกว่า และหาวิธีการแก้ไขได้ดีกว่าปัญญาประดิษฐ์ โดยจะยกตัวอย่าง ดังนี้

1. ไม่สามารถคิดค้นสิ่งใหม่ๆ ได้ โดยไม่มีความรู้ หรือข้อมูล เนื่องจากปัญญาประดิษฐ์ไม่มีความคิดริเริ่มสร้างสรรค์ ต่างจากมนุษย์ที่มีความสามารถคิดริเริ่มสร้างสิ่งต่างๆ นอกเหนือจากความรู้ที่มีได้

2. ในการตัดสินใจต้องอาศัยข้อมูลและสารสนเทศเป็นความรู้ โดยปัญญาประดิษฐ์ จะทำการแปลงข้อมูลที่ได้รับเป็นข้อมูลอย่างง่ายก่อนนำไปใช้งาน ต่างจากมนุษย์โดยสิ้นเชิง เพราะมนุษย์สามารถนำความรู้ที่ได้จากข้อมูลและสารสนเทศไปใช้ได้เลยทำให้สามารถตอบสนองสิ่งบางสิ่งบางอย่างได้อย่างรวดเร็ว

3. ไม่สามารถทำงานนอกเหนือจากที่สร้างได้ เนื่องจากความรู้ที่มีและประสบการณ์แนวคิดถูกมอบมาในแนวทางนั้นๆ เท่านั้น ปัญญาประดิษฐ์ถูกสร้างขึ้นให้ทำงานเฉพาะด้านที่ถูกสร้างมา ต่างจากมนุษย์ที่สามารถสร้างแนวทางความคิดและทำงานได้หลากหลายด้าน

2.3.3 ประโยชน์ของปัญญาประดิษฐ์

การนำปัญญาประดิษฐ์มาพัฒนาในการทำงาน ทำให้ระบบมีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยปัญญาประดิษฐ์มีประโยชน์หลายประการ เช่น

1. ทำให้กระบวนการแก้ปัญหาเร็วขึ้น และมีความเกี่ยวข้องกันมากขึ้น
2. ช่วยแก้ปัญหาบางอย่างที่เกินจากความสามารถของมนุษย์และคอมพิวเตอร์ทั่วไป
3. สามารถรองรับข้อมูลและความรู้จำนวนมากได้
4. สามารถจัดเก็บข้อมูลและความรู้ที่ได้แบบถาวร
5. การเผยแพร่ความรู้ทำได้ง่าย และทั่วถึง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. ทำงานด้านการวิเคราะห์ทำได้ดี และยิ่งทำงานเฉพาะด้านยิ่งมีประสิทธิภาพสูง
7. มีความยืดหยุ่นในสถานการณ์และตอบสนองได้มีประสิทธิภาพ
8. การควบคุมการทำงานของเครื่องจักรกลและเครื่องคอมพิวเตอร์สามารถทำได้

ง่าย

โดยคุณสมบัติและประโยชน์ต่างๆ เป็นตัวบ่งชี้ให้เห็นถึงความสำคัญของปัญญาประดิษฐ์ในอนาคตว่ามีความสำคัญมากต่อโลกอนาคต และยังสามารถนำปัญญาประดิษฐ์ไปใช้ในแขนงงานต่างๆได้อย่างมีประสิทธิภาพ อาทิเช่น การกู้ภัย และระบบอัตโนมัติ เป็นต้น

2.3.4 การนำปัญญาประดิษฐ์มาประยุกต์ใช้

การนำปัญญาประดิษฐ์ไปใช้งานไม่จำเป็นที่จะใช้เฉพาะด้านสาขาที่เกี่ยวข้องกับปัญญาประดิษฐ์เท่านั้น มีการนำมาใช้ในวงกว้างมากมาย และประสบความสำเร็จได้ ดังต่อไปนี้

1. เกม (Game) เป็นซอฟต์แวร์ทางด้านบันเทิงที่นำปัญญาประดิษฐ์ไปประยุกต์ใช้ โดยส่วนใหญ่จะไปเพิ่มความเสมือนจริงทำให้เกิดระบบที่มีความยากมากขึ้นเพื่อเพิ่มความท้าทายให้กับผู้เล่น การเพิ่มประสิทธิภาพในด้านนี้ทำให้ผู้เล่นรู้สึกว่าการนี้มีความคิดเป็นของตัวเอง สามารถตอบสนองและโต้ตอบได้เสมือนมีผู้เล่น ทำให้เกมเป็นตัวทดสอบปัญญาประดิษฐ์ได้ดีเยี่ยมทั้งแนวความคิดและทางเทคนิค ส่งผลให้ปัญญาประดิษฐ์และเกมพัฒนาไปได้อย่างรวดเร็ว

2. ระบบผู้เชี่ยวชาญ (Expert System : ES) เป็นระบบที่พัฒนามาจากปัญญาประดิษฐ์ที่รู้จักและใช้งานกันอย่างแพร่หลาย ระบบผู้เชี่ยวชาญเป็นระบบช่วยตัดสินใจในการแก้ปัญหาหรือข้อมูลที่มีความซับซ้อน เพื่อลดงบประมาณ และเพิ่มประสิทธิภาพรวมถึงความรวดเร็วในการวิเคราะห์

3. การให้เหตุผลเชิงกรณีศึกษา (Case-based Reasoning, CBR) เป็นการประยุกต์ใช้ปัญญาประดิษฐ์โดยอาศัยพื้นฐานทางความคิด และความรู้พื้นฐานของมนุษย์เป็นแนวทางในการพัฒนาเพื่อศึกษาปัญหาและแนวทางแก้ไขปัญหาที่ผ่านมา นำความรู้ที่ได้จากปัญหาและการแก้ปัญหาทุกครั้งจัดเก็บลงในองค์ความรู้ทุกครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. กลไกการเรียนรู้ (Machine Learning) เป็นการนำปัญญาประดิษฐ์มาประยุกต์ใช้ในด้านการเรียนรู้ เพื่อเพิ่มความสามารถและหน้าที่ในการรับผิดชอบของเครื่องจักรกลและเครื่องคอมพิวเตอร์ เป็นการเรียนรู้จากความรู้ใหม่ที่เกิดขึ้นตามสภาพแวดล้อมซึ่งบางครั้งบางเหตุการณ์อาจไม่เคยพบมาก่อน กลไกการเรียนรู้ส่งผลให้เครื่องคอมพิวเตอร์มีความสามารถมากขึ้นและความผิดพลาดลดลง

5. การคำนวณเชิงวิวัฒนาการ (Evolutionary Computation) เป็นการนำปัญญาประดิษฐ์มาประยุกต์ใช้กับเครื่องจักรกลหรือเครื่องคอมพิวเตอร์ ในการเพิ่มประสิทธิภาพด้านการเรียนรู้ดีขึ้น เป็นการเรียนแบบการวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิต การเรียนรู้รูปแบบนี้อ้างอิงจากพื้นฐานทฤษฎีวิวัฒนาการของ Charles Darwin นำเสนอในปี ค.ศ. 1858 เป็นทฤษฎีการดำรงชีวิตที่มีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ทำให้สิ่งมีชีวิตมีวิวัฒนาการ (Evolution) ให้สามารถดำรงชีวิตอยู่ต่อไปได้

6. ระบบโครงข่ายสมองเทียม (Neural Networks) เป็นการนำมาประยุกต์ในรูปแบบจำลองการทำงานของสมองมนุษย์ โดยแต่ละชั้นส่วนของภายในระบบจะมีการเชื่อมต่อเข้าหากัน เป็นการนำความรู้จำนวนมากมาประมวลผลพร้อมกัน เพื่อลดระยะเวลาและเพิ่มประสิทธิภาพ

7. ตัวแทนปัญหา (Intelligent Agent) เป็นเทคโนโลยีที่มีคนนำปัญญาประดิษฐ์มาประยุกต์ใช้งานกันอย่างแพร่หลาย หน้าที่ของตัวแทนปัญหาคือการรับคำสั่งจากมนุษย์เพื่อแก้ปัญหา อีกทั้งยังเพิ่มประสิทธิภาพในการแก้ปัญหาได้ดีขึ้น โดยศึกษาจากสภาพแวดล้อมแล้วหาทางแก้ปัญหา ออก หรือ เป็นการตั้งระบบการตอบรับให้ตอบสนองแบบต่างๆ อาจเรียกได้อีกชื่อว่า “เอเจนต์ (Agent)” หรือ “โปรแกรมตัวแทน”

8. การวางแผน (Planning) เป็นการนำปัญญาประดิษฐ์มาประยุกต์ใช้ในการวางแผนการจัดการเป้าหมายให้บรรลุผลตามที่ต้องการ การวางแผนมีขั้นตอนการแก้ไขปัญหาให้สอดคล้องกับการทำงานและผลลัพธ์

9. การประมวลผลภาษาธรรมชาติ (Natural Language Processing: NLP) เป็นการนำปัญญาประดิษฐ์มาประยุกต์ใช้ เพื่อเพิ่มความสามารถการโต้ตอบกับมนุษย์ โดยการป้อนข้อมูลการโต้ตอบและความหมายพร้อมกับบันทึกเสียงแปลเสียงที่ได้รับมาประมวลผลและโต้ตอบกลับ

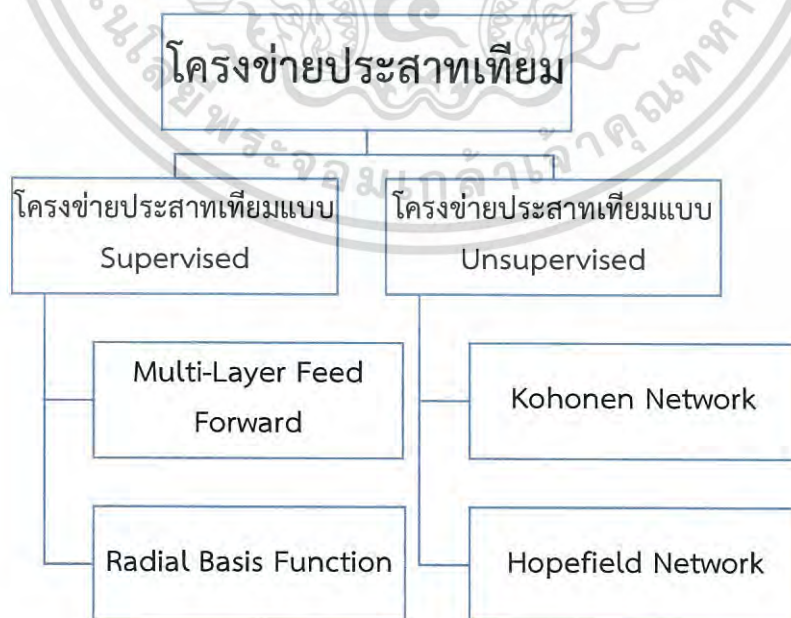
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10. หุ่นยนต์ (Robotic) เป็นการนำปัญญาประดิษฐ์มาประยุกต์ใช้กับงานเครื่องจักรกลเพื่อทดแทนแรงงานมนุษย์ที่ทำงานเสี่ยงอันตราย เพื่อความปลอดภัยต่อมนุษย์จึงทำหุ่นยนต์ให้มีความเป็นอัตโนมัติและมีประสิทธิภาพที่ใกล้เคียงกับมนุษย์

งานวิจัยนี้จึงนำปัญญาประดิษฐ์ที่ประยุกต์ใช้กับระบบโครงข่ายประสาทเทียม (Neural Networks) มาประยุกต์ใช้ในการจำลองระบบรวมแสงอาทิตย์และติดตามดวงอาทิตย์แบบสะท้อนแสงอ้างอิงในหัวข้อถัดไป

2.4 ระบบโครงข่ายประสาทเทียม (Neural Network)

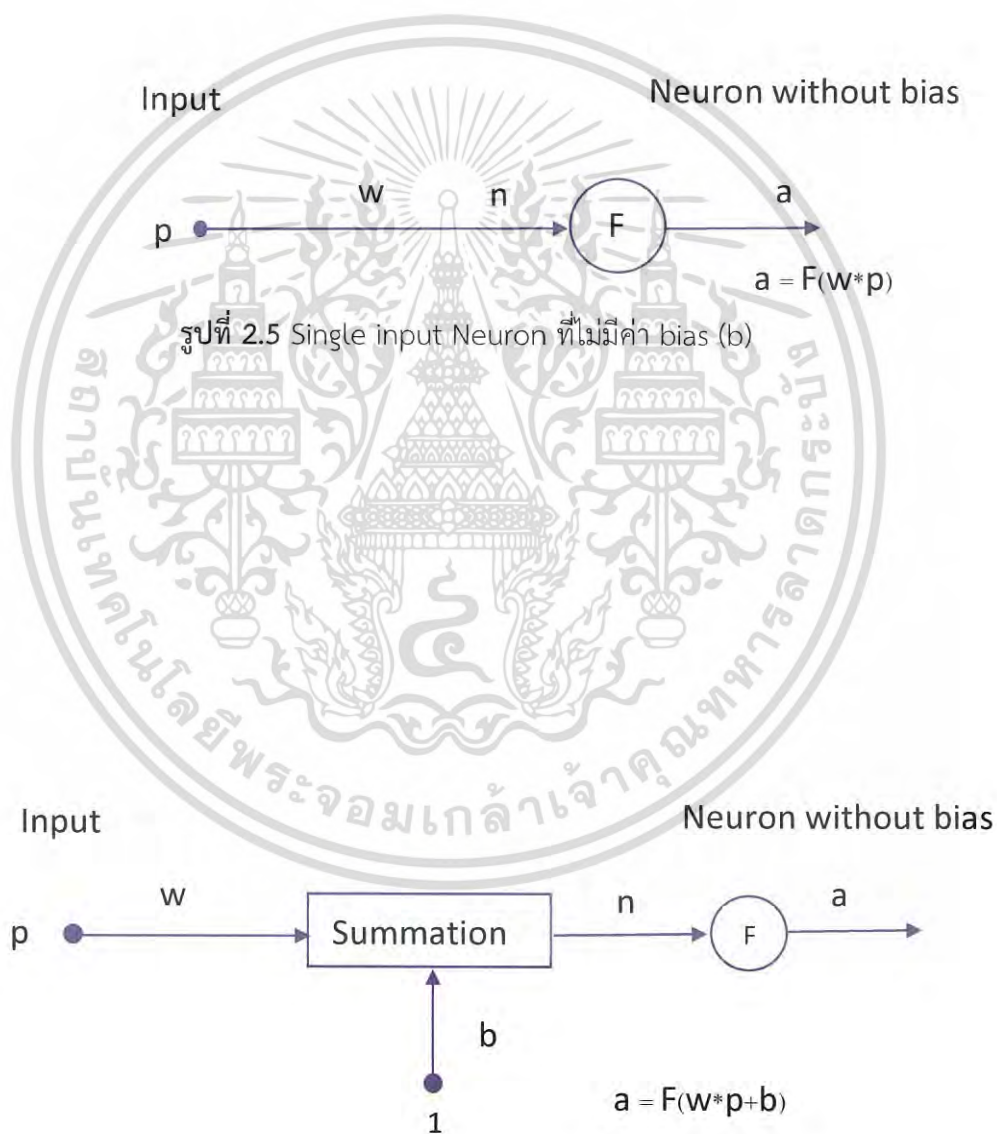
โครงข่ายประสาทเทียมคือการจำลองสมองของมนุษย์ให้อยู่ในรูปแบบของคอมพิวเตอร์ โดยมีส่วนประกอบพื้นฐานที่สำคัญคือ เซลล์ประสาทเทียม (neuron) เปรียบเสมือนตัวส่งข้อมูลที่ป้อนเข้าไปในระบบเพื่อใช้ในการประมวลผลให้ได้ตามต้องการ ในการทำงานของเซลล์ประสาทเทียมจะต้องทำการต่อกันเป็นลักษณะอนุกรมและขนานผสมผสานกันเพื่อให้ได้การทำงานที่ต้องการ การทำงานของโครงข่ายประสาทเทียมจะทำงานให้ผลลัพธ์ออกมาเป็นที่ต้องการนั้นโดยมากจะได้มาจากการทำงานของหน่วยพื้นฐานที่มีอยู่มาเชื่อมต่อโดยการเรียนรู้กันเพื่อสอนโครงข่ายประสาทเทียมในการเรียนรู้และจดจำข้อมูลหรือการทำงานที่ซับซ้อน โดยการเรียนรู้นั้นจะทำการเรียนรู้ที่หน่วยพื้นฐานทำการปรับปรุงค่าพารามิเตอร์ไปเรื่อยๆจนกว่าจะเจอค่าที่ดีที่สุดในการทำงานของระบบนี้ โดยโครงข่ายประสาทเทียมสามารถแบ่งออกเป็นประเภทต่างๆดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 การแบ่งประเภทของโครงข่ายประสาทเทียม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

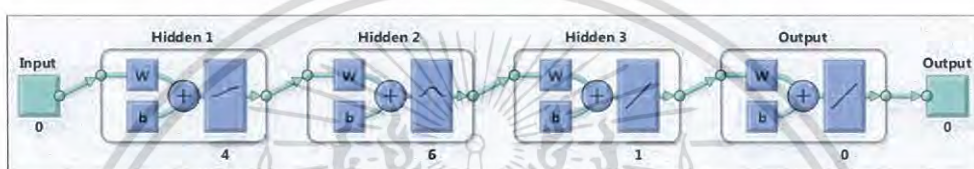
ในการทำงานวิจัยนี้จะใช้โครงข่ายประสาทเทียมรูปแบบ Supervised Neuron Networks เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในระบบรวมแสงอาทิตย์และติดตามดวงอาทิตย์แบบสะท้อนแสง ซึ่งในที่นี้การใช้รูปแบบ Supervised Neuron Networks นั้นเราจะทำการดึงส่วนของ Multi-Layer Feed Forward มาใช้ในงานวิจัยนี้ซึ่ง Multi-Layer Feed Forward จะประกอบด้วย นิวรอนหลายๆ ตัวเข้าด้วยกัน โดยนิวรอนจะถูกแบ่งออกเป็น นิวรอนที่มีระบบย้อนกลับ กับนิวรอนที่ไม่มีระบบย้อนกลับ เพื่อความเข้าใจให้ง่ายขึ้นจะยกตัวอย่างให้เห็นดังรูปที่ 2.5 และ 2.6



รูปที่ 2.6 Single input Neuron ที่มีค่า bias (b)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งการสอนโครงข่ายสมองเทียมให้ทำงานได้ตามที่ต้องการนั้นจะต้องใช้นิวรอนที่มีระบบย้อนกลับหลายๆตัวต่อทั้งขนานกันและอนุกรมกันเพื่อให้ได้ตามต้องการ ซึ่งจะได้ค่าตามที่ต้องการเราจะทำการปรับ bias กับทำการกรับ ค่าถ่วงน้ำหนักข้อมูลเพื่อให้ได้ค่าตามที่ต้องการนั้นจะต้องใส่สมการทางคณิตศาสตร์ในการจำลองเพื่อการคำนวณหาค่าที่ดีที่สุดขึ้นมาใช้เพื่อให้ได้ค่าที่ใกล้เคียงที่สุด โดยค่าแต่ละชั้นจะได้ออกมาไม่เหมือนกันเพราะฉะนั้นการสอนโครงข่ายประสาทเทียมให้ได้ประสิทธิภาพนั้นจะต้องทำการสอนหลายๆรอบเข้าไปเรื่อยๆและทำการทดลองกับหลายๆสมการและไปทำการทดลองเพื่อเชื่อว่าการสอนที่ผ่านมาได้ทำตามที่ต้องการหรือไม่ ซึ่งจะยกมาให้ดูประกอบเพื่ออำนวยความสะดวกดังรูปที่ 2.7



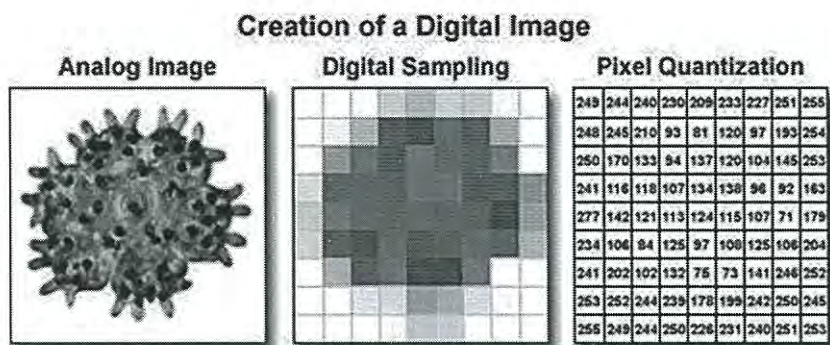
รูปที่ 2.7 การต่อเพื่อทำการสอนโครงข่ายประสาทเทียม

จากที่ได้บอกไปอันนี้คือการจำลองแบบย่อให้เห็นถึง 1 อินพุตแต่มีหลายชั้นโดยง่าย ซึ่งจริงๆการทำงานนั้นไม่จำเป็นจะต้องมี 1 อินพุต อาจมีมากกว่า 1 อินพุตได้ หลังจากที่ทำการสอนเป็นอันเสร็จสิ้นแล้วก็นำค่าที่ได้ไปตรวจสอบในการทำงานจริงเพื่อทำการทดลองว่ามีประสิทธิภาพที่สุดหรือยังและทำการเปรียบเทียบกับสมการต่างๆและอินพุตต่างๆที่เราทำการสอนเพื่อหาการสอนที่ดีที่สุดแล้วนำค่า bias และค่าถ่วงน้ำหนักไปใช้จริง โดยเราจำทำการเช็คได้จากการให้ระบบเป็นตัวสั่งการให้กระจกสะท้อนแสงแล้วใช้กล้องในการจับภาพให้รู้ว่าได้ภาพตามที่ต้องการหรือไม่ ซึ่งจะทำแบบนั้นได้จำเป็นต้องมีความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับการประมวลผลภาพดิจิทัลก่อนโดยเนื้อหาที่ว่ามาจะอยู่ในหัวข้อถัดไป

2.5 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับการประมวลผลภาพดิจิทัล

เป็นการแปลงข้อมูลจากในรูปแบบสัญญาณ แอนะล็อก (Analogue signal) ให้อยู่ในรูปแบบของสัญญาณ ดิจิทัล (Digital signal) เพื่อให้คอมพิวเตอร์สามารถประมวลผลได้ โดยระบบจะทำการคำนวณด้วยกระบวนการ Sampling และ Quantization โดยจะแสดงผลในรูปแบบของ ดิจิทัล จากนั้นคอมพิวเตอร์จะจัดเก็บในรูปแบบของ อาร์เรย์ โดยในแต่ละช่องของอาร์เรย์จะแสดงถึงคุณสมบัติในแต่ละตำแหน่งของภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 การแปลงภาพแอนะล็อกให้เป็นภาพดิจิทัล

เมื่อเข้าใจการประมวลผลภาพดิจิทัลและต่อมาควรรู้เกี่ยวกับมาตรฐานของสีให้สามารถทำงานได้มีประสิทธิภาพได้ดีมากขึ้น ซึ่งข้อมูลอยู่ในหัวข้อถัดไป

2.6 มาตรฐานของสี

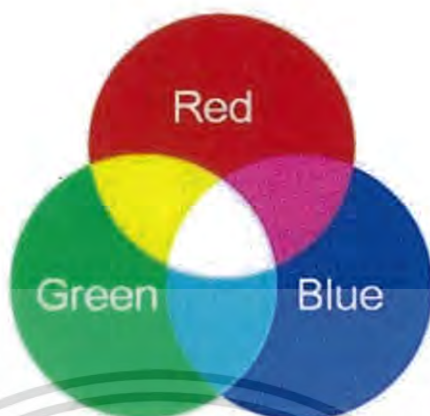
มาตรฐานของสีในปัจจุบันมีอยู่หลายระบบโดยจะขึ้นอยู่กับการนำไปใช้งานซึ่งทุกมาตรฐานมีแนวคิดเหมือนกัน คือ การแทนจุดสีด้วยจุดที่อยู่ภายในสเปส 3 มิติโดย จะมีแกนอ้างอิงสำหรับจุดสีนั้นในสเปส ซึ่งแต่ละแกนมีความอิสระต่อกัน

2.6.1 ระบบสี RGB

คือระบบสีของแสงซึ่งเกิดจากการหักเหของแสงผ่านแท่งแก้วปริซึมจากการศึกษาพบว่ารูปแบบของแสงสีทั้งหมดเกิดจากเกิดจากแสงสี 3 สี คือ สีแดง (Red) สีน้ำเงิน (Blue) และสีเขียว (Green)

เมื่อนำมาฉายรวมกันจะเกิดเป็นสีใหม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.9 ระบบสี RGB (Red-Green-Blue)

2.6.2 ระบบสี HSL (Hue-Saturation-Lightness)

- ประเภทสีของ (Hue) : คือ เฉดสี ซึ่งจากรูปนั้นค่า Hue คือ มุมของกรวยโดนที่ค่า ของ Hue จะมีค่าของ Hue จะมีค่าระหว่าง 0 - 359 ซึ่งจะไล่ลำดับการเปลี่ยนแปลงของสีแดง (Hue = 0) ไปยังสีเขียว (Hue = 120) และจากสีเขียวไปยังสีน้ำเงิน (Hue = 240) และจากสีน้ำเงินไปยังสีแดง

- ความอิ่มตัวของสี (Saturation) : คือค่าที่ระบุว่าสีนั้นอยู่ห่างจากแกนกลางของกรวย มากเท่าใด โดยที่ถ้าค่า Saturation มีค่ามากขึ้นก็จะทำให้สีที่ได้ใกล้เคียงกับเฉดสีที่แท้จริงมากขึ้น

- ความสว่างของสี (Lightness/Brightness) : คือค่าที่ใช้ระบุสีนั้นมีความสว่างมากเท่าใดถ้าค่า Lightness มีต่างมากขึ้นจะทำให้สีที่ได้มีส่วนประกอบของสีขาวมากขึ้น ในทางกลับกัน ถ้าความสว่างมีค่าน้อยลงก็จะทำให้สีที่ได้มีส่วนประกอบของสีดำมากขึ้น



รูปที่ 2.10 ระบบสี HSL (Hue-Saturation-Lightness)

เมื่อเข้าใจระบบสีและการประมวลผลภาพต่างๆแล้ว จะต้องทำการเขียนโปรแกรมเพื่อใช้งานการควบคุมให้ได้ตามต้องการ โดยในที่นี้เราใช้ภาษาซีชาร์ป ซึ่งจะมีข้อมูลให้ศึกษาและทำให้เข้าใจในการเขียนในหัวข้อถัดไป

2.7 ซีชาร์ป (C#)

ภาษาซีหรือภาษาซีชาร์ป (C# Programming Language) เป็นโปรแกรมที่เป็นส่วนหนึ่งของงตอทเน็ตเฟรมเวิร์ค (.NetFramework) โดยมีรากฐานมาจากภาษาซีพลัสพลัส (C++) และภาษา จาวา (Java) เป็นภาษาใหม่ที่ถูกทางไมโครซอฟท์ได้ พัฒนาขึ้นมาพร้อมกับโปรแกรมชุด วิศวลสตูดิโอตอทเน็ต (Visual Studio .NET) ซึ่งจุดมุ่งหมายของการจัดทำภาษาซีชาร์ป คือ ให้เป็นภาษาใหม่ที่มีประสิทธิภาพมากกว่าหรือเทียบเท่า ภาษาซีพลัสพลัส (C++) โดยอยู่ในแนวคิดที่ว่าจะต้องไม่ยุ่งยากซับซ้อนเหมือนกับภาษาซีพลัสพลัส และสามารถใช้งานได้ง่ายเหมือนวิซวลเบสิค (Visual Basic) จากเหตุผลข้างต้นจึงทำให้ภาษาซีชาร์ป เป็นภาษาที่มีความลงตัวมากที่สุดเมื่อ เทียบกับภาษาอื่นๆ

ในการเขียนโปรแกรมทั้งหมดโดยไม่มีตัวช่วยจะทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จเป็นการยาก จึงได้ทำการศึกษา AForge.NET เพื่อช่วยในการทำงานให้ได้ง่ายขึ้นในการทำงานโดยมีเนื้อหาในหัวข้อถัดไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8 AForge.NET

AForge.NET ได้ถูกเริ่มและพัฒนาโดย Andrew Kirillov โดย License ของ AForge.NET เป็นแบบ LGPL v3 license ซึ่งเป็น Open Source AForge.NET เป็นขอบเขตงานของภาษา C# ที่ใช้สำหรับนักพัฒนา และนักวิจัยในสาขาคอมพิวเตอร์วิทัศน์ (Computer Vision) และสาขาปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligent) เช่น image Processing, neural networks, genetic algorithm, machine learning , robotics เป็นต้น

AForge.NET framework เป็นตัวกลางการเชื่อมต่อระหว่างโปรแกรม และส่วน ของรูปแบบการมองเห็นในมุมมองของคอมพิวเตอร์ (ข้อมูลทาง digital) โดยเป็นตัวกลางเชื่อมต่อ ระหว่างมนุษย์และคอมพิวเตอร์ให้เกิดการสื่อสารกันได้อย่างง่ายมากยิ่งขึ้นโดย AForge.NET framework จะรวบรวม Library ทางด้าน Image Processing ในรูปแบบต่างๆไว้เพื่อที่ใช้เกี่ยวกับการประมวลผลภาพ จึงทำให้การใช้ AForge.NET framework จะมีความง่ายในการทำงานและ ช่วยให้มีความเร็ว และความถูกต้อง ในส่วนของ Library จะประกอบไปด้วยส่วนหลักๆ ดังต่อไปนี้

- AForge.Imaging เป็นชุดคำสั่งที่ใหญ่ที่สุดในขอบเขตงาน ประกอบไปด้วยชุดคำสั่งการประมวลผลภาพต่างๆ ซึ่งช่วยในการปรับแต่งภาพ และประมวลผลภาพต่างๆ
- AForge.Vision เป็นชุดคำสั่งที่ประกอบไปด้วยเครื่องตรวจจับการเคลื่อนไหว หรือท่าทางต่างๆ และชุดคำสั่งประมวลผลการเคลื่อนไหว
- AForge.Video เป็นชุดคำสั่งที่ประกอบไปด้วยคลาสต่างๆที่ใช้ในการเข้าถึง ข้อมูลวีดิโอ
- AForge.Robotics เป็นชุดคำสั่งที่ประกอบด้วยวิธีที่ทำให้โครงสร้างเครือข่ายประสาทเทียม และขั้นตอนวิธีการเรียนรู้ต่างๆ
- AForge.MachineLearning เป็นชุดคำสั่งที่ประกอบด้วยคลาสที่เกี่ยวกับการเรียนรู้ของเครื่อง

ในเมื่อสามารถเข้าใจระบบต่างๆและสามารถเขียนโปรแกรมได้พอสมควรแล้วจะต้องมาทำความเข้าใจการสะท้อนแสงเพื่อให้เขียนได้สมบูรณ์มากขึ้นเพื่อคำนวณระจุดลงต่างๆในนี้ จะต้องนำข้อมูลมาใช้ในส่วนของ ระบบโครงข่ายประสาทเทียม เพื่อให้ได้ข้อมูลที่แม่นยำและมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น สามารถศึกษาได้ให้หัวข้อถัดไป

2.9 การสะท้อนแสง

แสงเป็นพลังงานรูปแบบหนึ่งที่เคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วสูง 300,000 กิโลเมตร ต่อวินาที ซึ่งเมื่อกำลังการสะท้อนของแสงแล้วแสงอาจเกิดการสะท้อนสมบูรณ (specular reflection) เช่น การสะท้อนผ่าน กระจกเงา หรือสะท้อนไม่สมบูรณ (diffuse reflection) ซึ่งสูญเสียภาพเชิงฟิสิกส์แต่อนุรักษ์พลังงาน ขึ้นกับชนิดของตัวกลางที่แสงซึ่งแสงเกิดการสะท้อนการสะท้อนของแสงเมื่อตกกระทบพื้นผิววัตถุที่เรียบ เกิดขึ้นเมื่อลำแสงตกกระทบไป ยังพื้นกระจกหรือพื้นผิวที่ขรุขระจะส่งผลให้แสงสะท้อนกลับไปคนละทิศละทาง

- รังสีตกกระทบ (Incident Ray) คือ รังสีของแสงที่พุ่งเข้าหาพื้นผิวของวัตถุ
- รังสีสะท้อน (Reflected Ray) คือ รังสีของแสงที่พุ่งออกจากพื้นผิวของวัตถุ
- เส้นปกติ (Normal) คือ เส้นที่ลากตั้งฉากกับพื้นผิวของวัตถุตรงจุดที่แสงกระทบ
- มุมตกกระทบ (Angle of Incidence) คือ มุมที่รังสีตกกระทบทำกับเส้นปกติ
- มุมสะท้อน (Angle of Reflection) คือ มุมที่รังสีสะท้อนทำกับเส้นปกติกฎการสะท้อนสำหรับวัสดุผิวเรียบ การสะท้อนของแสง (หรือคลื่นอื่น) เกิดขึ้นในลักษณะไม่สมบูรณ
- รังสีตกกระทบ รังสีสะท้อน เส้นตั้งฉากทั้งหมด ล้วนอยู่ในแนวระนาบเดียวกัน
- มุมที่ตกกระทบเท่ากับมุมสะท้อน

เมื่อทำความเข้าใจระบบการสะท้อนแสงแล้วเพื่อช่วยในการควบคุมระบบให้ได้ตามต้องการแต่ตอนนี้ จะไม่สามารถควบคุมการสะท้อนได้จึงต้องติดสเต็ปป์มอเตอร์เพื่อให้สามารถควบคุมการสะท้อนให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น จะมีข้อมูลของสเต็ปป์มอเตอร์ในหัวข้อถัดไป

2.10 สเต็ปป์มอเตอร์ (Stepping Motor)

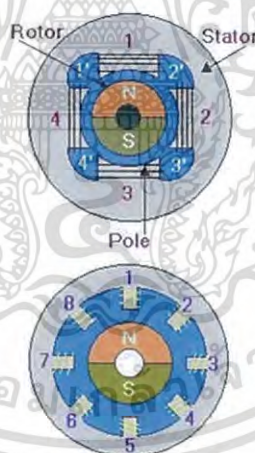
สเต็ปป์มอเตอร์เป็นมอเตอร์ที่จะต้องป้อนสัญญาณเป็นพัลส์ให้แก่ขดลวดของมอเตอร์เป็นจังหวะอย่างเหมาะสมซึ่งต่างจากการทำงานของมอเตอร์ปกติหากมีการป้อนสัญญาณพัลส์ต่อเนื่อง มอเตอร์ก็จะสามารถหมุนได้อย่างต่อเนื่องเหมือนกับมอเตอร์ไฟตรงปกติดังนั้นด้วยจังหวะในการป้อนสัญญาณจึงทำให้ผู้ควบคุมสามารถเลือกตำแหน่งสุดท้ายเพื่อให้มอเตอร์หยุดหมุนได้ความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระเอียดในการหมุนของมอเตอร์บอกเป็นองศาหากมีองศาต่อการหมุนหนึ่งสเต็มมากแสดงว่ามอเตอร์มีความละเอียดต่ำ โครงสร้างของขั้วแม่เหล็กบนสเตเตอร์ทำมาจากแผ่นเหล็กวงแหวนที่มีซี่ยื่นออกมาประกอบกันเป็นชั้นๆ โดยที่แต่ละชั้นนั้นจะมีขดลวดพันสวมอยู่ เมื่อมีการป้อนกระแสผานขดลวดให้เกิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic) ดูดังรูปด้านล่างนี้จะแสดงถึงองค์ประกอบต่างๆ



รูปที่ 2.11 สเต็ปป์มอเตอร์



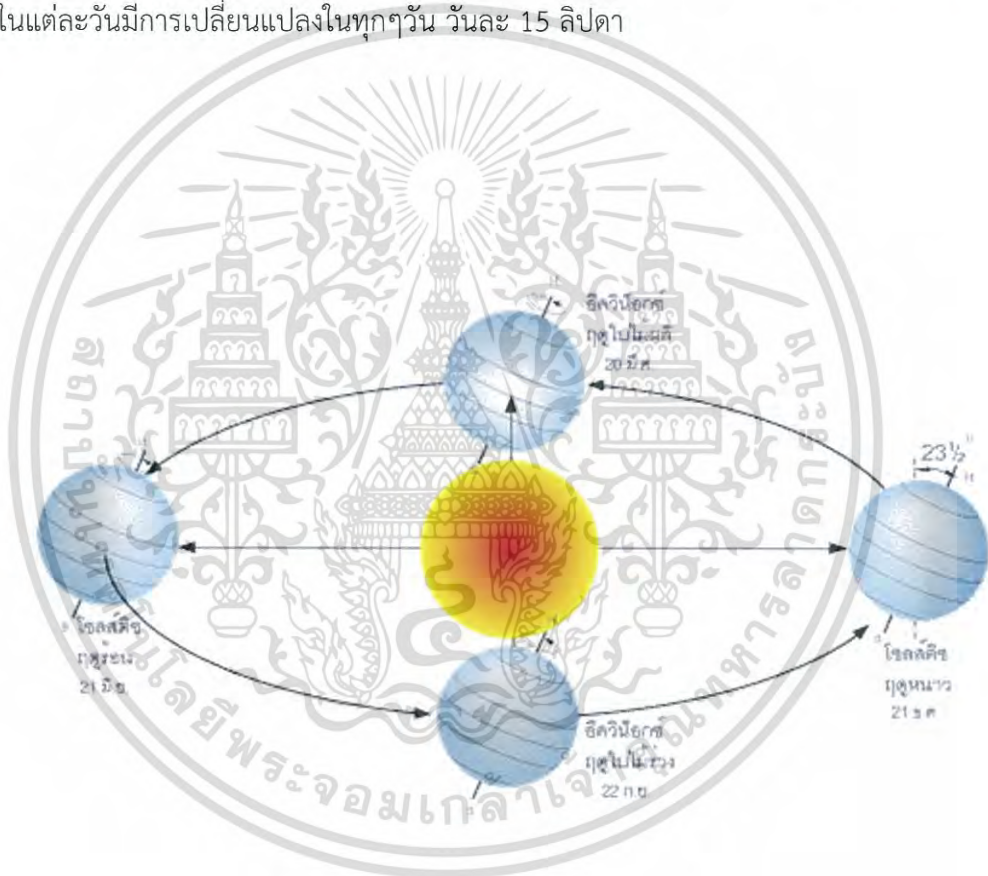
รูปที่ 2.12 โครงสร้างภายในสเต็ปป์มอเตอร์

ในการศึกษาสเต็ปป์มอเตอร์แล้วทำให้ควบคุมระบบการสะท้อนได้อย่างมีประสิทธิภาพแล้ว แต่จะไม่ว่าจะต้องให้สะท้อนที่จุดไหนทำให้ต้องศึกษาคำแหน่งของดวงอาทิตย์โดยจะนำข้อมูลที่ได้ไปสอนในระบบโครงข่ายประสาทเทียมเพื่อให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นโดยสามารถหาข้อมูลตำแหน่งของดวงอาทิตย์ที่ปรากฏบนโลก ในหัวข้อถัดไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.11 ตำแหน่งของดวงอาทิตย์ที่ปรากฏบนโลก

การคำนวณหาตำแหน่งของดวงอาทิตย์สามารถทำได้โดยวัดมุมเงยและมุมอะซิมูทจากเงาของดวงอาทิตย์ โดยค่าของมุมเงยจะมีค่าเพิ่มขึ้นจนถึงจุดสูงสุดของดวงอาทิตย์จากนั้นจะค่อยๆ ลดลงเมื่อพระอาทิตย์ตก ส่วนมุมอะซิมูทจะมีค่าเปลี่ยนไปในการวัดทุกครั้งซึ่งแสดงให้เห็นว่าตำแหน่งของดวงอาทิตย์มีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา เส้นอีลิปติก (Ecliptic) คือ เส้นเชื่อมที่แสดงการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ในแต่ละรอบวันจากการศึกษาพบว่าตำแหน่งของดวงอาทิตย์ในแต่ละฤดูกาล ในแต่ละวันมีการเปลี่ยนแปลงในทุกๆวัน วันละ 15 ลิปดา



รูปที่ 2.13 การโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 ค่ามุมอะซิมุทขณะขึ้น - ตก และมุมเงยสูงสุดของดวงอาทิตย์ วัดที่กรุงเทพมหานคร

วัน เดือน	อะซิมุท		มุมเงยสูงสุด(องศา)
	ขณะขึ้น	ขณะตก	
21 มีนาคม	90	270	76
27 เมษายน	76	284	90
20 พฤษภาคม	70	290	84
22 มิถุนายน	67	293	81
20 กรกฎาคม	69	291	83
16 สิงหาคม	76	284	90
23 กันยายน	90	270	76
20 ตุลาคม	100	260	66
20 พฤศจิกายน	110	250	56
22 ธันวาคม	113	247	52
20 มกราคม	110	250	56
20 กุมภาพันธ์	101	259	67

เมื่อเข้าใจตำแหน่งต่างๆของดวงอาทิตย์ใน 1ปีแล้วจำเป็นต้องศึกษาวิธีการเดินทางของดวงอาทิตย์ใน 1วันภายในโลก ณ จุดที่กำหนดโดยสามารถหาข้อมูลเบื้องต้นได้จากการคำนวณการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์จากหัวถัดไปนี้ ซึ่งเมื่อเข้าใจแล้วเราจํานำข้อมูลเหล่านี้ไปสอนระบบโครงข่ายประสาทเทียมเพื่อทำงานให้ได้ดียิ่งขึ้น

2.12 การคำนวณการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์

Apparent Solar Time (AST) คือ เวลาสุริยะปรากฏเป็นเวลาที่สังเกตจากดวงอาทิตย์เป็นหลักโดยอ่านจากนาฬิกาแดดซึ่งในแต่ละตำแหน่งของผู้สังเกตจะแตกต่างกันไปตามตำแหน่งลองจิจูด นิยามของเวลาสุริยะปรากฏกำหนดว่าเป็นมุมชั่วโมง (Hour angle) ของดวงอาทิตย์ที่ปรากฏจริงบนท้องฟ้า กล่าวคือเมื่อดวงอาทิตย์ ณ ตำแหน่งเมอริเดียนของท้องฟ้าพอดี เวลาสุริยะปรากฏจะมีค่าเป็น 0 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$AST = LST + (4 \text{ min/deg})(LSTM - \text{Long}) + ET \quad (2.1)$$

โดย

LST คือ เวลาจริงของท้องถิ่นนั้น (Local standard time)

Long คือ Western Longitude

LSTM คือ Local longitude of standard time meridian

โดยที่ $LSTM = 15^\circ \times (\text{Long}/15^\circ)_{\text{round to integer}}$

$$ET = 9.87\sin(2D) - 7.53\cos(D) - 1.5\sin(D)$$

โดย $D = 360^\circ(N-81)/365$

$$H = [(\text{No. of minutes past midnight, AST}) - 720 \text{ mins}] / 4 \text{ min/deg}$$

$$\cos(\theta_z) = \sin(\beta_1) = \cos(L)\cos(\delta)\cos(H) + \sin(L)\sin(\delta)$$

L = latitude (positive in either hemisphere) $[0^\circ \text{ to } +90^\circ]$

δ = declination angle (negative for Southern Hemisphere) $[-23.45^\circ \text{ to } +23.45^\circ]$

H = hour angle

β = altitude

$$\cos(H_s) = -\tan(L)\tan(\delta)$$

$$\cos(\alpha) = [\sin(\beta)\sin(L) - \sin(\delta)] / [\cos(\beta)\cos(L)]$$

α = azimuth

$$\beta = \arcsin(\cos(L)\cos(\delta)\cos(H) + \sin(L)\sin(\delta))$$

$$\alpha = \arccos\{[\sin(\beta)\sin(L) - \sin(\delta)] / [\cos(\beta)\cos(L)]\}[\text{sgn}(H)]$$

เมื่อมีความเข้าใจในการคำนวณการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์แล้ว จะทำการนำการคำนวณมาอยู่ในเชิงข้อมูลโดยใช้โปรแกรม Matlab เพื่อนำไปสอนระบบโครงข่ายประสาทเทียม โดยจะทำการสอนในโปรแกรม Matlab ด้วย โดยข้อมูล Matlab จะอยู่ในหัวข้อถัดไป

2.13 MATLAB

MATLAB เป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่มีประโยชน์หลายด้านรวมถึงถูกใช้งานจริงจากบริษัทต่างๆ โดยจุดเด่นของโปรแกรมนี้อคือความง่ายในการเขียนโปรแกรมซึ่งทำให้ง่ายต่อการออกแบบและใช้งานและยังสามารถสร้างโปรแกรมต่างๆได้ ในงานวิจัยนี้เราจะใช้ MATHLAB ในการสร้างโปรแกรมควบคุมและสั่งงานอุปกรณ์ในการตามแสงอาทิตย์

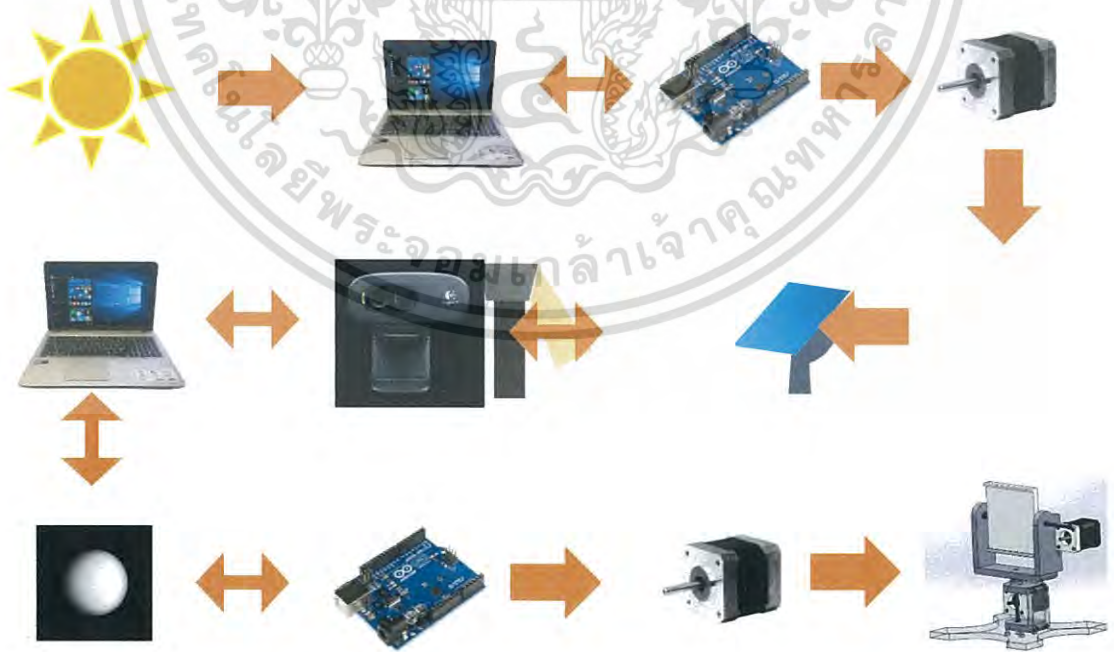


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

เทคนิคการติดตามดวงอาทิตย์แบบสะท้อนแสงโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม

ในปฏิญานิพนธ์ฉบับนี้ได้ศึกษาเกี่ยวกับการติดตามตำแหน่งดวงอาทิตย์แบบสะท้อนแสงโดยใช้เทคนิคสองรูปแบบมาประยุกต์เข้าด้วยกันเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด โดยเทคนิคแรกคือ การติดตามตำแหน่งของดวงอาทิตย์ด้วยโครงข่ายประสาทเทียม ซึ่งจะเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานให้มีความแม่นยำมากยิ่งขึ้นโดยการใช้ข้อมูลที่ได้ไปประมวลผลข้อมูลลงใน Matlab และนำค่าที่ได้ไปประยุกต์ใช้กับโปรแกรมเพื่อสั่งการไปยังระบบต่างๆให้ทำงานได้ และอีกเทคนิคคือการใช้กล้องเว็บแคมในการประมวลผลภาพที่ได้โดยใช้เทคนิคแมชชีนวิชัน (Machine Vision) และประมวลผลภาพ (Image Processing) ซึ่งจะนำกล้องอยู่ในร่มและหันกล้องส่องไปยังทางหอคอยเพื่อหาตำแหน่งของที่แสงอาทิตย์ที่สะท้อนจากกระจก เพื่อที่คอยสั่งการไปที่สเต็ปปีงมอเตอร์ (Stepping Motor) ให้ตัวแผ่นกระจกสะท้อนแสงของดวงอาทิตย์ตกไปยังตำแหน่งที่กำหนดขึ้น ในกรณีที่กล่าวมาจะใช้ต่อเมื่อตำแหน่งที่สั่งการในกรณีแรกเกิดการคาดเคลื่อนแต่ในกรณีที่ไมเกิดการคาดเคลื่อนจะไม่มีการใช้งานของกรณีนี้ ซึ่งในกรณีที่เกิดเมฆบังหรือฝนตกให้ใช้กรณีแรกต่อไป เมื่อนำทั้งสองเทคนิคข้างต้นมาประยุกต์ใช้เข้าด้วยกัน จะทำให้ระบบมีประสิทธิภาพในการติดตามตำแหน่งของดวงอาทิตย์ได้ดีทั้งทางด้าน ความรวดเร็ว และแม่นยำยิ่งขึ้น รูปแบบการทำงานในการส่งและรับข้อมูลเบื้องต้น



รูปที่ 3. 1 แผนผังการทำงานของระบบการติดตามดวงอาทิตย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1 การออกแบบโครงข่ายประสาทเทียม

การออกแบบโครงข่ายประสาทเทียมจะต้องเข้าใจการทำงานของระบบโครงข่ายประสาทเทียมก่อนว่ามีการทำงานได้ที่รูปแบบ และการทำงานแบบไหนที่จะเหมาะสมกับงานที่ทำอยู่ซึ่งในกรณี การทำงานในการติดตามดวงอาทิตย์แบบสะท้อนแสงมีความซับซ้อนที่น้อยทำให้เลือกที่จะใช้เพียงสองชั้นเท่านั้นเพื่อต่อการออกแบบ ต่อมาจะต้องทราบว่าในการทำงานให้ได้ตามที่ต้องการนั้นจะต้องรู้ค่าอินพุตและเอาต์พุตว่ามีตัวไหนที่ส่งผลต่อการทำงานของระบบนี้ ซึ่งในปริญาณิพนธ์ฉบับนี้ได้กำหนดให้มีค่าอินพุตทั้งหมด 5 ตัวและเอาต์พุตทั้งหมด 2 ตัว

3.1.1 อินพุตที่ใช้ในการสร้างโครงข่ายประสาทเทียม

1. เดือน มีทั้งหมด 12 เดือนโดยเรียงอันดับดังนี้

1 = มกราคม, 2 = กุมภาพันธ์, 3 = มีนาคม, 4 = เมษายน, 5 = พฤษภาคม, 6 = มิถุนายน, 7 = กรกฎาคม, 8 = สิงหาคม, 9 = กันยายน, 10 = ตุลาคม, 11 = พฤศจิกายน, 12 = ธันวาคม

2.วันที่ จะกำหนดตามวันที่ที่มีจำนวนแต่ละเดือน จะกำหนดให้ 1 ปี มี 365วัน

3.เวลา จะกำหนดที่วันละ12ชั่วโมงเริ่มที่ 6.00 นาฬิกา ถึง 18.00 นาฬิกา โดยจะเพิ่มทีละ1นาทื

4.ตำแหน่ง Altitude ของดวงอาทิตย์เป็นองศาดีกรี ได้จากการสมการทางการคำนวณมีค่าทุกนาทื

5.ตำแหน่ง Azimuth ของดวงอาทิตย์เป็นองศาดีกรี ได้จากการสมการทางการคำนวณมีค่าทุกนาทื

3.1.2 เอาต์พุตที่ใช้ในการสร้างโครงข่ายประสาทเทียม

1. องศาการหมุนของกระจกที่ทำให้แสงสะท้อนไปยังหอคอยรับแสงในมุมแกนเดียวกับ Altitude

2. องศาการหมุนของกระจกที่ทำให้แสงสะท้อนไปยังหอคอยรับแสงในมุมแกนเดียวกับ Azimuth

3.1.3 การวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อใช้ในการสร้างโครงข่ายประสาทเทียม

เมื่อทราบค่าที่ต้องการในการใส่อินพุต และ เอาต์พุต ต่อมาคือการเลือกจำนวนโนตในชั้นซึ่งจะลดลงมาอีก1ชั้นก่อนเป็นเอาต์พุตซึ่งเลือกอยู่ที่ 12 โนตเพื่อความแม่นยำ และอีกชั้นมีแค่ 11 โนตกำหนดให้การวิเคราะห์ 1 โนตจะทำซ้ำ 100 รอบเมื่อทำเสร็จจึงทำโนตถัดไป โดยการทำการสอนและทดสอบกำหนดให้ทำทั้งหมด 10รอบ และทำการทดลองซ้ำทั้งหมด 2 รอบ เพื่อการเปรียบเทียบค่า ในแต่ละสมการการคำนวณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สงวนสิทธิ์ในทางวิชาการเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.4 การทดลองสมการการคำนวณในรูปแบบต่าง

โดยการทดลองจะมีการทำทั้งหมด 4 รูปแบบ

1. Hard limit transfer function
2. Linear transfer function
3. Log_sigmoid transfer function
4. Tan_sigmoid transfer function

3.1.5 การนำโครงข่ายประสาทเทียมไปประยุกต์ใช้

จากการทำการทดลองขั้นตอนทั้งหมดจะทำให้ได้ค่าความคลาดเคลื่อนของการทำการสอนและทำการทดสอบระบบที่สร้างขึ้นมา ให้ทำการนำค่าความคลาดเคลื่อนของการทำการสอนและทำการทดสอบของทั้ง 4 รูปแบบมาเปรียบเทียบกันเพื่อหาค่าความคลาดเคลื่อนที่ต่ำที่สุดมาใช้ ซึ่งที่นำมาทั้งหมดต้องการที่จะหาค่า weight และ bias ที่ได้มาจากการสุ่ม เพื่อนำมาใช้งานโดยจะต้องทำการสร้างโครงข่ายประสาทเทียมที่คล้ายกับโครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้การสุ่มขึ้นแตกต่างกันที่ ต้องการทำการป้อนค่า weight และ bias ในแต่ละโนดที่มีและทำการป้อนอินพุตเพื่อให้ได้ค่าเอาต์พุตที่ต้องการ หลังจากนั้นให้ทำการนำโครงสร้างที่ได้ออกมาโดยการแปลงไฟล์ใน Matlab ออกมาในรูปแบบที่สามารถนำไปใช้ในโปรแกรมที่ต้องการในปริยญาณิพนธ์ฉบับนี้จะแปลงในรูปแบบ Visual Studio เพื่อนำไปเขียนต่อในรูปแบบโปรแกรมที่ต้องการต่อไป โดยค่า weight และ bias ที่ได้จากการสุ่มจะเป็นไปตามตารางที่ 3.1

error calculate	MeanAbsolute ErrorTrain 1	MeanAbsolute ErrorTrain 2	MeanAbsolute ErrorTest 1	MeanAbsolute ErrorTest 2
Hard limit transfer function	226.616295201 5312	226.616295201 5312	157.085534741 4732e	157.085534741 4732
Linear transfer function	1.45660426992 3314×10^{-08}	1.46409111183 3606×10^{-08}	1.33476618645 4375×10^{-08}	1.34262472082 5788×10^{-08}
Log_sigmoid transfer function	28.2683472934 62856	28.0338000317 91365	28.2245273310 05117	28.0664801065 13968
Tan_sigmoid transfer function	0.18612884190 5403	0.13910958469 6235	0.14923305374 8409	0.09856952246 6778

เอกสารนี้เป็นเอกสารต่างตารางที่ 3.1 ค่าความคลาดเคลื่อนในการสอนและทดสอบในรูปแบบต่างๆ ซึ่งด้านการคำนวณการคำนวณค่า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 3.1 ค่า Mean Absolute Error Train 1 คือค่าการหมุนของกระจกในมุม Azimuth ส่วน Mean Absolute Error Train 2 คือค่าการหมุนของกระจกในมุม Altitude ซึ่งในหัวข้อการ Mean Absolute Error Test ก็จะมีเหมือนกับ Mean Absolute Error Train แต่ต่างกันที่ Mean Absolute Error Train คือค่าความคลาดเคลื่อนในการสอนแต่ Mean Absolute Error Test คือค่าความคลาดเคลื่อนในการทดสอบ โดยจะทำการเลือกค่าที่มีค่าความคลาดเคลื่อนที่น้อยที่สุด คือการทำงานในรูปแบบ Linear transfer function โดยจะนำไปใช้ต่อในขั้นต่างๆที่กล่าวไปในข้างต้น1

3.2 การทำงานของโปรแกรมประมวลผลภาพและการส่งข้อมูลไมโครคอนโทรลเลอร์

การทำงานของโปรแกรมประมวลผลภาพเริ่มจากการกดปุ่ม start เพื่อเริ่มการทำงานของกล้องเมื่อกล้องจับภาพแสงอาทิตย์ได้จะส่งข้อมูลไปยังคอมพิวเตอร์เพื่อประมวลผลภาพ โดยจะเริ่มโดยจะทำการแปลงให้เป็นสีขาวดำโดยใช้ HSL Filter (Hue, Saturation, Lightness) เพื่อให้สีภาพของแสงอาทิตย์ที่ต้องการประมวลผลแยกออกจากสีพื้นหลัง จากนั้นเปลี่ยนภาพเป็นภาพระดับเทาเมื่อเสร็จจะใช้ Blobcounter กับรูปที่ผ่านการทำ HSL Filter นับวัตถุที่เป็นสีขาวโดยจะนับเพียงจุดที่ใหญ่ที่สุดเพียงจุดเดียว แล้วทำการคำนวณหาพิกัดของแสงอาทิตย์ที่กล้องรับภาพได้ จากนั้นจะส่งผลลัพธ์ไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อสั่งให้สเต็ปมอเตอร์ หมุน



รูปที่ 3.2 ลำดับการทำงานของโปรแกรมประมวลผลภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.1 การประมวลผลภาพแสงอาทิตย์ที่สะท้อนสู่หอคอยรับแสง

3.2.1.1 การเปลี่ยนภาพที่ได้รับเป็นภาพระดับเทา (Gray Scale)

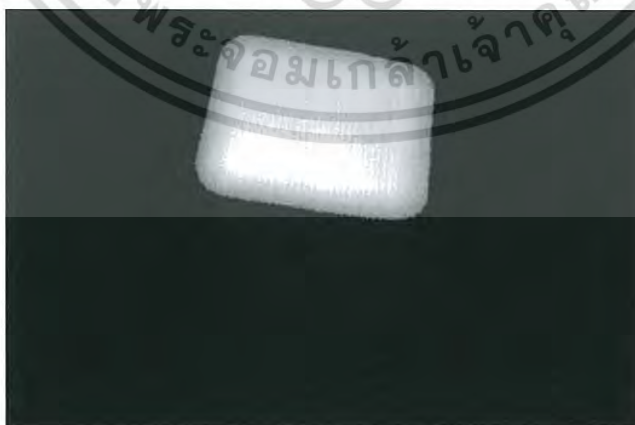
คือการนำภาพที่รับจากกล้องเว็บแคมมาแปลงให้อยู่ในรูปแบบภาพระดับเทา (Gray Scale) ซึ่งจะช่วยให้ภาพการตกกระทบของแสงอาทิตย์ที่ได้รับมีความเด่นชัดกับสีของพื้นหลังโดยภาพของแสงที่ตกกระทบจะเป็นสีขาว ซึ่งจะตัด กับสีของพื้นหลังที่เป็นสีเทา



รูปที่ 3.3 ภาพระดับเทา (Gray scale)

3.2.1.2 การใช้ HSL Filter

เป็นการประมวลผลภาพโดยใช้ระบบ HSL Filter (Hue, Saturation, Lightness) โดยหลักการคือ จะกรองหาสีที่ต้องการ โดยค่า HSL ที่เหมาะสม และจะเปลี่ยนสีอื่นให้กลายเป็นสีดำ ซึ่งจะทำให้เราเห็นเฉพาะพื้นที่สีที่เราต้องการ(ภาพของแสงที่ตกกระทบ) โดยมีพื้นหลังเป็นสีดำจากนั้นใช้ Blobcounter เพื่อหาระยะจากจุดศูนย์ที่เรากำหนดไว้

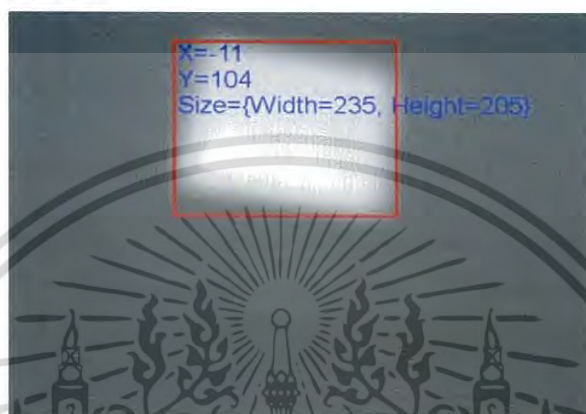


รูปที่ 3.4 การใช้ HSL Filter (Hue, Saturation, Lightness) หลังจากผ่านการเปลี่ยนภาพเป็นภาพระดับเทา (Gray Scale)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.1.3 Blobcounter

การใช้ Blobcounter หลังจากผ่านการทำ HSL Filter จะเป็นการนับวัตถุที่แบ่งแยกจากพื้นหลังสีดำ โดยจะทำการตั้งค่าให้ับจุดที่มีพื้นที่มากที่สุดจุดเดียวเพื่อใช้เป็นจุดที่จะพิจารณาแล้วตีกรอบรอบจุดๆนั้น



รูปที่ 3.5 การใช้ Blobcounter และตีกรอบจุดที่พิจารณา

3.2.1.4 ใช้การประมวลผลภาพเพื่อหาจุดศูนย์กลางของแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบหอคอยรับแสง

เพื่อหาจุดศูนย์กลางของแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบจะทำได้โดยใช้ Blobcounter เพื่อให้จุดที่พิจารณาเป็นจุดเดียว แล้วตีกรอบจุดที่จะทำการพิจารณานั้น โดยจุดศูนย์กลางของภาพจะสามารถหาได้จาก

$$X = object.X + \frac{object.Width}{2} - \frac{Video.Width}{2} \quad (3.1)$$

$$Y = \frac{Video.Height}{2} - \left(object.Y + \frac{object.Height}{2} \right) \quad (3.2)$$

โดย

X คือ พิกัดแกน X ของจุดศูนย์กลางของภาพที่พิจารณา

Y คือ พิกัดแกน Y ของจุดศูนย์กลางของภาพที่พิจารณา

Object.X คือ ค่าพิกัด X ของมุมบนซ้ายของกรอบสี่เหลี่ยมล้อมรอบจุดที่พิจารณา

Object.Y คือ ค่าพิกัด Y ของมุมบนซ้ายของกรอบสี่เหลี่ยมล้อมรอบจุดที่พิจารณา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Object.Width คือ ค่าความกว้างของกรอบสี่เหลี่ยมล้อมรอบจุดที่พิจารณา

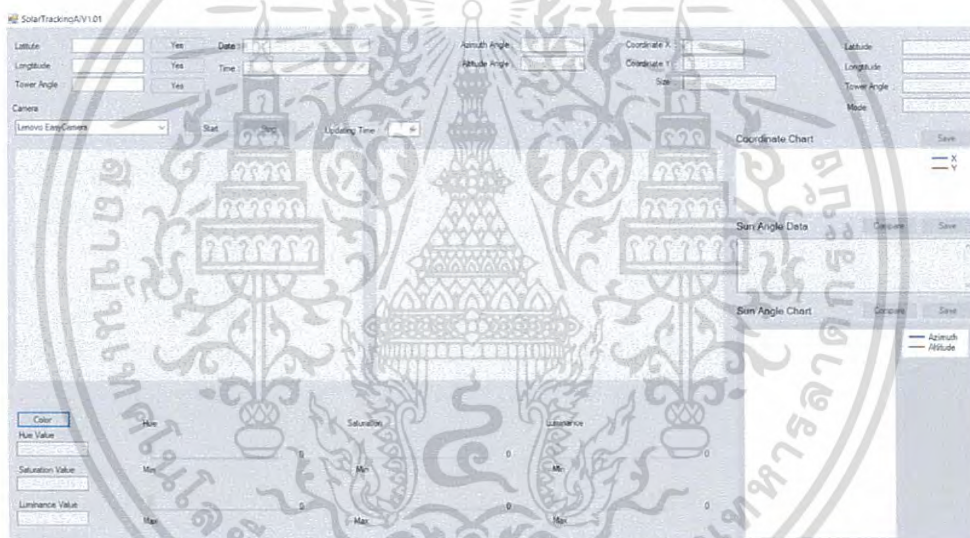
Object.Height คือ ค่าความสูงของกรอบสี่เหลี่ยมล้อมรอบจุดที่พิจารณา

Video.Width คือ ค่าความกว้างของภาพที่รับเข้ามาผ่านกล้องเว็บแคม

Video.Height คือ ค่าความสูงของภาพที่รับเข้ามาผ่านกล้องเว็บแคม

3.3 โปรแกรมประมวลผลภาพ

ในปริณิญาณิพนธ์เล่มนี้ จะใช้โปรแกรม Visual Studio เพื่อที่จะสร้างโปรแกรมสำหรับประมวลผลภาพที่แสงอาทิตย์ตกกระทบบนหอคอยรับแสง โดยมีหน้าต่างการทำงานของโปรแกรมดังรูปที่ 3.33

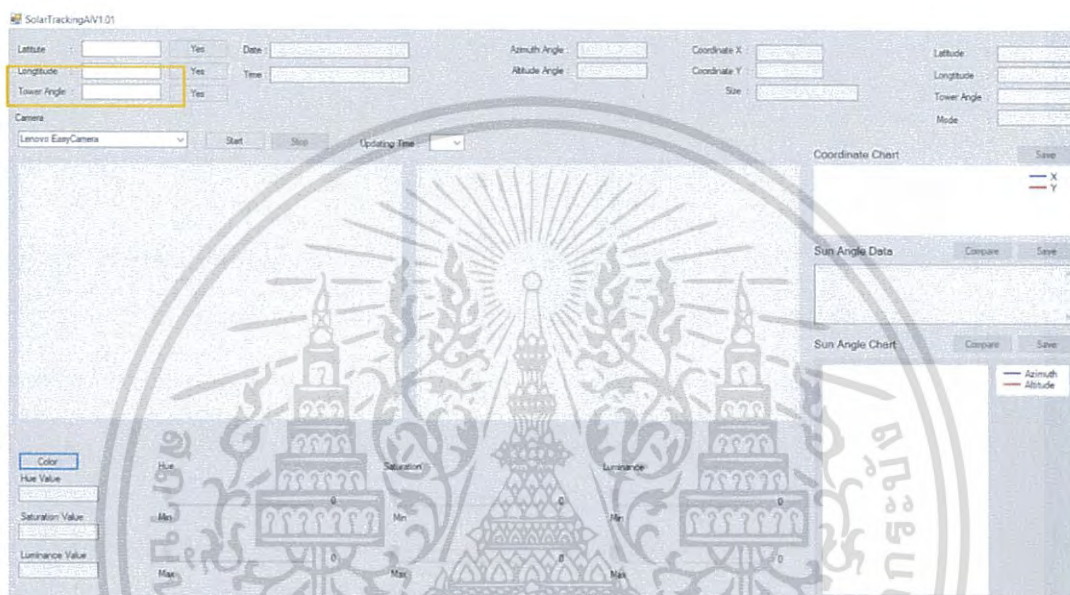


รูปที่ 3.6 หน้าต่างการทำงานของโปรแกรมประมวลผลภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.1 การเลือกใช้กล้อง

เนื่องจากกล้องที่เชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์อาจจะมีมากกว่า 1 ตัว โดยจะสามารถเลือกกล้องเพื่อที่จะรับภาพมายังโปรแกรมได้ เพื่อจะได้สะดวกในการทำงานและไม่เกิดความสับสน



รูปที่ 3.7 การเลือกใช้กล้อง

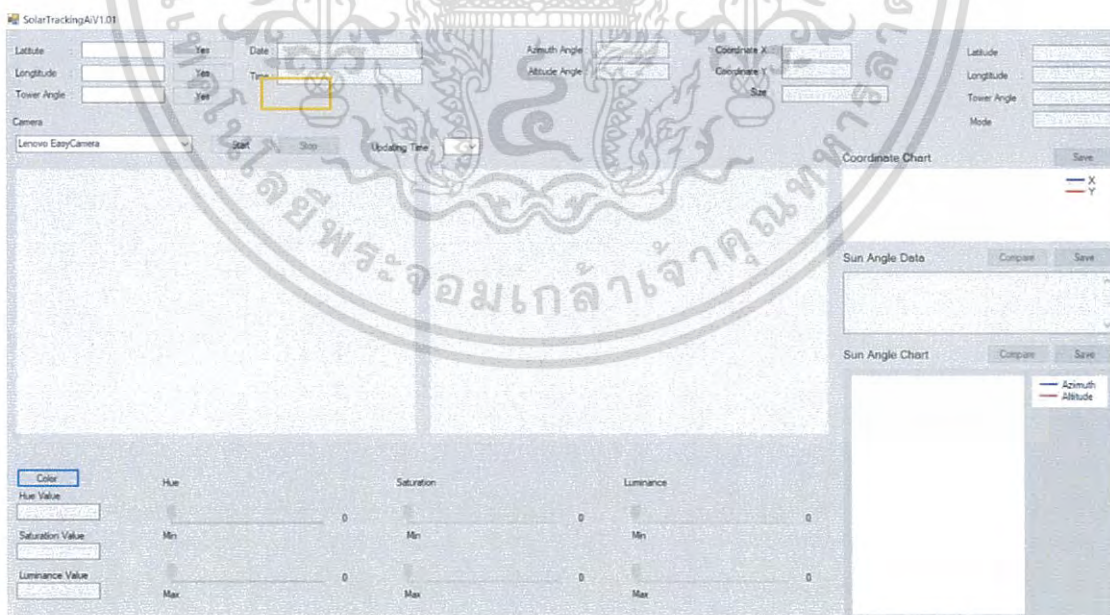
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2 ตั้งเริ่มและหยุดการทำงานของกล้อง

เมื่อสามารถเลือกกล้องที่ต้องการได้แล้ว จะสามารถสั่งให้โปรแกรมเริ่มรับภาพจากกล้องที่เลือกได้โดยการ กดปุ่ม start และหยุดการทำงานของกล้องที่เลือกโดยการกดปุ่ม stop ดังรูป



รูปที่ 3.8 ตำแหน่งของปุ่ม start



รูปที่ 3.9 ตำแหน่งของปุ่ม stop

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.3 ส่วนแสดงค่าพิกัดแกน X และ แกน Y

คือส่วนที่จะนำค่าของพิกัดวัตถุที่ทำการพิจารณามาแสดงผลโดย พิกัดจุดศูนย์กลางของภาพที่จุด $x=0$ และ $y=0$

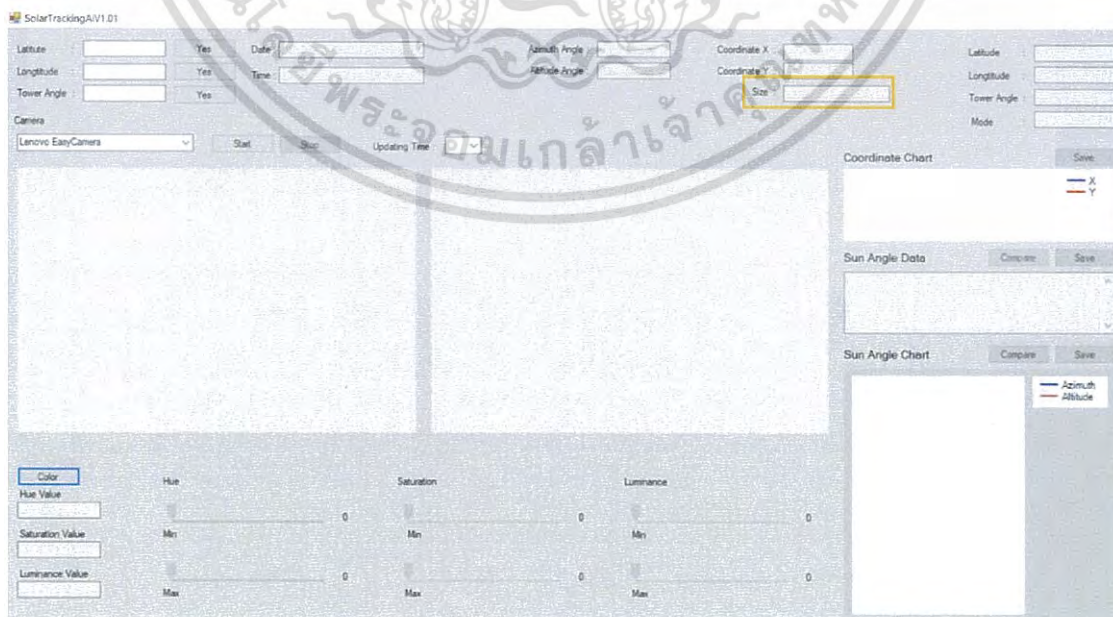


รูปที่ 3.10 ตำแหน่งกรอบแสดงผลพิกัด แกน x และ แกน y

3.3.4 ส่วนแสดงขนาดของกรอบสี่เหลี่ยมที่ล้อมจุดพิจารณา

เป็นส่วนที่นำค่าความกว้างและความยาวของรูปสี่เหลี่ยมที่ล้อมจุดที่จะพิจารณา

แสดง



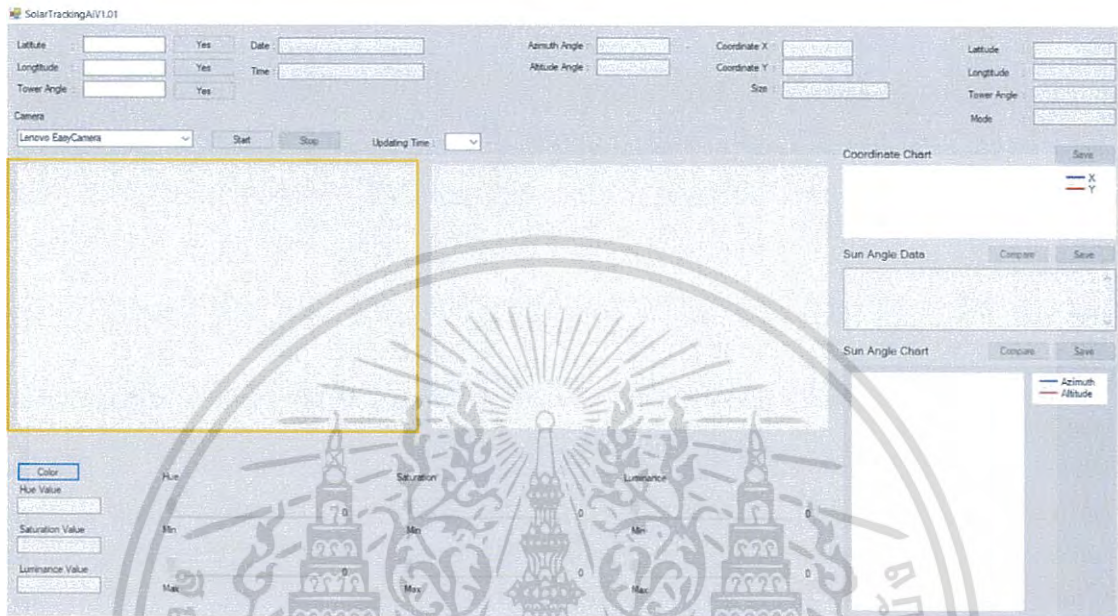
รูปที่ 3.11 ตำแหน่งกรอบแสดงขนาดรูปสี่เหลี่ยมล้อมจุดพิจารณา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

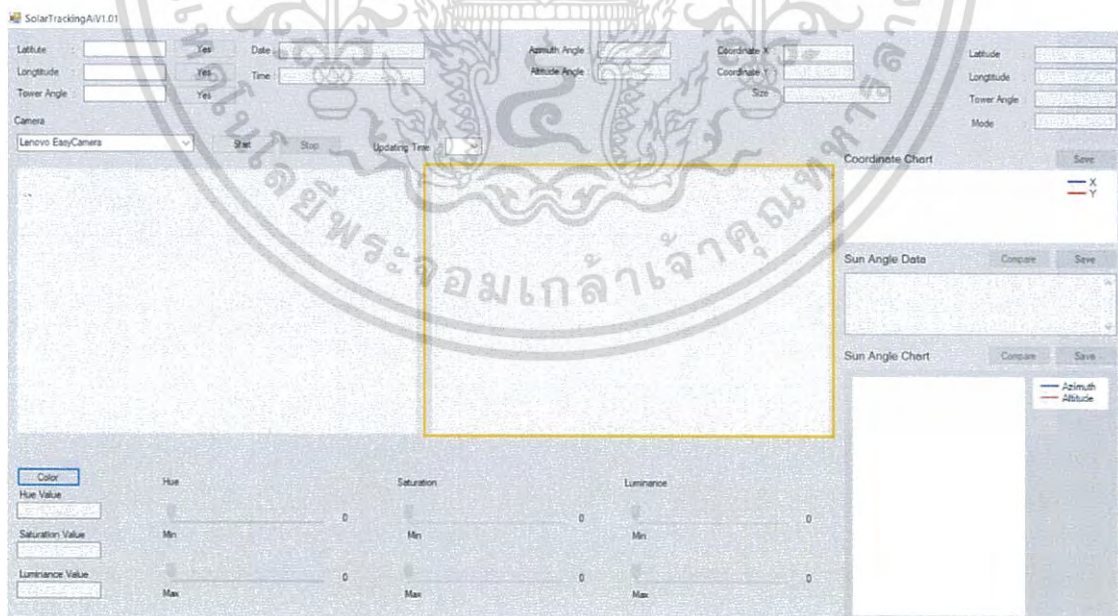
3.3.5 ส่วนแสดงผลภาพที่รับจากกล้อง

เป็นส่วนที่นำภาพที่ได้รับจากกล้องมาแสดงผล และนำภาพพระกับเทามาแสดงผล

ควบคู่ด้วย



รูปที่ 3.12 กรอบแสดงผลภาพจากกล้อง

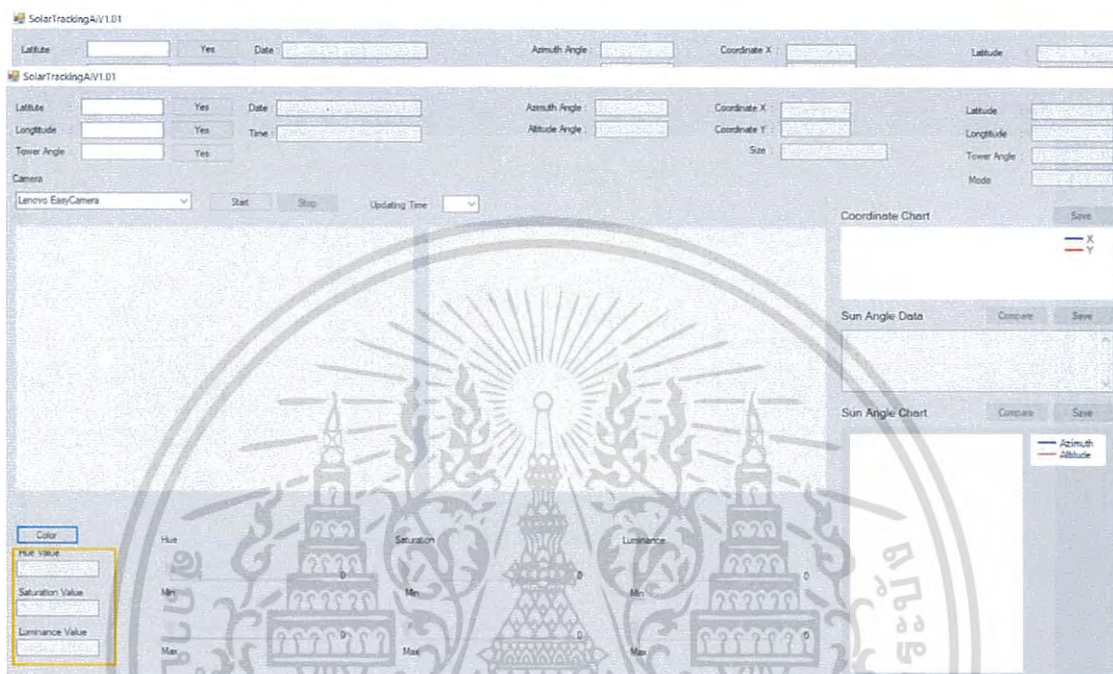


รูปที่ 3.13 ส่วนแสดงผลภาพพระดับเทา (Gray Scale)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.6 ส่วนการปรับค่า HSL Filter และแสดงค่า HSL Filter

เป็นส่วนที่ใช้สำหรับปรับค่า HSL Filter เพื่อให้ได้สีที่ต้องการจะตรวจสอบและเมื่อได้สีที่ต้องการแล้ว ส่วนนี้จะแสดงค่า HSL Filter ที่เราต้องการตรวจสอบว่ามีค่าเท่าไร



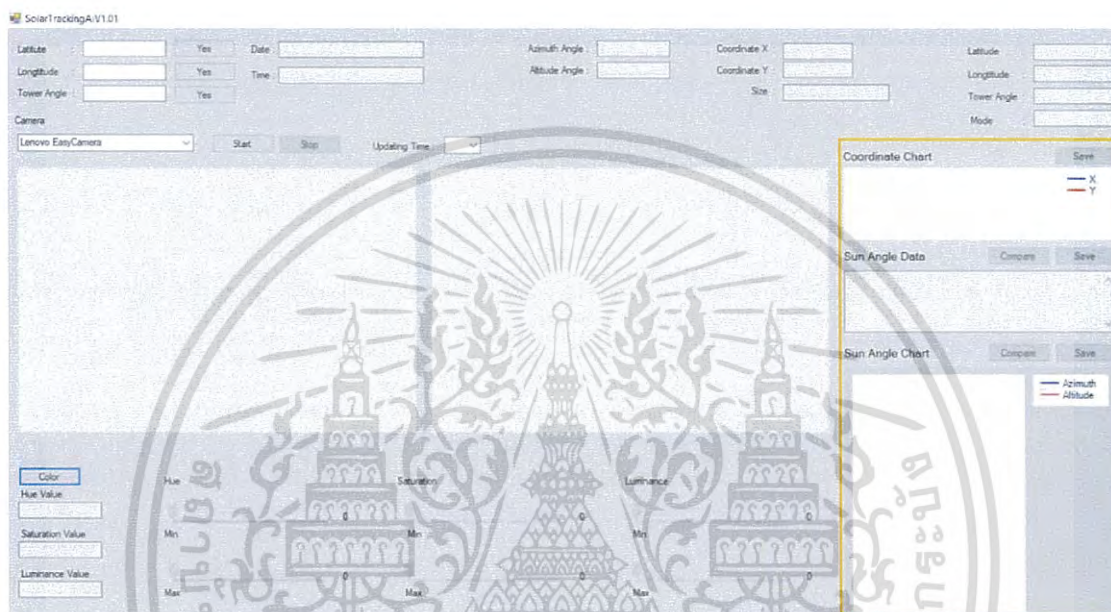
รูปที่ 3.14 แถบปรับค่า HSL Filter

รูปที่ 3.15 ส่วนแสดงค่าสีที่เราต้องการตรวจสอบ

3.3.7 ส่วนการ save ข้อมูลและการแสดงผลย้อนหลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยได้แบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ Coordinate Data เป็นส่วนที่จะแสดงพิกัดของแสง จากจุดศูนย์กลางของกราฟ Sun Angle Data เป็นส่วนที่จะแสดงค่า มุม Azimuth และ มุม Altitude ของ สเต็ปปีงมอเตอร์ เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับค่าจริง ด้วยปุ่ม Compare ในส่วนสุดท้าย จะนำค่าที่ได้ทั้งสองมาเปรียบเทียบแล้วพล็อตกราฟ

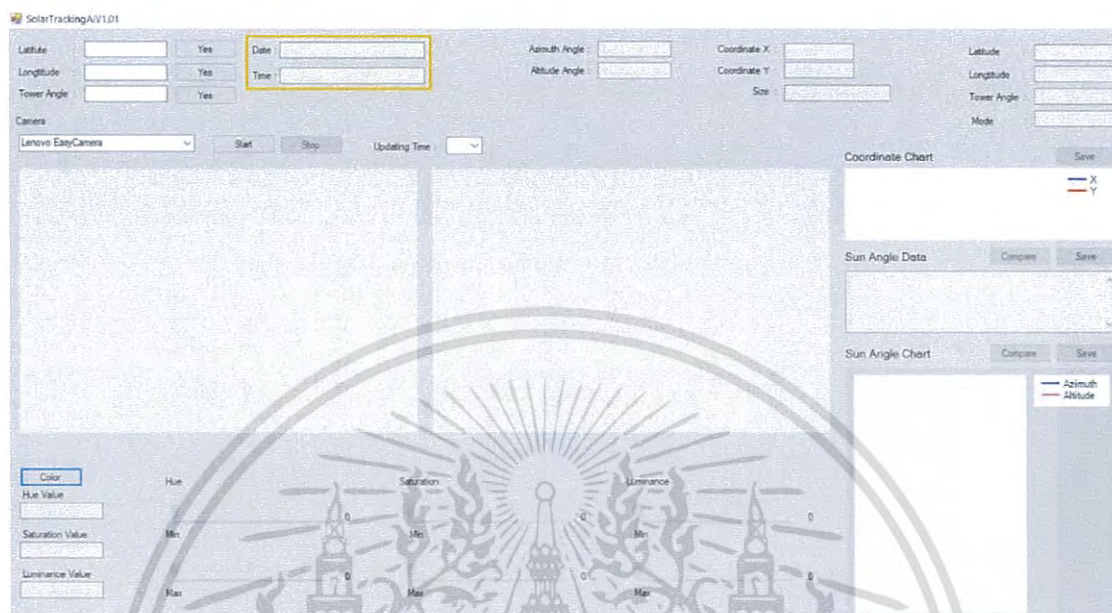


รูปที่ 3.16 แถบส่วยแสดงผลย้อนหลัง

3.3.8 ส่วนการปรับค่าเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นส่วนที่ทำการตั้งค่าเวลาในการตรวจสอบตำแหน่งของดวงอาทิตย์โดยมีคาบเวลา
อยู่ที่ 4, 6, 10, 12 นาที เมื่อครบคาบเวลาที่ตั้งโปรแกรมจะทำการตรวจหาตำแหน่งและส่งค่าให้
ไมโครคอนโทรลเลอร์



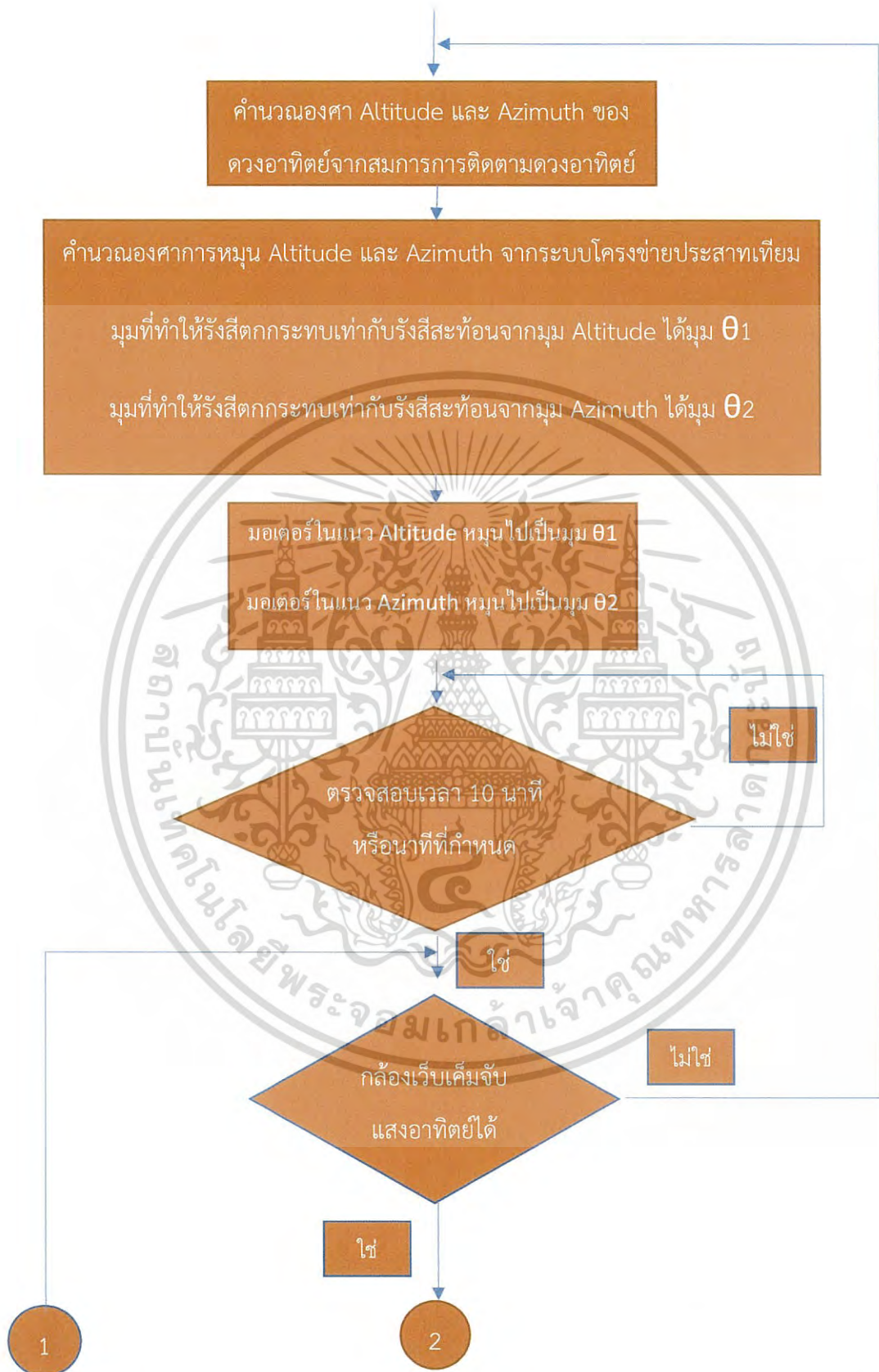
รูปที่ 3.17 แถบกำหนดคาบเวลาในการตรวจจับ

3.4 Flow Chart การทำงานของโปรแกรม

หลังผ่านการประมวลผลภาพแล้ว ผลที่ได้คือ ค่าพิกัดค่าหนึ่ง ซึ่งจะถูกส่งต่อไปยัง
ไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยจะนำค่าพิกัดที่ได้รับไปควบคุมการทำงานของสเต็ปมอเตอร์เพื่อจะสะท้อน
แสงอาทิตย์ไปยังหอคอยรับแสง

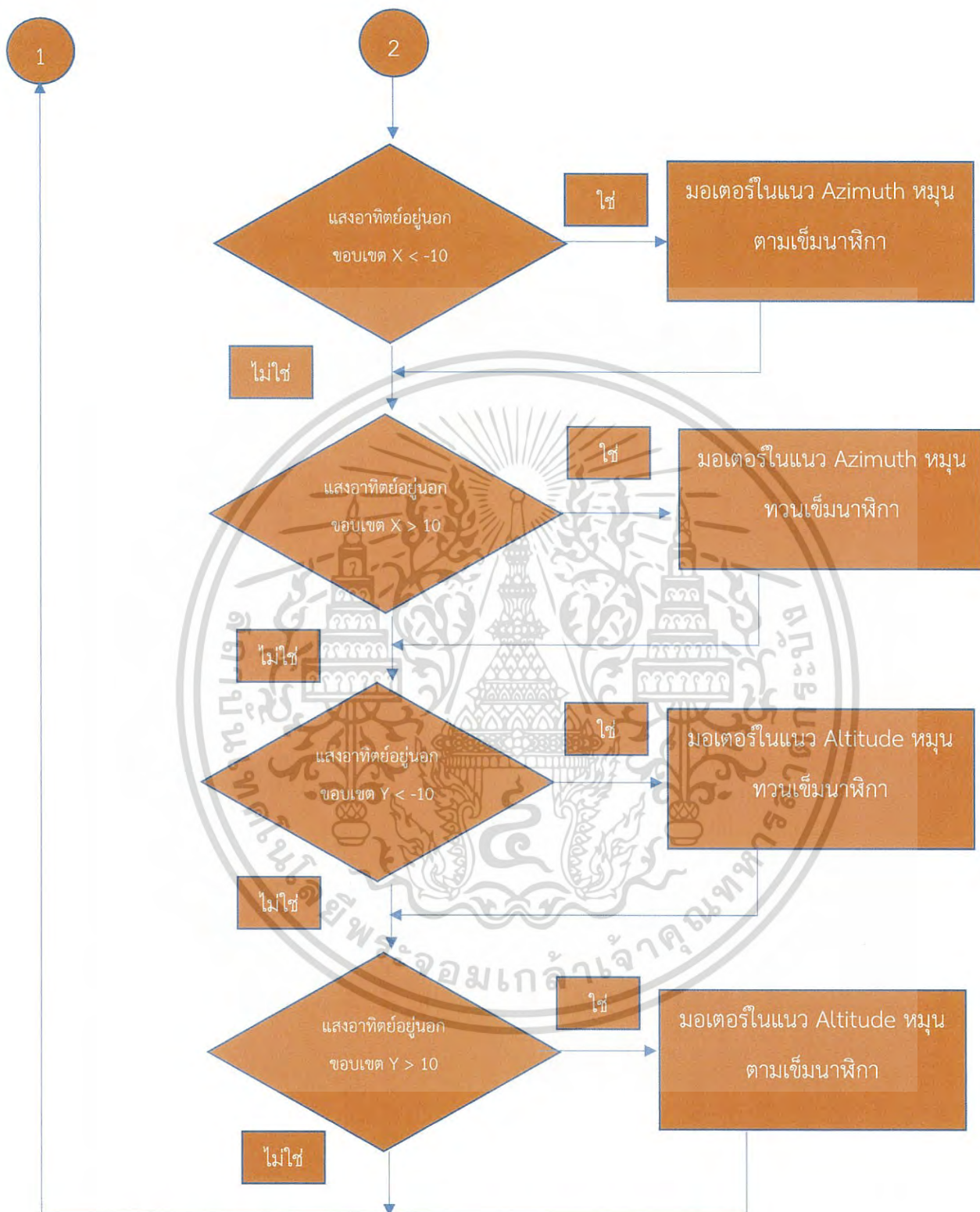
เริ่ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.18 แผนผังการทำงานของระบบสะท้อนแสงอาทิตย์โดยใช้ระบบโครงข่ายประสาทเทียม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.19 แผนผังการทำงานของระบบสะท้อนแสงอาทิตย์โดยใช้ระบบโครงข่ายประสาทเทียม (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 การส่งผลลัพธ์ออกจากโปรแกรมประมวลผลภาพ

การส่งผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรมประมวลผลภาพไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อควบคุมสแต็ปปีงมอเตอร์นั้น แบ่งออกเป็น 2 กรณี คือ กรณีที่รับแสงอาทิตย์ได้ และ กรณีที่ไม่สามารถรับแสงอาทิตย์ได้

เมื่อแสงที่ตกกระทบบนอยู่นอกขอบเขตที่ทำการตั้งค่าไว้ แรอมจะทำการส่งข้อมูลเป็นสัญลักษณ์ที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น เพื่อบ่งบอกว่าไมโครคอนโทรลเลอร์ควรสั่งสแต็ปปีงมอเตอร์ตัวไหนให้หมุนและหมุนในทางทิศใด

ในการทดลองจะจำลองโดยใช้ไฟฉายแทนแสงอาทิตย์โดยจะส่องไปยังกระดาษที่อยู่บนหอคอยรับแสงและทำการสังเกตค่าของโปรแกรมประมวลผลภาพเมื่อวัตถุอยู่นอกเหนือขอบเขตที่กำหนดไว้ โดยจะใช้โปรแกรม HyperTerminal เพื่อดูค่าที่ส่งออกมาจากโปรแกรมประมวลผลภาพ



บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

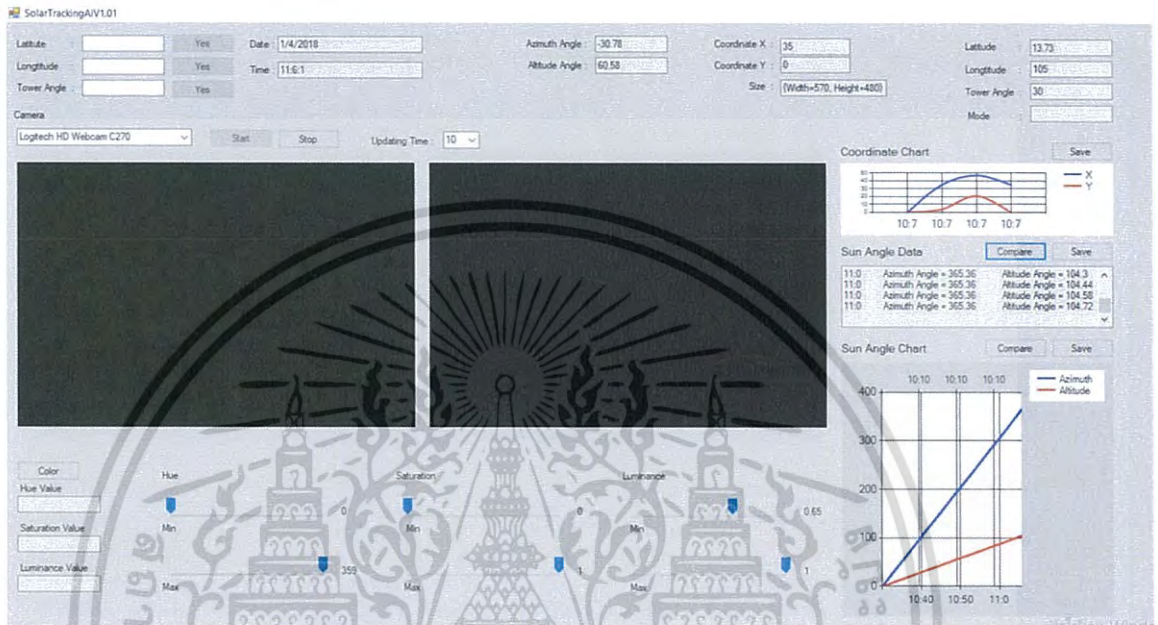
ในการทดลองระบบติดตามดวงอาทิตย์แบบสะท้อนแสงสองแกนนั้นได้ออกแบบการทดลองให้ทดลองในพื้นที่ ที่เป็นลานกว้างโดยจะทำการสะท้อนแสงอาทิตย์จากกระจกสะท้อนแสงไปยัง Receiver ที่มีความสูง 160 cm จากพื้น ในการทดลองนั้นได้แบ่งช่วงเวลาในการทดลองออกเป็น 6 ครั้ง ครั้งละ 1 ชั่วโมง โดยโปรแกรมได้ถูกกำหนดให้ทำการใช้กล้องตรวจสอบว่าแสงอาทิตย์อยู่บริเวณ Receiver หรือไม่ ในทุกๆ 10 นาที ถ้าในระหว่างการทดลองเกิดการขาดช่วงของแสงอาทิตย์ ปัญญาประดิษฐ์จะทำการประมาณค่าตำแหน่งของแสงอาทิตย์จากสมการการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ เพื่อให้เมื่อแสงอาทิตย์กลับมาจะอยู่ในตำแหน่งใกล้เคียงกับ Receiver ในการทำการทดลองในแต่ละครั้งจะทำไม่เกิน 1 ชั่วโมงเนื่องจากความร้อนของสภาพอากาศส่งผลต่ออุปกรณ์



รูปที่ 4.1 ตัวจำลอง Receiver

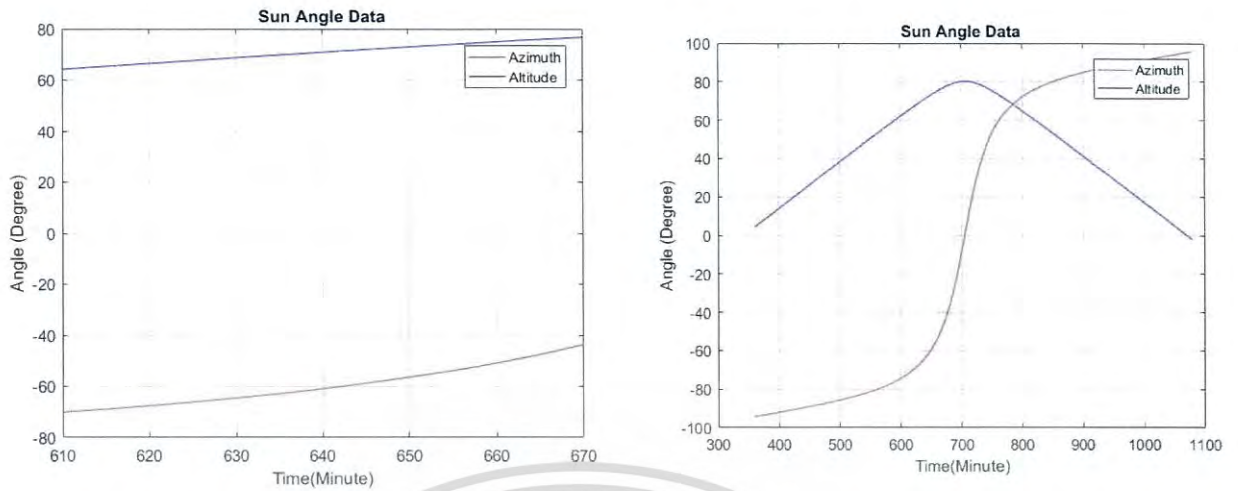
4.1 การทดลองครั้งที่ 1 ณ วันที่ 1/4/61 ตั้งแต่เวลา 10.10 - 11.10 น.

*การทดลองครั้งนี้ทำในสภาพอากาศในช่วงที่มีเมฆบังแสงอาทิตย์เป็นการจำลองการทำงานในรูปแบบที่สองโดยใช้ปัญญาประดิษฐ์ประมาณค่าตำแหน่งของดวงอาทิตย์ขณะที่ไม่มีแสง



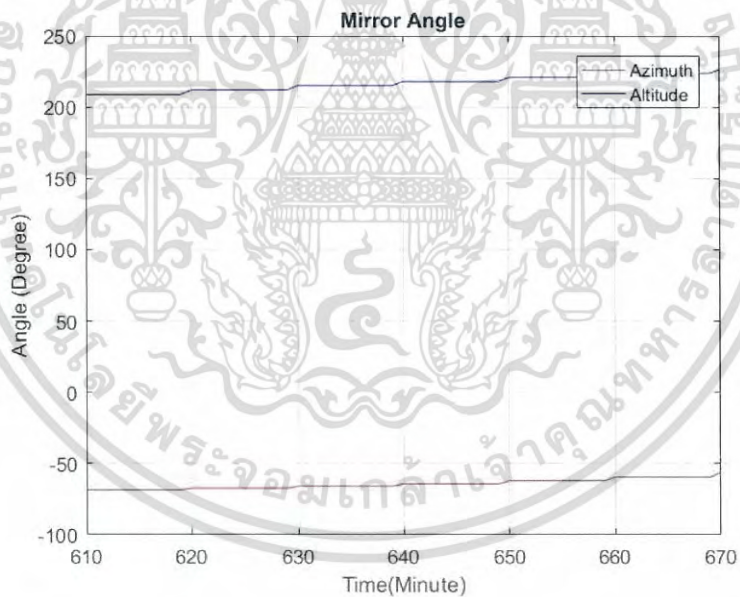
รูปที่ 4.2 หน้าต่างโปรแกรมขณะที่ไม่มีแสง ณ เวลา 11.06 น.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 กราฟที่ได้จากโปรแกรมโดย ภาพซ้ายจากการทดลองและภาพขวา จากการคำนวณ

ณ เวลา 10.10 – 11.10 น.



รูปที่ 4.4 มุมของกระจกสะท้อน ณ เวลา 10.10 – 11.10 น.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

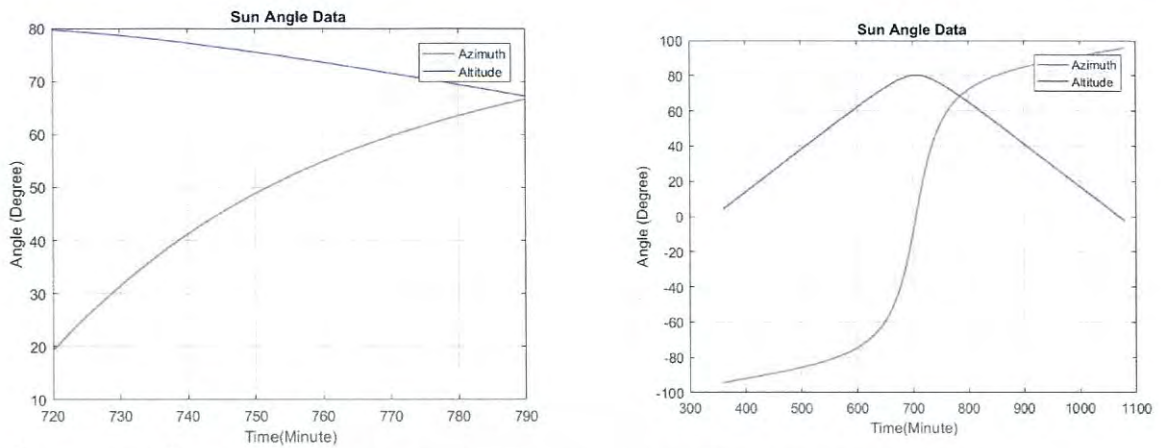
4.2 การทดลองครั้งที่ 2 ณ วันที่ 1/4/61 ตั้งแต่เวลา 12.00 – 13.10 น.

*การทดลองครั้งนี้ทำในสภาพอากาศในช่วงที่มีเมฆบังแสงอาทิตย์เป็นการจำลองการทำงานในรูปแบบที่สองโดยใช้ปัญญาประดิษฐ์ประมาณค่าตำแหน่งของดวงอาทิตย์ขณะที่ไม่มีแสง



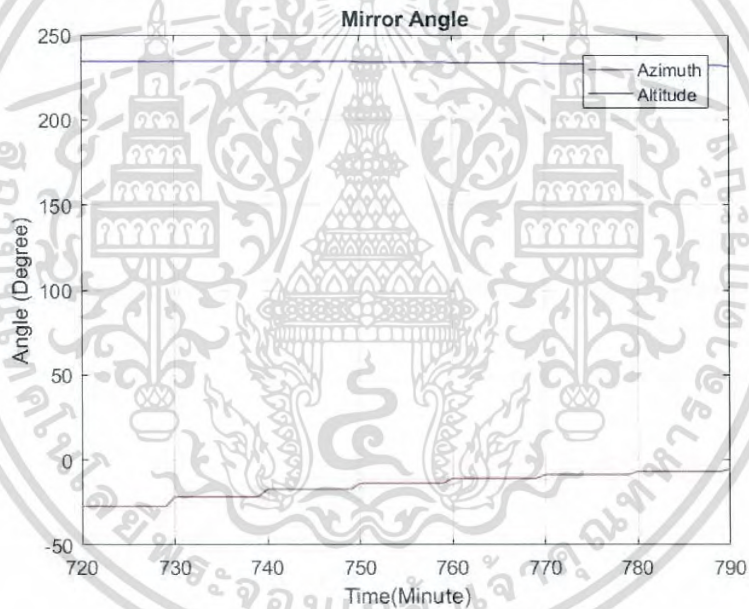
รูปที่ 4.5 หน้าต่างโปรแกรมขณะที่ไม่มีแสง ณ เวลา 13.00 น.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4. 6 กราฟที่ได้จากโปรแกรมโดย ภาพซ้ายจากการทดลองและภาพขวา จากการคำนวณ

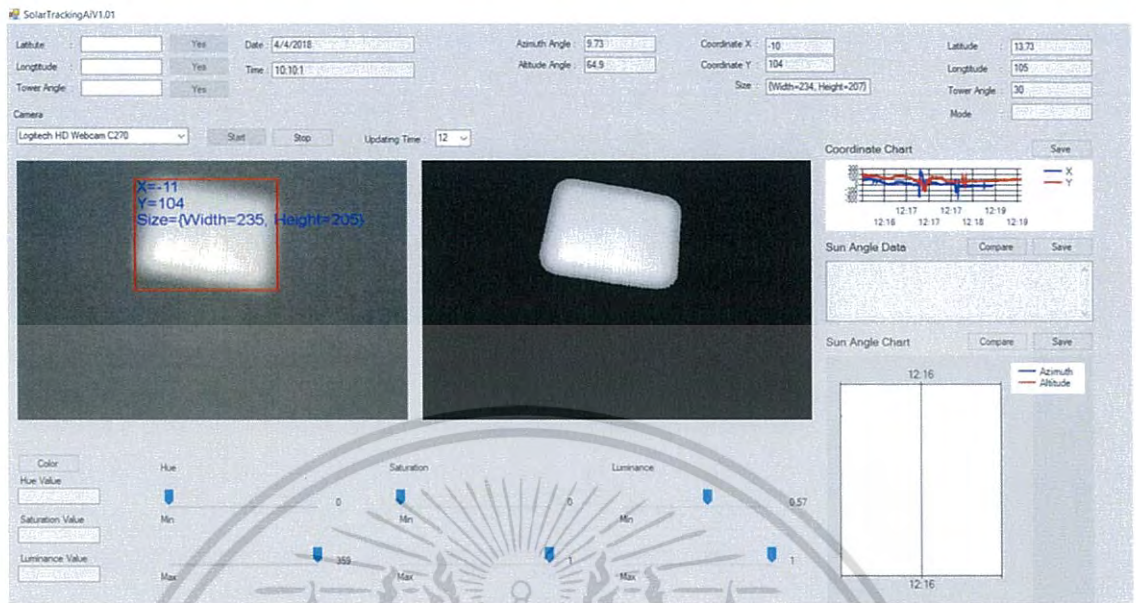
ณ เวลา 12.00 – 13.10 น.



รูปที่ 4. 7 มุมของกระจกสะท้อน ณ เวลา 12.00 – 13.10 น.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การทดลองครั้งที่ 3 ณ วันที่ 4/4/61 ตั้งแต่เวลา 10.10 – 11.10 น.



รูปที่ 4.8 แสงอาทิตย์ที่ตกสะท้อน ณ เวลา 10.10 น.

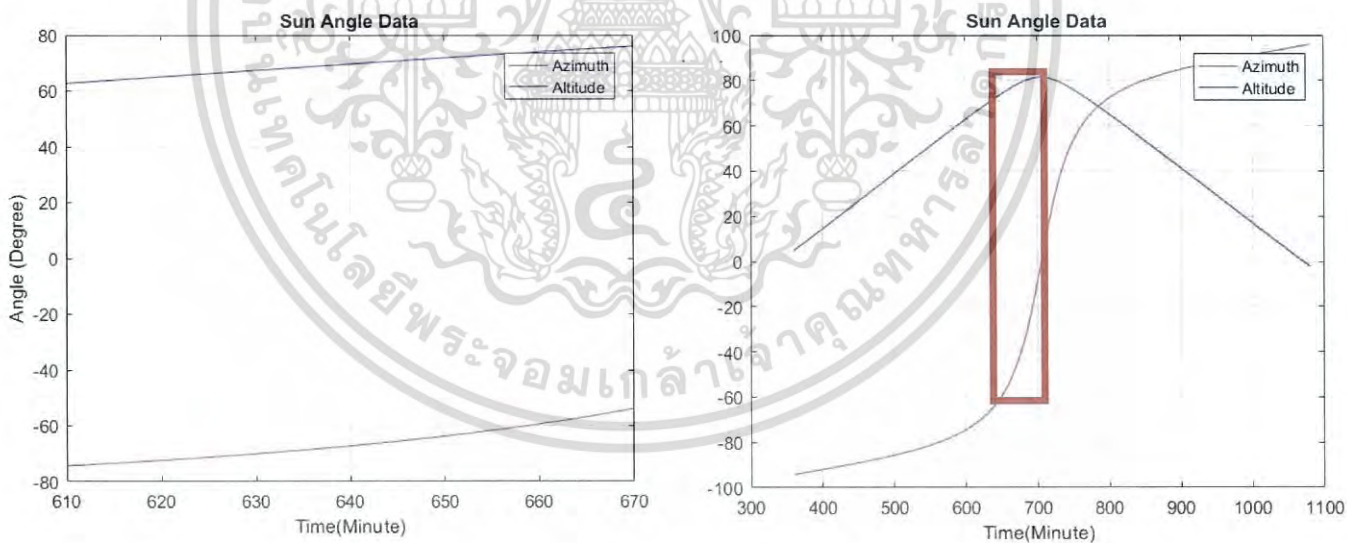


รูปที่ 4.9 แสงอาทิตย์ที่ตกสะท้อน ณ เวลา 10.11 น.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลอง ณ วันที่ 4/4/61 ตั้งแต่เวลา 10.10 – 11.10 น.

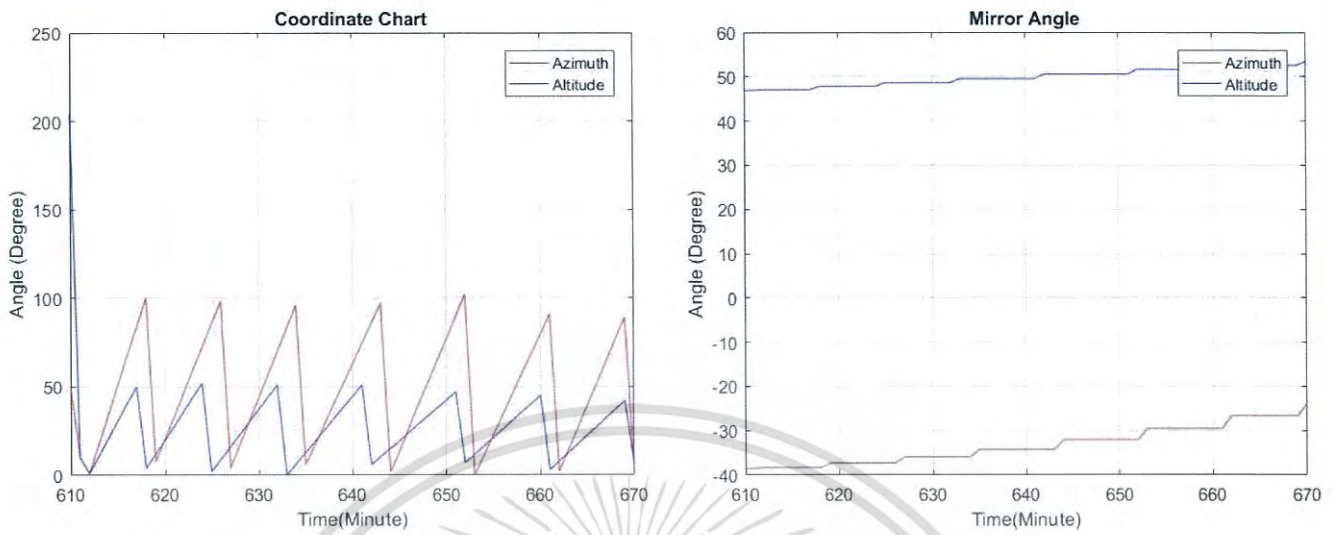
Time	Experiment		Calculation	
	Azimuth	Altitude	Azimuth	Altitude
10.10	-77.11	63.635	-74.37	62.65
10.20	-74.28	66.03	-72.36	64.97
10.30	-70.61	68.355	-69.99	67.27
10.40	-66.10	70.61	-67.16	69.53
10.50	-60.75	72.795	-63.69	71.74
11.00	-54.56	74.91	-59.35	73.88
11.10	-47.53	76.95	-53.80	75.91



รูปที่ 4.10 กราฟที่ได้จากโปรแกรมโดย ภาพซ้ายจากการทดลองและภาพขวา จากการคำนวณ

ณ เวลา 10.10 – 11.10 น.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.11 ตำแหน่งแสงอาทิตย์ และ มุมของกระจกสะท้อน ณ เวลา 10.10 – 11.10 น.

4.4 การทดลองครั้งที่ 4 ณ วันที่ 4/4/61 ตั้งแต่เวลา 12.20 – 13.20 น.



รูปที่ 4.12 แสงอาทิตย์ที่ตกสะท้อน ณ เวลา 12.20 น.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

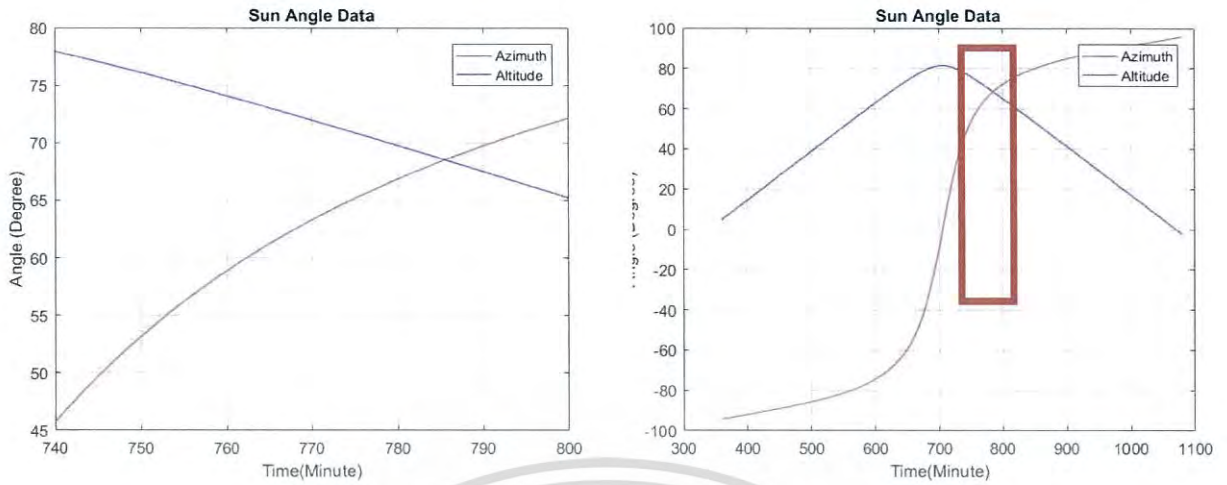


รูปที่ 4.13 แสงอาทิตย์ที่ตกสะท้อน ณ เวลา 12.21 น.

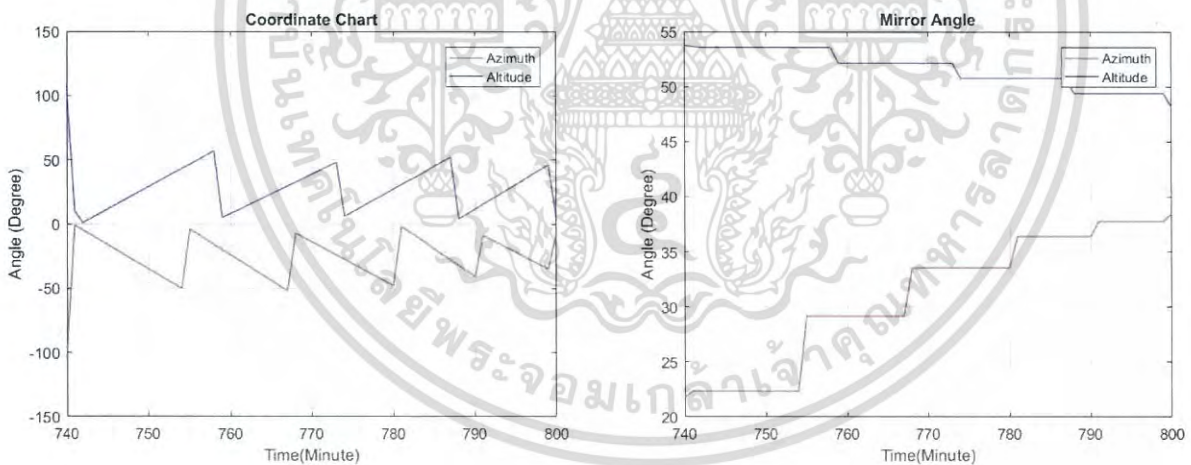
ตารางที่ 4.2 ผลการทดลอง ณ วันที่ 4/4/61 ตั้งแต่เวลา 12.20 – 13.20 น.

Time	Experiment		Calculation	
	Azimuth	Altitude	Azimuth	Altitude
12.20	43.52	77.45	45.71	77.95
12.30	54.00	75.80	53.16	76.10
12.40	62.12	74.06	58.86	74.09
12.50	68.18	72.24	63.30	71.96
13.00	72.48	70.35	66.85	69.76
13.10	75.32	68.37	69.74	67.50
13.20	75.73	67.97	70.25	67.04

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



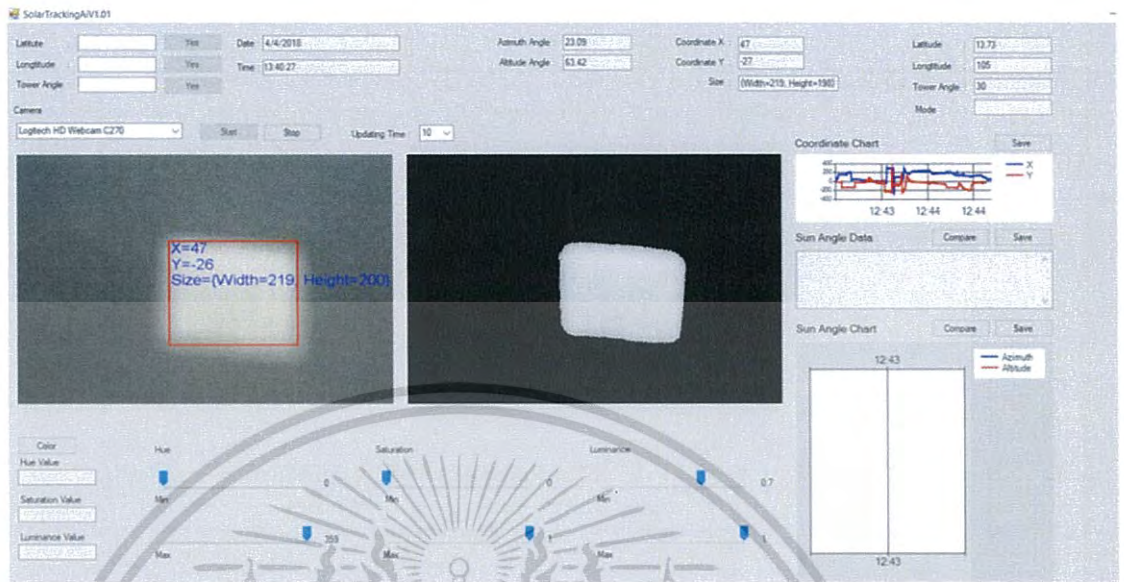
รูปที่ 4.14 กราฟที่ได้จากโปรแกรมโดย ภาพซ้ายจากการทดลองและภาพขวา จากการคำนวณ
ณ เวลา 12.20 – 13.20 น.



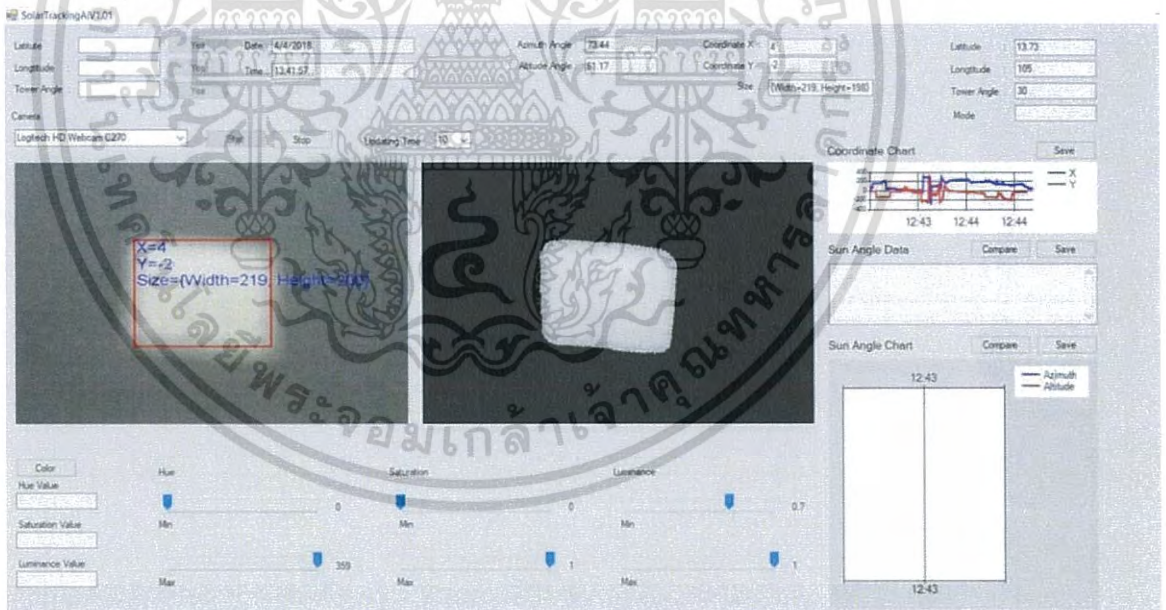
รูปที่ 4.15 ตำแหน่งแสงอาทิตย์ และ มุมของกระจกสะท้อน ณ เวลา 12.20 – 13.20 น.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 การทดลองครั้งที่ 5 ณ วันที่ 4/4/61 ตั้งแต่เวลา 13.40 – 14.41 น.



รูปที่ 4.16 แสงอาทิตย์ที่ตกสะท้อน ณ เวลา 13.40 น.

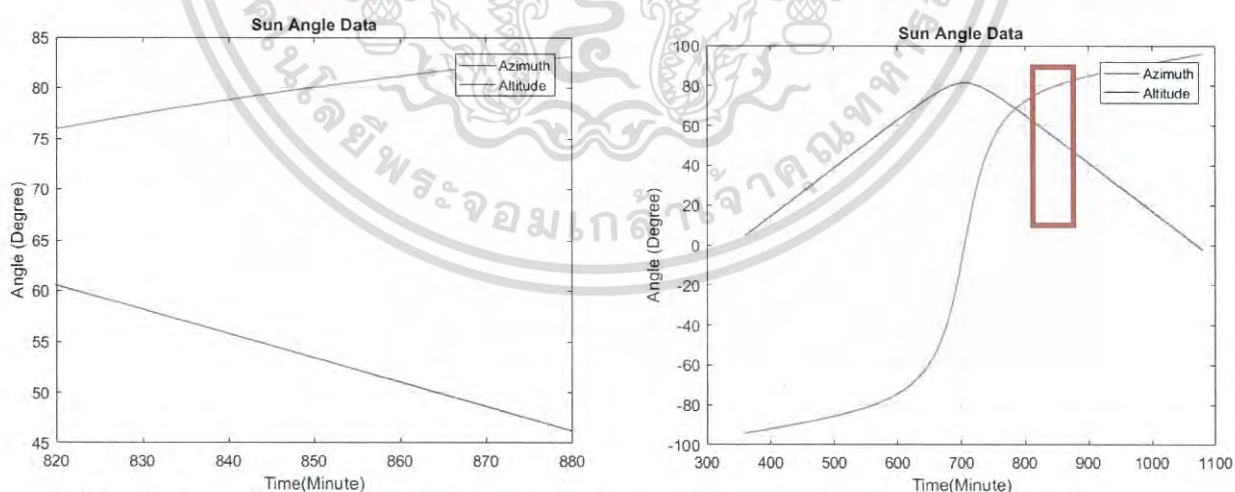


รูปที่ 4.17 แสงอาทิตย์ที่ตกสะท้อน ณ เวลา 13.41 น.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 ผลการทดลอง ณ วันที่ 4/4/61 ตั้งแต่เวลา 13.40 – 14.41 น.

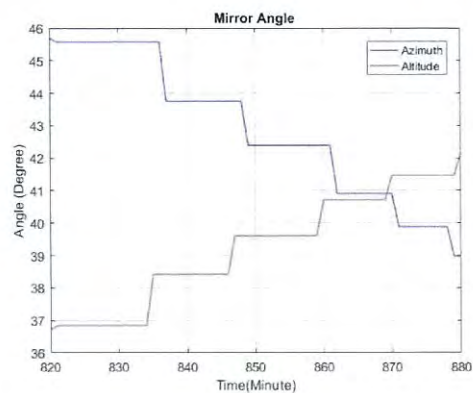
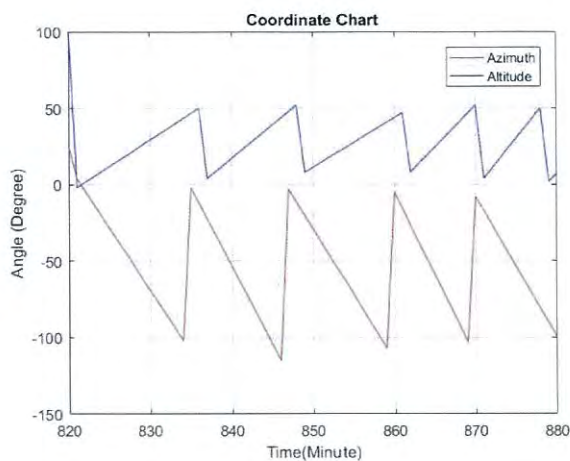
Time	Experiment		Calculation	
	Azimuth	Altitude	Azimuth	Altitude
13.40	73.44	61.39	75.94	60.53
13.50	75.77	59.10	77.47	58.17
14.00	77.87	56.82	78.83	55.79
14.10	79.75	54.54	80.05	53.41
14.20	81.42	52.26	81.16	51.01
14.30	82.92	49.98	82.17	48.61
14.40	84.25	47.71	83.10	46.20



รูปที่ 4.18 กราฟที่ได้จากโปรแกรมโดย ภาพซ้ายจากการทดลองและภาพขวา จากการคำนวณ

ณ เวลา 13.40 – 14.41 น.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

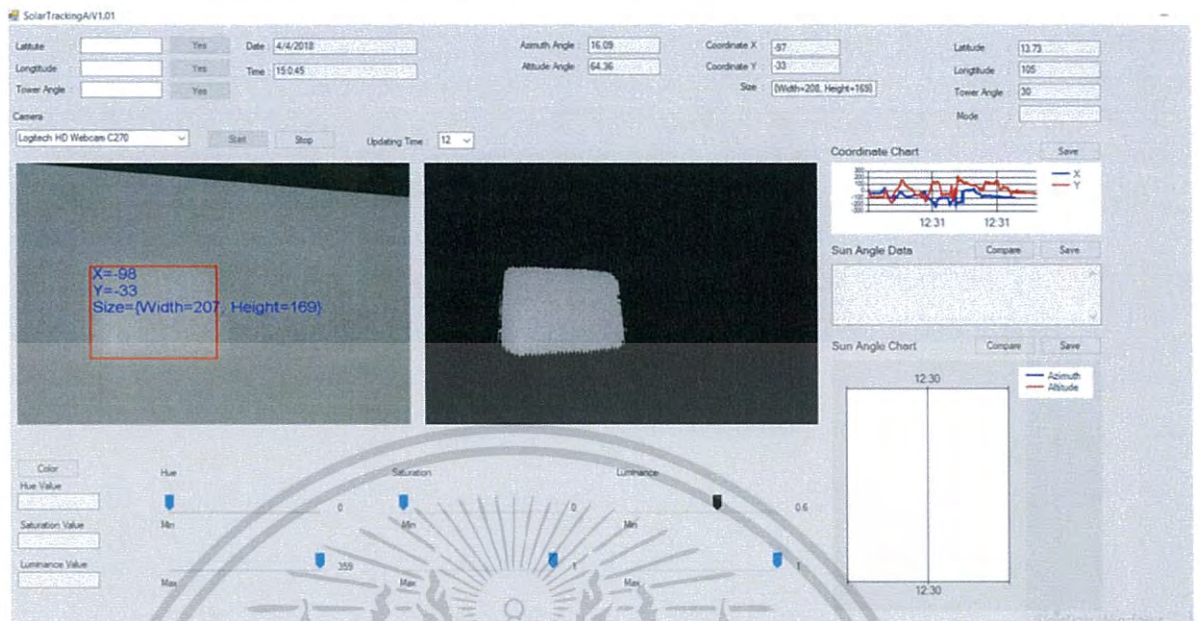


รูปที่ 4.19 ตำแหน่งแสงอาทิตย์ และ มุมของกระจกสะท้อน ณ เวลา 13.40 – 14.41 น.

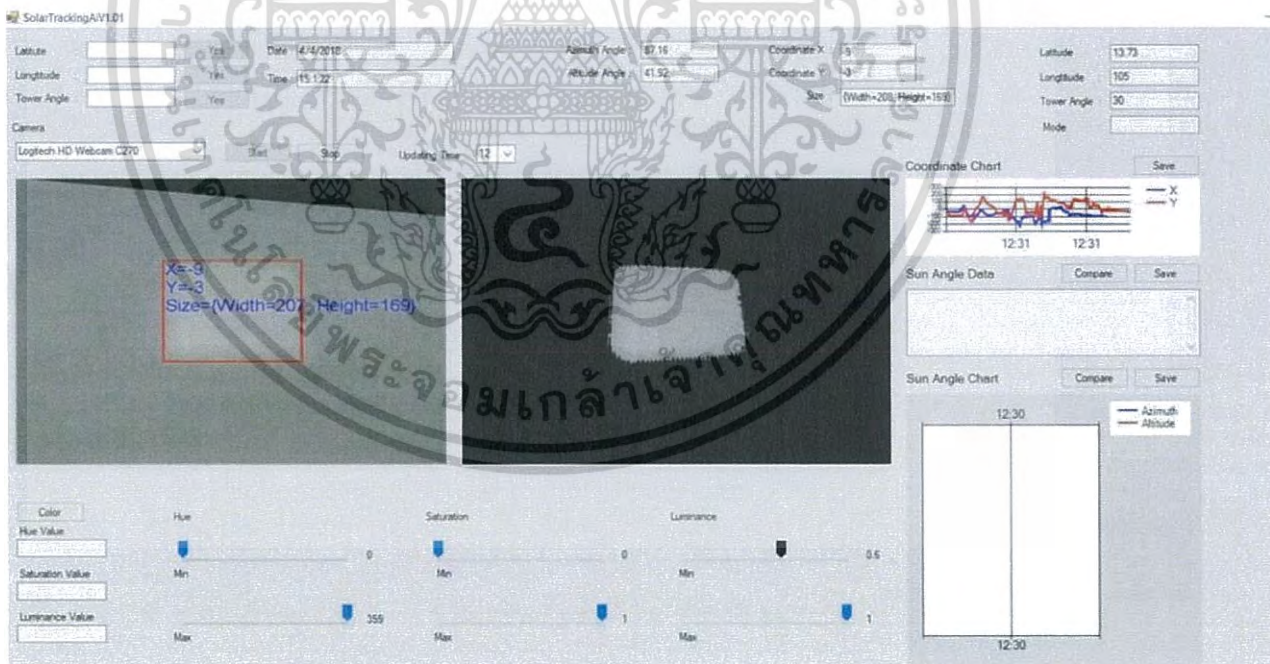


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6 การทดลองครั้งที่ 6 ณ วันที่ 4/4/61 ตั้งแต่เวลา 15.00 – 16.05 น.



รูปที่ 4.20 แสงอาทิตย์ที่ตกสะท้อน ณ เวลา 15.00 น.

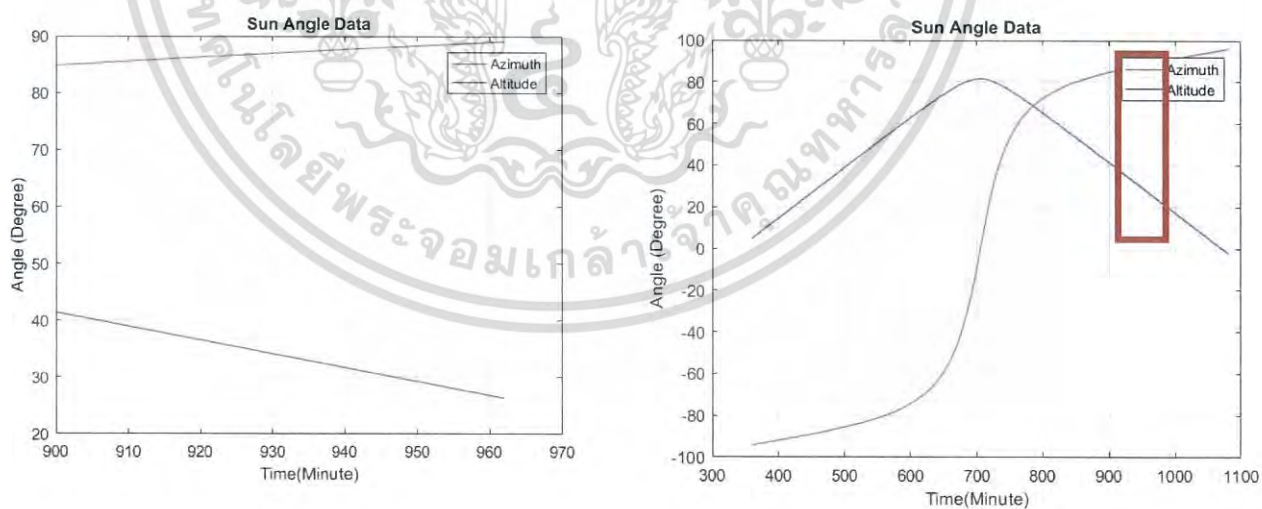


รูปที่ 4.21 แสงอาทิตย์ที่ตกสะท้อน ณ เวลา 15.01 น.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 ผลการทดลอง ณ วันที่ 4/4/61 ตั้งแต่เวลา 15.00 – 16.05 น.

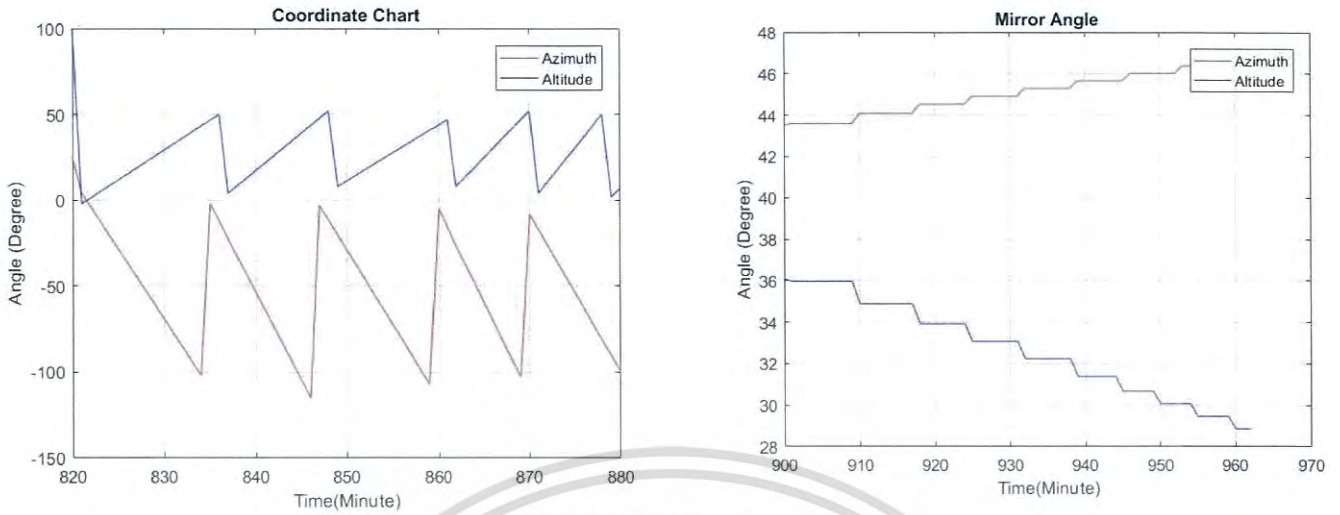
Time	Experiment		Calculation	
	Azimuth	Altitude	Azimuth	Altitude
15.00	87.05	42.18	84.78	41.37
15.10	88.18	39.77	85.55	38.95
15.20	89.29	37.36	86.27	36.53
15.30	90.36	34.95	86.97	34.10
15.40	91.41	32.55	87.64	31.68
15.50	92.45	30.14	88.28	29.25
16.00	93.46	27.74	88.91	26.82



รูปที่ 4.22 กราฟที่ได้จากโปรแกรมโดย ภาพซ้ายจากการทดลองและภาพขวา จากการคำนวณ

ณ เวลา 15.00 – 16.05 น.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

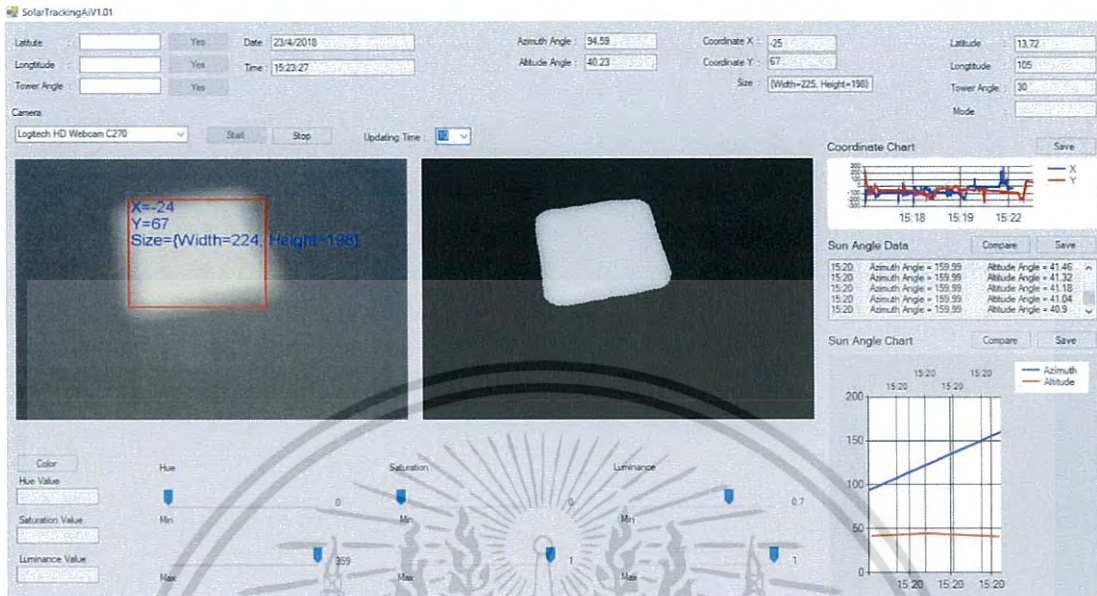


รูปที่ 4.23 ตำแหน่งแสงอาทิตย์ และ มุมของกระจกสะท้อน ณ เวลา 15.00 – 16.00 น.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.7 การทดลองครั้งที่ 7 ณ วันที่ 23/4/61 ตั้งแต่เวลา 15.15 – 16.15 น.



รูปที่ 4.24 แสงอาทิตย์ที่ตกสะท้อน ณ เวลา 15.23 น.

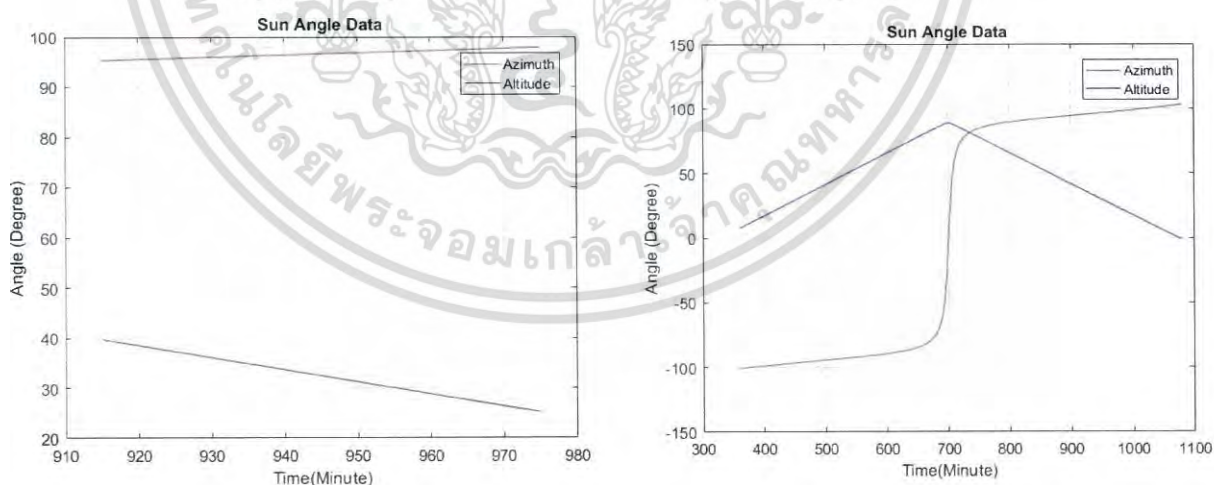


รูปที่ 4.25 แสงอาทิตย์ที่ตกสะท้อน ณ เวลา 15.25 น.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 ผลการทดลอง ณ วันที่ 23/4/61 ตั้งแต่เวลา 15.15 – 16.15 น.

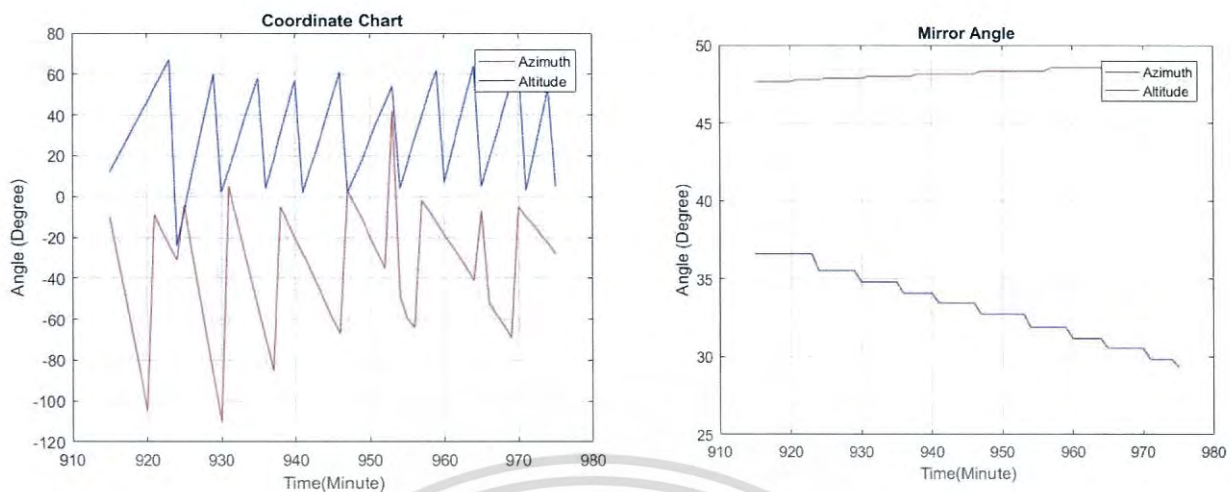
Time	Experiment		Calculation	
	Azimuth	Altitude	Azimuth	Altitude
15.15	95.32	39.68	95	37.83
15.25	95.74	37.26	95.43	35.42
15.35	96.16	34.84	95.87	32.99
15.45	97.59	32.42	96.30	30.58
15.55	97.02	30.01	96.74	28.17
16.05	97.45	27.59	97.18	25.76
16.15	97.89	25.18	97.63	23.35



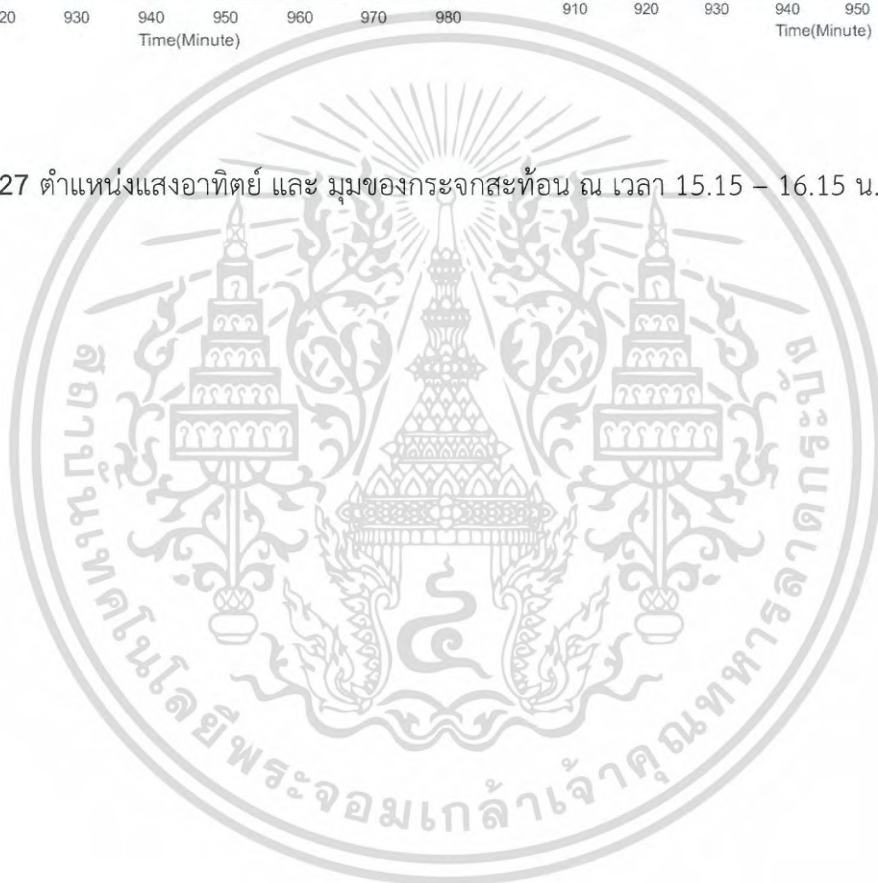
รูปที่ 4.26 กราฟที่ได้จากโปรแกรมโดย ภาพซ้ายจากการทดลองและภาพขวา จากการคำนวณ

ณ เวลา 15.15 – 16.15 น.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.27 ตำแหน่งแสงอาทิตย์ และ มุมของกระจกสะท้อน ณ เวลา 15.15 – 16.15 น.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

ปฏิญานินพนธ์ฉบับนี้นำเสนอการจำลองระบบติดตามแสงอาทิตย์แบบสะท้อนแสง โดยการทำงานของระบบจะแบ่งออกเป็น 2 แบบคือ รูปแบบแรกการทำงานของระบบสะท้อนแสงอาทิตย์ด้วยใช้กล้องเว็บแคมจับภาพแสงอาทิตย์ที่ตกสะท้อนสู่หอคอยรับแสงจำลอง (Receiver) แล้วจากนั้นก็ให้นำภาพที่กล้องเว็บแคมรับได้ไปประมวลผลโดยการแปลงเป็นภาพขาวดำด้วยโปรแกรม Microsoft Visual Studio เพื่อประมวลหาตำแหน่งแสงอาทิตย์ที่ปรากฏบนจอแสดงผล แล้วส่งต่อไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อสั่งให้สเต็ปปีงมอเตอร์หมุนปรับแสงอาทิตย์ให้สะท้อนสู่จุดศูนย์กลางของหอคอยรับแสง รูปแบบที่สองคือการทำงานในกรณีที่กล้องไม่สามารถจับภาพแสงอาทิตย์ได้ เช่น กรณีมีเมฆบังแสงอาทิตย์ช่วงขณะหนึ่งโดยในการทำงานรูปแบบนี้ระบบจะใช้ปัญญาประดิษฐ์เข้ามาช่วยในการคำนวณสมการทางคณิตศาสตร์เพื่อประมาณค่าตำแหน่งของแสงอาทิตย์ โดยรูปแบบการทำงานของโปรแกรมนี้ถูกออกแบบมาเพื่อช่วยการทำงานในรูปแบบแรก ในมีเมฆมาบังเป็นระยะเวลาหนึ่งอาจจะส่งผลให้แสงอาทิตย์หลุดออกจากการตรวจจับของกล้องเว็บแคมจึงใช้รูปแบบนี้ประมาณค่าตำแหน่งของดวงอาทิตย์การทำงานจะเกิดขึ้นโดยเมื่อโปรแกรม Microsoft Visual Studio ไม่สามารถรับภาพแสงอาทิตย์จากกล้องเว็บแคมได้ก็จะทำการเปลี่ยนรูปแบบการทำงานการทางานสู่รูปแบบการทำงานการคำนวณตำแหน่งดวงอาทิตย์โดยอัตโนมัติ จะได้ Azimuth angle และ Altitude angle ณ เวลาขณะนั้น แล้วนำค่ามุมสองมุมนี้ไปหามุมตกสะท้อน และทำการส่งค่าให้ตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อสั่งให้สเต็ปปีงมอเตอร์หมุนตัวสะท้อนให้แสงอาทิตย์ตกสะท้อนสู่หอคอยรับแสงที่ได้จำลองขึ้น โดยการทำงานของทั้งสองรูปแบบมีจุดประสงค์เพื่อให้ระบบติดตามแสงอาทิตย์ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้นซึ่งจะนำไปประยุกต์ใช้กับ Heliostat ใน Concentrating solar thermal power plant ให้สามารถสะท้อนแสงอาทิตย์สู่หอคอยรับแสงได้อย่างสม่ำเสมอตลอดทั้งวันเพื่อให้การผลิตพลังงานไฟฟ้ามีความมั่นคง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก่อนจะทำการทดลองจริงได้มีการทดสอบการทำงานของโปรแกรม โดยใช้โปรแกรม Virtual Serial Port Driver และ Hyperterminals เพื่อทดสอบค่าที่ส่งออกไปให้ไมโครคอนโทรเลอร์ว่าเป็นไปตามที่ได้เขียนโปรแกรมไว้โดยได้แบ่งโซนตำแหน่งแสงที่ปรากฏดังนี้

ถ้าแสงที่พบอยู่ในตำแหน่ง $X > 10$ และ $-10 < Y < 10$ จะส่งค่า a ให้ไมโครคอนโทรเลอร์

ถ้าแสงที่พบอยู่ในตำแหน่ง $X < -10$ และ $-10 < Y < 10$ จะส่งค่า b ให้ไมโครคอนโทรเลอร์

ถ้าแสงที่พบอยู่ในตำแหน่ง $-10 < X < 10$ และ $Y > 10$ จะส่งค่า c ให้ไมโครคอนโทรเลอร์

ถ้าแสงที่พบอยู่ในตำแหน่ง $-10 < X < 10$ และ $Y < -10$ จะส่งค่า d ให้ไมโครคอนโทรเลอร์

ถ้าแสงที่พบอยู่ในตำแหน่ง $X > 10$ และ $Y > 10$ จะส่งค่า a และ c ให้ไมโครคอนโทรเลอร์

ถ้าแสงที่พบอยู่ในตำแหน่ง $X < -10$ และ $Y > 10$ จะส่งค่า b และ c ให้ไมโครคอนโทรเลอร์

ถ้าแสงที่พบอยู่ในตำแหน่ง $X > 10$ และ $Y < -10$ จะส่งค่า a และ d ให้ไมโครคอนโทรเลอร์

ถ้าแสงที่พบอยู่ในตำแหน่ง $X < -10$ และ $Y < -10$ จะส่งค่า b และ d ให้ไมโครคอนโทรเลอร์

ค่า a, b, c, d แสดงถึงการหมุนของสเต็ปมอเตอร์ 1 สเต็ป โปรแกรม Visual Studio จะส่งค่าไปให้ไมโครคอนโทรเลอร์เรื่อยๆจนกว่าแสงที่มาตกกระทบจะเข้ากรอบที่ยอมรับ

การทดลองจัดทำขึ้นในพื้นที่ ที่เป็นลานกว้างเพื่อจำลองการทำงานในสถานที่จริงของอุปกรณ์โดยในการทดลองจะทำครั้งละไม่เกิน 1 ชั่วโมง เพื่อไม่ให้ความร้อนที่เกิดจากสภาพอากาศส่งผลต่อ คอมพิวเตอร์ กล้องเว็บแคม โดยในการทดลองจะให้โปรแกรม Visual Studio คำณวนหาตำแหน่งและส่งค่าให้ไมโครคอนโทรเลอร์ทุกๆ 10 นาที เนื่องจากทุกๆ 10 นาที โดยประมาณ แสงอาทิตย์ที่มาตกกระทบ Receiver จะออกนอกกรอบทดลองการทำงานของระบบในสองรูปแบบ

เอกสารนี้คือ การใช้กล้องเว็บแคมตรวจตำแหน่งของแสงอาทิตย์อันมีแสงปกติและการใช้ปัญญาประดิษฐ์ในว่ากรณ์ใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การประมาณค่าตำแหน่งของดวงอาทิตย์ในช่วงแสงอาทิตย์ถูกเมฆบังโดยผลการทดลองที่ออกมา รูปแบบการทำงานในการใช้กล้องเว็บแคมตรวจสอบได้ผลมีประสิทธิภาพตามที่ต้องการส่วนระบบการใช้ปัญญาประดิษฐ์ในการประมาณค่าตำแหน่งดวงอาทิตย์มีความคาดเคลื่อนส่วนหนึ่งจึงไม่สามารถสะท้อนแสงให้เข้าไปที่ Receiver ได้ถูกต้อง 100 เปอร์เซ็นต์ แต่แสงสะท้อนยังอยู่บริเวณ Receiver ผลโดยรวมสามารถทำงานได้ในสถานที่จริง

5.2 ปัญหาที่พบในการทำวิจัยและแนวทางการแก้ปัญหา

1. สมการตำแหน่งดวงอาทิตย์ที่นำมาใช้ให้ปัญญาประดิษฐ์ประมาณค่าของตำแหน่งดวงอาทิตย์ขาดความแม่นยำจากค่าจริงทำให้การทำงานของระบบในรูปแบบที่ใช้ปัญญาประดิษฐ์ประมาณค่าตำแหน่งของดวงอาทิตย์เกิดความคลาดเคลื่อนซึ่งสมการการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ที่ถูกใช้ในโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบรวมแสงเป็นความลับทางการค้า จึงต้องหาสมการการตำแหน่งของดวงอาทิตย์จากที่อื่นซึ่งมีความคลาดเคลื่อน
2. สถานที่ทำการทดลองมีข้อจำกัดเนื่องจากในการทดลองจะต้องทำในลานกว้างไม่ควรมีตึกหรือสิ่งปลูกสร้างสูงกว่าทำให้แต่ละครั้งที่ทดลองได้ทำการเปลี่ยนสถานที่ทำการทดลองจึงอาจก่อให้เกิดความคาดเคลื่อนจากค่าที่ทดลองได้
3. ค่า Latitude และ Longitude ที่คำนวณออกมาเป็นเพียงค่าประมาณซึ่งทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนในกรณีโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบรวมแสงจะมี GPS หาตำแหน่งพิกัดที่แม่นยำ
4. ความร้อนจากสภาพอากาศในสถานที่ทดลองส่งผลต่อการทำงานของอุปกรณ์อย่างเครื่องคอมพิวเตอร์ กล้องเว็บแคมและชุดไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อที่จะไม่ให้อุณหภูมิส่งผลต่ออุปกรณ์จึงออกแบบการทดลองให้ทำการทดลองครั้งละไม่เกิน 1 ชั่วโมง และ ออกแบบกล่องเพื่อบังแดดให้กับชุดไมโครคอนโทรลเลอร์
5. คอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการส่งการโปรแกรมนั้นไม่สามารถรองรับการทำงานของโปรแกรมกับการเก็บค่าไปพร้อมกันได้จึงอาจการขาดช่วงของข้อมูลที่ทำการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 ข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนา

1. ใช้สมการหาตำแหน่งของดวงอาทิตย์ที่มีความถูกต้องมากกว่าสมการที่ใช้ในโครงการนี้
2. จัดหาสถานที่การทดลองที่เหมาะสมกับการทดลองโดยควรจะมีที่บังแดดให้กับชุดกล้องเว็บแคมและคอมพิวเตอร์เพื่อควบคุมอุณหภูมิไม่ให้ส่งผลต่อการทำงานของอุปกรณ์
3. ทำการเก็บข้อมูลการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการสอนปัญหาประดิษฐ์เพื่อให้การทำงานในรูปแบบที่สองของระบบมีความแม่นยำมากขึ้น
4. ใช้คอมพิวเตอร์ที่มีความสามารถสูงในการทดลองเนื่องจากการทำงานของโปรแกรมจะสร้างภาระหนักให้กับคอมพิวเตอร์
5. เนื่องจากการคำนวณค่าประมาณตำแหน่งของดวงอาทิตย์ของปัญหาประดิษฐ์มีความคลาดเคลื่อนจึงควรเปลี่ยนสมการที่ใช้ในการคำนวณหรือหาตัวแปรที่มีความแน่นอนมาสอนปัญหาประดิษฐ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] ศุภชัย สมพานิช, คู่มือการเขียนโปรแกรมและใช้งาน Visual C# .NET, ครั้งที่ 1, กรุงเทพฯ, บริษัท ด้านสุทธาการพิมพ์, 2546. (12 กันยายน 2558)
- [2] ธนาธิป เพียรประสิทธิ์และคณะ, “การจำลองระบบติดตามดวงอาทิตย์ Machine Vision System,” ปรินญา นิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, สาขาไฟฟ้า, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2556. (12 กันยายน 2558)
- [3] ธเนศ ต้นรุ่งโรจน์และคณะ, “ระบบติดตามดวงอาทิตย์แบบผสมผสานการใช้ระบบวิทัศน์อัตโนมัติและแบบไร้ อุปกรณ์ตรวจจับ,” ปรินญา นิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, สาขาไฟฟ้า, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณ ทหารลาดกระบัง, 2555. (22 กันยายน 2558)
- [4] เจษฎา กรรณิกา, “การจำลองระบบรวมแสงอาทิตย์และติดตามดวงอาทิตย์แบบสะท้อนแสง,” ปรินญา นิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, สาขาไฟฟ้า, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2559
- [5] มนุศักดิ์ งานทองและคณะ, ตัวต้นแบบระบบสะท้อนแสงอาทิตย์สำหรับระบบตัวรับรังสีรวมกลาง, [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก:
<http://www.repository.mutt.ac.th/bitstream/handle/123456789/663/Sun%20Reflecting%20System%20Prototype...pdf?sequence=3> (22 กันยายน 2558)
- [6] Reston Condit, Stepping Motors Fundamentals, Available at: www.t-es-t.hu/download/microchip/an907a.pdf. (22 September 2558)
- [7] K. E. Holbert, Solar Calculations, Available at:
<http://holbert.faculty.asu.edu/eee463/SolarCalcs.pdf> (2 October 2558).
- [8] R.S. Baheti and P.F. Scott, “Design of Self-calibrating Controllers for Heliostats in a Solar Power Plant,” IEEE Transaction on Automatic Control, Vol. ac-25, No. 6, 1980, pp.1091-1097. (10 October 2015)
- [9] Daniel James Murray, “SMALL-SCALE SOLAR CENTRAL RECEIVER SYSTEM DESIGN AND ANALYSIS,” Master Thesis, Mechanical Engineering, California Polytechnic State University, 2012. (10 November 2015)
- [10] ศักดิ์สิทธิ์ บัวเงินและคณะ, ระบบติดตามดวงอาทิตย์โดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาพ, [ออนไลน์] เข้าถึงได้ จาก: <http://thestar.spu.ac.th/content/627/12724.php> (1 ธันวาคม 2558)
- [11] Google.org, Heliostat Control and Targeting, Available at:
https://www.google.org/pdfs/google_heliostat_control_and_targeting.pdf.

(12 January 2016).

[12] IREA, “RENEWABLE ENERGY TECHNOLOGIES: COST ANALYSIS SERIES,” Concentrating Solar Power, Vo. 1, No.2, 2012, pp. 15-43. (12 January 2016)

[13] ญัฐพงษ์ วาริประเสริฐ,ปัญญาประดิษฐ์ (ARTIFICIAL INTELLIGENCE)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

รายละเอียดของอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

ก.1 DRV8825 motor drive



DRV8825

www.ti.com

SLVSA73C – APRIL 2010 – REVISED MAY 2011

STEPPER MOTOR CONTROLLER IC

Check for Samples: [DRV8825](#)

FEATURES

- PWM Microstepping Motor Driver
 - Built-In Microstepping Indexer
 - Five-Bit Winding Current Control Allows Up to 32 Current Levels
 - Low MOSFET On-Resistance
- 2.5-A Maximum Drive Current at 24 V, 25°C
- Built-In 3.3-V Reference Output
- 8.2-V to 45-V Operating Supply Voltage Range
- Thermally Enhanced Surface Mount Package

APPLICATIONS

- Automatic Teller Machines
- Money Handling Machines
- Video Security Cameras
- Printers
- Scanners
- Office Automation Machines
- Gaming Machines
- Factory Automation
- Robotics

DESCRIPTION

The DRV8825 provides an integrated motor driver solution for printers, scanners, and other automated equipment applications. The device has two H-bridge drivers, and can drive a bipolar stepper motor or two DC motors. The output driver block for each consists of N-channel power MOSFET's configured as full H-bridges to drive the motor windings. The DRV8825 can supply up to 2.5-A peak or 1.75-A RMS output current (with proper heatsinking at 24 V and 25°C).

A simple step/direction interface allows easy interfacing to controller circuits. Pins allow configuration of the motor in full-step up to 1/32-step modes. Decay mode is programmable.

Internal shutdown functions are provided for overcurrent protection, short circuit protection, undervoltage lockout and overtemperature.

The DRV8825 is available in a 28-pin HTSSOP package with PowerPAD™ (Eco-friendly: RoHS & no Sb/Br).

ORDERING INFORMATION⁽¹⁾

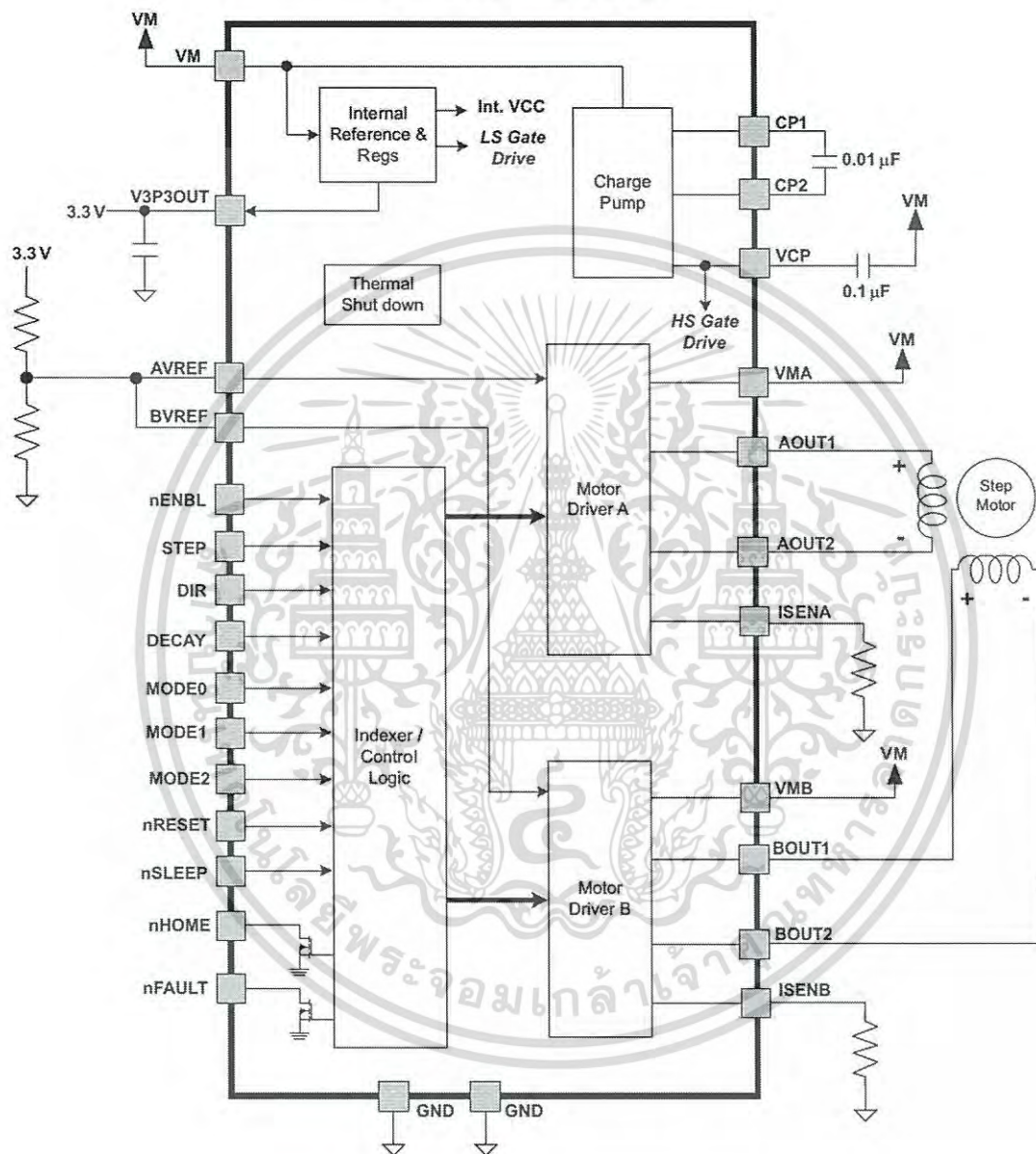
T _A	PACKAGE ⁽²⁾		ORDERABLE PART NUMBER	TOP-SIDE MARKING
-40°C to 85°C	PowerPAD™ (HTSSOP) - PWP	Reel of 2000	DRV8825PWPR	8825

(1) For the most current packaging and ordering information, see the Package Option Addendum at the end of this document, or see the TI web site at www.ti.com.

(2) Package drawings, thermal data, and symbolization are available at www.ti.com/packaging.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEVICE INFORMATION
Functional Block Diagram



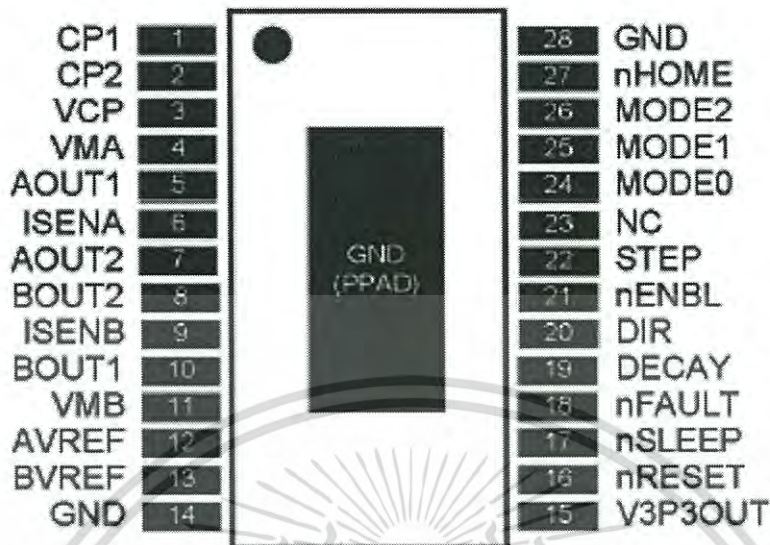
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Table 1. TERMINAL FUNCTIONS

NAME	PIN	I/O ⁽¹⁾	DESCRIPTION	EXTERNAL COMPONENTS OR CONNECTIONS
POWER AND GROUND				
GND	14, 28	-	Device ground	
VMA	4	-	Bridge A power supply	Connect to motor supply (8.2 - 45 V). Both pins must be connected to same supply.
VMB	11	-	Bridge B power supply	
V3P3OUT	15	O	3.3-V regulator output	Bypass to GND with a 0.47- μ F 6.3-V ceramic capacitor. Can be used to supply VREF.
CP1	1	IO	Charge pump flying capacitor	Connect a 0.01- μ F 50-V capacitor between CP1 and CP2.
CP2	2	IO	Charge pump flying capacitor	
VCP	3	IO	High-side gate drive voltage	Connect a 0.1- μ F 16-V ceramic capacitor to VM.
CONTROL				
nENBL	21	I	Enable input	Logic high to disable device outputs and indexer operation, logic low to enable. Internal pull-down.
nSLEEP	17	I	Sleep mode input	Logic high to enable device, logic low to enter low-power sleep mode. Internal pull-down.
STEP	22	I	Step input	Rising edge causes the indexer to move one step
DIR	20	I	Direction input	Level sets the direction of stepping
MODE0	24	I	Microstep mode 0	MODE0 - MODE2 set the step mode - full, 1/2, 1/4, 1/8/ 1/16, or 1/32 step
MODE1	25	I	Microstep mode 1	
MODE2	26	I	Microstep mode 2	
DECAY	19	I	Decay mode	Low = slow decay, open = mixed decay, high = fast decay. Internal pull-down and pull-up.
nRESET	16	I	Reset input	Active-low reset input initializes the indexer logic and disables the H-bridge outputs. Internal pull-down.
AVREF	12	I	Bridge A current set reference input	Reference voltage for winding current set. Normally AVREF and BVREF are connected to the same voltage. Can be connected to V3P3OUT.
BVREF	13	I	Bridge B current set reference input	
STATUS				
nHOME	27	OD	Home position	Logic low when at home state of step table
nFAULT	18	OD	Fault	Logic low when in fault condition (overtemp, overcurrent)
OUTPUT				
ISENA	6	IO	Bridge A ground / Isense	Connect to current sense resistor for bridge A.
ISENB	9	IO	Bridge B ground / Isense	Connect to current sense resistor for bridge B.
AOUT1	5	O	Bridge A output 1	Connect to bipolar stepper motor winding A. Positive current is AOUT1 \rightarrow AOUT2
AOUT2	7	O	Bridge A output 2	
BOUT1	10	O	Bridge B output 1	Connect to bipolar stepper motor winding B. Positive current is BOUT1 \rightarrow BOUT2
BOUT2	8	O	Bridge B output 2	

(1) Directions: I = input, O = output, OZ = tri-state output, OD = open-drain output, IO = input/output

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

over operating free-air temperature range (unless otherwise noted) ⁽¹⁾ ⁽²⁾

		VALUE	UNIT
VMx	Power supply voltage range	-0.3 to 47	V
	Digital pin voltage range	-0.5 to 7	V
VREF	Input voltage	-0.3 to 4	V
	ISENSEx pin voltage	-0.3 to 0.8	V
	Peak motor drive output current, $t < 1 \mu\text{s}$	Internally limited	A
	Continuous motor drive output current ⁽³⁾	2.5	A
ESD rating	HBD (human body model)	2000	V
	CDM (charged device model)	500	
	Continuous total power dissipation	See Dissipation Ratings table	
T _J	Operating virtual junction temperature range	-40 to 150	°C
T _A	Operating ambient temperature range	-40 to 85	°C
T _{stg}	Storage temperature range	-80 to 150	°C

- (1) Stresses beyond those listed under absolute maximum ratings may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated under recommended operating conditions is not implied. Exposure to absolute maximum rated conditions for extended periods may affect device reliability.
- (2) All voltage values are with respect to network ground terminal.
- (3) Power dissipation and thermal limits must be observed.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

THERMAL INFORMATION

THERMAL METRIC ⁽¹⁾		DRV8825	UNITS
		PWP	
		28 PINS	
θ_{JA}	Junction-to-ambient thermal resistance ⁽²⁾	31.6	°C/W
θ_{JcTop}	Junction-to-case (top) thermal resistance ⁽³⁾	15.9	
θ_{JB}	Junction-to-board thermal resistance ⁽⁴⁾	5.8	
ψ_{JT}	Junction-to-top characterization parameter ⁽⁵⁾	0.2	
ψ_{JB}	Junction-to-board characterization parameter ⁽⁶⁾	5.5	
θ_{JcBot}	Junction-to-case (bottom) thermal resistance ⁽⁷⁾	1.4	

- (1) For more information about traditional and new thermal metrics, see the *IC Package Thermal Metrics* application report, SPRA053.
- (2) The junction-to-ambient thermal resistance under natural convection is obtained in a simulation on a JEDEC-standard, high-K board, as specified in JESD51-7, in an environment described in JESD51-2a.
- (3) The junction-to-case (top) thermal resistance is obtained by simulating a cold plate test on the package top. No specific JEDEC-standard test exists, but a close description can be found in the ANSI SEMI standard G30-88.
- (4) The junction-to-board thermal resistance is obtained by simulating in an environment with a ring cold plate fixture to control the PCB temperature, as described in JESD51-8.
- (5) The junction-to-top characterization parameter, ψ_{JT} , estimates the junction temperature of a device in a real system and is extracted from the simulation data for obtaining θ_{JA} , using a procedure described in JESD51-2a (sections 8 and 7).
- (6) The junction-to-board characterization parameter, ψ_{JB} , estimates the junction temperature of a device in a real system and is extracted from the simulation data for obtaining θ_{JA} , using a procedure described in JESD51-2a (sections 8 and 7).
- (7) The junction-to-case (bottom) thermal resistance is obtained by simulating a cold plate test on the exposed (power) pad. No specific JEDEC standard test exists, but a close description can be found in the ANSI SEMI standard G30-88.

RECOMMENDED OPERATING CONDITIONS

over operating free-air temperature range (unless otherwise noted)

		MIN	NOM	MAX	UNIT
V_M	Motor power supply voltage range ⁽¹⁾	8.2		45	V
V_{REF}	VREF input voltage ⁽²⁾	1		3.5	V
I_{V3P3}	V3P3OUT load current	0		1	mA
f_{PWM}	Externally applied PWM frequency	0		100	kHz

- (1) All V_M pins must be connected to the same supply voltage.
- (2) Operational at VREF between 0 V and 1 V, but accuracy is degraded.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

over operating free-air temperature range (unless otherwise noted)

PARAMETER		TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT
POWER SUPPLIES						
I_{VM}	VM operating supply current	$V_M = 24\text{ V}$, $f_{PWM} < 50\text{ kHz}$		5	8	mA
I_{VM2}	VM sleep mode supply current	$V_M = 24\text{ V}$		10	20	μA
V_{UVLO}	VM undervoltage lockout voltage	V_M rising		7.8	8.2	V
V3P3OUT REGULATOR						
V_{3P3}	V3P3OUT voltage	$I_{OUT} = 0$ to 1 mA	3.2	3.3	3.4	V
LOGIC-LEVEL INPUTS						
V_{IL}	Input low voltage			0.6	0.7	V
V_{IH}	Input high voltage		2.2		5.25	V
V_{HYS}	Input hysteresis		0.3	0.45	0.6	V
I_{IL}	Input low current	$V_{IN} = 0$	-20		20	μA
I_{IH}	Input high current	$V_{IN} = 3.3\text{ V}$			100	μA
R_{PD}	Internal pulldown resistance			100		k Ω
nHOME, nFAULT OUTPUTS (OPEN-DRAIN OUTPUTS)						
V_{OL}	Output low voltage	$I_O = 5\text{ mA}$			0.5	V
I_{OH}	Output high leakage current	$V_O = 3.3\text{ V}$			1	μA
DECAY INPUT						
V_{IL}	Input low threshold voltage	For slow decay mode			0.8	V
V_{IH}	Input high threshold voltage	For fast decay mode	2			V
I_{IN}	Input current				± 40	μA
R_{PU}	Internal pullup resistance (up to 3.3 V)			130		k Ω
R_{PD}	Internal pulldown resistance			80		k Ω
H-BRIDGE FETS						
$R_{DS(ON)}$	HS FET on resistance	$V_M = 24\text{ V}$, $I_O = 1\text{ A}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$		0.2		Ω
		$V_M = 24\text{ V}$, $I_O = 1\text{ A}$, $T_J = 85^\circ\text{C}$		0.25	0.32	
	LS FET on resistance	$V_M = 24\text{ V}$, $I_O = 1\text{ A}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$		0.2		
		$V_M = 24\text{ V}$, $I_O = 1\text{ A}$, $T_J = 85^\circ\text{C}$		0.25	0.32	
I_{OFF}	Off-state leakage current		-20		20	μA
MOTOR DRIVER						
f_{PWM}	Internal current control PWM frequency			30		kHz
t_{BLANK}	Current sense blanking time			4		μs
t_R	Rise time		30		200	ns
t_F	Fall time		30		200	ns
PROTECTION CIRCUITS						
I_{OCP}	Overcurrent protection trip level		3			A
t_{TSD}	Thermal shutdown temperature	Die temperature	150	160	180	$^\circ\text{C}$
CURRENT CONTROL						
I_{REF}	xVREF input current	$xVREF = 3.3\text{ V}$	-3		3	μA
V_{TRIP}	xISENSE trip voltage	$xVREF = 3.3\text{ V}$, 100% current setting	635	660	695	mV
ΔI_{TRIP}	Current trip accuracy (relative to programmed value)	$xVREF = 3.3\text{ V}$, 5% current setting	-25		25	%
		$xVREF = 3.3\text{ V}$, 10% - 34% current setting	-15		15	
		$xVREF = 3.3\text{ V}$, 38% - 67% current setting	-10		10	
		$xVREF = 3.3\text{ V}$, 71% - 100% current setting	-5		5	
A_{ISENSE}	Current sense amplifier gain	Reference only		5		V/V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TIMING REQUIREMENTS

			MIN	MAX	UNIT
1	f_{STEP}	Step frequency		250	kHz
2	$t_{WH(STEP)}$	Pulse duration, STEP high	1.9		μs
3	$t_{WL(STEP)}$	Pulse duration, STEP low	1.9		μs
4	$t_{SU(STEP)}$	Setup time, command to STEP rising	650		ns
5	$t_{H(STEP)}$	Hold time, command to STEP rising	650		ns
6	t_{ENBL}	Enable time, nENBL active to STEP	650		ns
7	t_{WAKE}	Wakeup time, nSLEEP inactive to STEP	1.7		ms



Figure 1. Timing Diagram

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FUNCTIONAL DESCRIPTION

PWM Motor Drivers

The DRV8825 contains two H-bridge motor drivers with current-control PWM circuitry. A block diagram of the motor control circuitry is shown in Figure 2.

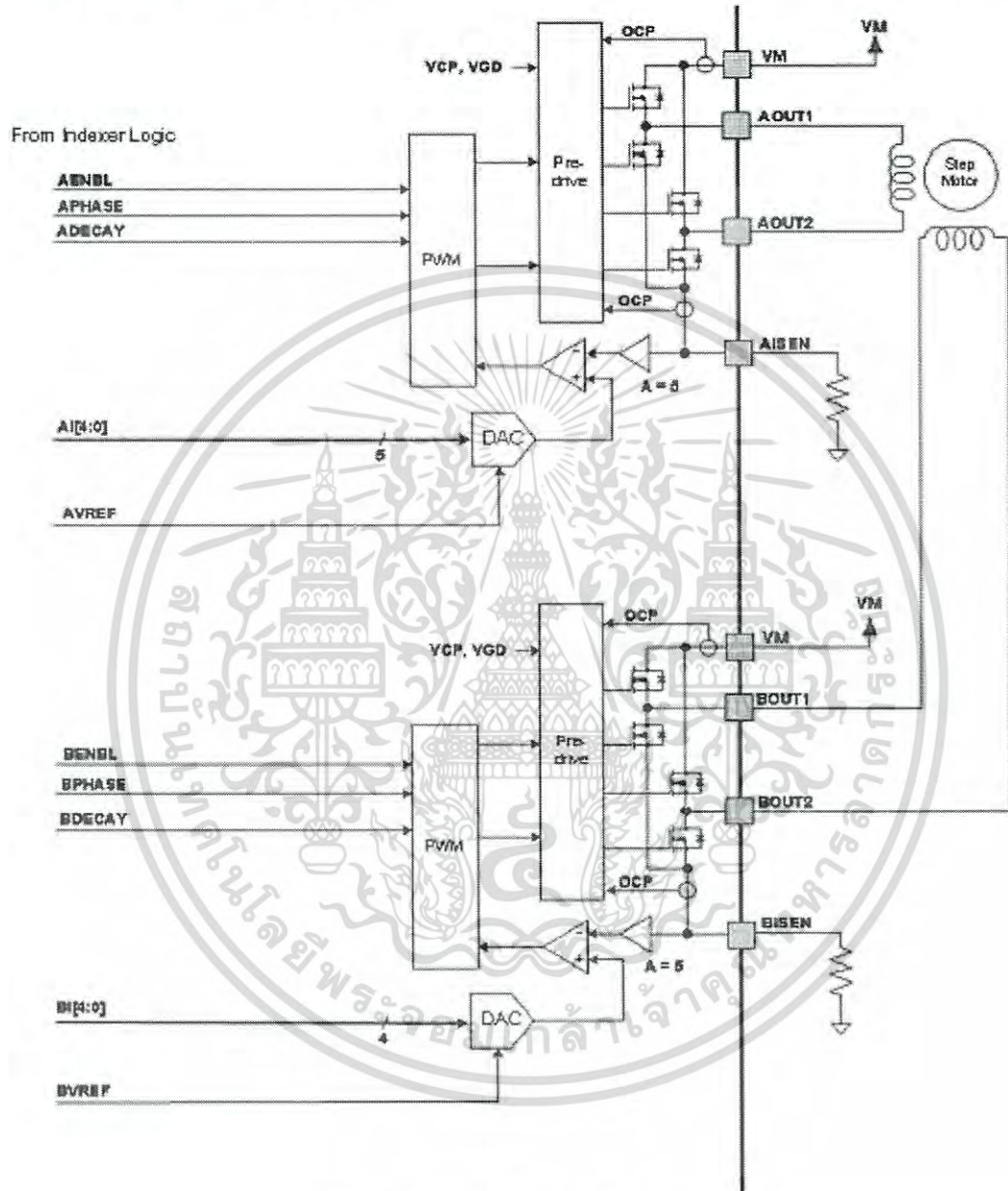


Figure 2. Motor Control Circuitry

Note that there are multiple VM motor power supply pins. All VM pins must be connected together to the motor supply voltage.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Current Regulation

The current through the motor windings is regulated by a fixed-frequency PWM current regulation, or current chopping. When an H-bridge is enabled, current rises through the winding at a rate dependent on the DC voltage and inductance of the winding. Once the current hits the current chopping threshold, the bridge disables the current until the beginning of the next PWM cycle.

In stepping motors, current regulation is used to vary the current in the two windings in a semi-sinusoidal fashion to provide smooth motion.

The PWM chopping current is set by a comparator which compares the voltage across a current sense resistor connected to the xISEN pins, multiplied by a factor of 5, with a reference voltage. The reference voltage is input from the xVREF pins.

The full-scale (100%) chopping current is calculated in Equation 1.

$$I_{CHOP} = \frac{V_{REFx}}{5 \cdot R_{ISENSE}} \quad (1)$$

Example:

If a 0.25-Ω sense resistor is used and the VREFx pin is 2.5 V, the full-scale (100%) chopping current will be 2.5 V / (5 × 0.25 Ω) = 2 A.

The reference voltage is scaled by an internal DAC that allows fractional stepping of a bipolar stepper motor, as described in the microstepping indexer section below.

Decay Mode

During PWM current chopping, the H-bridge is enabled to drive current through the motor winding until the PWM current chopping threshold is reached. This is shown in Figure 3 as case 1. The current flow direction shown indicates positive current flow.

Once the chopping current threshold is reached, the H-bridge can operate in two different states, fast decay or slow decay.

In fast decay mode, once the PWM chopping current level has been reached, the H-bridge reverses state to allow winding current to flow in a reverse direction. As the winding current approaches zero, the bridge is disabled to prevent any reverse current flow. Fast decay mode is shown in Figure 3 as case 2.

In slow decay mode, winding current is re-circulated by enabling both of the low-side FETs in the bridge. This is shown in Figure 3 as case 3.

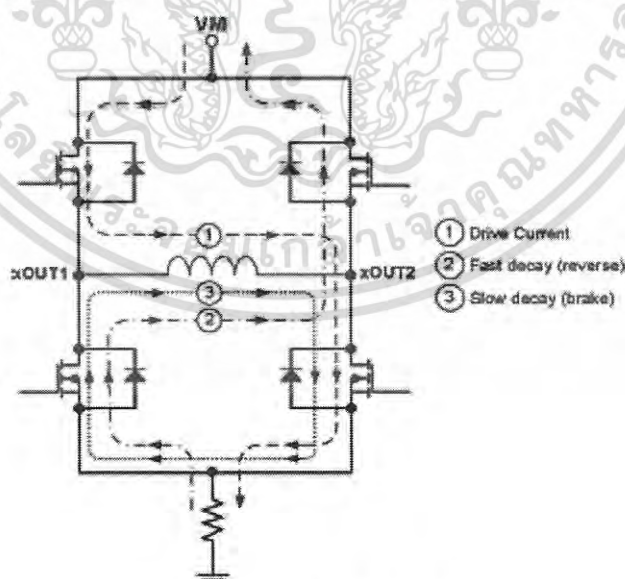


Figure 3. Decay Mode

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The DRV8825 supports fast decay, slow decay and a mixed decay mode. Slow, fast, or mixed decay mode is selected by the state of the DECAY pin - logic low selects slow decay, open selects mixed decay operation, and logic high sets fast decay mode. The DECAY pin has both an internal pullup resistor of approximately 130 k Ω and an internal pulldown resistor of approximately 80 k Ω . This sets the mixed decay mode if the pin is left open or undriven.

Mixed decay mode begins as fast decay, but at a fixed period of time (75% of the PWM cycle) switches to slow decay mode for the remainder of the fixed PWM period. This occurs only if the current through the winding is decreasing (per the indexer step table); if the current is increasing, then slow decay is used.

Blanking Time

After the current is enabled in an H-bridge, the voltage on the xISEN pin is ignored for a fixed period of time before enabling the current sense circuitry. This blanking time is fixed at 3.75 μ s. Note that the blanking time also sets the minimum on time of the PWM.

Microstepping Indexer

Built-in indexer logic in the DRV8825 allows a number of different stepping configurations. The MODE0 - MODE2 pins are used to configure the stepping format as shown in Table 2.

Table 2. Stepping Format

MODE2	MODE1	MODE0	STEP MODE
0	0	0	Full step (2-phase excitation) with 71% current
0	0	1	1/2 step (1-2 phase excitation)
0	1	0	1/4 step (W1-2 phase excitation)
0	1	1	8 microsteps / step
1	0	0	16 microsteps / step
1	0	1	32 microsteps / step
1	1	0	32 microsteps / step
1	1	1	32 microsteps / step

Table 3 shows the relative current and step directions for different settings of MODEx. At each rising edge of the STEP input, the indexer travels to the next state in the table. The direction is shown with the DIR pin high; if the DIR pin is low the sequence is reversed. Positive current is defined as xOUT1 = positive with respect to xOUT2.

Note that if the step mode is changed while stepping, the indexer will advance to the next valid state for the new MODEx setting at the rising edge of STEP.

The home state is 45°. This state is entered at power-up or application of nRESET. This is shown in Table 3 by the shaded cells.

Table 3. Relative Current and Step Directions

1/32 STEP	1/16 STEP	1/8 STEP	1/4 STEP	1/2 STEP	FULL STEP 70%	WINDING CURRENT A	WINDING CURRENT B	ELECTRICAL ANGLE
1	1	1	1	1		100%	0%	0
2						100%	5%	3
3	2					100%	10%	6
4						99%	15%	8
5	3	2				98%	20%	11
6						97%	24%	14
7	4					96%	29%	17
8						94%	34%	20
9	5	3	2			92%	38%	23
10						90%	43%	25
11	6					88%	47%	28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Table 3. Relative Current and Step Directions (continued)

1/32 STEP	1/16 STEP	1/8 STEP	1/4 STEP	1/2 STEP	FULL STEP 70%	WINDING CURRENT A	WINDING CURRENT B	ELECTRICAL ANGLE
12						86%	51%	31
13	7	4				83%	56%	34
14						80%	60%	37
15	8					77%	63%	39
16						74%	67%	42
17	9	5	3	2	1	71%	71%	45
18						67%	74%	48
19	10					63%	77%	51
20						60%	80%	53
21	11	6				56%	83%	56
22						51%	86%	59
23	12					47%	88%	62
24						43%	90%	65
25	13	7	4			38%	92%	68
26						34%	94%	70
27	14					29%	96%	73
28						24%	97%	76
29	15	8				20%	98%	79
30						15%	99%	82
31	16					10%	100%	84
32						5%	100%	87
33	17	9	5	3		0%	100%	90
34						-5%	100%	93
35	18					-10%	100%	96
36						-15%	99%	98
37	19	10				-20%	98%	101
38						-24%	97%	104
39	20					-29%	96%	107
40						-34%	94%	110
41	21	11	6			-38%	92%	113
42						-43%	90%	115
43	22					-47%	88%	118
44						-51%	86%	121
45	23	12				-56%	83%	124
46						-60%	80%	127
47	24					-63%	77%	129
48						-67%	74%	132
49	25	13	7	4	2	-71%	71%	135
50						-74%	67%	138
51	26					-77%	63%	141
52						-80%	60%	143
53	27	14				-83%	56%	146
54						-86%	51%	149
55	28					-88%	47%	152
56						-90%	43%	155
57	29	15	8			-92%	38%	158

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Table 3. Relative Current and Step Directions (continued)

1/32 STEP	1/16 STEP	1/8 STEP	1/4 STEP	1/2 STEP	FULL STEP 70%	WINDING CURRENT A	WINDING CURRENT B	ELECTRICAL ANGLE
58						-94%	34%	160
59	30					-96%	29%	163
60						-97%	24%	166
61	31	16				-98%	20%	169
62						-99%	15%	172
63	32					-100%	10%	174
64						-100%	5%	177
65	33	17	9	5		-100%	0%	180
66						-100%	-5%	183
67	34					-100%	-10%	186
68						-99%	-15%	188
69	35	18				-98%	-20%	191
70						-97%	-24%	194
71	36					-96%	-29%	197
72						-94%	-34%	200
73	37	19	10			-92%	-38%	203
74						-90%	-43%	205
75	38					-88%	-47%	208
76						-86%	-51%	211
77	39	20				-83%	-56%	214
78						-80%	-60%	217
79	40					-77%	-63%	219
80						-74%	-67%	222
81	41	21	11	6	3	-71%	-71%	225
82						-67%	-74%	228
83	42					-63%	-77%	231
84						-60%	-80%	233
85	43	22				-56%	-83%	236
86						-51%	-86%	239
87	44					-47%	-88%	242
88						-43%	-90%	245
89	45	23	12			-38%	-92%	248
90						-34%	-94%	250
91	46					-29%	-96%	253
92						-24%	-97%	256
93	47	24				-20%	-98%	259
94						-15%	-99%	262
95	48					-10%	-100%	264
96						-5%	-100%	267
97	49	25	13	7		0%	-100%	270
98						5%	-100%	273
99	50					10%	-100%	276
100						15%	-99%	278
101	51	26				20%	-98%	281
102						24%	-97%	284
103	52					29%	-96%	287

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Table 3. Relative Current and Step Directions (continued)

1/32 STEP	1/16 STEP	1/8 STEP	1/4 STEP	1/2 STEP	FULL STEP 70%	WINDING CURRENT A	WINDING CURRENT B	ELECTRICAL ANGLE
104						34%	-94%	290
105	53	27	14			38%	-92%	293
106						43%	-90%	295
107	54					47%	-88%	298
108						51%	-86%	301
109	55	28				56%	-83%	304
110						60%	-80%	307
111	56					63%	-77%	309
112						67%	-74%	312
113	57	29	15	8	4	71%	-71%	315
114						74%	-67%	318
115	58					77%	-63%	321
116						80%	-60%	323
117	59	30				83%	-56%	326
118						86%	-51%	329
119	60					88%	-47%	332
120						90%	-43%	335
121	61	31	16			92%	-38%	338
122						94%	-34%	340
123	62					96%	-29%	343
124						97%	-24%	346
125	63	32				98%	-20%	349
126						99%	-15%	352
127	64					100%	-10%	354
128						100%	-5%	357

nRESET, nENBLE and nSLEEP Operation

The nRESET pin, when driven active low, resets internal logic, and resets the step table to the home position. It also disables the H-bridge drivers. The STEP input is ignored while nRESET is active.

The nENBL pin is used to control the output drivers and enable/disable operation of the indexer. When nENBL is low, the output H-bridges are enabled, and rising edges on the STEP pin are recognized. When nENBL is high, the H-bridges are disabled, the outputs are in a high-impedance state, and the STEP input is ignored.

Driving nSLEEP low will put the device into a low power sleep state. In this state, the H-bridges are disabled, the gate drive charge pump is stopped, the V3P3OUT regulator is disabled, and all internal clocks are stopped. In this state all inputs are ignored until nSLEEP returns inactive high. When returning from sleep mode, some time (approximately 1 ms) needs to pass before applying a STEP input, to allow the internal circuitry to stabilize. Note that nRESET and nSLEEP have internal pulldown resistors of approximately 100 kΩ. These signals need to be driven to logic high for device operation.

Protection Circuits

The DRV8825 is fully protected against undervoltage, overcurrent and overtemperature events.

Overcurrent Protection (OCP)

An analog current limit circuit on each FET limits the current through the FET by removing the gate drive. If this analog current limit persists for longer than the OCP time, all FETs in the H-bridge will be disabled and the nFAULT pin will be driven low. The device will remain disabled until either nRESET pin is applied, or VM is removed and re-applied.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Overcurrent conditions on both high and low side devices; i.e., a short to ground, supply, or across the motor winding will all result in an overcurrent shutdown. Note that overcurrent protection does not use the current sense circuitry used for PWM current control, and is independent of the I_{SENSE} resistor value or V_{REF} voltage.

Thermal Shutdown (TSD)

If the die temperature exceeds safe limits, all FETs in the H-bridge will be disabled and the nFAULT pin will be driven low. Once the die temperature has fallen to a safe level operation will automatically resume.

Undervoltage Lockout (UVLO)

If at any time the voltage on the VM pins falls below the undervoltage lockout threshold voltage, all circuitry in the device will be disabled and internal logic will be reset. Operation will resume when V_M rises above the UVLO threshold.

THERMAL INFORMATION

Thermal Protection

The DRV8825 has thermal shutdown (TSD) as described above. If the die temperature exceeds approximately 150°C, the device will be disabled until the temperature drops to a safe level.

Any tendency of the device to enter TSD is an indication of either excessive power dissipation, insufficient heatsinking, or too high an ambient temperature.

Power Dissipation

Power dissipation in the DRV8825 is dominated by the power dissipated in the output FET resistance, or $R_{DS(ON)}$. Average power dissipation when running a stepper motor can be roughly estimated by Equation 2.

$$P_{TOT} = 4 \cdot R_{DS(ON)} \cdot (I_{OUT(RMS)})^2 \quad (2)$$

where P_{TOT} is the total power dissipation, $R_{DS(ON)}$ is the resistance of each FET, and $I_{OUT(RMS)}$ is the RMS output current being applied to each winding. $I_{OUT(RMS)}$ is equal to the approximately 0.7x the full-scale output current setting. The factor of 4 comes from the fact that there are two motor windings, and at any instant two FETs are conducting winding current for each winding (one high-side and one low-side).

The maximum amount of power that can be dissipated in the device is dependent on ambient temperature and heatsinking.

Note that $R_{DS(ON)}$ increases with temperature, so as the device heats, the power dissipation increases. This must be taken into consideration when sizing the heatsink.

Heatsinking

The PowerPAD™ package uses an exposed pad to remove heat from the device. For proper operation, this pad must be thermally connected to copper on the PCB to dissipate heat. On a multi-layer PCB with a ground plane, this can be accomplished by adding a number of vias to connect the thermal pad to the ground plane. On PCBs without internal planes, copper area can be added on either side of the PCB to dissipate heat. If the copper area is on the opposite side of the PCB from the device, thermal vias are used to transfer the heat between top and bottom layers.

For details about how to design the PCB, refer to TI application report SLMA002, "PowerPAD™ Thermally Enhanced Package" and TI application brief SLMA004, "PowerPAD™ Made Easy", available at www.ti.com.

In general, the more copper area that can be provided, the more power can be dissipated. It can be seen that the heatsink effectiveness increases rapidly to about 20 cm², then levels off somewhat for larger areas.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PACKAGING INFORMATION

Orderable Device	Status ⁽¹⁾	Package Type	Package Drawing	Pins	Package Qty	Eco Plan ⁽²⁾	Lead/ Ball Finish	MSL Peak Temp ⁽³⁾	Samples (Requires Login)
DRV8825PWP	ACTIVE	HTSSOP	PWP	28	50	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-3-260C-168 HR	
DRV8825PWPR	ACTIVE	HTSSOP	PWP	28	2000	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-3-260C-168 HR	

⁽¹⁾ The marketing status values are defined as follows:

ACTIVE: Product device recommended for new designs.

LIFEBUY: TI has announced that the device will be discontinued, and a lifetime-buy period is in effect.

NRND: Not recommended for new designs. Device is in production to support existing customers, but TI does not recommend using this part in a new design.

PREVIEW: Device has been announced but is not in production. Samples may or may not be available.

OBSOLETE: TI has discontinued the production of the device.

⁽²⁾ Eco Plan - The planned eco-friendly classification: Pb-Free (RoHS), Pb-Free (RoHS Exempt), or Green (RoHS & no Sb/Br) - please check <http://www.ti.com/productcontent> for the latest availability information and additional product content details.

TBD: The Pb-Free/Green conversion plan has not been defined.

Pb-Free (RoHS): TI's terms "Lead-Free" or "Pb-Free" mean semiconductor products that are compatible with the current RoHS requirements for all 6 substances, including the requirement that lead not exceed 0.1% by weight in homogeneous materials. Where designed to be soldered at high temperatures, TI Pb-Free products are suitable for use in specified lead-free processes.

Pb-Free (RoHS Exempt): This component has a RoHS exemption for either 1) lead-based flip-chip solder bumps used between the die and package, or 2) lead-based die adhesive used between the die and leadframe. The component is otherwise considered Pb-Free (RoHS compatible) as defined above.

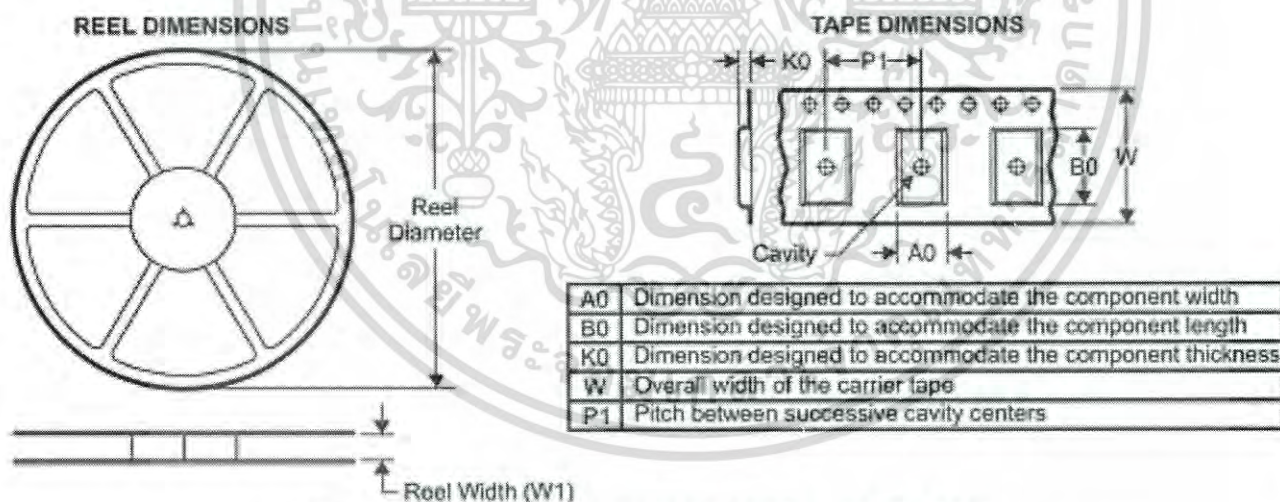
Green (RoHS & no Sb/Br): TI defines "Green" to mean Pb-Free (RoHS compatible), and free of Bromine (Br) and Antimony (Sb) based flame retardants (Br or Sb do not exceed 0.1% by weight in homogeneous material)

⁽³⁾ MSL, Peak Temp. -- The Moisture Sensitivity Level rating according to the JEDEC industry standard classifications, and peak solder temperature.

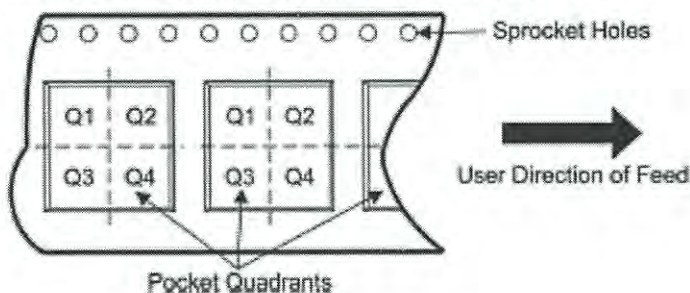
Important Information and Disclaimer: The information provided on this page represents TI's knowledge and belief as of the date that it is provided. TI bases its knowledge and belief on information provided by third parties, and makes no representation or warranty as to the accuracy of such information. Efforts are underway to better integrate information from third parties. TI has taken and continues to take reasonable steps to provide representative and accurate information but may not have conducted destructive testing or chemical analysis on incoming materials and chemicals. TI and TI suppliers consider certain information to be proprietary, and thus CAS numbers and other limited information may not be available for release.

In no event shall TI's liability arising out of such information exceed the total purchase price of the TI part(s) at issue in this document sold by TI to Customer on an annual basis.

TAPE AND REEL INFORMATION



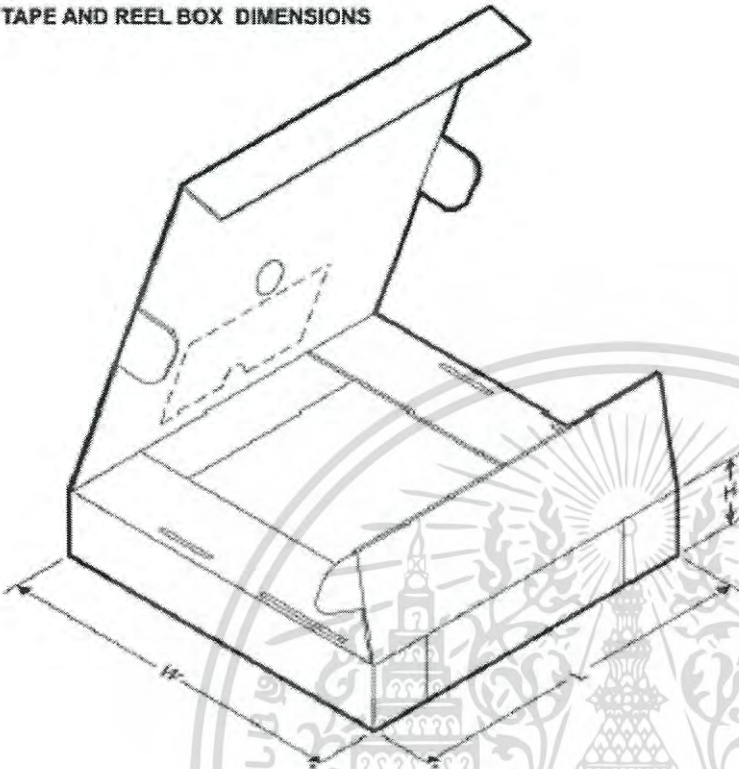
QUADRANT ASSIGNMENTS FOR PIN 1 ORIENTATION IN TAPE



*All dimensions are nominal

Device	Package Type	Package Drawing	Pins	SPQ	Reel Diameter (mm)	Reel Width W1 (mm)	A0 (mm)	B0 (mm)	K0 (mm)	P1 (mm)	W (mm)	Pin1 Quadrant
DRV8825PWPR	HTSSOP	PWP	28	2000	330.0	16.4	6.9	10.2	1.8	12.0	16.0	Q1

TAPE AND REEL BOX DIMENSIONS



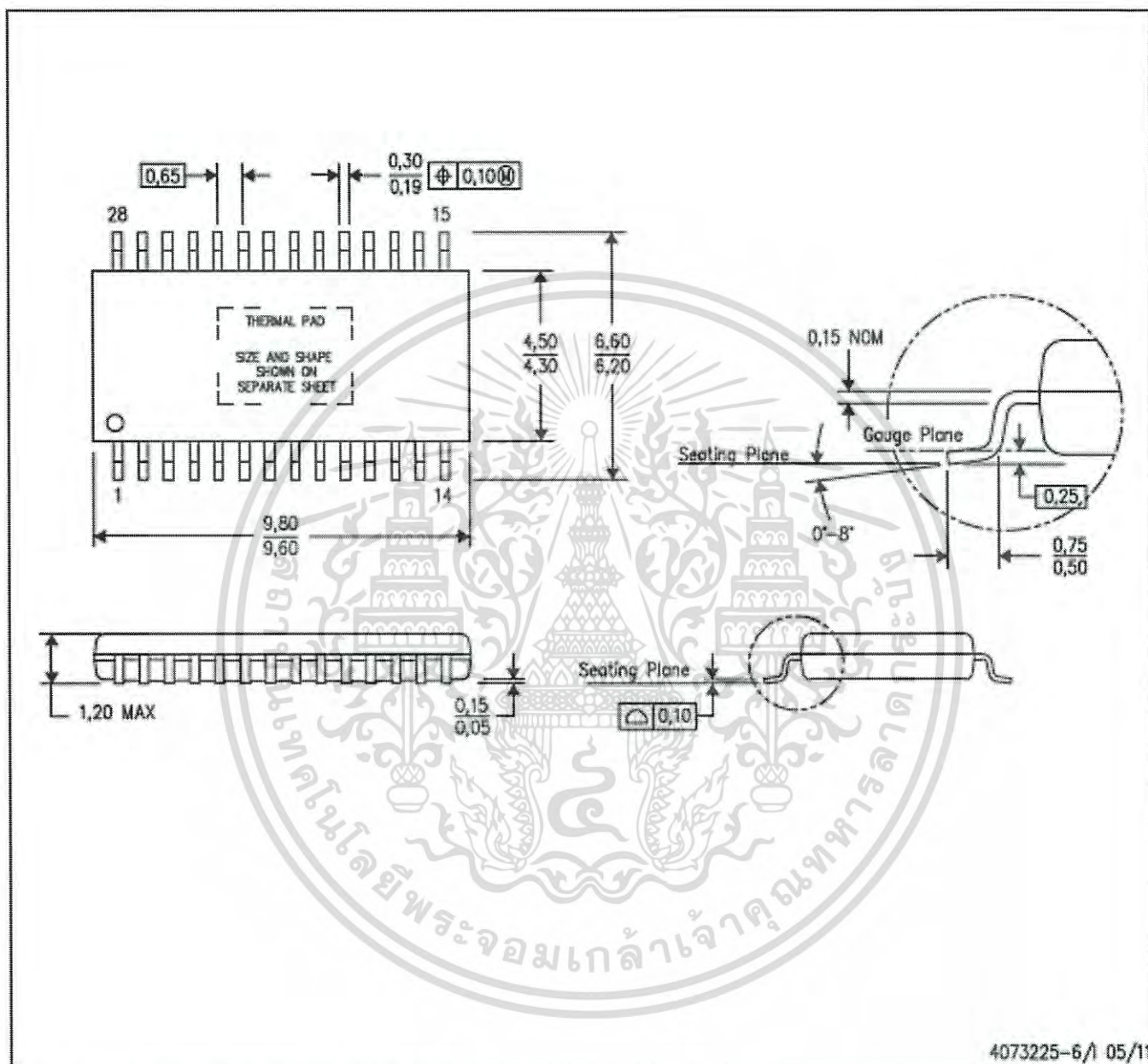
*All dimensions are nominal

Device	Package Type	Package Drawing	Pins	SPQ	Length (mm)	Width (mm)	Height (mm)
DRV8825PWPR	HTSSOP	PWP	28	2000	348.0	348.0	33.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PWP (R-PDSO-G28)

PowerPAD™ PLASTIC SMALL OUTLINE



4073225-6/ 05/11

- NOTES:
- All linear dimensions are in millimeters.
 - This drawing is subject to change without notice.
 - Body dimensions do not include mold flash or protrusions. Mold flash and protrusion shall not exceed 0.15 per side.
 - This package is designed to be soldered to a thermal pad on the board. Refer to Technical Brief, PowerPad Thermally Enhanced Package, Texas Instruments Literature No. SLMA002 for information regarding recommended board layout. This document is available at www.ti.com <<http://www.ti.com>>.
 - See the additional figure in the Product Data Sheet for details regarding the exposed thermal pad features and dimensions.
 - Falls within JEDEC MO-153

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

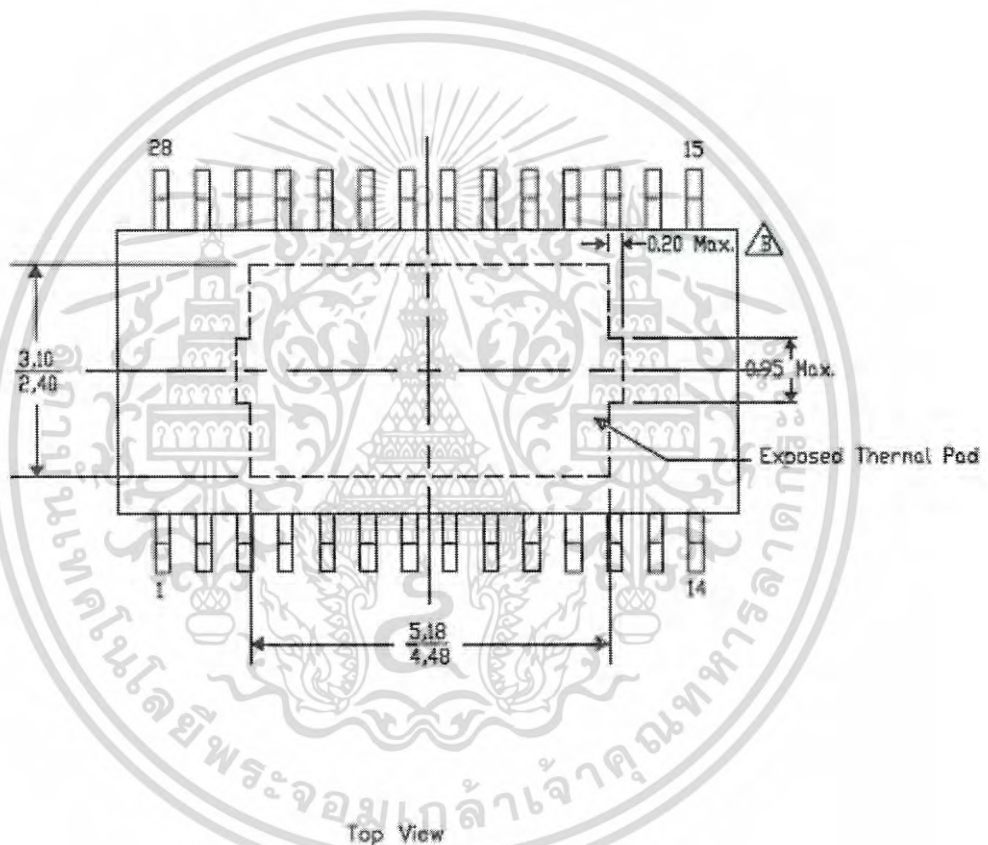
PWP (R-PDSO-G28) PowerPAD™ SMALL PLASTIC OUTLINE

THERMAL INFORMATION

This PowerPAD™ package incorporates an exposed thermal pad that is designed to be attached to a printed circuit board (PCB). The thermal pad must be soldered directly to the PCB. After soldering, the PCB can be used as a heatsink. In addition, through the use of thermal vias, the thermal pad can be attached directly to the appropriate copper plane shown in the electrical schematic for the device, or alternatively, can be attached to a special heatsink structure designed into the PCB. This design optimizes the heat transfer from the integrated circuit (IC).

For additional information on the PowerPAD package and how to take advantage of its heat dissipating abilities, refer to Technical Brief, PowerPAD Thermally Enhanced Package, Texas Instruments Literature No. SLMA002 and Application Brief, PowerPAD Made Easy, Texas Instruments Literature No. SLMA004. Both documents are available at www.ti.com.


The exposed thermal pad dimensions for this package are shown in the following illustration.



Exposed Thermal Pad Dimensions

4206332-28/W 05/11

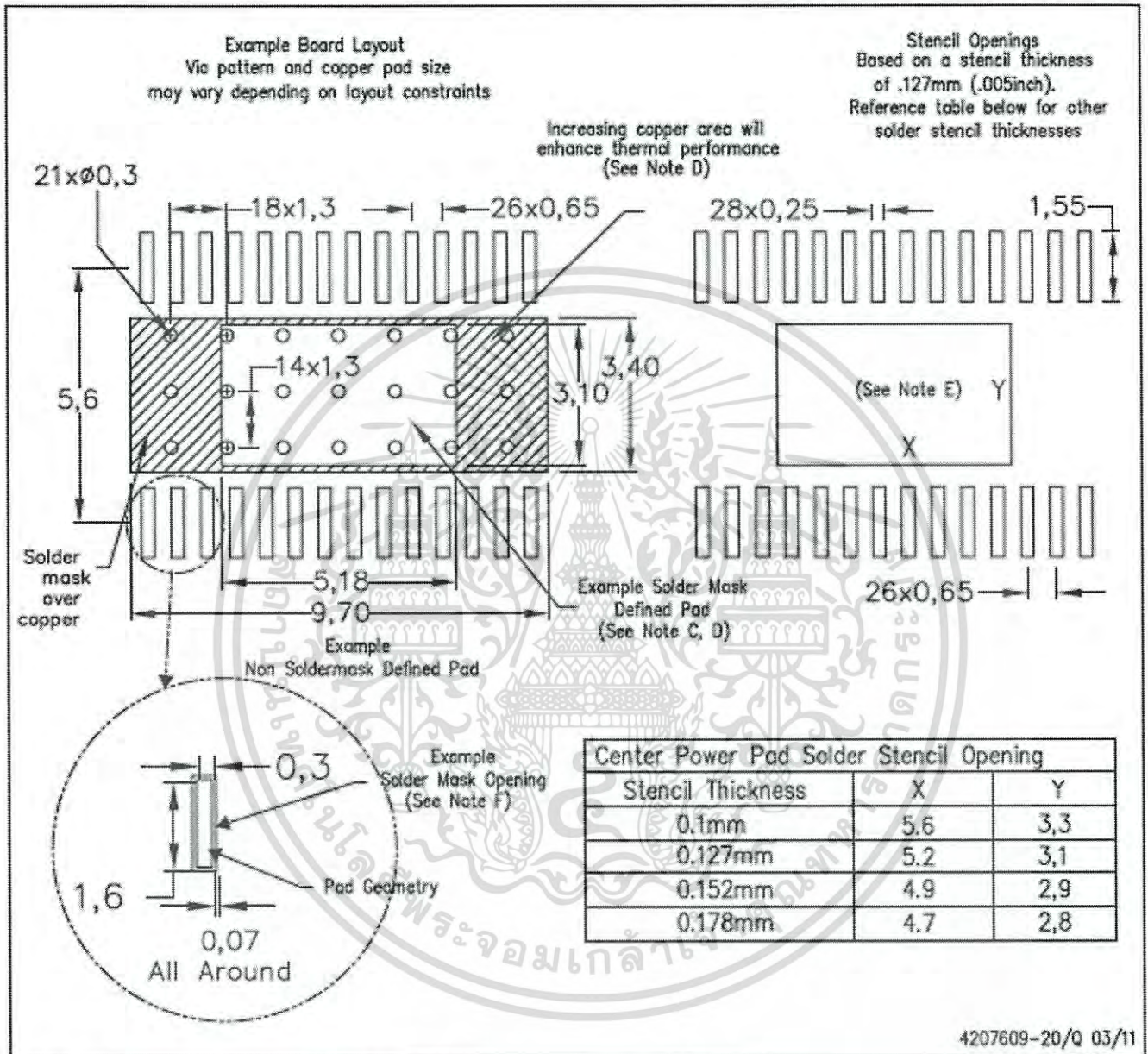
NOTE: A. All linear dimensions are in millimeters

 Exposed tie strap features may not be present.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PWP (R-PDSO-G28)

PowerPAD™ PLASTIC SMALL OUTLINE



- NOTES:
- All linear dimensions are in millimeters.
 - This drawing is subject to change without notice.
 - Customers should place a note on the circuit board fabrication drawing not to alter the center solder mask defined pad.
 - This package is designed to be soldered to a thermal pad on the board. Refer to Technical Brief, PowerPAD Thermally Enhanced Package, Texas Instruments Literature No. SLMA002, SLMA004, and also the Product Data Sheets.
 - For specific thermal information, via requirements, and recommended board layout. These documents are available at www.ti.com <<http://www.ti.com>>. Publication IPC-7351 is recommended for alternate designs. Laser cutting apertures with trapezoidal walls and also rounding corners will offer better paste release. Customers should contact their board assembly site for stencil design recommendations. Example stencil design based on a 50% volumetric metal load solder paste. Refer to IPC-7525 for other stencil design.
 - Customers should contact their board fabrication site for solder mask tolerances between and around signal pads.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IMPORTANT NOTICE

Texas Instruments Incorporated and its subsidiaries (TI) reserve the right to make corrections, modifications, enhancements, improvements, and other changes to its products and services at any time and to discontinue any product or service without notice. Customers should obtain the latest relevant information before placing orders and should verify that such information is current and complete. All products are sold subject to TI's terms and conditions of sale supplied at the time of order acknowledgment.

TI warrants performance of its hardware products to the specifications applicable at the time of sale in accordance with TI's standard warranty. Testing and other quality control techniques are used to the extent TI deems necessary to support this warranty. Except where mandated by government requirements, testing of all parameters of each product is not necessarily performed.

TI assumes no liability for applications assistance or customer product design. Customers are responsible for their products and applications using TI components. To minimize the risks associated with customer products and applications, customers should provide adequate design and operating safeguards.

TI does not warrant or represent that any license, either express or implied, is granted under any TI patent right, copyright, mask work right, or other TI intellectual property right relating to any combination, machine, or process in which TI products or services are used. Information published by TI regarding third-party products or services does not constitute a license from TI to use such products or services or a warranty or endorsement thereof. Use of such information may require a license from a third party under the patents or other intellectual property of the third party, or a license from TI under the patents or other intellectual property of TI.

Reproduction of TI information in TI data books or data sheets is permissible only if reproduction is without alteration and is accompanied by all associated warranties, conditions, limitations, and notices. Reproduction of this information with alteration is an unfair and deceptive business practice. TI is not responsible or liable for such altered documentation. Information of third parties may be subject to additional restrictions.

Resale of TI products or services with statements different from or beyond the parameters stated by TI for that product or service voids all express and any implied warranties for the associated TI product or service and is an unfair and deceptive business practice. TI is not responsible or liable for any such statements.

TI products are not authorized for use in safety-critical applications (such as life support) where a failure of the TI product would reasonably be expected to cause severe personal injury or death, unless officers of the parties have executed an agreement specifically governing such use. Buyers represent that they have all necessary expertise in the safety and regulatory ramifications of their applications, and acknowledge and agree that they are solely responsible for all legal, regulatory and safety-related requirements concerning their products and any use of TI products in such safety-critical applications, notwithstanding any applications-related information or support that may be provided by TI. Further, Buyers must fully indemnify TI and its representatives against any damages arising out of the use of TI products in such safety-critical applications.

TI products are neither designed nor intended for use in military/aerospace applications or environments unless the TI products are specifically designated by TI as military-grade or "enhanced plastic." Only products designated by TI as military-grade meet military specifications. Buyers acknowledge and agree that any such use of TI products which TI has not designated as military-grade is solely at the Buyer's risk, and that they are solely responsible for compliance with all legal and regulatory requirements in connection with such use.

TI products are neither designed nor intended for use in automotive applications or environments unless the specific TI products are designated by TI as compliant with ISO/TS 16949 requirements. Buyers acknowledge and agree that, if they use any non-designated products in automotive applications, TI will not be responsible for any failure to meet such requirements.

Following are URLs where you can obtain information on other Texas Instruments products and application solutions:

Products	Applications
Audio www.ti.com/audio	Communications and Telecom www.ti.com/communications
Amplifiers amplifier.ti.com	Computers and Peripherals www.ti.com/computers
Data Converters dataconverter.ti.com	Consumer Electronics www.ti.com/consumer-apps
DLP® Products www.dlp.com	Energy and Lighting www.ti.com/energy
DSP dsp.ti.com	Industrial www.ti.com/industrial
Clocks and Timers www.ti.com/clocks	Medical www.ti.com/medical
Interface interface.ti.com	Security www.ti.com/security
Logic logic.ti.com	Space, Avionics and Defense www.ti.com/space-avionics-defense
Power Mgmt power.ti.com	Transportation and Automotive www.ti.com/automotive
Microcontrollers microcontroller.ti.com	Video and Imaging www.ti.com/video
RFID www.ti-rfid.com	Wireless www.ti.com/wireless-apps
RF/IF and ZigBee® Solutions www.ti.com/lprf	
TI E2E Community Home Page	e2e.ti.com

Mailing Address: Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265
Copyright © 2011, Texas Instruments Incorporated

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

n.2 Stepping motor NEMA 17



Stepper Motor NEMA 17

This document describes mechanical and electrical specifications for PBC Linear stepper motors; including standard, hollow, and extended shaft variations.

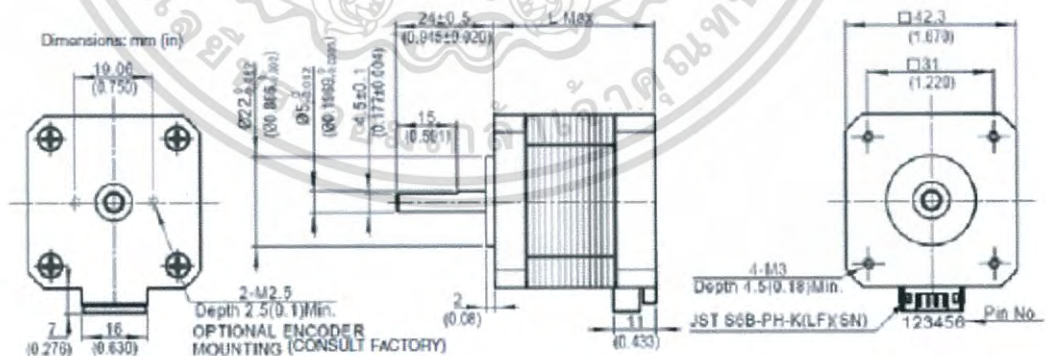


Standard shaft motor shown.

- Phases 2
- Steps/Revolution 200
- Step Accuracy ±5%
- Shaft Load 20,000 Hours at 1000 RPM
- Axial 25 N (5.6 lbs.) Push
- 65 N (15 lbs.) Pull
- Radial 29 N (6.5 lbs.) At Flat Center
- IP Rating 40
- Approvals RoHS
- Operating Temp -20° C to +40° C
- Insulation Class B, 130° C
- Insulation Resistance 100 MegOhms

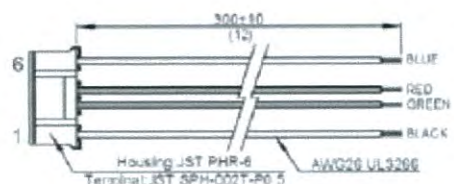
Description	Length	Mounted Rated Current	Mounted Holding Torque		Winding Ohms		Detent Torque		Rotor Inertia		Motor Weight	
			Nm	oz-in	Ω	mH	mNm	oz-in	g-cm ²	oz-in ²	kg	lbs
(Stack)	1" Max	Artd	Nm	oz-in	±10%	typ	mNm <td>oz-in</td> <td>g-cm²</td> <td>oz-in²</td> <td>kg</td> <td>lbs</td>	oz-in	g-cm ²	oz-in ²	kg	lbs
Single	29.6 mm (1.57 in)	2	0.48	68	1.04	2.2	15	2.1	57	0.31	0.28	0.62
Double	46.3 mm (1.82 in)	2	0.63	89	1.2	2.9	25	3.6	82	0.45	0.36	0.79
Triple	62.6 mm (2.47 in)	2	0.83	120	1.49	3.8	30	4.2	123	0.67	0.6	1.3

*All standard motors have plug connector. Consult factory for other options.



Standard shaft dimensions shown. All other dimensions apply to hollow and extended shaft options.

Dimensions: mm (in)
4 Lead Connector, PBC Part#6200490
(Consult factory for optional motor connectors)

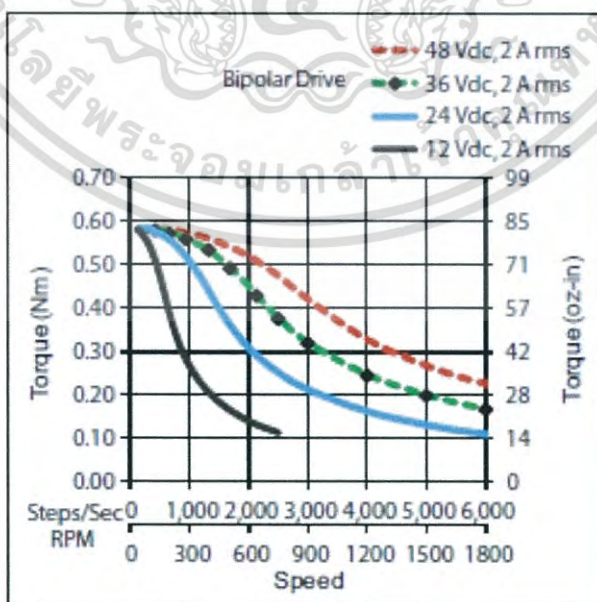
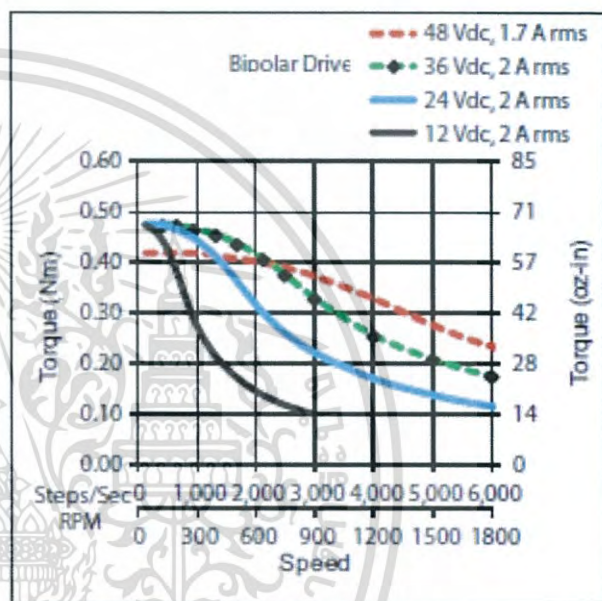
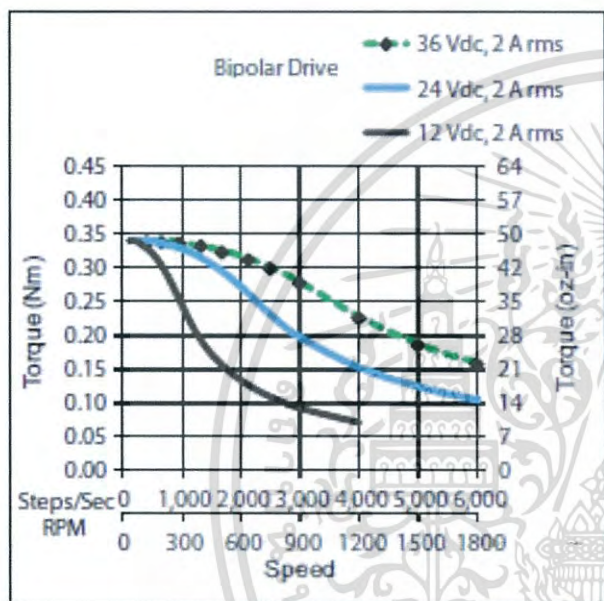


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ LINEAR MOTION SOLUTIONS www.pbclinear.com ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



NEMA 17 Stepper Motor

*Performance curves apply to continuous duty cycles.
Consult factory for intermittent cycles or other voltages.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.3 Arduino Uno R3



รูปที่ ก- 1 Arduino Uno R3

Arduino Uno R3 เป็นบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ในตระกูล AVR ที่มีการพัฒนาแบบ Open Source คือมีการเปิดเผยข้อมูลทั้งด้าน Hardware และ Software ตัว บอร์ดถูกออกแบบมาให้ใช้กับชิพ ATmega328 โดยสามารถเลือกใช้กับระบบไฟเลี้ยงที่เป็น 7V ถึง 12V ให้เหมาะสมกับจุดประสงค์ของการใช้งานได้อีกด้วย

โดยโครงสร้างของบอร์ด Arduino Uno R3 ได้รับการออกแบบให้บอร์ดมีขนาดเล็ก เหมาะต่อการนำไปประยุกต์ใช้งานและยังสามารถใช้เป็นชุดทดลองเรียนรู้เบื้องต้นได้อีกด้วย โดยภายในบอร์ดได้บรรจุเอาวงจรที่จำเป็นต่อการใช้งาน และสะดวกต่อการพัฒนาโปรแกรม มีความยืดหยุ่นสามารถปรับเปลี่ยนสัญญาณ I/O เพื่อนำไปประยุกต์ใช้งานในลักษณะต่างๆให้สอดคล้องและเหมาะสมกับความต้องการใช้งานได้ในหลายๆลักษณะตามความต้องการ

นอกจากนี้แล้วบอร์ด Arduino Uno R3 ยังสามารถต่ออุปกรณ์เสริมต่างๆได้ คือผู้ใช้งานสามารถต่อวงจรอิเล็กทรอนิกส์จากภายนอกแล้วเชื่อมต่อเข้ามาที่ขา I/O ของบอร์ด หรือเพื่อความสะดวกสามารถเลือกต่อกับบอร์ดเสริม (Arduino Shield) ประเภทต่างๆ เช่น Arduino XBee Shield, Arduino Music Shield, Arduino Relay Shield, Arduino Wireless Shield, Arduino GPRS Shield เป็นต้น มาเสียบกับบอร์ดบนบอร์ด Arduino แล้วเขียนโปรแกรมพัฒนาต่อได้เลย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับการเผยแพร่เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ผู้เห็นใบใช้ประโยชน์การดำเนินการ
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณสมบัติของบอร์ด

1. ใช้ MCU เป็น ATmega382 เป็น MCU ประจําบอร์ด รุ่นที่ clock ความถี่ 16 MHz
32 KB (ATmega328) Flash Memory / 2 KB (ATmega328) SRAM / 1 KB (ATmega328) EEPROM
2. ใช้แรงดันไฟฟ้าในการทํางาน 5V แต่สามารถรับแรงดันขาเข้าได้ในช่วง 7 – 12 V
3. มีพอร์ต Digital I/O Pins 14 พอร์ต (มี 6 พอร์ตสามารถใช้เป็น PWM output)
4. มีพอร์ต Analog I/O Pins 6 พอร์ต
5. กระแสไฟ DC ต่อขา I/O 40 mA
6. กระแสไฟ DC สำหรับขา 3.3V 50 mA
7. มี USB Connector และ Power Jack DC
8. ขนาด 68.6x53.4 mm
9. น้ำหนัก 25 กรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.4 DC Supply 12V 5A



รูปที่ ก-2 Supply 12V 5A

ก.5 Logitech C270h



รูปที่ ก- 3 Supply 5V 5A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน



นาย ชัชชล แก้วพิลา

วัน เดือน ปีเกิด 3 มีนาคม พ.ศ. 2539

ประวัติการศึกษา

ปีการศึกษา 2556 สำเร็จการศึกษาระดับ

มัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียน กมลาไสย จังหวัด
กาฬสินธุ์

ปีการศึกษา 2560 จะสำเร็จการศึกษา

วิศวกรรมศาสตรบัณฑิตสาขาวิศวกรรมพลังงานไฟฟ้า
จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร
ลาดกระบัง



นาย สิทธิ จงเฉลิมชัย

วัน เดือน ปีเกิด 9 มกราคม พ.ศ. 2539

ประวัติการศึกษา

ปีการศึกษา 2556 สำเร็จการศึกษาระดับ

มัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียน มัธยมวัดดุสิตาราม
จังหวัด กรุงเทพฯ

ปีการศึกษา 2560 จะสำเร็จการศึกษา

วิศวกรรมศาสตรบัณฑิตสาขาวิศวกรรมพลังงานไฟฟ้า
จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร
ลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้