



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

ตัวต้นแบบระบบสะท้อนแสงอาทิตย์
สำหรับระบบตัวรับรังสีรวมกลาง

**Sun Reflecting System Prototype
for Central Receiver System**

มนุศักดิ์ จานทอง

หัวหน้าโครงการ

ธัญช ศรีพนม

ผู้วิจัยร่วม

วรพันธ์ สาระสุรีย์ภรณ์

ผู้วิจัยร่วม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

งบประมาณประจำปี พ.ศ. 2553

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

รายงานวิจัย

ตัวต้นแบบระบบสะท้อนแสงอาทิตย์สำหรับ
ระบบตัวรับรังสีรวมกลาง

Sun Reflecting System Prototype for
Central Receiver System

มนุศักดิ์ จานทอง

ธัญช ศิริพนม

วรพันธ์ สาระสุริย์ภรณ์

ส่วนที่ 1 รายละเอียดโครงการ

1. ชื่อโครงการวิจัย ตัวต้นแบบระบบสะท้อนแสงอาทิตย์สำหรับระบบตัวรับรังสีรวมกลาง
(Sun Reflecting System Prototype for Central Receiver System)

2. หน่วยงานหลักที่รับผิดชอบงานวิจัย และสถานที่ตั้งพร้อมทั้งชื่อหน่วยงาน และลักษณะ
ของการร่วมงานวิจัยกับหน่วยงานอื่น (ถ้ามี)

หน่วยงานหลักที่รับผิดชอบ

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล
ธัญบุรี ต. คลองหก อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12110 โทร. 0-2549-3430-5 โทรสาร 0-2549-3432

3. คณะผู้วิจัย บทบาทของนักวิจัยแต่ละคนในการทำวิจัย และสัดส่วนที่ทำการวิจัย (%)

ลำดับ	ชื่อ-สกุล	บทบาทนักวิจัย	สัดส่วนการทำวิจัย
1	นายมนูศักดิ์ จานทอง Mr. Manusak Janthong	หัวหน้าโครงการและ ผู้วิจัยหลัก	50%
2	นายธัญ ศรีพนม Mr. Tanut Sripanom	ผู้ร่วมวิจัย	30%
3	นายวรพันธ์ สารสุรีย์ภรณ์ Mr. Waraphan Sarasureeporn	ผู้ร่วมวิจัย	20%

4. ประเภทของการวิจัย การพัฒนาทดลอง

5. สาขาวิชาการและกลุ่มวิชาที่ทำการวิจัย สาขาวิศวกรรมศาสตร์และอุตสาหกรรมวิจัย

ส่วนที่ 2 เนื้อหาโครงการ

บทคัดย่อ

โครงการวิจัยนี้นำเสนอการควบคุมด้วยภาพสำหรับระบบรับรังสีรวมกลาง โดยระบบแบ่งออกเป็นสองส่วน คือ ระบบติดตามดวงอาทิตย์และระบบสะท้อนแสงอาทิตย์ ในระบบติดตามดวงอาทิตย์ โครงสร้างมีองศาอิสระเท่ากับ 2 และใช้กล้องดิจิทัลอุตสาหกรรมในการตรวจจับตำแหน่งของดวงอาทิตย์ ส่วนระบบสะท้อนแสงอาทิตย์มีองศาอิสระเท่ากับ 2 และติดตั้งแผ่นกระจกไว้ด้านบนโครงสร้างเพื่อเป็นตัวสะท้อนแสงอาทิตย์

สำหรับการออกแบบตัวควบคุมระบบติดตามดวงอาทิตย์ได้ใช้ตัวควบคุมแบบพีไอดี (PID - controller) และมีเป้าหมายต้องการควบคุมให้ตำแหน่งกึ่งกลางดวงอาทิตย์ที่ได้จากกล้องดิจิทัลอุตสาหกรรมอยู่ ณ ตำแหน่งกึ่งกลางข้อมูลภาพ จากนั้นคำนวณหาค่าตำแหน่งดวงอาทิตย์เพื่อใช้ในการควบคุมการหมุนของระบบสะท้อนแสงอาทิตย์ ให้สะท้อนแสงอาทิตย์ไปยังเป้าหมายที่ต้องการ

การทดลองแบ่งเป็น 3 ส่วน คือ 1. ศึกษาผลตอบสนองของระบบติดตามดวงอาทิตย์โดยใช้หลอดไฟแทนดวงอาทิตย์ ผลการทดลองพบว่าระบบมี Peak time (T_p) = 0.5 วินาที, Settling time (T_s) = 1.5 วินาที และมี Steady state error ± 3 พิกเซล 2. ทดลองการทำงานของระบบติดตามดวงอาทิตย์ ผลการทดลองพบว่าระบบสามารถติดตามดวงอาทิตย์ได้จริงและมีค่าความผิดพลาดอยู่ที่ ± 5 พิกเซล 3. ทดลองการทำงานระหว่างระบบติดตามดวงอาทิตย์และระบบสะท้อนแสงอาทิตย์ ผลการทดลองพบว่า ระบบสามารถสะท้อนแสงอาทิตย์ไปยังเป้าหมายได้ตลอดช่วงเวลาที่ทดสอบ มีความคลาดเคลื่อนมากที่สุด ± 0.5 เมตร

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรีและสำนักงานวิจัยแห่งชาติ (วช.) อย่างสูงที่ได้มอบทุนวิจัยสำหรับโครงการวิจัยนี้ และขอขอบพระคุณภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลที่อำนวยความสะดวกพร้อมทั้งสนับสนุนในด้านต่างๆ เพื่อดำเนินการโครงการวิจัย และท้ายที่สุดขอกล่าวคำขอบพระคุณไปยังคณาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลทุกๆ ท่านที่ได้ให้คำแนะนำที่มีประโยชน์ทุกๆ ด้านแก่คณะผู้วิจัย

คณะผู้วิจัย

สารบัญ

บทคัดย่อ.....	iii
กิตติกรรมประกาศ.....	iv
สารบัญ.....	v
สารบัญรูปภาพ.....	vi
สารบัญตาราง.....	ix
1. บทนำ.....	1
2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	4
3. โครงสร้างของระบบ.....	26
4. การทดลองและผลลัพธ์.....	41
5. บทสรุป.....	52
บรรณานุกรม.....	55
ภาคผนวก ก โค้ดโปรแกรมที่ใช้ในการควบคุม.....	58
ภาคผนวก ข ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่.....	65

สารบัญรูปภาพ

2.1	โครงสร้างของระบบหาตำแหน่งดวงอาทิตย์โดยใช้เครื่องมือวัดพลังงานจากดวงอาทิตย์	5
2.2	ระบบติดตามดวงอาทิตย์จากอุปกรณ์ตรวจจับตำแหน่งเชิงดิจิทัลด้วยซีพีแอลดี ..	6
2.3	โครงสร้างของระบบติดตามดวงอาทิตย์ที่ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการควบคุม ..	6
2.4	โหมดปรับตั้ง	7
2.5	โหมดติดตาม	7
2.6	เสาสะท้อนแสงอาทิตย์ ที่เคลื่อนที่ได้ 2 แกน	7
2.7	การโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์	9
2.8	การขึ้นและตกของดวงอาทิตย์ในวันที่ 21 ธันวาคม	9
2.9	การขึ้นและตกของดวงอาทิตย์ในวันที่ 21 มิถุนายน	10
2.10	มุมมองต่างๆ ที่มีความสัมพันธ์ระหว่างดวงอาทิตย์กับพื้นผิวโลก	10
2.11	มุมมองซิมูมและมุมมองอัลติจูด	11
2.12	รูปแบบของการเก็บพลังงานแสงอาทิตย์	15
2.13	ระบบปรับรังสีรวมกลาง	15
2.14	อุปกรณ์ในระบบปรับรังสีรวมกลาง	16
2.15	เวกเตอร์ตำแหน่งดวงอาทิตย์	16
2.16	เวกเตอร์ตั้งฉากของระบบสะท้อนแสงอาทิตย์	19
2.17	CCD และ CMOS เซ็นเซอร์	21
2.18	โครงสร้างของ CCD เซนเซอร์	22

2.19	โครงสร้างของ CCD เซนเซอร์	22
2.20	การควบคุมแบบพีไอดี	23
2.21	การควบคุมแบบป้อนกลับ	23
3.1	โครงสร้างระบบติดตามดวงอาทิตย์	27
3.2	ระบบติดตามดวงอาทิตย์	27
3.3	กล้องดิจิตอลอุตสาหกรรม	28
3.4	ข้อมูลภาพขาวเทา	28
3.5	ข้อมูลภาพสีขาวกับดำ	29
3.6	มอเตอร์ไดรฟ์	29
3.7	มอเตอร์	30
3.8	ภาพที่ผ่านการไบนารีไรซ์	31
3.9	แผนผังการทำไบนารีไรซ์	31
3.10	แผนผังการหาจุดศูนย์กลางของดวงอาทิตย์	33
3.11	ระบบสัญญาณการควบคุมของระบบติดตามดวงอาทิตย์ที่ใช้ในการทดลอง	34
3.12	ระบบสะท้อนแสงอาทิตย์ที่ใช้ในการทดลอง	35
3.13	มอเตอร์ไดรฟ์	35
3.14	มอเตอร์ AC Servo	36
3.15	ระบบสัญญาณการควบคุมระบบสะท้อนแสงอาทิตย์ที่ใช้ในการทดลอง	37
3.16	ระบบติดตามดวงอาทิตย์และระบบสะท้อนแสงอาทิตย์ที่ใช้ในการทดลอง	38
3.17	ระบบสัญญาณการควบคุมระบบติดตามดวงอาทิตย์และระบบสะท้อนแสงอาทิตย์ที่ ใช้ในการทดลอง	40
4.1	ลักษณะการตอบสนองของระบบโดยใช้หลอดไฟ	42
4.2	การทดลองติดตามดวงอาทิตย์	43
4.3	ลักษณะการตอบสนองของระบบติดตามดวงอาทิตย์	44
4.4	การทดลองระบบติดตามดวงอาทิตย์และระบบสะท้อนแสงอาทิตย์	46
4.5	ระนาบของระบบสะท้อนแสงอาทิตย์และตำแหน่งเป้าหมายของการทดลอง	46
4.6	เป้าหมายการทดลอง	47
4.7	ผลการทดลองระบบติดตามดวงอาทิตย์และระบบสะท้อนแสงอาทิตย์	48
4.8	ผลการทดลองระบบติดตามดวงอาทิตย์	49
4.9	ผลการทดลองระบบติดตามดวงอาทิตย์ระหว่างมุมการหมุนของมอเตอร์กับเวลา ...	50
4.10	ผลการทดลองระบบสะท้อนแสงอาทิตย์ระหว่างมุมการหมุนของมอเตอร์กับเวลา ..	50
ก.1	บล็อกไดอะแกรมการประมวลผลภาพและหาจุดศูนย์กลางของดวงอาทิตย์	59
ก.2	ไค้ตลุปควบคุมการหมุนของมอเตอร์ของระบบติดตามดวงอาทิตย์	60

ก.3 Front Panel ของระบบติดตามแสงอาทิตย์	61
ก.4 บล็อกไดอะแกรมการหามุมในการหมุนของระบบสะท้อนแสงอาทิตย์	62
ก.5 บล็อกไดอะแกรมการควบคุมระบบสะท้อนแสงอาทิตย์	63
ก.6 โค้ดรูปควบคุมและแสดงสถานะของมอเตอร์	64

สารบัญตาราง

2.1 ตารางวันที่ของรอบปี	12
-------------------------------	----

บทที่ 1

บทนำ

สภาวะวิกฤตพลังงานในปัจจุบันยิ่งทวีความรุนแรงมากขึ้นอย่างเห็นได้ชัด จะเห็นได้จากราคาน้ำมันที่ประชาชนต้องจ่ายให้กับรถยนต์ ราคาค่าไฟฟ้าต่อหน่วยที่เพิ่มมากขึ้น และรวมไปถึงราคาแก๊สที่จะปรับราคาเพิ่มสูงขึ้น ดังนั้นพลังงานทางเลือกจึงเป็นพลังงานที่ไม่อาจจะมองข้ามได้อีกแล้ว พลังงานทางเลือกที่พบเห็นกันมากได้แก่ พลังงานลมและพลังงานแสงอาทิตย์ซึ่งสามารถใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าทดแทนการใช้ น้ำมันและแก๊ส และเนื่องจากประเทศไทยตั้งอยู่ในเขตที่ได้รับแสงอาทิตย์ปริมาณมากต่อวัน ด้วยเหตุนี้จึงควรใช้ข้อดีนี้มาเป็นประโยชน์และพัฒนาเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับแสงอาทิตย์ เพื่อนำเอาพลังงานที่ได้จากแสงอาทิตย์มาทำคุณประโยชน์ต่อประเทศชาติต่อไป

ผู้วิจัยจึงนำเสนอโครงการวิจัยที่เกี่ยวข้องกับพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งเป็นระบบสะท้อนแสงอาทิตย์เพื่อใช้สำหรับตัวรับรังสีรวมกลาง (Central Receiver) ซึ่งตัวรับรังสีรวมกลางนี้จะเป็นตัวรับรังสีความร้อนจากแสงอาทิตย์และถ่ายเทความร้อนนี้สู่ของไหล ที่ไหลอยู่ภายในตัวรับรังสีรวมกลาง และของไหลร้อนนี้ก็จะถูกนำไปใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าต่อไป โดยที่โครงการวิจัยนี้จะทำการศึกษาวิจัยเฉพาะส่วนการออกแบบระบบควบคุมการสะท้อนแสงอาทิตย์ให้รวมกันที่ตัวรับรังสีรวมกลาง ซึ่งจะเป็นการออกแบบและสร้างตัวสะท้อนแสงอาทิตย์และตัวติดตามดวงอาทิตย์โดยใช้กล้องดิจิตอลอุตสาหกรรมเป็นตัวตรวจวัดตำแหน่งดวงอาทิตย์

วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1. เพื่อช่วยลดปัญหาเรื่องพลังงานของชาติ
2. เพื่อศึกษาและพัฒนาเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องพลังงานแสงอาทิตย์
3. เพื่อศึกษาออกแบบและสร้างระบบสะท้อนแสงอาทิตย์ที่ใช้สำหรับตัวรับรังสีรวมกลาง
4. เพื่อศึกษาการใช้กล้องดิจิทัลอุตสาหกรรมมาประยุกต์เป็นตัวตรวจวัดตำแหน่งดวงอาทิตย์

ขอบเขตของโครงการวิจัย

1. สร้างระบบต้นแบบระบบสะท้อนแสงอาทิตย์สำหรับระบบตัวรับรังสีรวมกลาง
2. สร้างตัวต้นแบบของตัวสะท้อนแสงอาทิตย์และตัวติดตามดวงอาทิตย์ที่มีองศาอิสระเท่ากับ 2
3. ออกแบบระบบควบคุมที่ควบคุมให้ตัวติดตามดวงอาทิตย์สามารถติดตามดวงอาทิตย์ได้
4. ออกแบบระบบควบคุมที่ควบคุมให้ตัวสะท้อนแสงดวงอาทิตย์สามารถสะท้อนแสงอาทิตย์ไปยังตำแหน่งที่ต้องการได้
5. นำกล้องดิจิทัลอุตสาหกรรมมาใช้เป็นตัวตรวจวัดตำแหน่งดวงอาทิตย์

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ผลการทำงานของระบบที่ออกแบบสามารถถูกนำไปใช้เป็นฐานความรู้ เพื่อที่จะช่วยในการออกแบบระบบสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์ให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นต่อไปในอนาคต พร้อมกันนั้นยังช่วยพัฒนาศักยภาพเทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศ
2. ได้ระบบสะท้อนแสงอาทิตย์ที่ใช้ในขบวนการผลิตกระแสไฟฟ้า ซึ่งผู้ประกอบการผลิตไฟฟ้า อาทิเช่น การไฟฟ้าฝ่ายผลิต เป็นต้น สามารถนำไปประยุกต์หรือพัฒนาต่อยอดในการผลิตกระแสไฟฟ้าได้
3. สามารถเรียบเรียงเป็นบทความทางวิชาการเพื่อตีพิมพ์เผยแพร่หรือเข้าร่วมงานประชุมวิชาการ
4. รู้ถึงระบบ โครงสร้าง ตัวตรวจวัด ของระบบสะท้อนแสงอาทิตย์หรือระบบรวมแสงอาทิตย์ สำหรับระบบรับรังสีรวมกลาง ซึ่งสามารถนำมาถ่ายทอดความรู้ให้แก่นิสิต นักศึกษา และบุคคลทั่วไปที่สนใจได้
5. พัฒนาทักษะในการออกแบบตัวควบคุมและการเชื่อมโยงอุปกรณ์ในการควบคุม
6. เป็นชุดทดลองประกอบการสอนในวิชาการควบคุมอัตโนมัติ ทำให้นักศึกษาได้รู้หลักการประยุกต์ใช้ระบบควบคุมอัตโนมัติ

หน่วยงานที่จะนำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์

1. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
2. คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
3. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

4. ศูนย์พัฒนาบุคลากรเพื่ออุตสาหกรรมและปิโตรเคมี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
5. หน่วยงานของรัฐและเอกชนที่มีความสนใจ
6. นักวิจัย นักประดิษฐ์ ของสถาบันการศึกษาต่าง ๆ

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

ในการศึกษาวิจัยงานวิจัยที่มีความเกี่ยวข้องกับการควบคุมระบบติดตามดวงอาทิตย์และระบบสะท้อนแสงอาทิตย์ คณะผู้วิจัยได้ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการทำวิจัย โดยรวบรวมและเรียบเรียงสาระสำคัญไว้ดังต่อไปนี้

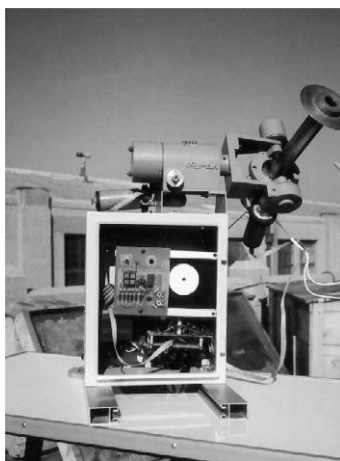
Aracil และ คณะ [1] นำเสนอระบบติดตามดวงอาทิตย์โดยใช้ตัวตรวจจับที่ถูกทำมาด้วยเทคโนโลยี MEMS ส่วนอัลกอริทึมที่ใช้ในการควบคุมนั้นได้ใช้การพิจารณาสมการอนุพันธ์ของวงโคจรและตำแหน่งของดวงอาทิตย์ด้วยการคำนวณจากสมการคณิตศาสตร์ ที่แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างผิวโลกกับพิกัดตำแหน่งของดวงอาทิตย์แทนการใช้ตัวตรวจจับแอลดีอาร์ (LDR) โดยอุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุมเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์รุ่น P89V51RD2 เพื่อที่จะควบคุมการหมุนของมอเตอร์ให้

หมุนตามพิกัดของดวงอาทิตย์ที่ได้จากการคำนวณโดยใช้หลักการควบคุมแบบป้อนกลับ

คงฤทธิ และ คณะ [3] ได้นำเสนอโปรแกรมจำลองติดตามดวงอาทิตย์ (Sun tracking and simulation) ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ช่วยในการคำนวณหาพิกัดตำแหน่งของดวงอาทิตย์ ณ เวลาใดๆ โดยการแสดงผลจะออกมาเป็นทั้งค่าของ มุมซันนิซ (Zenith angle) มุมอซิมูทซิริยะ (Solar azimuth) มุมอัลติจูดซิริยะ (Solar altitude) มุมระหว่างแนวเส้นแวงแสงอาทิตย์ (Declination angle)

และมุมชั่วโมง (Hour angle) อีกทั้งยังสามารถแสดงการเปรียบเทียบค่าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบบนตัวรับ รังสีดวงอาทิตย์แบบเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์และแบบติดตั้งอยู่กับที่

Roth และ คณะ [4] ได้สร้างระบบจักรกลไฟฟ้าในการหาตำแหน่งของดวงอาทิตย์ โดยใช้ระบบวัดตำแหน่งดวงอาทิตย์แบบออตโนมิตีด้วยโฟโตไดโอดจำนวน 4 ตัว (Four - quadrant photodiode) ซึ่งติดตั้งเป็นวงกลม และวัดการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ด้วยเครื่องมือวัดพลังงานจากดวงอาทิตย์ (Pyrheliometer) ส่วนระบบควบคุมการเคลื่อนที่ของระบบจักรกลไฟฟ้าแบบออตโนมิตีได้ใช้การควบคุมแบบวงปิดและมีตัวต้นกำลังเป็นดีซีมอเตอร์



รูปที่ 2.1 โครงสร้างของระบบหาตำแหน่งดวงอาทิตย์โดยใช้เครื่องมือวัดพลังงานจากดวงอาทิตย์ [4]

Bakos [5] ได้ออกแบบระบบติดตามดวงอาทิตย์แบบสองแกนที่มีโครงสร้างอย่างง่ายที่ใช้มอเตอร์เป็นตัวขับเคลื่อน โดยที่โครงสร้างนี้จะต้องง่ายแก่การติดตั้ง การทำงานและยังต้องการซ่อมบำรุงต่ำ ส่วนตัวตรวจวัดตำแหน่งดวงอาทิตย์นั้นได้ใช้โฟโตรีซิสเตอร์ (Photoresistor) จำนวน 2 ตัว ต่ออนุกรมกัน

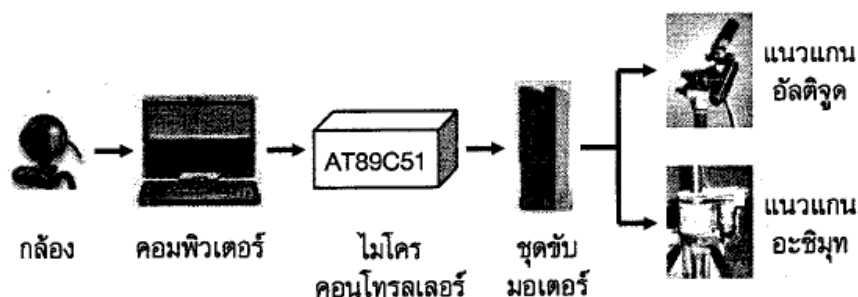
อนุชา และ คณะ [6] ได้ออกแบบเครื่องติดตามดวงอาทิตย์แบบ 2 แกน ส่วนตัวตรวจจับรังสีดวงอาทิตย์ได้ใช้โฟโตทรานซิสเตอร์ โดยใช้หลักการบังเงาจากกัน ในการขับเคลื่อนนั้นได้ใช้มอเตอร์กระแสตรงเป็นตัวต้นกำลังจำนวน 2 ตัว เพื่อที่เครื่องติดตามดวงอาทิตย์นี้จะได้เคลื่อนที่ตามแนวแกนอัลติจูด และ อซิมูท

ธนภัทร พรหมวัฒน์ภักดี และ คณะ [7] เสนอระบบติดตามดวงอาทิตย์จากอุปกรณ์ตรวจจับตำแหน่งเชิงดิจิทัลด้วยซีพีแอลดี โดยในการติดตามดวงอาทิตย์ใช้หลักการบังเงาของฉากกัน มีโฟโตทรานซิสเตอร์เป็นตัวตรวจจับรังสีตรงของดวงอาทิตย์ การวางตำแหน่งโฟโตทรานซิสเตอร์ออกแบบให้สามารถตรวจจับรังสีตรงของดวงอาทิตย์ครอบคลุมตลอดทั้ง 2 แนว ส่วนการควบคุมจะใช้การควบคุมแบบซีพีแอลดี (Complex programmable logic device)



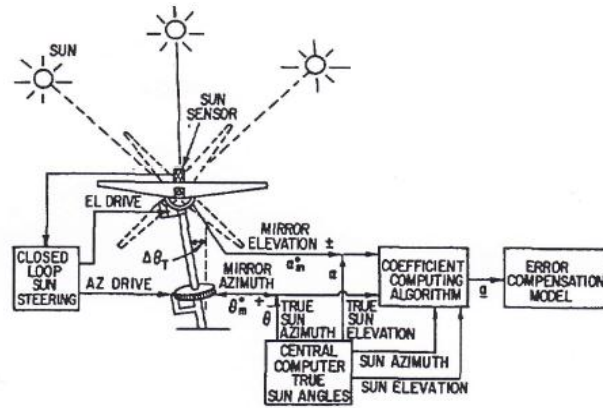
รูปที่ 2.2 ระบบติดตามดวงอาทิตย์จากอุปกรณ์ตรวจจับตำแหน่งเชิงดิจิทัลด้วยซีพีแอลดี [7]

ศักดิ์สิทธิ์ บัวเงิน และ คณะ [8] เสนอระบบติดตามดวงอาทิตย์ที่เคลื่อนที่ได้ 2 แกน ซึ่งใช้เทคนิคการประมวลผลภาพ โดยในการติดตามดวงอาทิตย์ระบบจะใช้ภาพดวงอาทิตย์ซึ่งรับมาจากกล้องดิจิทัลเว็บแคมและใช้คอมพิวเตอร์ในการประมวลผลภาพ ส่วนการควบคุมจะใช้การควบคุมแบบไมโครคอนโทรลเลอร์ (Micro - controller)

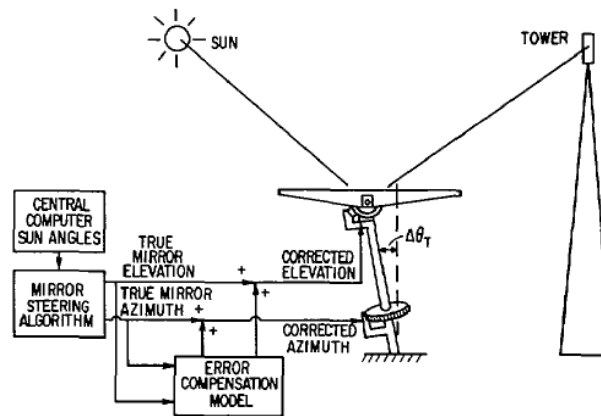


รูปที่ 2.3 โครงสร้างของระบบติดตามดวงอาทิตย์ที่ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการควบคุม [8]

Baheti และ Scott [9] นำเสนอตัวควบคุมแบบปรับตั้งได้อัตโนมัติ (Self - calibrating) เพื่อใช้ในการลดความผิดพลาดของเสาสะท้อนแสงอาทิตย์ (Heliostat) จากการติดตั้งและการขับ โดยตัวควบคุมถูกออกแบบเป็น 2 โหมด โหมดแรกเรียกว่า โหมดปรับตั้ง (Calibration mode) โหมดนี้เสาสะท้อนแสงอาทิตย์จะถูกควบคุมด้วยระบบวงรอบเปิด (Open - loop system) และแบบจำลองของค่าความผิดพลาดของเสาสะท้อนแสงอาทิตย์ จากการติดตั้งและการขับจะถูกคำนวณหาเอกลักษณ์โดยใช้ อัลกอริทึม Least - squares เพื่อหาพารามิเตอร์ของโมเดล โหมดที่สองเรียกว่า โหมดติดตาม (Track mode) โหมดนี้เสาสะท้อนแสงอาทิตย์จะถูกควบคุมด้วยระบบวงรอบเปิด (Open loop - system) โดยใช้พารามิเตอร์ของโมเดลที่ได้จากโหมดแรกมาชดเชยค่าความผิดพลาดของเสาสะท้อนแสงอาทิตย์

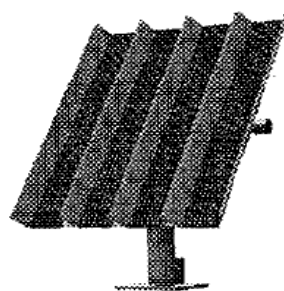


รูปที่ 2.4 โหมดปรับตั้ง [9]



รูปที่ 2.5 โหมดติดตาม [9]

Enrile และ คณะ [10] ได้ออกแบบตัวต้นแบบของเสาสะท้อนแสงอาทิตย์ (Heliostat) ที่เคลื่อนที่ได้ 2 แกนและสามารถสะท้อนแสงอาทิตย์ได้เป็นสองเท่า โดยหมุนรอบแกนอซิมูท ได้ 0 – 240 องศา และแกน อัลติจูด 0 – 90 องศา และมีความเที่ยงตรงที่ ± 1 องศา ส่วนการติดตามดวงอาทิตย์นั้นใช้พื้นฐานของสมการทางดาราศาสตร์ (Astronomical equations) และควบคุมด้วยวงรอบเปิด โดยใช้ พีแอลซี (PLC) เป็นตัวควบคุม และใช้โมดูล CAN เน็ตเวิร์คของพีแอลซีเป็นตัวสื่อสารข้อมูลจากเสาสะท้อนแสงอาทิตย์หนึ่งไปยังอีกเสาสะท้อนแสงอาทิตย์หนึ่ง



รูปที่ 2.6 เสาสะท้อนแสงอาทิตย์ ที่เคลื่อนที่ได้ 2 แกน [10]

จากงานวิจัยระบบติดตามดวงอาทิตย์ [1] ถึง [3] จะเห็นว่าตัวควบคุมส่วนใหญ่สามารถควบคุมระบบติดตามดวงอาทิตย์ได้ แต่อย่างไรก็ตามระบบติดตามดวงอาทิตย์ส่วนใหญ่ไม่ได้ใช้วิธีติดตาม ดวงอาทิตย์แบบเวลาจริง (Real time) เพื่อให้เกิดความหลากหลายในระบบการควบคุม ผู้วิจัยจึงได้นำระบบภาพโดยใช้กล้องดิจิทัลอุตสาหกรรมมาใช้ในการติดตามดวงอาทิตย์

งานวิจัย [4] ถึง [7] เป็นการควบคุมระบบติดตามดวงอาทิตย์ที่ใช้วิธีติดตามดวงอาทิตย์แบบเวลาจริงและสามารถควบคุมระบบติดตามดวงอาทิตย์ได้

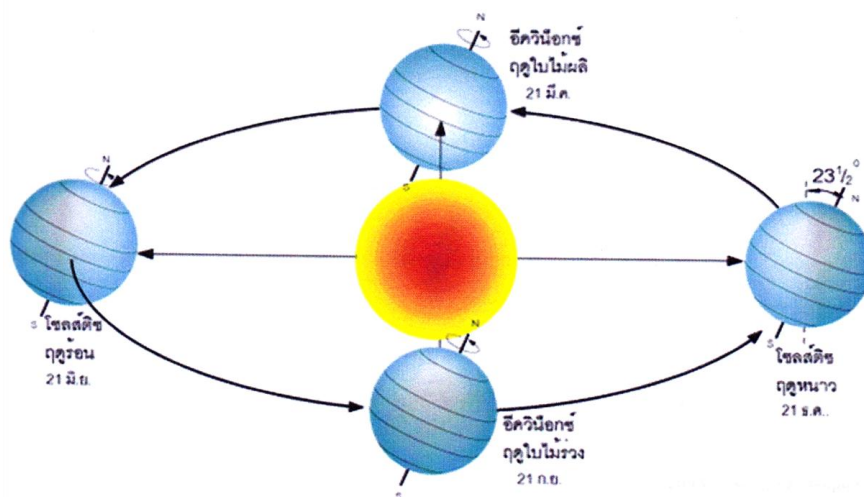
งานวิจัยที่ [8] เป็นการติดตามดวงอาทิตย์ โดยใช้ภาพจากกล้องดิจิทัลเว็บแคมในการติดตามดวงอาทิตย์ แต่เนื่องจากกล้องดิจิทัลเว็บแคมมีความละเอียดที่ต่ำและมีการส่งข้อมูลที่ช้า ดังนั้นผู้ทำ การวิจัยจึงได้เลือกใช้กล้องดิจิทัลอุตสาหกรรมซึ่งมีความละเอียดที่สูงและมีประสิทธิภาพในการส่งข้อมูลที่สูง เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพที่ดีขึ้นในการใช้ข้อมูลภาพในการควบคุมระบบติดตามดวงอาทิตย์

งานวิจัย [9] ถึง [10] เป็นการออกแบบตัวควบคุมสำหรับระบบสะท้อนแสงอาทิตย์ จะเห็นว่าตัวควบคุมดังกล่าวสามารถควบคุมระบบสะท้อนแสงอาทิตย์ได้ ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ประยุกต์การนำค่าตำแหน่งของดวงอาทิตย์ที่ได้จากระบบติดตามดวงอาทิตย์โดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาพมาออกแบบตัวควบคุมเพื่อควบคุมระบบสะท้อนแสงอาทิตย์

จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า ระบบติดตามดวงอาทิตย์สามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภทตามวิธีติดตาม คือ ประเภทแรก ระบบติดตามดวงอาทิตย์แบบไม่ได้ใช้วิธีแบบเวลาจริง เช่น การคำนวณตำแหน่งดวงอาทิตย์จากสมการคณิตศาสตร์ ซึ่งมีข้อจำกัดคือ เมื่อมุมแกนหมุนของโลกเปลี่ยนทำให้ระบบมีความคลาดเคลื่อนเพิ่มขึ้น ประเภทที่สอง ระบบติดตามดวงอาทิตย์แบบใช้วิธีแบบเวลาจริง เช่น การใช้กล้องดิจิทัลเว็บแคม ซึ่งมีข้อจำกัดคือ กล้องดิจิทัลเว็บแคมมีความละเอียดที่ต่ำและมีการส่งข้อมูลที่ช้า ทำให้ระบบมีความแม่นยำต่ำและมีการตอบสนองที่ไม่ดี ดังนั้นเพื่อลดข้อจำกัดจากงานวิจัยที่ผ่านมา งานวิจัยชิ้นนี้จึงได้ใช้ระบบติดตามดวงอาทิตย์แบบเวลาจริง โดยใช้กล้องดิจิทัลอุตสาหกรรมในการรับข้อมูลภาพ

2.2 ตำแหน่งของดวงอาทิตย์ที่ปรากฏบนโลก

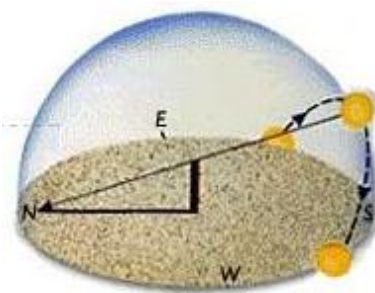
โลกโคจรรอบดวงอาทิตย์ในลักษณะที่เป็นวงรี แกนหมุนของโลกทำมุมเอียง 23.5 องศากับระนาบการโคจรรอบดวงอาทิตย์ โดยแกนของโลกจะชี้ไปตำแหน่งเดิมตลอดเวลา



รูปที่ 2.7 การโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์ [11]

ณ ตำแหน่งของโลกในวันที่ 21 กันยายน โลกจะเอียงด้านข้างให้กับดวงอาทิตย์ และแกนของโลกจะอยู่ในระนาบตั้งฉากกับรัศมีจากดวงอาทิตย์พอดี ทำให้แนวของแสงอาทิตย์จะอยู่บนระนาบของเส้นศูนย์สูตร ณ วันที่ดวงอาทิตย์ขึ้นทางทิศตะวันออกและตกทางทิศตะวันตกพอดี ซีกโลกด้านเหนือและซีกโลกด้านใต้จะได้รับแสงอาทิตย์เท่ากัน และช่วงเวลากลางวันและกลางคืนเท่ากัน เท่ากับ 12 ชั่วโมง เรียกตำแหน่งนี้ว่า ศารทวิษุวัต (Autumnal equinox)

ณ ตำแหน่งของโลกในวันที่ 21 ธันวาคม โลกจะเอียงขั้วโลกใต้เข้าหาดวงอาทิตย์มากที่สุด ทำให้ตำแหน่งของดวงอาทิตย์ที่ปรากฏอยู่ต่ำสุด เรียกตำแหน่งนี้ว่า วินเตอร์โซลสติส (Winter solstice) ช่วงนี้ประเทศทางซีกโลกใต้จะเป็นฤดูร้อน มีเวลากลางวันนานกว่ากลางคืน ส่วนประเทศทางซีกโลกเหนือจะเป็นฤดูหนาว มีเวลากลางวันสั้นกว่ากลางคืน การขึ้นและตกของดวงอาทิตย์จะค่อนข้างต่ำเล็กน้อย ดังรูปที่ 2.8

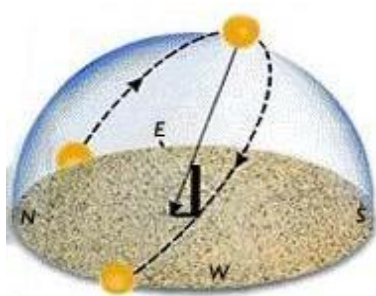


รูปที่ 2.8 การขึ้นและตกของดวงอาทิตย์ในวันที่ 21 ธันวาคม [12]

ณ ตำแหน่งของโลกในวันที่ 21 มีนาคม โลกจะเอียงด้านข้างให้กับดวงอาทิตย์ และแกนของโลกจะอยู่ในระนาบตั้งฉากกับรัศมีจากดวงอาทิตย์พอดี ทำให้แนวของแสงอาทิตย์จะอยู่บนระนาบของเส้นศูนย์สูตร ณ วันที่ดวงอาทิตย์ขึ้นทางทิศตะวันออกและตกทางทิศตะวันตกพอดี ซีกโลกด้าน

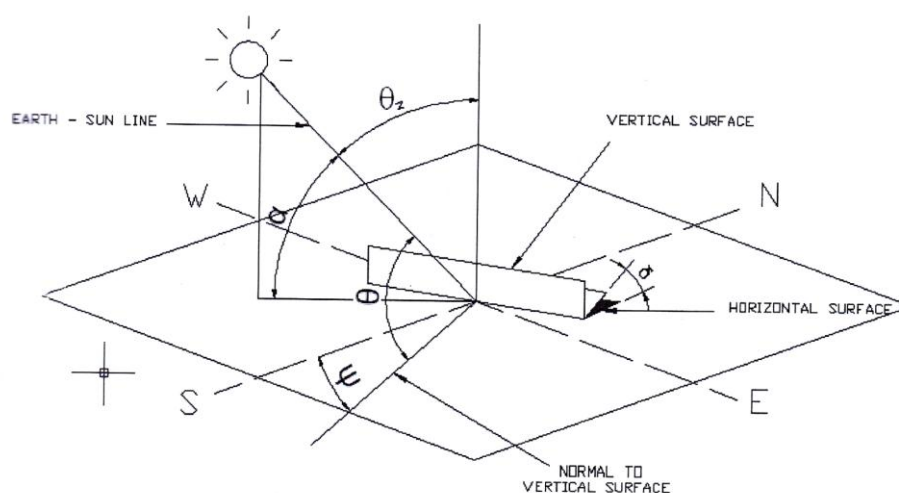
เหนือและซีกโลกด้านใต้จะได้รับแสงอาทิตย์เท่ากัน และช่วงเวลากลางวันและกลางคืนเท่ากันเท่ากับ 12 ชั่วโมง เรียกตำแหน่งนี้ว่า วสันตวิษุวัต (Vernal equinox)

ณ ตำแหน่งของโลกในวันที่ 21 มิถุนายน โลกจะเอียงขั้วโลกเหนือเข้าหาดวงอาทิตย์ ทำให้ตำแหน่งของดวงอาทิตย์บนท้องฟ้าอยู่สูงสุด คนที่อยู่บนเส้นละติจูดที่ 23.5 องศาเหนือจะเห็นดวงอาทิตย์อยู่ตรงศีรษะพอดีในตอนเที่ยงวัน เรียกตำแหน่งนี้ว่า ซัมเมอร์โซลสตีซ (Summer solstice) ช่วงนี้ประเทศทางซีกโลกใต้จะเป็นฤดูหนาว มีเวลากลางวันสั้นกว่ากลางคืน ส่วนประเทศที่อยู่ทางซีกโลกเหนือจะเป็นฤดูร้อน มีเวลากลางวันนานกว่ากลางคืน การขึ้นและตกของดวงอาทิตย์จะค่อนข้างไปทางเหนือเล็กน้อย ดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 การขึ้นและตกของดวงอาทิตย์ในวันที่ 21 มิถุนายน [12]

ความสัมพันธ์ระหว่างพื้นราบซึ่งวางในลักษณะใดๆ บนผิวโลกกับตำแหน่งของดวงอาทิตย์ ณ เวลาใดๆ สามารถแบ่งออกได้เป็นมุมต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 2.10

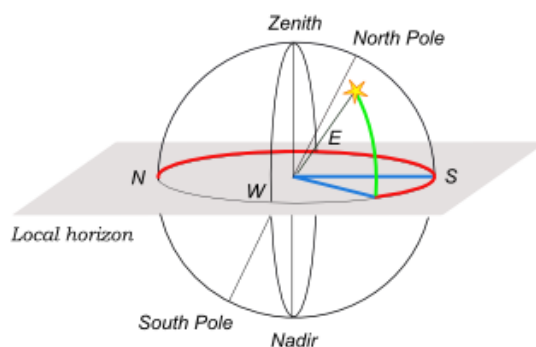


รูปที่ 2.10 มุมต่างๆ ที่มีความสัมพันธ์ระหว่างดวงอาทิตย์กับพื้นผิวโลก [11]

เมื่อ ψ มุมอะซิมุท (Azimuth angle) คือ ระยะทางเชิงมุมที่เบนไปจากเส้นแนวเหนือ – ใต้ เริ่มต้นทิศเหนือ มุมอะซิมุทมีค่าเป็น 0 องศา (ถ้าเบนไปทางทิศตะวันออกเป็นบวก เบนไปทางทิศ

ตะวันตกเป็นลบ) ดังนั้นที่ทิศตะวันออกมุมอะซิมุทจะมีค่าเท่ากับ 90 องศา และที่ทิศตะวันตกมุมอะซิมุทจะมีค่าเท่ากับ - 90 องศา (ดังรูปที่ 2.11 เส้นสีแดง)

α มุมอัลติจูด (Altitude angle) หรือมุมเงย คือ ระยะทางเชิงมุมระหว่างดวงอาทิตย์กับพื้นราบ โดยมุมอัลติจูดจะมีค่าเป็น 0 องศาที่เส้นขอบฟ้า เมื่อเงยขึ้นจากเส้นขอบฟ้าให้มุมอัลติจูดมีค่าเป็นบวก (ดังรูปที่ 2.11 เส้นสีเขียว) มีค่าเท่ากับ $90 - \theta_z$



รูปที่ 2.11 มุมอะซิมุทและมุมอัลติจูด [13]

δ มุมเดคลิเนชัน (Declination) คือ มุมระหว่างแนวลำแสงอาทิตย์ จะมีค่าเป็นบวกเมื่อวัดไปทางทิศเหนือ และมีค่าเป็นลบเมื่อวัดไปทางทิศใต้ มุมเดคลิเนชันมีค่าเปลี่ยนไปทุกวันระหว่าง 23.45 องศา ถึง - 23.45 องศา สามารถหาได้จากสมการ

$$\delta = 23.45 \sin \left[\frac{360(283+n)}{365} \right] \quad (2.1)$$

เมื่อ n จำนวนวันในปีที่ต้องการโดยถือว่า 1 มกราคม เป็นวันที่ 1 ของปี หรือ $n = 1$ ดังแสดงในตารางที่ 2.1

φ ตำแหน่งเส้นรุ้งหรือละติจูด คือ มุมที่อยู่ทางทิศเหนือหรือทิศใต้ของเส้นศูนย์สูตร เมื่อวัดไปทางทิศเหนือกำหนดให้มีค่าเป็นบวก และเป็นลบเมื่อวัดไปทางทิศใต้ ละติจูดมีค่าอยู่ระหว่าง - 90 องศา ถึง 90 องศา

β มุมเอียงของพื้นราบ

ω มุมชั่วโมง (Hour angle) คือ มุมที่แทนตำแหน่งของดวงอาทิตย์จากเมอริเดียนท้องถิ่นไปทางตะวันออกหรือตะวันตก ตอนเที่ยงถือว่า ω เท่ากับศูนย์ และในแต่ละชั่วโมง ω เท่ากับ 15 องศา ในตอนเช้า ω จะมีค่าเป็นบวก ในตอนบ่าย ω จะมีค่าเป็นลบ

θ_z มุมซันิช (Zenith angle) หรือมุมระหว่างลำแสงอาทิตย์กับเส้นตั้งฉากแนวราบ สามารถหาได้จากสมการ

$$\cos \theta_z = \sin \delta \sin \varphi + \cos \delta \cos \varphi \cos \omega \quad (2.2)$$

ตารางที่ 2.1 ตารางวันที่ของรอบปี

วันที่/เดือน	วันที่ของรอบปี (n)
1 มกราคม	1
31 มกราคม	31
1 กุมภาพันธ์	32
28 กุมภาพันธ์	59
1 มีนาคม	60
31 มีนาคม	90
1 เมษายน	91
30 เมษายน	120
1 พฤษภาคม	121
31 พฤษภาคม	151
1 มิถุนายน	152
30 มิถุนายน	181
1 กรกฎาคม	182
31 กรกฎาคม	212
1 สิงหาคม	213
31 สิงหาคม	243
1 กันยายน	244
30 กันยายน	273
1 ตุลาคม	274
31 ตุลาคม	304
1 พฤศจิกายน	305
31 พฤศจิกายน	334
1 ธันวาคม	335
31 ธันวาคม	365

θ มุมตกกระทบ (Incident angle) คือมุมระหว่างแนวลำแสงอาทิตย์บนพื้นผิวกับแนวตั้งฉากของพื้นผิว ความสัมพันธ์ระหว่างมุมตกกระทบและมุมอื่นๆ สามารถคำนวณได้จาก

$$\cos \theta = \sin \delta \sin \varphi \cos \beta - \sin \delta \cos \varphi \sin \beta \cos \psi + \cos \delta \cos \varphi \cos \beta \cos \omega \quad (2.3)$$

ในกรณีที่ระนาบของแผงรับแสงอาทิตย์มีมุมเอียง β และวางในแนวเหนือใต้ จะได้ว่า

$$\cos \theta_z = \cos(\varphi + \cos \delta \cos \omega) + \sin(\varphi - \beta) \sin \delta \quad (2.4)$$

สำหรับเวลาที่พระอาทิตย์ขึ้น หาได้จากสมการ

$$\cos \omega_2 = -\tan \varphi \tan \delta \quad (2.5)$$

และค่าจำนวนชั่วโมงของระยะเวลาที่พระอาทิตย์ขึ้นและลงได้ดังนี้

$$\frac{T_d}{15} = 2 \cos^{-1}(\tan \varphi \tan \delta) \quad (2.6)$$

จากสมการที่ 2.3 ค่าของมุมระหว่างเส้นตั้งฉากของแผงรับแสงและรังสีจากดวงอาทิตย์ เมื่อต้องการให้ค่าความเข้มแสงที่ตกกระทบบนแผงรับแสงมีค่ามากที่สุด ต้องทำให้รังสีจากดวงอาทิตย์ ตกกระทบตั้งฉากกับแผงรับแสง หรือทำให้ค่ามุม θ มีค่าเป็นศูนย์ มุม θ เป็นฟังก์ชันของมุม δ, ψ, φ และ β ดังนั้นถ้าต้องการหาค่ามุมที่เหมาะสมของแผงรับแสงที่ทำให้รังสีจากดวงอาทิตย์ตกกระทบตั้งฉาก สามารถหาได้โดยอาศัยความสัมพันธ์ คือ

$$\frac{d(\cos \theta)}{d\beta} = 0 \quad (2.7)$$

นั่นคือ

$$\begin{aligned} \frac{d(\cos \theta)}{d\beta} = & -\sin \delta \sin \varphi \cos \beta \\ & -\sin \delta \cos \varphi \sin \beta \cos \omega - \cos \delta \cos \varphi \cos \omega \sin \beta \\ & + \cos \delta \sin \psi \cos \omega \cos \beta + \cos \delta \sin \psi \sin \omega \cos \beta \end{aligned}$$

เมื่อจัดรูปใหม่จะได้

$$\tan \beta_{opt} = \frac{\cos \delta (\sin \varphi \cos \psi \cos \omega + \sin \psi \sin \omega) - \sin \delta \sin \varphi}{\sin \delta \cos \varphi \cos \omega + \cos \delta \cos \varphi \cos \omega} \quad (2.8)$$

เมื่อ $\tan \beta_{opt}$ มุมที่เหมาะสมของแผงรับแสง (Optimal tilt angle)

2.3 เวลาท้องถิ่นและเวลาสุริยะ

เวลาท้องถิ่น (Local time) คือ เวลาจริง ณ ท้องถิ่นที่ตั้งของเมืองนั้นๆ ซึ่งมีผลต่างจากเวลา นาฬิกามาตรฐานที่กำหนดไว้กับนานาประเทศ หรือเวลานาฬิกาของประเทศนั้นๆ โดยเวลาท้องถิ่น เทียบจากเวลามาตรฐานที่เมืองกรีนิชประเทศอังกฤษกับเส้นลองจิจูดมาตรฐานของพื้นที่นั้นจริงๆ

เวลาสุริยะ (Solar time) คือ เวลาที่ขึ้นอยู่กับตำแหน่งของดวงอาทิตย์บนท้องฟ้า เวลาเที่ยงสุริยะ (Solar noon) หมายถึง เวลาที่ดวงอาทิตย์ข้ามเส้นเมริเดียนของตำแหน่งที่ตั้ง เวลาสุริยะจะแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ 1. เวลาสุริยะปรากฏ นิยามว่า มุมชั่วโมง (Hour angle) ของดวงอาทิตย์ที่ปรากฏจริงบนท้องฟ้า หรือเมื่อดวงอาทิตย์อยู่ ณ ตำแหน่งเมริเดียนของท้องฟ้าพอดี เวลาสุริยะปรากฏจะมีค่า 0 ชั่วโมง อุปกรณ์ที่ใช้ ในการบอกเวลาสุริยะปรากฏ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ได้แก่ นาฬิกาแดด (Sundial) ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาสุริยะและเวลาท้องถิ่น ดังสมการที่ 2.9 2. เวลาสุริยะเฉลี่ยเป็นการกำหนดค่ามุมชั่วโมงของดวงอาทิตย์เฉลี่ย เมื่อตำแหน่งของดวงอาทิตย์เฉลี่ยอยู่บนเมริเดียนพอดี ค่าเวลาสุริยะเฉลี่ยจะเป็น 0 ชั่วโมง และช่วงเวลาที่ดวงอาทิตย์เฉลี่ยอยู่บนเมริเดียน 2 ครั้งติดกัน หรือเท่ากับ 1 วันสุริยะเฉลี่ย (Mean solar day) ซึ่งวันดังกล่าวจะมีช่วงเวลาเท่ากัน

$$\text{Solar time} = \text{local time} (L_{st} - L_{loc}) + E \quad (2.9)$$

เมื่อ

E คือ สมการของเวลา (Equation of time) มีหน่วยเป็นนาที สามารถหาได้จาก

$$E = 229.2(0.000075 + 0.001868 \cos B - 0.032007 \sin B - 0.014615 \cos 2B - 0.04089 \sin 2B)$$

B คือ ความผิดปกติเฉลี่ยของดวงอาทิตย์ สามารถหาได้จาก

$$B = (n - 1) \times (360/365)$$

n คือ วันลำดับที่ ของปี ($1 \leq n \leq 365$)

L_{st} คือ เส้นลองจิจูดที่เวลาตามนาฬิกา เทียบจากสถานที่มาตรฐานในแต่ละประเทศ

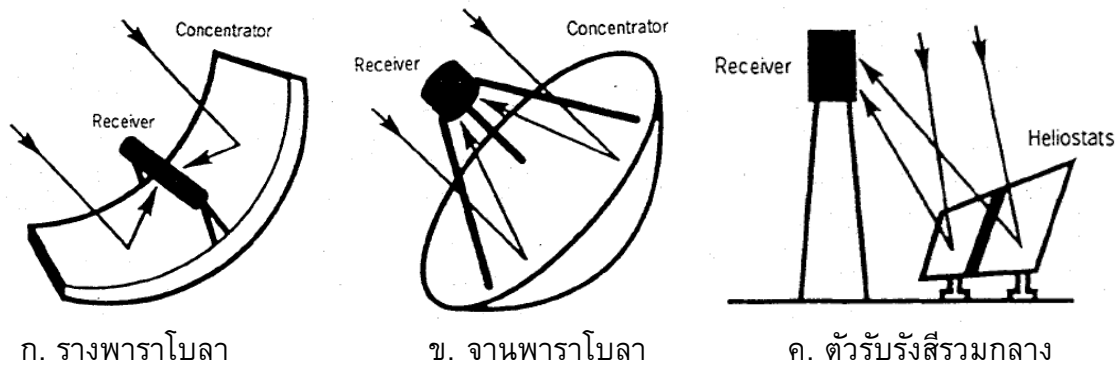
เช่น ประเทศไทย คือ 105 องศาตะวันออก

L_{loc} คือ เส้นลองจิจูดของสถานที่ที่ต้องการหาค่าเวลาสุริยะ

2.4 ตัวเก็บพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar energy collectors)

ตัวเก็บพลังงานแสงอาทิตย์เป็นเครื่องมือหนึ่งที่สำคัญในระบบพลังงานแสงอาทิตย์ โดยรูปแบบของการเก็บพลังงานแสงอาทิตย์ สามารถจำแนกได้ 3 รูปแบบ คือ

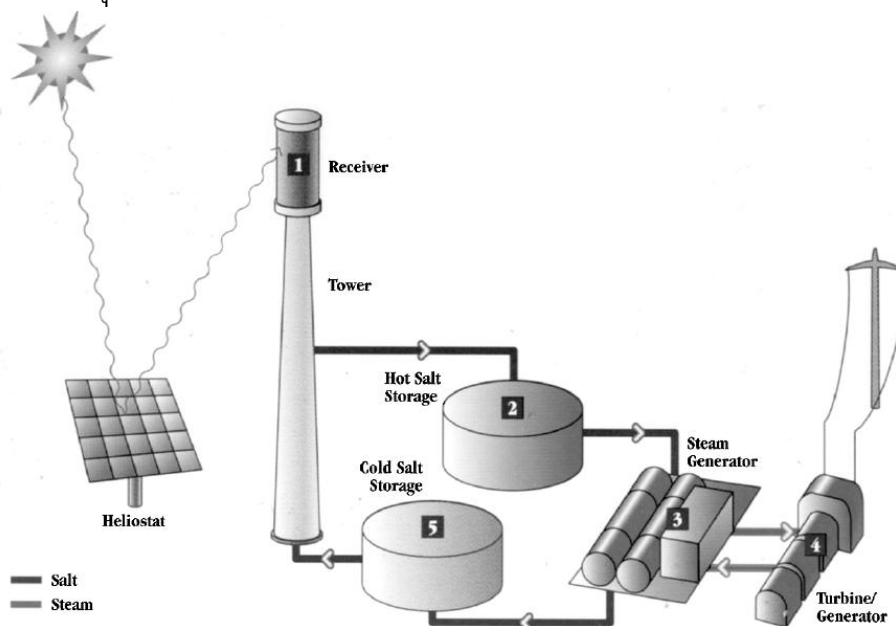
1. รังพาราโบล่า (Parabolic trough)
2. จานพาราโบล่า (Parabolic dish)
3. ตัวรับรังสีรวมกลาง (Central receiver)



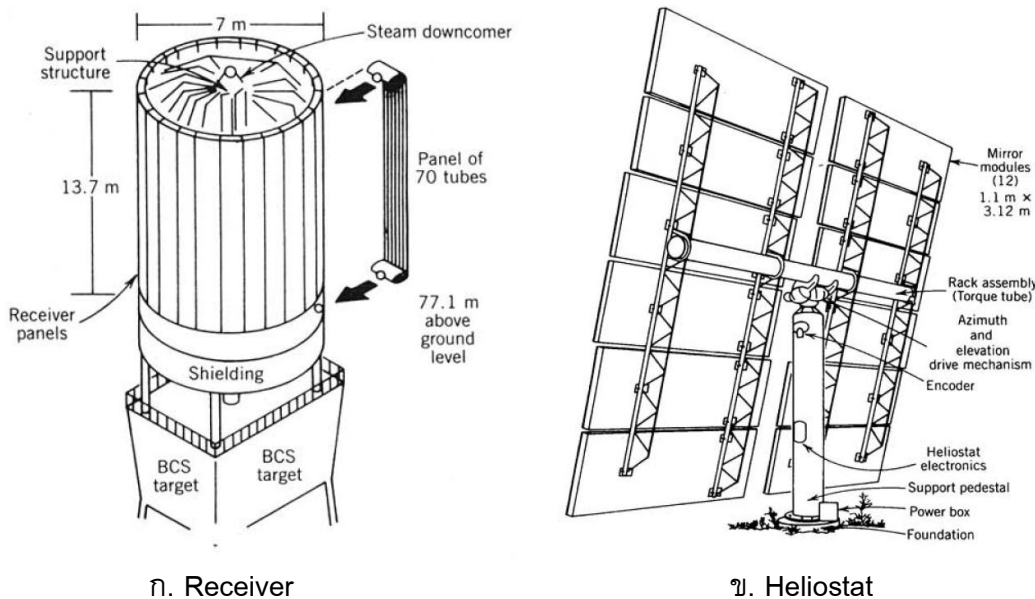
รูปที่ 2.12 รูปแบบของการเก็บพลังงานแสงอาทิตย์

ระบบรับรังสีรวมกลาง (Central receiver system)

หลักการของระบบรับรังสีรวมกลางจะอยู่บนพื้นฐานของการสะท้อนแสงอาทิตย์ด้วยวัสดุสะท้อนแสง อาทิเช่น กระจก ไปยังตัวรับรังสี (Receiver) หรือหม้อต้ม (Boiler) ดังรูปที่ 2.14 ก. ที่ถูกติดตั้งไว้บนยอดของหอคอย (รูปที่ 2.13) โดยที่กระจกจะถูกติดตั้งอยู่บนเสาที่สามารถหมุนรอบแกนได้ 2 แกน ที่เรียกว่า Heliostat ดังรูปที่ 2.14 ข. ซึ่งจะหมุนสะท้อนแสงอาทิตย์ไปยังตัวรับรังสีตลอดเวลา ตามปกติ 80 ถึง 95% ของพลังงานแสงอาทิตย์ที่สะท้อนมาจากกระจกจะถูกถ่ายเทไปยังของเหลวที่ไหลอยู่ภายในตัวรับรังสี ของเหลวที่รับพลังงานมาจะมีอุณหภูมิสูงขึ้น โดยอุณหภูมิจะอยู่ในช่วง 540 ถึง 840 องศาเซลเซียส ของเหลวร้อนจะไหลกลับลงมายังหน่วยผลิตกระแสไฟฟ้าที่อยู่บนพื้นดิน ซึ่งสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้ 1 ถึง 500 MW อุณหภูมิของเหลวหรือขนาดของความสามารถในการผลิตกระแสไฟฟ้านั้นก็ขึ้นอยู่กับจำนวนของเสาสะท้อนแสงอาทิตย์ ความสามารถในการควบคุมมุมของการสะท้อนของเสา และความสามารถในการสะท้อนของวัสดุสะท้อนแสง



รูปที่ 2.13 ระบบรับรังสีรวมกลาง



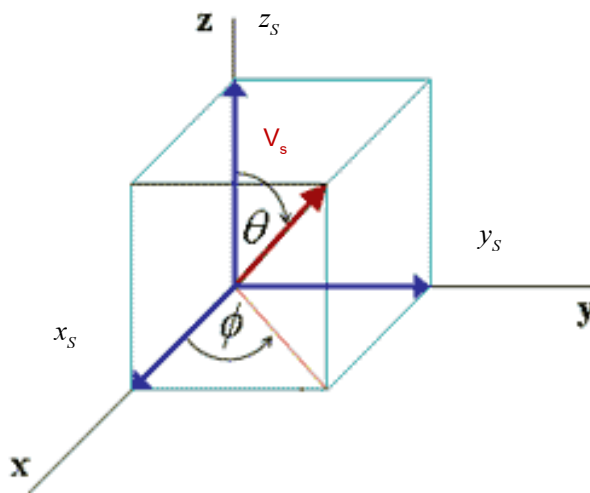
ก. Receiver

ข. Heliostat

รูปที่ 2.14 อุปกรณ์ในระบบรับรังสีรวมกลาง

2.5 การหาเวกเตอร์ตำแหน่ง

ในการควบคุมระบบสะท้อนแสงอาทิตย์ จำเป็นต้องหาเวกเตอร์ตำแหน่งดวงอาทิตย์ (Sun - position vector) โดยอาศัยการแปลงมุมในการหมุนมอเตอร์ของระบบติดตามดวงอาทิตย์ ให้เป็นเวกเตอร์ตำแหน่งดวงอาทิตย์ สามารถหาได้ดังนี้



รูปที่ 2.15 เวกเตอร์ตำแหน่งดวงอาทิตย์

$$\mathbf{V}_S = x_S \mathbf{i} + y_S \mathbf{j} + z_S \mathbf{k} \tag{2.10}$$

$$|\mathbf{V}_S| = \sqrt{(x_S)^2 + (y_S)^2 + (z_S)^2} \tag{2.11}$$

เมื่อ

\mathbf{V}_S คือ เวกเตอร์ตำแหน่งดวงอาทิตย์

$|\mathbf{V}_S|$ คือ ขนาดของเวกเตอร์ตำแหน่งดวงอาทิตย์

x_S คือ เวกเตอร์ตำแหน่งดวงอาทิตย์ ในแกน x สามารถหาได้จาก

$$x_S = \sin \theta \cos \phi \quad (2.12)$$

y_S คือ เวกเตอร์ตำแหน่งดวงอาทิตย์ ในแกน y สามารถหาได้จาก

$$y_S = \sin \theta \sin \phi \quad (2.13)$$

z_S คือ เวกเตอร์ตำแหน่งดวงอาทิตย์ ในแกน z สามารถหาได้จาก

$$z_S = \cos \theta \quad (2.14)$$

θ คือ มุมซิมิท

ϕ คือ มุมอซิมูท

จากสมการที่ (2.10) และ (2.11) สามารถหาเวกเตอร์หนึ่งหน่วย (Unit Vector) ได้ดังนี้

$$\mathbf{n}_S = \frac{\mathbf{V}_S}{|\mathbf{V}_S|} = n_{Sx}\mathbf{i} + n_{Sy}\mathbf{j} + n_{Sz}\mathbf{k} \quad (2.15)$$

เมื่อ

n_{Sx} คือ เวกเตอร์ตั้งฉาก (Normal vector) ของดวงอาทิตย์ในแกน x สามารถหาได้จาก

$$n_{Sx} = \frac{x_S}{\sqrt{(x_S)^2 + (y_S)^2 + (z_S)^2}} \quad (2.16)$$

n_{Sy} คือ เวกเตอร์ตั้งฉากของดวงอาทิตย์ในแกน y สามารถหาได้จาก

$$n_{Sy} = \frac{y_S}{\sqrt{(x_S)^2 + (y_S)^2 + (z_S)^2}} \quad (2.17)$$

n_{Sz} คือ เวกเตอร์ตั้งฉากของดวงอาทิตย์ในแกน z สามารถหาได้จาก

$$n_{sz} = \frac{z_s}{\sqrt{(x_s)^2 + (y_s)^2 + (z_s)^2}} \quad (2.18)$$

เวกเตอร์ตำแหน่งของเป้าหมาย (Target position vector) คือ ตำแหน่งเป้าหมายบริเวณที่ต้องการให้แสงอาทิตย์สะท้อนไปตกบริเวณนั้น สามารถหาได้โดยการวัดโดยตรง จะได้ดังนี้

$$\mathbf{V}_T = x_T \mathbf{i} + y_T \mathbf{j} + z_T \mathbf{k} \quad (2.19)$$

$$|\mathbf{V}_T| = \sqrt{(x_T)^2 + (y_T)^2 + (z_T)^2} \quad (2.20)$$

เมื่อ

\mathbf{V}_T คือ เวกเตอร์ตำแหน่งเป้าหมาย

$|\mathbf{V}_T|$ คือ ขนาดของเวกเตอร์เป้าหมาย

x_T คือ เวกเตอร์ตำแหน่งเป้าหมายในแกน x

y_T คือ เวกเตอร์ตำแหน่งเป้าหมายในแกน y

z_T คือ เวกเตอร์ตำแหน่งเป้าหมายในแกน z

จากสมการที่ (2.19) และ (2.20) สามารถหาเวกเตอร์หนึ่งหน่วย ได้ดังนี้

$$\mathbf{n}_T = \frac{\mathbf{V}_T}{|\mathbf{V}_T|} = n_{Tx} \mathbf{i} + n_{Ty} \mathbf{j} + n_{Tz} \mathbf{k} \quad (2.21)$$

เมื่อ

n_{Tx} คือ เวกเตอร์ตั้งฉากของเป้าหมายในแกน x สามารถหาได้จาก

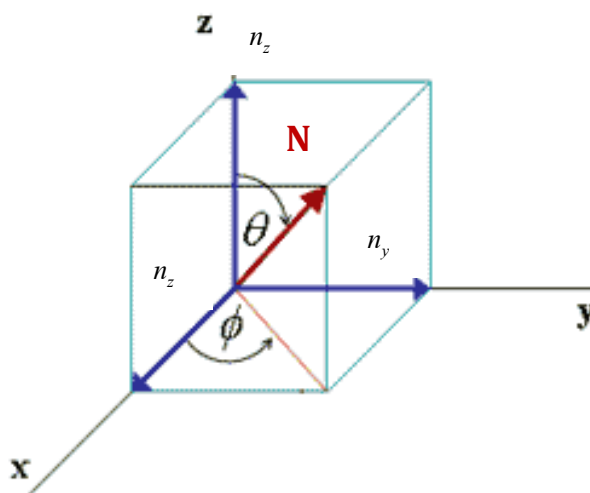
$$n_{Tx} = \frac{x_T}{\sqrt{(x_T)^2 + (y_T)^2 + (z_T)^2}} \quad (2.22)$$

n_{Ty} คือ เวกเตอร์ตั้งฉากของเป้าหมายในแกน y สามารถหาได้จาก

$$n_{Ty} = \frac{y_T}{\sqrt{(x_T)^2 + (y_T)^2 + (z_T)^2}} \quad (2.23)$$

n_{Tz} คือ เวกเตอร์ตั้งฉากของเป้าหมายในแกน z สามารถหาได้จาก

$$n_{Tz} = \frac{z_T}{\sqrt{(x_T)^2 + (y_T)^2 + (z_T)^2}} \quad (2.24)$$



รูปที่ 2.16 เวกเตอร์ตั้งฉากของระบบสะท้อนแสงอาทิตย์

การหามุมในการหมุนของระบบสะท้อนแสงอาทิตย์ สามารถหาได้โดยอาศัยความสัมพันธ์ระหว่างเวกเตอร์ตำแหน่งดวงอาทิตย์และเวกเตอร์ตำแหน่งของเป้าหมาย โดยสามารถหาเวกเตอร์ตั้งฉากของระบบสะท้อนแสงอาทิตย์ (\mathbf{N}) ได้ดังนี้

$$\mathbf{N} = \frac{\mathbf{n}_S + \mathbf{n}_T}{|\mathbf{n}_S + \mathbf{n}_T|} = n_x \mathbf{i} + n_y \mathbf{j} + n_z \mathbf{k} \quad (2.25)$$

เมื่อ

n_x คือ เวกเตอร์ตั้งฉากของระบบสะท้อนแสงอาทิตย์ในแกน x สามารถหาได้จาก

$$n_x = \frac{(n_{Sx} + n_{Tx})}{\sqrt{(n_{Sx} + n_{Tx})^2 + (n_{Sy} + n_{Ty})^2 + (n_{Sz} + n_{Tz})^2}} \quad (2.26)$$

n_y คือ เวกเตอร์ตั้งฉากของระบบสะท้อนแสงอาทิตย์ในแกน y สามารถหาได้จาก

$$n_y = \frac{(n_{Sy} + n_{Ty})}{\sqrt{(n_{Sx} + n_{Tx})^2 + (n_{Sy} + n_{Ty})^2 + (n_{Sz} + n_{Tz})^2}} \quad (2.27)$$

n_z คือ เวกเตอร์ตั้งฉากของระบบสะท้อนแสงอาทิตย์ในแกน z สามารถหาได้จาก

$$n_z = \frac{(n_{S_z} + n_{T_z})}{\sqrt{(n_{S_x} + n_{T_x})^2 + (n_{S_y} + n_{T_y})^2 + (n_{S_z} + n_{T_z})^2}} \quad (2.28)$$

จากรูปที่ 2.16 จะสามารถหามุมในการหมุนของระบบสะท้อนแสงอาทิตย์ได้ดังนี้

$$\theta = \cos^{-1}(n_z) \quad (2.29)$$

$$\phi = \sin^{-1} \left[\frac{n_y}{\sqrt{(n_x)^2 + (n_y)^2}} \right] \quad (2.30)$$

เมื่อ

θ คือ มุมซันนิชในการหมุนของระบบสะท้อนแสงอาทิตย์ (มุมอัลติจูดเท่ากับ $90 - \theta$)

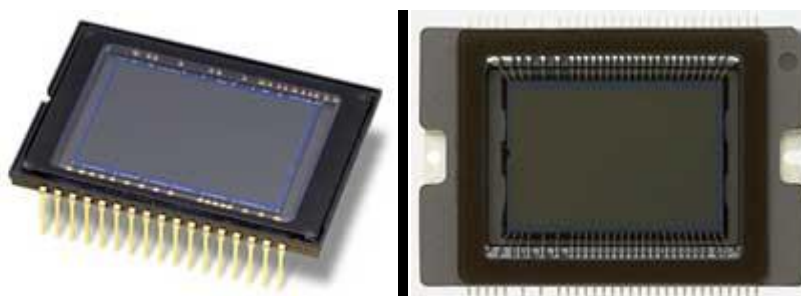
ϕ คือ มุมอซีมิชในการหมุนของระบบสะท้อนแสงอาทิตย์

2.6 ทฤษฎีเกี่ยวกับกล้อง

กล้องดิจิทัล (Digital camera) คือ อุปกรณ์เก็บข้อมูลภาพผ่านเลนส์และเก็บข้อมูลที่ได้ในรูปแบบดิจิทัล การทำงานของกล้องดิจิทัล เมื่อแสงส่องกระทบวัตถุและสะท้อนมายังกล้อง เลนส์ของกล้องจะรวมแสงและส่งผ่านไปยังเซนเซอร์รับภาพ ซึ่งในตัวกล้องจะประกอบด้วยอุปกรณ์โฟโต้เซนเซอร์จำนวนนับล้านตัวโดยสามารถจะจับข้อมูลภาพที่เป็นจุดแสง ข้อมูลของแสงจะถูกอ่านทีละแถว ซึ่งสัญญาณที่ได้จะเป็นสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณที่ได้มาจากแสงหรือสัญญาณความสว่าง ซึ่งสัญญาณความสว่างนี้ก็คือแสงสีขาวนั่นเอง สัญญาณภาพนั้นเกิดจากแสงสีขาวสะท้อนกับวัตถุเกิดเป็นภาพ สัญญาณความสว่างก็คือภาพขาวดำ เนื่องจากภาพขาวดำนั้นจะประกอบจากจุดสีต่างๆ ที่มีความสว่างมากน้อยต่างกัน จุดสีดำคือจุดที่มีความสว่างน้อย จุดสีขาวคือจุดที่มีความสว่างมาก เมื่อนำจุดที่ได้กล่าวนั้นมาต่อกันแล้วก็จะได้ภาพขาวดำออกมา สำหรับภาพสีนั้นต้องเข้าใจกับหลักการผสมสีก่อน การผสมสีนั้นจะมีทั้งการผสมสีทางลบและการผสมสีทางบวก การผสมสีทางลบ จะใช้ในการสร้างภาพสีที่ต้องใช้แสงสะท้อนตกระทบจึงจะเห็นเป็นสีที่เกิดจากแม่สีสามสีประกอบกัน คือ สีแดง สีเหลือง และสีน้ำเงิน สีทั้งสามสีนี้เมื่อผสมกันหมดจะได้สีดำและเมื่อลดความเข้มของสีลงก็จะเกิดเฉดสีมากมาย การผสมสีทางบวกนั้นไม่ต้องอาศัยแหล่งกำเนิดแสงจากภายนอก เนื่องจากสีต่างๆ นั้นจะต้องเกิดจากแสง โดยมีแม่สีหลักคือ แสงสีแดง แสงสีเขียว และแสงสีน้ำเงิน แสงทั้งสามนั้นหากผสมกันแล้วจะได้สีขาว หากแสงนี้มีค่าความสว่างต่ำสุดก็จะได้สีดำ ซึ่งเมื่อผสมกันในสัดส่วนความสว่างที่ต่างกันก็จะเกิดเฉดสีต่างๆ มากมายเช่นกัน การผสมสีและการหาค่าสีจากที่ได้กล่าวมาจากการผสมสีทางบวก เมื่อผสมกันแล้วจะได้แสงสีขาวออกมาซึ่งก็คือ

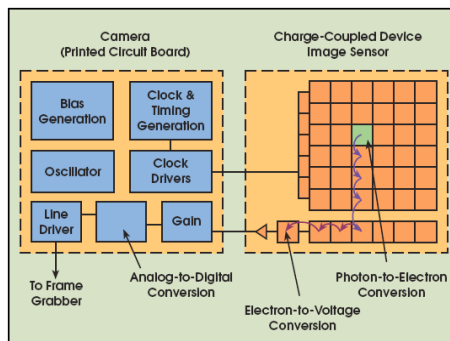
สัญญาณความสว่าง ในการใช้งานกล้องจะมีลักษณะการทำงานที่ให้ข้อมูลออกมาในหลายรูปแบบ เช่น แบบ RGB นั่นคือให้สัญญาณข้อมูลในรูปค่าความสว่างของแสงสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน แบบ YUV จะให้สัญญาณข้อมูลในรูปค่าความสว่างของแสงสีขาว ข้อมูลในรูปค่าความสว่างของสีน้ำเงิน ลบกับแสงสีขาวและข้อมูลในรูปค่าความสว่างของสีแดงลบกับแสงสีขาว แบบ YCbCr โดยจะให้สัญญาณข้อมูลในรูปค่าความสว่างของแสงสีขาว ข้อมูลในรูปค่าความสว่างของสีน้ำเงิน ข้อมูลในรูปค่าความสว่างของสีแดงเป็นต้น

อุปกรณ์รับสัญญาณภาพแบ่งออกเป็นสองประเภทหลัก คือ แบบอนาล็อก และแบบดิจิทัล ซึ่งทั้งสองชนิดนั้นมีหลักการการทำงานมาจากโฟโตเซนเซอร์เช่นเดียวกัน แต่ต่างกันตรงที่ในระบบดิจิทัลจะต้องนำสัญญาณที่ได้ซึ่งเป็นอนาล็อกไปทำการแปลงสัญญาณเป็นข้อมูลในรูปแบบดิจิทัลเสียก่อนจึงจะนำไปใช้งานได้ ซึ่งโฟโตเซนเซอร์ที่นำมาประกอบเป็นตัวกล้องนั้นจะแบ่งออกเป็นสองประเภทหลักๆ ประเภทแรกคือ CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor) และประเภทที่สองคือ CCD (Charge – Couply Device)

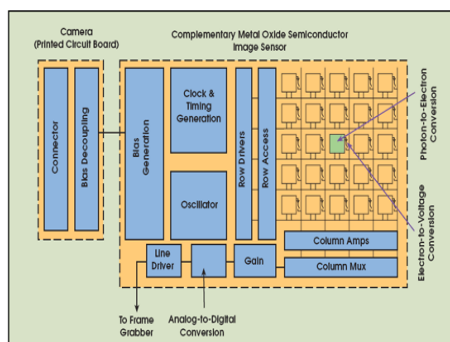


รูปที่ 2.17 CCD และ CMOS เซ็นเซอร์ [14]

CMOS และ CCD มีหลักการโดยอาศัยโฟโตไซต์ (Photosite) ให้เปลี่ยนแสงที่ตกกระทบให้กลายเป็นอิเล็กตรอนเพื่อบ่งบอกค่าของแสงสีนั้นๆ ภายในตัวเซนเซอร์ ทั้งสองชนิดนี้ประกอบไปด้วยโฟโตไซต์ขนาดเล็กๆ จำนวนมากเพื่อรับแสง ความแตกต่างระหว่าง CMOS และ CCD คือขั้นตอนของการคำนวณค่าของแสงนั้นๆ จากแต่ละโฟโตไซต์ CCD จะประจุก่านั้นๆ โดยตรงในแต่ละโฟโตไซต์ จากนั้นจะแปลงค่าอนาล็อกของแสงที่ตกกระทบให้เป็นค่าดิจิทัลกระบวนการทั้งหมดนี้เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ส่วน CMOS ถึงแม้ว่าแต่ละโฟโตไซต์จะสามารถประจุก่าได้โดยตรงเช่นเดียวกัน แต่กระบวนการในการส่งผ่านข้อมูลจะต้องอาศัยสายขนาดเล็กมากๆ เพื่อที่จะส่งข้อมูล ทำให้เกิดความล่าช้าในการส่งข้อมูลมากกว่าแบบ CCD



รูปที่ 2.18 โครงสร้างของ CCD เซนเซอร์ [14]



รูปที่ 2.19 โครงสร้างของ CCD เซนเซอร์ [14]

2.5.1 ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของรูปที่ได้จากกล้องดิจิทัล

ก. Resolution คือ ส่วนที่เล็กที่สุดของวัตถุที่กล้องสามารถแยกได้ ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็นส่วนต่างๆได้ดังนี้

- Field of view (FOV) คือ บริเวณทั้งหมดที่กล้องสามารถถ่ายภาพได้
- Working distance (WD) คือ ระยะห่างระหว่างปลายสุดของเลนส์กับพื้นที่ผิวด้านบนของวัตถุ
- Sensor size คือ ขนาดของเซนเซอร์ของกล้อง
- Pixel (Pix) คือ จำนวนจุดของตัวรับแสงที่ประกอบขึ้นเป็นภาพ
- Pixel resolution คือ จำนวนที่น้อยที่สุดของพิกเซลที่กล้องต้องการในการนำมาสร้างรูป

- Focal length คือ เลนส์โฟกัส

ข. Contrast คือ ความแตกต่างของระดับความเข้มของวัตถุกับพื้นหลัง ดังนั้นรูปภาพทุกรูปควรที่จะมีค่า Contrast ที่มากพอเพื่อจะแยกวัตถุออกจากพื้นหลัง

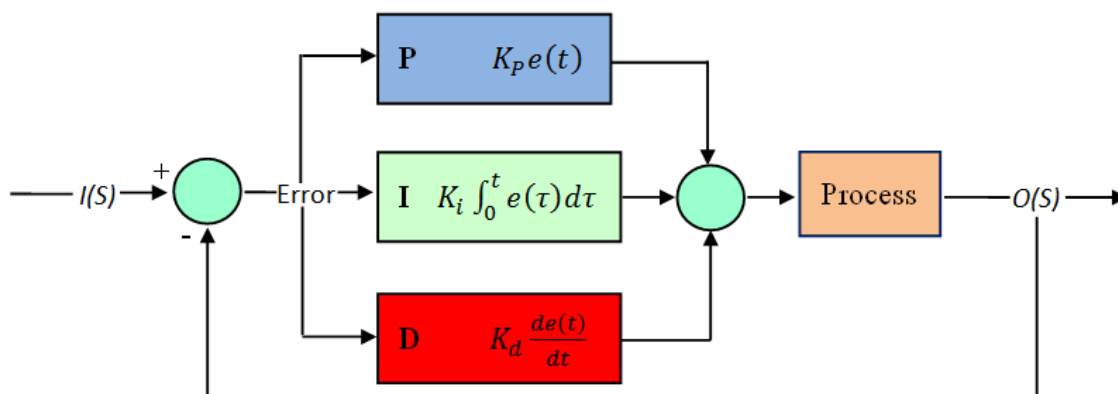
ค. Depth of field (DOF) คือ ความสามารถในการรักษาคุณภาพของรูปให้ชัดเจนเมื่อวัตถุมีการขยับออกจากจุดโฟกัสที่ดีที่สุด

ง. Perspective คือ แนวแกนของกล้องที่ไม่ได้ตั้งฉากกับวัตถุ ซึ่งจะส่งผลทำให้การเปลี่ยนแปลงกำลังขยายของวัตถุจะขึ้นอยู่กับระยะห่างจากเลนส์กับวัตถุ

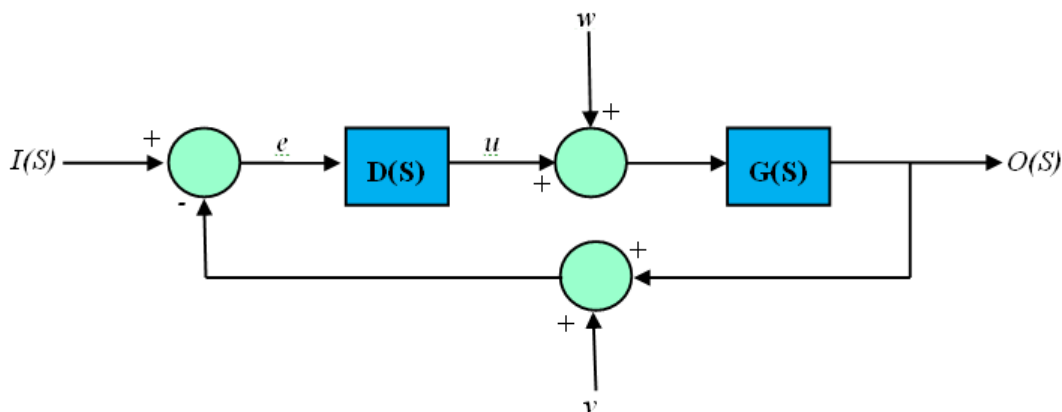
จ. Distortion เกิดจากความผิดพลาดทางเรขาคณิตของส่วนที่จับภาพของเลนส์ ซึ่งเลนส์โดยทั่วไปจะเกิดการผิดรูปแบบโค้ง (Radial distortion) ซึ่งทำให้รูปภาพที่กล้องถ่ายได้ดูอยู่ไกลกว่าความเป็นจริง

2.6 ตัวควบคุมพีไอดี (PID controller)

ระบบควบคุมพีไอดี คือการควบคุมสัดส่วนย้อนกลับ เป็นระบบการควบคุมรูปแบบหนึ่ง ซึ่งใช้การควบคุมในระบบวงปิด หรือระบบควบคุมแบบย้อนกลับ (Closed – loop control system, feedback control) เพื่อลดความผิดพลาดจากสัญญาณรบกวนได้ แต่ความผิดพลาดสถานะคงตัวก็ยังไม่หมด เมื่อเพิ่มสัดส่วนย้อนกลับการตอบสนองความเร็วจะมีโอเวอร์ชูตเพิ่มขึ้น การรวมการควบคุม สัดส่วนและการควบคุมปริพันธ์เข้าด้วยกันจะสามารถกำจัดความผิดพลาดสถานะคงตัวได้ แต่การตอบสนองการเคลื่อนที่จะไม่ดี ดังนั้น จึงต้องมีการควบคุมอนุพันธ์ เพื่อทำให้การตอบสนองของระบบดีขึ้น เมื่อรวมทั้งสามเทอมเข้าด้วยกันจะได้รูปแบบการควบคุมแบบพีไอดี (PID controller) ดังรูปที่ 2.20 และ 2.21



รูปที่ 2.20 การควบคุมแบบพีไอดี [15]



รูปที่ 2.21 การควบคุมแบบย้อนกลับ [16]

1. Proportional feedback control (P)

การควบคุมสัดส่วน คือ การควบคุมสัญญาณป้อนกลับที่เป็นสัดส่วนของค่าความผิดพลาด เพื่อลดความผิดพลาดของสัญญาณขาออก สามารถหาได้จาก

$$P(t) = Ke \quad (2.31)$$

ดังนั้น จากการควบคุมแบบป้อนกลับในรูปที่ 2.18 จะได้ว่า

$$D(s) = K \quad (2.32)$$

เมื่อ

$P(t)$ คือ สัญญาณขาออก

K คือ ค่าอัตราขยาย

e คือ ค่าความผิดพลาด

2. Proportional – integral (PI) feedback control

การควบคุมปริพันธ์ (Integral) เพื่อลดหรือกำจัดความผิดพลาดสถานะคงตัว แต่จะทำให้การตอบสนองชั่วขณะแย่ง โดยการใช้ตัวอัตราขยายปริพันธ์ สามารถหาได้จาก

$$I(t) = \frac{K}{T_I} \int_{t_0}^t e dt \quad (2.33)$$

จากการควบคุมแบบป้อนกลับในรูปที่ 2.18 จะได้ว่า

$$\frac{U(s)}{E(s)} = D(s) = \frac{K}{T_I s} \quad (2.34)$$

เมื่อ

$I(t)$ คือ สัญญาณขาออก

$\frac{K}{T_I}$ คือ อัตราขยายปริพันธ์

t คือ เวลา

e คือ ความผิดพลาด

3. Derivative feedback control (D)

การควบคุมอนุพันธ์หรืออนุพันธ์ป้อนกลับ คือ อัตราการเปลี่ยนแปลงของความผิดพลาด เพื่อลดโอเวอร์ชูตและลดเวลาสู่สมดุล สามารถหาได้จากสมการ

$$D(t) = KT_D \dot{e} \quad (2.35)$$

จากการควบคุมแบบป้อนกลับในรูปที่ 2.18 จะได้ว่า

$$D(s) = KT_D s \quad (2.36)$$

เมื่อ

$D(t)$ คือ สัญญาณขาออก

T_D คือ อนุพันธ์เวลา (Derivative time)

\dot{e} คือ อนุพันธ์อันดับหนึ่งของความผิดพลาด

4. Proportional – integral – derivative control (PID)

สำหรับการควบคุม ความผิดพลาดสถานะคงตัวและความผิดพลาดชั่วขณะ (Transient error) สามารถควบคุมโดยการรวมทั้งสามเทอมเข้าด้วยกัน คือ การควบคุมสัดส่วน การควบคุมปริพันธ์ และการควบคุมอนุพันธ์ ซึ่งเรียกว่า การควบคุมแบบพีไอดี สามารถหาได้จากสมการ

$$Output = P + I(t) + D(t) = Ke + \frac{K}{T_I} \int_{t_0}^t e \, dt + KT_D \dot{e} \quad (2.37)$$

จากการควบคุมแบบป้อนกลับในรูปที่ 2.18 จะได้ว่า

$$D(s) = K \left(1 + \frac{1}{T_I s} + T_D s \right) \quad (2.38)$$

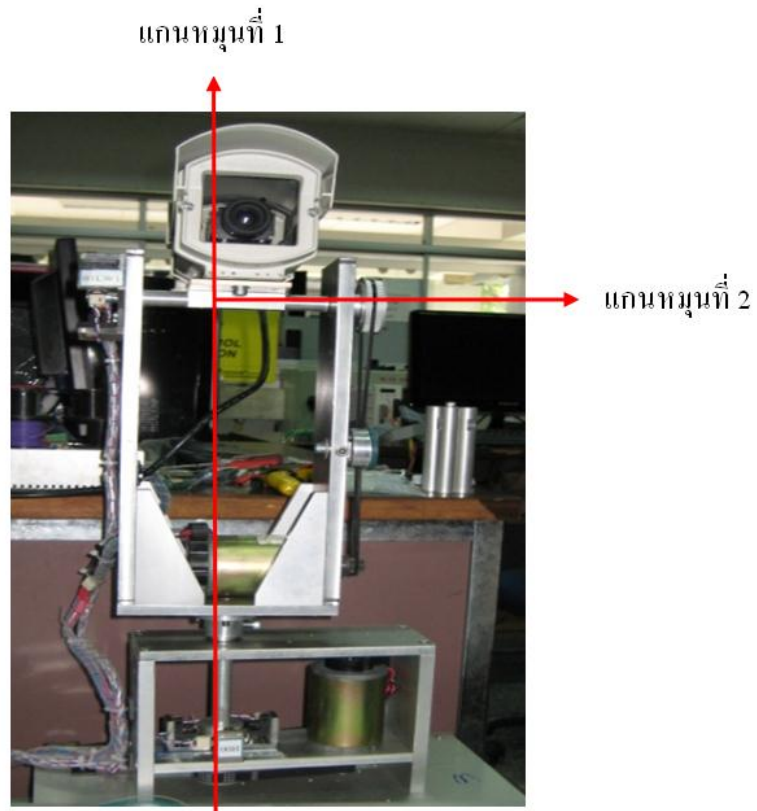
บทที่ 3

โครงสร้างของระบบ

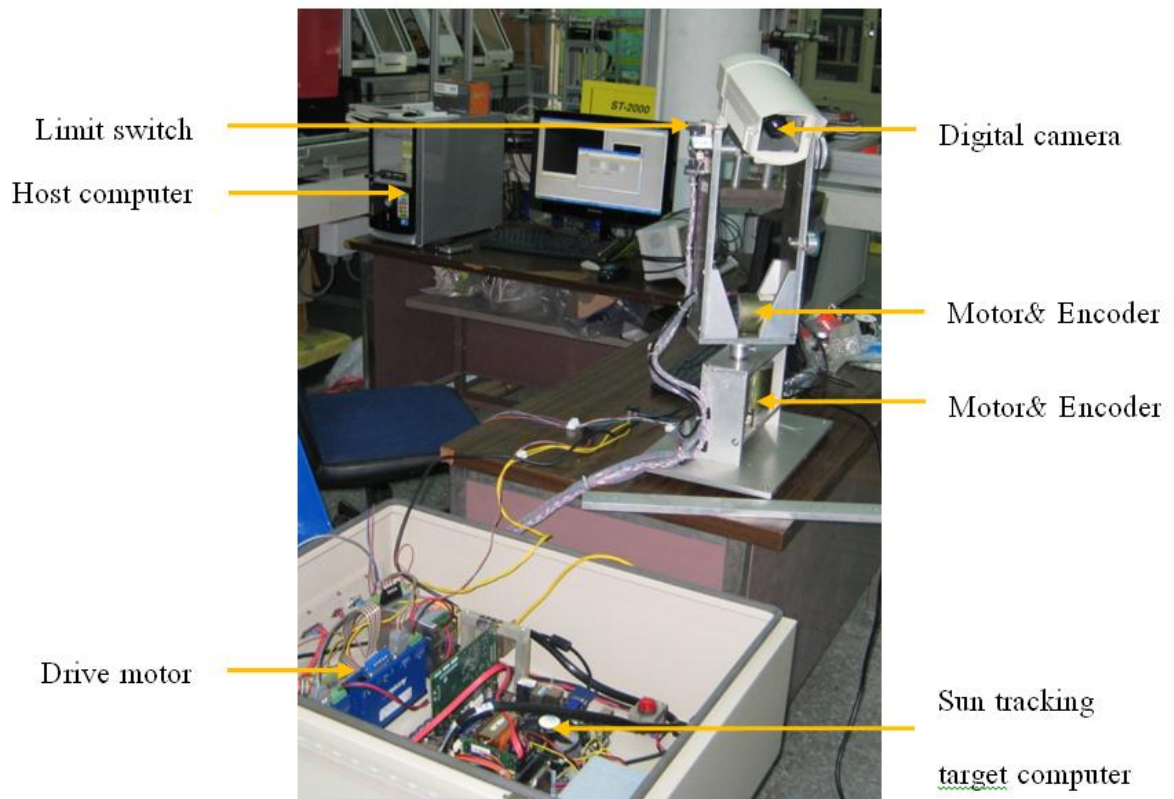
บทนี้จะเป็นการอธิบายถึงโครงสร้างระบบติดตามดวงอาทิตย์และระบบสะท้อนแสงอาทิตย์ที่ใช้ในการทดลองและอุปกรณ์ต่างในการควบคุมการเคลื่อนที่ของระบบทั้งสอง พร้อมทั้งอธิบายระบบควบคุมที่ใช้

3.1 ระบบติดตามดวงอาทิตย์

ระบบติดตามดวงอาทิตย์ที่ใช้ในการทดลอง ได้ออกแบบโครงสร้างให้มีแกนที่เคลื่อนที่ได้ 2 แกน (ดังรูปที่ 3.1) เพื่อให้สอดคล้องกับตำแหน่งของดวงอาทิตย์ที่ปรากฏบนโลกซึ่งจะมีมุมที่เกี่ยวข้อง 2 มุม คือ มุมอิมพิวท์ และมุมอัลติจูด ตามลำดับ แกนหมุนที่ 1 จะใช้ดีซีเซอร์โวมอเตอร์เป็นตัวขับเคลื่อนผ่านทางสายพานไทม์มิ่ง (Timing belt) อัตราทด 2:1 ระยะพิทช์ 2 mm. มีขอบเขตการเคลื่อนที่ 180 องศา โดยใช้ลิมิตสวิทช์เป็นตัวกำหนดขอบเขตการเคลื่อนที่ ส่วนแกนที่หมุนที่ 2 จะใช้ดีซีเซอร์โวมอเตอร์เป็นตัวขับเคลื่อนผ่านทางสายพานไทม์มิ่ง อัตราทด 3.33:1 ระยะพิทช์ 2 mm. มีขอบเขตการเคลื่อนที่ 200 องศา โดยใช้ลิมิตสวิทช์เป็นตัวกำหนดขอบเขตการเคลื่อนที่ โดยบนเพลลาแกนหมุนที่ 2 จะมีกล่องดิจิตอลอุตสาหกรรมติดตั้งอยู่ เพื่อที่ใช้เป็นตัวตรวจจับตำแหน่งของดวงอาทิตย์ โดยระบบติดตามดวงอาทิตย์นี้มีส่วนประกอบสำคัญคือ 1.กล่องดิจิตอลอุตสาหกรรม 2. ไตรวีและมอเตอร์ 3.ลิมิตสวิทช์ 4.คอมพิวเตอร์ โดยมีชุดการทดลองดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.1 โครงสร้างระบบติดตามดวงอาทิตย์



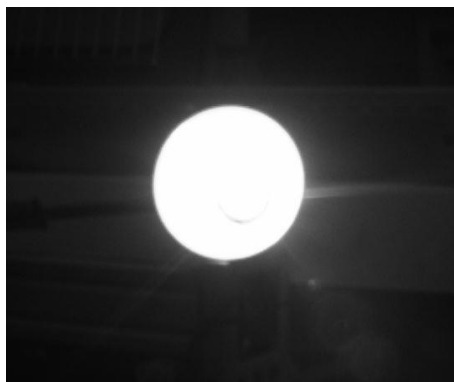
รูปที่ 3.2 ระบบติดตามดวงอาทิตย์

3.1.1 กล้องดิจิทัลอุตสาหกรรม

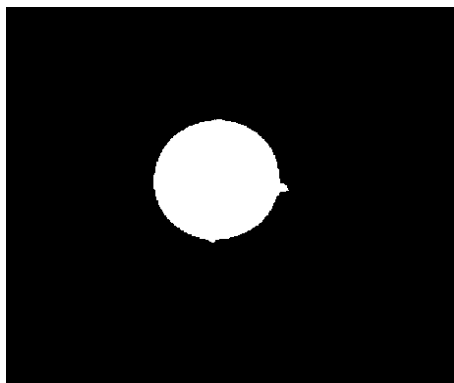
กล้องดิจิทัลอุตสาหกรรม ผลิตโดย BASLER รุ่น scA1000 – 30 gm/gc (ดังรูปที่ 3.3) ใช้ในการรับภาพดวงอาทิตย์เพื่อหาตำแหน่งของดวงอาทิตย์ โดยตัวกล้องดิจิทัลอุตสาหกรรมติดตั้งอยู่บนโครงสร้างที่สามารถหมุนได้ ดังรูปที่ 3.1 กำหนดกรอบรับภาพขนาด 1034 x 779 พิกเซล อัตราการเก็บภาพ 30 fps. รับข้อมูลภาพเป็นภาพขาวเทา (Gray scale) ดังรูปที่ 3.4 จากนั้นจะทำการแปลงข้อมูลภาพที่ได้ให้เป็นภาพสีขาวยกกับดำโดยกระบวนการเทรชโฮลด์ (Threshold) เพื่อแยกภาพดวงอาทิตย์ออกจากสิ่งแวดล้อม ดังรูปที่ 3.5 กล้องดิจิทัลอุตสาหกรรมนี้จะเชื่อมต่อกับการ์ดเก็บข้อมูลภายในคอมพิวเตอร์ เพื่อนำข้อมูลภาพที่ได้ไปประมวลผลและหาตำแหน่งกึ่งกลางของรูปภาพ ซึ่งตำแหน่งกึ่งกลางของรูปภาพมีหน่วยเป็นพิกเซล (Pixel)



รูปที่ 3.3 กล้องดิจิทัลอุตสาหกรรม [17]



รูปที่ 3.4 ข้อมูลภาพขาวเทา



รูปที่ 3.5 ข้อมูลภาพสีขาวกับดำ

3.1.2 ไตรร์และมอเตอร์

มอเตอร์ไตรร์ผลิตโดย Copley controls corp. รุ่น ASP – 090 – 09 ใช้ในการควบคุมการทำงานของมอเตอร์ โดยจะรับสัญญาณการควบคุมมาจากคอมพิวเตอรื และมอเตอร์ไตรร์จะควบคุมการจ่ายสัญญาณไฟฟ้าเข้าสู่มอเตอร์ พร้อมทั้งรับสัญญาณเอ็นโคเดอรืที่ต่อกับตัวมอเตอร์และสัญญาณดิจิทัลจากลิมิตสวิทช์ จากนั้นส่งสัญญาณเอ็นโคเดอรืที่ได้เข้าสู่คอมพิวเตอรื ดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 มอเตอร์ไตรร์

ในการทดลองจะใช้มอเตอร์แบบ ดีซีเซอร์โวมอเตอร์ (DC Servo motor) 24 โวลท์ ผลิตโดย Yaskawa electric corporation รุ่น Minertia motor F series UGFMED – 03SRT21 ใช้ขับเคลื่อนโครงสร้างผ่านทาง Timing belt โดยในแกนหมุนที่ 1ใช้อัตราทด 2:1 ระยะพิทช์ 2 mm. ส่วนแกนหมุนที่ 2 ใช้อัตราทด 3.33:1 ระยะพิทช์ 2 mm. โดยมีเอ็นโคเดอรืต่อกับมอเตอร์เพื่อใช้ในการวัดตำแหน่งการหมุนของมอเตอร์ ดังรูปที่ 3.7



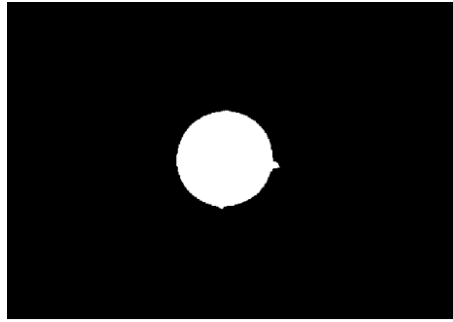
รูปที่ 3.7 มอเตอร์

3.2 การประมวลผลภาพ

ในการทดลองระบบติดตามดวงอาทิตย์ เริ่มต้นระบบรับภาพดวงอาทิตย์มาจากกล้องดิจิทัลอุตสาหกรรมซึ่งภาพที่ได้จะเป็นภาพสี จากนั้นนำภาพสีที่ได้มาเปลี่ยนให้เป็นภาพขาว - ดำ แล้วแยกภาพขาว - ดำ ที่ได้ให้สีขาวเป็นสีของวัตถุที่ต้องการและสีดำเป็นสีของพื้นหลัง โดยที่ภาพที่ได้จากกล้องจะเป็นภาพเคลื่อนไหวที่มีขนาด 24 fps ต่อไปจะนำข้อมูลภาพที่ได้มาแปลงและจัดเก็บอยู่ในรูปแบบของข้อมูลอาร์เรย์ (Array) เพื่อใช้ในการหาจุดศูนย์กลางของดวงอาทิตย์

3.2.1 การทำไบนารีไรซ์ (Binarization)

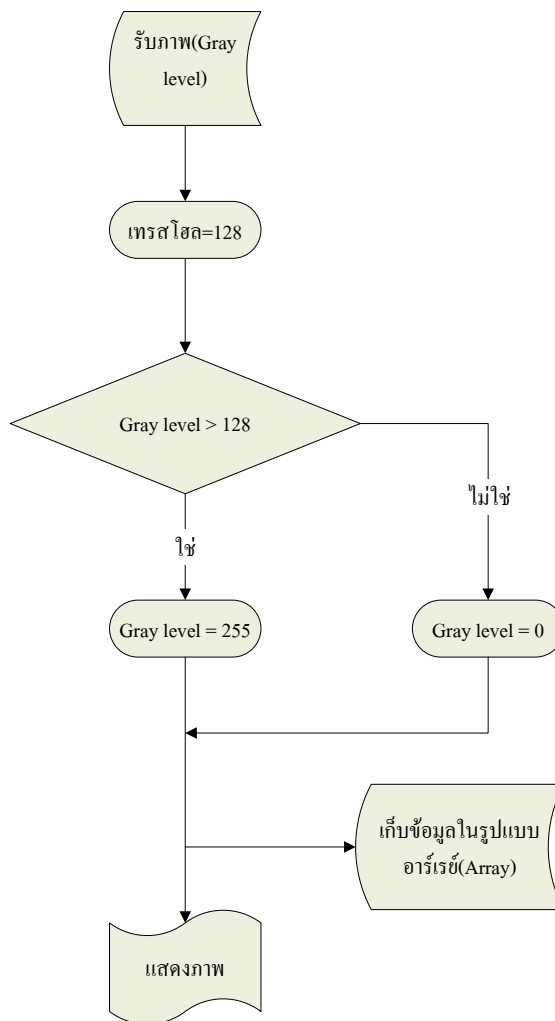
การทำไบนารีไรซ์ เป็นการนำค่าสีในระดับภาพสีเทา (Gray level) ที่ได้จากกล้องดิจิทัลอุตสาหกรรมของพิกเซลทั้งหมดมาเปรียบเทียบกับค่าเทรชโฮลด์ที่ตั้งไว้และเก็บค่าพิกเซลใหม่ทุกพิกเซล ซึ่งการทดลองนี้จะตั้งค่าเทรชโฮลด์ อยู่ที่ 128 คือ ถ้าค่าสีในระดับภาพสีเทา มีค่าระหว่าง 0 - 127 จะได้ค่าสีในระดับภาพสีเทา ใหม่เป็น 0 และถ้าค่าสีในระดับภาพสีเทา มีค่าระหว่าง 128 - 255 จะได้ค่าสีในระดับภาพสีเทา ใหม่เป็น 255 ดังนั้นเมื่อทำไบนารีไรซ์แล้วค่าสีในระดับภาพสีเทา ที่ได้จะมีค่าเป็น 0 หรือ 255 เท่านั้น ดังรูปที่ 3.8 และ 3.9



```

00000000000000000000000000000000
00000000000000025525500000000000
00000000000025525525525500000000
00000000000255255255255000000000
00000000000002552550000000000000
00000000000000000000000000000000
    
```

รูปที่ 3.8 ภาพที่ผ่านการไบนารีไรซ์



รูปที่ 3.9 แผนผังการทำไบนารีไรซ์

3.2.2 การเก็บข้อมูลในรูปอาร์เรย์ (Array)

การเก็บข้อมูลในรูปของอาร์เรย์ คือการเก็บข้อมูลในลักษณะเมตริก (Matrix) โดยแต่ละพิกเซลจะใช้ (x, y) ในการระบุตำแหน่ง ขนาดของเมตริกจะขึ้นอยู่กับจำนวนพิกเซลของกล้อง เช่น ในการทดลองใช้กล้องที่มีพิกเซล 1024×768 ดังนั้นจะได้ขนาดของเมตริกดังแสดงในสมการที่ 3.1

$$f(x,y) = \begin{bmatrix} (0,0) & \cdots & 0,1023 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 767 & \cdots & 767,1023 \end{bmatrix} \quad (3.1)$$

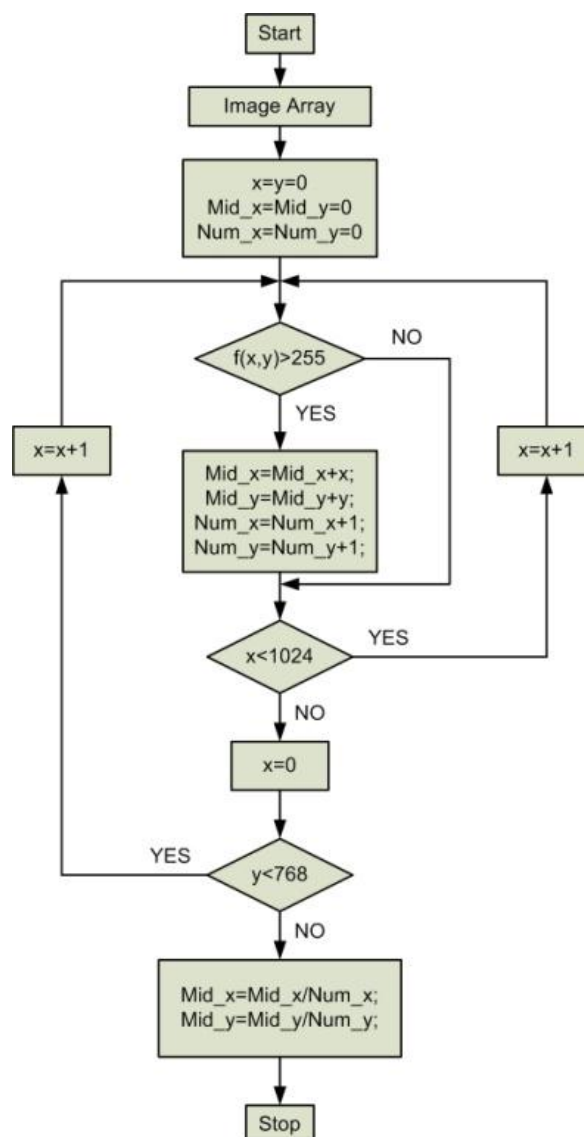
3.2.3 การหาจุดศูนย์กลางของดวงอาทิตย์

ในการหาจุดศูนย์กลางของดวงอาทิตย์จะเริ่มจากการตรวจสอบข้อมูลที่จัดเก็บไว้ในอาร์เรย์ โดยจะทำการตรวจสอบพิกเซลที่ละแถว โดยเริ่มในแกน x ไปจนหมดแถวแล้วค่อยเริ่มแถว y ถัดไป ถ้าข้อมูลในพิกเซลใดมีค่าสีในระดับภาพสีเทาเป็น 255 ให้นำค่า x โดยจะเริ่มทำตั้งแต่พิกเซลที่ 0 - 1023 และทำเช่นเดียวกันในแนว y โดยจะเริ่มทำตั้งแต่พิกเซลที่ 0 - 767 เมื่อทำการนับจำนวนพิกเซลที่เป็นสีขาว (255) ในภาพแล้วก็จะทำการหาค่าเฉลี่ยของภาพออกมาเป็นพิกัดพิกเซลแล้วจะได้พิกัด (x, y) ซึ่งเป็นจุดศูนย์กลางของดวงอาทิตย์ ดังรูปที่ 3.10

3.3 การควบคุมระบบติดตามดวงอาทิตย์

การควบคุมการทำงานของระบบติดตามดวงอาทิตย์ใช้คอมพิวเตอร์จำนวน 2 เครื่อง โดยคอมพิวเตอร์เครื่องแรกเรียกว่า คอมพิวเตอร์เป้าหมายระบบติดตามดวงอาทิตย์ (Sun tracking target - computer) ทำหน้าที่นำข้อมูลภาพดวงอาทิตย์ที่ได้จากกล้องดิจิตอลอุตสาหกรรมมาประมวลผลทางภาพ เพื่อหาจุดศูนย์กลางของดวงอาทิตย์ที่อยู่ในภาพ โดยข้อมูลที่ได้รับมาจากกล้องนั้นมีขนาด 1024×768 พิกเซล และมีความเร็วในการเก็บข้อมูล 24 fps ซึ่งขั้นตอนในการประมวลผลภาพเพื่อที่จะหาจุดศูนย์กลางของดวงอาทิตย์ได้อธิบายไว้ในหัวข้อที่ 3.2 จากนั้นจะนำค่าเอ็นโคเดอร์ซึ่งวัดตำแหน่งในการหมุนของมอเตอร์ มาหาเวกเตอร์ตำแหน่งของดวงอาทิตย์ (Sun position vector) และหามุมในการหมุนของระบบสะท้อนแสงอาทิตย์ (Azimuth & Altitude angle) หลังจากนั้นคอมพิวเตอร์เป้าหมายระบบติดตามดวงอาทิตย์จะควบคุมการเคลื่อนที่ของระบบติดตามดวงอาทิตย์หรือควบคุมการหมุนของมอเตอร์ทั้งสองตัวให้ขับโครงสร้างของระบบและทำให้จุดกึ่งกลางของดวงอาทิตย์ที่ได้จากการประมวลผลภาพอยู่ ณ ตำแหน่งกึ่งกลางของภาพ คือ $x = 512$ และ $y = 384$ สำหรับอัลกอริทึม (Algorithm) ในการควบคุมนั้นได้ใช้ตัวควบคุมแบบพีไอดี คอมพิวเตอร์เป้าหมายระบบติดตามดวงอาทิตย์ จะมีโปรแกรมที่ถูกพัฒนาโดยคอมพิวเตอร์อีกตัวที่เรียกว่า คอมพิวเตอร์หลัก (Host computer) เป็นตัวสั่งการทำงานผ่านทางอินเทอร์เน็ต โดยที่โปรแกรมที่ถูกพัฒนาขึ้นนี้ได้ใช้ซอฟต์แวร์ LabVIEW เป็นเครื่องมือในการพัฒนา สำหรับคอมพิวเตอร์หลักโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นจะทำงานบน MS Windows XP ส่วนคอมพิวเตอร์เป้าหมาย

ระบบติดตามดวงอาทิตย์จะใช้ระบบปฏิบัติการเวลาจริง (Real - time operating system) ของซอฟต์แวร์ LabVIEW ที่เรียกว่า Real - time target OS.

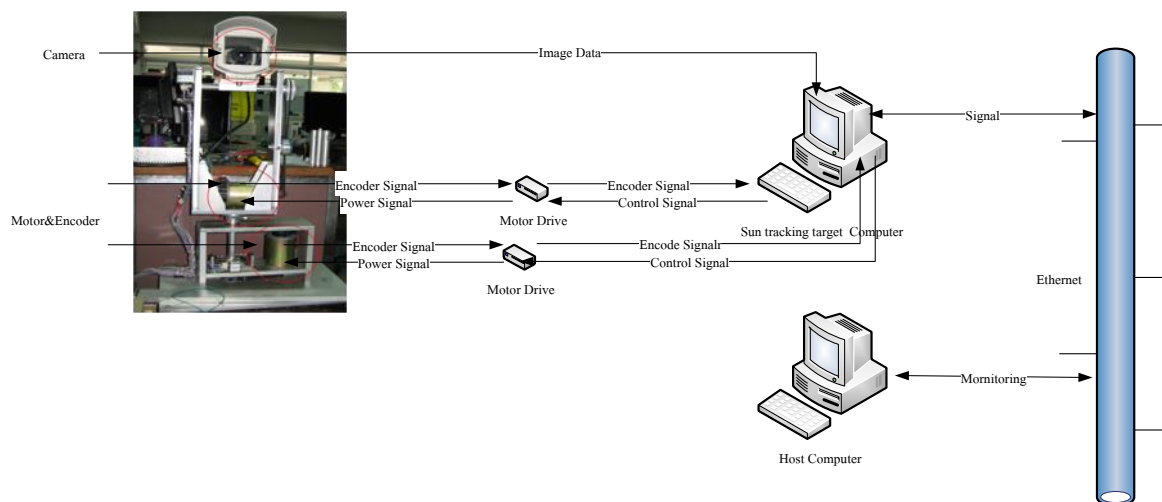


รูปที่ 3.10 แผนผังการหาจุดศูนย์กลางของดวงอาทิตย์

3.4 ระบบสัญญาณการควบคุมของระบบติดตามดวงอาทิตย์ที่ใช้ในการทดลอง

ระบบสัญญาณการควบคุมของระบบติดตามดวงอาทิตย์ที่ใช้ในการทดลอง เริ่มต้นเมื่อกล้องดิจิทัลอุตสาหกรรมรับข้อมูลภาพดวงอาทิตย์และส่งข้อมูลภาพ (Image data) สู่ Tracking target - computer เพื่อประมวลผลภาพดวงอาทิตย์และหาตำแหน่งกึ่งกลางของดวงอาทิตย์ หลังจากนั้น Tracking target computer จะส่งสัญญาณการควบคุม (Control signal) สู่มอเตอร์ไดรฟ์เพื่อควบคุมการจ่ายสัญญาณกำลัง (Power signal) ให้กับมอเตอร์เพื่อเลี้ยงให้ตำแหน่งกึ่งกลางภาพดวงอาทิตย์ที่ได้อยู่ที่ตำแหน่ง $x = 512$ และ $y = 384$ โดยในการเขียนโปรแกรมเพื่อควบคุมการทำงานจะเขียนที่คอมพิวเตอร์หลัก และส่งสัญญาณผ่านอีเทอร์เน็ต (Ethernet) ไปยังคอมพิวเตอร์เป้าหมายระบบ

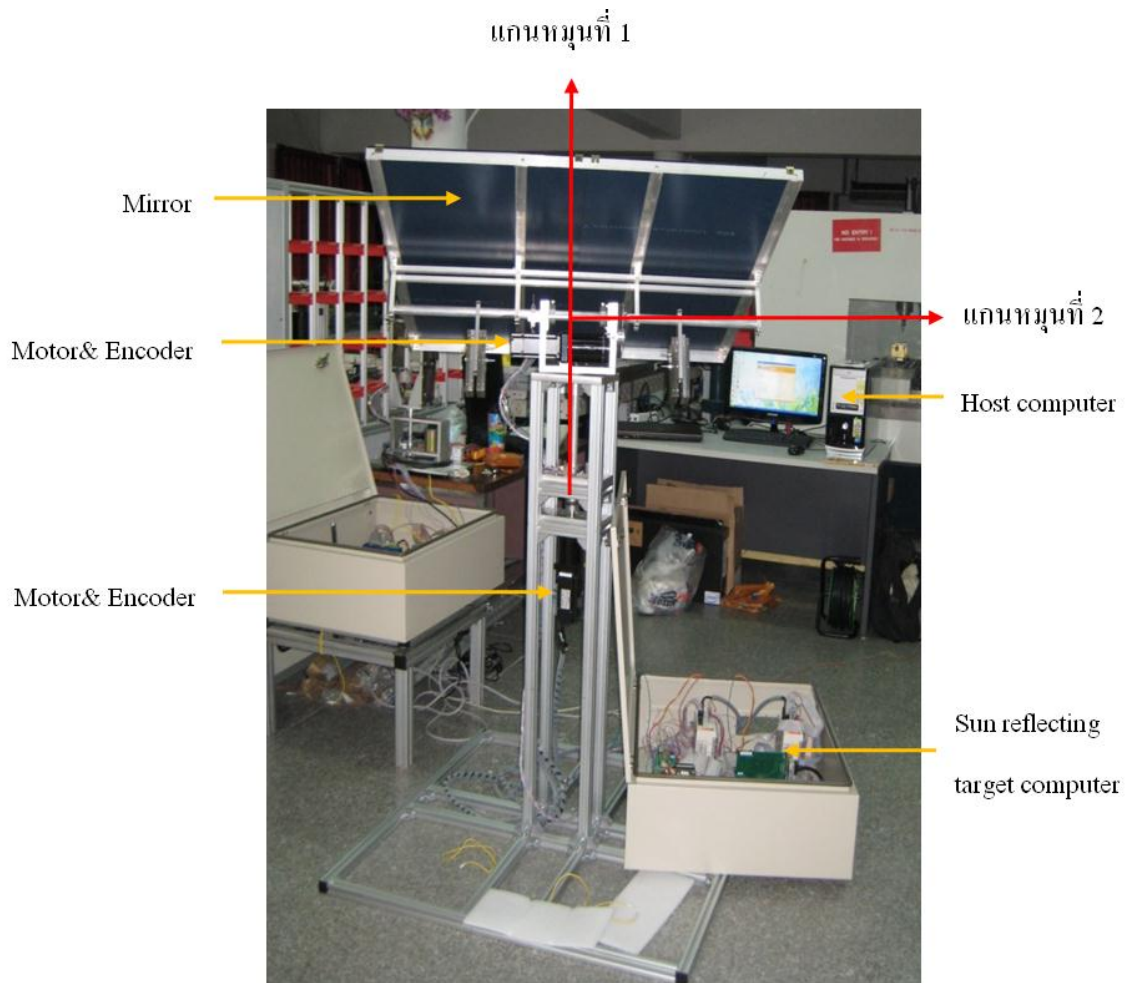
ติดตามดวงอาทิตย์ โดยที่ตำแหน่งการหมุนของมอเตอร์จะถูกวัดโดยเอ็นโคเดอร์ ซึ่งติดตั้งอยู่ที่มอเตอร์ เพื่อนำค่าตำแหน่งการหมุนของมอเตอร์ที่ได้มาหาเวกเตอร์ตำแหน่งของดวงอาทิตย์ ดังรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 ระบบสัญญาณการควบคุมของระบบติดตามดวงอาทิตย์ที่ใช้ในการทดลอง

3.5 ระบบสะท้อนแสงอาทิตย์ที่ใช้ในการทดลอง

ระบบสะท้อนแสงอาทิตย์ที่ใช้ในการทดลอง ได้ออกแบบโครงสร้างให้มีแกนที่เคลื่อนที่ได้ 2 แกน (ดังรูปที่ 3.12) โดยแกนหมุนที่ 1 จะใช้เอซีเซอร์โวมอเตอร์ในการขับเคลื่อนโครงสร้างผ่านทางคัปปลิง (Coupling) มีขอบเขตการเคลื่อนที่ 180 องศา โดยใช้ลิมิตสวิตช์เป็นตัวกำหนดขอบเขตการเคลื่อนที่ ส่วนแกนหมุนที่ 2 จะใช้เอซีเซอร์โวมอเตอร์ในการขับเคลื่อนโครงสร้างผ่านทางสายพาน ไท้มิ่ง อัตราทด 1.33:1 ระยะพิทช์ 2 mm. มีขอบเขตการเคลื่อนที่ 180 องศา โดยใช้ลิมิตสวิตช์เป็นตัวกำหนดขอบเขตการเคลื่อนที่ ซึ่งบนเพลาแกนหมุนที่ 2 นี้จะติดตั้งแผ่นกระจกไวต์ด้านบนเพื่อเป็นตัวสะท้อนแสงอาทิตย์โดยระบบสะท้อนแสงอาทิตย์นี้มีส่วนประกอบสำคัญ คือ 1. ไดรฟ์และมอเตอร์ 2. แผ่นกระจก 3. คอมพิวเตอร์ โดยมีชุดการทดลองดังรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 ระบบสะท้อนแสงอาทิตย์ที่ใช้ในการทดลอง

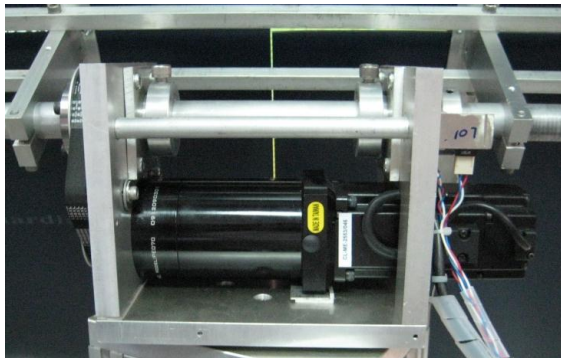
3.5.1 ไดรฟ์และมอเตอร์

มอเตอร์ไดรฟ์ผลิตโดย Schneider electric รุ่น LXM23CU04M3X ใช้เพื่อควบคุมการทำงานของมอเตอร์ โดยมอเตอร์ไดรฟ์จะรับสัญญาณการควบคุมมาจากคอมพิวเตอร์ และมอเตอร์ไดรฟ์จะควบคุมการจ่ายสัญญาณไฟฟ้าเข้าสู่มอเตอร์ พร้อมทั้งรับสัญญาณเอ็นโคเดอร์ที่ต่อกับตัวมอเตอร์ และสัญญาณดิจิทัลจากลิมิตสวิทช์ ดังรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 มอเตอร์ไดรฟ์

ในการทดลองใช้มอเตอร์แบบ เอซีเซอร์โวมอเตอร์ (AC Servo motor) 220 โวลต์ ผลิตโดย Schneider electric รุ่น Lexium 23 C BCH0602011A1C และต่อเข้ากับเกียร์เฮด (Gear head) อัตราทด 15:1 เพื่อขับเคลื่อนโครงสร้าง โดยแกนหมุนที่ 1 ใช้คัปปลิ่งเป็นตัวส่งกำลัง ส่วนแกนหมุนที่ 2 ใช้สายพานไทม์มิ่ง อัตราทด 1.33:1 ระยะพิทช์ 5 mm. เป็นตัวส่งกำลัง โดยมีเอ็นโคเดอร์เพื่อวัดตำแหน่งการหมุนของมอเตอร์ ดังรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 มอเตอร์ AC Servo

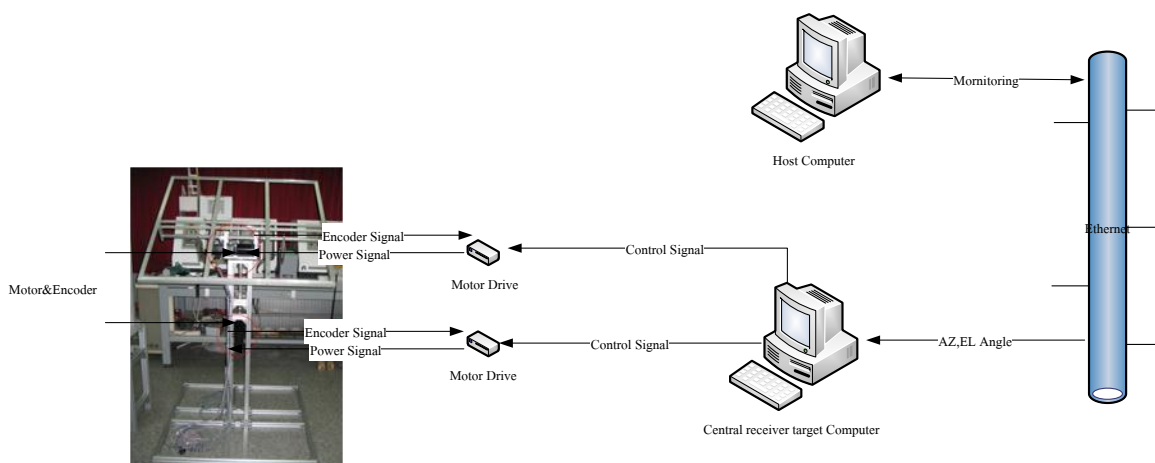
3.6 การควบคุมระบบสะท้อนแสงอาทิตย์

การควบคุมการทำงานของระบบสะท้อนแสงอาทิตย์ ใช้คอมพิวเตอร์จำนวน 2 เครื่อง โดยคอมพิวเตอร์เครื่องแรกเรียกว่า คอมพิวเตอร์เป้าหมายระบบสะท้อนแสงอาทิตย์ (Central receiver - target computer) ทำหน้าที่รับข้อมูลมุมในการหมุนของระบบสะท้อนแสงอาทิตย์จากอีเทอร์เน็ต และคอมพิวเตอร์เป้าหมายระบบสะท้อนแสงอาทิตย์จะควบคุมการเคลื่อนที่ของระบบสะท้อนแสงอาทิตย์หรือควบคุมการหมุนของมอเตอร์ทั้งสองตัวให้ขับโครงสร้างของระบบ เพื่อให้แสงอาทิตย์ที่สะท้อนจากกระจกอยู่ ณ ตำแหน่ง $x = 15.8 \text{ m.}$, $y = 12 \text{ m.}$ และ $z = 3.2 \text{ m.}$ ซึ่งเป็นตำแหน่งเป้าหมายของการทดลอง สำหรับอัลกอริทึมในการควบคุมนั้นได้ใช้ตัวควบคุมแบบพีไอดี คอมพิวเตอร์เป้าหมายระบบสะท้อนแสงอาทิตย์ จะมีโปรแกรมที่ถูกพัฒนาโดยคอมพิวเตอร์อีกตัวที่เรียกว่า คอมพิวเตอร์หลัก เป็นตัวส่งการทำงานผ่านทางอีเทอร์เน็ต โดยโปรแกรมที่ถูกพัฒนาขึ้นนี้ ได้ใช้ซอฟต์แวร์ LabVIEW เป็นเครื่องมือในการพัฒนา สำหรับคอมพิวเตอร์หลักโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นจะทำงานบน MS Windows XP ส่วนคอมพิวเตอร์เป้าหมายระบบติดตามดวงอาทิตย์จะใช้ระบบปฏิบัติการเวลาจริง (Real - time operating system) ของซอฟต์แวร์ LabVIEW ที่เรียกว่า Real - time target OS.

3.7 ระบบสัญญาณการควบคุมของระบบสะท้อนแสงอาทิตย์ที่ใช้ในการทดลอง

ระบบสัญญาณการควบคุมของระบบสะท้อนแสงอาทิตย์ที่ใช้ในการทดลอง เริ่มต้นเมื่อคอมพิวเตอร์เป้าหมายระบบสะท้อนแสงอาทิตย์ รับข้อมูลมุมในการหมุนของระบบสะท้อนแสงอาทิตย์ จากคอมพิวเตอร์เป้าหมายระบบติดตามดวงอาทิตย์ผ่านอีเทอร์เน็ต จากนั้นคอมพิวเตอร์เป้าหมาย

ระบบสะท้อนแสงอาทิตย์ จะส่งสัญญาณการควบคุมสู่มอเตอร์ไตรวี เพื่อควบคุมการจ่ายสัญญาณกำลังให้กับมอเตอร์เพื่อควบคุมการหมุนของมอเตอร์ให้ได้ตามข้อมูลที่ส่งมา โดยที่ตำแหน่งการหมุนของมอเตอร์จะถูกวัดโดยเอ็นโคเดอร์ ซึ่งติดตั้งอยู่ที่มอเตอร์ และส่งข้อมูลตำแหน่งของมอเตอร์สู่มอเตอร์ไตรวี เพื่อประมวลผลต่อไป ดังรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.15 ระบบสัญญาณการควบคุมระบบสะท้อนแสงอาทิตย์ที่ใช้ในการทดลอง

3.8 ระบบติดตามดวงอาทิตย์และระบบสะท้อนแสงอาทิตย์ที่ใช้ในการทดลอง

ระบบติดตามดวงอาทิตย์และระบบสะท้อนแสงอาทิตย์ที่ใช้ในการทดลอง เป็นการนำเอาระบบการติดตามดวงอาทิตย์ที่ได้กล่าวแล้วในหัวข้อ 3.1 มาทำการหาเวกเตอร์ตำแหน่งของดวงอาทิตย์ และหามุมในการหมุนของระบบสะท้อนแสงอาทิตย์ หลังจากนั้นส่งข้อมูลดังกล่าวเพื่อควบคุมการทำงานของระบบสะท้อนแสงอาทิตย์โดยจะมีโครงสร้าง ดังรูปที่ 3.16



รูปที่ 3.16 ระบบติดตามดวงอาทิตย์และระบบสะท้อนแสงอาทิตย์ที่ใช้ในการทดลอง

3.9 การควบคุมระบบติดตามดวงอาทิตย์และระบบสะท้อนแสงอาทิตย์

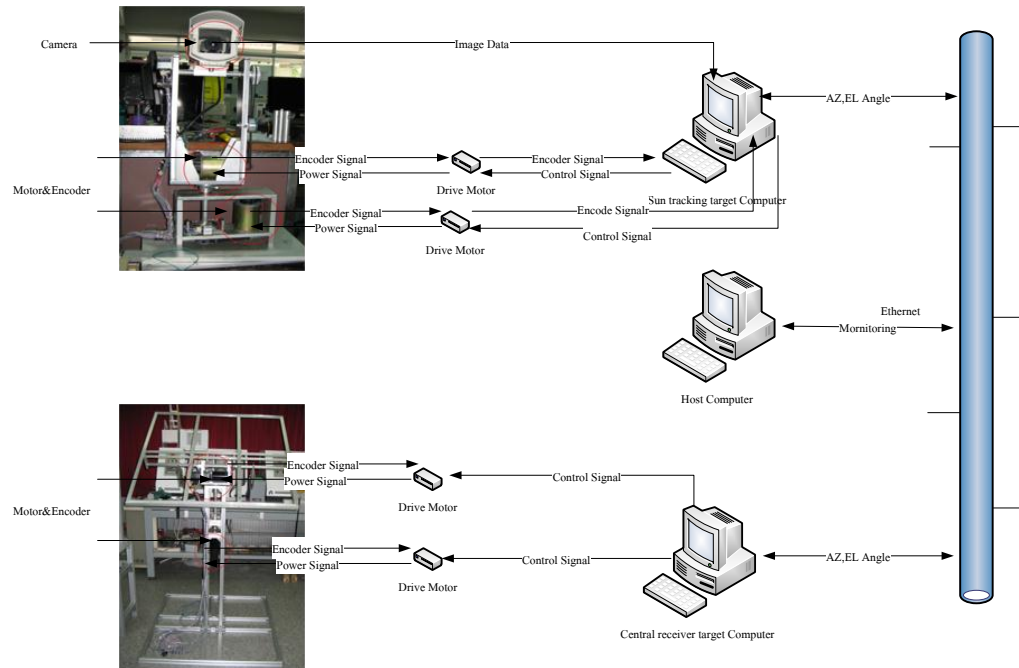
การควบคุมการทำงานของระบบติดตามดวงอาทิตย์และระบบสะท้อนแสงอาทิตย์ ใช้คอมพิวเตอร์จำนวน 3 เครื่อง โดยคอมพิวเตอร์เครื่องแรกเรียกว่า คอมพิวเตอร์เป้าหมายระบบติดตามดวงอาทิตย์ ทำหน้าที่นำข้อมูลภาพดวงอาทิตย์ที่ได้จากกล้องดิจิทัลอุตสาหกรรมมาประมวลผลทางภาพเพื่อหาจุดศูนย์กลางของดวงอาทิตย์ที่อยู่ในภาพ โดยข้อมูลที่รับมาจากกล้องนั้นมีขนาด 1024×768 พิกเซล และมีความเร็วในการเก็บข้อมูล 24 fps ซึ่งขั้นตอนในการประมวลผลภาพเพื่อหาจุดศูนย์กลางของดวงอาทิตย์ได้อธิบายไว้ในหัวข้อที่ 3.2 จากนั้นจะนำค่าเอ็นโคเดอร์ซึ่งวัดตำแหน่งในการหมุนของมอเตอร์มาหาเวกเตอร์ตำแหน่งของดวงอาทิตย์ และนำเวกเตอร์ตำแหน่งของดวงอาทิตย์มาหามุมในการหมุนของระบบสะท้อนแสงอาทิตย์ พร้อมทั้งส่งค่ามุมดังกล่าวผ่านทางอีเทอร์เน็ตไปสู่ คอมพิวเตอร์เป้าหมายระบบสะท้อนแสงอาทิตย์ หลังจากนั้นคอมพิวเตอร์เป้าหมายระบบติดตามดวงอาทิตย์จะควบคุมการเคลื่อนที่ของระบบติดตามดวงอาทิตย์ หรือควบคุมการหมุนของมอเตอร์ทั้งสองตัวให้ขับโครงสร้างของระบบและทำให้จุดกึ่งกลางของดวงอาทิตย์ที่ได้จากการประมวลผลภาพอยู่ ณ ตำแหน่งกึ่งกลางของภาพ คือ $x = 512$ และ $y = 384$ คอมพิวเตอร์เครื่องที่

สองเรียกว่า คอมพิวเตอร์เป้าหมายระบบสะท้อนแสงอาทิตย์ สำหรับอัลกอริทึม ในการควบคุมนั้นได้ใช้ตัวควบคุมแบบพีไอดี คอมพิวเตอร์เป้าหมายระบบติดตามดวงอาทิตย์จะมีโปรแกรมที่ถูกพัฒนาโดยคอมพิวเตอร์อีกตัวที่เรียกว่า คอมพิวเตอร์หลักเป็นตัวสั่งการทำงาน ผ่านทางอีเทอร์เน็ต โดยโปรแกรมที่ถูกพัฒนาขึ้นนี้ใช้ซอฟต์แวร์ LabVIEW เป็นเครื่องมือในการพัฒนา สำหรับคอมพิวเตอร์หลักโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นจะทำงานบน MS Windows XP ส่วนคอมพิวเตอร์เป้าหมายระบบติดตามดวงอาทิตย์และคอมพิวเตอร์เป้าหมายระบบสะท้อนแสงอาทิตย์ จะใช้ระบบปฏิบัติการเวลาจริง (Real - time operating system) ของซอฟต์แวร์ LabVIEW ที่เรียกว่า Real - time target OS.

3.10 ระบบสัญญาณการควบคุมของระบบติดตามดวงอาทิตย์และระบบสะท้อนแสงอาทิตย์

ระบบสัญญาณการควบคุมของระบบติดตามดวงอาทิตย์และระบบสะท้อนแสงอาทิตย์ เริ่มต้นเมื่อกล้องดิจิทัลอุตสาหกรรมรับข้อมูลภาพดวงอาทิตย์ และส่งข้อมูลภาพสู่คอมพิวเตอร์เป้าหมายระบบติดตามดวงอาทิตย์ เพื่อประมวลผลภาพดวงอาทิตย์และหาตำแหน่งกึ่งกลางของดวงอาทิตย์ หลังจากนั้นคอมพิวเตอร์เป้าหมายระบบติดตามดวงอาทิตย์จะส่งสัญญาณการควบคุม สู่มอเตอร์ไดรฟ์เพื่อควบคุมการจ่ายสัญญาณกำลังให้กับมอเตอร์ เพื่อเลี้ยงให้ตำแหน่งกึ่งกลางภาพดวงอาทิตย์ที่ได้อยู่ที่ตำแหน่ง $x = 512$ และ $y = 384$ โดยที่ตำแหน่งการหมุนของมอเตอร์จะถูกวัดโดยเอ็นโคเดอร์ ซึ่งติดตั้งอยู่ที่มอเตอร์ และคอมพิวเตอร์เป้าหมายระบบติดตามดวงอาทิตย์ จะนำค่าตำแหน่งการหมุนของมอเตอร์ที่ได้มาหามุมในการหมุนของระบบสะท้อนแสงอาทิตย์ และส่งสัญญาณค่ามุมดังกล่าวไปยังคอมพิวเตอร์เป้าหมายระบบสะท้อนแสงอาทิตย์ผ่านทางอีเทอร์เน็ต เมื่อคอมพิวเตอร์เป้าหมายระบบสะท้อนแสงอาทิตย์รับสัญญาณค่ามุมแล้ว จะส่งสัญญาณการควบคุมสู่มอเตอร์ไดรฟ์ เพื่อควบคุมการจ่ายสัญญาณกำลังให้กับมอเตอร์หรือควบคุมการหมุนของมอเตอร์ให้ได้ตามข้อมูลที่ส่งมา โดยที่ตำแหน่งการหมุนของมอเตอร์จะถูกวัดโดยเอ็นโคเดอร์ซึ่งติดตั้งอยู่ที่มอเตอร์ และส่งข้อมูลตำแหน่งของมอเตอร์สู่มอเตอร์ไดรฟ์เพื่อประมวลผลต่อไป ดังรูปที่

3.17



รูปที่ 3.17 ระบบสัญญาณการควบคุมระบบติดตามดวงอาทิตย์
และระบบสะท้อนแสงอาทิตย์ที่ใช้ในการทดลอง

บทที่ 4

การทดลองและผลลัพธ์

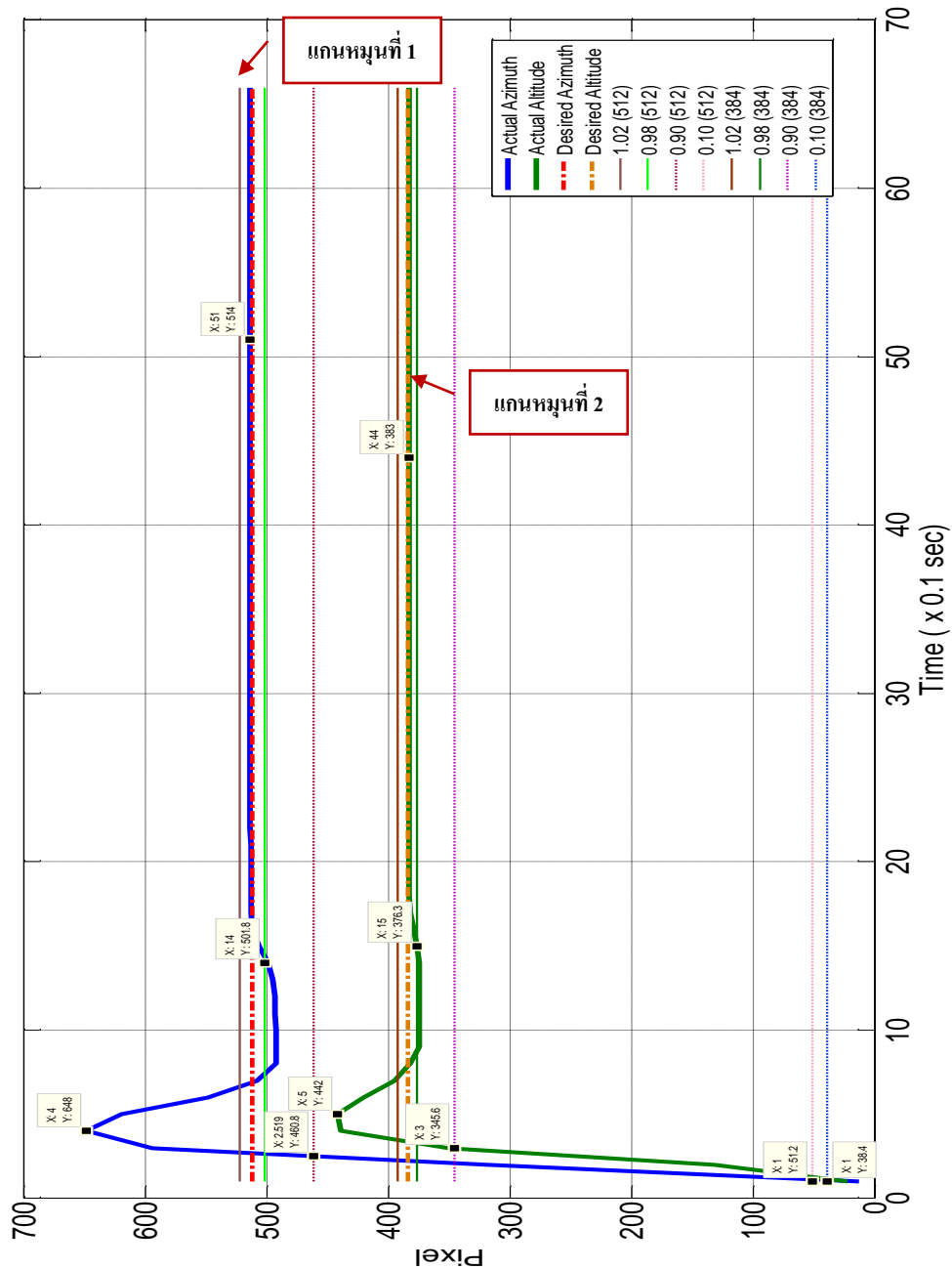
ในบทนี้จะกล่าวถึงการทดลอง การทำงานของระบบติดตามดวงอาทิตย์และระบบสะท้อนแสงอาทิตย์ โดยแบ่งการทดลองออกเป็นสองส่วนคือ ในส่วนแรกจะทำการทดลองการทำงานของระบบติดตามดวงอาทิตย์ เพื่อศึกษาผลตอบสนองของระบบและทดสอบว่าระบบติดตามดวงอาทิตย์ที่ได้สร้างขึ้นมาสามารถติดตามดวงอาทิตย์ได้จริงหรือไม่ ส่วนการทดลองที่สองจะทำการทดลองระบบติดตามดวงอาทิตย์และระบบสะท้อนแสงอาทิตย์เพื่อทดสอบการทำงานของระบบติดตามดวงอาทิตย์และระบบสะท้อนแสงอาทิตย์ที่ได้สร้างขึ้นมา

4.1 การทดลองการทำงานของระบบติดตามดวงอาทิตย์

4.1.1 การทดลองศึกษาผลตอบสนองของระบบ

การทดลองนี้ จะใช้หลอดไฟแทนดวงอาทิตย์ซึ่งเป็นการทดลองเพื่อที่จะดูการตอบสนองของระบบและความแม่นยำในการติดตาม โดยในการทดลองจะใช้การควบคุมระบบติดตามดวงอาทิตย์เช่นเดียวกับหัวข้อที่ 3.3 และในการทดลองจะใช้หลอดไส้เกลียว Hitachi 220 โวลต์ 25 วัตต์ ค่าความสว่าง 220 lm เป็นตัวส่ง ในการทดลองจะเริ่มต้นให้ตำแหน่งกึ่งกลางภาพของดวงไฟที่ได้จากกล้องดิจิตอลอุตสาหกรรมอยู่ที่ตำแหน่ง $x = 13$, $y = 22$ โดยมีเป้าหมายต้องการให้ตำแหน่งกึ่งกลางภาพดวงไฟอยู่ที่ตำแหน่ง $x = 512$, $y = 384$ ในการทดลองนี้ใช้การควบคุมแบบพีไอดี โดย

จะกำหนดค่า พารามิเตอร์ดังนี้ แกนหมุนที่ 1 กำหนดให้ $K_c = 0.008$, $T_i = 2000$, $T_d = 0.001$ และแกนหมุนที่ 2 กำหนดให้ $K_c = 0.010$, $T_i = 1500$, $T_d = 0.001$ ผลการทดลองการทำงานของระบบติดตามดวงอาทิตย์เพื่อศึกษาผลตอบสนองของระบบแสดงดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 ลักษณะการตอบสนองของระบบโดยใช้หลอดไฟ

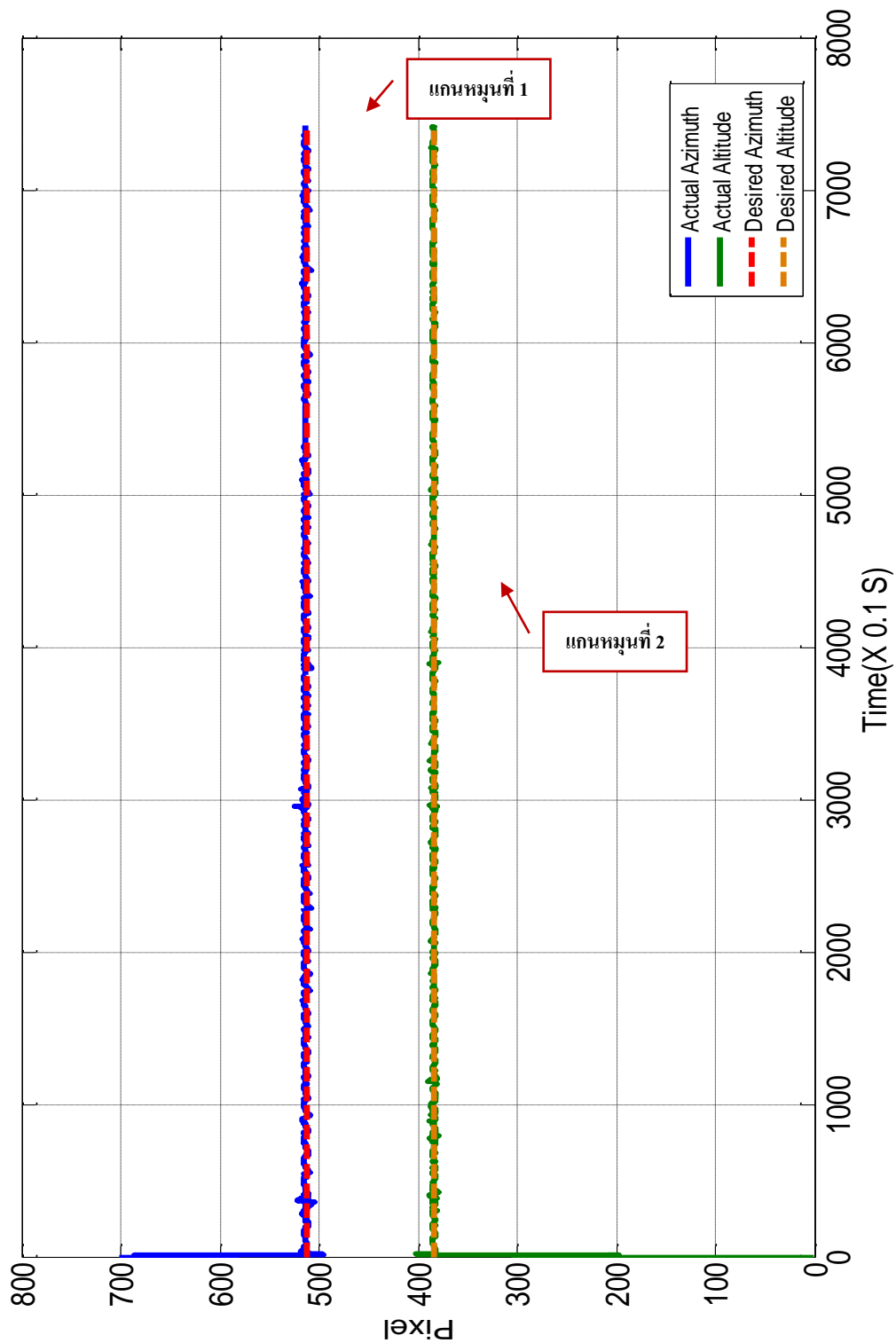
กราฟลักษณะการตอบสนองของระบบโดยใช้หลอดไฟเป็นตัวส่ง ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งกึ่งกลางของภาพดวงไฟกับเวลา จากกราฟพบว่า ทั้งสองแกนจะมีระยะเวลาการเข้าสู่สภาวะคงตัวที่ใกล้เคียงกัน โดยในแกนหมุนที่ 1 จะเกิดการเคลื่อนที่ออกจากจุดศูนย์กลางมากกว่าแกนหมุนที่ 2 แต่ตัวควบคุมยังสามารถเลี้ยงให้ตำแหน่งกึ่งกลางของดวงไฟอยู่ ณ ตำแหน่งกึ่งกลางของข้อมูลภาพได้ คือ แกนหมุนที่ 1 อยู่ ณ ตำแหน่ง 512 และแกนหมุนที่ 2 อยู่ ณ ตำแหน่ง 384 เมื่อพิจารณากราฟ จะได้ผลการทดลอง แกนหมุนที่ 1 Peak time (T_p) = 0.4 sec, Settling time (T_s) = 1.4 sec (คิดที่ $\pm 2\%$), Rise time (T_r) = 0.15 sec, Percent overshoot (%OS) = 26.56 % และ แกนหมุนที่ 2 จะได้ Peak time (T_p) = 0.5 sec, Settling time (T_s) = 1.5 sec (คิดที่ $\pm 2\%$), Rise time (T_r) = 0.2 sec, Percent overshoot (%OS) = 15.10%

4.1.2 การทดลองติดตามดวงอาทิตย์

การทดลองติดตามดวงอาทิตย์เป็นการทดลองเพื่อทดสอบว่าระบบติดตามดวงอาทิตย์ที่ได้สร้างขึ้นมา สามารถติดตามดวงอาทิตย์ได้จริงหรือไม่และมีความคลาดเคลื่อนเท่าไร ซึ่งในการทดลองจะติดตั้งกล้องแสงยี่ห้อ Hi Kool รุ่น R65 จำนวน 6 ชั้นที่หน้าเลนส์กล้องดิจิทัลอุตสาหกรรมเพื่อลดความเข้มของแสง ในการทดลองนี้ใช้การควบคุมแบบพีไอดี โดยจะกำหนดค่าพารามิเตอร์ดังนี้ แกนหมุนที่ 1 กำหนดให้ $K_c = 0.008$, $T_i = 2000$, $T_d = 0.001$ และแกนหมุนที่ 2 กำหนดให้ $K_c = 0.010$, $T_i = 1500$, $T_d = 0.001$ ผลการทดลองการทำงานของระบบติดตามดวงอาทิตย์ แสดงดังรูปที่ 4.2 และ 4.3



รูปที่ 4.2 การทดลองติดตามดวงอาทิตย์



รูปที่ 4.3 ลักษณะการตอบสนองของระบบติดตามดวงอาทิตย์

การทดลองติดตามดวงอาทิตย์เพื่อทดสอบการทำงานจริงเริ่มทดลองเวลา 09.00 - 12.00 น. วันที่ 13 ธันวาคม 2553 ณ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ภายใต้สภาพท้องฟ้ามีเมฆน้อยและมีดวงอาทิตย์ปรากฏตลอดวัน (Clear sky)

กราฟลักษณะการตอบสนองของระบบติดตามดวงอาทิตย์ ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งกึ่งกลางของภาพดวงอาทิตย์กับเวลา จากกราฟพบว่า ตัวควบคุมสามารถเลี้ยงให้ตำแหน่งกึ่งกลางภาพดวงอาทิตย์อยู่ ณ ตำแหน่งกึ่งกลางข้อมูลภาพได้ตลอดเวลาที่ทดสอบ คือ แกนหมุนที่ 1 อยู่ ณ ตำแหน่ง 512 และแกนหมุนที่ 2 อยู่ ณ ตำแหน่ง 384 โดยระบบมีความคลาดเคลื่อน ± 5 พิกเซล

4.2 การทดลองการทำงานของระบบติดตามดวงอาทิตย์และระบบสะท้อนแสงอาทิตย์

การทดลองระบบติดตามดวงอาทิตย์และระบบสะท้อนแสงอาทิตย์ เป็นการนำเอาระบบติดตามดวงอาทิตย์มาทำงานร่วมกับระบบสะท้อนแสงอาทิตย์ เพื่อที่จะดูว่า ระบบติดตามดวงอาทิตย์และระบบสะท้อนแสงอาทิตย์ที่ได้สร้างขึ้นมาสามารถทำงานได้จริงหรือไม่ โดยในการทดลองจะใช้การควบคุมระบบติดตามดวงอาทิตย์และระบบสะท้อนแสงอาทิตย์เช่นเดียวกับหัวข้อที่ 3.9 ในระบบติดตามดวงอาทิตย์จะติดฟิล์มกรองแสงยี่ห้อ Hi Kool รุ่น R65 จำนวน 6 ชั้นที่หน้าเลนส์กล้องดิจิทัลเพื่อลดความเข้มของแสงและใช้การควบคุมแบบพีไอดี โดยจะกำหนดค่าพารามิเตอร์ดังนี้ แกนหมุนที่ 1 กำหนดให้ $K_c = 0.008$, $T_i = 2000$, $T_d = 0.001$ และแกนหมุนที่ 2 กำหนดให้ $K_c = 0.010$, $T_i = 1500$, $T_d = 0.001$ ส่วนระบบสะท้อนแสงอาทิตย์ ใช้การควบคุมแบบพีไอดี ที่อยู่ภายในตัวขับเคลื่อนมอเตอร์ ดังนั้นในการควบคุมการหมุนของมอเตอร์ของระบบสะท้อนแสงอาทิตย์ จะใช้สัญญาณพัลส์ (Pulse) ที่มี Frequency = 100 Hz และ Duty cycle = 50% โดยที่สัญญาณ 1 พัลส์ จะเท่ากับมอเตอร์หมุนได้ 1 สเต็ปของตัวเอ็นโคเดอร์ โดยมีเป้าหมายของการสะท้อนแสงอาทิตย์อยู่ที่ $V_T = -15.8i + 12j + 3.2k$ เมตร เมื่อเทียบกับระบบสะท้อนแสงอาทิตย์ ผลการทดลองการทำงานของระบบติดตามดวงอาทิตย์และระบบสะท้อนแสงอาทิตย์ แสดงดังรูปที่ 4.4, 4.5, 4.6, 4.7, 4.8 และ 4.9



รูปที่ 4.4 การทดลองระบบติดตามดวงอาทิตย์และระบบสะท้อนแสงอาทิตย์



รูปที่ 4.5 ระนาบของระบบสะท้อนแสงอาทิตย์และตำแหน่งเป้าหมายของการทดลอง



เป้าหมาย
การทดลอง

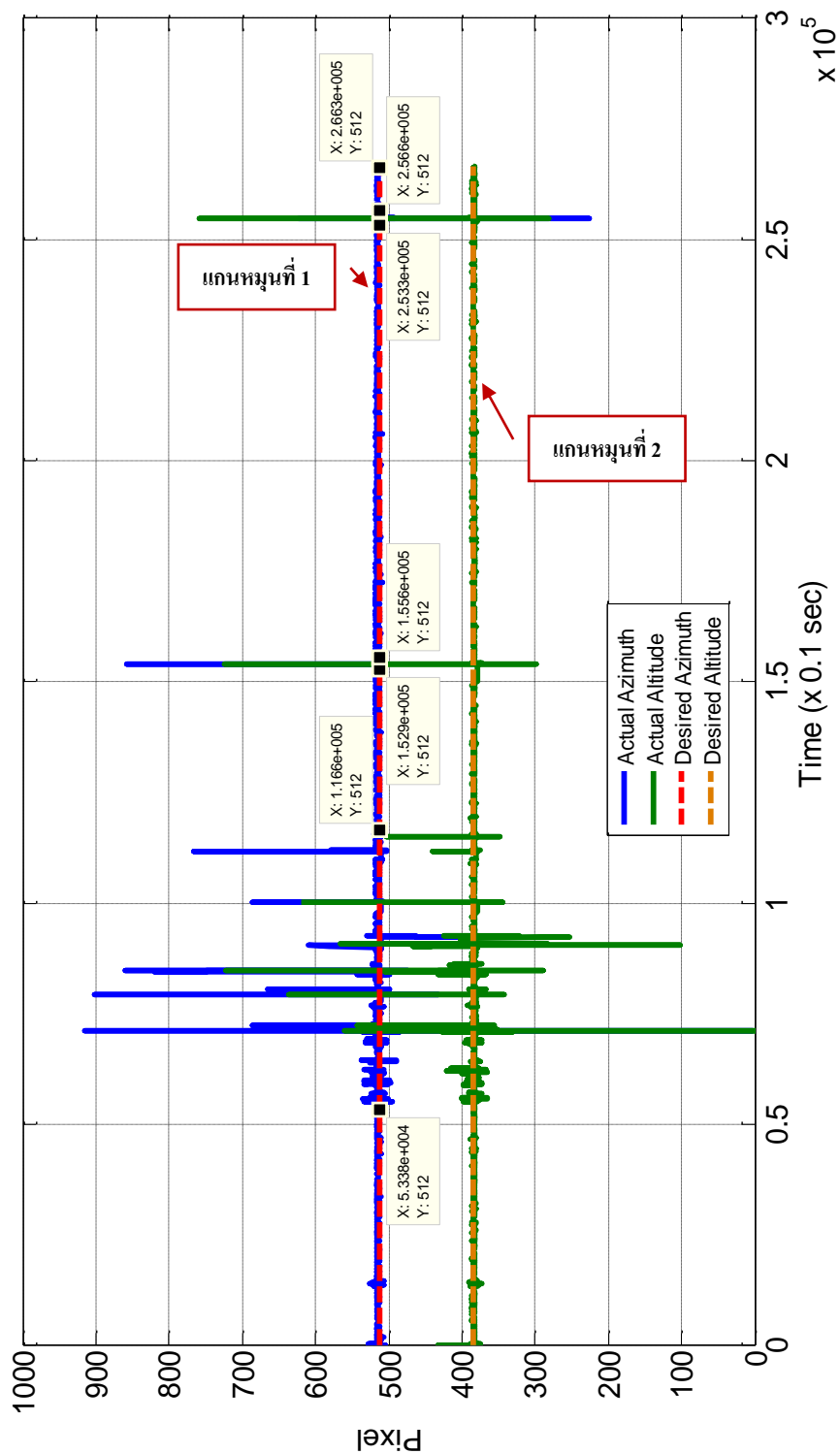
รูปที่ 4.6 เป้าหมายการทดลอง

รูปที่ 4.8 กราฟผลการทดลองระบบติดตามดวงอาทิตย์ ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งกึ่งกลางของภาพดวงอาทิตย์กับเวลา จากกราฟพบว่า ณ ช่วงเวลาเริ่มต้นทดสอบ – วินาทีที่ 5,338 , วินาทีที่ 11,660 – วินาทีที่ 15,290 , วินาทีที่ 15,560 – วินาทีที่ 25,330 และวินาทีที่ 25,660 – วินาทีที่ 26,630 ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่มียอดดวงอาทิตย์ปรากฏ ณ ช่วงเวลาดังกล่าวตัวควบคุมสามารถเลี้ยงให้ตำแหน่งกึ่งกลางของภาพดวงอาทิตย์อยู่ ณ ตำแหน่งกึ่งกลางของข้อมูลภาพได้ คือ แกนหมุนที่ 1 อยู่ ณ ตำแหน่ง 512 และแกนหมุนที่ 2 อยู่ ณ ตำแหน่ง 384 แต่ในช่วงเวลา วินาทีที่ 5,338 - วินาทีที่ 11,660 , วินาทีที่ 15,290 - วินาทีที่ 15,560 และวินาทีที่ 25,330 - วินาทีที่ 25,660 ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่เมฆเคลื่อนที่มาบังดวงอาทิตย์ ทำให้ตัวควบคุมไม่สามารถเลี้ยงให้ตำแหน่งกึ่งกลางของภาพดวงอาทิตย์อยู่ ณ ตำแหน่งกึ่งกลางของข้อมูลภาพได้ ทำให้ระบบเคลื่อนที่ออกจากตำแหน่งกึ่งกลางข้อมูลภาพมาก

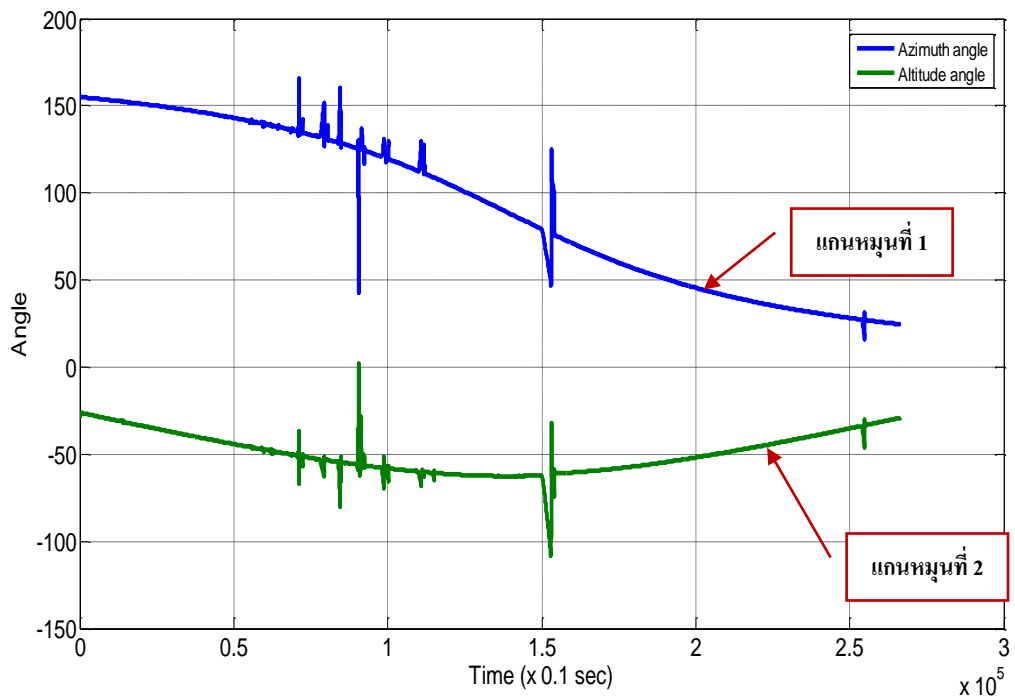
รูปที่ 4.9 กราฟผลการทดลองระบบติดตามดวงอาทิตย์ ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมการหมุนมอเตอร์กับเวลา จากกราฟพบว่า ในช่วงเวลาที่มีดวงอาทิตย์ปรากฏ ตัวควบคุมสามารถควบคุมมุมการหมุนของมอเตอร์ให้ติดตามดวงอาทิตย์ได้ แต่ในช่วงเวลาที่เมฆเคลื่อนที่มาบังดวงอาทิตย์ ตัวควบคุมไม่สามารถควบคุมมุมการหมุนของมอเตอร์ให้ติดตามดวงอาทิตย์ได้



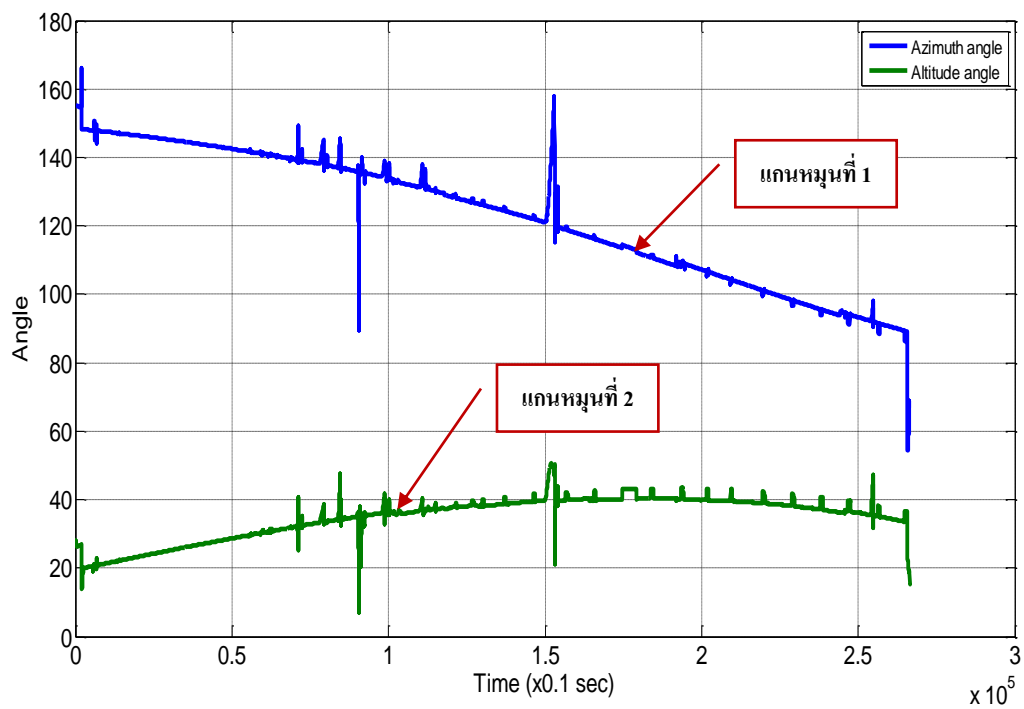
รูปที่ 4.7 ผลการทดลองระบบติดตามดวงอาทิตย์และระบบสะท้อนแสงอาทิตย์



รูปที่ 4.8 ผลการทดลองระบบติดตามดวงอาทิตย์



รูปที่ 4.9 ผลการทดลองระบบติดตามดวงอาทิตย์ระหว่างมุมการหมุนของมอเตอร์กับเวลา



รูปที่ 4.10 ผลการทดลองระบบสะท้อนแสงอาทิตย์ระหว่างมุมการหมุนของมอเตอร์กับเวลา

การทดลองการทำงานของระบบติดตามดวงอาทิตย์และระบบสะท้อนแสงอาทิตย์ เพื่อทดสอบการทำงานจริงเริ่มทดลองเวลา 09.00 - 16.00 น. วันที่ 10 กุมภาพันธ์ 2554 ณ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ภายใต้สภาพท้องฟ้ามีเมฆบางส่วน (Partly cloudy sky)

รูปที่ 4.10 กราฟผลการทดลองระบบสะท้อนแสงอาทิตย์ ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการหมุนของมอเตอร์กับเวลา พบว่า ในช่วงเวลาที่มีดวงอาทิตย์ปรากฏ ตัวควบคุมสามารถควบคุมมุมการหมุนมอเตอร์เพื่อขับเคลื่อนโครงสร้างให้สามารถสะท้อนแสงอาทิตย์ไปยังตำแหน่งเป้าหมายได้ แต่ในบางช่วงเวลาที่เมฆเคลื่อนที่มาบังดวงอาทิตย์ ตัวควบคุมไม่สามารถควบคุมมุมการหมุนของมอเตอร์ เพื่อขับเคลื่อนโครงสร้างให้สามารถสะท้อนแสงอาทิตย์ไปยังตำแหน่งเป้าหมายได้ โดยระบบสะท้อนแสง อาทิตย์มีความคลาดเคลื่อนมากที่สุด ± 0.5 เมตร

บทที่ 5

บทสรุป

5.1 สรุปผลการทดลอง

โครงการนี้ได้นำเสนอระบบติดตามดวงอาทิตย์และระบบสะท้อนแสงอาทิตย์ สำหรับในระบบติดตามดวงอาทิตย์นั้น จะใช้วิธีเทคนิคการประมวลผลภาพ ซึ่งรับภาพจากกล้องดิจิตอลอุตสาหกรรม การควบคุมนั้นได้ใช้ตัวควบคุมแบบพีไอดี โดยมีจุดประสงค์คือ ต้องการควบคุมการหมุนของระบบติดตามดวงอาทิตย์และทำให้จุดกึ่งกลางของดวงอาทิตย์ที่ได้จากการประมวลผลภาพ อยู่ ณ ตำแหน่งกึ่งกลางของภาพ คือ $x = 512$ และ $y = 384$ เพื่อนำมาใช้ในการหมุนของระบบติดตามดวงอาทิตย์มาหาเวกเตอร์ตำแหน่งของดวงอาทิตย์ และหามุมในการหมุนของระบบสะท้อนแสงอาทิตย์ ส่วนระบบสะท้อนแสงอาทิตย์จะนำค่ามุมในการหมุนของระบบสะท้อนแสงอาทิตย์ที่ได้จากระบบติดตามดวงอาทิตย์ มาควบคุมการหมุนของโครงสร้าง โดยมีจุดประสงค์ คือต้องการให้แสงที่ตกกระทบจากแผ่นกระจกอยู่ ณ ตำแหน่งที่ต้องการได้ตลอดทั้งวัน ($V_T = -15.8i + 12j + 3.2k$) เมตร

การทดลองแบ่งออกเป็นสองส่วนคือ ส่วนแรกการทดลองการทำงานของระบบติดตามดวงอาทิตย์ ซึ่งแบ่งออกเป็นสองส่วนย่อย คือ ทดลองศึกษาผลตอบสนองของระบบ และทดลองติดตามดวงอาทิตย์ โดยมีวัตถุประสงค์คือ เพื่อที่จะดูการตอบสนองของระบบ ความแม่นยำในการติดตาม และเพื่อที่จะทดสอบว่าระบบติดตามดวงอาทิตย์ที่ได้สร้างขึ้นมาสามารถติดตามดวงอาทิตย์ได้จริงหรือไม่ ส่วนการทดลองที่สองคือ การทดลองการทำงานของระบบติดตามดวงอาทิตย์ และระบบ

สะท้อนแสงอาทิตย์ โดยมีวัตถุประสงค์คือ เพื่อที่จะดูว่าระบบติดตามดวงอาทิตย์และระบบสะท้อนแสงอาทิตย์ที่ได้สร้างขึ้นมาสามารถทำงานได้จริงหรือไม่

จากผลการทดลองการทำงานของระบบติดตามดวงอาทิตย์ ในหัวข้อที่ 4.1.1 พบว่าในการทดลองแกนอิมูทซ์มีระยะเวลาการเข้าสู่สภาวะคงตัวที่ 1.4 วินาที และแกนอัลติจูดมีระยะเวลาการเข้าสู่สภาวะคงตัวที่ 1.5 วินาที ซึ่งเป็นเวลาที่ใกล้เคียงกัน เมื่อพิจารณาผลตอบสนองของระบบจะเห็นได้ว่าแกนอิมูทซ์จะเกิด Overshoot มากกว่าแกนอัลติจูดก่อนเข้าสู่สภาวะคงตัว นั้นหมายความว่าแกนอิมูทซ์จะเคลื่อนที่ออกจากจุดศูนย์กลางมากกว่า ก่อนเข้าสู่สภาวะคงตัวและระบบมีความคลาดเคลื่อน ± 3 พิกเซล การทดลองในหัวข้อที่ 4.1.2 พบว่า ระบบสามารถติดตามดวงอาทิตย์ได้จริง มีความคลาดเคลื่อน ± 5 พิกเซล ส่วนการทดลองในหัวข้อที่ 4.2 พบว่า ระบบสามารถทำงานได้จริง โดยระบบติดตามดวงอาทิตย์สามารถติดตามดวงอาทิตย์ได้ตลอดเวลาที่ทดสอบ และมีความคลาดเคลื่อน ± 10 พิกเซล ส่วนระบบสะท้อนแสงอาทิตย์สามารถสะท้อนแสงอาทิตย์ให้อยู่ ณ ตำแหน่งเป้าหมายได้ตลอดเวลาที่ทดสอบและมีความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ 0.5 m.

เมื่อพิจารณาการทดลองพบว่า ความแม่นยำในการทดลองจะขึ้นอยู่กับสภาพท้องฟ้า ขณะทำการทดลอง ระบบจะมีความแม่นยำสูงหากสภาพท้องฟ้ามีเมฆน้อยและมีดวงอาทิตย์ปรากฏตลอดวัน

5.2 ปัญหาที่พบในการทำวิจัยและแนวทางในการแก้ปัญหา

5.2.1 มีสัญญาณรบกวนทางไฟฟ้าในระบบสะท้อนแสงอาทิตย์ทำให้ค่าเอ็นโคเดอร์ที่วัดได้ไม่แม่นยำ ดังนั้นจึงควรแยกอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมออกจากแหล่งกำเนิดไฟฟ้าและควรมีอุปกรณ์กรองไฟ เพื่อลดสัญญาณรบกวนทางไฟฟ้า

5.2.2 ก่อนการทดลองระบบติดตามดวงอาทิตย์และระบบสะท้อนแสงอาทิตย์ ต้องมีการ Homing ก่อน แต่เนื่องจากการสั่นสะเทือนของระบบและความแม่นยำของลิimitsวิตซ์ทำให้ตำแหน่ง Homing มีความคลาดเคลื่อนเล็กน้อย ดังนั้นจึงควรมีการปรับเทียบ (Calibration) ตำแหน่ง Homing ทุกครั้งก่อนทำการทดลอง เพื่อให้ผลการทดลองมีความแม่นยำมากยิ่งขึ้น

5.2.3 การตั้งเฟรมระบบติดตามดวงอาทิตย์และระบบสะท้อนแสงอาทิตย์ต้องเป็นเฟรมเดียวกัน แต่เนื่องจากเข็มทิศที่ใช้ตั้งเฟรมมีความละเอียดต่ำ ทำให้เฟรมไม่เป็นเฟรมเดียวกัน ดังนั้นจึงควรมีเครื่องมือที่มีความละเอียดสูงสำหรับใช้ในการตั้งเฟรม เพื่อให้ผลการทดลองมีความแม่นยำมากยิ่งขึ้น

5.2.4 ระบบนี้จะใช้ได้ดีและมีความแม่นยำสูง ในตอนที่ท้องฟ้าแจ่มใส (Fine) และดวงอาทิตย์ ปรากฏตลอดทั้งวัน ดังนั้นการหาตำแหน่งของดวงอาทิตย์ควรใช้วิธีคำนวณจากสมการคณิตศาสตร์หรือใช้ค่าตำแหน่งของดวงอาทิตย์จากสภาวะอุตุนิยมวิทยา เพราะมีความแม่นยำสูงและสามารถใช้ได้ในทุกสภาพอากาศ

5.3 ข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนา

5.3.1 เนื่องจากการวิจัยระบบติดตามดวงอาทิตย์และระบบสะท้อนแสงอาทิตย์ มีการทดลองภายในวันเดียว ดังนั้นเพื่อเพิ่มความสามารถในการทำงานของระบบ จึงควรพัฒนาโปรแกรมสำหรับควบคุมเพิ่มเติม เพื่อให้ระบบสามารถทดลองข้ามวันได้

5.3.2 เนื่องจากระบบติดตามดวงอาทิตย์จะทำงานได้เมื่อเห็นดวงอาทิตย์ แต่เมื่อไม่เห็นดวงอาทิตย์ระบบจะหยุดนิ่ง ดังนั้นเพื่อเพิ่มความสามารถในการทำงานของระบบจึงควรพัฒนาโปรแกรมสำหรับควบคุมเพิ่ม เพื่อให้ระบบติดตามดวงอาทิตย์ทำงานได้แม้ในเวลาที่ไม่เห็นดวงอาทิตย์

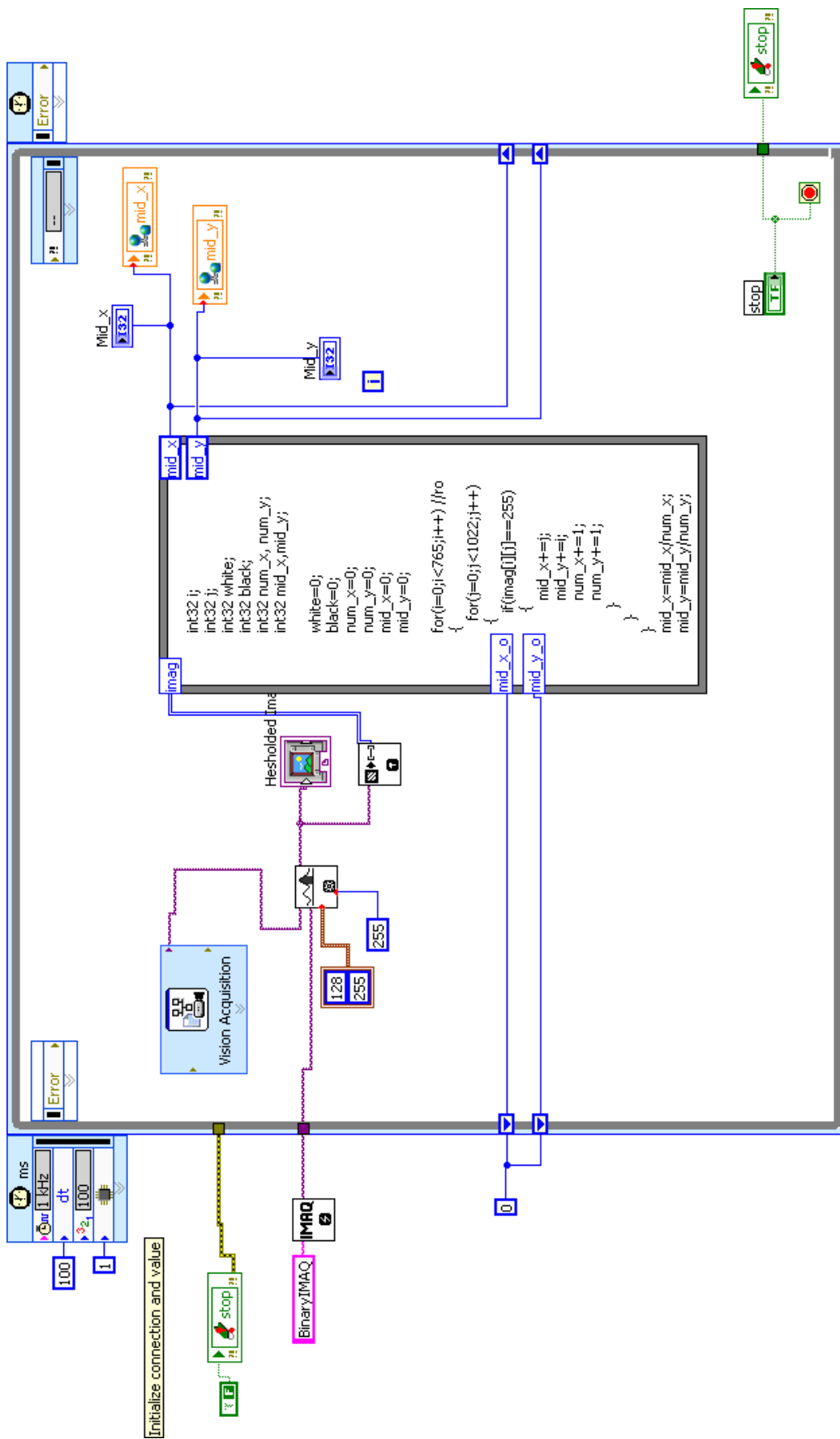
บรรณานุกรม

- [1] Aracil, C. et al., "Tracking System for Solar Power Plants", **IEEE Transactions on Industrial Electronics**, (Electronic), 2006, pp.3024 – 3029. Available : IEEE organization / IEEEXplorer (22 February 2011)
- [2] ธนกร ลิ้มสุวรรณและคณะ, "อุปกรณ์ติดตามดวงอาทิตย์สำหรับวัตพลังงานแสงอาทิตย์" การประชุมเชิงวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย, ครั้งที่ 2, 27 – 29 กรกฎาคม 2549, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา
- [3] คงฤทธิ์ แม้นศิริและคณะ, "โปรแกรม Sun Tracking and Simulation สำหรับการศึกษาค่าพลังงานแสงอาทิตย์" การประชุมเชิงวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย, ครั้งที่ 1, 11 – 13 พฤษภาคม 2548, โรงแรมแอมบาสซาเดอร์ซิตี จอมเทียน จังหวัดชลบุรี
- [4] Roth, P., Georgive, A. and Boudinob, H., "Design and construction of a system for Sun – tracking," **Renewable Energy** (Electronic), Vol.29, 2004. pp.393 – 402 Available: Applied ScienceDirect (22 February 2011)
- [5] George, C. and Bakos, "Design and construction of a two – axis Sun tracking system for parabolic trough collector (PTC) efficiency improvement, " **Renewable Energy** (Electronic), Vol.31, 2006. pp.2411 – 2421. Available: Applied ScienceDirect (22 February 2011)
- [6] อนุชา ดีผาง, สิงห์ทอง พัฒนเศรษฐานนท์และเจริญพร เลิศสถิตชนกร, "ระบบติดตามดวงอาทิตย์ด้วยอุปกรณ์ตรวจจับตำแหน่งดวงอาทิตย์เชิงดิจิทัล" การประชุมเชิงวิชาการ

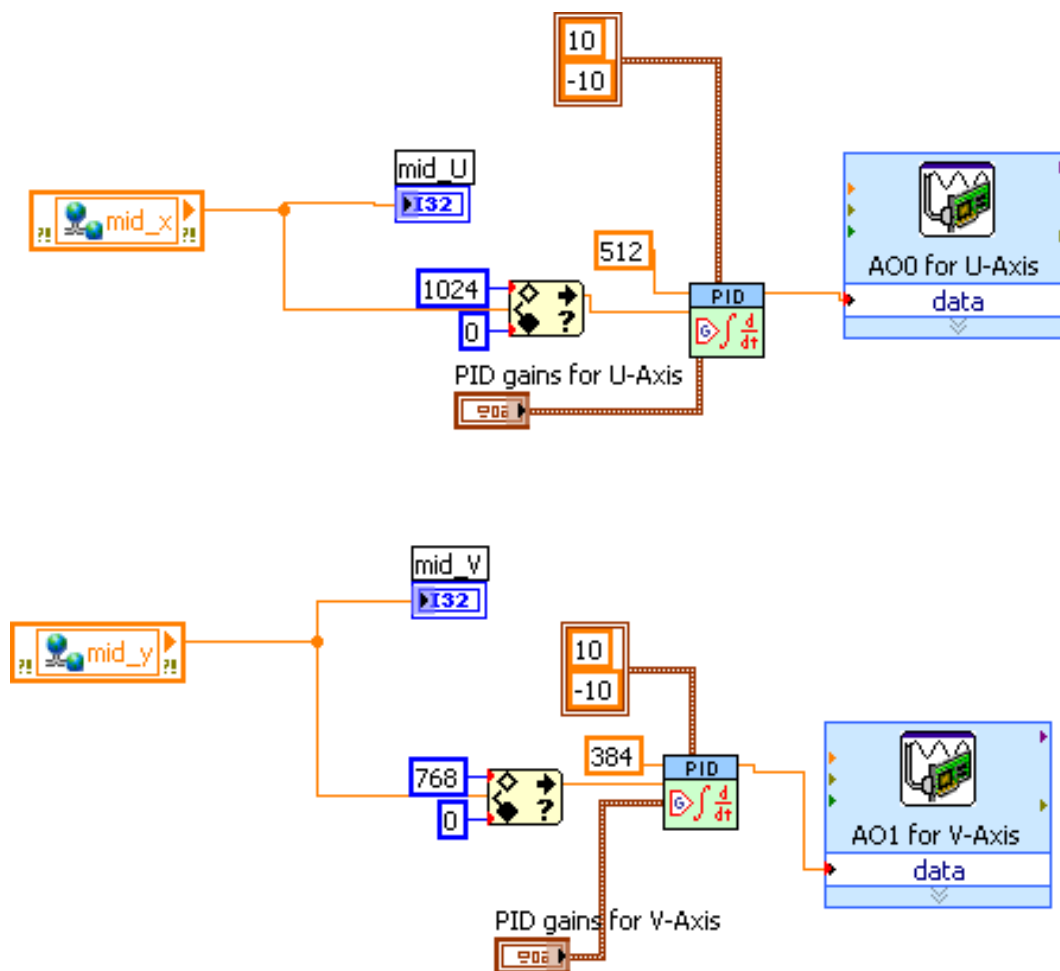
- เครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย, ครั้งที่ 1, 11 – 13 พฤษภาคม 2548, โรงแรมแอมบาสซาเตอร์ซีตี้จอมเทียน จังหวัดชลบุรี
- [7] ธนภัทร พรหมวัฒน์ภักดีและเอกชัย ดีศิริ, “ระบบติดตามดวงอาทิตย์จากอุปกรณ์ตรวจจับตำแหน่งเชิงดิจิทัลด้วยซีพีแอลดี,” **ศรีปทุมปริทัศน์**, ฉบับที่ 1, 2550
- [8] ศักดิ์สิทธิ์ บัวเงินและคณะ, “ระบบติดตามดวงอาทิตย์โดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาพ”, (Online) Available: <http://thestar.spu.ac.th/content/627/12724.php> (23 ธันวาคม 2553)
- [9] Baheti, R.S. and Scott, P.F., “Design of self – calibrating Controllers for Heliostats in a Solar Power Plant,” **IEEE Transactions on Automatic Control** (Electronic), 1980, Vol. ac – 25, pp. 1091 – 1097. Available : IEEE organization / IEEEXplorer (22 February 2011)
- [10] Enrile, J. et al., “Heliostst for large PV plants,” **IEEE Photovoltaic Energy Conversion** (Electronic), 2003, Vol.3, pp. 2386 – 2388. Available : IEEE organization/IEEEXplorer (22 February 2011)
- [11] โครงการ การเรียนรู้เรื่องวิทยาศาสตร์โลกและอวกาศ, การหมุนเวียนของบรรยากาศ และ อิทธิพลของฤดูกาล (Online), Available: http://203.172.208.242/tatalad/subject/Science/Earth%20Science/atmosphere/atm_circulation/atm_circulation/atm_circulation.htm (22 กุมภาพันธ์ 2554)
- [12] ดาราศาสตร์และอวกาศสำหรับคนไทย, ความสัมพันธ์ระหว่างโลกและดวงอาทิตย์ (Online), Available: [http:// webstory.netfirms.com/story/solar1sunandearth.ht](http://webstory.netfirms.com/story/solar1sunandearth.ht) (22 กุมภาพันธ์ 2554)
- [13] ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, มุมอซิมุธ (Online), Available: [http:// www.neutron.rmutphysics.com](http://www.neutron.rmutphysics.com) (22 กุมภาพันธ์ 2554)
- [14] **CCD vs CMOS ใครคือผู้ชนะ** (Online), Available: <http://www.klongdigital.com/news2/column5> (22 กุมภาพันธ์ 2554)
- [15] ระบบควบคุมพีไอดี (Online), Available: [http:// th.wikipedia.org/wiki](http://th.wikipedia.org/wiki) (26 กุมภาพันธ์ 2554)
- [16] Gene, F., and David, J., Feedback Control of Dynamic System. Third Edition. pp.175
- [17] **Monochrome Cameras** (Online), Available: [http:// www.graftek.com/pages/scA1000 - 30FM.htm](http://www.graftek.com/pages/scA1000-30FM.htm) (22 กุมภาพันธ์ 2554)
- [18] **Accelus™ Panel** (online), Available: http://www.copleycontrols.com/motion/pdf/Accelus_Panel.pdf (10 มีนาคม / 2554)

- [19] **Motion Control Lexium 23 Plus Catalogue** (Online), Available: [http://www.global – download.schneiderelectric.com/852577A4005D7372/all/FD897D2B8C154495852577C3005D0487/\\$File/lexium%2022%20plus%20en%202010.pdf](http://www.global-download.schneiderelectric.com/852577A4005D7372/all/FD897D2B8C154495852577C3005D0487/$File/lexium%2022%20plus%20en%202010.pdf) (10 มีนาคม 2554)
- [20] **National Instruments NI PCI - 6232 Overview** (Online), Available: <http://sine.ni.com/nips/cds/print/p/lang/en/nid/202501> (10 มีนาคม 2554)

ภาคผนวก ก.
โค้ดโปรแกรมที่ใช้ใน
การควบคุม



รูปที่ ก.1 บล็อกไดอะแกรมการประมวลผลภาพและหาจุดศูนย์กลางของดวงอาทิตย์



รูปที่ ก.2 โค้ดควบคุมการหมุนของมอเตอร์ของระบบติดตามดวงอาทิตย์

PID gains for U-Axis

proportional gain (Kc)	-0.015
integral time (Ti, min)	-1000.000
derivative time (Td, min)	-0.001

mid_U

Mid_x 0

Angle_00 0

PID gains for V-Axis

proportional gain (Kc)	-0.015
integral time (Ti, min)	-1500.000
derivative time (Td, min)	-0.001

mid_V

Mid_y 0

Angle_01 0

Vector x 0

Vector y 0

Vector z 0

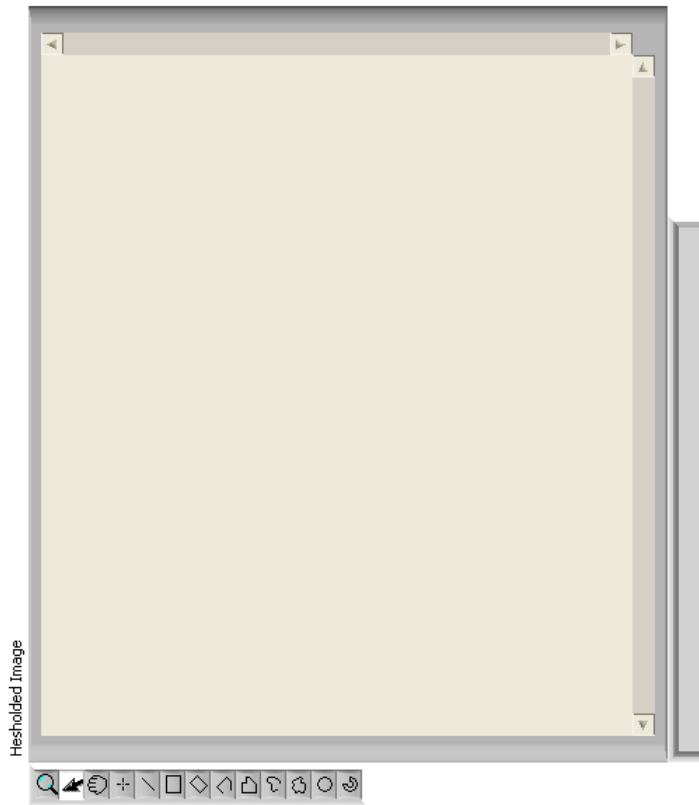
Vt_X_2 0

Vt_Y_2 0

Vt_Z_2 0

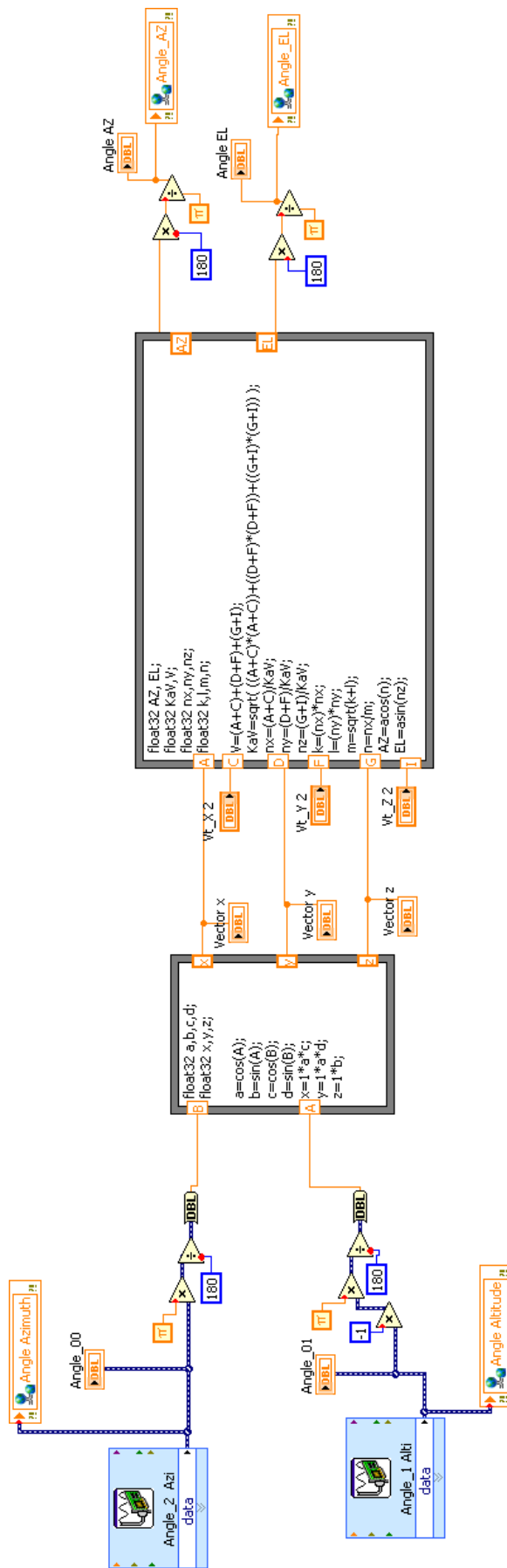
Angle AZ 0

Angle EL 0

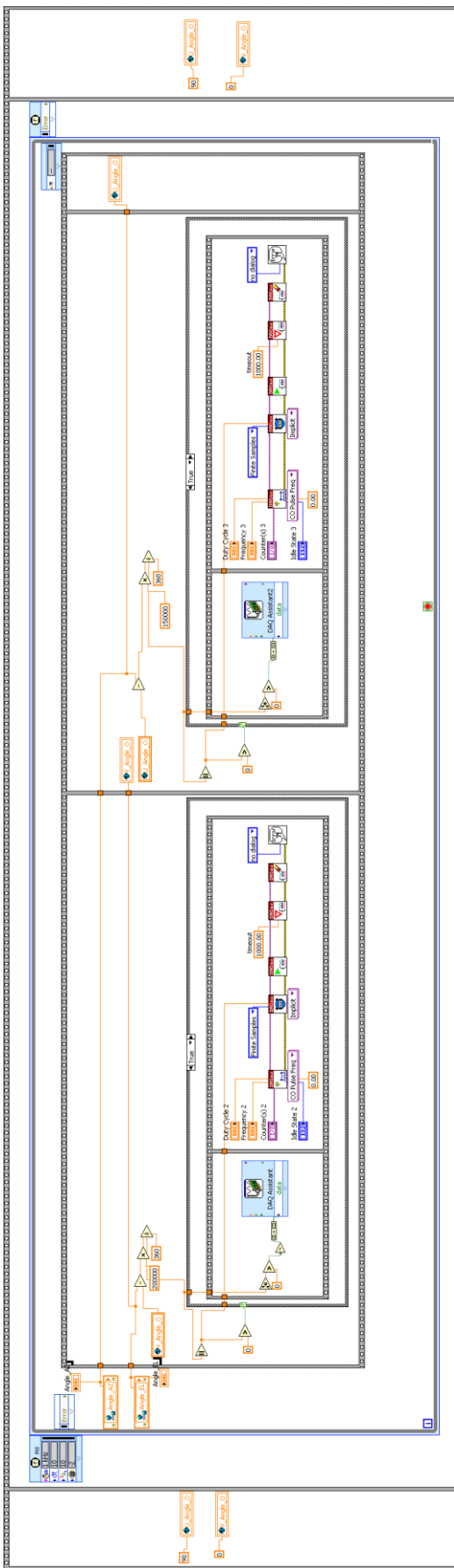


STOP

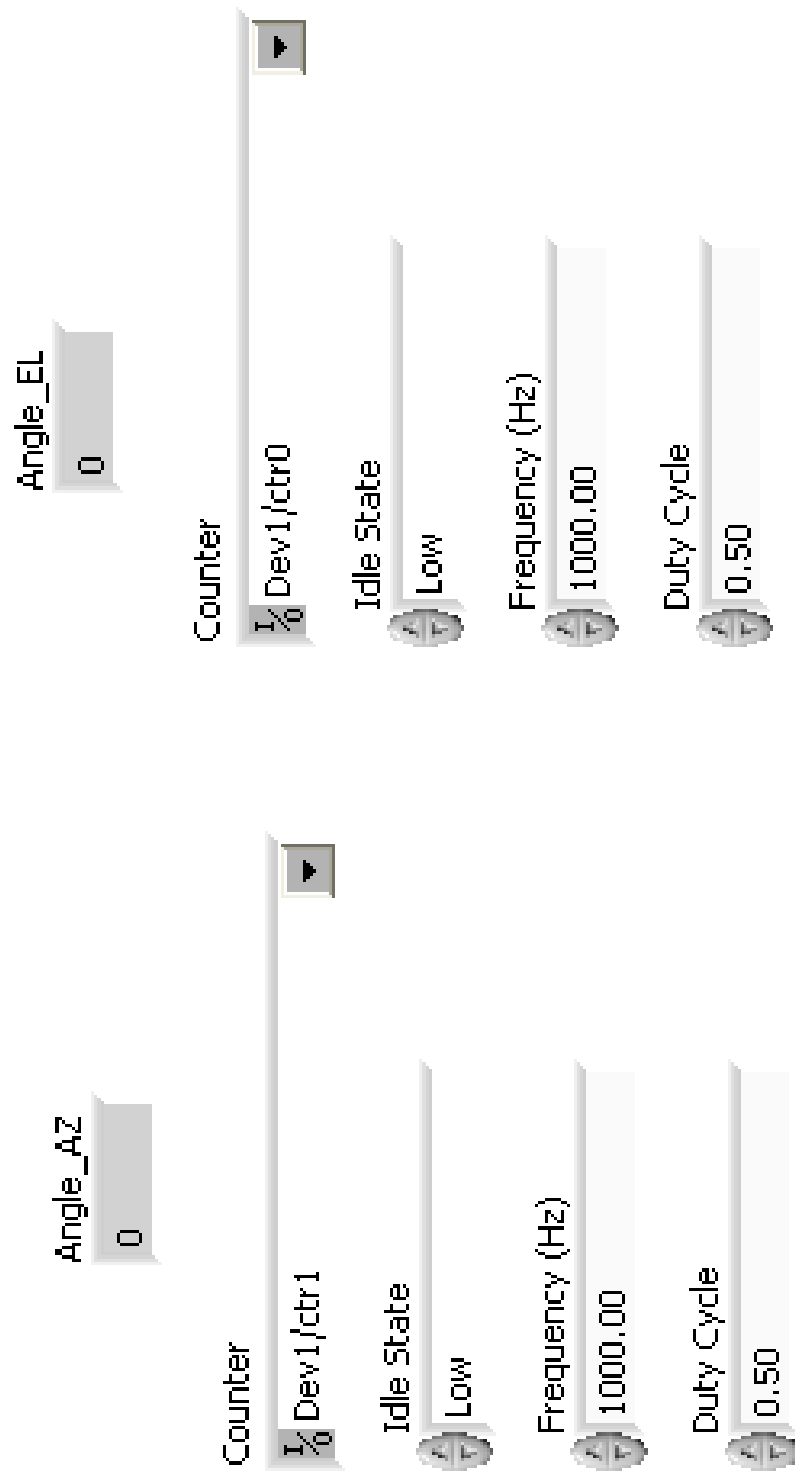
รูปที่ ก.3 Front Panelของระบบติดตามแสงอาทิตย์



รูปที่ ก.4 บล็อกไดอะแกรมการหามุมในการหมุนของระบบสะท้อนแสงอาทิตย์


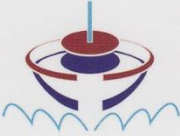





รูปที่ ก.5 บล็อกไดอะแกรมการควบคุมระบบสะท้อนแสงอาทิตย์



รูปที่ ก.6 Front Panelของระบบสะท้อนแสงอาทิตย์

ภาคผนวก ข.
ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่






PEC-9

Faculty of Engineering
Prince of Songkla University

การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์ ครั้งที่ 9
The 9th PSU-Engineering Conference
2-3 พฤษภาคม 2554
ณ โรงแรมเมอร์ลิน บีช รีสอร์ท (หาดไตรตรังค์) จังหวัดภูเก็ต

<http://www.pec.eng.psu.ac.th>

ผู้ให้การสนับสนุน |  | 



คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
ขอขอบเกียรติบัตรนี้เพื่อแสดงว่า

อริราช ประดิษฐ์อภัย มนูญดี งานทอง

ได้เข้าร่วมนำเสนอบทความเรื่อง

การควบคุมด้วยภาพสำหรับระบบติดตามดวงอาทิตย์

การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์ ครั้งที่ 9 (PEC-9)

วันที่ 2 - 3 พฤษภาคม 2554

ณ โรงแรมเมอร์ลิน บีช รีสอร์ท (หาดไตรรงค์) จังหวัดภูเก็ต

ให้ไว้ ณ วันที่ 2 พฤษภาคม 2554

(รองศาสตราจารย์ ดร.จรัญ บุญกาญจน์)
คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์



การควบคุมด้วยภาพสำหรับระบบติดตามดวงอาทิตย์

Image-Guided Control For Sun Tracking System

อริราช ประดิษฐ์อภัย¹ และมนุศักดิ์ จานทอง¹

¹ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

39 หมู่ 1 ถ.รังสิต – นครนายก ต.คลองหก อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12110

ติดต่อ: โทร 0-2549-3433 โทรสาร 0-2549-3432

E-mail: Atirat_190325@yahoo.co.th

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการควบคุมด้วยภาพสำหรับระบบติดตามดวงอาทิตย์ ซึ่งได้ออกแบบโครงสร้างของระบบติดตามดวงอาทิตย์ให้มีความอิสระเท่ากับ 2 โดยใช้เซอร์โวมอเตอร์ในการขับเคลื่อนและใช้เอ็นโคเดอร์วัดตำแหน่งการหมุน นอกจากนี้ยังใช้กล้องดิจิทัลอุตสาหกรรมในการตรวจจับตำแหน่งของดวงอาทิตย์ ส่วนระบบควบคุมได้ใช้คอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยควบคุมระบบ โดยใช้ซอฟต์แวร์ LabVIEW และตัวควบคุมแบบพีไอดี โดยในการทดลองจะแบ่งการทดลองออกเป็นสองส่วน ส่วนแรกจะเป็นการทดลองเพื่อที่จะศึกษาผลตอบสนองของระบบและความแม่นยำในการติดตาม โดยใช้หลอดไฟแทนดวงอาทิตย์ จากการทดลองพบว่าระบบมี Peak time (T_p) = 0.5 วินาที, Settling time (T_s) = 1.5 วินาที และมี Steady state error ± 3 พิกเซล ส่วนที่สองจะเป็นการทดลองติดตามดวงอาทิตย์เพื่อที่จะดูว่าระบบสามารถติดตามดวงอาทิตย์ได้หรือไม่และมีความคลาดเคลื่อนเท่าไร จากการทดลองพบว่าระบบสามารถติดตามดวงอาทิตย์ได้จริงและมี Steady state error ± 5 พิกเซล

คำหลัก การควบคุมด้วยภาพ, ระบบติดตามดวงอาทิตย์, ตัวควบคุมแบบพีไอดี

Abstract

This paper presents an image – guided control for sun tracking system. It's structure has 2 DOF or 2 axes, which DC servo motors and encoders were used to drive each axis and to measure the position of rotation, respectively. Moreover, an industrial camera was used to detect the sun position. LabVIEW software and PID controller were used to control the tracking position. The experiments can be divided into 2 parts firstly to test the system response and the accuracy of the tracking by using the electric bulb as the sun. It was found that 0.5 s peak time, 1.5 s settling time and ± 3 pixel of steady state error could be achieved. Secondly, to test the actual sun tracking and it was found that the system worked well and with ± 5 pixel error.

Keywords: Image – Guided Control, Sun Tracking System, PID Controller.

1. บทนำ

ปัจจุบันวิกฤตพลังงานยิ่งทวีความรุนแรงมากขึ้นอย่างเห็นได้ชัด จะเห็นได้จากราคาน้ำมันที่ประชาชนต้องจ่ายให้กับรถยนต์ ราคาค่าไฟฟ้าต่อหน่วยที่เพิ่มสูงขึ้น และรวมไปถึงราคาแก๊สที่จะปรับราคาเพิ่มสูงขึ้น ดังนั้นพลังงานทางเลือกจึงเป็นพลังงานที่ไม่อาจจะมองข้ามได้อีกแล้ว พลังงานทางเลือกที่พบเห็นกันมากได้แก่ พลังงานลมและพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งสามารถใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าทดแทนการใช้ น้ำมันและแก๊ส เนื่องจากประเทศไทยตั้งอยู่ในเขตที่ได้รับแสงอาทิตย์ปริมาณมากต่อวัน ด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยจึงนำเสนอโครงการวิจัยที่เกี่ยวกับ การพัฒนาเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับแสงอาทิตย์

ในการศึกษาการควบคุมระบบติดตามดวงอาทิตย์ ซึ่งเป็นระบบที่ได้รับความนิยมในการนำมาศึกษาการควบคุม เนื่องจากระบบติดตามดวงอาทิตย์ เป็นระบบที่มีวิธีในการควบคุมหลายวิธี เช่น วิธีการใช้เทคนิคการประมวลผลภาพ วิธีการใช้อุปกรณ์ตรวจจับตำแหน่งเชิงดิจิทัลด้วยซีพีแอลดี วิธีการคำนวณหาพิกัดตำแหน่งของดวงอาทิตย์ด้วยการคำนวณจากสมการคณิตศาสตร์ เป็นต้น จึงเหมาะแก่การนำมาศึกษาเพื่อออกแบบตัวควบคุม

ตัวควบคุมที่ใช้ในการควบคุมระบบติดตามดวงอาทิตย์ ในปัจจุบันมีมากมาย เช่น ตัวควบคุมพีไอดี (PID control) ตัวควบคุมแบบสถานะป้อนกลับ (State feedback control) โดยใช้ฮาร์ดแวร์ในการควบคุม เช่น ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Micro – controller) และ พีแอลซี (PLC) เป็นต้น

บทความนี้ นำเสนอการออกแบบตัวควบคุมสำหรับระบบติดตามดวงอาทิตย์ โดยใช้การควบคุมแบบป้อนกลับ (Feedback - control) และใช้ตัวควบคุมแบบพีไอดีมาใช้ในการควบคุม

Aracil และคณะ [1] นำเสนอระบบติดตามดวงอาทิตย์โดยใช้ตัวตรวจรู้ที่ถูกทำมาด้วยเทคโนโลยี MEMS ส่วนอัลกอริทึมที่ใช้ในการควบคุมนั้นได้ใช้การพิจารณาภาวะอนุกรมวิธาน ผลการทดลอง ระบบมีประสิทธิภาพและความแม่นยำสูง

Roth และ คณะ [2] ได้สร้างระบบจักรกลไฟฟ้าในการหาตำแหน่งของดวงอาทิตย์ โดยใช้ระบบวัดตำแหน่งดวงอาทิตย์แบบออตโนมิตด้วย Four-quadrant photodiode และวัดการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ด้วย Pyrhelimeter ส่วนระบบควบคุมการเคลื่อนที่ของระบบจักรกลไฟฟ้าแบบออตโนมิตได้ใช้การควบคุมแบบวงปิด และมีตัวต้นกำลังเป็นดีซีมอเตอร์ ผลการทดลอง ระบบติดตามดวงอาทิตย์มีประสิทธิภาพดี

ธนภัทร พรหมวัฒน์ภักดีและคณะ [3] เสนอระบบติดตามดวงอาทิตย์จากอุปกรณ์ตรวจจับตำแหน่งเชิงดิจิทัลด้วยซีพีแอลดี โดยในการติดตามดวงอาทิตย์ใช้หลักการบังเงาของจากกัน มีโฟโตทรานซิสเตอร์เป็นตัวตรวจจับรังสีตรงของดวงอาทิตย์ การวางตำแหน่งโฟโตทรานซิสเตอร์ออกแบบให้สามารถตรวจจับรังสีตรงของดวงอาทิตย์ครอบคลุมตลอดทั้ง 2 แนว ส่วนการควบคุมจะใช้การควบคุมแบบซีพีแอลดี (Complex programmable logic - device) ผลการทดลอง ระบบติดตามดวงอาทิตย์มีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยประมาณ 2.5 องศา

ศักดิ์สิทธิ์ บัวเงินและคณะ [4] เสนอระบบติดตามดวงอาทิตย์โดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาพ โดยในการติดตามดวงอาทิตย์ระบบจะใช้ภาพดวงอาทิตย์ซึ่งรับมาจากกล้องดิจิทัลเว็บแคมและใช้คอมพิวเตอร์ในการประมวลผลภาพ ส่วนการควบคุมจะใช้การควบคุมแบบไมโครคอนโทรลเลอร์ (Micro - controller) ผลการทดลอง ระบบสามารถติดตามดวงอาทิตย์ได้จริง

งานวิจัยระบบติดตามดวงอาทิตย์ [1] จะเห็นว่าตัวควบคุมสามารถควบคุมระบบติดตามดวงอาทิตย์ได้ แต่ระบบติดตามดวงอาทิตย์ดังกล่าวไม่ได้ใช้วิธีติดตามดวงอาทิตย์แบบเวลาจริง (Real - time) เพื่อให้เกิดความหลากหลายในระบบการควบคุม ผู้วิจัยจึงได้นำระบบภาพโดยใช้กล้องดิจิทัลอุตสาหกรรมมาใช้ในการติดตามดวงอาทิตย์

งานวิจัย [2] และ [3] เป็นการควบคุมระบบติดตามดวงอาทิตย์ที่ใช้วิธีติดตามดวงอาทิตย์แบบเวลาจริงและสามารถควบคุมระบบติดตามดวงอาทิตย์ได้

งานวิจัย [4] เป็นระบบติดตามดวงอาทิตย์ โดยใช้ภาพจากกล้องดิจิทัลเว็บแคมในการติดตามดวงอาทิตย์ แต่เนื่องจากกล้องดิจิทัลเว็บแคมมีความละเอียดที่ต่ำและมีการส่งข้อมูลที่ช้า ดังนั้นผู้วิจัย จึงได้เลือกใช้กล้องดิจิทัลอุตสาหกรรมที่มีความละเอียดและประสิทธิภาพในการส่งข้อมูลสูง เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพที่ดีขึ้นในการใช้ข้อมูลภาพในการควบคุมระบบติดตามดวงอาทิตย์

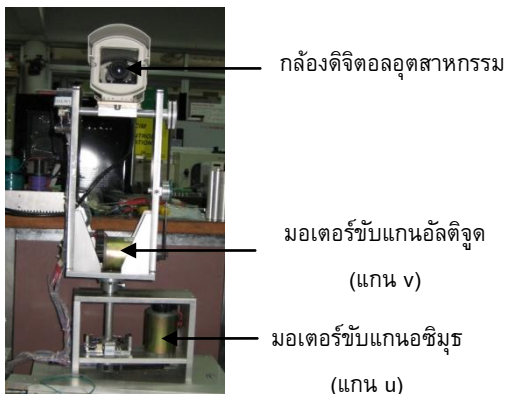
2. โครงสร้างของระบบติดตามดวงอาทิตย์

โครงสร้างของระบบติดตามดวงอาทิตย์ที่ใช้ในการทดลองจะออกแบบให้มีแกนที่เคลื่อนที่ได้ 2 แกน คือ แกน u และแกน v เพื่อให้สอดคล้องกับตำแหน่งของดวงอาทิตย์ที่ปรากฏบนโลกซึ่งจะมีมุมที่เกี่ยวข้อง 2 มุม คือ อะซิมุทและ อัลติจูด ตามลำดับ แกน u

จะใช้ดีซีเซอร์โวมอเตอร์เป็นตัวขับเคลื่อนทาง Timing belt อัตราทด 2:1 ระยะพิทช์ 2 mm. มีขอบการเคลื่อนที่ 180 องศา โดยใช้ลิ้มิตสวิตช์เป็นตัวกำหนดขอบเขตการเคลื่อนที่ ส่วนแกน v จะใช้ดีซีเซอร์โวมอเตอร์เป็นตัวขับเคลื่อนทาง Timing belt อัตราทด 3.33:1 ระยะพิทช์ 2 mm. มีขอบการเคลื่อนที่ 200 องศา โดยใช้ลิ้มิตสวิตช์เป็นตัวกำหนดขอบเขตการเคลื่อนที่ โดยบนเพลลาแกน v จะมีกล้องดิจิตอลอุตสาหกรรมติดตั้งอยู่เพื่อที่ใช้เป็นตัวตรวจจับตำแหน่งของดวงอาทิตย์

โครงสร้างของระบบติดตามดวงอาทิตย์ที่ใช้ในการทดลองจะประกอบไปด้วยส่วนสำคัญดังนี้ (ดังรูปที่ 1)

1. กล้องดิจิตอลอุตสาหกรรมยี่ห้อ BASLER ชนิด Area Scan ขนาดภาพ 1034x779 พิกเซล, ด้วยอัตราการเก็บภาพ 30 fps.
2. ดีซีเซอร์โวมอเตอร์ยี่ห้อ Yaskawa รุ่น Minertia motor F series
3. พูลีย์อัตราทด 3.33:1 ระยะพิทช์ 2mm. ขับแนวแกนอัลติจูด และขนาดอัตราทด 2:1 ระยะพิทช์ 2mm. ขับแนวแกนอซิมูท
4. มอเตอร์ไทร์ยี่ห้อ Copley Controls Corp. รุ่น Accelus โมเดล ASP – 090 - 18 และ ASP – 090 - 36
5. ลิ้มิตสวิตช์ยี่ห้อ Omron (Photomicrosensor) รุ่น EE-SX47/67
6. การ์ด DAQ PCI ยี่ห้อ NI รุ่น PCI-6221



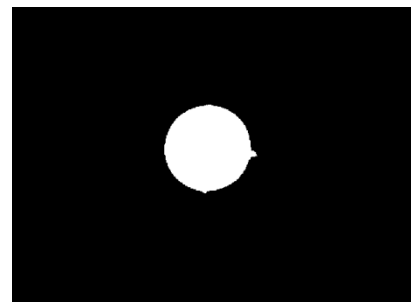
รูปที่ 1 โครงสร้างของระบบติดตามดวงอาทิตย์

3. การประมวลผลภาพ

ในการทดลอง ระบบรับภาพดวงอาทิตย์มาจากกล้องดิจิตอลอุตสาหกรรมซึ่งภาพที่ได้จะเป็นภาพสี จากนั้นนำภาพสีที่ได้มาเปลี่ยนให้เป็นภาพขาว-ดำ แล้วแยกภาพขาว-ดำที่ได้ให้สีขาวเป็นสีของวัตถุที่ต้องการและสีดำเป็นสีของพื้นหลัง โดยภาพที่ได้จากกล้องจะเป็นภาพเคลื่อนไหวที่มีขนาด 24 fps. จากนั้นนำข้อมูลภาพที่ได้มาแปลงและจัดเก็บอยู่ในรูปแบบของข้อมูลอาร์เรย์ (Array) เพื่อใช้ในการหาจุดศูนย์กลางของดวงอาทิตย์

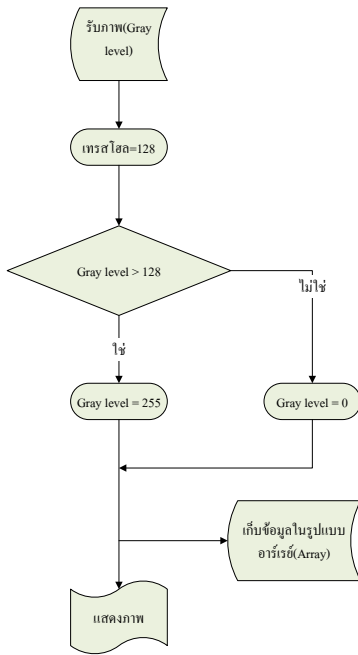
3.1 การทำไบนารีไรซ์ (Binarization)

การทำไบนารีไรซ์ เป็นการนำค่าสีในระดับภาพสีเทา (Gray - level) ที่ได้จากกล้องดิจิตอลอุตสาหกรรมของพิกเซลทั้งหมดมาเปรียบเทียบกับค่าเทรชโฮลด์ (Threshold) ที่ตั้งไว้ และเก็บค่าพิกเซลใหม่ทุกพิกเซล ซึ่งการทดลองนี้จะตั้งค่าเทรชโฮลด์ อยู่ที่ 128 คือ ถ้าค่าสีในระดับภาพสีเทา มีค่าระหว่าง 0-127 จะได้ค่าสีในระดับภาพสีเทา ใหม่เป็น 0 และถ้าค่าสีในระดับภาพสีเทา มีค่าระหว่าง 128-255 จะได้ค่าสีในระดับภาพสีเทา ใหม่เป็น 255 ดังนั้นเมื่อทำไบนารีไรซ์แล้วค่าสีในระดับภาพสีเทา ที่ได้จะมีค่าเป็น 0 หรือ 255 เท่านั้น ดังรูปที่ 2 และรูปที่ 3

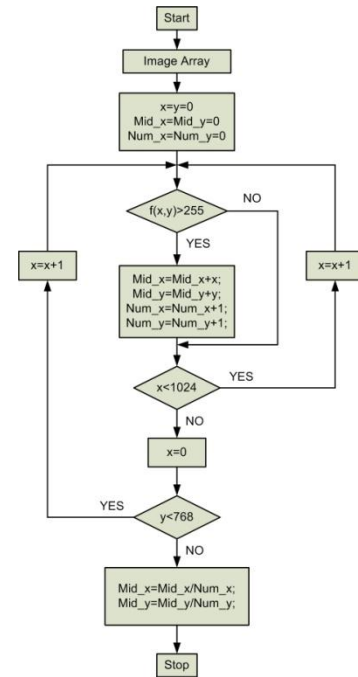


```
00000000000000000000000000000000
0000000000000000025525500000000000
0000000000000255255255255000000000
0000000000000255255255255000000000
0000000000000000025525500000000000
0000000000000000000000000000000000
```

รูปที่ 2 ภาพที่ผ่านการไบนารีไรซ์



รูปที่ 3 แผนผังแสดงการทำไบนารีไรซ์



รูปที่ 4 แผนผังการหาจุดศูนย์กลางของดวงอาทิตย์

3.2 การเก็บข้อมูลในรูปแบบอาร์เรย์ (Array)

การเก็บข้อมูลในรูปแบบของอาร์เรย์ คือการเก็บข้อมูลในลักษณะเมตริก (Matrix) โดยแต่ละพิกเซลจะใช้ (x,y) ในการระบุตำแหน่งขนาดของเมตริกจะขึ้นอยู่กับจำนวนพิกเซลของกล้อง เช่น ในการทดลองใช้กล้องที่มีพิกเซล 1024x768 ดังนั้นจะได้ขนาดของเมตริกเป็น

$$f(x, y) = \begin{pmatrix} (0,0) & \dots & 0,1023 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 767 & \dots & 767,1023 \end{pmatrix}$$

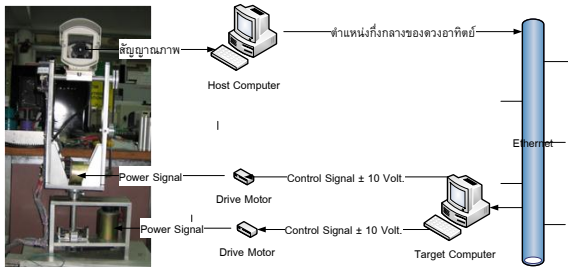
3.3 การหาจุดศูนย์กลางของดวงอาทิตย์

ในการหาจุดศูนย์กลางของดวงอาทิตย์จะเริ่มจากการตรวจสอบข้อมูลที่จัดเก็บไว้ในอาร์เรย์ โดยจะทำการตรวจสอบพิกเซลที่ละแถวในแกน x ไปจนหมดแถวแล้วค่อยเริ่มแถว y ถัดไป ถ้าข้อมูลในพิกเซลใดมีค่าสีในระดับภาพสีเทา เป็น 255 ให้นำค่า x โดยจะเริ่มทำตั้งแต่พิกเซลที่ 0-1023 และทำเช่นเดียวกันในแนว y โดยจะเริ่มทำตั้งแต่พิกเซลที่ 0-767 เมื่อทำการนับจำนวนพิกเซลที่เป็นสีขาวในภาพแล้วก็จะทำการหาค่าเฉลี่ยของภาพออกมาเป็นพิกัดพิกเซลแล้วจะได้พิกัด (x,y) ซึ่งเป็นจุดศูนย์กลางของดวงอาทิตย์ ดังรูปที่ 4

4. การควบคุม

การควบคุมการทำงานของระบบติดตามดวงอาทิตย์ใช้คอมพิวเตอร์จำนวน 2 เครื่อง โดยคอมพิวเตอร์เครื่องแรกเรียกว่าคอมพิวเตอร์หลัก (Host computer) ทำหน้าที่นำข้อมูลภาพดวงอาทิตย์ที่ได้จากกล้องดิจิตอลอุตสาหกรรมมาประมวลผลทางภาพเพื่อหาจุดศูนย์กลางของดวงอาทิตย์ที่อยู่ในภาพ โดยข้อมูลที่รับมาจากกล้องนั้นมีขนาด 1024x768 พิกเซล และมีความเร็วในการเก็บข้อมูล 24 fps ซึ่งขั้นตอนในการประมวลผลภาพเพื่อที่จะหาจุดศูนย์กลางของดวงอาทิตย์ได้อธิบายไว้ในหัวข้อที่ 3 เมื่อได้ค่าจุดศูนย์กลางของดวงอาทิตย์ก็จะส่งค่านี้ไปยังคอมพิวเตอร์อีกตัวที่เรียกว่าคอมพิวเตอร์เป้าหมาย (Target computer) ผ่านทางอีเทอร์เน็ต (Ethernet) คอมพิวเตอร์เครื่องที่สองจะทำหน้าที่ควบคุมการเคลื่อนที่ของระบบติดตามดวงอาทิตย์หรือควบคุมการหมุนของมอเตอร์ทั้งสองตัวให้ขับโครงสร้างของระบบและทำให้จุดศูนย์กลางของดวงอาทิตย์ที่ได้จากการประมวลผลภาพอยู่ ณ ตำแหน่งกึ่งกลางของภาพ คือ x = 512 และ y = 384 สำหรับอัลกอริทึม (Algorithm) ในการควบคุมนั้นได้ใช้ตัวควบคุมแบบพีเอ็ด (PID-Controller) คอมพิวเตอร์ทั้งสองจะมีโปรแกรมที่ถูกพัฒนาขึ้นเป็นตัวสั่งการทำงาน โดยที่โปรแกรมที่ถูกพัฒนาขึ้นนี้ได้ใช้ซอฟต์แวร์ LabVIEW เป็นเครื่องมือในการพัฒนา สำหรับคอมพิวเตอร์หลักโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นจะทำงานบน MS Windows XP ส่วน

คอมพิวเตอร์เป้าหมายจะใช้ระบบปฏิบัติการเวลาจริง (Real-time operating system) ของซอฟต์แวร์ LabVIEW ที่เรียกว่า Real-time Target OS. ดังรูปที่ 5



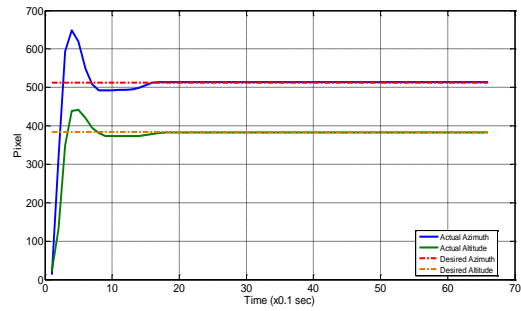
รูปที่ 5 โครงสร้างการทำงานของระบบติดตามดวงอาทิตย์ที่ใช้ในการทดลอง

5. การทดลองและผลการทดลอง

5.1 การทดลองศึกษาผลตอบสนองของระบบ

การทดลองนี้จะใช้หลอดไฟแทนดวงอาทิตย์ซึ่งเป็นการทดลองเพื่อที่จะดูการตอบสนองของระบบและความแม่นยำในการติดตาม ในการทดลองจะใช้หลอดไส้เกลียว Hitachi 220 โวลท์ 25 วัตต์ ค่าความสว่าง 220 lm เป็นตัวส่ง ในการทดลองจะเริ่มต้นให้ตำแหน่งกึ่งกลางภาพของดวงไฟที่ได้จากกล้องดิจิทัล อุตสาหกรรมอยู่ที่ตำแหน่ง $x = 13$, $y = 22$ โดยมีเป้าหมายต้องการให้ตำแหน่งกึ่งกลางภาพดวงไฟอยู่ที่ตำแหน่ง $x = 512$, $y = 384$ ในการทดลองนี้ใช้การควบคุมแบบพีไอดี (PID Controller) โดยจะกำหนดค่าพารามิเตอร์ดังนี้ แกน x กำหนดให้ $K_c = 0.008$, $T_i = 2000$, $T_d = 0.001$ และแกน y กำหนดให้ $K_c = 0.010$, $T_i = 1500$, $T_d = 0.001$

จากการทดลองจะได้ผลการทดลอง ดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 ลักษณะการตอบสนองของระบบโดยใช้หลอดไฟ

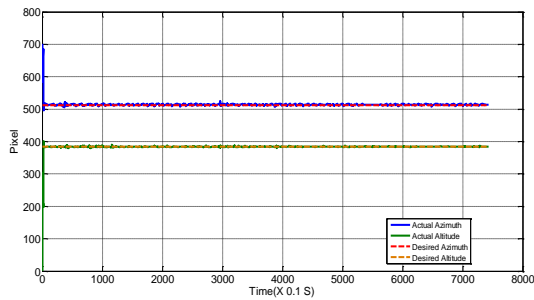
ผลการทดลอง แกน x จะได้ Peak time (T_p) = 0.4 sec, Settling time (T_s) = 1.4 sec (คิดที่ $\pm 2\%$), Rise time (T_r) = 0.15 sec, Percent overshoot (%OS) = 26.56 % และแกน y จะได้ Peak time (T_p) = 0.5 sec, Settling Time (T_s) = 1.5 sec (คิดที่ $\pm 2\%$), Rise time (T_r) = 0.2 sec, Percent overshoot (%OS) = 15.10%

5.2 การทดลองติดตามดวงอาทิตย์

การทดลองติดตามดวงอาทิตย์เป็นการทดลองเพื่อทดสอบว่าระบบติดตามดวงอาทิตย์ที่ได้สร้างขึ้นมาสามารถติดตามดวงอาทิตย์ได้จริงหรือไม่ และมีความคลาดเคลื่อนเท่าไร ซึ่งในการทดลองจะติดตั้งกล้องแสง Hi cool R65 จำนวน 6 ชั้นที่หน้าเลนส์ กล้องดิจิทัลเพื่อลดความเข้มของแสง ในการทดลองนี้ใช้การควบคุมแบบพีไอดี (PID Controller) โดยจะกำหนดค่าพารามิเตอร์ดังนี้ แกน x กำหนดให้ $K_c = 0.008$, $T_i = 2000$, $T_d = 0.001$ และแกน y กำหนดให้ $K_c = 0.010$, $T_i = 1500$, $T_d = 0.001$ ดังรูปที่ 7 และรูปที่ 8



รูปที่ 7 การทดลองติดตามดวงอาทิตย์



รูปที่ 8 ลักษณะการตอบสนองของระบบติดตามดวงอาทิตย์

การทดลองติดตามดวงอาทิตย์เพื่อทดสอบการทำงานจริง เริ่มทดลองเวลา 09.00 น -12.00 น วันที่ 13 ธันวาคม 2553 ณ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ภายใต้สภาพท้องฟ้ามีเมฆน้อยและมีดวงอาทิตย์ปรากฏตลอดวัน (Clear Sky) พบว่าระบบสามารถติดตามดวงอาทิตย์ได้จริง มีความคลาดเคลื่อนมากที่สุด 5 พิกเซล

6.สรุปผลการทดลอง

การทดลองศึกษาผลตอบสนองของระบบ ดังรูปที่ 6 จะเห็นว่าแกนนอร์มัลมีระยะเวลาการเข้าสู่สภาวะคงตัวที่ 1.4 วินาทีและแกนนอนมีระยะเวลาการเข้าสู่สภาวะคงตัวที่ 1.5 วินาที ซึ่งเป็นเวลาที่ใกล้เคียงกัน เมื่อพิจารณาผลตอบสนองของระบบจะเห็นว่าแกนนอร์มัลจะเกิด Overshoot มากกว่าแกนนอนก่อนเข้าสู่สภาวะคงตัว นั้นหมายความว่าแกนนอร์มัลจะเคลื่อนที่ออกจากจุดศูนย์กลางมากกว่าก่อนเข้าสู่สภาวะคงตัวและระบบมีความคลาดเคลื่อน ± 3 พิกเซล ส่วนผลการทดลองติดตามดวงอาทิตย์ ดังรูปที่ 9 ระบบสามารถติดตามดวงอาทิตย์ได้จริง มีความคลาดเคลื่อน ± 5 พิกเซล ความแม่นยำในการทดลองจะขึ้นอยู่กับสภาพท้องฟ้าขณะทำการทดลอง ระบบจะมีความแม่นยำสูงหากสภาพท้องฟ้ามีเมฆน้อยและมีดวงอาทิตย์ปรากฏตลอดวัน

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรีและสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.)

เอกสารอ้างอิง

- [1] Aracil, C., Quero, J.M., Castaner, L., Osuna, R., &Franquelo, L.G., "Tracking System for Solar Power Plants", IEEE Trans. on Industrial Electronics, vol. 39, no. 2, 2006.
- [2] Roth, P.,Georgiev, A. & Boudinov, H. "Design and Construction of a System for Sun-Tracking", *Renewable Energy*, vol. 29, 2004.
- [3] ธนภัทร พรหมวัฒน์ภักดีและคณะ, "ระบบติดตามดวงอาทิตย์จากอุปกรณ์ตรวจจับตำแหน่งเชิงดิจิทัลด้วยซีพีแอลดี", [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก: <http://www.are101.org/book/A7.pdf> (23 ธันวาคม 2553).
- [4] ศักดิ์สิทธิ์ บัวเงินและคณะ, "ระบบติดตามดวงอาทิตย์โดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาพ", [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก:<http://thestar.spu.ac.th/content/627/12724.php> (23 ธันวาคม 2553).