



ระบบควบคุมการสะท้อนแสงอาทิตย์สำหรับระบบตัวรับรังสีรวมกลาง Control System of the Sun Reflection for Central Receiver System

มนุศักดิ์ จานทอง¹* และ อธิราช ประดิษฐ์ภัย¹

Manusak Janthong¹* and Atirat Praditapai¹

¹ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

* Correspondent author: patnu@yahoo.com

Received March 14, 2012

Accepted June 1, 2012

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอระบบควบคุมการสะท้อนแสงอาทิตย์สำหรับระบบรับรังสีรวมกลางโดยระบบแบ่งออกเป็นสองส่วนคือระบบติดตามดวงอาทิตย์และระบบสะท้อนแสงอาทิตย์ โดยที่โครงสร้างระบบติดตามดวงอาทิตย์มีองศาอิสระเท่ากับ 2 และใช้กล้องดิจิทัลอุตสาหกรรมในการตรวจจับตำแหน่งของดวงอาทิตย์ ส่วนระบบสะท้อนแสงอาทิตย์มีองศาอิสระเท่ากับ 2 และติดตั้งแผ่นกระจกไว้ด้านบนโครงสร้างเพื่อเป็นตัวสะท้อนแสงอาทิตย์

ในการออกแบบตัวควบคุมระบบติดตามดวงอาทิตย์ได้ใช้ตัวควบคุมแบบพีไอดี (PID controller) และมีเป้าหมายต้องการควบคุมให้ตำแหน่งศูนย์กลางดวงอาทิตย์ที่ได้จากกล้องดิจิทัลอุตสาหกรรมอยู่ ณ ตำแหน่งกึ่งกลางข้อมูลภาพ จากนั้นคำนวณหาตำแหน่งดวงอาทิตย์เพื่อใช้ในการควบคุมการหมุนของระบบสะท้อนแสงอาทิตย์ให้สะท้อนแสงอาทิตย์ไปยังเป้าหมายที่ต้องการ

การทดลองแบ่งเป็น 3 ส่วนคือ 1. ศึกษาผลตอบสนองของระบบติดตามดวงอาทิตย์โดยใช้หลอดไฟแทนดวงอาทิตย์ ผลการทดลองพบว่าระบบมี Peak time (T_p) = 0.5 วินาที, Settling time (T_s) = 1.5 วินาที และมี Steady state error ± 3 พิกเซล 2. ทดลองการทำงานของระบบติดตามดวงอาทิตย์ผลการทดลองพบว่าระบบสามารถติดตามดวงอาทิตย์ได้จริงและมีค่าความผิดพลาดอยู่ที่ ± 5 พิกเซล 3. ทดลองการทำงานระหว่างระบบติดตามดวงอาทิตย์และระบบสะท้อนแสงอาทิตย์ผลการทดลองพบว่าระบบสามารถสะท้อนแสงอาทิตย์ไปยังเป้าหมายได้ตลอดช่วงเวลาที่ทดสอบมีความคลาดเคลื่อนมากที่สุด ± 0.5 เมตร

Abstract

This paper presents a control system of the sun reflection for a central receiver system which consists of 2 subsystems: the sun tracking system and sunlight reflecting system. The structure of the sun tracking system has 2 DOF and an industrial camera was used to detect the sun position. The sunlight reflecting system has 2 DOF and a mirror was installed at the top of the structure to reflect the sunlight.

PID controller was implemented to control the sun tracking system and to regulate the center of sun position at the center of image data. Then the sun position was calculated to control the rotation of the sunlight reflecting system in order to reflect the sunlight to the target.

The experiments can be divided into 3 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 sun tracking system, it was shown that the system worked well and had error within ± 5 pixel. Finally, to test the working performance between the tracking system and the sunlight reflecting system, it was seen that the system worked well and had error within ± 0.5 meters.

คำสำคัญ: การควบคุมด้วยภาพ ระบบสะท้อนแสงอาทิตย์ ระบบปรับรังสีรวมกลาง

Keywords: image-guided control, sun reflecting system, central receiver system

1. บทนำ

ปัจจุบันวิกฤตพลังงานยิ่งทวีความรุนแรงมากขึ้นอย่างเห็นได้ชัด จะเห็นได้จากราคาน้ำมันที่ต้องจ่ายให้กับรถยนต์ ราคาค่าไฟฟ้าต่อหน่วยที่เพิ่มสูงขึ้น และรวมไปถึงราคาแก๊สที่จะปรับเพิ่มราคา ดังนั้นพลังงานทางเลือกจึงเป็นพลังงานที่ไม่อาจจะมองข้ามได้อีกแล้ว พลังงานทางเลือกที่พบเห็นกันมากได้แก่ พลังงานลมและพลังงานแสงอาทิตย์ซึ่งสามารถใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าทดแทนการใช้น้ำมันและแก๊สด้วยเนื่องจากประเทศไทยตั้งอยู่ในเขตที่ได้รับแสงอาทิตย์ปริมาณมากต่อวัน ด้วยเหตุนี้จึงควรใช้ข้อดีนี้มาเป็นประโยชน์และพัฒนาเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับแสงอาทิตย์ เพื่อที่นำเอาพลังงานที่ได้จากแสงอาทิตย์มาทำคุณประโยชน์ต่อไป

บทความนี้นำเสนอการออกแบบระบบควบคุมที่เกี่ยวข้องกับพลังงานแสงอาทิตย์ซึ่งเป็นระบบสะท้อนแสงอาทิตย์เพื่อใช้สำหรับตัวรับรังสีรวมกลาง (central receiver) ซึ่งตัวรับรังสีรวมกลางจะทำหน้าที่เป็นตัวรับรังสีความร้อนจากแสงอาทิตย์ที่ได้จากตัวสะท้อนแสงอาทิตย์และถ่ายเทความร้อนสู่ของไหลที่ไหลอยู่ภายในและของไหลร้อนที่ร้อนจะถูกนำไปใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าต่อไป ระบบควบคุมที่ออกแบบจะควบคุมการสะท้อนแสงอาทิตย์ให้รวมกันที่ตำแหน่งใด ณ ตำแหน่งหนึ่งที่ต้องการโดยประยุกต์นำเอาระบบติดตามดวงอาทิตย์แบบใช้วิธีแบบเวลาจริง คือใช้กล้องดิจิทัล

อุตสาหกรรมเป็นตัวตรวจวัดตำแหน่งดวงอาทิตย์มาใช้ร่วมกันในระบบควบคุม

ตัวควบคุมที่ใช้ในการควบคุมระบบติดตามดวงอาทิตย์ในปัจจุบันมีมากมาย เช่น ตัวควบคุมพีไอดี (PID control) ตัวควบคุมแบบสถานะป้อนกลับ (state feedback control) โดยใช้ฮาร์ดแวร์ในการควบคุม เช่น ไมโครคอนโทรลเลอร์ (microcontroller) และ พีแอลซี (PLC) เป็นต้น

Aracil(1)นำเสนอระบบติดตามดวงอาทิตย์โดยใช้ตัวตรวจวัดที่ถูกทำมาด้วยเทคโนโลยี MEMS ส่วนอัลกอริทึมที่ใช้ในการควบคุมนั้นได้ใช้การพิจารณาสถานะอุณหภูมิตาม ผลการทดลอง ระบบมีประสิทธิภาพและความแม่นยำสูง

Roth และ คณะ (2) ได้สร้างระบบจักรกลไฟฟ้าในการหาตำแหน่งของดวงอาทิตย์โดยใช้ระบบวัดตำแหน่งดวงอาทิตย์แบบออปโตเมตริกด้วย Four-quadrant photodiode และวัดการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ด้วย Pyrheliometer ส่วนระบบควบคุมการเคลื่อนที่ของระบบจักรกลไฟฟ้าแบบออปโตเมตริกได้ใช้การควบคุมแบบวงลูปปิดและมีตัวดันกำลังเป็นดีซีมอเตอร์ ผลการทดลองระบบติดตามดวงอาทิตย์มีประสิทธิภาพดี

ศักดิ์สิทธิ์ บัวเงินและคณะ (3) เสนอระบบติดตามดวงอาทิตย์โดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาพ โดยในการติดตามดวงอาทิตย์ระบบจะใช้ภาพดวงอาทิตย์ซึ่งรับมาจากกล้องดิจิทัลเว็บแคมและใช้คอมพิวเตอร์ใน

การประมวลผลภาพ ส่วนการควบคุมจะใช้การควบคุมแบบไมโครคอนโทรลเลอร์ (microcontroller) ผลการทดลอง ระบบสามารถติดตามดวงอาทิตย์ได้จริง

Enrile (4) ได้ออกแบบตัวต้นแบบของเสาสะท้อนแสงอาทิตย์ (Heliostat) ที่เคลื่อนที่ได้ 2 แกน และสามารถสะท้อนแสงอาทิตย์ได้เป็นสองเท่า โดยหมุนรอบแกนอะซิมุทได้ 0-240 องศา และแกนอัลติจูด 0-90 องศา และมีความเที่ยงตรงที่ ± 1 องศา ส่วนการติดตามดวงอาทิตย์นั้นใช้พื้นฐานของสมการทางดาราศาสตร์ (astronomical equations) และควบคุมด้วยวงรอบเปิดโดยใช้พีแอลซี (PLC) เป็นตัวควบคุม และใช้โมดูล CAN เน็ตเวิร์คของพีแอลซีเป็นตัวสื่อสารข้อมูลจากเสาสะท้อนแสงอาทิตย์หนึ่งไปยังอีกเสาสะท้อนแสงอาทิตย์หนึ่ง

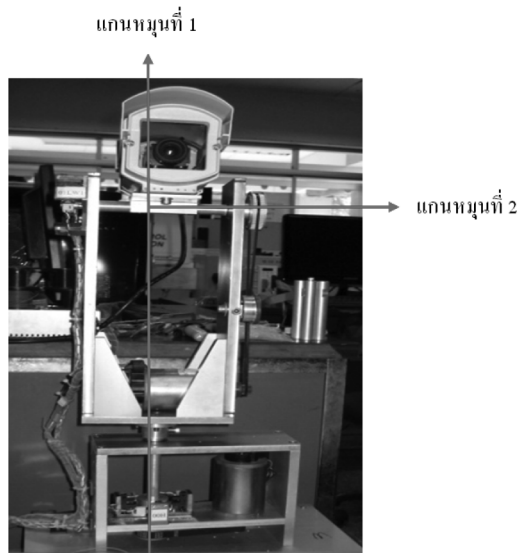
Baheti และ Scott (5) นำเสนอตัวควบคุมแบบปรับตั้งได้อัตโนมัติ (self-calibrating) เพื่อใช้ในการลดความผิดพลาดของเสาสะท้อนแสงอาทิตย์จากการติดตั้งและการขับ โดยตัวควบคุมถูกออกแบบเป็น 2 โหมด โหมดแรกเรียกว่า โหมดปรับตั้ง (calibration mode) โหมดนี้เสาสะท้อนแสงอาทิตย์จะถูกควบคุมด้วยระบบวงรอบเปิด (open-loop system) และแบบจำลองของค่าความผิดพลาดของเสาสะท้อนแสงอาทิตย์จากการติดตั้งและการขับจะถูกคำนวณหาเอกลักษณ์โดยใช้ อัลกอริทึม Least-squares เพื่อหาพารามิเตอร์ของโมเดล โหมดที่สองเรียกว่า โหมดติดตาม (track mode) โหมดนี้เสาสะท้อนแสงอาทิตย์จะถูกควบคุมด้วยระบบวงรอบเปิดโดยใช้พารามิเตอร์ของโมเดลที่ได้จากโหมดแรกมาหาค่าความผิดพลาดของเสาสะท้อนแสงอาทิตย์

จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า ระบบติดตามดวงอาทิตย์สามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภทตามวิธีติดตาม คือ ประเภทแรก ระบบติดตามดวงอาทิตย์แบบไม่ได้ใช้วิธีแบบเวลาจริง เช่น การคำนวณตำแหน่งดวงอาทิตย์จากสมการคณิตศาสตร์ ซึ่งมีข้อจำกัดคือ เมื่อมุมแกนหมุนของโลกเปลี่ยนทำให้ระบบเกิดความคลาดเคลื่อนได้ ประเภทที่สอง ระบบติดตามดวงอาทิตย์แบบใช้วิธีแบบเวลาจริง เช่น การใช้กล้องดิจิตอลเว็บแคม Four-quadrant photodiode และ Pyrheliometer มาเป็นตัวตรวจวัดตำแหน่งของดวงอาทิตย์

2. วิธีวิจัย

2.1 โครงสร้างเสาติดตามดวงอาทิตย์

โครงสร้างเสาติดตามดวงอาทิตย์ที่ใช้ในการทดลองได้ถูกออกแบบให้มีแกนหมุนอยู่ 2 แกน เพื่อให้สอดคล้องกับตำแหน่งของดวงอาทิตย์ที่ปรากฏบนโลก ซึ่งจะมีมุมที่เกี่ยวข้อง 2 มุม คือ อะซิมุทและอัลติจูด ตามลำดับ แกนหมุนแรก (อะซิมุท) จะใช้มอเตอร์ดีซีเซอร์โวเป็นตัวขับผ่านทางสายพานไทม์มิ่งอัตราทด 2:1 ระยะพิทช์ 2 mm. มีระยะการหมุนอยู่ที่ 180 องศา ส่วนแกนหมุนที่ 2 (อัลติจูด) จะใช้มอเตอร์ดีซีเซอร์โวเป็นตัวขับผ่านทางสายพานไทม์มิ่งอัตราทด 3.33:1 ระยะพิทช์ 2 mm. มีระยะการหมุนอยู่ที่ 200 องศา โดยบนเพลากล่าว แกนหมุนที่ 2 จะมีกล้องดิจิตอลอุตสาหกรรมติดตั้งอยู่เพื่อใช้เป็นตัวตรวจจับตำแหน่งของดวงอาทิตย์ (รูปที่ 1)

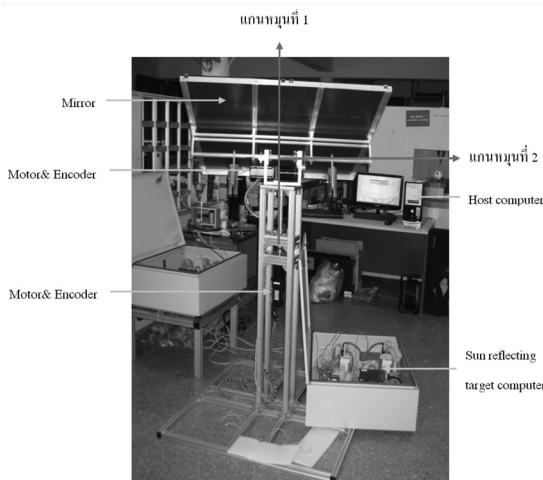


รูปที่ 1. โครงสร้างเสาติดตามดวงอาทิตย์

2.2 โครงสร้างของระบบสะท้อนแสงอาทิตย์

ระบบสะท้อนแสงอาทิตย์ที่ใช้ในการทดลองได้ถูกออกแบบโครงสร้างให้มีแกนหมุนอยู่ 2 แกนโดยแกนหมุนที่ 1 (อะซิมุท) ใช้เอซีเซอร์โวมอเตอร์ในการขับเคลื่อนโครงสร้างผ่านทางคัปปลิง (coupling) มีขอบเขตการหมุนอยู่ที่ 180 องศา ส่วนแกนหมุนที่ 2 (อัลติจูด) ใช้เอซีเซอร์โวมอเตอร์ในการขับเคลื่อนโครงสร้าง

ผ่านทางสายพานไทม์มิ่งอัตราทด 1.33:1 ระยะพิทช์ 2 mm. มีขอบเขตการหมุนอยู่ที่ 180 องศา ซึ่งบนเพลากลั่นหมุนที่ 2 นี้จะติดตั้งแผ่นกระจกไว้ด้านบนดังรูปที่ 2



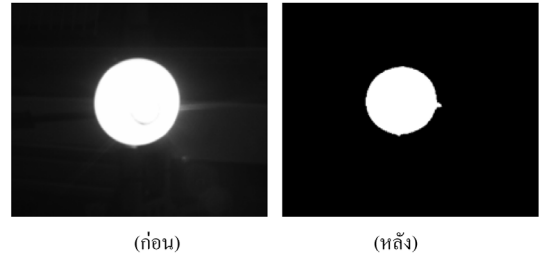
รูปที่ 2. โครงสร้างของระบบสะท้อนแสงอาทิตย์

2.3 การหาจุดศูนย์กลางของดวงอาทิตย์

ในการตรวจจับตำแหน่งของดวงอาทิตย์ได้นำแอลกอฮอล์จิจิตอลอุตสาหกรรมเข้ามาช่วยเป็นตัวตรวจจับ ซึ่งกล้องที่ใช้ชื่อ BASLER รุ่น scA1000 – 30gm/gc โดยข้อมูลภาพของกล้องมีขนาด 1024 x 768 พิกเซลและมีความเร็วในการเก็บข้อมูลภาพ 30 fps. ซึ่งข้อมูลภาพที่ได้เป็นภาพสี จากนั้นนำมาแปลงเป็นภาพขาวเทา (gray scale) และทำไบนารีไรซ์ (binarization) ทำให้ภาพขาวเทาเป็นภาพที่มี 2 สีเท่านั้น คือ ขาวกับดำ โดยตั้งค่าเทรชโฮลด์ (threshold) อยู่ที่ 128 ซึ่งบริเวณภาพที่มีสีขาวนั้นก็คือดวงอาทิตย์ ส่วนสีดำก็คือบรรยากาศโดยรอบดวงอาทิตย์ เมื่อได้ภาพที่มีสีขาวกับดำแล้วต่อไปเป็นการนำข้อมูลภาพที่ได้มาหาจุดศูนย์กลางของบริเวณภาพที่มีสีขาวโดยใช้วิธีการหาค่าเฉลี่ย ดังแสดงในรูปที่ 3

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (1)$$

โดยที่ $\bar{x}$ คือ ค่าเฉลี่ยหรือจุดศูนย์กลาง x_i คือ ค่าตำแหน่งพิกเซลที่เป็นสีขาวและ n คือ จำนวนพิกเซลที่เป็นสีขาว



รูปที่ 3. แสดงภาพก่อนและหลังทำไบนารีไรซ์

2.4 การหามุมในการหมุนของระบบสะท้อนแสงอาทิตย์

แสงอาทิตย์

การหามุมในการหมุนของระบบสะท้อนแสงอาทิตย์สามารถหาได้โดยอาศัยความสัมพันธ์ระหว่างเวกเตอร์หนึ่งหน่วยของตำแหน่งดวงอาทิตย์และเวกเตอร์หนึ่งหน่วยของตำแหน่งของเป้าหมายโดยสามารถคำนวณหาเวกเตอร์หนึ่งหน่วยตั้งฉากของระบบสะท้อนแสงอาทิตย์ได้ดังนี้

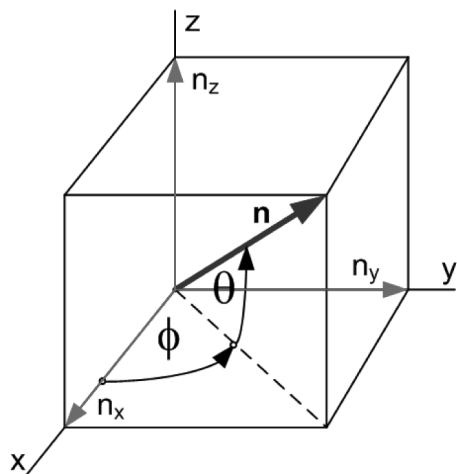
$$n = \frac{n_s + n_T}{|n_s + n_T|} = n_x i + n_y j + n_z k \quad (2)$$

โดยที่ n คือ เวกเตอร์หนึ่งหน่วยตั้งฉากเป็นเวกเตอร์ที่ตั้งฉากกับแผ่นกระจก n_s คือ เวกเตอร์หนึ่งหน่วยของตำแหน่งดวงอาทิตย์และ n_T คือ เวกเตอร์หนึ่งหน่วยของตำแหน่งเป้าหมายจากรูปที่ 4 ทำให้สามารถหามุมในการหมุนของระบบสะท้อนแสงอาทิตย์ได้ดังนี้

$$\theta = \sin^{-1}(n_z) \quad (3)$$

$$\phi = \sin^{-1} \left[\frac{n_y}{\sqrt{n_x^2 + n_y^2}} \right] \quad (4)$$

โดยที่ θ คือ มุมของแกนหมุนที่ 2 สำหรับการหมุนของระบบสะท้อนแสงอาทิตย์และ ϕ คือ มุมของแกนหมุนที่ 1 สำหรับการหมุนของระบบสะท้อนแสงอาทิตย์

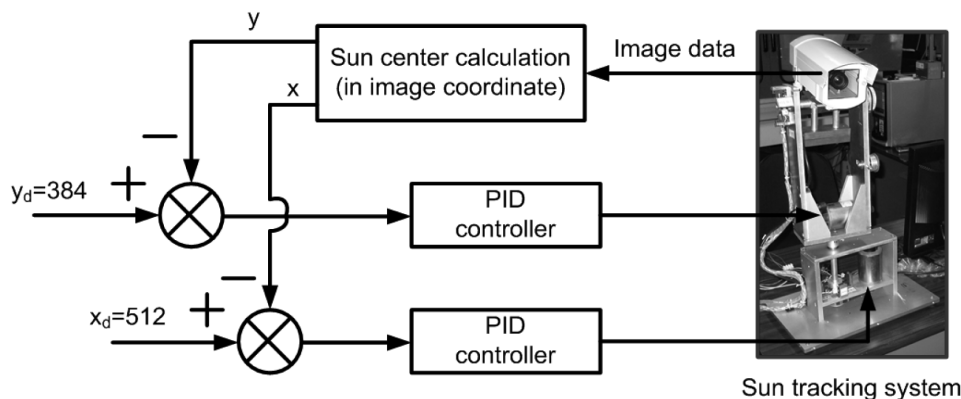


รูปที่ 4. เวกเตอร์หนึ่งหน่วยตั้งฉาก

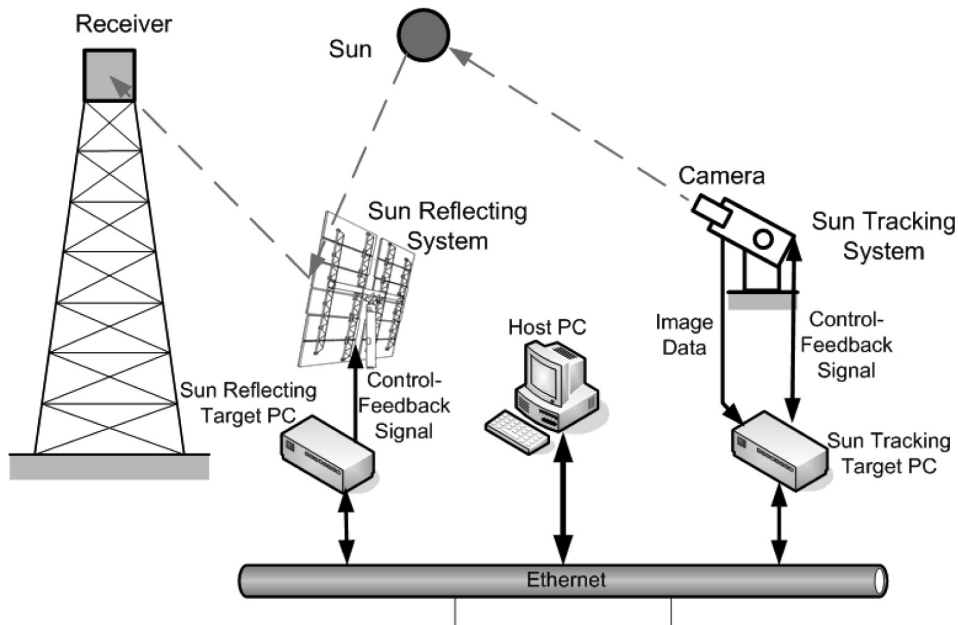
2.5 ระบบควบคุม

การควบคุมการทำงานของระบบติดตามดวงอาทิตย์และระบบสะท้อนแสงอาทิตย์ใช้คอมพิวเตอร์จำนวน 3 เครื่อง โดยคอมพิวเตอร์เครื่องแรกเรียกว่าคอมพิวเตอร์เป้าหมายระบบติดตามดวงอาทิตย์ ทำหน้าที่นำข้อมูลภาพดวงอาทิตย์ที่ได้จากกล้องดิจิทัลอุตสาหกรรมมาประมวลผลทางภาพเพื่อหาจุดศูนย์กลางของดวงอาทิตย์ที่อยู่ในภาพโดยข้อมูลที่รับมาจากกล้องนั้นมีขนาด 1024x768 พิกเซล และกำหนดความเร็วในการเก็บข้อมูลเป็น 30 fps เพื่อที่จะควบคุมระบบติดตาม

ดวงอาทิตย์สามารถติดตามดวงอาทิตย์ได้ตลอดเวลาสำหรับอัลกอริทึมในการควบคุมนั้นได้ใช้ตัวควบคุมแบบพีไอดี โดยที่แผนผังการควบคุมระบบติดตามดวงอาทิตย์ได้แสดงไว้ในรูปที่ 5 และสัญญาณจากเอ็นโคเดอร์วัดตำแหน่งในการหมุนของมอเตอร์จะถูกนำมาใช้หาเวกเตอร์ตำแหน่งของดวงอาทิตย์ และเวกเตอร์ตำแหน่งของดวงอาทิตย์พร้อมกับเวกเตอร์ตำแหน่งเป้าหมายจะถูกนำมาใช้คำนวณหามุมในการหมุนของระบบสะท้อนแสงอาทิตย์ พร้อมทั้งส่งค่ามุมดังกล่าวผ่านทางอีเทอร์เน็ตไปสู่คอมพิวเตอร์เป้าหมายระบบสะท้อนแสงอาทิตย์ซึ่งเป็นคอมพิวเตอร์เครื่องที่สองเพื่อใช้ค่ามุมที่ได้รับเป็นค่ามุมเป้าหมายของการควบคุม โดยที่คอมพิวเตอร์ทั้งสองจะถูกสั่งการทำงานจากคอมพิวเตอร์อีกตัวที่เรียกว่า คอมพิวเตอร์หลัก โดยโปรแกรมที่ถูกพัฒนาขึ้นใช้ในระบบควบคุมนี้ได้ใช้ซอฟต์แวร์ LabVIEW เป็นเครื่องมือในการพัฒนา สำหรับคอมพิวเตอร์หลักโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นจะทำงานบน MS Windows XP ส่วนคอมพิวเตอร์เป้าหมายระบบติดตามดวงอาทิตย์และคอมพิวเตอร์เป้าหมายระบบสะท้อนแสงอาทิตย์จะใช้ระบบปฏิบัติการเวลาจริง (real-time operating system) ของซอฟต์แวร์ LabVIEW ที่ชื่อว่า Real-time target OS. ดังแสดงในแผนผังระบบควบคุมระบบติดตามดวงอาทิตย์และระบบสะท้อนแสงอาทิตย์ในรูปที่ 6



รูปที่ 5. บล็อกไดอะแกรมการควบคุมระบบติดตามดวงอาทิตย์



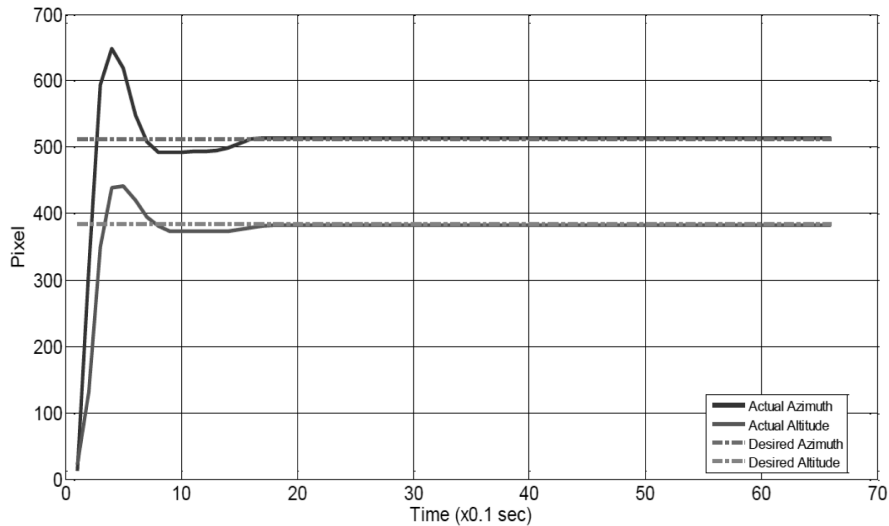
รูปที่ 6. แผนผังระบบควบคุมระบบติดตามดวงอาทิตย์และระบบสะท้อนแสงอาทิตย์

3. ผลการวิจัยและอภิปราย

3.1 การทดลองศึกษาผลตอบสนองของระบบติดตามดวงอาทิตย์

การทดลองนี้จะใช้หลอดไฟแทนดวงอาทิตย์ซึ่งเป็นการทดลองเพื่อที่จะดูการตอบสนองของระบบและความแม่นยำในการติดตาม ในการทดลองจะใช้หลอดไส้เกลียว HITACHI 220 โวลท์ 25 วัตต์ ค่าความสว่าง 220 lm เป็นตัวส่ง ในการทดลองจะเริ่มต้นให้ตำแหน่งจุดศูนย์กลางของหลอดไฟที่ได้จากกล้อง

ดิจิตอลอุตสาหกรรมอยู่ที่ตำแหน่ง $x = 13$ และ $y = 22$ โดยมีเป้าหมายต้องการควบคุมให้ตำแหน่งจุดศูนย์กลางของหลอดไฟอยู่ที่ตำแหน่ง $x = 512$ และ $y = 384$ โดยที่ กำหนดค่าอัตราการขยายของตัวควบคุมพีไอดี มีดังต่อไปนี้ แกนหมุนที่ 1 กำหนดให้ $K_c = 0.008$ $T_i = 2000$ และ $T_d = 0.001$ สำหรับ แกนหมุนที่ 2 กำหนดให้ $K_c = 0.010$ $T_i = 1500$ และ $T_d = 0.001$ สำหรับในการเลือกค่า K_c , T_i และ T_d ได้ใช้วิธีการจูนแบบทดลองถูกทดลองผิด เพื่อที่จะได้ค่าอัตราการขยายที่ทำให้ระบบมีผลตอบสนองตามที่ต้องการ



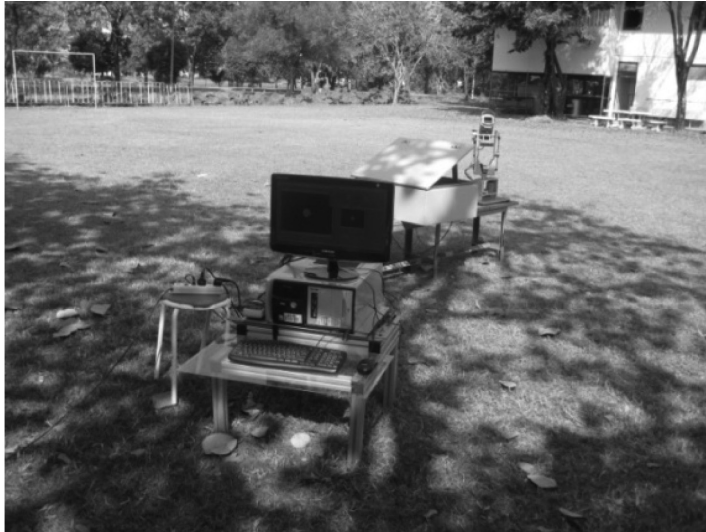
รูปที่ 7. ผลการตอบสนองของระบบติดตามดวงอาทิตย์เมื่อใช้หลอดไฟเป็นตัวส่ง

จากการทดลองแสดงให้เห็นว่า (รูปที่ 7) แกนหมุนแรก (อะซิมุท) จะมีค่า Peak time (T_p) = 0.4 วินาที Settling time (T_s) = 1.4 วินาที (คิดที่ 2%) Rise time (T_r) = 0.15 วินาที และ Percent overshoot (%OS) = 26.56 % สำหรับแกนหมุนที่ 2 (อัลติจูด) ได้ Peak time = 0.5 วินาที Settling time = 1.5 วินาที (คิดที่ 2%) Rise time = 0.2 วินาที และ Percent overshoot = 15.10%

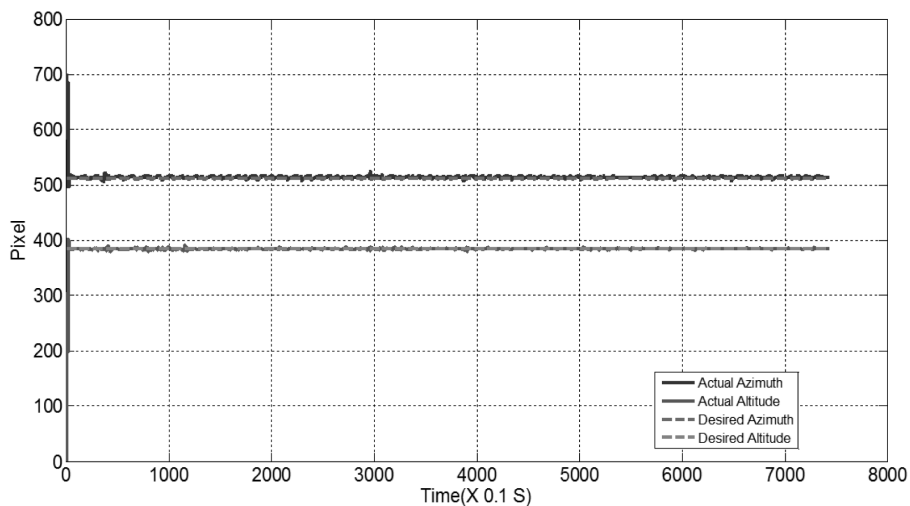
3.2 การทดลองติดตามดวงอาทิตย์

การทดลองติดตามดวงอาทิตย์เป็นการทดลองเพื่อทดสอบว่าระบบติดตามดวงอาทิตย์ที่ได้ออกแบบขึ้นมาสามารถติดตามดวงอาทิตย์ได้จริงหรือไม่

และไม่มีความคลาดเคลื่อนเท่าไร ซึ่งในการทดลองจะติดตั้งแผงกรองแสง Hi-Kool รุ่น R65 จำนวน 6 ชั้นที่หน้าเลนส์กล้องดิจิทัลเพื่อลดความเข้มของแสง ดังรูปการทดลองแสดงไว้ในรูปที่ 8 โดยจะกำหนดค่าอัตราขยายดังนี้ สำหรับแกนหมุนแรกกำหนดให้ $K_c = 0.008$, $T_i = 2000$, $T_d = 0.001$ และแกนหมุนที่ 2 กำหนดให้ $K_c = 0.010$, $T_i = 1500$, $T_d = 0.001$ การทดลองติดตามดวงอาทิตย์เพื่อทดสอบการทำงานจริงเริ่มทดลองเวลา 09.00-12.00 น. ภายใต้สภาพท้องฟ้ามีเมฆน้อยและมีดวงอาทิตย์ปรากฏตลอดวัน และผลการทดลองได้แสดงในรูปที่ 9



รูปที่ 8. การทดลองติดตามดวงอาทิตย์



รูปที่ 9. ผลตอบสนองของระบบติดตามดวงอาทิตย์

กราฟผลการทดลองของระบบติดตามดวงอาทิตย์ (รูปที่ 9) ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งจุดศูนย์กลางของภาพดวงอาทิตย์ในข้อมูลภาพกับเวลา จากกราฟพบว่าตัวควบคุมสามารถควบคุมให้ตำแหน่งจุดศูนย์กลางของดวงอาทิตย์อยู่ ณ ตำแหน่งกึ่งกลางข้อมูลภาพได้ตลอดเวลาที่ทดสอบ โดยระบบมีความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ ± 5 พิกเซล

3.3 การทดลองการทำงานของระบบติดตามดวงอาทิตย์และระบบสะท้อนแสงอาทิตย์

การทดลองระบบติดตามดวงอาทิตย์และระบบสะท้อนแสงอาทิตย์ เป็นการนำเอาระบบติดตามดวงอาทิตย์มาทำงานร่วมกับระบบสะท้อนแสงอาทิตย์ เพื่อที่จะทดสอบว่า ระบบติดตามดวงอาทิตย์และระบบสะท้อนแสงอาทิตย์ที่ได้ออกแบบขึ้นมาสามารถทำงานร่วมกันได้จริงหรือไม่ดังแสดงไว้ในรูปที่ 10 ในระบบติดตามดวงอาทิตย์จะติดตั้งแผงกรองแสงยี่ห้อ Hi-Kool รุ่น R65 จำนวน 6 ชั้นที่หน้าเลนส์กล้องดิจิทัลเพื่อลดความเข้มของแสง โดยจะกำหนดค่าพารามิเตอร์ดังนี้ แกนหมุน

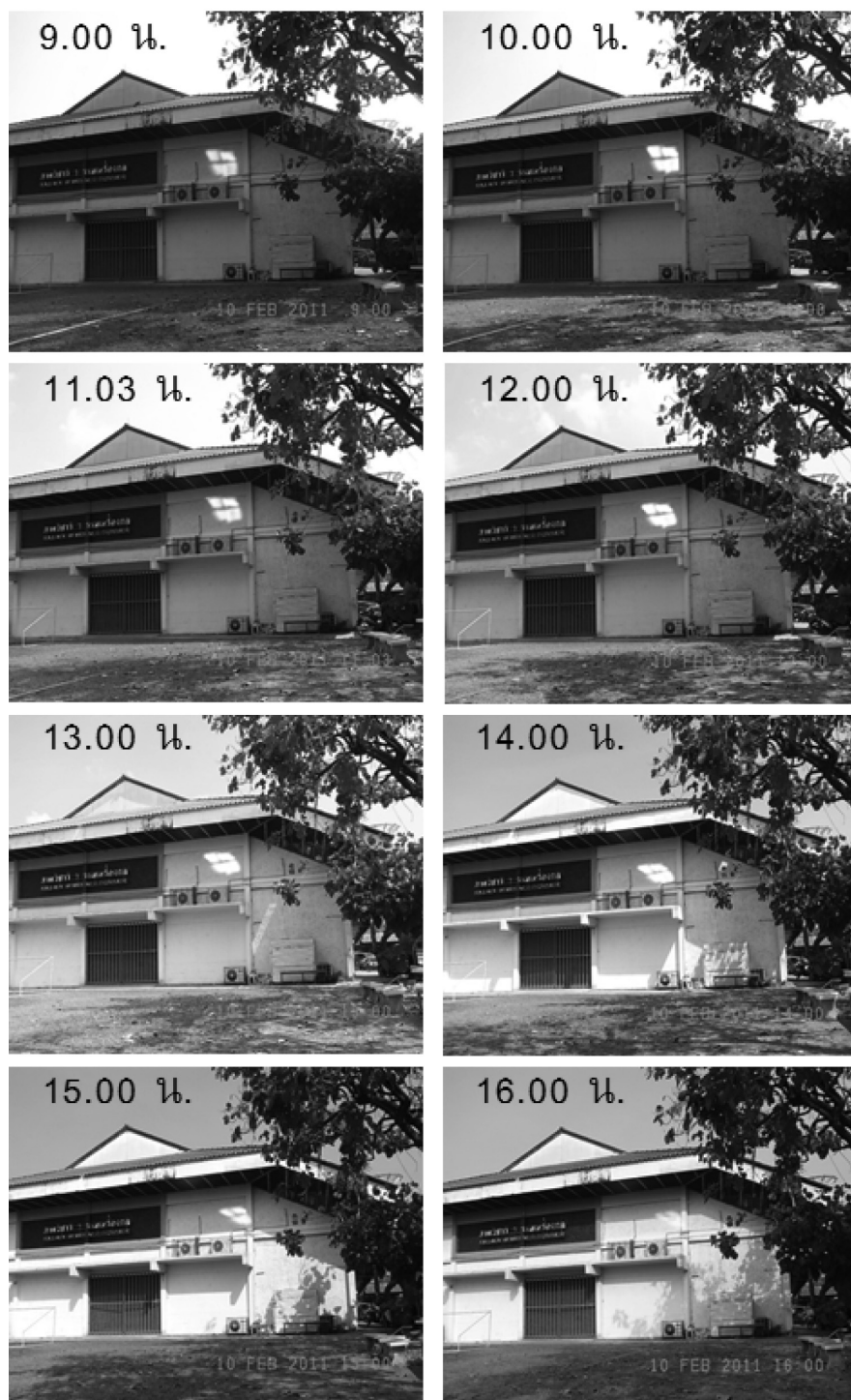
ที่ 1 กำหนดให้ $K_c = 0.008$ $T_i = 2000$ และ $T_d = 0.001$ และ แกนหมุนที่ 2 กำหนดให้ $K_c = 0.010$ $T_i = 1500$ และ $T_d = 0.001$ ส่วนระบบสะท้อนแสงอาทิตย์ได้กำหนดให้ตัวขับเคลื่อนมอเตอร์ทำงานเป็นตัวควบคุมตำแหน่งการหมุนของมอเตอร์ ดังนั้นในการควบคุมการหมุนของมอเตอร์ของระบบสะท้อนแสงอาทิตย์จะใช้สัญญาณพัลส์ (pulse) เป็นสัญญาณควบคุม โดยที่สัญญาณ 1 พัลส์ จะเท่ากับมอเตอร์หมุนได้ 1 สเต็ปของตัวเอ็นโคเดอร์ โดยมีเวกเตอร์ตำแหน่งของเป้าหมายของการสะท้อนแสงอาทิตย์อยู่ที่ $-15.8i + 12j + 3.2k$ เมตร เมื่อวัดเทียบกับระบบสะท้อนแสงอาทิตย์

การทดลองการทำงานของระบบติดตามดวงอาทิตย์และระบบสะท้อนแสงอาทิตย์เพื่อทดสอบ

การทำงานจริงเริ่มทดลองเวลา 09.00 - 16.00 น. ภายใต้สภาพท้องฟ้ามีเมฆบางส่วน (รูปที่ 10) โดยผลการทดลองของการทำงานร่วมกันระหว่างระบบติดตามดวงอาทิตย์และระบบสะท้อนแสงอาทิตย์ได้แสดงในรูปที่ 11 พบว่า ในช่วงเวลาที่มีดวงอาทิตย์ปรากฏตัวควบคุมสามารถควบคุมมุมการหมุนมอเตอร์เพื่อขับเคลื่อนโครงสร้างให้สามารถสะท้อนแสงอาทิตย์ไปยังตำแหน่งเป้าหมายได้ แต่ในบางช่วงเวลาที่เมฆเคลื่อนที่มาบังดวงอาทิตย์ ตัวควบคุมไม่สามารถควบคุมมุมการหมุนของมอเตอร์เพื่อขับเคลื่อนโครงสร้างให้สามารถสะท้อนแสงอาทิตย์ไปยังตำแหน่งเป้าหมายได้ โดยระบบสะท้อนแสงอาทิตย์มีความคลาดเคลื่อนมากที่สุด ± 0.5 เมตร



รูปที่ 10. การทดลองระบบติดตามดวงอาทิตย์และระบบสะท้อนแสงอาทิตย์



รูปที่ 11. ผลการทดลองการทำงานของระบบติดตามดวงอาทิตย์และระบบสะท้อนแสงอาทิตย์

4. สรุป

บทความนี้ได้นำเสนอระบบติดตามดวงอาทิตย์ และระบบสะท้อนแสงอาทิตย์ สำหรับในระบบติดตามดวงอาทิตย์นั้น จะใช้วิธีการการประมวลผลภาพ ซึ่งรับภาพจากกล้องดิจิตอลอุตสาหกรรม การควบคุมนั้นได้ใช้ตัวควบคุมแบบฟิวรี่ จากการทดลองในหัวข้อที่ 3.2 พบว่าระบบติดตามดวงอาทิตย์สามารถติดตามดวงอาทิตย์ได้จริงมีความคลาดเคลื่อน ± 5 พิกเซล ส่วนการทดลองในหัวข้อที่ 3.3 พบว่าระบบสามารถทำงานได้จริงโดยระบบติดตามดวงอาทิตย์สามารถติดตามดวงอาทิตย์ได้ตลอดเวลาที่ทดสอบ และมีความคลาดเคลื่อน ± 10 พิกเซล ส่วนระบบสะท้อนแสงอาทิตย์สามารถสะท้อนแสงอาทิตย์ให้อยู่ ณ ตำแหน่งเป้าหมายได้ตลอดเวลาที่ทดสอบและมีความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ 0.5 m. เมื่อพิจารณาการทดลองพบว่า ความแม่นยำในการทดลองจะขึ้นอยู่กับสภาพท้องฟ้าขณะทำการทดลอง ระบบจะมีความแม่นยำสูงหากสภาพท้องฟ้ามีเมฆน้อยและมีดวงอาทิตย์ปรากฏตลอดวัน

5. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้ทำการวิจัยขอขอบคุนมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรีที่ได้สนับสนุนให้ทุนวิจัยและภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่ได้เอื้อเฟื้อสถานที่ในดำเนินงาน

6. เอกสารอ้างอิง

- (1) Aracil C, Quero JM, Castaner L, Osuna R, Franquelo LG, editors. Tracking System for Solar Power Plants. Proceedings of IEEE Industrial Electronics (IECON 2006); 2006 Nov 6-10; Paris, France.
- (2) Roth P, Georgiev A, Boudinob H. Design and construction of a system for sun – tracking. Renewable Energy. 2004;29(3): 393 – 402.
- (3) Bau-ngen S, Wongsas S, Srimulnan Y, Nuntiwatna P. Sun-tracking system using image-processing technique. EC. 2009; (45): 75-86. Thai.
- (4) Enrile J, Ceron F, Valera P, Osuna R. Prothelios: heliostat for large PV plants, Proceedings of 3rd World Conf. on Photovoltaic Energy Conversion; 2003 May 18, Osaka, Japan.
- (5) Baheti RS, Scott PF. Design of self–calibrating controllers for heliostats in a solar power plant, IEEE Transactions on Automatic Control, 1980;25(6): 1091–97.