

การติดตามวัตถุที่เคลื่อนที่โดยใช้หุ่นยนต์พิกัดฉากอาศัยการขับเคลื่อนเชิงภาพใน 2 มิติ Implementation of Visual Servo Control for Tracking of a Moving Object using Cartesian Robot in 2 Dimensions

พรพิศุทธิ์ โลหิตหาญ, วิบูลย์ แสงวีระพันธุ์ศิริ *

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ถ.พญาไท ปทุมวัน กรุงเทพมหานคร 10330.

*ติดต่อ: 0-2218-6448, เบอร์โทรสาร: 0-2218-6437

E-mail: Pompisut.L@student.chula.ac.th, viboon.s@eng.chula.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการนำระบบควบคุมการขับเคลื่อนเชิงภาพมาทำงานร่วมกับหุ่นยนต์พิกัดฉาก เพื่อทำการติดตามวัตถุที่เคลื่อนที่ใน 2 มิติ โดยอาศัยการมองเห็นจากกล้องซึ่งจะทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์ตรวจรู้เพื่อระบุพิกัดตำแหน่งของวัตถุที่ต้องการติดตาม โดยนำข้อมูลภาพที่ได้จากกล้องไปทำการคำนวณหาพิกัดตำแหน่งที่แท้จริงของวัตถุ แล้วนำมาแปลงเป็นคำสั่งป้อนกลับตำแหน่งสำหรับควบคุมการขับเคลื่อนของหุ่นยนต์พิกัดฉาก ให้สามารถติดตามวัตถุที่เคลื่อนที่ได้ในเวลาจริง ในการทดลองนี้จะใช้กล้องตัวเดียวในการจับภาพ โดยสามารถระบุพิกัดตำแหน่งของวัตถุที่ต้องการติดตาม ด้วยวิธีการแคมชิฟ (CAMshift: Continuously Adaptive Mean Shift) ซึ่งจะใช้ค่าความน่าจะเป็นของสีของวัตถุเป้าหมายมาใช้ในการติดตาม จากนั้นหุ่นยนต์พิกัดฉากจะเคลื่อนที่ติดตามวัตถุเป้าหมายที่กล้องติดตามอยู่ จากงานวิจัยนี้จะได้โปรแกรมสำหรับควบคุมหุ่นยนต์ให้สามารถติดตามวัตถุที่เคลื่อนที่โดยอาศัยการขับเคลื่อนเชิงภาพแบบเวลาจริง และสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับงานที่มีความสลับซับซ้อนมากขึ้น

คำหลัก: การควบคุมการขับเคลื่อนเชิงภาพ, การติดตามวัตถุในเวลาจริง, CAMshift

Abstract

This research work is the implementation of visual servo control for tracking of a moving object using a Cartesian robot in 2 dimensions. From visual image data, the coordinate of a tracked object can be used as referenced command to feed to the feedback controller of Cartesian robot for tracking a moving objects in real-time. In this experiment, coordinate of a tracked object can be obtained by using CAMshift (Continuously Adaptive Mean Shift) algorithm, operating on the color probability image, with a single camera. So that the end effector of the robot can track a moving object, which is camera tracking. The result of this visual servo control can be adapted to more complex control applications.

Keywords: Visual Servo Control, Real-time Tracking, CAMshift.

1. บทนำ

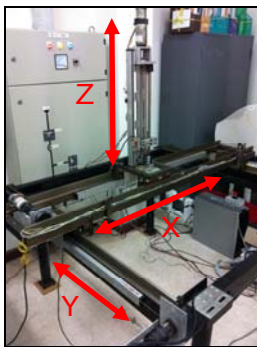
การใช้กล้องเป็นอุปกรณ์ตรวจรู้เป็นอีกวิธีหนึ่งที่จะทำให้หุ่นยนต์รับรู้พิกัดตำแหน่งของเป้าหมายได้ ทำให้หุ่นยนต์สามารถติดตามเป้าหมายหรือเคลื่อนที่หลบหลีกสิ่งกีดขวางได้ เรียกการควบคุมแบบนี้ว่า การควบคุมการขับเคลื่อนเชิงภาพ (Visual Servo Control) คือการ

ควบคุมโดยอาศัยการป้อนกลับด้วยภาพเป็นหลัก โดยข้อมูลภาพที่ได้จากกล้องสามารถนำมาคำนวณหาตำแหน่งวัตถุในภาพ และแปลงเป็นชุดคำสั่งสำหรับควบคุม โดยส่งไปยังส่วนควบคุมแบบป้อนกลับเพื่อควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ให้ติดตามวัตถุที่กำลังเคลื่อนที่ได้ วิธีการติดตามวัตถุเป้าหมายก็มีอยู่หลายวิธี

ซึ่งแต่ละวิธีใช้หลักการพื้นฐานแตกต่างกัน การจะเลือกใช้วิธีใดนั้นขึ้นอยู่กับลักษณะวัตถุเป้าหมาย สภาพแวดล้อม และทัศนวิสัย สำหรับงานวิจัยนี้ได้นำระบบควบคุมการขับเคลื่อนเชิงภาพมาทำงานร่วมกับหุ่นยนต์พิกัดฉาก เพื่อทำการติดตามวัตถุที่เคลื่อนที่ใน 2 มิติ โดยใช้กล้องตัวเดียวในการจับภาพ และสามารถระบุพิกัดตำแหน่งของวัตถุที่ต้องการติดตามได้ด้วยวิธีการแคมชิฟ และระบบกล้องติดตั้งอยู่กับที่

2. หุ่นยนต์พิกัดฉาก

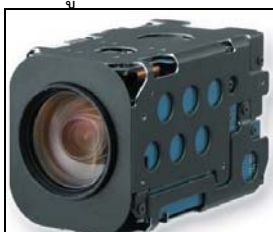
หุ่นยนต์พิกัดฉากที่ใช้มีลักษณะดังรูปที่ 1 เป็นโต๊ะระนาบที่มีการเคลื่อนที่ 3 แนวแกนตั้งฉากกัน โครงสร้างทำจากอลูมิเนียมและเหล็ก แต่ละแกนขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง แกนเอ็กซ์และแกนวายใช้ตัวยูจีสลักเป็นลูกกลิ้งในการเคลื่อนที่ ส่งกำลังขับเคลื่อนผ่านชุดเฟืองทดและระบบล้อยางพานโดยใช้สลิง ระยะทางในการเคลื่อนที่ตามแนวแกนเอ็กซ์เท่ากับ 950 มิลลิเมตร แกนวายเท่ากับ 1000 มิลลิเมตร และแกนแซดส่งกำลังขับเคลื่อนผ่านลิเนียร์บอลสกรู ระยะทางในการเคลื่อนที่ตามแนวแกนแซดเท่ากับ 450 มิลลิเมตร ในการทดลองนี้ให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ 2 มิติ ตามแนวแกนเอ็กซ์และแกนแซด



รูปที่ 1 หุ่นยนต์พิกัดฉาก

3. ระบบกล้องตัวเดียว

กล้องวิดีโอที่ใช้ในการทดลองนี้ เป็นกล้องวิดีโอชนิดสี ยี่ห้อ SONY รุ่น FCB-EX 1000P ความละเอียด 640X480 พิกเซล ดังรูปที่ 2

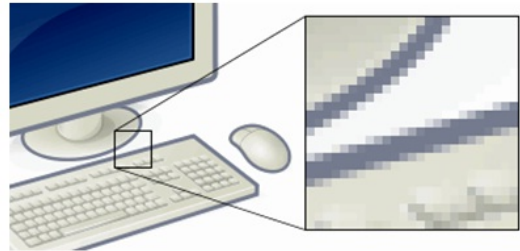


รูปที่ 2 ระบบกล้องตัวเดียว

4. ระบบติดตามวัตถุด้วยภาพ

4.1 พิกเซล (Pixel)

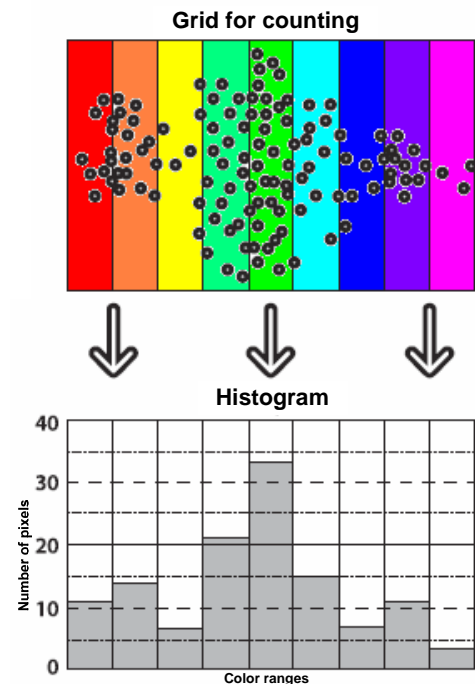
พิกเซลเป็นหน่วยพื้นฐานซึ่งเล็กที่สุดของภาพดิจิทัลเทียบได้กับจุดสีของภาพ 1 จุด เมื่อจุดหลากหลายสีหลายๆจุดที่เรียงติดกันถูกนำมารวมกันก็จะทำให้เกิดเป็นภาพขึ้น โดยแต่ละพิกเซลจะแสดงค่าสีเพียงสีเดียวเท่านั้น ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 พิกเซลของภาพสี

4.2 ฮิสโทแกรมของสี (Color Histogram)

ฮิสโทแกรมเป็นกราฟแสดงความถี่หรือความหนาแน่นของค่าสี สามารถสร้างได้โดยการนับจำนวนพิกเซลของแต่ละค่าสีบนภาพ โดยแกนนอนคือค่าความเข้มสีหรือส่วนประกอบของสี และแกนตั้งคือค่าความถี่หรือจำนวนพิกเซลของแต่ละสี

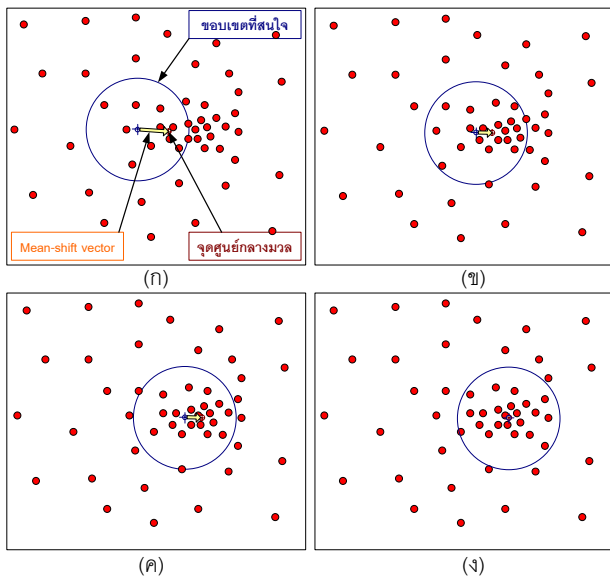


รูปที่ 4 ตัวอย่างการสร้างฮิสโทแกรม

ภาพสีประกอบด้วยพิกเซลมากมาย แต่ละพิกเซลจะมีการแสดงค่าสี (hue) ต่างกัน การสร้างฮิสโทแกรมของสีเริ่มจากการจัดกลุ่มพิกเซลลงตามกลุ่มค่าสี (bin) เมื่อจัดกลุ่มเสร็จทุกพิกเซลแล้ว ทำการนับจำนวนพิกเซลในแต่ละกลุ่มสี แล้วนำมาสร้างกราฟแสดงความถี่ ดังรูปที่ 4

4.3 กระบวนการมินชิฟ (Mean-Shift Algorithm)

กระบวนการมินชิฟเป็นวิธีการทางสถิติในการหาบริเวณที่ค่าการกระจายของความน่าจะเป็นมีค่าสูงสุด กระบวนการนี้จะหาจุดที่มีความหนาแน่นของข้อมูลมากที่สุด โดยการย้ายจุดศูนย์กลางของการคำนวณแต่ละรอบไปตามเส้นทางของข้อมูลที่มีความหนาแน่นมาก จนจุดศูนย์กลางของการคำนวณไม่มีการเปลี่ยนตำแหน่ง ก็ถือว่าจุดศูนย์กลางนั้นเป็นจุดที่มีความหนาแน่นของข้อมูลอยู่ในบริเวณใกล้เคียงสูงสุด ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 แสดงลำดับการค้นหาความหนาแน่นของกลุ่มพิกเซลด้วยวิธีมินชิฟจาก (ก) ถึง (ง)

4.4 กระบวนการแคมชิฟ (CAMShift Algorithm)

ทฤษฎีที่ใช้ในการติดตามวัตถุด้วยภาพในงานวิจัยนี้คือ วิธีการแคมชิฟ เป็นการวิเคราะห์ความน่าจะเป็นของตำแหน่งวัตถุจากภาพสีฮิสโตแกรมโดยใช้องค์ประกอบของสี โดยวิธีการนี้จะใช้กระบวนการมินชิฟในการคำนวณ แต่จะมีการปรับค่าการกระจายของความน่าจะเป็นอย่างต่อเนื่อง (Continuously adaptive probability distributions) ซึ่งจะมีการปรับขนาดสัดส่วนและมุมการเอียงหน้าต่าที่ใช้ในการคำนวณให้สอดคล้องกับบริเวณที่เป็นพื้นที่ที่มีความน่าจะเป็นของวัตถุเป้าหมายมากที่สุด โดยมีขั้นตอนคร่าวๆดังนี้

4.4.1. ระบุตำแหน่งปลายแขนของหุ่นยนต์ และวัตถุเป้าหมายในภาพโดยใช้เมาส์คลิกเลือก

เมื่อระบุตำแหน่งปลายแขนของหุ่นยนต์ และวัตถุเป้าหมายแล้ว โปรแกรมจะแสดงกรอบหน้าต่างวัตถุเป้าหมาย (Target window) เพื่อให้ทราบตำแหน่งวัตถุเป้าหมายบนภาพ และนำภาพในกรอบหน้าต่างระบุ

เป้าหมายไปสร้างภาพฮิสโตแกรม เพื่อใช้เป็นลักษณะเฉพาะแทนวัตถุเป้าหมาย

4.4.2. หาความน่าจะเป็นที่แต่ละพิกเซลบนภาพจะเป็นวัตถุเป้าหมาย

ในแต่ละเฟรมถัดมาจะทำการหาค่าความน่าจะเป็นของแต่ละพิกเซลที่จะเป็นวัตถุเป้าหมาย โดยเทียบค่าสีของพิกเซลในภาพกับกราฟฮิสโตแกรม เช่น วัตถุเป้าหมายมีพิกเซลที่มีค่าสีแดงมากที่สุด ดังนั้นถ้าพิกเซลในเฟรมถัดมา พิกเซลไหนมีค่าสีแดงก็จะมีค่าความน่าจะเป็นมากด้วย หลังจากนั้นจะทำการแยกวัตถุเป้าหมายออกจากภาพพื้นหลัง เรียกว่า การทำการฉายกลับ (Back-Projection) โดยพิกเซลที่มีค่าความน่าจะเป็นมากจะแทนด้วยสีขาว พิกเซลที่มีค่าความน่าจะเป็นน้อยจะแทนด้วยสีดำ ดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 ภาพสี และภาพฉายกลับของฮิสโตแกรม

4.4.3. ใช้วิธีการมินชิฟในการหาจุดศูนย์กลางของวัตถุเป้าหมาย

กระบวนการนี้จะทำการเลื่อนหน้าต่างระบุเป้าหมายให้เคลื่อนที่ติดตามวัตถุ โดยการหาจุดศูนย์กลางของพื้นที่พิกเซลที่เป็นสีขาวในภาพฉายกลับที่มีความน่าจะเป็นของวัตถุเป้าหมายสูงสุดด้วยกระบวนการมินชิฟ

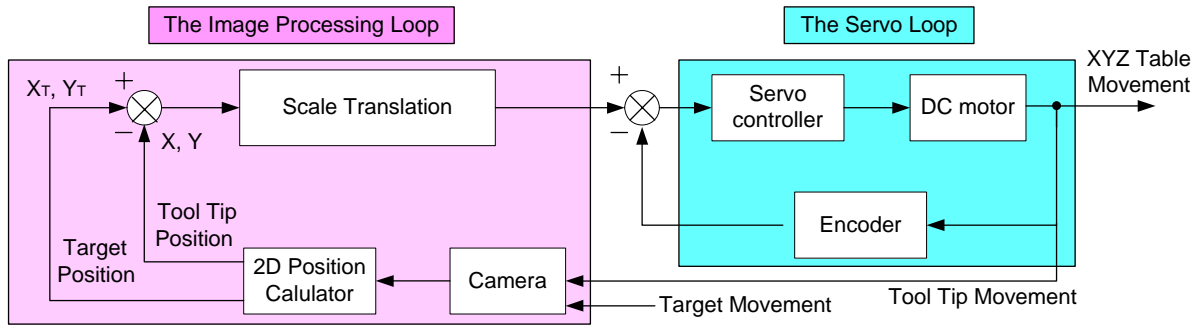
เมื่อทราบตำแหน่งพิกเซลที่เป็นจุดศูนย์กลางของวัตถุ ก็จะทราบถึงทิศทางและความเร็วในการเคลื่อนที่ของวัตถุในภาพ จึงสามารถควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์พิกัดฉากให้ติดตามวัตถุที่กำลังเคลื่อนที่ได้

5. การออกแบบระบบควบคุม

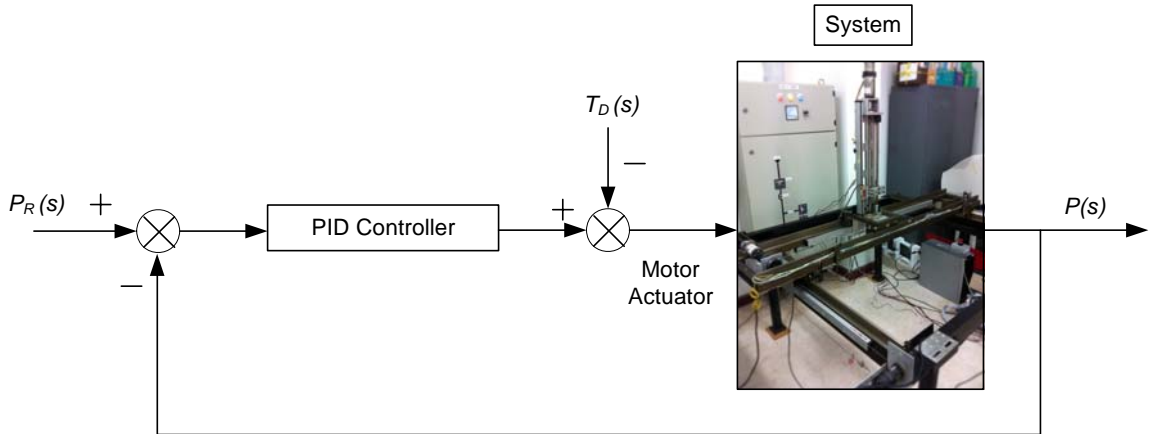
ขั้นตอนการทำงานจะเริ่มจากกล้องถ่ายภาพปลายแขนหุ่นยนต์และวัตถุเป้าหมาย เมื่อมีการกำหนดวัตถุเป้าหมายแล้ว โปรแกรมจะคำนวณหาตำแหน่งพิกเซลที่เป็นจุดกึ่งกลางของปลายแขนหุ่นยนต์และวัตถุเป้าหมาย จากนั้นทำการเปรียบเทียบค่าตำแหน่งจุดกึ่งกลางของปลายแขนหุ่นยนต์และวัตถุเป้าหมาย เพื่อควบคุมให้ตำแหน่งกึ่งกลางของปลายแขนหุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งกึ่งกลางของวัตถุเป้าหมายที่ปรากฏในภาพ เมื่อผ่านการปรับเทียบระหว่างแกนอ้างอิงในภาพกับแกน

อ้างอิงของหุ่นยนต์แล้วจะสามารถสร้างชุดคำสั่งสำหรับควบคุมป้อนกลับไปยังมอเตอร์เพื่อควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์พิกัดฉากให้ติดตามวัตถุที่กำลังเคลื่อนที่ได้จากแผนภาพระบบควบคุมการขับเคลื่อนเชิงภาพ ดังรูปที่ 7 แบ่งเป็น 2 ส่วนดังนี้คือ ส่วนการติดตามวัตถุด้วยภาพและส่วนควบคุมการเคลื่อนที่ของมอเตอร์สำหรับหุ่นยนต์พิกัดฉาก

โดยจะเลือกใช้ตัวควบคุมแบบ PID สามารถเขียนรูปแผนภาพบล็อก (Block Diagram) ของระบบมอเตอร์และระบบควบคุมได้ดังรูปที่ 8



รูปที่ 7 แผนภาพระบบควบคุมการขับเคลื่อนเชิงภาพ



รูปที่ 8 ระบบควบคุมแบบป้อนกลับ PID

6. ผลการทดลอง

การติดตามเป้าหมายมีขอบเขตการทำงานอยู่ภายใต้หุ่นยนต์พิกัดฉาก ตามรูปที่ 1 คือมีระยะในการเคลื่อนที่ตามแนวแกนเอ็กซ์เท่ากับ 950 และแกนแซดเท่ากับ 450 มิลลิเมตร การปรับจูนค่า K_p, K_i และ K_d ในตัวควบคุม PID ของหุ่นยนต์พิกัดฉากเป็นการปรับจูนค่าตัวแปรอย่างอิสระ คือเริ่มต้นตั้งค่า K_i และ K_d ให้เป็นศูนย์ก่อน ค่อยๆเพิ่มค่า K_p ขึ้นจนสัญญาณขาออกเกิดการแกว่ง แล้วจึงเลือกตั้งค่า K_p ให้เป็นครึ่งหนึ่งของค่าที่ทำให้เกิดการแกว่งนั้น จากนั้นค่อยเพิ่มค่า K_i จนความผิดพลาดลดน้อยลงจนเป็นที่ยอมรับได้ แต่ต้องระวังอย่าให้มากเกินไปเพราะจะทำให้ระบบไม่เสถียรได้ อาจต้องเพิ่มค่า K_d ขึ้นเล็กน้อยเพื่อทำให้เสถียรภาพของระบบดี

ขึ้น การทดลองการติดตามวัตถุแบ่งเป็น 2 การทดลอง ดังนี้

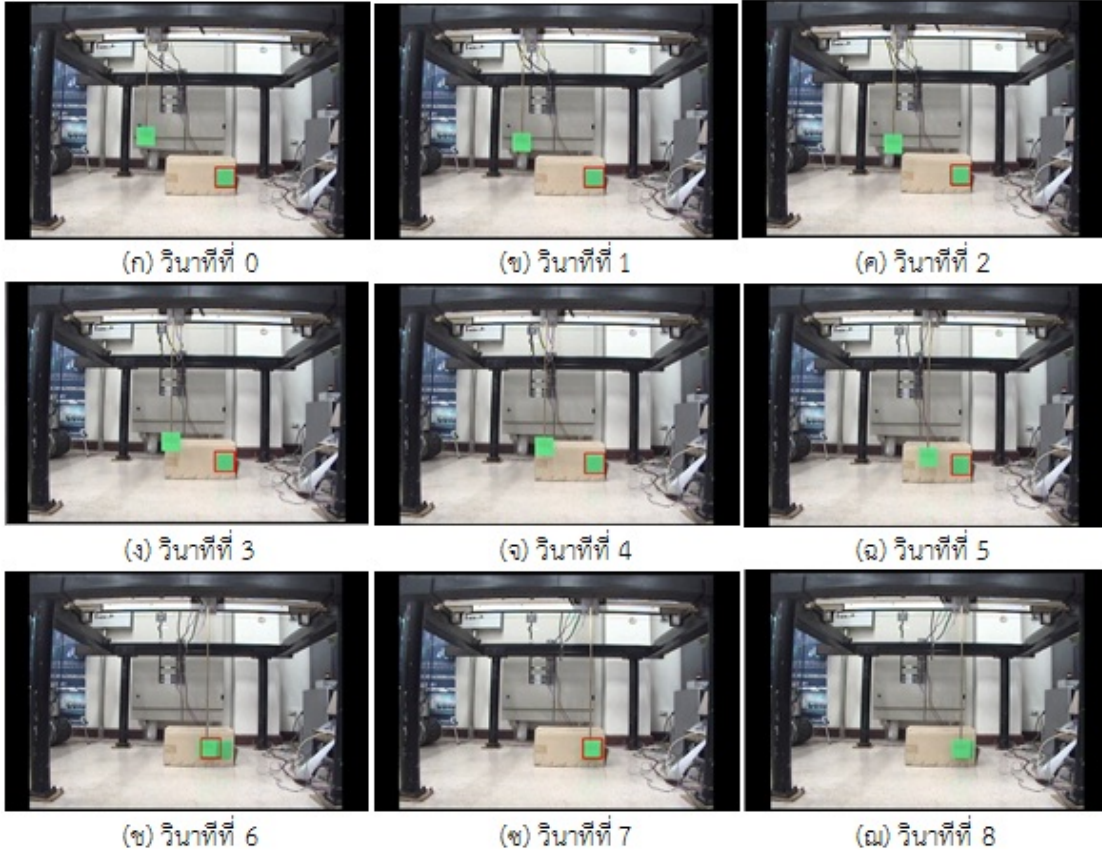
6.1 หุ่นยนต์พิกัดฉากเคลื่อนที่เข้าหาวัตถุเป้าหมายที่อยู่นิ่งกับที่

เริ่มจากการใช้เมาส์ระบุตำแหน่งของปลายแขนหุ่นยนต์ก่อน แล้วตามด้วยตำแหน่งของวัตถุเป้าหมาย ในที่นี้กำหนดวัตถุเป้าหมายที่อยู่นิ่งกับที่ให้เป็นแผ่นป้ายสีเขียวติดอยู่ที่กล่องลัง โปรแกรมจะคำนวณหาตำแหน่งพิกเซลแล้วแสดงกรอบหน้าต่างสีแดงระบุเป้าหมายในจอภาพ จากนั้นโปรแกรมจึงเริ่มคำนวณแปลงตำแหน่งในหน่วยพิกเซลให้เป็นการเคลื่อนที่เส้นตรงในหน่วยมิลลิเมตร เพื่อส่งไปควบคุมการขับเคลื่อนมอเตอร์ของ

หุ่นยนต์ เมื่อเริ่มคำสั่งเคลื่อนที่ในโปรแกรม หุ่นยนต์ก็จะเริ่มเคลื่อนที่เข้าหาวัตถุเป้าหมายนั้น ดังรูปที่ 9

ผลของการทดลองนี้ หุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่เข้าหาเป้าหมายที่อยู่หนึ่งกับที่ได้ดี ภายใต้สภาพแวดล้อมใน

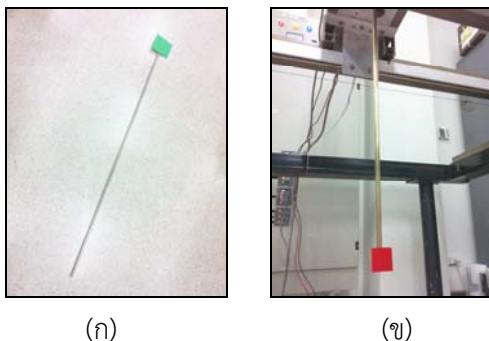
ห้องที่มีการให้แสงสว่างของหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ และขอบเขตการทำงานของหุ่นยนต์ที่กีดขวาง



รูปที่ 9 หุ่นยนต์ที่กีดขวางเคลื่อนที่เข้าหาวัตถุเป้าหมายที่อยู่หนึ่งกับที่ (ก) ถึง (ณ)

6.2 หุ่นยนต์ที่กีดขวางเคลื่อนที่ติดตามวัตถุเป้าหมายที่เคลื่อนที่

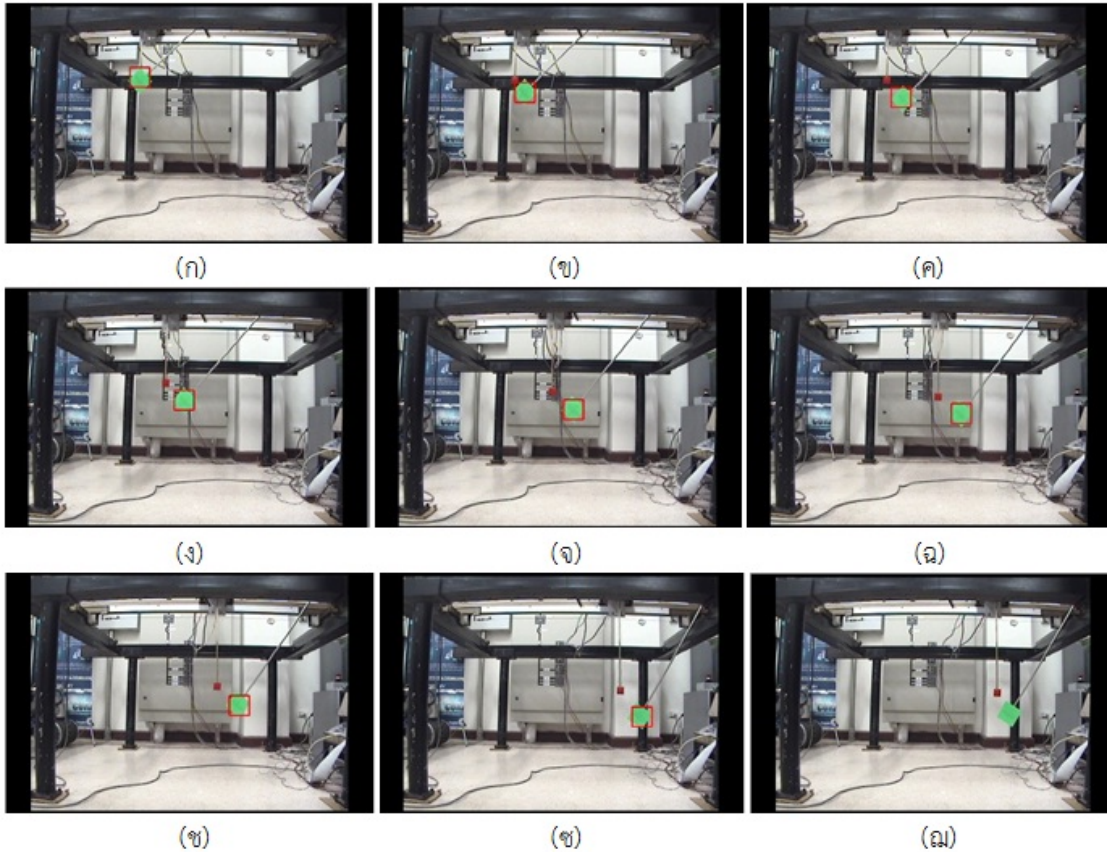
เริ่มจากการใช้เมาส์ระบุตำแหน่งของวัตถุเป้าหมายที่ต้องการ ในที่นี้กำหนดวัตถุเป้าหมายสังเคราะห์ที่เคลื่อนที่ให้เป็นแท่งอลูมิเนียมติดแผ่นป้ายสีเขียว และปลายแขนหุ่นติดแผ่นป้ายสีแดงไว้ ดังรูปที่ 10



รูปที่ 10 (ก) วัตถุเป้าหมายสังเคราะห์ที่ใช้ในการติดตาม
(ข) ปลายแขนหุ่นติดแผ่นป้ายสีแดง

โปรแกรมจะคำนวณหาตำแหน่งพิกเซลแล้วแสดงกรอบหน้าต่างสีแดงระบุเป้าหมายในจอภาพ เมื่อเริ่มคำสั่งเคลื่อนที่ในโปรแกรม ผู้ทดลองก็จะเริ่มเคลื่อนที่วัตถุเป้าหมาย จากการที่เราทราบตำแหน่งพิกเซลที่เป็นจุดศูนย์กลางของวัตถุเป้าหมาย ก็จะทำให้เราทราบถึงทิศทางและความเร็วในการเคลื่อนที่ของวัตถุเป้าหมาย จากนั้นโปรแกรมจึงเริ่มคำนวณแปลงตำแหน่งในหน่วยพิกเซลให้เป็นการเคลื่อนที่เส้นตรงในหน่วยมิลลิเมตร ส่งไปควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ที่กีดขวางให้ติดตามวัตถุเป้าหมายที่กำลังเคลื่อนที่ได้ ดังรูปที่ 11

ผลของการทดลองนี้ หุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่ติดตามเป้าหมายที่เคลื่อนที่อยู่ได้ ภายใต้สภาพแวดล้อมในห้องที่มีการให้แสงสว่างของหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ และขอบเขตการทำงานของหุ่นยนต์ที่กีดขวาง



รูปที่ 11 หุ่นยนต์พิกัดฉากเคลื่อนที่ติดตามวัตถุเป้าหมายที่เคลื่อนที่ ในเวลา 4 วินาที (ก) ถึง (ฉ)

8. สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองสรุปได้ว่า หุ่นยนต์พิกัดฉากสามารถเคลื่อนที่ติดตามวัตถุทั้งที่อยู่นิ่งกับที่และเคลื่อนที่อยู่ได้ ภายใต้สภาพแวดล้อมในห้องที่มีการให้แสงสว่างของหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ และขอบเขตการทำงานของหุ่นยนต์พิกัดฉาก อาจมีความคลาดเคลื่อนในการติดตามบ้างเล็กน้อยซึ่งก็ขึ้นอยู่กับความละเอียดของกล้องและความเร็วในการประมวลผลภาพ สำหรับระบบนี้ไม่ได้คำนึงถึงความแม่นยำที่สูงมาก จึงถือได้ว่าผลการติดตามทั้งสองแบบเป็นที่น่าพอใจและยอมรับได้

จากงานวิจัยนี้ สามารถพัฒนาให้เป็นการติดตามวัตถุใน 3 มิติได้ และนำไปประยุกต์ใช้กับงานที่มีความสลับซับซ้อนมากขึ้นได้

9. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากโครงการศูนย์ระดับภูมิภาคเทคโนโลยีหุ่นยนต์ภายใต้โครงการเพิ่มศักยภาพด้านวิศวกรรมศาสตร์สหสาขา ในแผนพัฒนาวิชาการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (จุฬาฯ 100 ปี)

10. เอกสารอ้างอิง

- [1] วิบูลย์ แสงวีระพันธุ์ศิริ (2548). การควบคุมระบบพลศาสตร์, พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- [2] Sangveraphunsiri V. and Malithong K. Visual Tracking Control For Inertial Stabilization System , Asian International Journal of Science and Technology in Production and Manufacturing Engineering, Vol. 3, No.4 (Oct.- Dec. 2010), p. 65-75