



การค้นหาและติดตามวัตถุแบบนำทางด้วยภาพสำหรับระบบอาวุธควบคุมระยะไกล Vision-Guided Object Seeking and Tracking for a Remote Weapon System

พิสิษฐ์ อินทรวีรัตน์^{1*}, วิฑิต ฉัตรรัตนกุลชัย^{1**} และ เบนจา บุญเอื้อ^{2***}

¹ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

50 ถนนงามวงศ์วาน แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900

²สถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ (องค์การมหาชน) กระทรวงกลาโหม

47/433 หมู่ 3 ถนนแจ้งวัฒนะ ตำบลบ้านใหม่ อำเภอปากเกร็ด จังหวัดนนทบุรี 11120

*ติดต่อ: pisit.intarawirat@gmail.com, 085-058-0904

**ติดต่อ: fengwtc@ku.ac.th, 0-2797-0999 #1858

***ติดต่อ: bencha.b@dti.or.th, 0-2980-6688

บทคัดย่อ

ระบบอาวุธควบคุมระยะไกลมีลักษณะเป็นป้อมปืน (Weapon station) ที่ผู้ควบคุมจำเป็นต้องอยู่ในสถานที่ปลอดภัยหรือในเกราะกำบัง การค้นหาและติดตามวัตถุสำหรับระบบอาวุธควบคุมระยะไกลส่วนใหญ่จะควบคุมด้วยมือ (Manual control) ซึ่งต้องอาศัยความชำนาญของผู้ใช้อย่างมาก อีกทั้งเทคโนโลยีการควบคุมแบบอัตโนมัติส่วนใหญ่มีราคาแพงและไม่มีการเปิดเผยทางเทคนิค บทความนี้นำเสนอ การสร้างต้นแบบระบบอาวุธควบคุมระยะไกลและการออกแบบระบบควบคุมเพื่อค้นหา (Seeking) และติดตาม (Tracking) วัตถุแบบนำทางด้วยภาพ (Vision-guided) เพื่ออำนวยความสะดวกในการเลี้ยงยิงของทหารที่กำลังปฏิบัติหน้าที่ โดยค้นหาและติดตามเป้าหมายอย่างอัตโนมัติในขณะที่เป้าหมายเคลื่อนที่ ต้นแบบประกอบด้วยป้อมปืนติดตั้งบนฐานแบบสจิวต์แพลตฟอร์ม (Stewart platform) เพื่อจำลองสถานการณ์เมื่อป้อมปืนมีการเคลื่อนที่ โครงสร้างทั้งหมดมีความสูง 120 เซนติเมตร ฐานเป็นวงกลมรัศมี 45 เซนติเมตร โดยป้อมปืนมีกล้องสองตัวสำหรับค้นหาและติดตามเป้าหมาย การค้นหาเป้าหมายจะนำแพตเทิร์นแมตชิ่ง (Pattern matching) ของแมชชีนวิชัน (Machine vision) แบบการค้นหาที่ไม่ผันแปรตามการเปลี่ยนตำแหน่งและมุม (Shift and rotation invariant) ของวัตถุมาประยุกต์ใช้ การติดตามเป้าหมายใช้อัลกอริทึมการติดตามวัตถุแบบมีนชิฟ (Mean shift) โดยส่งค่าคลาดเคลื่อนระหว่างเป้าหมายที่ติดตามเทียบกับตำแหน่งกึ่งกลางของการรับภาพป้อนกลับจากกล้อง เพื่อนำไปควบคุมมอเตอร์ของกล้องทั้งแกนแนวตั้งและแนวนอน จากผลการทดลอง ระบบอาวุธควบคุมระยะไกลของป้อมปืนสามารถค้นหาและติดตามเป้าหมายได้ดี ทั้งกรณีที่ป้อมปืนเคลื่อนที่และ/หรือเป้าหมายเคลื่อนที่ โดยไม่จำเป็นต้องใช้เครื่องซูเปอร์คอมพิวเตอร์ในการประมวลผลแบบทันทีในแต่ละเฟรมภาพ

คำหลัก: ระบบอาวุธควบคุมระยะไกล; ระบบควบคุมอัตโนมัติ; แมชชีนวิชัน; มีนชิฟ; แพตเทิร์นแมตชิ่ง

Abstract

The remote control system looks like weapon station that the operator needs to be in a safe place or in a cover. Finding and tracking objects for most remote weapons control systems are manual control, which requires a lot of user experience. Also, most automatic control technology is expensive



and does not have technical disclosure. This article presents the prototypes of remote weapons station and the control system design for seeking and tracking objects with visual navigation for facilitate shooting aim of military on duty by seeking and tracking targets automatically while the target moves. The prototype consists of a turret mounted on a Stewart platform for simulate a situation when the turret is moving. The entire structure is 120 centimeters high, with a radius of 45 centimeters. The turret has two cameras for seeking and tracking. Target seeking will use pattern matching of machine vision to apply by shift and rotation invariant model. Target tracking use the mean-shift algorithm. By sending a discrepancy between the tracking target and the center of the camera's feedback to control the motor of both vertical and horizontal axis. Based on experimental results, the remote control system of the turret can find and track targets well. In both cases, the turrets move and / or move targets with no supercomputer is required for immediate processing in each frame.

Keywords: Remote Weapon System; Automatic Control System; Machine Vision; Mean Shift; Pattern Matching

1. บทนำ

ปัจจุบันในต่างประเทศมีการแข่งขันกันในด้านเทคโนโลยีมากขึ้น และเทคโนโลยีทางทหารเป็นหนึ่งใน การแข่งขันนั้น โดยทหารเป็นอาชีพที่ต้องเสี่ยงภัย เนื่องจากภัยคุกคามทั้งจากภายใน และนอกประเทศ ทหารส่วนใหญ่จึงอยู่ในสภาวะเตรียมพร้อมอยู่เสมอ และ เทคโนโลยีทางด้านทางทหารของประเทศไทยยัง จำเป็นต้องมีการพัฒนาอยู่เสมอ โดยประเทศไทยการ นำเข้าเทคโนโลยีทางทหารและอาวุธยุทโธปกรณ์ที่มี ประสิทธิภาพจากประเทศเป็นจำนวนมาก เพื่ออำนวยความสะดวกในการปฏิบัติงานและทำให้เกิดการสูญเสียชีวิต ทหารน้อยที่สุด แต่จะต้องสูญเสียงบประมาณเป็นจำนวน มากในการนำเข้าเทคโนโลยีอาวุธยุทโธปกรณ์และการ ซ่อมบำรุงจากต่างประเทศ

จากปัญหาข้างต้นจึงทำให้เกิดแนวคิดในการพัฒนา ระบบอาวุธควบคุมระยะไกลขึ้น จุดประสงค์ของงานวิจัย นี้คือ การสร้างเครื่องต้นแบบที่มีการควบคุมตามแบบ ความต้องการทางทหาร โดยจะเป็นลักษณะของป้อมปืนที่ ทหารสามารถควบคุมอาวุธในขณะที่อยู่ในสถานที่ปลอดภัย

หรือหลังเกราะกำบัง และอำนวยความสะดวกในการเล็ง ยิงของทหารที่กำลังปฏิบัติหน้าที่ ซึ่งจะทำการค้นหาและ ติดตามเป้าหมายอัตโนมัติในขณะที่เป้าหมายมีการเคลื่อนที่ โดยการนำแมชชีนวิชั่นมาประยุกต์ใช้ร่วมกับระบบ ควบคุม คือ การค้นหาที่ไม่ผันแปรตามการเปลี่ยน ตำแหน่งและมุมการวางตัวของวัตถุผ่านแพตเทิร์นแมตชิ่ง และอัลกอริทึมการติดตามวัตถุแบบมินชิฟ

2. การออกแบบชุดฐานอาวุธควบคุมระยะไกล

ระบบฐานอาวุธควบคุมระยะไกลในระดับ ห้องปฏิบัติการ (Lab-Scale Remote Weapon Station, Lab-Scale RWS) พัฒนาขึ้นเพื่อศึกษาการทำงาน และใช้พัฒนาไปแกรมควบคุมการทำงานของฐาน อาวุธควบคุมระยะไกล เพื่อนำไปสู่การสร้างฐานอาวุธ ควบคุมระยะไกลเพื่อใช้งานจริง ฐานอาวุธควบคุม ระยะไกลในระดับห้องปฏิบัติการ ประกอบด้วย ส่วนประกอบ 2 ส่วนใหญ่ๆคือ ชุดฐานอาวุธควบคุม ระยะไกล และ ระบบจำลองการเคลื่อนที่ของยานพาหนะ ดังแสดงในรูปที่ 1 ชุดฐานอาวุธควบคุมระยะไกล

ประกอบด้วยระบบ 2 ระบบ คือ ระบบตรวจจับวัตถุ (Object Seeking System) ระบบติดตามวัตถุ (Object Tracking System) ระบบในระดับห้องปฏิบัติการนั้น การตรวจจับวัตถุจะตรวจจับด้วยกล้อง เมื่อพบวัตถุ จะเข้าสู่ภาวะติดตามวัตถุ ซึ่งจะนำข้อมูลจากกล้องมาประมวลผล และส่งคำสั่งไปยังมอเตอร์เพื่อให้ระบบเคลื่อนที่ตามวัตถุ การติดตามวัตถุจะรวมถึงระบบรักษาเสถียรภาพ (Stabilizing System) ของฐานอาวุธด้วย ส่วนระบบจำลองการเคลื่อนที่ของยานพาหนะจะจำลองด้วยสจวร์ตแพลตฟอร์ม (Stewart Platform) ซึ่งเป็นแพลตฟอร์มที่สามารถจำลองการเคลื่อนที่ได้ 6 องศาอิสระ

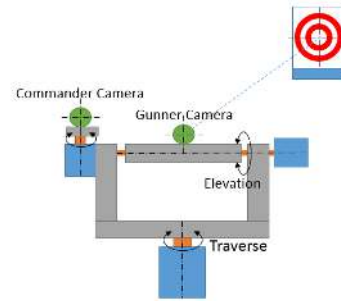


ชุดฐานอาวุธควบคุมระยะไกล

ระบบจำลองการเคลื่อนที่ของยานพาหนะ

รูปที่ 1 ระบบฐานอาวุธควบคุมระยะไกลในระดับห้องปฏิบัติการ

ชุดฐานอาวุธควบคุมระยะไกลประกอบด้วย กล้อง 2 ตัว และมอเตอร์ 3 ตัว โดยกล้องตัวแรกเป็นกล้องตรวจการ หรือ Commander Camera สามารถหมุนได้ ซ้าย-ขวา โดยการขับจากมอเตอร์ ทำหน้าที่หมุนสำรวจและตรวจจับวัตถุ กล้องตัวที่สองเป็นกล้องตามกระบอกปืน หรือเรียกว่า Gunner Camera สามารถหมุนได้ ซ้าย-ขวา และ ขึ้น-ลง จากการขับของมอเตอร์ 2 ตัว โดยชุดฐานอาวุธควบคุมระยะไกลแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 ฐานอาวุธควบคุมระยะไกลระดับห้องปฏิบัติการ

3. การออกแบบโปรแกรมค้นหาวัตถุ

สำหรับระบบการค้นหาวัตถุของฐานอาวุธควบคุมระยะไกลจะใช้การค้นหาแบบแพตเทิร์นแมตชิ่ง (Pattern matching) หรือ เทมเพลตแมตชิ่ง (Template matching) ทำการค้นหาความคล้ายคลึงระหว่างบริเวณในภาพทดสอบ (ที่มักมีขนาดเดียวกับเทมเพลต) กับภาพเทมเพลต ซึ่งบริเวณในภาพทดสอบที่พบภาพเทมเพลตดังกล่าวจะถูกเรียกว่า เทมเพลต โดยค่าคะแนนความคล้ายคลึงที่คำนวณออกมานั้นเรียกว่า ค่าคะแนนการจับคู่ (Matching score) หรือ ค่าคะแนนความคล้าย (Similarity score) โดยหากค่าคะแนนความคล้ายมีค่ามาก แสดงว่าบริเวณดังกล่าวในภาพมีความคล้ายคลึงหรือเหมือนกันมากกับภาพอ้างอิง โดยเทมเพลตแมตชิ่งจะให้ข้อมูลดังต่อไปนี้คือ

- คะแนนความคล้ายกันของเทมเพลตที่พบว่ามี ความคล้ายกันกับภาพเทมเพลตเพียงไร
- จำนวนของเทมเพลตที่สามารถค้นเจอ
- ตำแหน่งและมุมการวางตัวของเทมเพลตที่ค้นเจอ
- เปอร์เซ็นขนาดของแต่ละเทมเพลตเมื่อเปรียบเทียบกับภาพเทมเพลต

วิธีการนี้สามารถทำงานได้ดีถึงแม้ว่าภาพที่พิจารณาจะมีลักษณะเบลอหรือถูกรบกวนโดยสัญญาณรบกวน รวมถึงในกรณีที่มีการวางตัวของวัตถุในภาพผ่านการแปลงเชิงเรขาคณิต ได้แก่ การเลื่อนตำแหน่ง (Translation) การหมุน (Rotation) และการเปลี่ยนแปลงขนาด (Scaling) ที่ไม่มากนัก

วิธีการวัดค่าความคล้ายของเทคนิคแพทเทิร์นแมตซิงส่วนใหญ่มักอยู่บนพื้นฐานของการทำคอร์รีเลชัน (Correlation) กล่าวคือ อัลกอริทึมจะใช้การเปรียบเทียบแบบพิกเซลที่ตรงกันของภาพอ้างอิงและบริเวณของภาพทดสอบ ซึ่งวิธีการวัดค่าความคล้ายด้วยวิธีคอร์รีเลชันมีหลายวิธี โดยวิธีการพื้นฐานที่มีผู้นิยมใช้โดยทั่วไป ได้แก่ Sum of Absolute Difference (SAD) ซึ่งแสดงในสมการที่ (1)

$$SAD(i, j) = \sum_{x=0}^{L-1} \sum_{y=0}^{K-1} |w(x, y) - f(x + i, y + j)| \quad (1)$$

และ Square Difference (SSD) ดังสมการที่ (2)

$$SSD(i, j) = \sum_{x=0}^{L-1} \sum_{y=0}^{K-1} [w(x, y) - f(x + i, y + j)]^2 \quad (2)$$

เมื่อ w คือ ภาพอ้างอิงขนาด $L \times K$ และ f คือ ภาพทดสอบขนาด $N \times M$ ใดๆ

วิธีการทั้งสองนี้จะให้ค่าต่ำในบริเวณที่มีความคล้ายคลึงกับระหว่าง 2 ภาพ โดยมันมีการคำนวณน้อยกว่า NCC ที่จะกล่าวต่อไป มันมักจะถูกใช้กับภาพจากระบบรับภาพซึ่งสามารถควบคุมสภาพแสงได้คงที่ แต่ถ้าไม่ใช่กรณีเช่นนั้น วิธีการ NCC จะให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่ามาก

NCC เป็นการวัดค่าความคล้ายที่ให้ผลดีในกรณีระดับความเข้มแสงของทุกพิกเซลในภาพ [1] มีการเปลี่ยนแปลงแบบเชิงเส้นจากภาพหนึ่งไปยังอีกภาพหนึ่ง โดยค่า NCC ของตำแหน่งพิกเซล (i, j) สามารถคำนวณได้ตามสมการที่ (3) เมื่อ \bar{w} คือค่าเฉลี่ยของภาพอ้างอิง และ $\bar{f}(i, j)$ คือค่าเฉลี่ยของบริเวณในภาพทดสอบที่มีขนาดเดียวกับภาพอ้างอิงและมีจุดอ้างอิงเป็น (i, j)

หลักการแพทเทิร์นแมตซิงที่กล่าวมาข้างต้น ใช้สำหรับการค้นหาที่ไม่ผันแปรตามตำแหน่งซึ่งปกติแล้ว NCC สามารถตรวจจับเทมเพลตที่มีขนาดประมาณภาพอ้างอิง และมีมุมเปลี่ยนไปได้ไม่เกิน 5 ถึง 10 องศา ซึ่งในงานการตรวจจับเทมเพลตที่อาจมีขนาดและมุมเปลี่ยนแปลงไปมากกว่านั้น แพทเทิร์นแมตซิงจะให้ค่าคะแนนความคล้ายต่ำออกมา ซึ่งมักได้รับการแก้ไขโดยการสร้างชุดของภาพเทมเพลตที่มีขนาดและมุมที่แตกต่างกัน วิธีการนี้ทำได้

การค้นหาที่ไม่ผันแปรตามการเปลี่ยนขนาดและมุมการวางตัว (Scale and rotation invariant matching) ซึ่งส่งผลให้มีการคำนวณที่สูงขึ้นมากอย่างไรก็ตาม อัลกอริทึมในไลบรารีส่วนใหญ่ รวมทั้ง NI Vision ได้พัฒนาแพทเทิร์นแมตซิงให้

สามารถรองรับการค้นหาที่ไม่ผันแปรตามการเปลี่ยนแปลงมุมการวางตัว [2] ส่วนกรณีการค้นหาที่ไม่ผันแปรตามการเปลี่ยนขนาด ผู้ใช้อาจต้องพึ่งเทคนิคการค้นหาเทมเพลตทางเรขาคณิต

4. การออกแบบโปรแกรมติดตามวัตถุ

การติดตามวัตถุคือการค้นหาหรือการแมชชิ่งวัตถุที่พบจากเฟรมก่อนหน้ากับวัตถุในเฟรมปัจจุบัน โดยมีกาด้อยข้อมูลเชิงลักษณะปรากฏ (Appearance) ร่วมกับข้อมูลเชิงการเคลื่อนที่ (Motion) ของวัตถุมีงานหลายประเภทที่เราสามารถนำการติดตามวัตถุมาใช้ได้เช่น การติดตามยานพาหนะหรือคนเดินถนนในวิดีโอสำหรับการตรวจตราและการรักษาความปลอดภัย การติดตามเซลล์ในชุดภาพทางการแพทย์ การติดตามเส้นทางเคลื่อนที่ของวัตถุสำหรับนำทางหุ่นยนต์เคลื่อนที่ และการติดตามอวัยวะที่สำคัญของร่างกายเพื่อวิเคราะห์ท่าทางสำหรับการปฏิสัมพันธ์ระหว่างคนกับเครื่องคอมพิวเตอร์ ซึ่งสำหรับการติดตามวัตถุของฐานอาวุธควบคุมระยะไกลจะใช้ อัลกอริทึมการติดตามวัตถุแบบ Mean Shift โดย NI Vision มีชุดคำสั่งสำหรับการติดตามวัตถุด้วยอัลกอริทึมนี้ [3]

การติดตามวัตถุด้วยอัลกอริทึม Mean Shift [4] สามารถแบ่งการใช้งานเป็น 2 เฟสหลัก คือ เฟสการสร้างโมเดลของวัตถุเป้าหมาย และเฟสการติดตามวัตถุเป้าหมาย

4.1 เฟสการสร้างโมเดลของวัตถุเป้าหมาย

โมเดลเชิงลักษณะปรากฏประกอบด้วยโมเดลสีและโมเดลรูปร่างของวัตถุเป้าหมาย โดยโมเดลจะอยู่ในรูปแบบของฮิสโทแกรมแบบนอร์มอลไลซ์ที่ถือเป็นการ

ประมาณฟังก์ชันการกระจายความน่าจะเป็นของสีวัตถุ [5] โดยอยู่บนสมมติฐานว่าสีของพิกเซลของวัตถุในบริเวณใกล้จุดศูนย์กลางมวล (Centroid) จะมีความ

$$NCC(i, j) = \frac{\sum_{x=0}^{L-1} \sum_{y=0}^{K-1} [w(x, y) - \bar{w}] [f(x+i, y+j) - \bar{f}(i, j)]}{[\sum_{x=0}^{L-1} \sum_{y=0}^{K-1} (w(x, y) - \bar{w})^2]^{1/2} [\sum_{x=0}^{L-1} \sum_{y=0}^{K-1} (f(x+i, y+j) - \bar{f}(i, j))^2]^{1/2}} \quad (3)$$

ถ้ากำหนดให้ $\{x_i\}_{i=1, \dots, n}$ คือเซตของตำแหน่งพิกเซลภายในบริเวณวัตถุเป้าหมายซึ่งมีจุดศูนย์กลางมวลอยู่ที่ตำแหน่งพิกเซล \bar{x} เราจะสามารถสร้างฮิสโทแกรมขนาด m บินโดยบินที่ u ของมันมีค่าเป็นดังสมการที่ (4)

$$\hat{q}_n = C \sum_{i=1}^n k \left(\frac{\|x_i - \bar{x}\|^2}{h} \right) \delta[b(x_i) - u] \quad (4)$$

เมื่อ $k(\cdot)$ คือฟังก์ชันโพราไฟล์ของเคอร์เนล $K(\cdot)$ ที่ใช้ในการประมาณฟังก์ชันการกระจายความน่าจะเป็นแบบหลายตัวแปร (Multivariate kernel density estimation) โดยที่ $k(\|x\|^2) = K(x)$ โดยมี h เป็นแบนด์วิดท์ (Bandwidth) ของเคอร์เนล $\delta[x]$ คือฟังก์ชันเดลตาโครเนกเกอร์ (Kronecker delta function) ซึ่งให้ค่าเป็น 1 เมื่อ x มีค่าเป็น 0 และให้ค่า 0 สำหรับ x ค่าอื่น ส่วน $b(x)$ คือฟังก์ชันคือค่าตำแหน่งบินในฮิสโทแกรมซึ่งครอบคลุมค่าสีของตำแหน่งพิกเซล x ของวัตถุเป้าหมาย และค่า C คือค่าคงที่ที่ใช้สำหรับนอร์มอลไลซ์ฮิสโทแกรมโดย

$$C = \frac{1}{\sum_{i=1}^n k \left(\frac{\|x_i - \bar{x}\|^2}{h} \right)}$$

ซึ่งทำให้ $\sum_{u=1}^m \hat{q}_u = 1$

โมเดลนี้สามารถเปลี่ยนแปลงได้ตามสีที่ปรากฏของวัตถุเป้าหมายในเฟรมถัดๆไป

4.2 เฟสการติดตามวัตถุเป้าหมาย

ในเฟสการติดตามวัตถุเป้าหมาย อัลกอริทึมจะประมาณตำแหน่งที่ดีที่สุดของวัตถุเป้าหมายในแต่ละเฟรมภาพ โดยการประมาณเป็นการทำซ้ำขั้นตอนที่แสดงด้านล่าง จนกว่าตำแหน่งวัตถุเป้าหมายจะเข้าสู่ตำแหน่งสุดท้าย (Convergence) หรือถึงเงื่อนไขสิ้นสุดการทำซ้ำที่ผู้ใช้กำหนด (เช่นถึงจำนวนรอบที่มากที่สุดที่ยอมให้ทำซ้ำ) โดยในตอนเริ่มต้น ตำแหน่งวัตถุที่ประมาณได้จาก

นำเชื่อถือว่าจะเป็นสีของมันมากกว่าสีของพิกเซลที่อยู่

ที่ ำ ง อ อ ก ใ ป

โมเดลเชิงการเคลื่อนที่ของเฟรมภาพที่ผ่านมาจะถูกใช้เป็นตำแหน่งของวัตถุแข่งขัน ในขณะที่โมเดลรูปทรงของวัตถุแข่งขันจะเป็นโมเดลที่ได้จากเฟรมภาพที่ผ่านมา

4.2.1 การสร้างโมเดลของวัตถุแข่งขัน

จากตำแหน่งของวัตถุแข่งขัน \bar{y}_0 และรูปทรงของมัน ถ้า $\{y_i\}_{i=1, \dots, n_b}$ คือเซตของตำแหน่งพิกเซลภายในบริเวณของวัตถุแข่งขัน อัลกอริทึมจะสร้างฮิสโทแกรมสีขนาด m บินเช่นเดียวกับของวัตถุเป้าหมาย โดยที่บินที่ u ของมันมีค่าเป็นดังสมการที่ (5)

$$\hat{p}_u(\bar{y}_0) = C_h \sum_{i=1}^{n_b} k \left(\frac{\|y_i - \bar{y}_0\|^2}{h} \right) \delta[b(y_i) - u] \quad (5)$$

ค่า C_h คือค่าคงที่ที่ใช้นอร์มอลไลซ์ฮิสโทแกรมโดย

$$C_h = \frac{1}{\sum_{i=1}^{n_b} k \left(\frac{\|y_i - \bar{y}_0\|^2}{h} \right)}$$

ซึ่งทำให้ $\sum_{u=1}^m \hat{p}_u(\bar{y}_0) = 1$ แล้วคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ภัทรชยะ (Bhattacharyya coefficient) ระหว่างวัตถุแข่งขันกับวัตถุเป้าหมาย ดังสมการที่ (6)

$$\rho[\hat{p}(\bar{y}_0), \hat{q}] = \sum_{u=1}^m \sqrt{\hat{p}_u(\bar{y}_0) \hat{q}_u} \quad (6)$$

4.2.2 การประมาณตำแหน่งและรูปทรงของวัตถุแข่งขัน

ตำแหน่งใหม่ของวัตถุแข่งขันสามารถประมาณได้โดยสมการที่ (7)

$$\bar{y}_1 = \frac{\sum_{i=1}^{n_b} y_i w_i g \left(\frac{\|y_i - \bar{y}_0\|^2}{h} \right)}{\sum_{i=1}^{n_b} w_i g \left(\frac{\|y_i - \bar{y}_0\|^2}{h} \right)} \quad (7)$$

เมื่อ $g(x) = -k'(x)$ และ

$$w_i = \sum_{u=1}^m \sqrt{\frac{\hat{q}_u}{\hat{p}_u(\bar{y}_0)}} \delta[b(y_i) - u]$$

4.2.3 การหาตำแหน่งใหม่ที่ดีกว่าเดิมของวัตถุแข่งขัน

หลังจากได้ตำแหน่งใหม่ของวัตถุแข่งขัน จะเป็นการทดสอบว่าตำแหน่งใหม่นี้ดีขึ้นกว่าเดิมหรือไม่ ถ้าไม่ดีขึ้นจะปรับตำแหน่งให้มีการเคลื่อนที่ที่น้อยลงจากตำแหน่งเริ่มต้น (\bar{y}_0) จนกว่าจะได้ตำแหน่งที่ดีขึ้นหรือได้ข้อสรุปว่าไม่มีตำแหน่งใหม่ที่ดีกว่าเดิม (ตำแหน่งใหม่ห่างจากตำแหน่งเดิมไม่เกิน ϵ พิกเซล) โดยสามารถสรุปเป็นขั้นตอนดังนี้

- คำนวณ $\hat{p}_u(\bar{y}_1)$
- คำนวณค่า $\rho[\hat{p}(\bar{y}_1), \hat{q}]$
- ถ้า $\rho[\hat{p}(\bar{y}_1), \hat{q}] < \rho[\hat{p}(\bar{y}_0), \hat{q}]$ และ $\|y_i - \bar{y}_0\| > \epsilon$ แล้วให้ $\bar{y}_1 = \frac{1}{2}(\bar{y}_0 + \bar{y}_1)$ แล้วกลับไปทำขั้นตอน a) ใหม่ แต่ถ้าเงื่อนไขไม่เป็นจริงให้ทำขั้นตอนที่ 4.2.4 ต่อไป

4.2.4 เงื่อนไขการสิ้นสุดการทำซ้ำ

จากขั้นตอนที่แล้ว ถ้ามีตำแหน่งที่ดีกว่าเดิม อัลกอริทึมจะกำหนดให้ $\bar{y}_0 = \bar{y}_1$ แล้วกลับไปเริ่มตั้งแต่วขั้นตอนที่ 3.2.1 แต่ถ้าไม่มีตำแหน่งใหม่ที่ดีกว่าเดิมหรือจำนวนรอบการทำซ้ำถึงค่าที่มากที่สุดที่ยอมให้ทำซ้ำได้ มันจะสิ้นสุดการทำซ้ำ โดยจะปรับปรุงโมเดลเชิงการเคลื่อนที่ของวัตถุเป้าหมายตามโมเดลของวัตถุแข่งขันตัวล่าสุด และผสมผสานโมเดลเชิงลักษณะปรากฏระหว่างโมเดลของวัตถุเป้าหมายเดิมกับโมเดลของวัตถุแข่งขันตัวล่าสุด โดยควบคุมการผสมผสานด้วยพารามิเตอร์การผสม (Blending parameter) และเป็นขั้นตอนมากที่สุดที่ยอมให้มีได้ของการเปลี่ยนแปลงขนาดมุมหมุน และการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง

5. การออกแบบระบบไฟฟ้าและการควบคุมการค้นหาลูกบอลและติดตามวัตถุ

ทำการออกแบบโดยมีคอมพิวเตอร์เป็นศูนย์กลางในการควบคุม ซึ่งจะมีกล้อง 2 ตัว และก้านควบคุม (Joystick) ต่อโดยตรง เป็นส่วนรับสัญญาณขาเข้า และส่งสัญญาณควบคุมออกไปที่ NI DAQ เพื่อไปสั่งการตัวขับเคลื่อนมอเตอร์ให้ขับเคลื่อนมอเตอร์ไปในตำแหน่งที่ต้องการ โดยตัวขับ

มอเตอร์จะต่อกับแหล่งจ่ายไฟเพื่อขับเคลื่อนมอเตอร์ ต่อมามอเตอร์เอ็นโค้ดเดอร์จะส่งสัญญาณกลับมาที่ NI DAQ เพื่อระบุตำแหน่งของมอเตอร์ในขณะนั้น ดังรูปที่ 3 เป็นแผนผังการต่อวงจรอย่างง่ายของฐานอาวุธควบคุมระยะไกล



รูปที่ 3 แผนผังการต่อวงจรอย่างง่าย

6. วิธีการทดลองและผลการทดลอง

การค้นหาลูกบอล ในโปรแกรมผู้ใช้งานจำเป็นต้องมีเทมเพลตสำหรับใช้เป็นต้นแบบในการค้นหาเป้าหมาย ซึ่งโปรแกรมออกแบบมาให้สามารถหาเทมเพลตได้ในขณะที่ใช้งานอยู่ผ่านกล้อง Commander โดยใช้เมาลากกรอบลงในวัตถุที่ต้องการให้เป็นเทมเพลตและสามารถปรับค่าการใช้งานได้ดังนี้

- Max # of Matches คือ จำนวนวัตถุที่ต้องการค้นหาสูงสุดเรียงจากคะแนนที่มากที่สุด
- Minimum Score คือ ค่าคะแนนต่ำสุดที่บ่งบอกว่าวัตถุนั้นเหมือนกับเทมเพลต มีค่า 0 ถึง 1000

ค่าที่ได้จากการค้นหาลูกบอลมีดังนี้

- Number of Matches คือ จำนวนวัตถุที่ค้นหาเจอ
- Position คือ ตำแหน่งกึ่งกลางของวัตถุที่หาเจอระบุเป็นพิกัด X และ Y มีหน่วยเป็นพิกเซล
- Score คือ คะแนนความเหมือนของวัตถุกับเทมเพลต มีค่า 0 ถึง 1000

ทดลองทำการค้นหาลูกบอลในห้อง โดยตั้งค่า Max # of Matches เท่ากับ 3 และ Minimum Score เท่ากับ 600 ผลลัพธ์ คือ เจอกอง 2 ใบ ใบแรกที่ตำแหน่ง X เท่ากับ 934.56 และ Y เท่ากับ 740.02 มี Score เท่ากับ

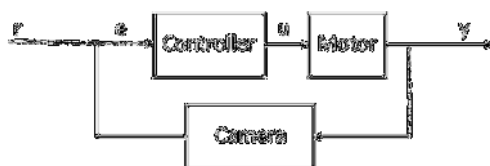
984.1 ส่วนใบที่สองที่ตำแหน่ง X เท่ากับ 525.40 และ Y เท่ากับ 612.80 มี Score เท่ากับ 655.7 โดยจะมีกรอบสี่เหลี่ยมสีแดงที่กรอบรอบกล่องดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 การค้นหากล่องโดยแพตเทิร์นแมตซิง

การติดตามวัตถุ ในโปรแกรมผู้ใช้งานจำเป็นต้องมี ROI (Region of Interest) สำหรับบอกตำแหน่งเริ่มต้นของวัตถุและสร้างโมเดลของวัตถุ ซึ่งโปรแกรมออกแบบมาให้สามารถหา ROI ได้ในขณะที่ใช้งานอยู่ผ่านกล้อง Gunner โดยกดปุ่มติดตามและสามารถปรับขนาดของ ROI โดยใช้เมาส์ลากเพื่อปรับขนาด ผู้ใช้งานสามารถตั้งค่า Minimum Score สำหรับเป็นเงื่อนไขของค่าความเหมือนในเฟรมก่อนหน้า (มีค่า 0 ถึง 1000)

การควบคุมมอเตอร์เพื่อให้หันกล้องติดตามวัตถุได้ โดยใช้ค่า e หรือค่าความคลาดเคลื่อน (Error) ที่มาจากผลต่างระหว่างค่า r หรือค่าอ้างอิง (Reference) ซึ่งในที่นี้จะใช้ค่าจุดกึ่งกลางของกล้อง กับตำแหน่งของวัตถุในขณะนั้นของค่าป้อนกลับที่มาจากกล้อง มีหน่วยเป็นพิกเซล เข้าไปในตัวควบคุม (Controller) เพื่อไปสั่งตัวขับมอเตอร์ให้หันตามวัตถุทั้งแกนแนวตั้งและแนวนอนดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 การควบคุมมอเตอร์เพื่อให้หันกล้องติดตาม

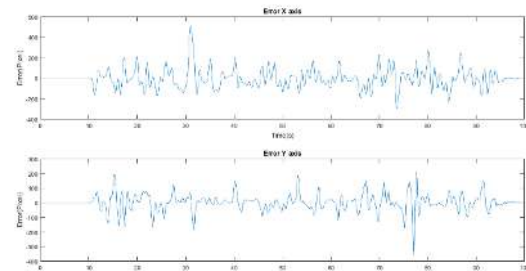
ทดลองทำการติดตามใบหน้าโดยตั้งค่า Minimum Score เท่ากับ 700 ใช้อัลกอริทึม Mean Shift โดยมี

Number of Histogram Bins เท่ากับ 12 มี Blending Parameter เท่ากับ 20% และ Maximum Iteration เท่ากับ 15 ตัวควบคุมคือ PID Controller ผลลัพธ์ คือสามารถติดตามใบหน้าได้ โดยจะมีกรอบสี่เหลี่ยมสีแดงที่กรอบรอบวัตถุที่ติดตาม กรอบสี่เหลี่ยมคือ ROI มีจุดอ้างอิงคือกึ่งกลางของกล้องหรือตรงกลางเครื่องหมายบวกสีขาว ดังรูปที่ 6

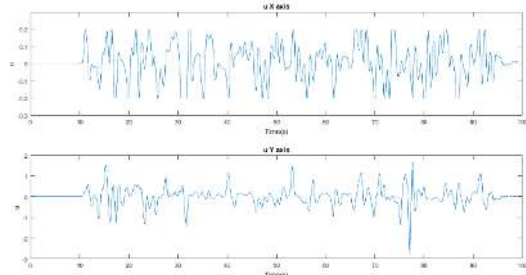


รูปที่ 6 การติดตามใบหน้าโดยใช้อัลกอริทึม Mean Shift

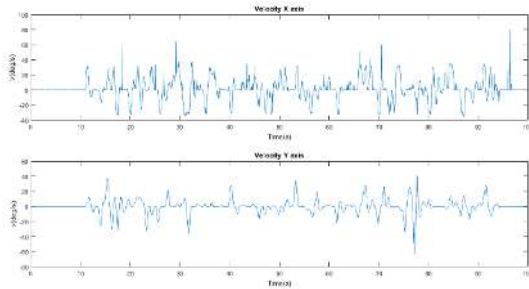
ทำการวัดค่าคลาดเคลื่อน สัญญาณอนาล็อก และความเร็วเชิงมุมของฐานอาวุธควบคุมระยะไกลในขณะเคลื่อนที่เป้าหมายแบบสุ่มทั้งสองแกน ได้ผลดังรูปที่ 7 และการติดตามดังรูปที่ 8



รูปที่ 7(a) กราฟแสดงความคลาดเคลื่อน



รูปที่ 7(b) กราฟแสดงสัญญาณอนาล็อก



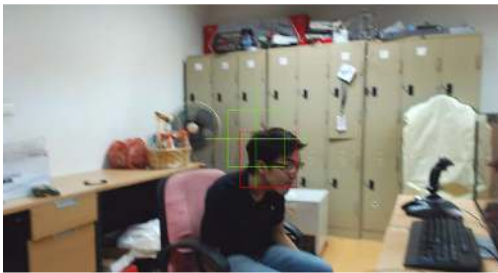
รูปที่ 7(c) กราฟแสดงความเร็วเชิงมุม



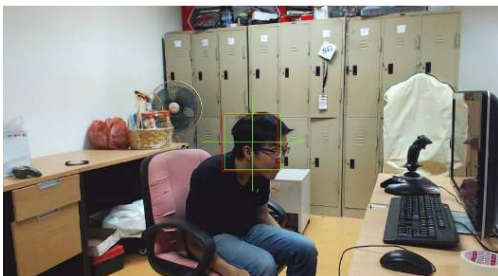
รูปที่ 8(a) การติดตามใบหน้าเฟรมที่ 1957



รูปที่ 8(b) การติดตามใบหน้าเฟรมที่ 1969



รูปที่ 8(c) การติดตามใบหน้าเฟรมที่ 1978



รูปที่ 8(d) การติดตามใบหน้าเฟรมที่ 1989

5. สรุป

การใช้การค้นหาแบบแพตเทิร์นแมตชิงสามารถตรวจจับเท็มเพลตที่มีขนาดประมาณภาพอ้างอิงและมีมุมเปลี่ยนไปได้ไม่เกิน 5 ถึง 10 องศา แต่สามารถการแก้ไขโดยการสร้างชุดของภาพเท็มเพลตที่มีขนาดและมุมที่แตกต่างกัน ซึ่งส่งผลให้มีการคำนวณที่สูงขึ้นมาก ในส่วนการติดตามวัตถุด้วยอัลกอริทึม Mean Shift สามารถติดตามได้ โดยไม่จำเป็นต้องใช้การคำนวณสูง และปัจจัยสำคัญที่มีผลของการติดตามวัตถุคือ ความเร็วในการรับภาพของกล้อง การเปลี่ยนแปลงของแสงอย่างฉับพลัน รวมถึงความเร็วของการหันกล้องติดตามเป้าหมาย เนื่องจากอัลกอริทึมนี้ใช้โมเดลสีและตำแหน่งเก่าของเฟรมที่ผ่านมาในการค้นหาตำแหน่งใหม่ของเฟรมถัดไป

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจาก สถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ(สทป.)

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] Kai Briechele, Uwe D. Hanebeck. Template Matching using Fast Normalized Cross Correlation. 2001:2
- [2] Shuprajhaa T, Subasree S, Vaitheeshwari M, Sivakumar S. A review on Image Processing techniques using Pattern matching in LabVIEW. IJAERA. 2016 Mar;1(11).
- [3] Divya M, Dr. Ravi kumar A V. Single Object Tracking System By Using Labview. IJRITCC. 2016 May;4(5).
- [4] Dorin Comaniciu, Visvanathan Ramesh and Peter Meer, Real-Time Tracking of Non-Rigid Objects using Mean Shift, IEEE. 2000.
- [5] Mahesh Kumar Chouhan, Rahul Mishra, Dr. Dhiiraj Nitnawwre. Movable Object tracking by using Mean Shift method with Adjusted Background Histogram. IJARCSE. 2012 July;2(7).