

การพัฒนาระบบควบคุมกล้องอัตโนมัติ ในการติดตามเป้าหมายเคลื่อนที่ของอากาศยานไร้คนขับ

Development of Automatic Camera Control System for Moving Target Tracking of UAV

ชาติ อุทธิศิริชัย\* อนุชิต เจริญ\* วิญญู แสงวงอินทกิจ\* ณธรรม เกิดสำอางค์\* และ คมกฤษ แก่นทอง\*

\*สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี wonyu.saw@kbu.ac.th

สาขาวิชาเทคโนโลยีไฟฟ้าอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการพัฒนาการควบคุมกล้องอัตโนมัติในการติดตามเป้าหมายเคลื่อนที่ของอากาศยานไร้คนขับที่ต้องมีการบินในภาคกระแวน และเฝ้าตรวจการ ดังนั้นจึงต้องมีการพัฒนาระบบควบคุมกล้องอัตโนมัติขึ้นใช้งาน ซึ่งงานวิจัยนี้ได้ทำการประยุกต์การติดตามเป้าหมายเคลื่อนที่ด้วยวิธี Minimum Output Sum of Squared Error (MOSSE) [1][2] และออกแบบระบบการควบคุมกล้องอัตโนมัติ โดยใช้ตัวควบคุมพีซีทีไอฟัซซี่ [3][4] เพื่อให้กิมบอลส์ (Gimbals) ของกล้องสามารถซ้ายและก้มเงย (Pan and Tilt) ได้ตามการเคลื่อนที่ของเป้าหมาย ซึ่งผลการทดลองแสดงภาพเป้าหมายเคลื่อนที่ไม่ให้หลุดจากจอมอนิเตอร์และสามารถควบคุมให้อยู่ตรงกลางจอมอนิเตอร์ได้ตลอดเวลา

คำสำคัญ: การติดตามเป้าหมายเคลื่อนที่, อากาศยานไร้คนขับ

Abstract

This paper presents the development of automatic tracking camera system for moving target of UAV. This research implements the tracking algorithm of the Minimum Output Sum of Squared Error (MOSSE) [1][2]. The gimbals can automatically control pan and tilt angle by Fuzzy PI+D controller [3][4] according to the movement of the target on the monitor. Moreover the experiment can be shown that the target image can't moving away from the monitor and try to control it in the middle of the monitor all the time.

Keywords: Moving Target Tracking, Unmanned Aerial Vehicle

1. บทนำ

การพัฒนาการควบคุมกล้องอัตโนมัติขึ้นใช้งานนั้น สิ่งสำคัญในการประมวลผลภาพก็ต้องสามารถทำงานได้อย่างรวดเร็ว การคำนวณไม่ซับซ้อน ใช้ทรัพยากรในการประมวลผลน้อยแต่ให้ประสิทธิภาพในการทำงานที่ดี อัลกอริทึมของ MOSSE ใช้ค่าค่าสุดของผลรวมกำลังสองของข้อผิดพลาดของข้อมูลที่ต้องการติดตาม ภายในบริเวณภาพที่สนใจ ซึ่งมีข้อดีคือ สามารถติดตามวัตถุที่มีการเปลี่ยนแปลงทั้งรูปร่างและขนาดได้ ถ้า

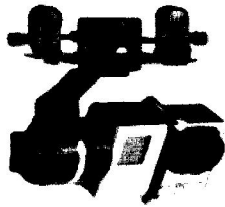
หากวัตถุไม่ถูกบดบังทั้งหมดจากสิ่งกีดขวาง อัลกอริทึมของ MOSSE จะยังคงมีแนวโน้มติดตามวัตถุได้จากข้อมูลที่เหลืออยู่ภายในหน้าต่างการค้นหา การประมวลผลภาพโดยใช้วิธีนี้จะติดตามได้อย่างต่อเนื่อง ทำให้การติดตามวัตถุที่มีการเปลี่ยนแปลงของรูปร่างและขนาดได้ดี และไม่พิจารณาข้อมูลที่อยู่นอกหน้าต่างการค้นหาทำให้สัญญาณภาพรบกวนและลักษณะเด่นของข้อมูลอื่นที่อยู่ใกล้เคียงกับวัตถุไม่ส่งผลต่อการติดตาม ทั้งนี้การเริ่มต้นการติดตามวัตถุที่ปรากฏ ในภาพบนจอมอนิเตอร์จำเป็นต้องมีฟังก์ชันการกำหนดจุดเริ่มต้น หรือกำหนดพื้นที่เริ่มต้นก่อน ซึ่งเรียกว่าการตรวจจับวัตถุ (Object detection) ซึ่ง อัลกอริทึมของ MOSSE จะใช้หลักการของการหาความแตกต่างของภาพทางเวลา (Frame difference) เป็นการหาความแตกต่างของภาพที่อยู่ติดกัน โดยใช้วิธีการกรองภาพ แล้วทำการประมวลผลเพื่อหาตำแหน่งถัดไปของภาพที่จะปรากฏบนจอมอนิเตอร์ ซึ่งค่าเอาต์พุตที่ได้จะอยู่ที่กลางของกรอบหน้าต่างค้นหา และรูปแบบการประมวลผลภาพของ MOSSE แสดงดังรูปที่ 1

ระบบเสถียรภาพทางกล และระบบปรับหันทิศทางของกล้องเรียกว่า กิมบอลส์ (Gimbals) ซึ่งเป็นระบบที่สามารถจัดซื้อติดตั้งใช้งานได้ทันที กิมบอลส์นี้มีระบบปรับมุมเอียงโดยใช้ตัวขับเคลื่อนการหมุนด้วยมอเตอร์บลิสเลส 3 ตัวเพื่อปรับมุมหมุน 3 แกน คือการปรับแกนมุมเอียง (Roll) แกนมุมซ้าย (Pan) และแกนมุมก้มเงย (Tilt) ที่ติดตั้งมาพร้อมเพื่อใช้งานคู่กับวิทยุบังคับของเครื่องบินเล็ก ซึ่งกิมบอลส์ที่ใช้งานวิจัยนี้ ใช้ของยี่ห้อ Tarot model T-3DIII และกิมบอลส์นี้มีน้ำหนักเบา สามารถนำไป



รูปที่ 1 รูปแบบการประมวลผลภาพของ MOOSE

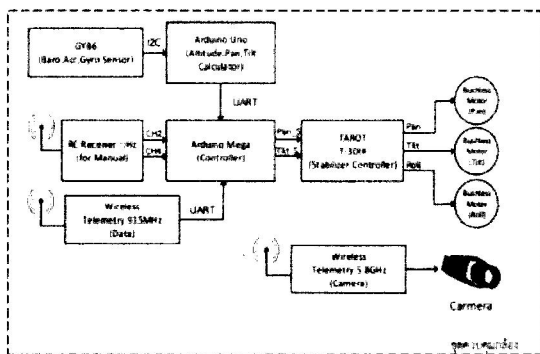
ติดตั้งใช้งานบนอากาศยานไร้คนขับได้ทั้งแบบปีกครึ่ง และแบบมัลติโรเตอร์ แสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 กิมบอลส์ Tarot model T-3DIII

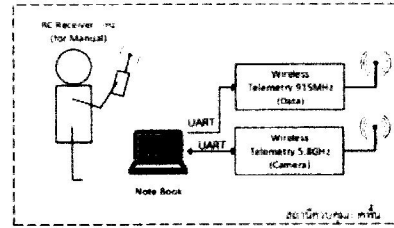
## 2. การออกแบบระบบควบคุม

ระบบควบคุมหลักของระบบติดตามเป้าหมายเคลื่อนที่ จะมี 2 ระบบ คือ ระบบปรับเสถียรภาพอัตโนมัติสำหรับกิมบอลส์ และระบบควบคุมเพื่อปรับมุมสาย และมุมก้มเงยของกล้อง เพื่อให้ภาพของเป้าหมายที่เคลื่อนที่ไม่ให้หลุดออกไปจากจอจอมอนิเตอร์ และพยายามให้ภาพปรากฏอยู่กลางจอจอมอนิเตอร์ตลอดเวลา โดยเป้าหมายห่างจากจุดกึ่งกลางภาพเป็นระยะ  $(x - x_0, y - y_0)$  โดย  $(x_0, y_0)$  คือจุดกึ่งกลางภาพ ค่าความแตกต่างของ  $(dx, dy)$  จะถูกนำไปป้อนให้กับระบบควบคุมอัตโนมัติ โดยจะแยกการควบคุมไปยังแกนสาย และแกนก้มเงย ซึ่งการจูนค่าพารามิเตอร์สำหรับตัวควบคุมฟัซซีฟิวลิตีนั้นต้องมีค่าที่เหมาะสม ซึ่งถ้าระบบควบคุมตอบสนองต่อการเคลื่อนที่ของเป้าหมายช้าไป อาจทำให้เป้าหมายเคลื่อนที่ออกไปนอกจอจอมอนิเตอร์ แต่ถ้าการควบคุมมากเกินไปอาจทำให้ระบบไม่เสถียรและเกิดการแกว่งได้ ซึ่งบล็อกไดอะแกรมของระบบที่ติดตั้งกล้องบนอากาศยานไร้คนขับแสดงดังรูปที่ 3 และบล็อกไดอะแกรมของระบบมอนิเตอร์ภาพที่อยู่ภาคพื้นดินแสดงดังรูปที่ 4 และบล็อกไดอะแกรมระบบการควบคุมป้อนกลับมุมสาย และมุมก้มเงยของกิมบอลส์แสดงดังรูปที่ 5

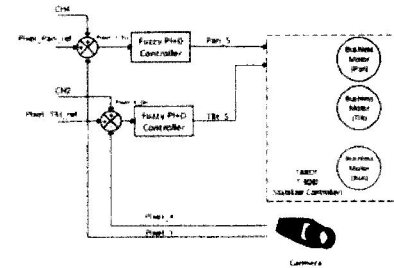


รูปที่ 3 บล็อกไดอะแกรมของระบบที่ติดตั้งกล้องบนอากาศยานไร้คนขับ

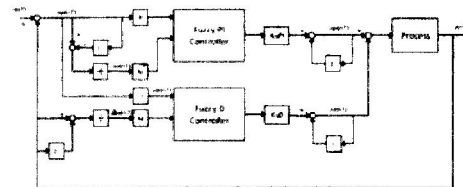
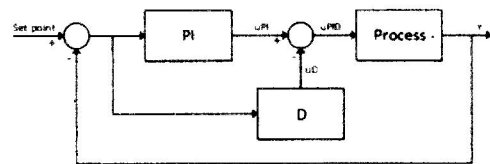
ตัวควบคุมของงานวิจัยนี้ จะใช้ตัวควบคุมแบบฟัซซีฟิวลิตี ดังแสดงในรูปที่ 6 เป็นตัวควบคุมมุมสาย และมุมก้มเงยของขงกิมบอลส์



รูปที่ 4 บล็อกไดอะแกรมของระบบมอนิเตอร์ภาพ ที่อยู่ภาคพื้นดิน



รูปที่ 5 บล็อกไดอะแกรมระบบการควบคุมป้อนกลับมุมสาย และมุมก้มเงยของกิมบอลส์ ที่ติดตั้งอยู่บนอากาศยานไร้คนขับ



รูปที่ 6 บล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมฟัซซีฟิวลิตี

ตัวควบคุมฟัซซีฟิวลิตี (Fuzzy PI+D controller) นั้น จะประกอบด้วยตัวควบคุมฟัซซีฟิวลิตี และตัวควบคุมฟัซซีฟิวลิตี ซึ่งเอาต์พุตของตัวควบคุมฟิวลิตีคือ

$$u_{PI}(nT) = u_{PI}(nT - T) + K_{uPI} \Delta u_{PI}(nT) \quad (1)$$

เมื่อ  $K_{uPI}$  คือ ฟัซซีคอนโทรลเกนของฟิวลิตี และเอาต์พุตของตัวควบคุมฟัซซีฟิวลิตีคือ

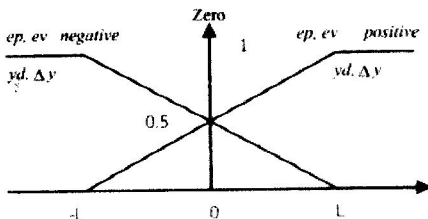
$$u_D(nT) = -u_D(nT - T) + K_{uD} \Delta u_D(nT) \quad (2)$$

เมื่อ  $K_{uD}$  คือ ฟัซซีคอนโทรลเกนของดี

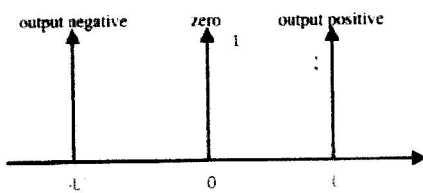
สุดท้ายรวบรวมตัวควบคุมฟัซซีฟิวลิตี และฟัซซีฟิวลิตี เข้าด้วยกันจะได้

$$\begin{aligned}
 u_{PID}(nT) &= u_{PI}(nT) - u_D(nT) \\
 &= u_{PI}(nT - T) + K_{PI}\Delta u_{PI}(nT) \\
 &\quad + u_D(nT - T) - K_{ID}\Delta u_D(nT)
 \end{aligned}
 \tag{3}$$

ระบบควบคุมแบบฟuzzyลอจิกคอนโทรลมีการกำหนดฟังก์ชันสมาชิกด้านอินพุต 2 ค่า คือค่าความคลาดเคลื่อน  $e(p)$  และค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าคลาดเคลื่อน  $e(v)$  และฟังก์ชันความเป็นสมาชิกทางด้านอินพุตและเอาต์พุต แสดงดังรูปที่ 7 และ รูปที่ 8 ตามลำดับ



รูปที่ 7 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกด้านอินพุต



รูปที่ 8 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกด้านเอาต์พุต

กฎพื้นฐานของการควบคุมฟuzzyลอจิกคอนโทรลของฟังก์ชันสมาชิกทางด้านอินพุต และฟังก์ชันสมาชิกด้านเอาต์พุตแสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 กฎพื้นฐานของการควบคุมฟuzzyลอจิกคอนโทรล

Rule No.	$ep(nT)$	$ev(nT)$	Output
R1	N	N	N
R2	N	P	Z
R3	P	N	Z
R4	P	P	P
Rule No.	$yd(nT)$	$\Delta y(nT)$	Output
R5	P	P	Z
R6	P	N	P
R7	N	P	N
R8	N	N	Z

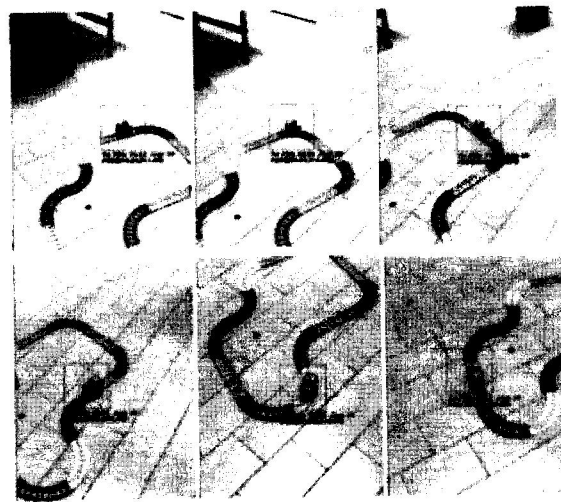
การดีฟuzzyซิเคชั่นใช้หลักจุดกึ่งกลางมวล (Center of mass) เพื่อมาทำการดีฟuzzyซิเคชั่น ดังแสดงในสมการที่ (4) ดังนี้

$$\Delta u(nT) = \frac{\sum \{ \text{membership value of input} \times \text{corresponding output} \}}{\sum \{ \text{membership value of input} \}}
 \tag{4}$$

กฎการควบคุมทั้ง 8 ข้อนี้ได้นำไปเขียนโปรแกรมลงบอร์ด Arduino จำนวน 2 ชุด โดยตัวควบคุมแรกใช้ Arduino Uno สำหรับอ่านค่าเซ็นเซอร์ MPU 6050 (Motion Tracking) ตรวจสอบวัดค่ามุมเอียง (Roll angle) มุมระดับ (Pitch angle) และมุมทิศทาง (Yaw angle) ของกล้อง และตัวควบคุมชุดที่สอง ใช้ Arduino Mega 2560 สำหรับรับสัญญาณวิทยุจากภาคพื้นดินเพื่อควบคุมทิศทาง มุมก้มเงยของกล้องด้วยมือ (Manual) และควบคุมชุดกิมบอลส์

### 3. การทดสอบการติดตามเป้าหมายเคลื่อนที่

ในการทดสอบการติดตามเป้าหมายรถไฟเด็กเล่น ซึ่งกำหนดเป็นเป้าหมายที่เคลื่อนที่ และกล้อง VGA ที่ติดตั้งอยู่บนชุดกิมบอลส์ ที่อยู่กับที่ ซึ่งตัวควบคุมพีโอเอสดีนี้ จะทำการควบคุมชุดกิมบอลส์ ให้กล้องติดตามการเคลื่อนที่ของรถไฟอัตโนมัติ โดยการกำหนดพื้นที่ของภาพรถไฟ ในตำแหน่งที่ต้องการติดตาม แล้วระบบจะควบคุมการล่า และการก้มเงยของชุดกิมบอลส์นี้ เพื่อให้ภาพรถไฟที่เคลื่อนที่ ปรากฏบนจอมอนิเตอร์ บริเวณกลางจอตลอดเวลาที่รถไฟเคลื่อนที่ และการทดสอบนี้ยังมีการทดสอบการเคลื่อนที่ของชุดกิมบอลส์อีกด้วย ซึ่งเปรียบเสมือนอากาศยานอัตโนมัติไร้คนขับบินอยู่เหนือเป้าหมายที่เคลื่อนที่ ระบบควบคุมกล้องเพื่อการติดตามเป้าหมายเคลื่อนที่อัตโนมัตินี้ ยังคงสามารถควบคุมให้ภาพปรากฏที่จอมอนิเตอร์ได้ตลอดเวลา และอยู่บริเวณกึ่งกลางจอมอนิเตอร์ ซึ่งผลการแสดงผลภาพบนจอมอนิเตอร์ แสดงดังรูปที่ 9 และ พารามิเตอร์ของตัวควบคุมฟuzzyพีโอเอสดีแสดงดังตารางที่ 2



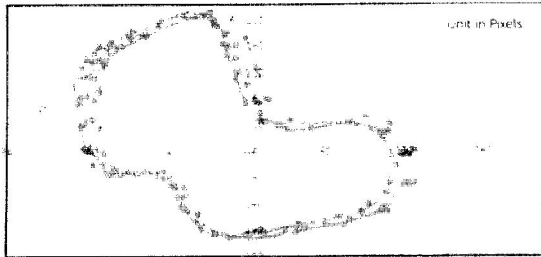
รูปที่ 9 การแสดงผลภาพบนจอมอนิเตอร์

ผลการทดสอบ และควบคุม เพื่อให้ภาพแสดงอยู่กลางจอมอนิเตอร์ แสดงให้เห็นเป็นกราฟการเคลื่อนที่ของกล้องในรูปที่ 10 และค่าผิดพลาดในหน่วยของพิทเชลของแกนล่า และแกนก้มเงย ดังแสดงในรูปที่ 11 ถึง

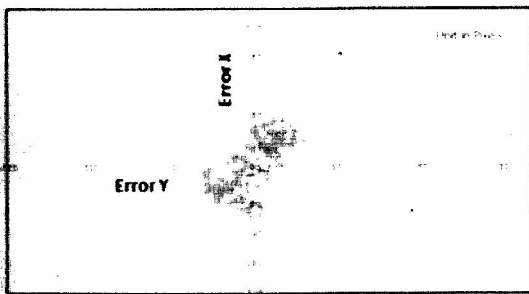
รูปที่ 13 สัญญาณควบคุมของแกนสาย และแกนกัมเมย ดังแสดงในรูปที่ 14 และรูปที่ 15 ตามลำดับ

ตารางที่ 2 ค่าการปรับแต่งพารามิเตอร์ของตัวควบคุมในการทดสอบ

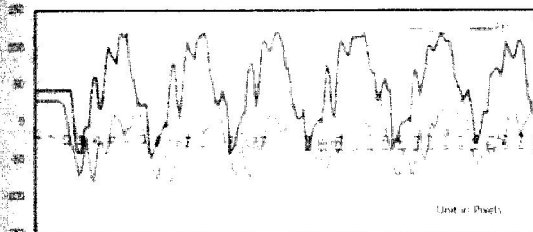
$L$	$K_p$	$K_i$	$K_D$	$K_{nPI}$	$K_{nD}$
650	2.23	0.001	0.15	1	1



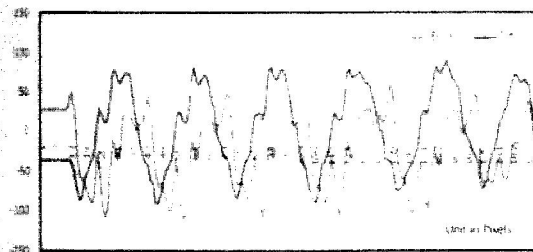
รูปที่ 10 เส้นทางการเคลื่อนที่ของกอล์ฟ



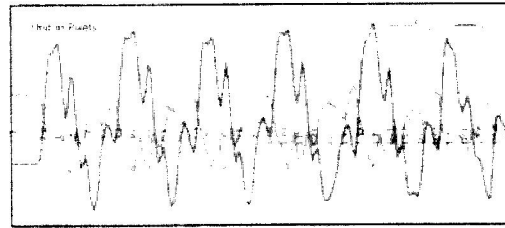
รูปที่ 11 ค่าผิดพลาดการเคลื่อนที่ของกอล์ฟ



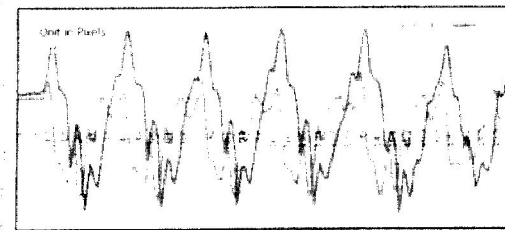
รูปที่ 12 มุมสาย และค่าผิดพลาดของแกนสาย



รูปที่ 13 มุมกัมเมย และค่าผิดพลาดของแกนกัมเมย



รูปที่ 14 สัญญาณควบคุม และค่าผิดพลาดของแกนสาย



รูปที่ 15 สัญญาณควบคุม และค่าผิดพลาดของแกนกัมเมย

#### 4. สรุป

ตัวควบคุมพีซีทีโอพลัสดีสามารถควบคุมกอล์ฟเพื่อติดตามเป้าหมายที่เคลื่อนที่ได้เป็นอย่างดี ซึ่งระบบนี้เป็นการนำอัลกอริทึมของ MOSSE มาประยุกต์ใช้ ซึ่งตัวควบคุมนี้สามารถตอบสนองได้อย่างรวดเร็ว แม้ว่าเป้าหมายจะมีการเคลื่อนที่เร็วขึ้น ระบบก็ยังสามารถควบคุมกอล์ฟให้ติดตาม และแสดงผลภาพของเป้าหมายที่เคลื่อนที่ให้อยู่บริเวณกลางจอคอมพิวเตอร์ได้ตลอดเวลา โดยที่ค่าผิดพลาดที่เกิดขึ้นก็ยังสามารถควบคุมกอล์ฟสามารถจับภาพได้โดยที่ไม่หลุดจากจอคอมพิวเตอร์

#### เอกสารอ้างอิง

- [1] David S. Bolme., J.R. Beveridge., Bruce A. Draper and Y. M. Lui. "Visual Object Tracking using Adaptive Correlation Filters" Computer Vision and Pattern Recognition, 2010 IEEE Conference.
- [2] David S. Bolme, Bruce A. Draper and J.R. Beveridge. "Average of synthetic exact filters" Computer Vision and Pattern Recognition, 2009 IEEE Conference.
- [3] L.A.Zadeh. "Fuzzy set Informat Control" Vol.8, 1964.
- [4] D. Misir et al.. "Design and analysis of a fuzzy proportional-integral-derivative controller." Fuzzy Sets and Systems 79 (1996) ELSEVIER : 297-314.