

การควบคุมด้วยสัญญาณภาพสำหรับการเข้าสู่ภารกิจการบินติดตามเป้าหมาย Vision Guided Control for Target Tracking Flight Mission Entry

อรรรณพ เรืองวิเศษ

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี เขตทุ่งครุ กรุงเทพฯ 10140
โทร 0-2470-9117 โทรสาร 0-2470-9111 อีเมลล์ annop.rua@kmutt.ac.th

Annop Ruangwiset

Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's University of Technology Thonburi,
Tungkru, Bangkok, 10140, Thailand
Tel: 0-2470-9117, Fax: 0-2470-9111, E-mail: annop.rua@kmutt.ac.th

บทคัดย่อ

ในภารกิจการบินติดตามโดยทั่วไปเมื่อเครื่องบินพบเป้าหมายภาคพื้นดินที่จะติดตาม ทิศทางการบินและอัตราเร็วของเครื่องบินจะไม่ตรงกับทิศทางการเคลื่อนที่และอัตราเร็วของเป้าหมาย ดังนั้นบทความนี้จึงเสนอการใช้ระบบภาพในการควบคุมเพื่อเข้าสู่ภารกิจการบินติดตามเป้าหมาย โดยนำระยะคลาดเคลื่อนของเป้าหมายจากตำแหน่งกึ่งกลางของภาพมาคำนวณคาดคะเนทิศทางการเคลื่อนที่ของเป้าหมาย จากนั้นนำไปใช้เป็นค่าคำสั่งในการควบคุมทิศทางการบินและอัตราเร็วของเครื่องบินให้บินไปด้วยกันกับเป้าหมาย จากการทดสอบด้วยการจำลองการบินทางคณิตศาสตร์ วิธีการที่เสนอสามารถคาดคะเนทิศทางการเคลื่อนที่ของเป้าหมายและควบคุมเครื่องบินให้ติดตามเป้าหมายได้ทั้งในกรณีที่เป้าหมายเปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนที่อย่างทันทีทันใดและอย่างต่อเนื่อง

Abstract

Generally in the target tracking flight mission, at first when the airplane met the ground target, the airplane was flying with different direction and speed from the target. Therefore this paper proposes the vision guided control for target tracking mission entry. The proposed method uses the displacement between the target and the center of image to estimate the direction of the target motion. And then the estimated result is used as the command of the flight direction control and the flight speed control. The flight simulation results show that the proposed method can estimate and control the airplane to track the target well also in the case that the target changes the direction immediately and continuously.

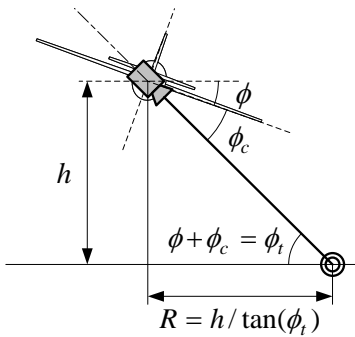
1. บทนำ

งานวิจัยเกี่ยวกับภารกิจการบินติดตามเป้าหมายที่เคลื่อนที่บนพื้นดินด้วยอากาศยานไร้คนขับ (Unmanned Aerial Vehicle: UAV) โดยทั่วไปจะใช้เฮลิคอปเตอร์ [1 – 3] เนื่องจากเฮลิคอปเตอร์มีความคล่องแคล่วในการเคลื่อนที่ สามารถบินหมุนเปลี่ยนทิศทางหรือลอยตัวนิ่งขณะอยู่กับที่ได้ แต่เนื่องจากเฮลิคอปเตอร์สร้างแรงยกจากชุดใบพัดทำให้ต้องใช้เชื้อเพลิงมากเพื่อหมุนขับเคลื่อนใบพัดตลอดเวลา จึงไม่เหมาะกับภารกิจการบินติดตามเป็นเวลานานหรือระยะทางไกล ดังนั้นจึงได้เริ่มศึกษาการใช้อากาศยานไร้คนขับแบบเครื่องบินในภารกิจการบินติดตาม [4] เนื่องจากเครื่องบินสามารถบินร่อนเพื่อประหยัดเชื้อเพลิงได้ แต่การบินของเครื่องบินมีข้อจำกัดที่จะต้องบินไปข้างหน้าตลอดเวลา และต้องบินด้วยความเร็วที่สูงกว่าอัตราเร็วสูญเสียแรงยก (stall speed) ในงานวิจัยที่ผ่านมาจึงได้ศึกษาแนวทางการใช้สัญญาณภาพในการควบคุมการบินสังเกตและการบินติดตามในกรณีที่ความเร็วของเป้าหมายต่ำกว่าความเร็วของเครื่องบิน [5] ซึ่งแนวทางการควบคุมที่เสนอสามารถควบคุมให้เครื่องบินบินวนรอบเป้าหมายขณะที่เป้าหมายหยุดนิ่ง และบินตีวงย้อนกลับมาเมื่อบินนำเป้าหมายไป

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับการควบคุมเครื่องบินให้เข้าสู่ภารกิจการบินติดตามด้วยการจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยตั้งสภาวะเริ่มต้นให้เครื่องบินกำลังบินไปในทิศทางที่ไม่ตรงกับการเคลื่อนที่ของเป้าหมาย อีกทั้งกำหนดให้เป้าหมายกำลังเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วที่สูงกว่าอัตราเร็วสูญเสียแรงยกและสูงกว่าอัตราเร็วของเครื่องบินขณะเริ่มต้น การควบคุมทำโดยใช้ภาพจากกล้องวิดีโอบนเครื่องบินมาคำนวณหาตำแหน่งของเป้าหมายเทียบกับเครื่องบิน จากนั้นนำค่าตำแหน่งที่คาดคะเนได้ในแต่ละค่าเวลามาคำนวณคาดคะเนทิศทางและอัตราเร็วของเป้าหมาย แล้วนำไปใช้ในการปรับเปลี่ยนทิศทางและอัตราเร็วของเครื่องบินให้บินเข้าสู่ภารกิจติดตามเป้าหมาย

2. การหาค่าคำสั่งจากภาพเพื่อเข้าสู่การบินติดตามเป้าหมาย

การศึกษาในโครงการนี้มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อหาแนวทางการนำข้อมูลจากสัญญาณภาพมาใช้หาค่าสั่งควบคุมการบินให้เหมาะสมกับการเคลื่อนที่ของเป้าหมาย โดยจะไม่พิจารณารายละเอียดการประมวลผลภาพ (image processing) เช่น การตรวจหารูปร่าง (feature detection) ดังนั้นจึงจะสมมติให้ระบบกล้องที่ใช้มีความสามารถตรวจหาตำแหน่งของเป้าหมายที่ต้องการในภาพได้อยู่ก่อนแล้ว และเนื่องจากในการบินสังเกตและติดตามเป้าหมาย เครื่องบินจะต้องบินวนรอบเมื่อเป้าหมายหยุดนิ่งหรือเคลื่อนที่ช้า จึงทำให้ลักษณะการบินเป็นการบินโดยที่เครื่องบินหันด้านข้างเข้าหาเป้าหมาย การศึกษาในโครงการนี้จึงกำหนดให้กล้องติดตั้งอยู่บริเวณใต้ตำแหน่งจุดศูนย์กลางมวลของเครื่องบิน โดยหันไปทางด้านปีกขวาของเครื่องบิน และสมมติให้กล้องสามารถปรับเงยขึ้นหรือก้มลงเพื่อชี้ไปยังเป้าหมายที่พื้นดินได้ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ทิศทางของกล้อง (รูปมองจากด้านหลังเครื่องบิน)

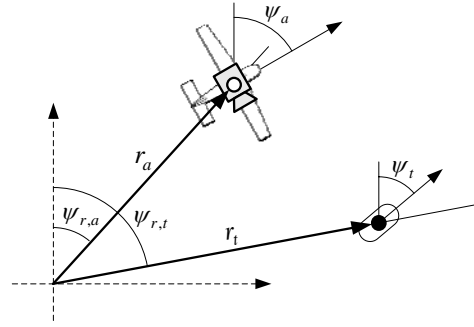
ตามปกติเครื่องบินไร่นักบินจะมีเซนเซอร์ประเภทต่างๆ ติดตั้งอยู่ทำให้สามารถทราบค่าความสูงของเพดานบิน (h) และค่ามุมเอียงตัว (bank angle: ϕ) ในขณะนั้นได้ ถ้าหากระบบกล้องที่ใช้มีเซนเซอร์สำหรับวัดมุมเงยของกล้อง (ϕ_c) จะสามารถหาระยะห่างในแนวระดับระหว่างเป้าหมายกับเครื่องบิน (R) ได้ตามความสัมพันธ์ในรูปที่ 1 คือ

$$R = \frac{h}{\tan(\phi_t)} = \frac{h}{\tan(\phi + \phi_c)} \quad (1)$$

เมื่อพิจารณาในระนาบแนวระดับขณะที่เครื่องบินและเป้าหมายอยู่ที่ตำแหน่งและกำลังเคลื่อนที่ไปในทิศทางดังรูปที่ 2 โดยให้จุดเริ่มต้นการเคลื่อนที่ของเครื่องบินเป็นจุดเริ่มต้นแกน แกน x ชี้ไปทางทิศเหนือ แกน y ชี้ไปทางทิศตะวันออก และใช้การวัดมุมเอียงและทิศทางด้วยมุมออยเลอร์ (Euler angles)

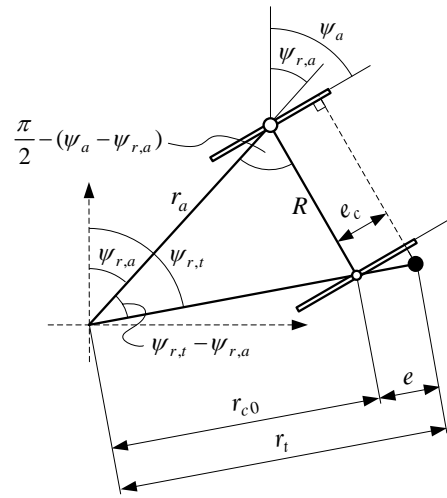
- โดยที่ r_t : ขนาดของเวกเตอร์ตำแหน่งของเป้าหมาย
- r_a : ขนาดของเวกเตอร์ตำแหน่งของเครื่องบิน
- $\psi_{r,t}$: มุมของเวกเตอร์ตำแหน่งของเป้าหมาย
- $\psi_{r,a}$: มุมของเวกเตอร์ตำแหน่งของเครื่องบิน
- ψ_t : ทิศทางการเคลื่อนที่ของเป้าหมาย
- ψ_a : ทิศทางการเคลื่อนที่ของเครื่องบิน

ground



รูปที่ 2 ตำแหน่งและทิศทางของเครื่องบินและเป้าหมาย

เนื่องจากกำหนดให้กล้องถูกติดตั้งหันไปทางด้านปีกขวาของเครื่องบิน จึงสมมติให้ระนาบของภาพขนานไปกับลำตัวของเครื่องบินดังในรูปที่ 3



รูปที่ 3 ระนาบของภาพจากกล้อง

จากรูปที่ 3 ระยะในแนวระดับที่รูปของเป้าหมายคลาดเคลื่อนไปจากตำแหน่งกึ่งกลางของภาพ (e_c) จะเป็น

$$e_c = e \cos(\psi_{r,t} - \psi_a)$$

จากรูป $e = r_t - r_{c0}$ ดังนั้นขนาดของเวกเตอร์ตำแหน่งของเป้าหมายจึงได้เป็น

$$r_t = \frac{e_c}{\cos(\psi_{r,t} - \psi_a)} + r_{c0} \quad (2)$$

จากทฤษฎีไซน์ (sine theorem) แล้ว

$$\frac{R}{\sin(\psi_{r,t} - \psi_{r,a})} = \frac{r_{c0}}{\sin\left(\frac{\pi}{2} - (\psi_a - \psi_{r,a})\right)}$$

target

ดังนั้นมุมของเวกเตอร์ตำแหน่งเป้าหมายจึงได้เป็น

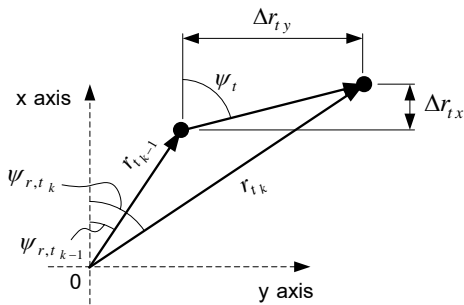
$$\psi_{r,t} = \psi_{r,a} + \sin^{-1} \left\{ \frac{R}{r_{c0}} \sin \left(\frac{\pi}{2} - (\psi_a - \psi_{r,a}) \right) \right\} \quad (3)$$

จากทฤษฎีโคไซน์ (cosine theorem) แล้ว

$$r_{c0} = r_a^2 + R^2 - 2r_a R \cos \left(\frac{\pi}{2} - (\psi_a - \psi_{r,a}) \right) \quad (4)$$

เมื่อแทนสมการที่ (1) และ (4) ลงใน (3) จะได้ค่ามุมของเวกเตอร์ตำแหน่งของเป้าหมาย และเมื่อนำค่าที่ได้ไปแทนต่อในสมการที่ (2) จะได้ค่าขนาดของเวกเตอร์ตำแหน่งของเป้าหมาย ดังนั้นจึงทำให้สามารถคาดคะเนมุมและขนาดของเวกเตอร์ตำแหน่งของเป้าหมายขณะนั้นได้

จากนั้นนำเวกเตอร์ตำแหน่งของเป้าหมายที่ได้ในแต่ละค่าเวลามาพิจารณาเพื่อหาทิศทางเคลื่อนที่ของเป้าหมายดังในรูปที่ 4 โดยที่ตัวห้อย k และ k - 1 แสดงค่าที่เวลาขณะนั้น (t_k) และค่าที่เวลาก่อนหน้านั้น (t_{k-1}) ตามลำดับ



รูปที่ 4 เวกเตอร์ตำแหน่งของเป้าหมายที่แต่ละค่าเวลา

เนื่องจากทิศทางเคลื่อนที่ของเป้าหมายจะมีทิศทางเดียวกับเวกเตอร์ความเร็วของเป้าหมาย ซึ่งทิศทางของเวกเตอร์ความเร็วของเป้าหมายจะหาได้จากทิศทางของผลต่างของเวกเตอร์ตำแหน่งของเป้าหมาย ดังนั้นจากรูปที่ 4 จึงสามารถหาทิศทางเคลื่อนที่ของเป้าหมาย (ψ_t) ได้เป็น

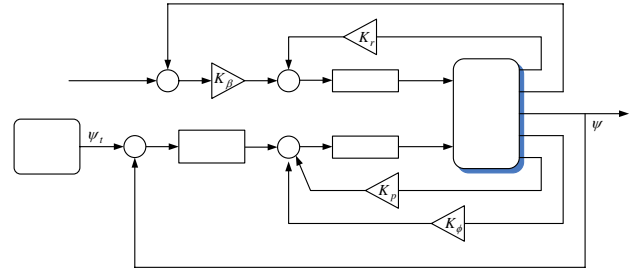
$$\psi_t = \tan^{-1} \left(\frac{\Delta r_{t,y}}{\Delta r_{t,x}} \right) \quad (5)$$

โดยที่

$$\Delta r_{t,y} = r_{t_k} \sin(\psi_{r,t_k}) - r_{t_{k-1}} \sin(\psi_{r,t_{k-1}})$$

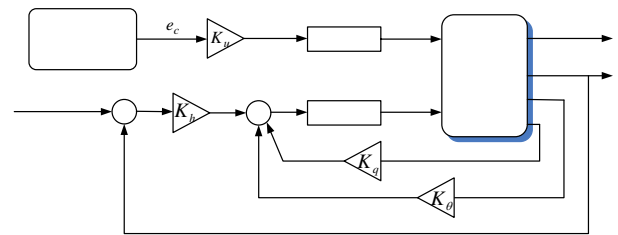
$$\Delta r_{t,x} = r_{t_k} \cos(\psi_{r,t_k}) - r_{t_{k-1}} \cos(\psi_{r,t_{k-1}})$$

ค่าของทิศทางเคลื่อนที่ของเป้าหมายที่คำนวณได้จากสมการที่ (5) จะนำไปใช้เป็นค่าคำสั่งของทิศทางการบินในระบบควบคุมทิศทางการบินด้วยตัวควบคุมแบบ PID (PID controller) ดังแสดงในรูปที่ 5 เพื่อควบคุมให้เครื่องบินเปลี่ยนทิศทางไปในทิศที่ต้องการเคลื่อนที่ของเป้าหมาย โดยจะใช้การควบคุมมุมไถล (side slip angle) ร่วมด้วยเพื่อลดการไถลไปทางด้านข้างขณะบินเลี้ยวซึ่งจะช่วยให้เครื่องบินสามารถเลี้ยวไปในทิศทางที่ต้องการได้เร็วขึ้นและระมัดระวังการเลี้ยวลดลง



รูปที่ 5 แผนผังระบบควบคุมทิศทางการบิน

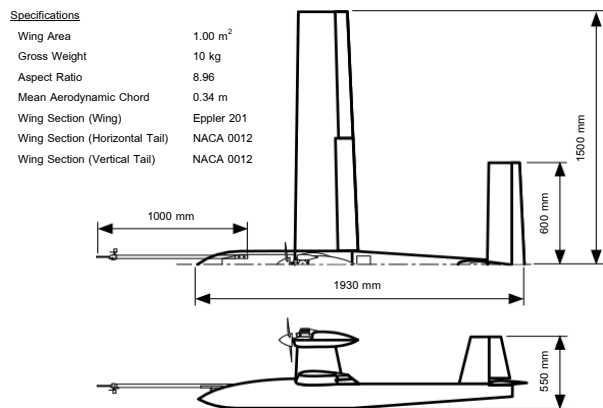
นอกจากนี้เนื่องจากเมื่อเป้าหมายเคลื่อนที่นำหน้าเครื่องบิน รูปของเป้าหมายในภาพจะล้าจากกึ่งกลางภาพไปทางด้านหน้าของระนาบของภาพดังในรูปที่ (3) และในทางกลับกันเมื่อเป้าหมายเคลื่อนที่อยู่หลังเครื่องบิน รูปของเป้าหมายจะอยู่ด้านหลังของกึ่งกลางภาพ ดังนั้นจึงนำค่าระยะในแนวดิ่งที่รูปของเป้าหมายคลาดเคลื่อนไปจากตำแหน่งกึ่งกลางของภาพ (e_c) ไปใช้คำนวณคำสั่งปรับเปลี่ยนระดับคันเร่ง (throttle) เพื่อควบคุมอัตราเร็วของเครื่องบินให้เท่ากับอัตราเร็วของเป้าหมาย ส่วนการควบคุมความสูงใช้การควบคุมแบบป้อนกลับในการปรับเปลี่ยนแพนหาง (elevator) ดังแสดงในรูปที่ 6



รูปที่ 6 แผนผังระบบควบคุมความเร็วและความสูงในการบิน

3. การจำลองการบินทางคณิตศาสตร์ (Flight Simulation)

การศึกษาครั้งนี้ทดสอบความเป็นไปได้ของวิธีการควบคุมที่นำเสนอด้วยการจำลองการบินโดยใช้แบบจำลองเชิงเส้นของอากาศยานไร้คนบินแบบเครื่องบินทั่วไปที่มีความยาวปีก 3 m ดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 อากาศยานไร้คนบินแบบเครื่องบินที่นำมาศึกษา

4. ผลการทดสอบการควบคุมเพื่อเข้าสู่การบินติดตามเป้าหมาย

การจำลองการบินทางคณิตศาสตร์เพื่อทดสอบการควบคุมเพื่อเข้าสู่การบินติดตามเป้าหมาย จะกำหนดสภาวะเริ่มต้นให้เครื่องบินกำลังบินขนานกับแกน x ไปทางทิศเหนือ และเห็นเป้าหมายอยู่ทางปีกขวา โดยมีตำแหน่ง ทิศทาง และอัตราเร็วเริ่มต้นดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สภาวะเริ่มต้นของการจำลองการบิน

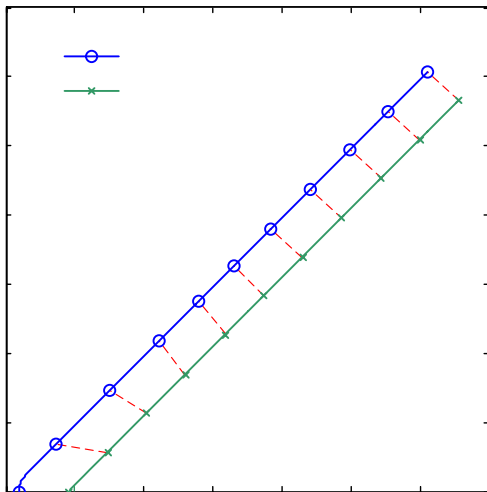
initial value	airplane	target
(x, y) position (m)	(0, 100)	(0, 455)
height (m)	300	0
ground speed (m/s)	36	40
direction (deg)	0 (to north)	as each case

การทดสอบใช้ลักษณะเส้นทางการเคลื่อนที่ของเป้าหมาย 3 แบบ คือ เส้นทางการเคลื่อนที่เป็นเส้นตรง เส้นทางการเคลื่อนที่เป็นรูปตัว L และเส้นทางการเคลื่อนที่เป็นส่วนของวงกลม

4.1 กรณีศึกษา 1

เส้นทางการเคลื่อนที่ของเป้าหมายเป็นเส้นตรงไปในทิศทางมุม 45° กับแกน x โดยอัตราเร็วคงที่ 40 m/s ในสภาวะเริ่มต้นเครื่องบินกำลังบินขนานกับแกน x ไปทางทิศเหนือ

ผลการควบคุมได้เส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องบินที่ฉายลงบนระนาบ xy ดังรูปที่ 8 โดยที่เส้นประในรูปเป็นเส้นที่ลากระหว่างตำแหน่งของเครื่องบินกับตำแหน่งของเป้าหมายที่แต่ละค่าเวลา

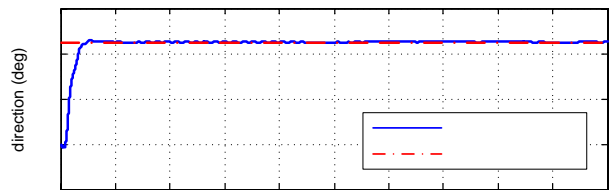


รูปที่ 8 เส้นทางการบินที่ฉายลงบนระนาบ xy กรณีเส้นทางการเคลื่อนที่ของเป้าหมายเป็นเส้นตรง

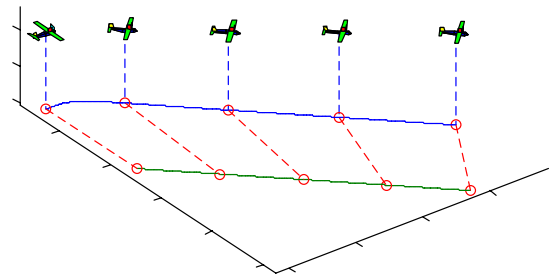
ในรูปที่ 8 การควบคุมเพื่อเข้าสู่การติดตามเป้าหมายจะทำให้เครื่องบินปรับเปลี่ยนทิศทางการบินให้เลี้ยวมาจนกระทั่งบินไปในทิศทางเดียวกันกับเป้าหมาย จากนั้นจะรักษาทิศทางการบินนั้นไว้ให้

คงที่เช่นเดียวกับการเคลื่อนที่ของเป้าหมาย ดังจะเห็นได้จากกราฟแสดงทิศทางการบินและทิศทางการเคลื่อนที่ของเป้าหมายในรูปที่ 9 และรูปที่ 10 เป็นรูปขยายแสดงเส้นทางการบินขณะเปลี่ยนทิศทางการบินช่วง 20 วินาทีแรก

นอกจากนี้เส้นประในรูปที่ 8 ซึ่งเป็นเส้นที่ลากจากตำแหน่งของเครื่องบินไปยังเป้าหมาย แสดงให้เห็นว่าขณะเปลี่ยนทิศทางการบินเครื่องบินจะยังบินไปไม่ทันเป้าหมาย หลังจากนั้นระบบควบคุมอัตราเร็วการบินด้วยระยะคลาดเคลื่อนของเป้าหมายในภาพจะทำหน้าที่ปรับอัตราเร็วของเครื่องบินให้บินด้วยอัตราเร็วเดียวกับเป้าหมายในช่วงต้นของการควบคุมมีโอเวอร์ชูต (overshoot) ทำให้เครื่องบินบินเร็วกว่าและแซงเป้าหมายไป แต่อัตราเร็วก็จะถูกปรับกลับมาจนกระทั่งเครื่องบินบินคู่ไปกับเป้าหมายในที่สุด



รูปที่ 9 ทิศทางการเคลื่อนที่ของเครื่องบินและเป้าหมาย กรณีเส้นทางการเคลื่อนที่ของเป้าหมายเป็นเส้นตรง



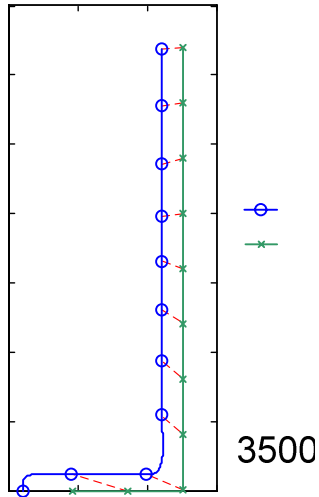
รูปที่ 10 ผลการควบคุมการบินช่วง 20 วินาทีแรก กรณีเส้นทางการเคลื่อนที่ของเป้าหมายเป็นเส้นตรง (เส้นประแต่ละเส้นเวลาต่างกัน 5 วินาที)

4.2 กรณีศึกษา 2

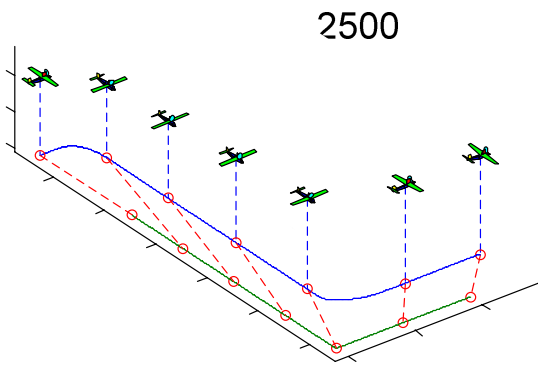
เส้นทางการเคลื่อนที่ของเป้าหมายเป็นรูปตัว L เริ่มต้นจากเป้าหมายเคลื่อนที่ตามแกน y ไปทางทิศตะวันออกเป็นเวลา 20 วินาที จากนั้นเปลี่ยนทิศทางไปทางทิศเหนือขนานกับแกน x โดยตลอดการเคลื่อนที่เป้าหมายมีอัตราเร็วคงที่เท่ากับ 40 m/s

ผลการควบคุมได้เส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องบินที่ฉายลงบนระนาบ xy ดังรูปที่ 11 แสดงให้เห็นว่าถึงแม้กรณีที่เป้าหมายเคลื่อนที่ตั้งฉากกับเครื่องบิน วิธีการที่เสนอก็คงสามารถคาดคะเนทิศทางการเคลื่อนที่ของเป้าหมาย และควบคุมทิศทางการบินได้ถูกต้อง นอกจากนี้เมื่อเป้าหมายเปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนที่อย่างกะทันหัน คือเลี้ยวเป็น

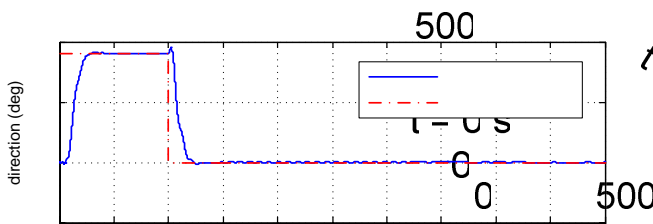
มุม 90° อย่างทันทีทันใด ระบบควบคุมที่เสนอก็ยังสามารถควบคุมทิศทางการบินให้เลี้ยวตามการเคลื่อนที่ของเป้าหมายได้ต่อไป ดังจะเห็นได้จากเส้นทางการบินในรูปที่ 11 และรูปขยายเส้นทางการบินช่วง 30 วินาทีแรกในรูปที่ 12 โดยทิศทางการบินถูกควบคุมให้ปรับเปลี่ยนตามการเคลื่อนที่ของเป้าหมายดังรูปที่ 13



รูปที่ 11 เส้นทางการบินที่ฉายลงบนระนาบ xy กรณีเส้นทางการเคลื่อนที่ของเป้าหมายเป็นรูปตัว L



รูปที่ 12 ผลการควบคุมการบินช่วง 30 วินาทีแรก กรณีเส้นทางการเคลื่อนที่ของเป้าหมายเป็นรูปตัว L (เส้นประแต่ละเส้นเวลาต่างกัน 5 วินาที)

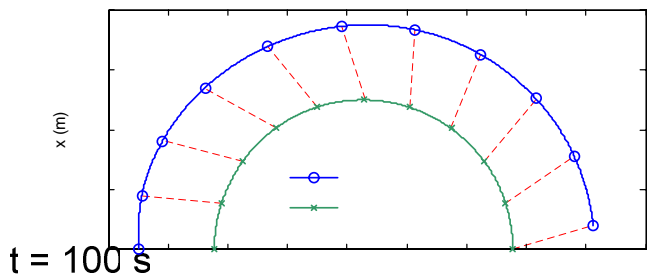


รูปที่ 13 ทิศทางการเคลื่อนที่ของเครื่องบินและเป้าหมาย กรณีเส้นทางการเคลื่อนที่ของเป้าหมายเป็นรูปตัว L

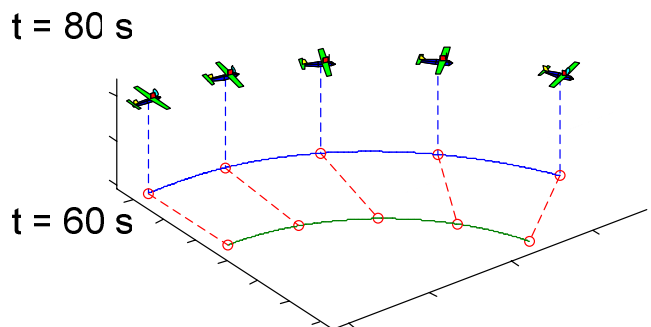
4.3 กรณีศึกษา 3

เส้นทางการเคลื่อนที่ของเป้าหมายเป็นครึ่งวงกลม รัศมี 500 m โดยที่เป้าหมายเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วคงที่ได้เส้นทางเป็นครึ่งวงกลมด้วยเวลา 50 วินาที และเริ่มเคลื่อนที่จากทางด้านซ้ายของครึ่งวงกลม

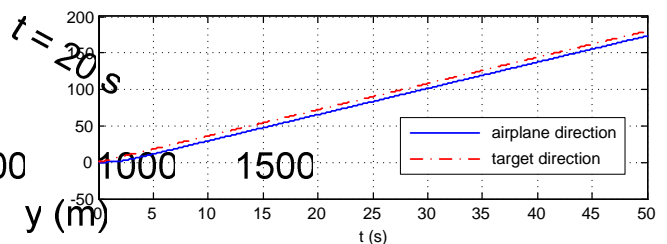
ผลการควบคุมได้เส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องบินที่ฉายลงบนระนาบ xy ดังรูปที่ 14 แสดงให้เห็นว่าเมื่อเป้าหมายเคลื่อนที่เปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนที่อย่างต่อเนื่อง ระบบควบคุมที่เสนอก็ยังคงสามารถคาดคะเนทิศทางการเคลื่อนที่ของเป้าหมาย และควบคุมทิศทางการบินได้อย่างถูกต้อง ดังจะเห็นได้จากรูปขยายเส้นทางการบินช่วง 20 วินาทีแรกในรูปที่ 15 และทิศทางการบินจะถูกควบคุมให้ปรับเปลี่ยนไปตามทิศทางการเคลื่อนที่ของเป้าหมายได้อย่างต่อเนื่อง โดยมีค่าผิดพลาดเล็กน้อยดังรูปที่ 16



รูปที่ 14 เส้นทางการบินที่ฉายลงบนระนาบ xy กรณีเส้นทางการเคลื่อนที่ของเป้าหมายเป็นครึ่งวงกลม



รูปที่ 15 ผลการควบคุมการบินช่วง 20 วินาทีแรก กรณีเส้นทางการเคลื่อนที่ของเป้าหมายเป็นครึ่งวงกลม (เส้นประแต่ละเส้นเวลาต่างกัน 5 วินาที)



รูปที่ 16 ทิศทางการเคลื่อนที่ของเครื่องบินและเป้าหมาย กรณีเส้นทางการเคลื่อนที่ของเป้าหมายเป็นครึ่งวงกลม

5. บทสรุป

บทความนี้ได้เสนอวิธีการคาดคะเนทิศทางเคลื่อนที่ของเป้าหมายจากระยะที่รูปเป้าหมายคลาดเคลื่อนไปจากกึ่งกลางภาพในแต่ละค่าเวลา จากนั้นนำค่าทิศทางเคลื่อนที่ของเป้าหมายที่คาดคะเนได้ไปใช้เป็นค่าคำสั่งในการควบคุมทิศทางการบินของเครื่องบิน เพื่อปรับเปลี่ยนทิศทางการบินให้บินติดตามไปในทิศทางเดียวกันกับการเคลื่อนที่ของเป้าหมาย นอกจากนี้ได้นำค่าระยะที่รูปเป้าหมายคลาดเคลื่อนไปจากกึ่งกลางภาพมาใช้คำนวณปรับเปลี่ยนอัตราเร็วของเครื่องบินให้เท่ากับเป้าหมาย เพื่อให้บินคู่กันไปกับเป้าหมาย

การทดสอบด้วยการจำลองการบินทางคณิตศาสตร์กำหนดให้ในสถานะเริ่มต้นทิศทางการบินไม่ตรงกับทิศทางเคลื่อนที่ของเป้าหมาย เพื่อทดสอบการคาดคะเนทิศทางเคลื่อนที่ของเป้าหมายและการควบคุมเพื่อเข้าสู่การบินติดตามเป้าหมาย โดยทดสอบด้วยเส้นทางการเคลื่อนที่ของเป้าหมาย 3 แบบ คือ ใช้เส้นทางการเคลื่อนที่ของเป้าหมายเป็นเส้นตรงเพื่อทดสอบเบื้องต้น ใช้เส้นทางการเคลื่อนที่ของเป้าหมายเป็นรูปตัว L เพื่อจำลองการเปลี่ยนทิศทางเคลื่อนที่ของเป้าหมายอย่างทันทีทันใด และใช้เส้นทางการเคลื่อนที่ของเป้าหมายเป็นครึ่งวงกลมเพื่อจำลองการเปลี่ยนแปลงทิศทางเคลื่อนที่ของเป้าหมายอย่างต่อเนื่อง วิธีการควบคุมที่เสนอสามารถควบคุมให้เครื่องบินเปลี่ยนทิศทางการบินไปตามทิศทางเคลื่อนที่ของเป้าหมายได้อย่างถูกต้อง และระบบควบคุมอัตราเร็วสามารถควบคุมอัตราเร็วของเครื่องบินจนกระทั่งเครื่องบินสามารถบินคู่ไปกับเป้าหมายได้ในที่สุด

เอกสารอ้างอิง

- [1] Vaughan, R.T., Sukhatme, G.S., Mesa-Martinez, J., and Montgomery, J.F., 2000. Fly spy: lightweight localization and target tracking for cooperative ground and air robots. Proc. Int. Symp. Distributed Autonomous Robot Systems, Knoxville, Tennessee.
- [2] Mejias, L.O., Saripalli, S., Cervera, P., and Sukhatme, G.S., 2006. Visual Servoing of an Autonomous Helicopter in Urban Areas Using Feature Tracking, Vol. 23, Issue 3-4, pp.185-199.
- [3] Shakernia, O., Ma, Y., Koo, T.J., Hespanha, J., and Sastry, S.S., 1999. Vision Guided Landing of an Unmanned Air Vehicle. Proc. of the 38th Conference on Decision and Control, Phoenix, Arizona, USA.
- [4] Quigley, M., et al, 2005. Target Acquisition, Localization, and Surveillance Using a Fixed-Wing Mini-UAV and Gimbaled Camera. Proc. of the 2005 IEEE International Conference on Robotics and Automation, Barcelona, Spain.
- [5] อรรถนพ เรืองวิเศษ, 2549. แนวทางการควบคุมด้วยสัญญาณภาพสำหรับการบินสังเกตและติดตามของเครื่องบิน. การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 20.