

## แนวทางการควบคุมด้วยสัญญาณภาพสำหรับการบินสังเกตและติดตามของเครื่องบิน Approach of Vision Guided Control for Observation and Tracking Flight of Airplane

อรณพ 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

บทความนี้เป็นการศึกษาเบื้องต้นเพื่อนำระบบภาพมาใช้ในการควบคุมอากาศยานไร้คนขับแบบเครื่องบินในการบินสังเกตและติดตามเป้าหมาย โดยจะใช้ระยะความคลาดเคลื่อนของเป้าหมายจากตำแหน่งกึ่งกลางของภาพมาคำนวณหาคำสั่งปรับเปลี่ยนทิศทางการบินให้บินวนรอบเป้าหมายอยู่นิ่ง และบินติดตามเมื่อเป้าหมายเคลื่อนที่ การทดสอบเบื้องต้นทำโดยใช้การจำลองทางคณิตศาสตร์ซึ่งมีการเคลื่อนที่ของเป้าหมายต่างกัน 3 กรณี คือ เป้าหมายอยู่นิ่ง เป้าหมายเคลื่อนที่เป็นเส้นตรง และเป้าหมายเคลื่อนที่เป็นวงกลม วิธีการที่นำเสนอสามารถควบคุมให้เครื่องบินบินติดตามเป้าหมายได้โดยตลอด

### Abstract

This paper is the basic study to use vision system in guiding of airplane configuration UAV for observation and tracking mission. The displacement between the target and the center of image is used to compute the direction command for flying around when the target is not moving and tracking when the target is moving. The basic verification is performed by flight simulation with 3 different cases of target motion that is stopping, straight line motion and circular motion. The proposed method shows the capability to control the airplane to track the target in all cases.

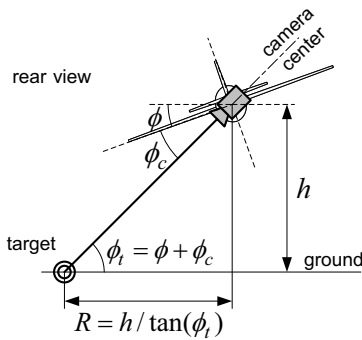
### 1. บทนำ

การบินสังเกตและบินติดตามเป้าหมายเป็นภารกิจสำคัญอย่างหนึ่งของอากาศยานไร้คนขับ ในภารกิจนี้อากาศยานจะต้องบินรอบในขณะเป้าหมายไม่เคลื่อนที่ และบินติดตามไปตามเส้นทางในขณะเป้าหมายเคลื่อนที่ มีงานวิจัยก่อนหน้านี้ที่นำเฮลิคอปเตอร์ขนาดเล็กมาสร้างเป็นอากาศยานไร้คนขับ และใช้การควบคุมด้วยสัญญาณภาพในการสังเกตและติดตามเป้าหมายบนพื้นดิน [1 – 3] เฮลิคอปเตอร์มีความคล่องตัวในการเคลื่อนที่สูง อีกทั้งยังสามารถบินลอยตัวอยู่กับที่ได้ จึงเหมาะต่อการบินสังเกตและติดตามเป้าหมาย แต่เฮลิคอปเตอร์จะต้องใช้เชื้อเพลิงมากเพื่อหมุนขี้นชุดใบพัดตลอดเวลาที่บิน ต่างจากเครื่องบินซึ่งสามารถบินร่อนเพื่อประหยัดเชื้อเพลิงได้ ดังนั้นในกรณีที่ต้องบินติดตามเป็นเวลานาน เครื่องบินจึงสามารถปฏิบัติภารกิจได้อย่างมีประสิทธิภาพมากกว่า แต่การบินของเครื่องบินจะมีข้อจำกัด คือ ต้องบินไปข้างหน้าตลอดเวลา ไม่สามารถบินลอยตัวอยู่กับที่ได้ จึงต้องบินวนรอบๆ ในระหว่างที่เป้าหมายไม่เคลื่อนที่ อีกทั้งยังจะต้องบินด้วยความเร็วที่สูงกว่าความเร็วสูญเสียแรงยก (stall speed) ดังนั้นถ้าเป้าหมายเคลื่อนที่ช้า เครื่องบินจะต้องบินวนย้อนไปมาเพื่อรอเป้าหมาย

นอกจากนี้การบินติดตามจะไม่สามารถกำหนดเส้นทางการบินล่วงหน้าได้ เนื่องจากเส้นทางการบินจะขึ้นอยู่กับเส้นทางการเคลื่อนที่ของเป้าหมาย จึงไม่สามารถใช้ GPS กำหนดพิกัดระบุเส้นทางการเคลื่อนที่เหมือนกับการควบคุมเส้นทางการบิน (navigation) ทั่วไปได้ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเริ่มการศึกษาขั้นต้นเพื่อหาแนวทางการนำระบบภาพมาใช้ในการควบคุมเส้นทางการบินของเครื่องบินในภารกิจสังเกตและติดตามเป้าหมาย โดยใช้ระยะทางที่ภาพเป้าหมายคลาดเคลื่อนไปจากจุดกึ่งกลางของภาพคำนวณหาคำสั่งปรับเปลี่ยนทิศทางการบินเพื่อที่จะควบคุมเครื่องบินให้บินวนอยู่รอบๆ เป้าหมายที่อยู่นิ่ง และบินติดตามไปตามเส้นทางที่เป้าหมายเคลื่อนที่

2. การหาค่าสั่งปรับเปลี่ยนทิศทางการบินเพื่อติดตามเป้าหมาย

การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อหาแนวทางในการคำนวณคำสั่งปรับเปลี่ยนทิศทางการบินให้เหมาะสมกับเส้นทางการเคลื่อนที่ของเป้าหมาย โดยจะไม่พิจารณารายละเอียดการตรวจหารูปร่างที่ต้องการในภาพ (feature detection) ดังนั้นจึงจะสมมติให้ระบบกล้องที่ใช้มีความสามารถตรวจหาตำแหน่งของเป้าหมายที่ต้องการในภาพได้ และเนื่องจากในการบินสังเกตและติดตามเป้าหมาย เครื่องบินจะต้องบินวนรอบๆ เป้าหมายที่หยุดนิ่ง หรือบินวนรอบเป้าหมายที่เคลื่อนที่ช้า จึงทำให้ลักษณะการบินในภารกิจนี้โดยส่วนใหญ่เครื่องบินจะหันด้านข้างเข้าหาเป้าหมาย ดังนั้นตำแหน่งและทิศทางของกล้องในการศึกษาครั้งนี้จึงกำหนดให้กล้องติดตั้งอยู่บริเวณใต้ตำแหน่งจุดศูนย์กลางมวลของเครื่องบิน โดยหันไปทางด้านปีกซ้ายของเครื่องบิน และสมมติให้กล้องสามารถปรับให้เงยขึ้นและก้มลงชี้ไปยังเป้าหมายที่อยู่พื้นดินได้ดังในรูปที่ 1

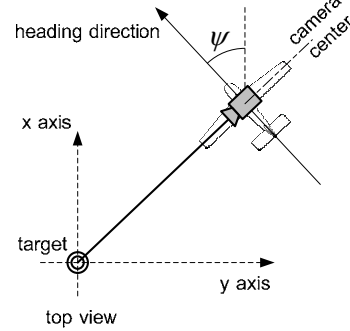


รูปที่ 1 ตำแหน่งและทิศทางของกล้อง (รูปมองจากด้านหลังอากาศยาน)

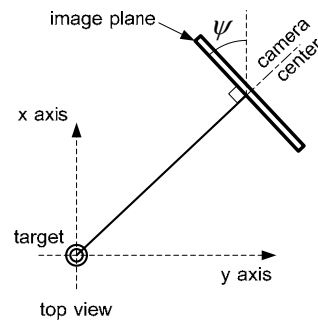
ตามปกติเครื่องบินไร้นักบินจะมีเซนเซอร์ประเภทต่างๆ ติดตั้งอยู่บนตัวเครื่องบิน ทำให้สามารถทราบค่าความสูงของเพดานบิน (h) และค่ามุมเอียงตัว (bank angle:  $\phi$ ) ในขณะนั้นได้ ถ้าหากระบบกล้องที่ใช้มีเซนเซอร์สำหรับวัดมุมเงยของกล้อง ( $\phi_c$ ) จะสามารถหาระยะห่างในแนวระดับระหว่างเป้าหมายกับเครื่องบิน (R) ได้ตามความสัมพันธ์ในรูปที่ 1 คือ

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

เมื่อพิจารณาการเคลื่อนที่ในระนาบแนวระดับ ถ้าหากเครื่องบินกำลังบินวนรอบเป้าหมายโดยที่ปีกซ้ายของเครื่องบินชี้ไปยังเป้าหมายพอดีดังในรูปที่ 2 เนื่องจากในการศึกษาครั้งนี้กำหนดให้ติดตั้งกล้องหันไปทางด้านปีกซ้ายโดยที่ไม่สามารถบังคับหมุนสายกล้องทางด้านซ้ายขวาและหน้าหลังได้ จะบังคับทิศทางของกล้องได้เฉพาะการเงยขึ้นและก้มลงเท่านั้น ความสัมพันธ์ระหว่างทิศทางของเครื่องบินกับตำแหน่งของเป้าหมายในกรณีนี้จะทำให้ภาพที่ถ่ายได้จากกล้องบนเครื่องบินปรากฏรูปของเป้าหมายที่ตำแหน่งกึ่งกลางของภาพดังในรูปที่ 3 ในกรณีนี้ความคลาดเคลื่อนของรูปเป้าหมายจากจุดศูนย์กลางภาพเป็นศูนย์

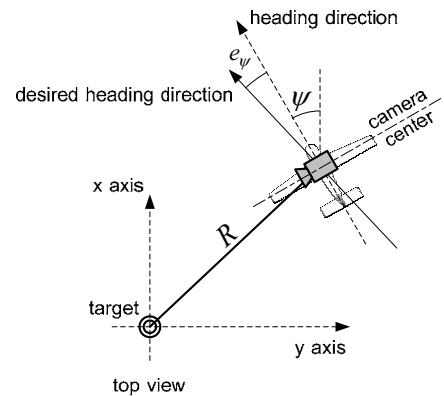


รูปที่ 2 เครื่องบินบินวนโดยปีกซ้ายชี้ไปยังเป้าหมายพอดี



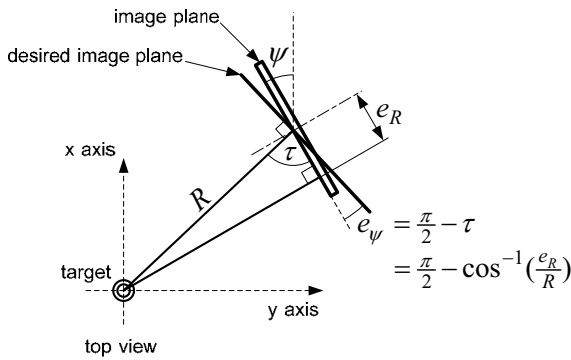
รูปที่ 3 ตำแหน่งที่เป้าหมายปรากฏในภาพ (ขณะปีกซ้ายชี้ไปยังเป้าหมายพอดี)

แต่ถ้าหากเครื่องบินบินวนรอบเป้าหมายโดยที่ปีกซ้ายของเครื่องบินซึ่งเป็นทิศทางของกล้องไม่ได้ชี้ไปยังเป้าหมาย แต่ทิศทางของเครื่องบินคลาดเคลื่อนไปดังในรูปที่ 4



รูปที่ 4 เครื่องบินบินวนโดยปีกซ้ายคลาดเคลื่อนไปจากเป้าหมาย

ในกรณีที่ความสัมพันธ์ระหว่างทิศทางของเครื่องบินกับตำแหน่งของเป้าหมายคลาดเคลื่อนไปดังในรูปที่ 4 จะทำให้ทิศทางของกล้องในระนาบแนวระดับเบี่ยงเบนไปจากเป้าหมาย ดังนั้นรูปของเป้าหมายจะคลาดเคลื่อนไปจากตำแหน่งกึ่งกลางของภาพดังแสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 5 ตำแหน่งที่เป้าหมายปรากฏในภาพ (ขณะปีกซ้ายเบี่ยงเบนไปจากเป้าหมาย)

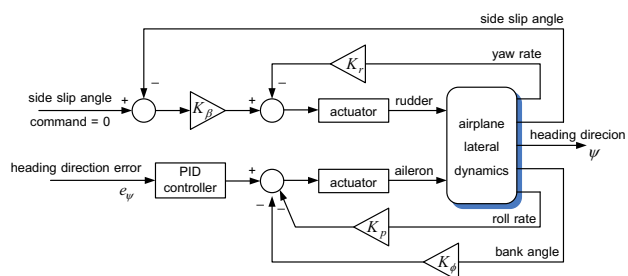
เมื่อให้  $e_R$  เป็นระยะในแนวระดับที่รูปของเป้าหมายคลาดเคลื่อนไปจากตำแหน่งกึ่งกลางของภาพ และจากความสัมพันธ์ในรูปที่ 5 จะสามารถหาขนาดมุมคลาดเคลื่อนของทิศทางการบิน ( $e_\psi$ ) ได้เป็น

$$e_\psi = \frac{\pi}{2} - \cos^{-1}\left(\frac{e_R}{R}\right) \quad (2)$$

โดยที่ค่าระยะห่างในแนวระดับระหว่างเป้าหมายกับเครื่องบิน ( $R$ ) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (1) ดังนั้นจึงจะเขียนแสดงขนาดมุมคลาดเคลื่อนของทิศทางการบินได้ใหม่เป็น

$$e_\psi = \frac{\pi}{2} - \cos^{-1}\left(\frac{e_R \tan(\phi + \phi_c)}{h}\right) \quad (3)$$

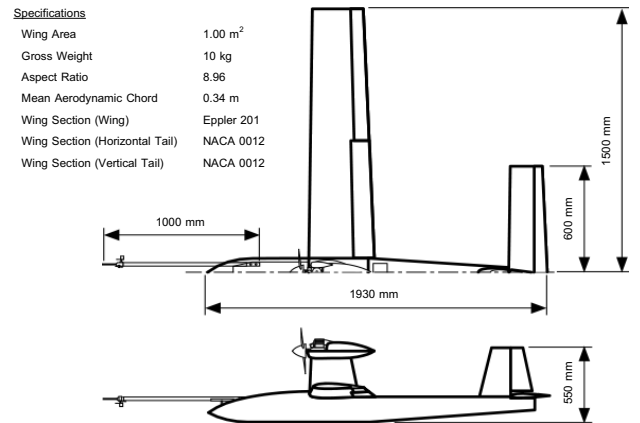
ซึ่งค่าขนาดมุมคลาดเคลื่อนของทิศทางการบินที่คำนวณได้จากสมการที่ (3) จะนำไปใช้เป็นตัวสั่งปรับเปลี่ยนทิศทางการบินในระบบควบคุมทิศทางการบินด้วยตัวควบคุมแบบ PID ดังแสดงในรูปที่ 6 ให้เครื่องบินปรับทิศทางการบินไปในทิศที่จะทำให้ค่ามุมคลาดเคลื่อนลดลง เพื่อให้เครื่องบินหันไปในทิศที่ปีกซ้ายซึ่งเป็นทิศของกล้องซึ่งไปยังเป้าหมาย ส่วนการควบคุมมุมไถล (side slip angle) เป็นการควบคุมเสริมเพื่อให้เครื่องบินสามารถเลี้ยวไปในทิศทางที่ต้องการได้โดยไม่เกิดการไถล ทำให้เปลี่ยนทิศทางการบินได้ดียิ่งขึ้น



รูปที่ 6 แผนผังระบบควบคุมทิศทางการบิน

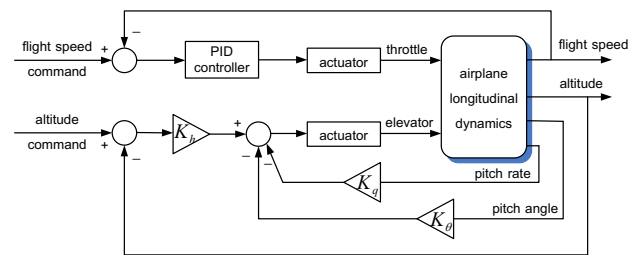
### 3. การจำลองการบินทางคณิตศาสตร์ (Flight Simulation)

การศึกษาค้นคว้าทดสอบความเป็นไปได้ของวิธีการควบคุมที่นำเสนอโดยใช้การจำลองการบินทางคณิตศาสตร์ แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้เป็นแบบจำลองเชิงเส้นของอากาศยานไร้คนขับแบบเครื่องบินทั่วไปที่มีความยาวปีก 3 เมตร ใช้เครื่องยนต์และใบพัดสร้างแรงขับ ดังแสดงในรูปที่ 7



รูปที่ 7 UAV รูปแบบเครื่องบินที่นำมาศึกษา

เพื่อที่จะเน้นการศึกษาผลการควบคุมทิศทางการบินด้วยวิธีการคำนวณมุมคลาดเคลื่อนจากตำแหน่งเป้าหมายในภาพดังที่นำเสนอ ดังนั้นการควบคุมการบินในระนาบแนวตั้ง (longitudinal motion) จึงใช้ระบบควบคุมความเร็วและความสูงในการบินดังในรูปที่ 8 โดยจะป้อนกลับค่าความเร็วผ่านตัวควบคุมแบบ PID เพื่อบังคับคันเร่งเครื่องยนต์ (throttle) ให้รักษาความเร็วให้คงที่ ส่วนการควบคุมความสูงในการบินจะป้อนกลับค่าความเร็วเชิงมุมพิช (pitch rate) และค่ามุมพิช (pitch angle) เป็นการควบคุมวงใน (inner loop) เพื่อปรับค่าความหน่วงของระบบ (damping) และป้อนกลับค่าความสูงผ่านตัวควบคุมแบบ P เพื่อบังคับแผงหาง (elevator) ให้รักษาความสูงให้คงที่



รูปที่ 8 แผนผังระบบควบคุมความเร็วและความสูงในการบิน

### 4. การทดสอบระบบควบคุมการบินสังเกตและติดตามเป้าหมาย

การทดสอบระบบควบคุมการบินสังเกตและติดตามเป้าหมายจะทำได้ด้วยการจำลองการบินทางคณิตศาสตร์ซึ่งมีการเคลื่อนที่ของเป้าหมายต่างกัน 3 กรณี คือ เป้าหมายอยู่นิ่ง เป้าหมายเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงด้วยความเร็วคงที่ และเป้าหมายเคลื่อนที่เป็นวงกลมด้วยความเร็วคงที่ ส่วน

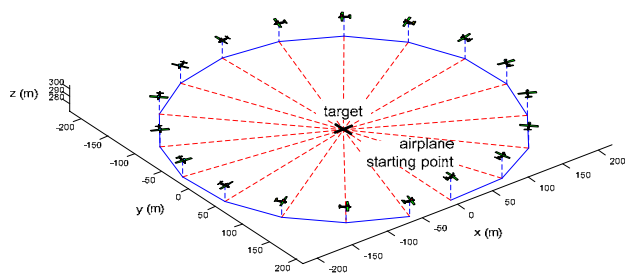
**AME004**

ด้านเครื่องบินกำหนดให้เริ่มเข้าสู่ภารกิจการบินสังเกตโดยมีระยะห่างจากเป้าหมายในแนวระดับ 200 m และปีกซ้ายซึ่งเป็นทิศของกล้องชี้ไปยังเป้าหมายพอดี ตลอดภารกิจกำหนดให้เครื่องบินควบคุมความสูงในการบินไว้ที่ 300 m และควบคุมความเร็วให้เป็น 1.2 เท่าของความเร็วสูญเสียแรงยก (stall speed) ซึ่งจะทำให้เครื่องบินรักษาความเร็วไว้ที่ 18 m/s เหมือนกันทุกกรณี

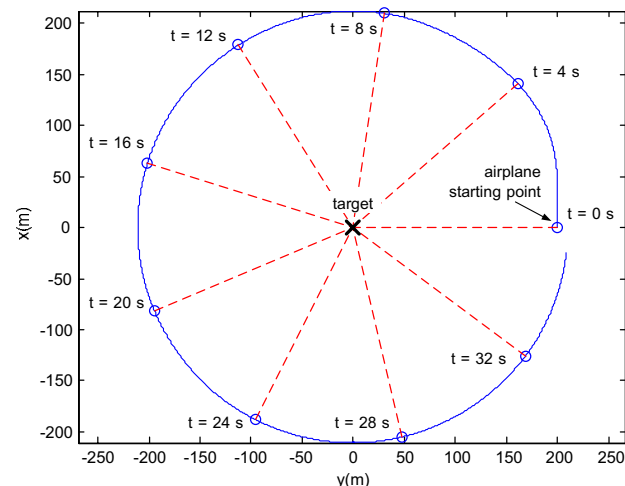
นอกจากนี้การพิจารณาเส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องบินและเป้าหมายจะใช้แกนอ้างอิงกับโลก (earth fixed axes) คือ แกน x ชี้ไปทางทิศเหนือ แกน y ชี้ไปทางทิศตะวันออก

**4.1 การบินสังเกตเป้าหมายที่อยู่นิ่ง**

กรณีแรกกำหนดให้เป้าหมายอยู่ที่พื้นบนระนาบ xy ที่ตำแหน่ง (0,0) รูปที่ 9 เป็นผลเส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องบินที่ใช้การควบคุมปรับเปลี่ยนทิศทางการบินด้วยค่ามุมคลาดเคลื่อนที่คำนวณจากตำแหน่งรูปเป้าหมายที่คลาดเคลื่อนไปจากตำแหน่งกึ่งกลางของภาพตั้งเสมอในหัวข้อที่ 2 และรูปที่ 10 เป็นเส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องบินที่ฉายลงบนระนาบ xy เส้นประในรูปลากตามแนวปีกซ้ายไปหาเป้าหมาย จะเห็นได้ว่าเครื่องบินจะถูกปรับเปลี่ยนทิศทางการบินให้หันปีกซ้ายเข้าหาเป้าหมายตลอดเวลา ทำให้เส้นทางการบินเป็นวงกลมรอบเป้าหมายซึ่งอยู่นิ่ง แต่บินวนนั้นรัศมีของวงกลมมากกว่าระยะห่างจากเป้าหมายที่จุดเริ่มต้นเล็กน้อย เนื่องจากมีการไถลเกิดขึ้นในระหว่างเลี้ยว ทำให้รัศมีในการเลี้ยวมากขึ้น

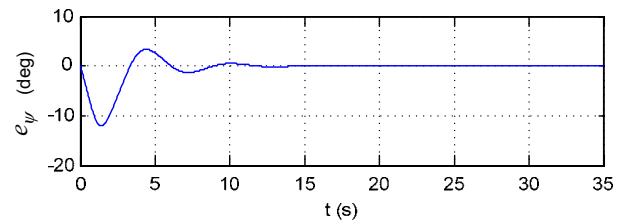


รูปที่ 9 ผลการควบคุมทิศทางการบิน กรณีเป้าหมายอยู่นิ่ง (เส้นประแต่ละเส้นเวลาต่างกัน 2 วินาที)

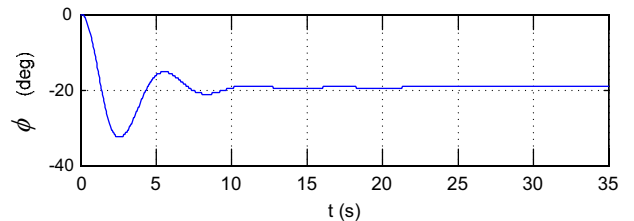


รูปที่ 10 เส้นทางการบินที่ฉายลงบนระนาบ xy (กรณีเป้าหมายอยู่นิ่ง)

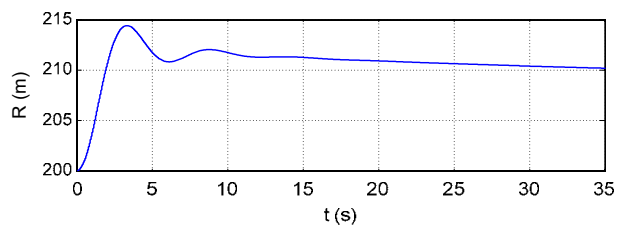
รูปที่ 11 แสดงค่ามุมทิศทางการบินคลาดเคลื่อนที่ได้จากภาพซึ่งนำไปใช้ปรับทิศทางการบินของเครื่องบิน จะเห็นได้ว่าในช่วงแรกที่เข้าสู่ภารกิจเครื่องบินจะต้องพยายามปรับเปลี่ยนทิศทางการบินจนกระทั่งเข้าสู่สภาวะอยู่ตัวเมื่อเวลาประมาณ 15 วินาที ซึ่งจะสังเกตได้จากการเปลี่ยนแปลงมุมเอียงตัว (bank angle:  $\phi$ ) ในรูปที่ 12 เช่นเดียวกัน คือ ในช่วงแรกจะมีการปรับมุมเอียงตัวเพื่อเลี้ยว จนเอียงตัวได้เหมาะสมแล้วเลี้ยวตัวรัศมีคงที่ในที่สุด ดังในรูปที่ 13 ระยะห่างในแนวระดับระหว่างเครื่องบินกับเป้าหมายจะมีการเปลี่ยนแปลงในช่วงแรกแล้วค่อยๆ เข้าสู่ค่าคงที่



รูปที่ 11 ค่ามุมทิศทางการบินคลาดเคลื่อน (กรณีเป้าหมายอยู่นิ่ง)



รูปที่ 12 มุมเอียงตัว (กรณีเป้าหมายอยู่นิ่ง)

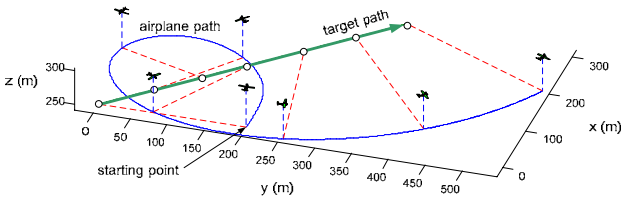


รูปที่ 13 ระยะห่างในแนวระดับจากเครื่องบินถึงเป้าหมาย (กรณีเป้าหมายอยู่นิ่ง)

**4.2 การบินติดตามเป้าหมายที่เคลื่อนที่เป็นเส้นตรง**

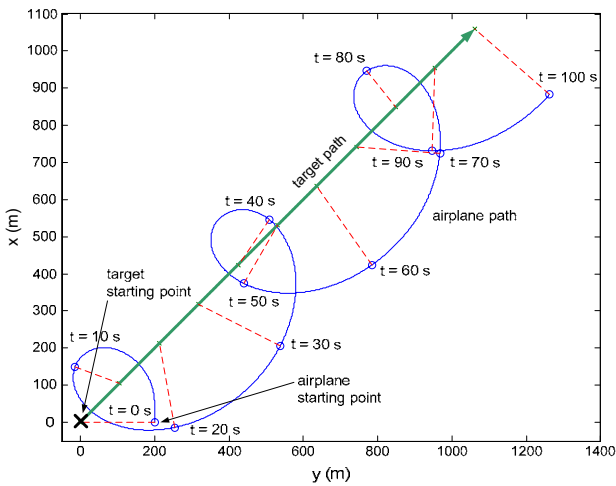
กรณีที่ 2 กำหนดให้เป้าหมายเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงบนพื้นระนาบ xy ด้วยความเร็วคงที่ 15 m/s ไปในทิศทางทำมุม 45° กับแกน y ส่วนเครื่องบินกำหนดให้ถูกควบคุมไว้เช่นเดียวกับกรณีแรก คือรักษาระดับความสูงไว้ที่ 300 m และควบคุมความเร็วไว้ที่ 18 m/s จากนั้นเริ่มเข้าสู่ภารกิจการบินติดตามโดยมีระยะห่างจากเป้าหมายในแนวระดับ 200 m และปีกซ้ายซึ่งเป็นทิศของกล้องชี้ไปยังเป้าหมายพอดี

รูปที่ 14 เป็นผลเส้นทางการเคลื่อนที่จากการควบคุมทิศทางการบินช่วง 30 วินาทีแรก เนื่องจากความเร็วของเครื่องบินมากกว่าความเร็วของเป้าหมาย ดังนั้นเครื่องบินจะบินเลยเป้าหมายไป ทำให้ต้องบินวนกลับมาจนกระทั่งเป้าหมายวิ่งไปด้านหลังเครื่องบิน จากนั้นเครื่องบินจึงจะบินไปในทิศทางเดียวกับเป้าหมาย



รูปที่ 14 ผลการควบคุมทิศทางการบินช่วง 30 วินาทีแรก  
 กรณีเป้าหมายเคลื่อนที่เป็นเส้นตรง  
 (เส้นประแต่ละเส้นเวลาต่างกัน 5 วินาที)

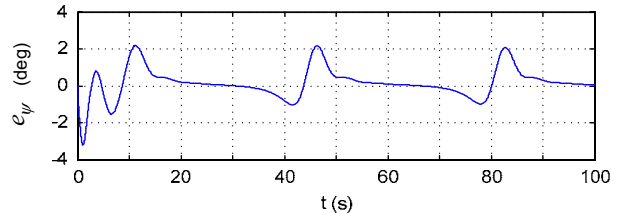
รูปที่ 15 เป็นเส้นทางการเคลื่อนที่ทั้งหมดเป็นเวลา 100 วินาที จะเห็นว่าเมื่อเครื่องบินบินวนรอบเป้าหมายจนกระทั่งกลับมาเคลื่อนที่ในทิศทางเดียวกันกับเป้าหมายแล้ว แต่เพื่อความปลอดภัยจะไม่สามารถลดความเร็วของเครื่องบินให้ต่ำกว่าความเร็วสูญเสียแรงยกได้ ซึ่งในการจำลองการบินในครั้งนี้ได้ควบคุมความเร็วให้คงที่เป็น 1.2 เท่าของความเร็วสูญเสียแรงยกคือเป็น 18 m/s ความเร็วของเครื่องบินจึงมากกว่าความเร็วของเป้าหมาย ดังนั้นเครื่องบินจะบินเลยเป้าหมายไปข้างหน้าอีก ทำให้ต้องบินวนกลับมารอบเป้าหมาย เส้นทางการบินจะเป็นลักษณะนี้ซ้ำต่อไปเรื่อยๆ



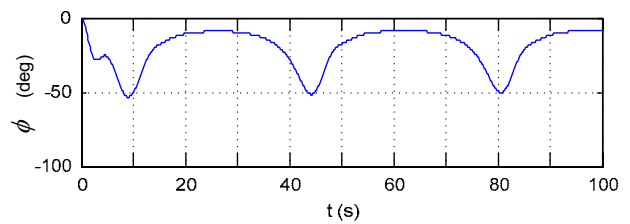
รูปที่ 15 เส้นทางการบิน 100 วินาทีที่ฉายลงบนระนาบ xy  
 (กรณีเป้าหมายเคลื่อนที่เป็นเส้นตรง)

ค่ามุมทิศทางการบินคลาดเคลื่อนในรูปที่ 16 เมื่อบินวนรอบปรับทิศทางการบินจนกระทั่งบินไปในทิศทางเดียวกับเป้าหมาย ค่ามุมทิศทางการบินคลาดเคลื่อนจะเข้าใกล้ศูนย์ แต่เมื่อบินเลยเป้าหมายไปอีกครั้งที่เวลาประมาณ 35 วินาที ค่ามุมทิศทางการบินคลาดเคลื่อนจะเพิ่มขึ้น และกลับมาเข้าใกล้ศูนย์อีกครั้งเมื่อบินรอบจนกระทั่งกลับมาเคลื่อนที่ในทิศทางเดียวกับเป้าหมาย มุมเอียงตัวของเครื่องบินจะเปลี่ยนแปลงอย่างมากเมื่อค่ามุมทิศทางการบินคลาดเคลื่อนเพิ่มขึ้นดังในรูปที่ 17 เนื่องจากจะต้องควบคุมเครื่องบินให้เลี้ยวกลับมา และ

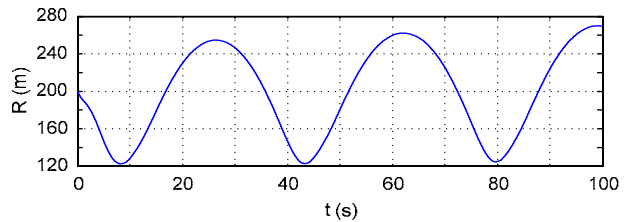
ระยะห่างระหว่างเครื่องบินกับเป้าหมายจะเพิ่มขึ้นขณะที่บินอ้อมเป้าหมายดังในรูปที่ 18



รูปที่ 16 ค่ามุมทิศทางการบินคลาดเคลื่อน  
 (กรณีเป้าหมายเคลื่อนที่เป็นเส้นตรง)



รูปที่ 17 มุมเอียงตัว (กรณีเป้าหมายเคลื่อนที่เป็นเส้นตรง)

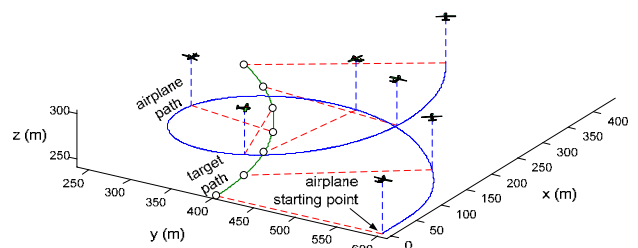


รูปที่ 18 ระยะห่างในแนวระดับจากเครื่องบินถึงเป้าหมาย  
 (กรณีเป้าหมายเคลื่อนที่เป็นเส้นตรง)

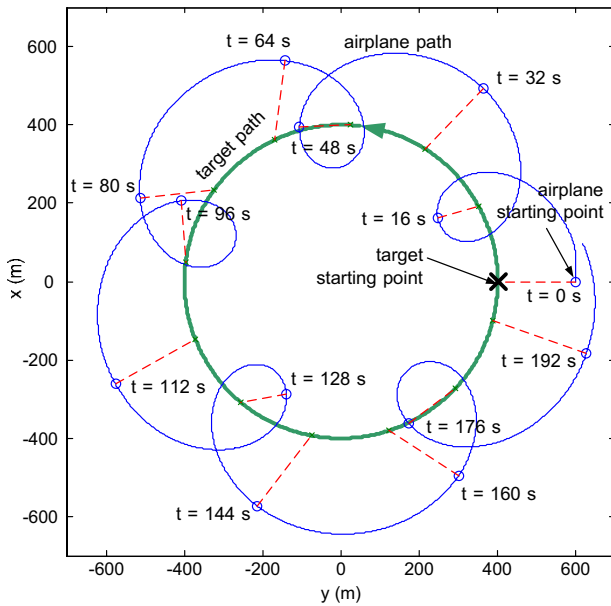
### 4.3 การบินติดตามเป้าหมายที่เคลื่อนที่เป็นวงกลม

กรณีที่ 3 กำหนดให้เป้าหมายเคลื่อนที่เป็นวงกลมบนพื้นระนาบ xy โดยมีจุดศูนย์กลางการเคลื่อนที่อยู่ที่จุด (0,0) รัศมีของวงกลมเป็น 400 m และคาบการเคลื่อนที่ครบรอบของเป้าหมายเป็น 200 วินาที สภาวะเริ่มต้นและการควบคุมของเครื่องบินเหมือนกับกรณีที่ 1 และ 2

รูปที่ 19 เป็นผลเส้นทางการเคลื่อนที่จากการควบคุมทิศทางการบินช่วง 30 วินาทีแรก และรูปที่ 20 เป็นเส้นทางการเคลื่อนที่ทั้งหมดเป็นเวลา 200 วินาทีจนกระทั่งเป้าหมายเคลื่อนที่ครบรอบ



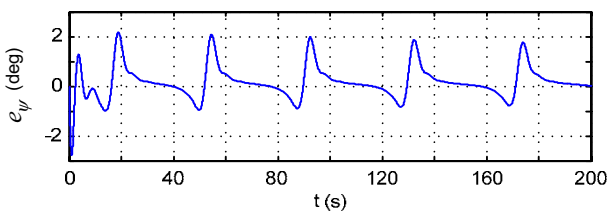
รูปที่ 19 ผลการควบคุมทิศทางการบินช่วง 30 วินาทีแรก  
 กรณีเป้าหมายเคลื่อนที่เป็นวงกลม  
 (เส้นประแต่ละเส้นเวลาต่างกัน 5 วินาที)



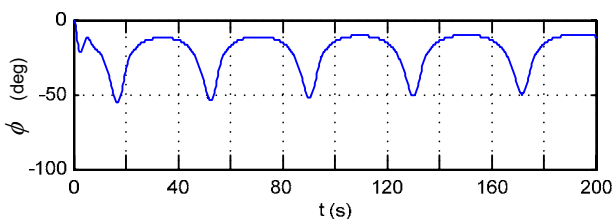
รูปที่ 20 เส้นทางการบิน 200 วินาทีที่ฉายลงบนระนาบ xy (กรณีเป้าหมายเคลื่อนที่เป็นวงกลม)

จากรูปที่ 19 เมื่อเริ่มต้นเส้นทางการบินจะโค้งไปตามเส้นทางการเคลื่อนที่ของเป้าหมาย แต่เนื่องจากความเร็วของเครื่องบินมากกว่าความเร็วของเป้าหมาย ดังนั้นจึงต้องบินวนกลับมาเพื่อรอให้เป้าหมายเคลื่อนที่ไปด้านหน้าเครื่องบินก่อน เส้นทางการบินจึงเป็นลักษณะที่โค้งไปตามวงกลมเส้นทางการเคลื่อนที่ของเป้าหมายสลับกับการบินหรือเข้าต่อไปเรื่อยๆ ดังในรูปที่ 20

รูปที่ 21 – 22 เป็นค่ามุมทิศทางการบินคลาดเคลื่อน และมุมเอียงตัวตามลำดับ ลักษณะการเปลี่ยนแปลงจะคล้ายกับกรณีเป้าหมายเคลื่อนที่เป็นเส้นตรง คือจะมีการเปลี่ยนแปลงมากในช่วงที่เครื่องบินบินเลยเป้าหมายไปและต้องบินวนรอ

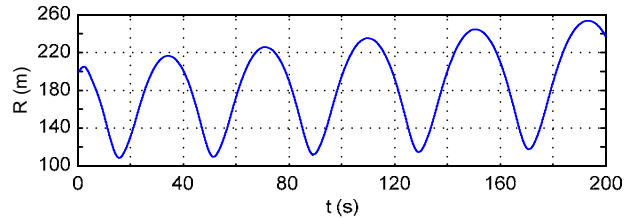


รูปที่ 21 ค่ามุมทิศทางการบินคลาดเคลื่อน (กรณีเป้าหมายเคลื่อนที่เป็นวงกลม)



รูปที่ 22 มุมเอียงตัว (กรณีเป้าหมายเคลื่อนที่เป็นวงกลม)

ระยะห่างในแนวระดับระหว่างเครื่องบินกับเป้าหมายมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ดังในรูปที่ 23 เนื่องจากเครื่องบินยังมีการไถลเกิดขึ้น ดังนั้นรัศมีการบินเลี้ยวของเครื่องบินจึงเพิ่มขึ้นในระหว่างที่บินวน



รูปที่ 23 ระยะห่างในแนวระดับจากเครื่องบินถึงเป้าหมาย (กรณีเป้าหมายเคลื่อนที่เป็นวงกลม)

## 5. บทสรุป

บทความนี้ได้เสนอแนวทางการนำระบบภาพมาใช้ในการควบคุมการบินของเครื่องบินในการกิจสังเกตรและติดตามเป้าหมาย โดยใช้ค่าระยะที่รูปเป้าหมายที่ปรากฏในภาพจากกล้องบนเครื่องบินคลาดเคลื่อนไปจากตำแหน่งกึ่งกลางของภาพ นำมาคำนวณหาค่าคำสั่งที่จะใช้ในการปรับเปลี่ยนมุมทิศทางการบินของเครื่องบินให้เป็นไปตามการเคลื่อนที่ของเป้าหมาย จากการทดสอบวิธีการที่นำเสนอโดยการจำลองการบินทางคณิตศาสตร์ 3 กรณี คือ เป้าหมายอยู่นิ่ง เป้าหมายเคลื่อนที่เป็นเส้นตรง และเป้าหมายเคลื่อนที่เป็นวงกลม ผลการจำลองทางคณิตศาสตร์แสดงให้เห็นว่าวิธีการนี้สามารถควบคุมให้เครื่องบินบินไปตามการเคลื่อนที่ของเป้าหมายได้ โดยที่เครื่องบินจะบินวนกลับมาเมื่อเป้าหมายเคลื่อนที่ช้ากว่าเครื่องบิน การพัฒนาต่อจากนี้ไปจะต้องพิจารณาความสามารถในการตรวจหารูปร่างที่ต้องการในภาพด้วยความเร็วในการตรวจหาเป้าหมายในภาพจะมีผลต่อการคำนวณมุมสำหรับปรับเปลี่ยนทิศทางการบิน ต้องพิจารณาผลกระทบจากลมรบกวนด้วย เนื่องจากเมื่อมีลมกระทบจะทำให้เครื่องบินเกิดการไถลและรัศมีการเลี้ยวจะเปลี่ยนแปลง และต้องพิจารณาเส้นทางการเคลื่อนที่ของเป้าหมายที่ซับซ้อนให้ใกล้เคียงกับการเคลื่อนที่จริงมากขึ้น

## 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. To appear in Journal of Field Robotics, 2006.
- [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 38<sup>th</sup> Conference on Decision and Control, Phoenix, Arizona, USA.