

การออกแบบระบบควบคุมและวางแผนการบินด้วยวิธีทำซ้ำแบบกลุ่ม Flight Control Design and Navigation by Group Iteration

อรณพ เรืองวิเศษ

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

91 ถ.ประชาอุทิศ แขวงบางมด เขตทุ่งครุ กรุงเทพฯ 10140

โทร 0-2470-9117 โทรสาร 0-2470-9111 E-mail: annop.rua@kmutt.ac.th

Annop RUANGWISSET

Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's University of Technology Thonburi

91 Pracha-u-tid Rd. Bangmod Tungkru Bangkok 10140 Thailand

Tel 0-2470-9117 Fax 0-2470-9111 E-mail:annop.rua@kmutt.ac.th

บทคัดย่อ

โดยทั่วไปการออกแบบระบบควบคุมการบินอัตโนมัติและการวางแผนการบินจะคิดแยกออกจากกันเป็นสองขั้นตอน ในงานวิจัยนี้ได้เสนอการรวมขั้นตอนทั้งสองเข้าด้วยกันโดยใช้วิธีทำซ้ำแบบกลุ่มซึ่งเป็นวิธีค้นหาค่าตอบหลายจุดเช่นเดียวกับวิธีเชิงพันธุกรรม วิธีทำซ้ำแบบกลุ่มถูกนำมาใช้เพื่อหาค่าที่เหมาะสมของอัตราขยายและคำสั่งของควบคุมเพื่อให้ปฏิบัติการการบินอย่างสมบูรณ์ การปฏิบัติการบินของอากาศยานไร้คนขับสองกรณีคือการบินด้วยเวลาสั้นที่สุดและการบินหลบเลี่ยงบริเวณห้ามบินได้ถูกนำมาศึกษา ผลการคำนวณที่ได้รับแสดงถึงประสิทธิภาพที่น่าพอใจของวิธีที่นำเสนอ

Abstract

Generally, the flight control design and the navigation strategy are considered separately. In this paper, an approach to combine these two aspects using the group iteration method is proposed. The group iteration, the multipoint searching method similar to the genetic algorithm, is used to find the optimal control gains and commands in order to achieve the two missions of UAV (Unmanned Aerial Vehicle). The two missions studied include: (1) the minimum time turning flight and (2) the no-fly zone avoiding flight. The simulation results show the remarkable capability of the chosen method.

1. บทนำ

อากาศยานไร้คนขับหรือที่มักจะถูกเรียกกันในเรื่องตามอักษรย่อ UAV (Unmanned Aerial Vehicle) เป็นอากาศยานขนาดเล็กที่ใช้ในปฏิบัติการภารกิจการบิน (mission) โดยปราศจากนักบินโดยสารไปกับอากาศยาน การบังคับทำได้ทั้งจากการบังคับทางตรงโดยผู้บังคับ ณ สถานที่ภาคพื้นดิน หรือจากการควบคุมอัตโนมัติโดยการประมวลผลจากระบบตัวตรวจวัดและคอมพิวเตอร์ที่ติดตั้งไปบนอากาศยาน

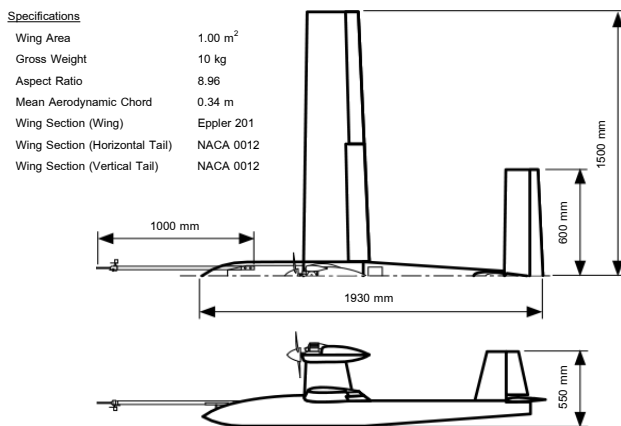
การปฏิบัติการการบินให้ประสบความสำเร็จและมีประสิทธิภาพจะต้องมีการวางแผนการบินที่ดี เช่น จะต้องหาวิธีและเส้นทางบินที่เหมาะสมในการบินเลี้ยว หรือการบินเปลี่ยนระดับความสูงด้วยเวลาที่สั้นที่สุดหรือใช้เชื้อเพลิงน้อยที่สุด โดยทั่วไปการแก้ปัญหาเกี่ยวกับการวางแผนการบินจะใช้สมการการเคลื่อนที่ของจุดมวลที่พิจารณาเฉพาะความสัมพันธ์ของแรงหลักซึ่งได้แก่แรงยกตัว (lift) แรงต้าน (drag) แรงขับ (thrust) กับการเปลี่ยนแปลงความเร็ว ความเร็วเชิงเส้นและเชิงมุมเท่านั้น [1-2] การพิจารณาโดยใช้สมการการเคลื่อนที่ของจุดมวลนั้นจะใช้ได้ดีในกรณีที่อากาศยานกำลังบินอยู่ในสภาวะการบินสม่ำเสมอ (steady flight) แต่ในความเป็นจริงแล้วอากาศยานไม่ได้บินอยู่ในสภาวะการบินสม่ำเสมอตลอดเวลา ขณะเลี้ยวอาจมีการไถลด้านข้าง (side slip) หรือขณะปรับมุมพิช (pitch angle) ให้สูงขึ้นอาจมีการสูญเสียความเร็ว ส่วนบางงานวิจัยจะเน้นพิจารณาเฉพาะการค้นหาเส้นทางการบินที่เหมาะสมตามข้อจำกัดทางภูมิภาค โดยจะไม่พิจารณาไปถึงความสามารถในการบินว่าอากาศยานจะสามารถบินตามเส้นทางนั้นได้หรือไม่ [3-5]

ดังนั้นการศึกษาเกี่ยวกับการวางแผนการบินในโครงการนี้จะนำแบบจำลองเชิงเส้นของอากาศยานตามทฤษฎีการบินปั่นป่วนขนาดเล็ก (Small Disturbance Theory [6]) มาใช้แทนสมการการเคลื่อนที่ของจุดมวล เนื่องจากแบบจำลองนี้จะพิจารณาถึงผลจากแรงและโมเมนต์ที่กระทำต่ออากาศยานที่ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ในทั้ง 3 แกน จึงสามารถ

จำลองสภาวะการบินได้ใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากกว่าสมการการเคลื่อนที่ของจุดมวล นอกจากนี้แบบจำลองเชิงเส้นนี้ยังเป็นแบบจำลองที่ใช้กันทั่วไปในการออกแบบระบบควบคุมการบินอัตโนมัติ ดังนั้นในโครงการนี้จึงได้รวมขั้นตอนการออกแบบระบบควบคุมการบินอัตโนมัติแบบ PID และการวางแผนการบินเข้าด้วยกันโดยนำวิธีทำซ้ำแบบกลุ่ม (Group Iteration: GI) ซึ่งเป็นวิธีที่พัฒนามาจากวิธีทางพันธุกรรม (Genetic Algorithm: GA) โดย Nagasaki และ Sakurai [7] มาใช้หาค่าที่เหมาะสมของอัตราขยายแต่ละค่าในระบบควบคุมการบินอัตโนมัติแบบ PID และค่าคำสั่งเปลี่ยนแปลงสภาวะการบินที่จะป้อนสู่ระบบควบคุมการบินอัตโนมัติเพื่อให้สามารถบินไปสู่สภาวะที่ต้องการได้ตามภารกิจการบินที่กำหนด โดยที่จะใช้กรณีศึกษา 2 กรณีเป็นการกักการบินไปยังจุดที่ต้องการในกรณีที่กำหนดทิศทางของหัวเครื่องบินและมุมเอียงตัว ณ ตำแหน่งสุดท้าย และในกรณีที่มีบริเวณห้ามบิน

2. ระบบควบคุมการบินอัตโนมัติ

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการศึกษานี้เป็นแบบจำลองเชิงเส้นของอากาศยานไร้คนขับแบบเครื่องบินที่มีความยาวปีก 3 เมตร ใช้เครื่องยนต์และใบพัดสร้างแรงขับ ดังแสดงในรูปที่ 1



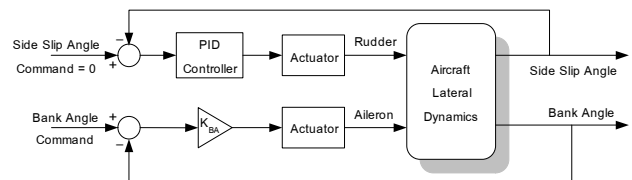
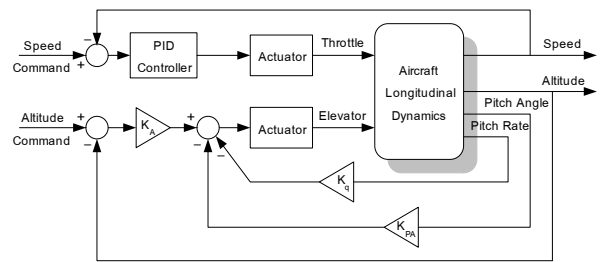
รูปที่ 1 UAV ที่นำมาศึกษา

ระบบควบคุมการบินอัตโนมัติที่ใช้เป็นระบบควบคุมย้อนกลับแบบ PID ดังแสดงในรูปที่ 2 ประกอบด้วยการควบคุม 4 อย่างที่เป็นพื้นฐานทั่วไปในการควบคุมการบินอัตโนมัติคือ

- (1) การควบคุมความเร็ว (flight speed: V) โดยการป้อนกลับค่าความเร็วผ่านตัวควบคุมแบบ PID เพื่อบังคับลิ้นเร่งของเครื่องยนต์ (throttle)
- (2) การควบคุมระดับความสูงในการบิน (altitude: z) โดยการป้อนกลับค่าระดับความสูงผ่านตัวควบคุมแบบ P เพื่อบังคับแผงหาง (elevator) และนอกจากนั้นจะใช้การป้อนกลับค่ามุมพิช (pitch angle: θ) และความเร็วเชิงมุมด้านพิช (pitch rate: q) ผ่านตัวควบคุมแบบ P รวมด้วยเพื่อปรับค่าความหน่วงของระบบ (damping) และป้องกันไม่ให้มุมพิช

เพิ่มขึ้นมากเกินไปเนื่องจากอาจกลายเป็นต้นเหตุของการสูญเสียการทรงตัว (stall)

- (3) การควบคุมมุมแบงก์ (bank angle: ϕ) โดยการป้อนกลับค่ามุมแบงก์ผ่านตัวควบคุมแบบ P เพื่อบังคับปีกเอียง (aileron)
- (4) การควบคุมมุมไถลด้านข้าง (side slip angle: β) โดยการป้อนกลับค่ามุมไถลด้านข้างผ่านตัวควบคุมแบบ PID เพื่อบังคับหางเสือ (rudder) การควบคุมนี้เป็นการป้องกันไม่ให้เกิดการไถล ช่วยในการบังคับเปลี่ยนทิศของหัวเครื่องบินให้หันไปในทิศที่ต้องการ ดังนั้นคำสั่งที่ป้อนให้แก่การควบคุมนี้จึงเป็นศูนย์เสมอ



รูปที่ 2 ระบบควบคุมการบินอัตโนมัติ

3. วิธีทำซ้ำแบบกลุ่ม (Group Iteration: GI)

วิธีทำซ้ำแบบกลุ่ม (Group Iteration: GI) เป็นวิธีที่พัฒนามาจากวิธีทางพันธุกรรม (Genetic Algorithm: GA) โดย Nagasaki และ Sakurai เพื่อนำมาใช้ในการออกแบบ UAV [7] วิธีทำซ้ำแบบกลุ่มนี้เป็นวิธีค้นหาคำตอบหลายจุดในหนึ่งครั้งหรือรุ่น (generation) เช่นเดียวกับวิธีทางพันธุกรรม ตัวแปรทุกชนิดที่ต้องการหาคำตอบจะถูกแปลงให้อยู่ในรูปของสายรหัส แล้วใช้การถ่ายทอดลักษณะของสายรหัสที่ดีไปสู่สายรหัสในรุ่นต่อไปเรื่อยๆ จนกว่าจะได้สายรหัสที่มีคุณสมบัติหรือความเหมาะสม (fitness) ตามที่ต้องการ แต่ข้อแตกต่างที่สำคัญคือในขณะที่วิธีเชิงพันธุกรรมโดยทั่วไปจะแสดงค่าของตัวแปรด้วยสายรหัสที่เป็นตัวเลขฐานสอง แต่วิธีทำซ้ำแบบกลุ่มนั้นจะใช้เลขจำนวนจริงแสดงค่าของตัวแปรที่ต้องการหาโดยตรงนำมาจัดตำแหน่งตัวแปรแต่ละชนิดเรียงเข้าด้วยกันเป็นสายรหัส จึงทำให้สามารถแสดงค่าของตัวแปรได้ง่ายกว่า

การค้นหาคำตอบในการออกแบบระบบควบคุมการบินอัตโนมัติและการวางแผนการบินด้วยวิธีทำซ้ำแบบกลุ่มที่ศึกษาในโครงการนี้จะประกอบด้วย 3 ขั้นตอนหลักคือ การเข้ารหัส (coding) การประเมิน (evaluation) และการวิวัฒนาการ (genetic operator) ในแต่ละขั้นตอนมีรายละเอียดดังนี้

3.1 การเข้าสายรหัส

การออกแบบระบบควบคุมการบินอัตโนมัติตั้งในรูปแบบที่ 2 จะต้องหา ค่าที่เหมาะสมของอัตราขยายรวมทั้งหมด 10 อย่างด้วยกัน คือ อัตรา ขยาย P I และ D ของการควบคุมความเร็ว อัตราขยายการป้อนกลับค่า ความสูง มุมพิช และความเร่งเชิงมุมด้านพิชของการควบคุมระดับความ สูง อัตราขยายของการควบคุมมุมแบงค์ อัตราขยาย P I และ D ของ การควบคุมมุมไถลด้านข้าง

ส่วนการวางแผนการบินนั้น ในการปฏิบัติภารกิจการบินจริงการ วางแผนการบินจะแบ่งขั้นตอนการบินออกเป็นกี่ขั้นตอนก็ได้ขึ้นอยู่กับ ความยากง่ายของภารกิจการบินนั้นๆ เช่น การบินเป็นเส้นตรงโดย ระดับความสูงคงที่จะใช้เพียง 1 ขั้นตอน แต่หากเป็นการบินคดเคี้ยว อาจแบ่งขั้นตอนการบินออกเป็นส่วนๆเท่ากับจำนวนครั้งที่เลี้ยว สำหรับ ในโครงการนี้จะกำหนดให้จำนวนขั้นตอนการบินคงที่ 5 ขั้นตอน ดังนั้น การวางแผนการบินคือจะต้องหาค่าที่เหมาะสมของระยะเวลาบิน ค่าค่า สั่งของความเร่ง ความสูง และมุมแบงค์ที่จะป้อนเข้าสู่การควบคุมแต่ละ อย่างในแต่ละขั้นตอน

การแปลงค่าอัตราขยายและคำสั่งเป็นสายรหัสจะแบ่งเป็นหมวดคือ หมวดเวลา

ประกอบด้วยจำนวนจริง 5 ค่าแสดงระยะเวลาบินในแต่ละขั้นตอน ดังเช่นตัวอย่างสายรหัสในรูปแบบที่ 3 หมายถึง การบินในขั้นตอนที่ 1 ให้ใช้ เวลา 5 วินาที ขั้นตอนที่ 2 ให้ใช้เวลา 16 วินาทีตามลำดับ

Step	1	2	3	4	5
Flight Time (s)	5	16	20	1	7

รูปที่ 3 ตัวอย่างสายรหัสหมวดเวลา

หมวดการเคลื่อนที่แนวตั้ง (longitudinal motion)

สายรหัสหมวดนี้ประกอบด้วยอัตราขยายของการควบคุมความเร็ว อัตราขยายของการควบคุมระดับความสูง คำสั่งความเร็ว และคำสั่ง ระดับความสูงในแต่ละขั้นตอนการบิน

Gain	P	I	D
Speed Control	0.5	0.1	0.3
Altitude Feedback	0.001		
Pitch Angle Feedback	0.3		
Pitch Rate Feedback	0.1		

Step	1	2	3	4	5
Speed Command (m/s)	27	35	31	22	40
Altitude Command (m)	127	340	68	205	156

รูปที่ 4 ตัวอย่างสายรหัสหมวดการเคลื่อนที่แนวตั้ง

หมวดการเคลื่อนที่แนวนอน (lateral motion)

สายรหัสหมวดนี้ประกอบด้วยอัตราขยายของการควบคุมมุมแบงค์ อัตราขยายของการควบคุมมุมไถลด้านข้าง และคำสั่งมุมแบงค์ในแต่ละ ขั้นตอนการบิน

Gain	P	I	D
Side Slip Control	0.6	1	0.3
Bank Angle Control	0.5		

Step	1	2	3	4	5
Bank Angle Command (deg)	18	42	-23	-9	1

รูปที่ 5 ตัวอย่างสายรหัสหมวดการเคลื่อนที่แนวนอน

3.2 การประเมิน

การค้นหาคำตอบด้วยวิธีทำซ้ำแบบกลุ่มจะใช้การคำนวณเป็นรุ่นที่ ประกอบด้วยสายรหัสจำนวนมาก ในขั้นตอนการประเมินนี้จะเป็นการ เปรียบเทียบว่าสายรหัสใดควรจะเป็นคำตอบโดยใช้ค่าความเหมาะสม (fitness) ซึ่งจะประกอบด้วยค่าความเหมาะสมของตำแหน่ง ค่าความ เหมาะสมของมุมเอียงตัว ค่าความเหมาะสมของเวลาที่ใช้ทั้งหมด และ ค่าความเหมาะสมของเวลาที่บินอยู่ในบริเวณห้ามบินตามสมการที่ (1) – (4) เป็นเกณฑ์ในการพิจารณา

ค่าความเหมาะสมของตำแหน่ง

$$Position Cost = 1 - mean(\Delta x_k / M_x, \Delta y_k / M_y, \Delta z_k / M_z) \quad (1)$$

$\Delta x_k, \Delta y_k, \Delta z_k$: ผลต่างระหว่างตำแหน่งสิ้นสุดภารกิจของสายรหัส ที่ k กับตำแหน่งที่ต้องการตามแนวแกน x y และ z ตามลำดับ

M_x, M_y, M_z : ผลต่างทางตำแหน่งที่มากที่สุดที่ยอมรับได้ในแต่ละ รุ่นตามแนวแกนทั้งสาม

ค่าความเหมาะสมของมุมเอียงตัว

$$Attitude Cost = 1 - mean(\Delta \phi_k / M_\phi, \Delta \theta_k / M_\theta, \Delta \psi_k / M_\psi) \quad (2)$$

$\Delta \phi_k, \Delta \theta_k, \Delta \psi_k$: ผลต่างระหว่างมุมเอียงตัวเมื่อสิ้นสุดภารกิจของ สายรหัสที่ k กับมุมที่ต้องการตามแนวแกนทั้งสาม

M_ϕ, M_θ, M_ψ : ผลต่างทางมุมเอียงตัวที่มากที่สุดที่ยอมรับได้ในแต่ละรุ่นตามแนวแกนทั้งสาม

ค่าความเหมาะสมของเวลาที่ใช้ทั้งหมด

$$Time Cost = 1 - T_k / M_T \quad (3)$$

T_k : เวลาที่ใช้ในการบินของสายรหัสที่ k

M_T : เวลาที่ใช้ในการบินที่มากที่สุดในแต่ละรุ่น

ค่าความเหมาะสมของเวลาที่บินอยู่ในบริเวณห้ามบิน

$$No - Fly Zone Cost = 1 - TN_k / T_k \quad (4)$$

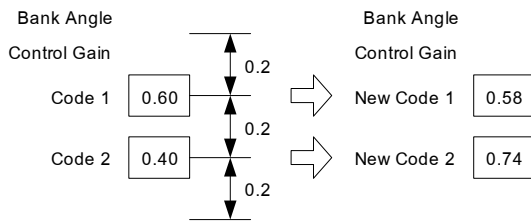
TN_k : เวลาที่บินอยู่ในบริเวณห้ามบิน

3.3 การวิวัฒนาการ

ในขั้นตอนการวิวัฒนาการจะใช้การสร้างสายรหัสรุ่นใหม่จาก 3 วิธี คือ การแลกเปลี่ยน (crossover) การกลายแบบ (mutation) และการสุ่มสายรหัสใหม่ (random)

การแลกเปลี่ยน (crossover)

สายรหัส 2 ตัวที่จะนำมาทำการแลกเปลี่ยนจะเลือกโดยวิธีหมุนวงล้อ (roulette) ของค่าเหมาะสม และเนื่องจากสายรหัสของวิธีทำซ้ำแบบกลุ่มนั้นแสดงด้วยจำนวนจริง ดังนั้นการแลกเปลี่ยนจะทำโดยสุ่มค่าใหม่ในช่วง 3 เท่าของผลต่างระหว่างค่าในตำแหน่งที่ทำการแลกเปลี่ยนของสายรหัสทั้งสอง ดังในรูปที่ 6 แสดงตัวอย่างการแลกเปลี่ยนที่ตำแหน่งแสดงอัตราขยายของการควบคุมมุมแบงก์



รูปที่ 6 ตัวอย่างการแลกเปลี่ยนสายรหัส

การกลายแบบ (mutation)

การกลายแบบจะทำโดยเลือกสายรหัส 1 ตัวจากการหมุนวงล้อค่าเฉลี่ยของค่าเหมาะสมทั้งหมด แล้วสุ่มเลือกตำแหน่งที่จะทำการกลายแบบ จากนั้นเปลี่ยนค่าที่ตำแหน่งนั้นโดยการสุ่มค่าใหม่

การสุ่มสายรหัสใหม่ (random)

เป็นการสร้างสุ่มค่าในแต่ละตำแหน่งใหม่ทั้งหมดสร้างเป็นสายรหัสใหม่เพื่อเพิ่มพื้นที่การค้นหาคำตอบ

4. ผลการคำนวณ

ในการออกแบบระบบควบคุมการบินอัตโนมัติและการวางแผนเส้นทางการบินได้นำกรณีศึกษาการบินจากตำแหน่งเริ่มต้นไปยังตำแหน่งที่กำหนดโดยใช้เวลาบินที่สั้นที่สุด 2 กรณีที่มีข้อจำกัดต่างกัน คือ

กรณีศึกษา 1: สามารถบินในบริเวณใดก็ได้ แต่มีข้อจำกัดทิศทางของหัวเครื่องบินและมุมเอียงตัว ณ ตำแหน่งสุดท้าย

กรณีศึกษา 2: มีข้อจำกัดเป็นบริเวณที่ห้ามบิน แต่ไม่มีข้อกำหนดทิศทางของหัวเครื่องบินและมุมเอียงตัว ณ ตำแหน่งสุดท้าย

การคำนวณในแต่ละกรณีใช้สายรหัส 200 ตัวต่อรุ่น โดยที่สายรหัสรุ่นใหม่สร้างจากการแลกเปลี่ยน 80% การกลายแบบ 15% และการสุ่มสายรหัสใหม่ 5% การคำนวณจะทำให้จำนวนกว่าจะได้สายรหัสที่มีค่าเฉลี่ยของค่าเหมาะสมทั้งหมดมากกว่า 0.95 หรือจนกว่าจะครบ 200 รุ่น

4.1 ผลการคำนวณกรณีศึกษา 1

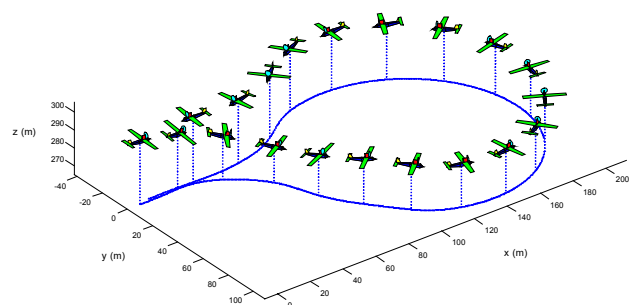
กรณีศึกษา 1 เป็นการกิจการบินกลับมายังตำแหน่งเริ่มต้น และเปลี่ยนทิศทางของหัวเครื่องบิน 180 องศาโดยใช้เวลาน้อยที่สุด ค่าความเหมาะสมที่นำมาใช้คือค่าเฉลี่ยของค่าความเหมาะสมของตำแหน่ง ค่าความเหมาะสมของมุมเอียงตัว และค่าความเหมาะสมของเวลาที่ใช้ทั้ง

หมด ตารางที่ 1 จะแสดงสภาวะเริ่มต้น และข้อกำหนดในการบิน ตัวเลขในวงเล็บคือผลการบินโดยใช้สายรหัสที่มีค่าความเหมาะสมเฉลี่ยมากที่สุด จะเห็นได้ว่าค่าแต่ละค่าในสภาวะการบินสุดท้ายที่ได้ใกล้เคียงกับค่าที่ต้องการ

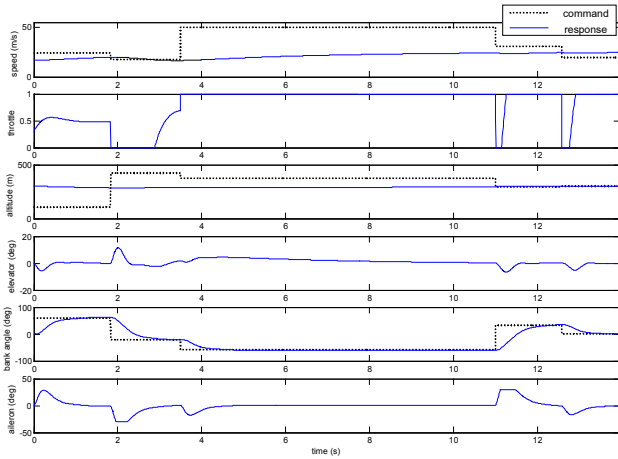
ในรูปที่ 7 แสดงเส้นทางการบินที่เป็นผลลัพธ์จากสายรหัสที่มีค่าความเหมาะสมเฉลี่ยมากที่สุด โดยรูปเครื่องบินจะแสดงตำแหน่ง มุมเอียงตัว และทิศทางของหัวเครื่องบินระหว่างการบินที่ตำแหน่งนั้นๆ และเส้นทึบแสดงเส้นทางการบินที่ฉายลงบนระนาบ x-y ส่วนในรูปที่ 8 จะแสดงค่าของคำสั่งความเร็ว ระดับความสูง และมุมแบงก์ที่ป้อนเข้าสู่การควบคุม รวมทั้งผลตอบสนอง และค่าการบังคับกลับเร่ง แพนหาง และปีก เลี้ยวที่ได้จากการใช้สายรหัสที่มีค่าความเหมาะสมเฉลี่ยมากที่สุดเป็นคำตอบ ในการบังคับกลับเร่งกำหนดให้ค่า 0 หมายถึงการเบรเครื่องยนต์ต่ำที่สุด และค่า 1 หมายถึงการเร่งเครื่องยนต์สูงที่สุด จากรูปที่ 7 และ 8 ลักษณะการบินที่ได้เป็นคำตอบนั้นเครื่องบินจะบินลดระดับลงพร้อมทั้งเร่งความเร็วให้สูงขึ้นขณะที่เลี้ยวจากนั้นจึงเพิ่มระดับความสูงขึ้นสู่ระดับความสูงที่กำหนด ซึ่งลักษณะการบินเช่นนี้เป็นลักษณะเดียวกันกับผลที่ได้จากการแก้ปัญหาการเลี้ยวกลับยังตำแหน่งเดิมโดยใช้เวลาน้อยที่สุดที่เสนอในเอกสารอ้างอิง[1]

ตารางที่ 1 สภาวะการบินของกรณีศึกษา 1

	Initial Value	Desired Final Value
Position: x (m)	0	0 (6.12)
Position: y (m)	0	0 (-1.66)
Position: z (m)	300	300 (301.58)
Bank Angle (deg)	0	0 (0.20)
Pitch Angle (deg)	0	0 (-0.02)
Yaw Angle (deg)	0	180 (177.95)
No-Fly Zone		None
Flight Time of Best Code (s)		13.96



รูปที่ 7 เส้นทางการบินที่ได้จากสายรหัสที่เป็นคำตอบ (กรณีศึกษา 1)



รูปที่ 8 สภาวะการบินด้วยสายรหัสที่เป็นคำตอบ (กรณีศึกษา 1)

4.2 ผลการคำนวณกรณีศึกษา 2

ภารกิจการบินในกรณีศึกษา 2 เป็นการบินเปลี่ยนตำแหน่งโดยใช้เวลาน้อยที่สุด แต่มีข้อจำกัดด้านภูมิภาค คือ บริเวณระหว่างจุดเริ่มต้นและจุดสุดท้ายมีพื้นที่ที่ห้ามบินผ่านเป็นพื้นที่วงกลมรัศมี 150 เมตร มีจุดศูนย์กลางอยู่ที่พิกัด $(x_0, y_0) = (250, 100)$ เมตร ตารางที่ 2 แสดงพิกัดของตำแหน่งเริ่มต้น และตำแหน่งสุดท้ายที่ต้องการบินไป ค่าความเหมาะสมที่นำมาใช้คือค่าเฉลี่ยของค่าความเหมาะสมของตำแหน่ง ค่าความเหมาะสมของเวลาที่ใช้ทั้งหมด และค่าความเหมาะสมของเวลาที่บินอยู่ในบริเวณห้ามบิน ตัวเลขในวงเล็บคือผลการบินโดยใช้สายรหัสที่มีค่าความเหมาะสมเฉลี่ยมากที่สุด

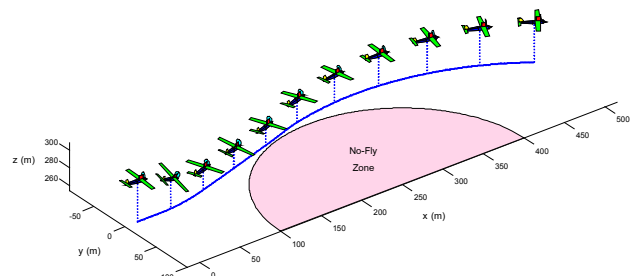
ตารางที่ 2 สภาวะการบินของกรณีศึกษา 2

	Initial Value	Desired Final Value
Position: x (m)	0	500 (498.36)
Position: y (m)	0	0 (-11.03)
Position: z (m)	300	300 (299.61)
Bank Angle (deg)	0	None (14.25)
Pitch Angle (deg)	0	None (2.39)
Yaw Angle (deg)	0	None (35.55)
No-Fly Zone		Circle Radius 150 m $(x_0, y_0) = (250, 100)$
Flight Time of Best Code (s)		12.21

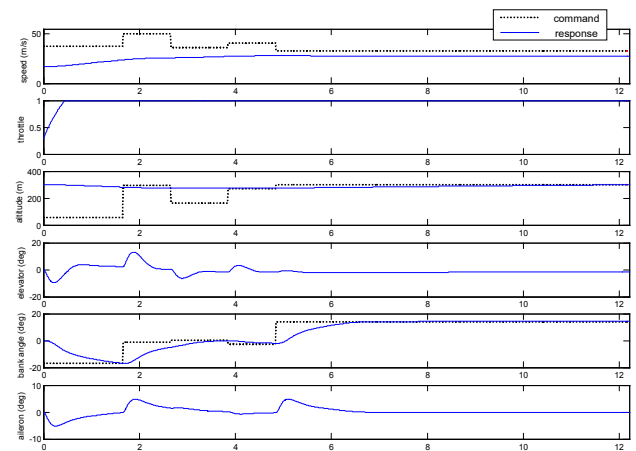
ในรูปที่ 9 แสดงเส้นทางการบิน และในรูปที่ 10 แสดงค่าของคำสั่งความเร็ว คำสั่งระดับความสูง คำสั่งมุมแบงก์ที่ป้อนเข้าสู่การควบคุมแต่ละอย่าง ผลตอบสนอง และค่าการบังคับแบบพหุคูณ ลื่นเร่ง และปีกกล้วยที่ได้จากการใช้สายรหัสที่มีค่าความเหมาะสมเฉลี่ยมากที่สุดเป็นคำตอบ

คำตอบของเส้นทางการบินที่ได้จากสายรหัสที่เป็นคำตอบนั้นอยู่ใกล้กับบริเวณห้ามบินมากแต่ไม่มีส่วนใดที่อยู่ในบริเวณห้ามบิน แสดงให้เห็นว่าเส้นทางการบินนี้เป็นเส้นทางที่พยายามบินไปยังตำแหน่งที่

กำหนดภายในเวลาที่สั้นที่สุด และสามารถหลีกเลี่ยงบริเวณห้ามบินได้เป็นผลสำเร็จ



รูปที่ 9 เส้นทางการบินที่ได้จากสายรหัสที่เป็นคำตอบ (กรณีศึกษา 2)



รูปที่ 10 สภาวะการบินด้วยสายรหัสที่เป็นคำตอบ (กรณีศึกษา 2)

5. สรุป

จากกรณีศึกษาทั้งสองที่เป็นการนำแบบจำลองเชิงเส้นของอากาศยานมาใช้แทนสมการการเคลื่อนที่ของจุดมวล และนำวิธีการทำซ้ำแบบกลุ่ม (Group Iteration: GI) มาใช้หาค่าที่เหมาะสมของอัตราขยายและคำสั่งที่ป้อนให้แก่ระบบควบคุมการบินอัตโนมัติเพื่อหาคำตอบที่แสดงการบินตามภารกิจที่กำหนด สามารถหาผลลัพธ์หรือสายรหัสที่จะแสดงถึงวิธีการบินตามข้อกำหนดในแต่ละภารกิจการบินได้ ดังนั้นวิธีที่เสนอในการศึกษานี้จึงน่าที่จะเป็นแนวทางหนึ่งในการรวมขั้นตอนการออกแบบระบบการบินอัตโนมัติและการวางแผนการบินที่เหมาะสมสำหรับการปฏิบัติภารกิจการบินแต่ละแบบเข้าด้วยกันได้อย่างมีประสิทธิภาพ

เอกสารอ้างอิง

[1] Shaw Y. Ong, Bion L. Pierson, Ching-Fang Lin, "2-D And 3-D Minimum-Time-To-Turn Flights By Parameter Optimization," Proceedings of The 1st IEEE Regional Conference on Aerospace Control Systems, 1993, pp. 469 – 474.
 [2] Shaw Y. Ong, Bion L. Pierson, Ching-Fang Lin, "Aircraft Model Comparison For Minimum Time-To-Climb Problem,"

Proceedings of The 1st IEEE Regional Conference on Aerospace Control Systems, 1993, pp. 463 – 468.

[3] Gerdes, I.S., "Application of Genetic Algorithms to the Problem of Free-Routing for Aircraft," Proceedings of the 1st IEEE Conference on Evolutionary Computation, Vol. 2, 1994, pp. 536 – 541.

[4] Li Qing, Gao Wei, Lu Yuping and Shen Chunlin, "Aircraft Route Optimization Using Genetic Algorithms," Second International Conference on Genetic Algorithms in Engineering Systems, Conf. Pub. No. 446, 1997, pp. 394 – 397.

[5] Pellazar, M.S., "Vehicle Route Planning with Constraints Using Genetic Algorithms," Proceedings of the IEEE Aerospace and Electronics Conference, 1998, pp. 392 – 399.

[6] Etkin, B. and Reid, L.D., "Dynamics of Flight: Stability and Control," John Wiley & Sons, Inc., 1994.

[7] Nagasaki, S. and Sakurai, A., "Automatic Design of UAVs (Unmanned Aerial Vehicle) Using Group Iteration," Proceedings of The 3rd Asian - Pacific Conference on Aerospace Technology and Science, 2000.