

การออกแบบสมการการบินของต้นแบบเครื่องบินไร้คนบังคับ Pioneer แบบไม่เชิงเส้นด้วย วิธี Fuzzy Multiple Model โดยใช้วิธีการหาคำตอบเชิงพันธุกรรม Flight Modeling Design of Pioneer Unmanned Aerial Vehicle Model by Non-Linear Fuzzy Multiple Model Approaches using Genetic Algorithm Optimization

สุรเดช ตัญตรัยรัตน์^{1*}, พահรณ สงวนโภคัย² และ ณัฐพล นิยมไทย³

¹ภาควิชาวิศวกรรมการบินและอวกาศ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน กรุงเทพฯ 10900

โทร 08-4011-3837 *อีเมลล์ suradetyui@yahoo.com

²สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า กองวิชาวิศวกรรมศาสตร์ โรงเรียนนายเรืออากาศ ดอนเมือง กรุงเทพฯ 10220

โทร 08-1819-9936 อีเมลล์ pahron@gmail.com

³สาขาวิชาวิศวกรรมอากาศยาน กองวิชาวิศวกรรมศาสตร์ โรงเรียนนายเรืออากาศ ดอนเมือง กรุงเทพฯ 10220

โทร 08-7012-1720 อีเมลล์ ucaview@yahoo.com

Suradet Tantrairatn^{1*}, Pahron Sanguanbhokai², and Nattapol Niyomthai³

¹Department of Aerospace Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University,

Bangkheng, Bangkok 10900, Thailand Tel: 08-4011-3837, *E-mail: suradetyui@yahoo.com

²Electrical Engineering Department, Engineering Division, The Royal Thai Air Force Academy,

Bangkok, 10220, Thailand, Tel: 08-1819-9936, E-mail: pahron@gmail.com

³Aeronautical Engineering Department, Engineering Division, The Royal Thai Air Force Academy,

Bangkok, 10220, Thailand, Tel: 08-7012-1720, E-mail: ucaview

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มุ่งศึกษาและพัฒนาการออกแบบสมการการบินของเครื่องบินไร้คนบังคับ Pioneer (Pioneer UAV Model) โดยทำการศึกษาและนำค่าตัวแปรของเครื่องบิน Pioneer เป็นตัวแปรไม่เชิงเส้นมาสร้างสมการแบบไม่เชิงเส้น ซึ่งมีความซับซ้อนและยากต่อการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ จึงได้มีแนวคิดที่หาวิธีการที่ทำให้ง่ายต่อการแก้ปัญหา โดยมีวิธีการหนึ่งคือ Multiple Model Approaches มีแนวคิดที่นำเอาสมการไม่เชิงเส้น (Non-Linear Model) มาแบ่งออกเป็นช่วงย่อยให้เป็นแบบเชิงเส้น (Linear Model) ในสภาวะสมดุล เมื่อในแต่ละช่วงมีความเป็นเชิงเส้นก็สามารถที่จะแก้ปัญหาได้ง่าย เนื่องจากในการแก้ปัญหาที่เป็นเชิงเส้นมีทฤษฎีจำนวนมากรองรับ จากนั้นก็ทำการเลือกโครงสร้างที่จะนำมาใช้ในการรวมในแต่ละช่วงย่อย ๆ ซึ่งในที่นี้ก็จะเลือกใช้ Soft Fuzzy Computation ซึ่งในการใช้ Fuzzy Modeling Theory ต้องใช้ทฤษฎีการหาค่าเหมาะสม (Optimization Theory) มาช่วยในการหาค่าตัวแปรของ Fuzzy Modeling Theory เมื่อมีการรวมแต่ละช่วงย่อย ๆ เข้าด้วยกันแล้วได้คำตอบเหมือนกับสมการทางคณิตศาสตร์ที่มีความไม่เชิงเส้นในขั้นต้น โดยในการตรวจสอบผลที่

ได้และการทำวิจัยนี้ก็จะมีการทำ Simulation ทั้งใน SIMULINK และการเขียนโปรแกรม M-file โดยใช้โปรแกรม MATLAB ด้วยคอมพิวเตอร์

Abstract

The purpose of this research is to study and develop the equation of motion of the Pioneer unmanned aerial vehicle (UAV). First step is to get the aerodynamic parameters of the Pioneer UAV, which are all non-linear parameters, to generate the non-linear equations of motion. These are very difficult to solve mathematically. The idea of using Multiple Model Approach is selected to simplify the process, which separate the non-linear model into numbers of linear models in equilibrium point. With this approach the problem can be solve easier because all sub-models are linear. These models could be solved by many different kinds of theories. And the Fuzzy Modeling Theory combined with optimization method is chosen to combine the linear models to the non-linear model. This research uses the SIMULINK and MATLAB as tools to solve the Problem.

1. บทนำ

เนื่องจากในปัจจุบันเครื่องบินไร้คนบังคับ (UAV) ได้รับความสนใจเป็นอย่างมากในปัจจุบัน โดยเฉพาะทางการทหารที่ในปัจจุบันในประเทศไทยได้มีการนำ Searcher UAV ไปใช้ในการภารกิจทางภาคใต้ในการบินเฝ้าตรวจการณ์ในบริเวณพื้นที่เสี่ยงภัย นอกจากนั้นยังสามารถที่จะนำไปใช้ในเรื่องของเกษตรได้อีกด้วย ดังนั้นจึงได้มีการวิจัยเกี่ยวกับ UAV กันอย่างกว้างขวาง ในประเทศไทยมีโครงการวิจัยเครื่องบินไร้คนบังคับที่ออกแบบและสร้างด้วยคนไทยที่ชื่อว่า THAI UAV เป็นเครื่องบินแบบ Twin Boom เครื่องยนต์ใบพัดอยู่ทางด้านหลัง แต่เนื่องจากในช่วงที่ผู้ทำวิจัยโครงการเครื่องบินไร้คนบังคับดังกล่าวกำลังอยู่ช่วงการวิจัยด้วยกันและกันและเป็นโครงการที่มีความเกี่ยวข้องทางด้านทหาร ดังนั้นข้อมูลต่างๆ จึงไม่สามารถที่นำมาใช้ได้ อีกทั้งค่าทางอากาศพลศาสตร์ของเครื่องบินอยู่ในช่วงทดสอบและประเมินผล ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้ต้นแบบที่มีความใกล้เคียงกันกับ THAI UAV โดยได้เลือกใช้ต้นแบบของ Pioneer UAV ซึ่งมีคุณลักษณะการบินที่ใกล้เคียงกัน โดยนำค่าตัวแปรทางอากาศพลศาสตร์ของ Pioneer UAV มาใช้ในการศึกษา และสามารถนำไปใช้เป็นต้นแบบของ THAI UAV ในอนาคต

ในการออกแบบระบบควบคุมระบบพลศาสตร์ที่มีความไม่เชิงเส้นของเครื่องบินไร้คนบังคับ ที่รู้จักกันว่า Autopilot นั้น จะประกอบได้ด้วย 2 ส่วนใหญ่ด้วยกัน คือ ส่วนการออกแบบระบบควบคุมเพื่อนำทาง (Guidance Control System) และส่วนที่เป็น Flight Control System (FCS) หรือที่รู้จักว่า Stability Augmentation System (SAS) เพื่อควบคุมการหักเหของระบบควบคุมพื้นผิว (Control Surface) การตอบสนองตามที่เหมาะสม ต้องมีสมการต้นแบบทางคณิตศาสตร์ที่ดี ซึ่งในเอกสารวิจัยนี้จะเน้นไปที่ส่วนของการสร้างสมการทางคณิตศาสตร์ของเครื่องบินไร้คนบังคับ Pioneer ซึ่งจะหาเพียงในแนวแกน Longitudinal เท่านั้น เพื่อนำสมการที่ได้นั้นมาทำการออกแบบระบบควบคุมการบินในอนาคต ซึ่งจากการตรวจเอกสารพบว่ามีการนำเอาทฤษฎีแบบต่าง ๆ มาใช้มากมาย โดยส่วนใหญ่ก็มีการนำ Artificial Intelligence Theory มาประยุกต์ใช้ในลักษณะต่างๆ แต่ละวิธีมีข้อดีและข้อเสียที่แตกต่างกันไป แต่วิธีการหนึ่งที่ผู้วิจัยสนใจศึกษาที่เรียกว่า Multiple Model Approaches ซึ่งเป็นวิธีที่ได้รับความนิยมวิธีหนึ่ง มาใช้ในการออกแบบสมการทางคณิตศาสตร์ที่ไม่เป็นเชิงเส้น โดยจะทำการแบ่งช่วง Operating ช่วงย่อย ๆ ให้มีความเป็นเชิงเส้น ซึ่งในการแก้ปัญหาโดยใช้ทฤษฎีแบบเชิงเส้นมีความซับซ้อนน้อยกว่าแบบไม่เชิงเส้นมาก ตัวแปรเป็นค่าที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงในแต่ละช่วง Operating ที่สภาวะสมดุล (Equilibrium Operating) จึงนำ Fuzzy Modelling (Soft Computation) มาช่วยในการรวมในแต่ละช่วง เพื่อสามารถนำสภาวะในแต่ละช่วงแบบเชิงเส้นมารวมกัน (Combining local models) ให้เป็นต้นแบบทางคณิตศาสตร์เพียงต้นแบบเดียว

โดยในการออกแบบสมการการบินทางคณิตศาสตร์ด้วยวิธีนี้สามารถที่จะนำไปใช้ในการออกแบบระบบควบคุมการบินต่อไปในการทำวิจัยต่อไปในอนาคต คือ เมื่อได้ช่วงต่าง ๆ ตาม Membership Function ของ Fuzzy Modeling ที่ได้จากการวิธีการหาค่าคำตอบ (Optimization) สามารถนำทฤษฎีทางการออกแบบระบบควบคุมในแต่

ละช่วง และทำการทดสอบต่อไปได้ เพื่อให้ได้การตอบสนองทางด้านเสถียรภาพตามความต้องการได้

2. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของเครื่องบินไร้คนบังคับ Pioneer

2.1 สมการการเคลื่อนที่ของเครื่องบินในแนวแกน Longitudinal

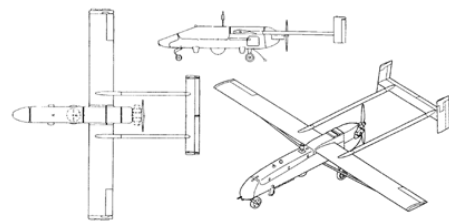
สมการการเคลื่อนที่ (Bryan 1911) พัฒนามาจากทฤษฎีคลาสสิกสามารถอธิบายและเข้าใจได้ในเชิงของนักอากาศพลศาสตร์ คือ กฎข้อที่สองของนิวตัน [1]

$$m\dot{u} - \dot{X}_w \dot{w} = \dot{X}_u u + \dot{X}_w w + \left(\dot{X}_q - mW_e \right) q - mg\theta \cos \theta_e + \dot{X}_\eta \eta + \dot{X}_\tau \tau \quad (1)$$

$$m\dot{w} - \dot{Z}_w \dot{w} = \dot{Z}_u u + \dot{Z}_w w + \left(\dot{Z}_q + mU_e \right) q - mg\theta \sin \theta_e + \dot{Z}_\eta \eta + \dot{Z}_\tau \tau \quad (2)$$

$$I_y \dot{q} - \dot{M}_w \dot{w} = \dot{M}_u u + \dot{M}_w w + \dot{M}_q q + \dot{M}_\eta \eta + \dot{M}_\tau \tau \quad (3)$$

2.2 คุณลักษณะและค่าอากาศพลศาสตร์ของเครื่องบิน Pioneer



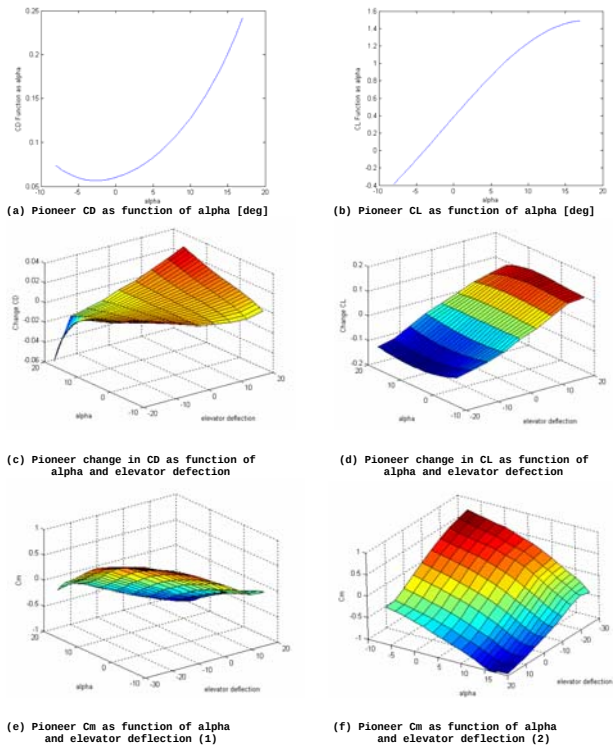
รูปที่1 เครื่องบินไร้คนบังคับ Call Sign Pioneer

ตารางที่1 ตัวแปรทางฟิสิกส์ของ Pioneer UAV

Symbol	Meaning	Value
a	Speed of sound	340 m/s
ρ	Air density	1.23 kg/m ³
b	Wing Span	5.1376 m
c	Wing Chord	0.5472 m
S_w	Reference Wing Area	2.82611 m ²
M	Mass	190.5088 kg
I_x	Moment of inertia about x axis	47.225 kg.m ²
I_y	Moment of inertia about y axis	90.948 kg.m ²
I_z	Moment of inertia about z axis	111.475 kg.m ²
J_{xz}	Product of inertia about x and z axes	-6.646 kg.m ²

ตารางที่ 2 ค่าตัวแปร Aerodynamics Derivatives of Pioneer UAV

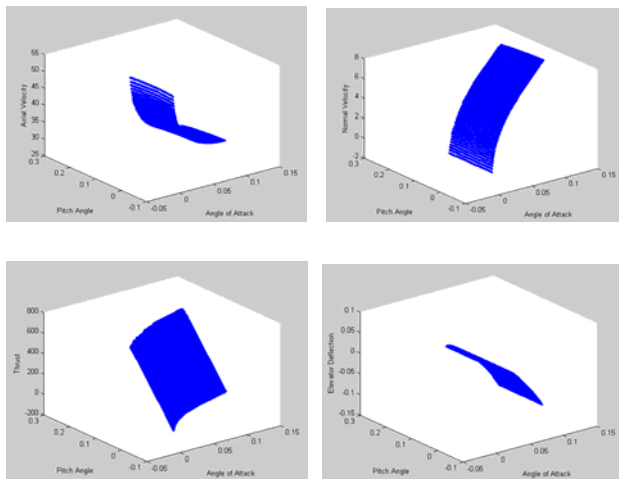
Corresponding force or moment	Aerodynamic Derivative	Value
Axial force	CD_adot	None
	CD_q	None
Normal force	CL_adot	2.42 [1/rad]
	CL_q	8.05 [1/rad]
Pitching moment	Cm_adot	-11.0 [1/rad]
	Cm_q	-36.6 [1/rad]



รูปที่ 2 Pioneer Aerodynamics Parameter Estimations

2.3 State at each equilibrium points

เป็นการแสดงผลพารามิเตอร์จากการคำนวณเพื่อหา state ที่สภาวะสมดุลในแต่ละจุด โดยใช้วิธี Optimization หาสภาวะของ axial velocity , normal velocity , elevator deflection และ แรงขับดัน ณ pitch angle และ angle of attack ต่าง ๆ ที่สภาวะ Steady State โดยกำหนดให้ค่า $\dot{x}(t) = 0$ จากสมการการเคลื่อนที่ที่ไม่คงเส้น ดังนั้น



รูปที่ 3 แสดงสภาวะที่จุดสมดุลของ Pioneer UAVs

2.4 สมการการบินในรูป State Space

$$\dot{x} = Ax + Bu \quad (4)$$

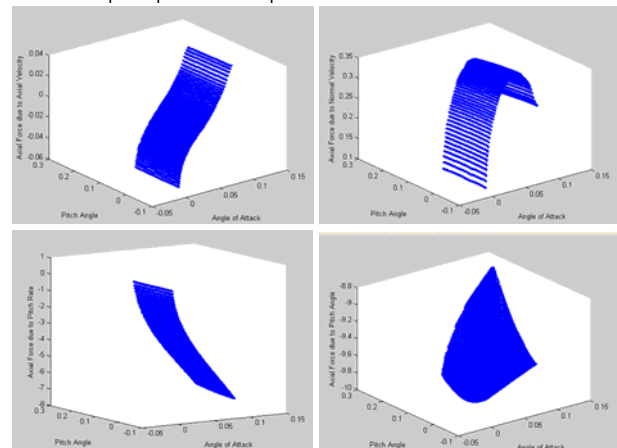
$$A = M^{-1}A' = \begin{bmatrix} X_u & X_w & X_q & X_\theta \\ Z_u & Z_w & Z_q & Z_\theta \\ M_u & M_w & M_q & M_\theta \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$B = M^{-1}B' = \begin{bmatrix} X_\eta & X_\tau \\ Z_\eta & Z_\tau \\ M_\eta & M_\tau \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$$

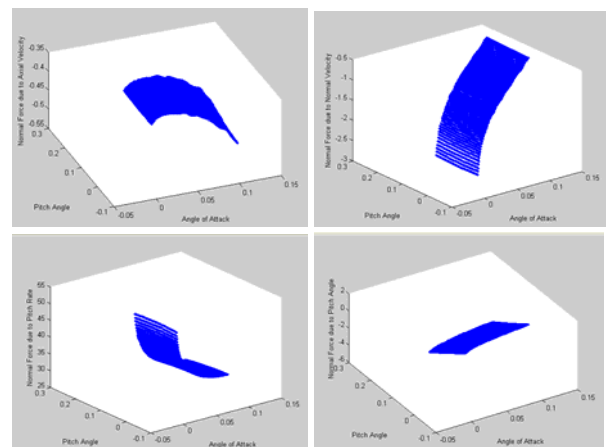
$$\begin{bmatrix} \dot{u} \\ \dot{w} \\ \dot{q} \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_u & X_w & X_q & X_\theta \\ Z_u & Z_w & Z_q & Z_\theta \\ M_u & M_w & M_q & M_\theta \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u \\ w \\ q \\ \theta \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} X_\eta & X_\tau \\ Z_\eta & Z_\tau \\ M_\eta & M_\tau \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \eta \\ \tau \end{bmatrix} \quad (5)$$

2.5 การหาค่าตัวแปร aerodynamic derivative

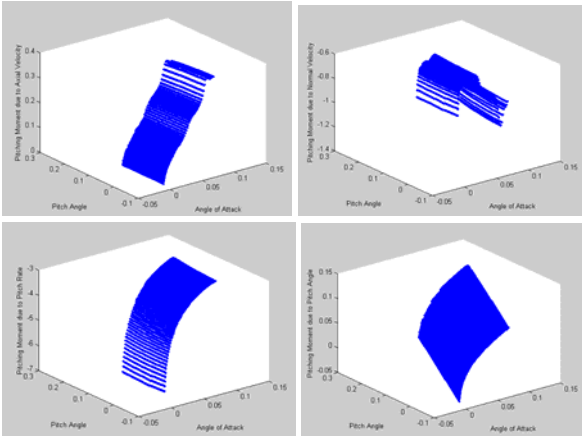
ใช้คำสั่ง linmod ในโปรแกรม MATLAB จากค่าสถานะ Axial Velocities, Normal Velocities, Elevator Deflection และ Thrust ในสภาวะสมดุล ที่มุมปะทะและมุม Pitch ต่างๆ จะได้ดังนี้



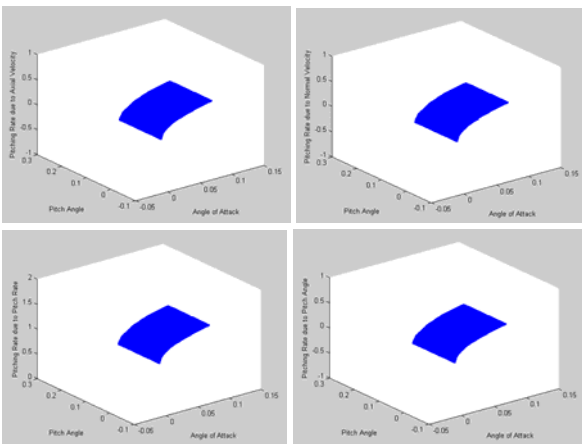
ภาพที่ 4 แสดงค่า Aerodynamic Stability Derivative of Axial Force at equilibrium point of Pioneer



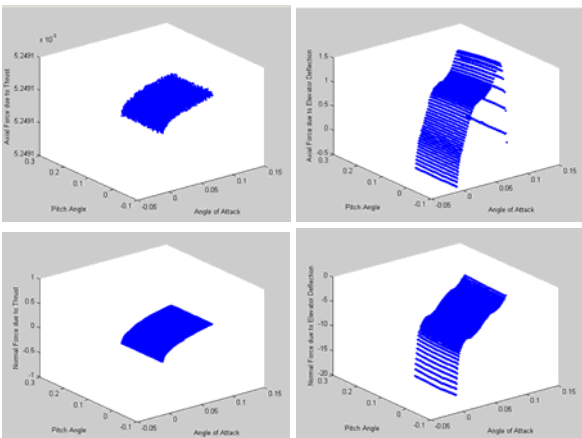
ภาพที่ 5 แสดงค่า Aerodynamic Stability Derivative of Normal Force at equilibrium point of Pioneer



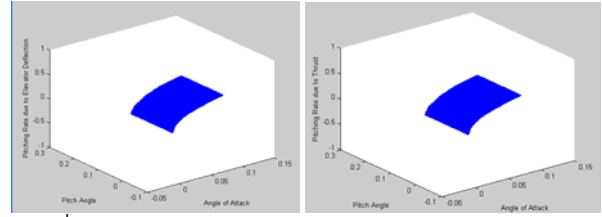
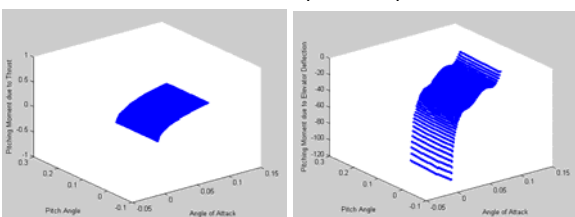
ภาพที่ 6 แสดงค่า Aerodynamic Stability Derivative of Pitching Moment at equilibrium point of Pioneer



ภาพที่ 7 แสดงค่า Aerodynamic Stability Derivative of Pitching Rate at equilibrium point of Pioneer



ภาพที่ 8 แสดงค่า Aerodynamic Control Derivative of Axial Force and Normal Force at equilibrium point of Pioneer



ภาพที่ 9 แสดงค่า Aerodynamic Control Derivative of Pitching Rate and Pitch Angle at equilibrium point of Pioneer

3. Multiple Model Approaches

วิธี Multiple Model มีการนำมาใช้อย่างแพร่หลาย เนื่องจากสามารถที่จะแบ่งความยากของปัญหาไม่เชิงเส้น ให้มีความเป็นปัญหาที่มีความเชิงเส้นหลาย ๆ ปัญหา แต่ง่ายในการแก้ปัญหาในแต่ละปัญหา ในงานวิจัยนี้จะเลือกใช้ Soft Fuzzy Computation หรือ TSK Fuzzy Modeling Theory เพื่อรวมแต่ละ linear model ย่อย ๆ เข้าด้วยกันเป็น non-linear model

3.1 TSK Fuzzy Modeling

Takagi-Sugeno Fuzzy [2],[3] หรือที่รู้จักในชื่อ TSK มีลักษณะคล้ายกับวิธีของ Mamdani แตกต่างกันเพียงที่ membership function ของ Output ทั้งสอง โดย Fuzzy Logic แบบ TSK จะใช้สมการ $f(x)$ (เป็นระบบตัวเลข) เป็น membership function ดังภาพที่ 10 และภาพที่ 11 ฉะนั้น Rule สามารถเขียนดังนี้

$$R_i : \text{IF } x^{(1)} \text{ is } A_{i1} \text{ AND...AND } x^{(m)} \text{ is } A_{im} \\ \text{THEN } y_i = f_i(x^{(1)}, \dots, x^{(m)}) \quad (6)$$

โดยในงานวิจัยได้พิจารณา fuzzy system เป็น

$$R_i : \text{IF } x^{(1)} \text{ is } A_{i1} \text{ AND...AND } x^{(m)} \text{ is } A_{im} \\ \text{THEN } y^{(1)} = b_{i1} \text{ AND...AND } y^{(n)} = b_{in}, \quad (7)$$

ซึ่ง

$$i = 1, \dots, N,$$

N คือ จำนวน rules,

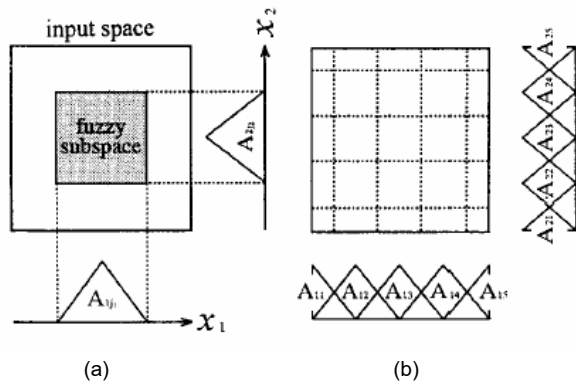
$x^{(i)}$ คือ ตัวแปรเหตุ (antecedent variables) ของ Input

ของระบบ fuzzy

A_{ij} คือ fuzzy set

b_{ij} คือ ตัวแปรผล (consequent values) ของ Output ของ

ระบบ fuzzy



ภาพที่ 10 (a) Fuzzy subspace และ (b) fuzzy partition สำหรับ membership 5x5

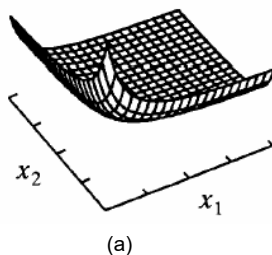
โดย Fuzzy Logic แบบ TSK ใช้ Inference mechanism ดังนี้

$$y_i = \frac{\sum_{j=1}^N \beta_j(\vec{x}) b_{ij}}{\sum_{j=1}^N \beta_j(\vec{x})} \quad (8)$$

ซึ่ง

$$\beta_i = \prod_{j=1}^m \mu_{ij}(\vec{x}),$$

$$0 \leq \mu_{ij}(\vec{x}) \leq 1 \text{ คือ membership function}$$



ภาพที่ 11 (a) Input-Output relation of the nonlinear system of 25 membership functions of output

L	0.465	0.182	0.040	0.005	0.001
ML	0.540	0.160	0.067	0.038	0.017
M	0.825	0.254	0.063	0.099	0.088
MS	0.757	0.346	0.259	0.204	0.250
S	0.986	0.800	0.628	0.363	0.383
	S MS M ML L				
	x1				

(b) Generated fuzzy if-then rules for membership 5x5

3.2 วิธีการหาคำตอบ (Optimization)

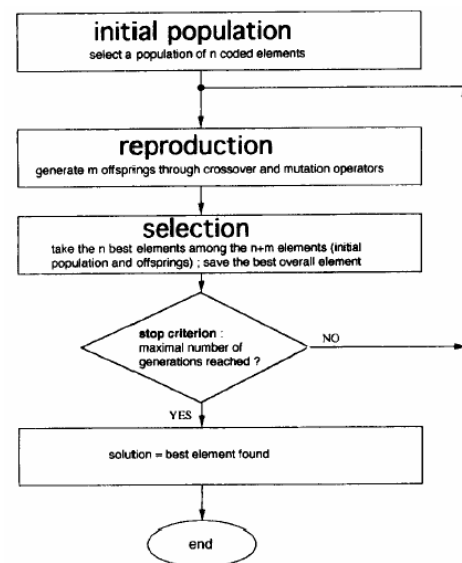
แนวคิดของวิธีนี้เลียนแบบขั้นตอนการวิวัฒนาการทางธรรมชาติ (Natural evolution) ตามคำกล่าวของนักวิทยาศาสตร์ที่ชื่อ Charles Darwin “เผ่าพันธุ์ที่มีความแข็งแรงที่สุดเท่านั้นที่สามารถจะดำรงชีวิตอยู่ต่อไปได้ (Survival of the fittest)” ดังนั้น วิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic algorithm: GA) [4] นั้นก็เป็นวิธีการหาคำตอบของปัญหาการตัดสินใจอันหนึ่งที่เลียนแบบลักษณะของการวิวัฒนาการ (Evolutionary algorithm) โดยตั้งอยู่บนแนวความคิดของการเลือกเผ่าพันธุ์ธรรมชาติ (Natural selection) และวิธีการทางพันธุกรรม (Genetics) นอกจากนี้วิธีเชิงพันธุกรรมอาจถูกพิจารณาว่าเป็นวิธีการค้นหาคำตอบที่มีความฉลาดมากขึ้น (intelligent search)

เนื่องจากวิธีการพันธุกรรมนี้เลียนแบบวิธีการพันธุกรรมทางธรรมชาติได้อย่างค่อนข้างสมเหตุสมผล อีกทั้งวิธีการหาคำตอบเชิงพันธุกรรมนี้มีโครงสร้างที่ไม่สลับซับซ้อน และมีความยืดหยุ่นมาก (Generalization)

ขั้นตอนของวิธีการหาคำตอบโดยวิธีเชิงพันธุกรรม (Outline of the Algorithm)

สำหรับวิธีการหาคำตอบเชิงพันธุกรรม เราสามารถแบ่งองค์ประกอบที่สำคัญออกเป็น 5 ส่วนดังนี้

- 1 การเขียนรูปแบบจำลองพันธุกรรม
- 2 การกำหนดประชากรเริ่มต้น (Initial population)
- 3 การประเมินค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์หรือค่าฟิตเนส (Evaluation of fitness function)
- 4 ตัวดำเนินการวิวัฒนาการทางพันธุกรรม (Genetic operator) เพื่อที่จะสร้างพันธุกรรมรุ่นถัดไป (Next generation)
- 5 การหาคำตอบพารามิเตอร์ที่ใช้ในวิธีการหาคำตอบเชิงพันธุกรรม



ภาพที่12 Flowchart ทั่วไปของ Genetic Algorithm.

วิธีการหาคำตอบเชิงพันธุกรรมจะควบคุมการวิวัฒนาการของประชากร (Population) ของแต่ละโครโมโซม (หรือบางครั้งจะใช้คำว่า Individual) ซึ่งโครโมโซมแต่ละอันจะประกอบไปด้วยกลุ่มของยีนเรียงตัวกันตามแนวยาว ความยาวของโครโมโซมจะถูกกำหนดโดยจำนวนยีน ซึ่งจะมีจำนวนไม่เท่ากันในแต่ละปัญหา ยีนแต่ละตัวสามารถมีค่าอะไรก็ได้ (Possible value หรือบางครั้งเราเรียกว่า Allele) ซึ่งแสดงในภาพที่ 12

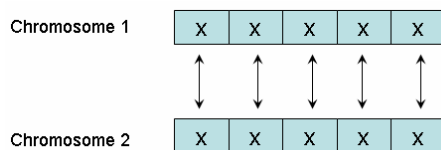
ประชากร (Population) = จำนวนโครโมโซมทั้งหมด
X = ยีน (Gene)

Chromosome 1	X	X	X	X	X
Chromosome 2	X	X	X	X	X
Chromosome 3	X	X	X	X	X
Chromosome n	X	X	X	X	X

ภาพที่ 12 ลักษณะของประชากร ยีน และโครโมโซม

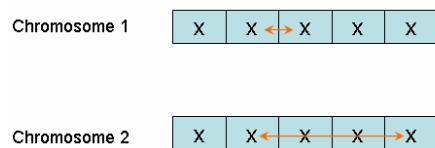
สมมติว่า $P(t)$ เป็นประชากรรุ่น t แต่ละโครโมโซม (หรือ Individual) จะแสดง Potential solution ของปัญหา ยีนภายในโครโมโซมแต่ละตัวจะถูกประเมินค่าฟิตเนส (Fitness) โครโมโซมบางกลุ่มจะเปลี่ยนแปลงรูปแบบของตัวเองโดยใช้ตัวดำเนินการวิวัฒนาการทางพันธุกรรม (Genetic operator) เพื่อที่จะสร้างจำนวนโครโมโซมใหม่ในประชากรรุ่นถัดไป โดยทั่วไป วิธีการเปลี่ยนแปลงลักษณะของพันธุกรรม (Genetic transformation) สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ

การข้ามฟาก (Crossover) เป็นการแลกเปลี่ยนยีน 2 อัน (หรือมากกว่า) ระหว่างโครโมโซม 2 อัน (หรือมากกว่า) เพื่อที่จะสร้างโครโมโซมอันใหม่ ซึ่งแสดงในภาพที่ 13



ภาพที่ 13 การเปลี่ยนแปลงลักษณะทางพันธุกรรมแบบข้ามฟาก

การผ่าเหล่า หรือการสลับตำแหน่งของยีนภายในโครโมโซมแต่ละตัว (Mutation) ซึ่งแสดงในภาพที่ 14



ภาพที่ 14 การเปลี่ยนแปลงลักษณะทางพันธุกรรมแบบผ่าเหล่า

จากภาพที่ 13 และ 14 ประชากรที่ผลิตออกมา (ซึ่งอาจจะเป็นจำนวนโครโมโซมตัวเดียวหรือหลาย ๆ ตัว) เราเรียกว่า ประชากรรุ่นลูก (Offspring population) และประชากรรุ่นลูกนี้จะถูกประเมินค่าฟิตเนสดีน้อยเพียงใด

ต่อจากนั้น สร้างประชากรรุ่นใหม่ (New generation) ซึ่งประกอบไปด้วยจำนวนโครโมโซมหลาย ๆ อันรวมกัน ในแนวคิดโดยทั่วไป เลือกโครโมโซมที่มีค่าฟิตเนสที่ดีกว่าโครโมโซมอันอื่นจากกลุ่มของประชากรบรรพบุรุษ (Parent population) และจากกลุ่มของประชากร

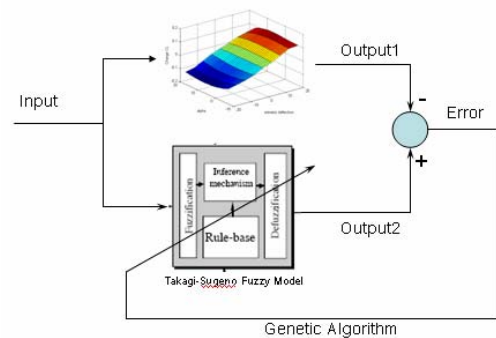
รุ่นลูก (Offspring population) มาสร้างเป็นประชากรรุ่นใหม่ที่มีคุณภาพทางพันธุกรรมที่ดี (หรืออีกนัยหนึ่ง จะได้ Fitness ที่มีค่าเท่ากับหรือที่ใกล้เคียงค่าตอบที่ดีที่สุด) สังเกตด้วยว่าวิธีการหาค่าตอบเชิงพันธุกรรมนี้ บางครั้งอาจจะถูกเรียกว่าวิธีการหาค่าตอบโดยใช้กลุ่มประชากร

(Population-based search)

สังเกตว่า ขั้นตอนการทำงานของวิธีการหาค่าตอบเชิงพันธุกรรมนั้น มีองค์ประกอบที่สำคัญอยู่ 2 ส่วนด้วยกัน นั่นคือ

1. การเลือกค่าตอบที่มีค่าดีที่สุด (Best Solution) เพื่อจะพัฒนาประชากรรุ่นใหม่ที่ดียิ่งขึ้น
2. การสำรวจพื้นที่ของค่าตอบที่เป็นไปได้ (Exploration of the search space)

จะเห็นได้ว่าวิธีเชิงพันธุกรรมอาศัยการหาค่าตอบแบบสุ่ม (Random sampling) จากพื้นที่ในการหาค่าตอบ (Search space) และหวังว่าค่าตอบหรือโครโมโซมที่เลือกมานั้นจะนำไปสู่ค่าตอบที่ดีที่สุด ดังนั้น วิธีเชิงพันธุกรรมจึงมีขั้นตอนวิธีค้นหาค่าตอบทางคอมพิวเตอร์ (อัลกอริทึม) ที่ไม่ยุ่งยากซับซ้อนและสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการหาค่าตอบของปัญหาได้โดยง่าย



ภาพที่ 15 กระบวนการสร้าง Fuzzy System

จากภาพที่ 15 คือ นำ Output ของทั้งสอง (Output1 จากต้นแบบเดิม และ Output2 จากต้นแบบของ fuzzy modeling) มาเปรียบเทียบได้เป็นค่าความคลาดเคลื่อน หรือ Objective function ของ Genetic Algorithm นั้นเอง ซึ่ง GA ก็จะไปปรับตัวแปรของ Fuzzy system จนได้ค่า error มีค่าน้อยที่สุด

ดังนั้นในงานวิทยานิพนธ์นี้ ตัวแปรที่ต้องทำการ Optimize ก็คือ ค่าคุณลักษณะ ของ membership function ทั้งของ input ดังภาพที่ 10 และค่าทางตัวเลขของ membership function ของ output ดังภาพที่ 11 คือ

$$\bar{X} = [A_{1,1}, \dots, A_{1,n}, A_{2,1}, \dots, A_{2,m}, X_{u1}^{\circ}, \dots, M_{r,nxm}^{\circ}]$$

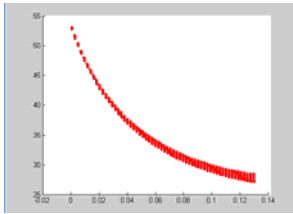
ซึ่ง $A_{1,j}$ และ $A_{1,j}$ คือ จุดยอดของแต่ละ membership function

$$[X_{u1}^{\circ}, \dots, M_{r,nxm}^{\circ}]$$
 คือ ค่า membership functions ของ

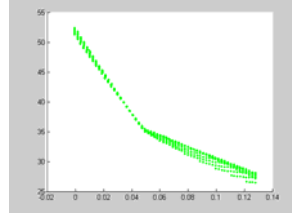
outputs ทั้ง 19 output ซึ่งเป็นค่าคงที่ ดังภาพที่ 10 และ 11

4. การทำการทดลองและผลการทดลอง

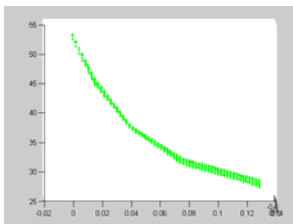
ผลลัพธ์รูปร่างพื้นผิว (Surface Shape) หลังจากทำการหาค่าคำตอบของตัวแปร membership function ของทั้ง input และ output ของ Fuzzy Logic ด้วยวิธี Genetic Algorithm จากค่า fitness function ที่ดีที่สุดของแต่ละจำนวน Rules ของ Fuzzy Logic



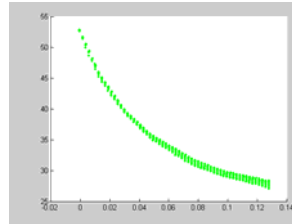
ต้นแบบ



จำนวน 9 rules (3x3)

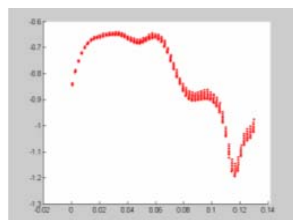


จำนวน 25 rules (5x5)

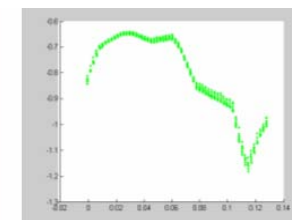


จำนวน 49 rules (7x7)

ภาพที่ 16 เปรียบเทียบรูปร่างของ Axial Velocities กับต้นแบบ เมื่อเพิ่มจำนวน Rules ของ Fuzzy Logic



ต้นแบบ



จำนวน 360 rules (24x15)

ภาพที่ 17 เปรียบเทียบรูปร่างของ Stability Derivative of Pitching Moment due to Normal Velocities

จากภาพที่ 16 และ 17 แสดงรูปร่างพื้นผิวที่ได้จาก Fuzzy Modeling โดยเลือกใช้จำนวน Rules ของ Fuzzy Logic ที่แตกต่างกัน มาเปรียบเทียบกับรูปร่างของพื้นผิวของต้นแบบ โดยในภาพที่ 34 นำรูปร่างพื้นผิวของสภาวะ Axial Velocities ที่มีมุมปะทะและมุม Pitch ต่าง ๆ ณ สภาวะสมดุล จะเห็นว่าเนื่องจากจำนวน Rules ของ Fuzzy Logic มาก ซึ่งทำให้ค่าฟิตเนสที่ดีขึ้นด้วยภาพที่ 16 ทำให้ได้รูปร่างพื้นผิวที่มีความคล้ายคลึงกับต้นแบบ ส่วนภาพที่ 17 เปรียบเทียบรูปร่างพื้นผิวของค่า Aerodynamic Derivatives ของ Pitching Moment due to Elevator Deflection : $\dot{M}_w$ ที่มีมุมปะทะและมุม Pitch ต่าง ๆ ณ สภาวะสมดุล จากต้นแบบรูปร่างพื้นผิวของ $\dot{M}_w$ มีรูปร่างที่ซับซ้อนมากที่สุด ดังนั้นในการกำหนดจำนวน Rules ของ Fuzzy ที่ใช้ในการคำนวณ เริ่มต้นควรที่จะต้องมียังจำนวนมาก จากภาพ ใช้จำนวน Rules ของ Fuzzy ถึง 360 Rules แล้วจึงนำจำนวน Rules 360 Rules มาใช้คำนวณทั้ง 19 Output ซึ่งจะได้ค่าฟิตเนส (error) 7 เปอร์เซนต์ ใช้เวลาในการคำนวณประมาณ 3 วัน

5. สรุป

เป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่จะใช้ในการหาจำนวน Operating regime ที่เหมาะสมในการออกแบบระบบควบคุม ทำให้ในการออกแบบระบบควบคุมไม่ต้องทำวิธีการลองผิดลองถูก (trial & error) ในการทดลองออกแบบระบบควบคุม และเป็นวิธีการที่ดีในการสร้าง modeling ด้วย แต่ก็มีข้อเสียคือ ใช้เวลาในการคำนวณที่ค่อนข้างมาก เนื่องจากต้องใช้คอมพิวเตอร์ที่มีประสิทธิภาพที่สูงมาก ๆ ในการคำนวณหาค่า Optimize ในแต่ละเงื่อนไข ยิ่งตัวแปรที่ต้องการหาค่าตอบมีมากการคำนวณก็ยิ่งใช้เวลาในการคำนวณเพิ่มขึ้นด้วย

ปัจจัยที่มีผลต่อการหาค่าคำตอบมีอยู่ด้วยกันหลายปัจจัย อาทิ จำนวนประชากร, จำนวน Rule ของ Fuzzy Logic , ฟังก์ชัน Crossover , ฟังก์ชัน Mutation , ค่า Crossover และ ค่า Mutation ฯลฯ ซึ่งต้องทำการปรับแต่งตัวแปรดังกล่าวให้เหมาะสมในแต่ละกรณี เพื่อให้เหมาะสมกับทั้งเวลาและค่าคำตอบให้ได้ค่าฟิตเนสฟังก์ชันที่ต้องการ

ในงานวิจัยนี้ศึกษาเพียงแต่ในแนวของ Longitudinal เพียงอย่างเดียว โดยตั้งสมมติฐานว่าไม่มีการ coupling กันระหว่างแนว Longitudinal กับ Lateral & Directional และเพื่อลดความซับซ้อนของปัญหา ซึ่งก็คือจำนวนตัวแปรที่ต้อง optimize ในแต่ละครั้ง ในแต่ละครั้ง ที่ทำการหาค่าตอบ ก็ใช้จำนวนตัวแปรที่ต้องทำการ optimize มากกว่า 100 ตัว ซึ่งยากต่อการแก้ปัญหา

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณท่านอาจารย์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พรหรรณ สงวนโกศลย์ ท่านอาจารย์ ดร.ณัฐพล นิยมไทย และท่านอาจารย์ ดร.ธราพงศ์ ศรีนุช อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ของข้าพเจ้าที่ได้ให้ความช่วยเหลือและคำแนะนำที่มีคุณค่าในการทำวิจัยนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย และภาควิชาวิศวกรรมการบินและอวกาศ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ที่ให้ทุนอุดหนุนการทำวิทยานิพนธ์ รวมถึงการอำนวยความสะดวกในการวิจัยในด้านต่าง ๆ แก่ข้าพเจ้า

เอกสารอ้างอิง

- [1] Cook, M.V., 1997. Flight Dynamics Principles. ARNOLD, a member of the Hodder Headline Group.
- [2] Sugeno, M., and Yasukawa, T., 1993. A Fuzzy-Logic-Based Approach to Qualitative Modeling. IEEE Transactions on Fuzzy Systems, USA, February.
- [3] Nozaki, K., Ishibuchi, H., and Tanaka, H., 1997. A simple but powerful heuristic method for generating fuzzy rules from numerical data. ELSEVIER, USA, November 251-270.
- [4] Siarry, P., and Guely, F., 1998. Genetic Algorithm for optimizing Takagi-Sugeno fuzzy rule bases. ELSEVIER, USA, November 37-47.