

การจำลองการลงจอดของเครื่องบินที่มีการหลีกเลี่ยงการชนกันด้วยคอมพิวเตอร์



นายสรศักดิ์ ไชยเลิศ

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

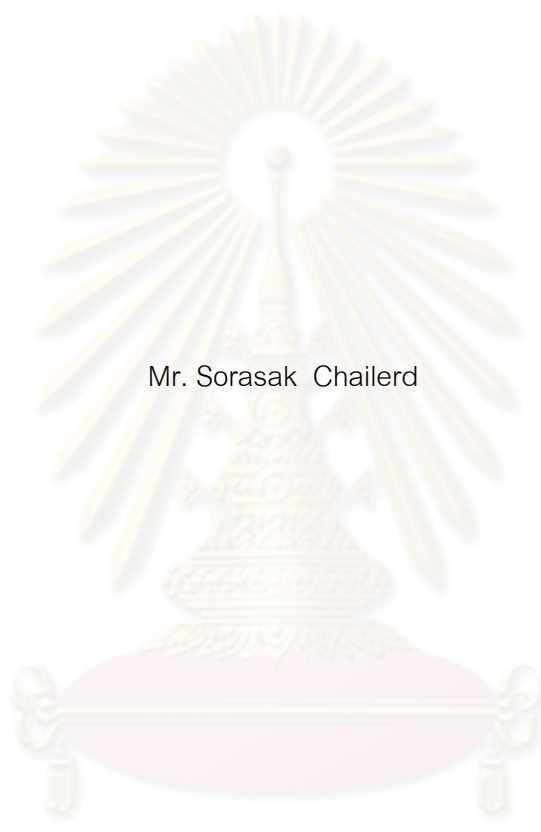
สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2551

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

COMPUTER SIMULATION OF AIRCRAFT LANDING WITH COLLISION AVOIDANCE



Mr. Sorasak Chailerd

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Engineering Program in Computer Engineering

Department of Computer Engineering

Faculty of Engineering

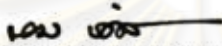
Chulalongkorn University

Academic Year 2008


หัวข้อวิทยานิพนธ์	การจำลองการลงจอดของเครื่องบินที่มีการหลีกเลี่ยงการชนกัน ด้วยคอมพิวเตอร์
โดย	นายสรศักดิ์ ไชยเลิศ
สาขาวิชา	วิศวกรรมคอมพิวเตอร์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิษณุ คนองชัยยศ

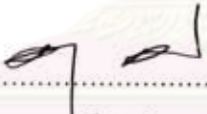
---


คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้ให้นักศึกษานี้เป็นส่วนหนึ่ง  
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

  
..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์  
(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศธีรณรงค์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

  
..... ประธานกรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร.วันชัย รุ่งโพธิ์พล)

  
..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิษณุ คนองชัยยศ)

  
..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย  
(อาจารย์ ดร.ชัยพร เขมะภาคะพันธ์)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สรศักดิ์ ไชยเลิศ : การจำลองการลงจอดของเครื่องบินที่มีการหลีกเลี่ยงการชนกันด้วยคอมพิวเตอร์. (COMPUTER SIMULATION OF AIRCRAFT LANDING WITH COLLISION AVOIDANCE) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผศ.ดร.พิษณุ คนองชัยยศ, 65 หน้า.

ปัญหาการจราจรทางอากาศที่เพิ่มมากขึ้นเป็นประเด็นสำคัญที่ทำให้งานวิจัยนี้ได้สนใจถึงปัญหาการเข้าใกล้กันของเครื่องบิน โดยทำการศึกษาการหลีกเลี่ยงกันของวัตถุดิบได้ ขอบเขตในการศึกษาครั้งนี้ใช้การสร้างภาพเคลื่อนไหวของแบบจำลองวัตถุดิบได้ในแบบสามมิติ ซึ่งเริ่มจากการศึกษารูปแบบการแก้ไขปัญหาวัดุดิบได้เข้าใกล้กันขณะลงจอด โดยทำการตรวจสอบแนวโน้มการเข้าใกล้กันของเครื่องบินคู่ใดๆก่อน ถ้ามีระยะห่างน้อยกว่าระยะห่างมาตรฐานเครื่องบินคู่นั้นจะถูกนำมาคำนวณหาตำแหน่งพิกัดและถูกเปลี่ยนแปลงความสูงซึ่งตั้งอยู่บนพื้นฐานของสภาพอากาศปกติโดยที่ไม่เป็นอุปสรรคต่อวัตถุดิบได้ และออกแบบอัลกอริทึมเพื่อให้วัตถุดิบได้เหล่านั้นสามารถหลบกันได้ จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าขั้นตอนวิธีที่นำเสนอสามารถแก้ปัญหาการเข้าใกล้กันของวัตถุดิบได้โดยที่สามารถทำให้วัตถุเข้าใกล้กันหลบหลีกกันได้ ผลลัพธ์ที่ได้จากกรณีที่มีการกระจายการควบคุมการจราจรจะใช้เวลาการลงจอดของเครื่องบินได้เร็วกว่ากรณีมีผู้ควบคุมจราจรทางอากาศ และก็เพียงพอสำหรับการจำลองการหลบหลีกกันและการลงจอดของเครื่องบินในแบบทันกาลได้

## ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา.....วิศวกรรมคอมพิวเตอร์  
สาขาวิชา.....วิศวกรรมคอมพิวเตอร์  
ปีการศึกษา..... 2551

ลายมือชื่อนิสิต..... สรศักดิ์ ไชยเลิศ  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

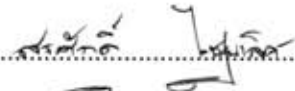
## 5070482721: MAJOR COMPUTER ENGINEERING


KEYWORDS: COMPUTER SIMULATION AND MODELING/ COMPUTER ANIMATION/  
COLLISION AVOIDANCE / AIRCRAFT LANDING / CROWD ANIMATION

SORASAK CHAILERD: COMPUTER SIMULATION OF AIRCRAFT LANDING  
WITH COLLISION AVOIDANCE. ADVISOR: ASST. PROF. PIZZANU  
KANONGCHAIYOS, Ph.D., 65 pp.

Aircraft traffic is of great importance due to the need of transportation. One of the main problems found is that aircraft conflict approach result in this research studies on collision avoidance of flying objects. The objective of this research focuses on the conflict detection on every pair of aircraft model. If the approximated distance between two aircraft models is critical, the proposed system will calculate their new appropriate direction under normal weather assumption. In addition, the proposed algorithm is designed to solve the aircraft conflict problem of arrival in approach area. Experimental results show that this approach can solve conflict resolution and manage five, ten, fifteen and twenty aircraft models to land properly. Experimental results of distributed centralize control are less spend time than aircraft traffic controler. Simulation of collision detection and landing of aircraft models can show in real time.

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department..... Computer Engineering      Student's signature ..... 

Field of study..... Computer Engineering      Advisor's signature ..... 

Academic year ..... 2008 .....

## กิตติกรรมประกาศ

ในการจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้จัดทำได้พบกับอุปสรรคต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นนานับการ อันเป็นบทเรียนที่ทรงคุณค่ายิ่งแก่ผู้จัดทำ เพื่อที่จะได้ฝึกฝน เรียนรู้ และแก้ไขปัญหา ตลอดจนได้เพิ่มพูนทักษะต่าง ๆ ที่จำเป็นสำหรับการวิจัย ซึ่งทั้งหมดนี้ล้วนเป็นปัจจัยที่ช่วยส่งเสริมและผลักดันศักยภาพให้แก่ผู้จัดทำเป็นอย่างมาก อย่างไรก็ตาม วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จะไม่สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ถ้าขาดแรงสนับสนุนจากบุคคลหลายฝ่าย ซึ่งข้าพเจ้าซาบซึ้งในความกรุณาเหล่านี้ อย่างล้นพ้น และใคร่ขอใช้เนื้อหาในกิตติกรรมประกาศของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นสื่อกลางในการแสดงความขอบพระคุณอย่างสุดซึ้งจากผู้จัดทำ

ประการแรก ขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิเชษฐ คนองชัยยศ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำ ช่วยเหลือในการวางแผนงานวิจัยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ และตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ให้แก่ศิษย์คนนี้ด้วยดีเสมอมา รวมถึงคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ซึ่งประกอบไปด้วย รองศาสตราจารย์ ดร.วันชัย ธีรไพบุลย์ และดร.ชัยพร เขมะภากาศ พันธุ์ อันเป็นปัจจัยหลักที่ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอบคุณเพื่อน ๆ ในห้องปฏิบัติการวิจัยคอมพิวเตอร์กราฟิกส์ทุกคน โดยเฉพาะคุณฐิติ รุ่งเจริญไพศาลและคุณปวีณา บัณฑิตกระจำที่ช่วยให้ช่วยเสนอแนวคิดต่าง ๆ ในการแก้ไขปัญหา และคำแนะนำดี ๆ สำหรับการทดลองในงานวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบคุณคุณพ่อ คุณแม่ และพี่ๆ เพื่อนๆ น้องๆ ทุกคนของผู้จัดทำ ที่เป็นกำลังใจ และให้การสนับสนุนทุกสิ่งทุกอย่างด้วยดีเสมอมา

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญ

บทคัดย่อภาษาไทย .....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ .....	ช
สารบัญภาพ.....	ณ
สารบัญตาราง.....	ญ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
ที่มาและความสำคัญของปัญหา .....	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย .....	3
ขอบเขตของการวิจัย.....	3
ประโยชน์ที่ได้รับ.....	4
วิธีดำเนินการวิจัย .....	4
ผลงานตีพิมพ์จากงานวิจัย.....	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....	6
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	6
2.1.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการบิน .....	6
2.1.2 ทฤษฎีการตรวจจับสนามกัน .....	14
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	15
บทที่ 3 การหลบหลีกการเข้าใกล้กันและการลงจอดของเครื่องบิน .....	19
3.1 โมเดลเครื่องบินและพารามิเตอร์.....	19
3.2 การตรวจสอบการเข้าใกล้กันของเครื่องบิน.....	20
3.3 การแก้ไขปัญหาการเข้าใกล้กัน .....	21
3.4 บริเวณเขตประชิดท่าอากาศยาน .....	22
3.4.1 บริการควบคุมจราจรทางอากาศบริเวณท่าอากาศยาน (Aerodrome Control Service หรือ Tower) .....	22
3.4.2 บริการควบคุมจราจรทางอากาศเขตประชิดท่าอากาศยาน (Approach Control Service หรือ Approach) .....	23
3.4.3 บริการควบคุมจราจรทางอากาศตามเส้นทางบิน (Area Control Service หรือ Control) .....	23

3.5 อัลกอริทึมตรวจสอบการเข้าใกล้กัน.....	25
บทที่ 4 การทดลองและวิเคราะห์ผล.....	27
4.1 เครื่องมือที่ใช้และปัจจัยแวดล้อม .....	27
4.2 ผลการทดลอง.....	28
4.2.1 การทดลองทดสอบการแก้ปัญหาการเข้าใกล้กันของเครื่องบินกรณีมีผู้ ควบคุมการจราจรทางอากาศและกรณีการควบคุมการจราจรทางอากาศ แบบกระจายโดยที่มีเครื่องบินเข้าสู่สนามบินจำนวนห้าลำ .....	28
4.2.2 การทดลองทดสอบการแก้ปัญหาการเข้าใกล้กันของเครื่องบินกรณีมีผู้ ควบคุมการจราจรทางอากาศและกรณีการควบคุมการจราจรทางอากาศ แบบกระจายโดยที่มีเครื่องบินเข้าสู่สนามบินจำนวน 10 ลำ.....	35
4.2.3 การทดลองทดสอบการแก้ปัญหาการเข้าใกล้กันของเครื่องบินกรณีมีผู้ ควบคุมการจราจรทางอากาศและกรณีการควบคุมการจราจรทางอากาศ แบบกระจายโดยที่มีเครื่องบินเข้าสู่สนามบินจำนวน 15 ลำ.....	43
4.2.4 การทดลองทดสอบการแก้ปัญหาการเข้าใกล้กันของเครื่องบินกรณีมีผู้ ควบคุมการจราจรทางอากาศและกรณีการควบคุมการจราจรทางอากาศ แบบกระจายโดยที่มีเครื่องบินเข้าสู่สนามบินจำนวน 20 ลำ.....	51
4.3 วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง .....	58
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ.....	60
5.1 สรุปผลการวิจัย .....	60
5.2 ข้อเสนอแนะ .....	61
รายการอ้างอิง.....	63
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	65



## สารบัญภาพ

รูปที่ 2.1 ลักษณะท่าทางการบินเดี่ยวระดับแบบไม่มีความเร่ง .....	1
รูปที่ 2.2 ท่าทางการบินร่อน .....	1
รูปที่ 2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างมุมร่อนกับระยะทางร่อน .....	1
รูปที่ 2.4 ระยะทางลงจอดรวมของเครื่องบิน .....	11
รูปที่ 2.5 ตรวจจับการชนกันโดยใช้ระยะห่าง .....	1
รูปที่ 2.6 การชนกันของโมเดลมนุษย์ด้วย SPHERES บนระดับ 6 และ 7 ของต้นไม้ .....	17
รูปที่ 3.1 โมเดลเครื่องบิน .....	19
รูปที่ 3.2 ปริมาตรทรงกระบอกที่ได้สร้างให้กับโมเดลเครื่องบิน .....	21
รูปที่ 3.3 เหตุการณ์เข้าใกล้กันของระยะห่างมาตรฐาน .....	1
รูปที่ 3.4 แนวการบินและการซ้อนทับกันของพื้นที่วงกลมแทนโมเดลเครื่องบิน .....	1
รูปที่ 4.1 เส้นทางบินในการลงจอดหนึ่งเส้นทางของเครื่องบินห้าลำ .....	29
รูปที่ 4.2 เส้นทางบินในการลงจอดสองเส้นทางของเครื่องบินห้าลำ .....	29
รูปที่ 4.3 การเข้าใกล้กันของเครื่องบินบริเวณเขตประชิดท่าอากาศยานส่วนบนของเครื่องบินห้าลำ .....	33
รูปที่ 4.4 การเข้าใกล้กันของเครื่องบินบริเวณเขตประชิดท่าอากาศยานส่วนกลางเครื่องบินห้าลำ	34
รูปที่ 4.5 เส้นทางบินในการลงจอดสองเส้นทางของเครื่องบิน 10 ลำ .....	36
รูปที่ 4.6 เส้นทางบินในการลงจอดสามเส้นทางของเครื่องบิน 10 ลำ .....	37
รูปที่ 4.7 การเข้าใกล้กันของเครื่องบินบริเวณเขตประชิดท่าอากาศยานส่วนบนเครื่องบิน 10 ลำ	41
รูปที่ 4.8 การเข้าใกล้กันของเครื่องบินบริเวณเขตประชิดท่าอากาศยานส่วนกลางเครื่องบิน 10 ลำ .....	42
รูปที่ 4.9 เส้นทางบินในการลงจอดสองเส้นทางของเครื่องบิน 15 ลำ .....	44
รูปที่ 4.10 เส้นทางบินในการลงจอดสามเส้นทางของเครื่องบิน 15 ลำ .....	44
รูปที่ 4.11 การเข้าใกล้กันของเครื่องบินบริเวณเขตประชิดท่าอากาศยานส่วนบนเครื่องบิน 15 ลำ	49
รูปที่ 4.12 การเข้าใกล้กันของเครื่องบินบริเวณเขตประชิดท่าอากาศยานส่วนกลางเครื่องบิน 15 ลำ .....	49
รูปที่ 4.13 เส้นทางบินในการลงจอดสองเส้นทางของเครื่องบิน 20 ลำ .....	52
รูปที่ 4.14 เส้นทางบินในการลงจอดสามเส้นทางของเครื่องบิน 20 ลำ .....	52
รูปที่ 4.15 การเข้าใกล้กันของเครื่องบินบริเวณเขตประชิดท่าอากาศยานส่วนบนเครื่องบิน 20 ลำ	56

รูปที่ 4.16 การเข้าใกล้กันของเครื่องบินบริเวณเขตประชิดท่าอากาศยานส่วนกลางเครื่องบิน 20 ลำ ..... 56

รูปที่ 4.17 เวลาเฉลี่ยตั้งแต่เครื่องบินเข้าสู่เขตประชิดท่าอากาศยานจนกระทั่งลงจอด..... 59

รูปที่ 4.18 เวลาเฉลี่ยตั้งแต่เครื่องบินเข้าสู่เขตประชิดท่าอากาศยานจนกระทั่งลงจอด..... 59



ศูนย์วิทยพัทยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญตาราง

ตารางที่ 2.1	สรุปสมรรถนะการบินร่อนแบบไม่มีความเร่ง .....	11
ตารางที่ 3.1	พารามิเตอร์ของเครื่องบินโบอิง 747 ที่ใช้คำนวณระยะทาง .....	19
ตารางที่ 4.1	การตรวจสอบการเข้าใกล้กันของเครื่องบินห้าลำกรณีมีผู้ควบคุม .....	29
ตารางที่ 4.2	การตรวจสอบการเข้าใกล้กันของเครื่องบินห้าลำกรณีมีผู้ควบคุม .....	30
ตารางที่ 4.3	เปรียบเทียบผลการทดลองของเครื่องบินเข้าสู่เขตประชิดท่าอากาศยานห้าลำ .....	34
ตารางที่ 4.4	การตรวจสอบการเข้าใกล้กันของเครื่องบิน 10 ลำกรณีมีผู้ควบคุม .....	37
ตารางที่ 4.5	การตรวจสอบการเข้าใกล้กันของเครื่องบิน 10 ลำกรณีมีผู้ควบคุม .....	38
ตารางที่ 4.6	เปรียบเทียบผลการทดลองของเครื่องบินเข้าสู่เขตประชิดท่าอากาศยาน 10 ลำ .....	42
ตารางที่ 4.7	การตรวจสอบการเข้าใกล้กันของเครื่องบิน 15 ลำกรณีมีผู้ควบคุม .....	45
ตารางที่ 4.8	การตรวจสอบการเข้าใกล้กันของเครื่องบิน 15 ลำกรณีมีผู้ควบคุม .....	46
ตารางที่ 4.9	เปรียบเทียบผลการทดลองของเครื่องบินเข้าสู่เขตประชิดท่าอากาศยาน 15 ลำ .....	50
ตารางที่ 4.10	การตรวจสอบการเข้าใกล้กันของเครื่องบิน 20 ลำกรณีมีผู้ควบคุม .....	52
ตารางที่ 4.11	การตรวจสอบการเข้าใกล้กันของเครื่องบิน 20 ลำกรณีมีผู้ควบคุม .....	53
ตารางที่ 4.12	เปรียบเทียบผลการทดลองของเครื่องบินเข้าสู่เขตประชิดท่าอากาศยาน 20 ลำ .....	57

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# บทที่ 1

## บทนำ

### ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ปัญหาหนึ่งที่สำคัญในงานด้านคอมพิวเตอร์กราฟิกส์ นั่นคือ การตรวจจับการชนกัน เนื่องจากสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการจำลองการชนกันของวัตถุต่างๆในโลกเสมือนจริง จะเห็นได้ว่ามีประโยชน์อย่างมากในงานที่ไม่สามารถทำการทดลองการชนกันเหล่านั้นในโลกจริงๆได้หรือเป็นการยากหากต้องทำเพราะต้องใช้ต้นทุนในการทดลองจำนวนมาก ตัวอย่างเช่น การจำลองการชนกันของเครื่องบิน การระเบิดของตึก เป็นต้น และวิธีหนึ่งที่จะทำให้แสดงการทดลองเหล่านั้นได้เสมือนจริงยิ่งขึ้น ก็คือการจำลองทางคอมพิวเตอร์ (Computer Simulation) ทำให้เกิดความเป็นไปได้ที่จะสืบหาให้ชัดเจนอย่างถึงที่สุดในการทดลองเพื่อศึกษาปรากฏการณ์ที่ไม่สามารถหาคำตอบได้ในห้องทดลอง เช่นวิวัฒนาการของจักรวาล ในขอบเขตของวิทยาศาสตร์การจำลองทางคอมพิวเตอร์จะถูกนำไปด้วยทฤษฎีและด้วยผลการทดลอง ขณะที่ผลการคำนวณทำให้เกิดการทดลองใหม่ๆ และแบบจำลองใหม่ทางทฤษฎี ในวิศวกรรมการออกแบบหลายอย่างสามารถดูได้จากแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ซึ่งดีกว่าการสร้างจริงโดยเฉพาะอย่างยิ่งในเรื่องเงินและเวลา

การจำลองทางคอมพิวเตอร์ เป็นการใช้คอมพิวเตอร์ช่วยจำลองลักษณะทางกายภาพที่เป็นไปได้ โดยอาศัยข้อมูลทั้งอดีต ปัจจุบัน และอนาคตที่พอจะทำนายได้ มาผนวกกับสมการทางคณิตศาสตร์ที่ยากๆและซับซ้อน ซึ่งจะพบว่าปัจจัยใหญ่ๆในการทำการจำลองทางคอมพิวเตอร์ จะมีอยู่สามอย่าง คือ การมีข้อมูลนำเข้าที่ครบถ้วนเพื่อเอามาใส่ในโมเดลทางคณิตศาสตร์, โมเดลทางคณิตศาสตร์ซึ่งนอกจากจะได้รับข้อมูลนำเข้าแล้ว ตัวของมันเองยังสามารถคัดกรองข้อมูลที่ผิดเพี้ยน และสร้างเลขสุ่มที่สมเหตุสมผล เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ใกล้เคียงกับความเป็นจริง และสุดท้ายกลไกการแสดงผลควรแสดงผลออกมาเป็นตัวเลข และถ้าแสดงผลออกมาในรูปแบบของกราฟิกส์สามมิติยิ่งดี เพราะการสร้างระบบการจำลองทางคอมพิวเตอร์จะช่วยลดต้นทุนในการทำอุตสาหกรรมและธุรกรรมต่าง ๆ ได้อย่างมหาศาล ซึ่งปัจจุบันอุตสาหกรรมต่างๆก็ใช้การจำลองทางคอมพิวเตอร์กันอย่างมากมาย ตัวอย่างเช่น อเมริกานั้นภายหลังจากทดลองระเบิดนิวเคลียร์มาเป็นพัน ๆ ครั้งจนเก็บข้อมูลได้ครบแล้ว ก็เปลี่ยนมาทดลองระเบิดนิวเคลียร์ในระบบการจำลองทางคอมพิวเตอร์แทน หรือบริษัทผลิตเครื่องบินรบก็อาศัยระบบการจำลองทางคอมพิวเตอร์เป็นตัวช่วยจำลองสถานการณ์การบินต่าง ๆ ของเครื่องบิน เป็นต้น ซึ่งจากปัจจัยสามอย่างนี้จะพบว่าข้อมูลนำเข้า

เป็นเรื่องที่สำคัญที่สุด และต้นทุนในการสร้างรวมถึงการจัดเก็บข้อมูลนำเข้าสำคัญเหล่านั้นก็สูงมากด้วย เพราะมันหมายถึงการลองผิดลองถูก ทำซ้ำครั้งแล้วครั้งเล่า จนกว่าจะได้ผลลัพธ์ที่มีความแน่นอน และสามารถให้ผลลัพธ์ได้เหมือนกันทุกครั้ง

และอีกปัญหาหนึ่งที่น่าสนใจ นั่นคือ ปัญหาการจราจรทางอากาศมีแนวโน้มหนาแน่นขึ้นซึ่งเกิดจากความต้องการใช้บริการการเดินทางทางอากาศของผู้โดยสารทั่วโลกได้เพิ่มขึ้นในทุกๆปี ก่อให้เกิดปัญหาความคับคั่งของการจราจรทางอากาศที่ความรุนแรงขึ้นเป็นลำดับ จากการเพิ่มขึ้นดังกล่าวทำให้ปัญหาการชนกันของเครื่องบินมีความเสี่ยงสูงไปด้วย โดยที่ปัญหาความปลอดภัยในการจราจรทางอากาศ เป็นเรื่องสำคัญมากอย่างยิ่งที่ไม่สามารถละเลยได้ไม่ว่าจะสิ้นเปลืองสำหรับหาวิธีหรืออุปกรณ์ป้องกันใดๆก็ตาม ทั้งๆที่ระบบการควบคุมการจราจรทางอากาศจากภาคพื้นดินสามารถเชื่อถือได้ เครื่องบินพาณิชย์ทั้งหลายก็อาจชนกันได้ ดังเช่นในปี พ.ศ.2503 มีอุบัติเหตุเครื่องบินชนกันในเขตท้องฟ้าที่เอ็มเอ (TMA) ของมหานครนิวยอร์กเกิดขึ้นเนื่องจากมีเมฆหมอกหนาที่บ ในยามที่ท้องฟ้าแจ่มใสก็มีอุบัติเหตุเครื่องบินชนกัน เช่นที่แกรนด์แคนยอน (Grand Canyon) เมื่อเดือนมิถุนายนของปี พ.ศ. 2499 เกิดเครื่องบินชนกันในเส้นทางบิน จริงอยู่ที่เหตุการณ์อันหน้าเศร้าสลดเช่นนี้เกิดขึ้นไม่บ่อยนัก แต่โอกาสการเกิดเครื่องบินชนกันของทุกวันนี้ เพิ่มขึ้นตามปริมาณที่เพิ่มขึ้นของการจราจรทางอากาศด้วยอัตราอย่างอนุกรมเรขาคณิต[1] นั่นคือ เพิ่มขึ้นทีละสองเท่าไปเรื่อยๆสาเหตุอื่นก็มีส่วนด้วย ได้แก่ เครื่องบินทุกวันนี้มีความเร็วสูงขึ้น การบินในทุกสภาพอากาศ ทัศนวิสัยจากห้องนักบินเลวมาก นักบินถูกรอบงำด้วยเครื่องมือต่างๆที่อยู่ในห้องนักบินและความคับคั่งอันเนื่องมาจากสายการบินทั้งหลายต่างต้องการเส้นทางและระดับบินที่ดีที่สุด

แนวคิดหนึ่งที่ได้จากปัญหานี้คือ การจำลองวัตถุบินได้ในอากาศ วัตถุบินได้นี้จะเป็นวัตถุใดๆที่สามารถบินได้ ดังเช่น ฝึลื้อ นก หรือแม้กระทั่งเครื่องบิน ซึ่งวัตถุบินได้ที่จำลองจากสิ่งมีชีวิต เช่น ฝึลื้อ นก ก็จะมีโมเดลคล้ายคลึงกันเพื่อมาจำลองลักษณะการบินเป็นกลุ่มหรือบินใกล้ๆกัน เพื่อป้องกันการชนหรือซ้อนทับกันของภาพจำลองนั้นๆ ส่วนวัตถุบินได้ที่จำลองจากสิ่งที่มีมนุษย์สร้างขึ้น เช่น เครื่องบิน จะพบว่าเพื่อให้ใกล้เคียงกับสถานการณ์จริงนั้น เครื่องบินก็จะมีโมเดลอีกแบบหนึ่งเพื่ออธิบายปรากฏการณ์ข้างเคียงด้วย เช่น แรงลมปะทะ, กฎแรงดึงดูด เป็นต้น ทำให้วัตถุบินได้ที่จำลองจากเครื่องบินจะสนใจระยะห่างเพื่อสามารถคลี่คลายปัญหานั้นๆได้ ซึ่งงานวิจัยนี้สนใจวัตถุบินได้ในอากาศที่เป็นเครื่องบิน เพื่อที่จะต้องการหาวิธีแก้ไขปัญหาจากปัญหาที่กล่าวมาในตอนต้น นอกจากนี้ระบบจำลองที่ใช้กับวัตถุบินได้อื่นๆ ต่างก็มีปัญหาเกิดขึ้น ไม่ว่าจะเป็นปริมาณผลลัพธ์ออกมาช้า, มีข้อจำกัดในเรื่องจำนวนวัตถุ และในการศึกษาการจำลองวัตถุบินได้ที่

เป็นเครื่องบินก็ไม่มี การคิดขั้นตอนการจอดบนพื้นดิน ประกอบกับไม่ได้แสดงผลออกมาในรูปแบบ ทันกาลด้วย

ดังนั้น ในงานวิจัยนี้จึงเสนออัลกอริทึมเพื่อแก้ไขปัญหาการเข้าใกล้กันและป้องกันการชน กันจากการจำลองทางคอมพิวเตอร์ โดยแนวคิดที่เสนอจะเป็นระบบซึ่งกำหนดระยะห่างมาตรฐาน ของเครื่องบินคู่ใดที่มีแนวโน้มพัฒนาจะเข้ามาใกล้กันและชนกัน โดยที่ให้เครื่องบินเหล่านั้น สามารถหลีกเลี่ยงการเข้าใกล้กันได้ ดังนั้น ปัญหาเครื่องบินเข้าใกล้กันจึงเป็นปัจจัยหลักสำหรับ การศึกษา เนื่องจากว่างานวิจัยฉบับนี้มีขอบเขตการศึกษาเพียงใช้แบบจำลองจำลองเครื่องบิน ดังนั้นจึงสนใจเพียงพฤติกรรมกรเข้าใกล้กันของโมเดลเครื่องบิน และพัฒนาอัลกอริทึมเพื่อ ป้องกันการเข้าใกล้กันโดยที่โมเดลเครื่องบินเหล่านั้นสามารถหลบหลีกกันได้ โดยใช้การสร้างภาพ ของโมเดลเครื่องบินในแบบสามมิติที่หลบหลีกและร่อนลงได้อย่างสมจริง เพื่อนำผลการทดลองที่ ได้เหล่านี้ไปประมาณการในสถานการณ์จริงได้อย่างแม่นยำ โดยที่มีค่าใช้จ่ายและต้นทุนในการ ศึกษาวิจัยในการทดลองนี้ต่ำกว่าวิธีป้องกันการเข้าใกล้กันโดยวิธีอื่นๆ

### วัตถุประสงค์ของการวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอวิธีการจำลองการบินสำหรับการหลีกเลี่ยงการชนกัน ของโมเดลเครื่องบินโดยที่มีการควบคุมการจราจรทางอากาศแบบกระจายการควบคุมเปรียบเทียบกับ การที่มีผู้ควบคุมการจราจรทางอากาศ และแสดงการลงจอดของเครื่องบินหลังจากที่มีการแก้ไข ปัญหาการเข้าใกล้กันของเครื่องบินได้อย่างสมจริง

### ขอบเขตของการวิจัย

1. ในการศึกษาครั้งนี้มีขอบเขตเฉพาะโมเดลเครื่องบินขณะลงจอดซึ่งจำลองจาก สถานการณ์เช่นเดียวกับกรณีการลงจอดของเครื่องบิน
2. ในขณะทดสอบเพื่อให้ใกล้เคียงกับสถานการณ์จริงต้องมีการควบคุมการเปลี่ยนแปลง ความเร็วของโมเดลเครื่องบิน
3. ในการศึกษาครั้งนี้ตั้งอยู่บนพื้นฐานของสภาพอากาศปกติ ซึ่งไม่เป็นอุปสรรคของ โมเดลเครื่องบิน
4. ในการศึกษาครั้งนี้ศึกษาตั้งแต่โมเดลเครื่องบินเข้าสู่เขตประชิดท่าอากาศยาน (Approach Area) จนกระทั่งโมเดลเครื่องบินลงจอด
5. การจำลองการบินจะใช้พารามิเตอร์ของเครื่องบินโบอิง 747 เท่านั้น
6. ผลลัพธ์ที่ได้ต้องสามารถทำงานแบบทันกาล (Real-Time) ได้

## ประโยชน์ที่ได้รับ

1. สามารถพัฒนาอัลกอริทึมในการจำลองการแก้ปัญหาการเข้าใกล้กันและการลงจอดของเครื่องบินได้แบบทันกาล
2. สามารถนำวิธีการจำลองการบินสำหรับการหลีกเลี่ยงการชนกันของโมเดลเครื่องบินไปใช้ในการประมาณสถานการณ์จริงได้อย่างแม่นยำ
3. สามารถนำมาทดสอบการเข้าใกล้กันของเครื่องบินจริงเพื่อช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายและต้นทุนในการทดสอบจริงอีกด้วย
4. สามารถนำมาใช้ในอุตสาหกรรมภาพยนตร์ในการจำลองการบินและการลงจอดของเครื่องบิน

## วิธีดำเนินการวิจัย

1. ศึกษาพฤติกรรมกรรมการลงจอด, การบินเลี้ยว, และตำแหน่งของเครื่องบินขณะเข้าสู่เขตประชิดท่าอากาศยาน
2. ศึกษาแนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในการตรวจสอบการชนกันของเครื่องบิน
3. ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
4. ศึกษาการทำงานและวิธีใช้งานโปรแกรมมายา
5. ออกแบบและสร้างอัลกอริทึมในการบินเลี้ยวและการลงจอดของโมเดลเครื่องบินที่เหมาะสม
6. ทดสอบและเปรียบเทียบผลการทดลอง
7. วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง
8. สรุป เรียบเรียง และจัดทำวิทยานิพนธ์

## ผลงานตีพิมพ์จากงานวิจัย

ส่วนหนึ่งของวิทยานิพนธ์นี้ได้รับการตอบรับให้ตีพิมพ์เป็นบทความทางวิชาการในหัวข้อเรื่อง "Collision Avoidance of Flying Objects: Landing Performance Case" โดย สรศักดิ์ ไชยเลิศ และ พิษณุ คนองชัยยศ ในงานประชุมวิชาการ "12<sup>th</sup> National Computer Science and Engineering Conference" ซึ่งจัดขึ้น ณ โรงแรมลองบีชการ์เด้น โฮเทล แอนด์ สปา จังหวัดชลบุรี ระหว่างวันที่ 20 - 21 พฤศจิกายน 2551 และ เรื่อง "Computer Simulation of Aircraft Landing with Collision Avoidance" โดย สรศักดิ์ ไชยเลิศ และ พิษณุ คนองชัยยศ ในงานประชุมวิชาการของ "The 6<sup>th</sup> International Joint Conference on Computer Science and Software

Engineering (JCSSE2009)” ซึ่งจัดขึ้น ณ ลา구나 บีช รีสอร์ท จังหวัดภูเก็ต ในระหว่าง วันที่ 13 – 15 พฤษภาคม 2552



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



## บทที่ 2

### ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สำหรับบทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง จะมีการนำเสนอทฤษฎีต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการบิน ได้แก่ สมรรถนะการบินเลี้ยว สมรรถนะการบินร่อน สมรรถนะการลงจอด และทฤษฎีตรวจจับการชนกัน ซึ่งทฤษฎีที่กล่าวมาทั้งหมดนี้ล้วนเป็นทฤษฎีที่สำคัญที่จะเป็นพื้นฐานในการทำวิทยานิพนธ์นี้

#### 2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

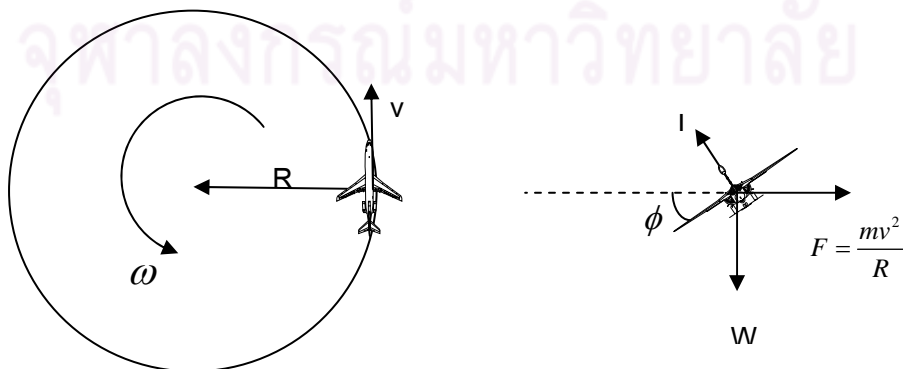
ทฤษฎีที่ใช้กันสามารถแบ่งได้เป็นทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการบิน และทฤษฎีในการตรวจจับการชนกัน ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังนี้

##### 2.1.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการบิน

ซึ่งแบ่งทฤษฎีหลักที่ใช้ในงานวิจัยได้สามทฤษฎี ดังนี้

##### 1) สมรรถนะการบินเลี้ยว

สมรรถนะการบินเลี้ยวในแนวระดับแบบไม่มีความเร่ง [2,3] นั่นคือเป็นการบินเลี้ยวที่มีความสูงคงที่ และใช้ความเร็วในการบินเลี้ยวคงที่ (Sustain Turn หรือ Coordinate Turn) ด้วยเช่นกัน ในการที่อากาศยานทำการบินเลี้ยวนั้น สามารถเปรียบเทียบได้เสมือนกับการเคลื่อนที่เป็นแนววงกลมด้วยค่ารัศมีคงที่ อากาศยานจะทำการบินเช่นนั้นได้จะต้องมีแรงเหวี่ยงเข้าสู่ศูนย์กลาง ซึ่งสามารถทำการหมุนปีกด้านที่ต้องการจะเลี้ยวลง เพื่อเป็นการแบ่งแรงยกบางส่วนมาเป็นแรงเข้าสู่ศูนย์กลาง ดังแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ลักษณะท่าทางการบินเลี้ยวระดับแบบไม่มีความเร่ง

ที่มา : Roskam J. and Chuan-Tau Edward Lan, Airplane Aerodynamics and Performance 2003

กำหนดให้มุมเอียงปีก คือ Bank ( $\phi$ ), รัศมีการเลี้ยว คือ  $R$ , อัตราการเปลี่ยนมุมระหว่างการบินเลี้ยว คือ  $\omega$  และความเร็วในการบินเลี้ยว คือ  $v$

จากนิยามของการบินเลี้ยวระดับแบบไม่มีความเร่ง ทำให้ผลรวมของแรงในทุกทิศทางการเคลื่อนที่มีค่าเท่ากับศูนย์ โดยในการบินเลี้ยวแบบนี้สามารถแบ่งออกได้สามทิศทางการเคลื่อนที่ กล่าวคือทิศทางตั้งฉากกับรัศมีการบินเลี้ยว ทิศทางตามแนวรัศมีการบินเลี้ยว และทิศทางตั้งฉากกับระนาบการบินเลี้ยว

$$\begin{aligned} T - D &= 0 \\ L \cos(\phi) - W &= 0 \\ L \sin(\phi) - \frac{mv^2}{R} &= 0 \end{aligned} \quad (2.1)$$

โดยนิยามมุมที่ปีกของอากาศยานทำกับระนาบการบินเลี้ยวว่าเป็นมุมเอียงปีก (bank ( $\phi$ )) โดยมุมดังกล่าวมีความสัมพันธ์กับรัศมีการเลี้ยว ( $R$ ) อัตราการเปลี่ยนมุมระหว่างการบินเลี้ยว ( $\omega$ ) ความเร็วในการบินเลี้ยว ( $v$ )

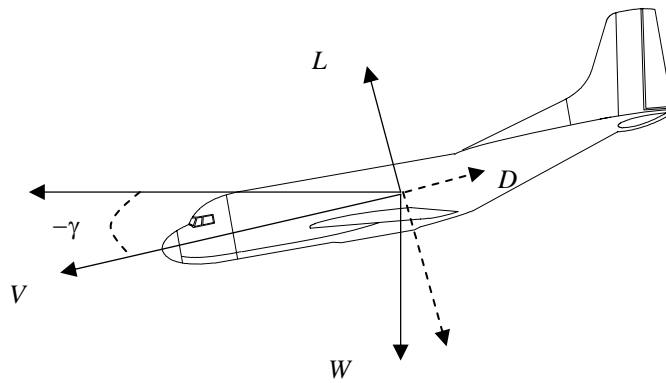
$$\tan \phi = \frac{v^2}{gR} = \frac{v}{g} \times \frac{v}{R} = \frac{v\omega}{g} \quad (2.2)$$

และจากนิยามของอัตราการเปลี่ยนมุมระหว่างการบินเลี้ยว  $\omega = \frac{v}{R}$  จะได้สมการหารัศมีการบินเลี้ยวระดับแบบไม่มีความเร่งได้

$$R = \frac{v}{\omega} = \frac{v^2}{g \tan \phi} \quad (2.3)$$

## 2) สมรรถนะการบินร่อน

สมรรถนะการบินร่อนนั้นเป็นการบินที่ไม่มีการใช้แรงขับอากาศยาน และ/หรือ กำลังขับอากาศยานแต่อย่างใด โดยในขอบเขตงานวิจัยนี้จะจำกัดสมรรถนะการบินร่อนแบบไม่มีความเร่งเท่านั้น (Steady Gliding) ดังนั้นน้ำหนักของตัวอากาศยานจึงถูกแตกออกเป็นสองส่วน เพื่อใช้เสมือนเป็นแรงขับอากาศยานที่ทำให้อากาศยานเกิดความเร่ง และทำให้เกิดแรงยกดังแสดงในรูปที่ 2.2 โดยนิยามมุมของการร่อนให้มีค่าเป็นลบ เพื่อให้สอดคล้องกับการคำนวณ



รูปที่ 2.2 ท่าทางการบินร่อน

ที่มา : Roskam J. and Chuan-Tau Edward Lan, Airplane Aerodynamics and Performance 2003

กำหนดให้  $L$  คือ แรงยก,  $D$  คือ แรงต้านอากาศยาน,  $W$  คือ น้ำหนักของอากาศยาน,  $V$  คือ ความเร็วของอากาศยาน และ  $\gamma$  คือ มุมของการร่อน

เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 2.2 แล้วสามารถสร้างสมการสมดุลแรงในทิศทางกรเคลื่อนที่ทั้งสองทิศทางได้ ดังนี้

$$D + W \sin \gamma = 0 \quad (2.4)$$

$$L - W \cos \gamma = 0 \quad (2.5)$$

ฉะนั้นเมื่อนำทั้ง สมการที่ (2.4) และ (2.5) มารวมกันจะได้ความสัมพันธ์ระหว่างมุมร่อนกับประสิทธิภาพอากาศพลศาสตร์ดังนี้

$$\tan(-\gamma) = \frac{D}{L} = \frac{c_D}{c_L} = \frac{1}{E} \quad (2.6)$$

หากพิจารณาโดยละเอียดแล้ว แรงยกที่เกิดจากการบินร่อนนั้นจะไม่เท่ากับน้ำหนักของอากาศยาน (เทียบกับสมรรถนะการบินตรงระดับ) แต่จะมีค่าเท่ากับผลรวมของแรงยกกำลังสองกับแรงต้านกำลังสอง ดังนี้

$$W^2 = D^2 + L^2 \quad (2.7)$$

และจากสมการที่ (2.5) หากต้องการให้อากาศยานร่อนให้ได้มุมร่อนน้อยที่สุด จะต้องทำให้ค่า  $E$  มากที่สุด หรือเท่ากับค่า  $E_m$  นั่นเอง

ส่วนอัตราการตก (Sink Rate, SR) นั้น สามารถหาได้จากการแตกค่าความเร็วที่เกิดขึ้นกับอากาศยาน ในขณะที่ทำการร่อน

$$SR = v \sin(-\gamma) \quad (2.8)$$

โดยค่าความเร็ว ( $v$ ) นั้นสามารถคำนวณได้จากความสัมพันธ์พื้นฐานจากสมรรถนะการบินตรงระดับ (สมการที่ (2.6)) ดังนี้

$$W^2 = L^2 + D^2 = \left(\frac{1}{2} \rho S v^2\right)^2 (c_L^2 + c_D^2) \quad (2.9)$$

จึงได้ว่า

$$v = \sqrt{\frac{2W}{\rho S (c_L^2 + c_D^2)^{\frac{1}{2}}}} \quad (2.10)$$

และ

$$\begin{aligned} SR = v \sin(-\gamma) &= \sqrt{\frac{2W}{\rho S (c_L^2 + c_D^2)^{\frac{1}{2}}}} \times \frac{D}{W} = \sqrt{\frac{2W}{\rho S (c_L^2 + c_D^2)^{\frac{1}{2}}}} \times \frac{\frac{1}{2} \rho v^2 S c_D}{\frac{1}{2} \rho v^2 S} \\ &= \sqrt{\frac{2W}{\rho S}} \times \frac{c_D}{\sqrt{(c_D^2 + c_L^2)^3}} \end{aligned} \quad (2.11)$$

ดังนั้นหากต้องการหาค่าอัตราการตกที่น้อยที่สุด สามารถหาได้จากการหาอนุพันธ์อันดับที่ 1 ของสมการที่ (2.11) แล้วทำให้เท่ากับศูนย์

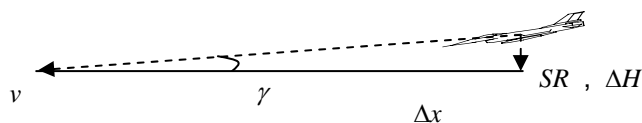
$$\frac{\partial(SR)}{\partial c_L} = \frac{\partial}{\partial c_L} \left( \sqrt{\frac{2W}{\rho S}} \times \frac{c_D}{\sqrt{(c_D^2 + c_L^2)^3}} \right) = 0 \quad (2.12)$$

ซึ่งจะได้ว่าค่า  $c_L$  ที่ทำให้สมการที่ (2.12) มีค่าเท่ากับ 0 ได้หรือเป็นค่าที่ทำให้อากาศยานร่อนแบบไม่มีความเร่งด้วยอัตราการตกที่น้อยที่สุดคือ  $c_L = \sqrt{3}c_L^*$  และจะได้ค่า  $c_D = 4c_{D_0}$  เมื่อนำค่าทั้ง 2 ไปแทนในสมการพื้นฐาน (สมการที่ (2.11)) จะได้

$$SR_{min} = \frac{3}{\sqrt[4]{3^3}} \sqrt[4]{k^3 \times c_{D_0}} \times \sqrt{\frac{2W}{\rho S}} = 1.755 \times \sqrt[4]{k^3 \times c_{D_0}} \times \sqrt{\frac{2W}{\rho S}} \quad (2.13)$$

และสามารถหาค่าความเร็วในการร่อนแบบไม่มีความเร่งให้มีอัตราการตกที่น้อยที่สุด ได้ดังนี้

$$v_{SR_{min}} = \frac{1}{\sqrt[4]{3}} v^* = 0.76 v^* \quad (2.14)$$



รูปที่ 2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างมุมร่อนกับระยะทางร่อน

ที่มา : Roskam J. and Chuan-Tau Edward Lan, Airplane Aerodynamics and Performance 2003

จากรูปที่ 2.3 สามารถสร้างความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางในการร่อน ความสูงในการร่อน ความเร็วในการร่อน มุมที่ใช้ร่อน และอัตราการตกได้ดังนี้

$$\frac{\Delta H}{\Delta x} = \tan \gamma \quad (2.15)$$

ดังนั้นสามารถเปลี่ยนรูปสมการให้เป็นความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางในการร่อนกับมุมที่ใช้ร่อนได้ดังนี้

$$\Delta x = \frac{\Delta H}{\tan \gamma} \quad (2.16)$$

และจาก

$$SR = \frac{\Delta H}{\Delta t} \quad (2.17)$$

เมื่อทำการเปลี่ยนรูปสมการเพื่อสร้างเป็นความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการร่อนกับอัตราการตก จะได้

$$\Delta t = \frac{\Delta H}{SR} \quad (2.18)$$

หากทำการวิเคราะห์จากความสัมพันธ์ที่ได้แสดงในสมการที่ (2.16) และ (2.18) สามารถสรุปได้ว่าหากต้องการให้ได้ระยะการร่อนไกลที่สุด ( $\Delta x_{Max}$ ) ควรที่จะต้องร่อนให้ได้มุมร่อนที่น้อยที่สุด ( $\gamma_{Min}$ ) และหากว่าต้องการให้ร่อนได้นานที่สุด ( $\Delta t_{Max}$ ) สมควรที่จะต้องเลือกการร่อนให้มีอัตราการตกให้น้อยที่สุด ( $SR_{Min}$ ) ด้วยเช่นกัน

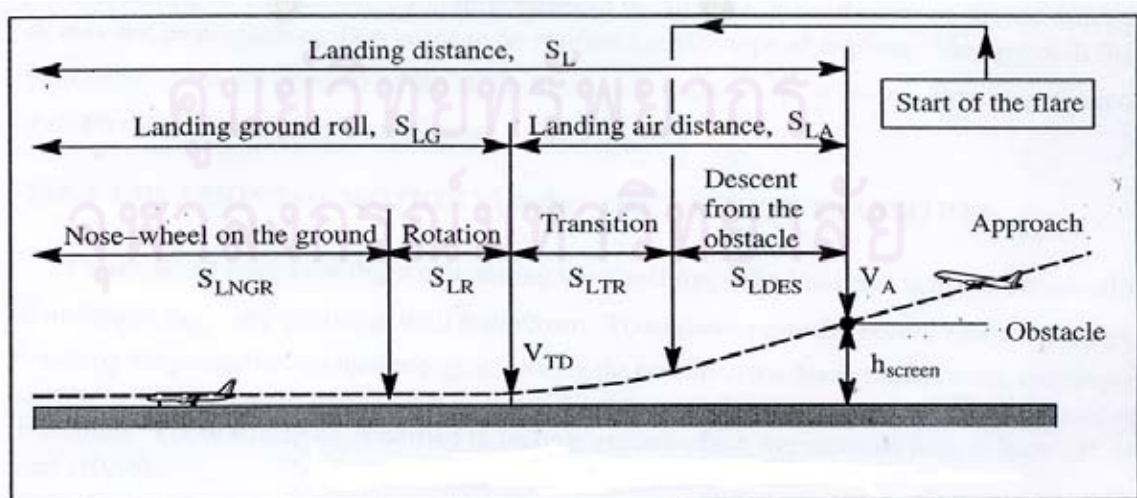
ตารางที่ 2.1 สรุปรูปสมรรถนะการบินร่อนแบบไม่มีความเร็ว

	มุมร่อนน้อยที่สุด $\gamma_{min}$	อัตราการตกน้อยที่สุด $SR_{min}$
สัมประสิทธิ์แรงยก ( $c_L$ )	$c_L^*$	$\sqrt{3}c_L^*$
สัมประสิทธิ์แรงต้าน ( $c_D$ )	$2c_{D_0}$	$4c_{D_0}$
ความเร็วอากาศยาน ( $v$ )	$v^*$	$0.76v^*$
มุมร่อน ( $\tan(-\gamma)$ )	$\frac{1}{E_m}$	$\frac{2}{\sqrt{3}E_m}$
อัตราการตก (SR)	$2 \times \sqrt{k^3 \times c_{D_0}} \times \sqrt{\frac{2W}{\rho S}}$	$1.755 \times \sqrt{k^3 \times c_{D_0}} \times \sqrt{\frac{2W}{\rho S}}$

3) สมรรถนะการลงจอด

สมการการเคลื่อนที่ในขณะลงจอดของเครื่องบิน

ขั้นตอนในการลงจอด [4] ประกอบด้วยขั้นตอนในการลงจอดในช่วงที่เครื่องบินอยู่บนอากาศ (Air Distance) และช่วงที่อยู่บนภาคพื้นดิน (Ground Roll Distance) โดยที่ระยะลงจอดของเครื่องบินขณะที่อยู่บนอากาศจะประกอบด้วยระยะทางที่เครื่องบินลดความเร็วหลังจากผ่านระดับกีดขวาง (Obstacle) และระยะเปลี่ยนผ่าน (Transition) จากการที่เครื่องบินอยู่บนอากาศกับอยู่บนพื้นดิน ส่วนระยะลงจอดของเครื่องบินช่วงที่อยู่บนพื้นดินจะประกอบด้วยระยะที่ล้อกำลังเริ่มสัมผัสพื้น (Rotation) กับระยะที่ล้อสัมผัสพื้น (Nose-wheel on the ground) โดยที่ระยะทางในการลงจอดแบ่งระยะย่อยๆ ได้ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 ระยะทางลงจอดรวมของเครื่องบิน

ที่มา : Roskam J. and Chuan-Tau Edward Lan, Airplane Aerodynamics and Performance 2003

สมการแสดงระยะทางรวมในการลงจอด เป็นดังนี้

$$S_L = S_{LG} + S_{LA} = S_{LNGR} + S_{LR} + S_{LTR} + S_{LDES} \quad (2.19)$$

ซึ่งสามารถแยกอธิบายตามสมการย่อยๆ ได้แก่ ระยะที่ล้อสัมผัสพื้นเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$S_{LNGR} = \int_{V_{LR}^m V_W}^{V_{LW}^m V_W} \frac{V \pm V_W}{g \left\{ \left( \frac{T}{W} - \mu_{g_{brake}} \right) - \frac{(C_{D_g} - \mu_{g_{brake}} C_{L_g}) \bar{q}}{W/S} + \frac{N_n}{W} (\mu_{g_{brake}} - \mu_g) - \phi \right\}} dV \quad (2.20)$$

ระยะที่ล้อกำลังเริ่มสัมผัสพื้นเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$S_{LR} = \int_{V_{TD}^m V_W}^{V_{LR}^m V_W} \frac{V \pm V_W}{g \left\{ \left( \frac{T}{W} - \mu_{g_{brake}} \right) - \frac{(C_{D_g} - \mu_{g_{brake}} C_{L_g}) \bar{q}}{W/S} - \phi \right\}} dV \quad (2.21)$$

ระยะเปลี่ยนผ่านจากการที่เครื่องบินอยู่บนอากาศกับอยู่บนพื้นดินเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$S_{LTR} = R_{flare} \bar{\gamma}_A \quad (2.22)$$

ระยะทางที่เครื่องบินลดความเร็วหลังจากผ่านระดับกีดขวางเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$S_{LDES} = \frac{(h_{screen} - h_{flare})}{\tan \bar{\gamma}_A} \quad (2.23)$$

ระยะทางลงจอดในช่วงที่เครื่องบินอยู่บนอากาศเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$S_{LA} \approx \frac{h_{screen}}{\bar{\gamma}_A} + R_{flare} \frac{\bar{\gamma}_A}{2} \quad (2.24)$$

ระยะลงจอดของเครื่องบินขณะที่อยู่บนพื้นดินเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$S_{LG} = S_{LR} + S_{LNGR} \quad (2.25)$$

ความเร็วต่ำสุดที่เครื่องบินสูญเสียแรงยก(Stall Speed) คือ

$$V_{S_L} = \sqrt{\frac{2W_L/S}{\zeta C_{L_{maxL}}}} \quad (2.26)$$

ความเร็วขณะเข้าสู่เขตประชิดท่าอากาศยาน (Approach Speed) คือ

$$V_A = 1.3V_S \quad (2.27)$$

ความเร็วก่อนที่ล้อจะแตะพื้น (Flare Speed) คือ

$$V_{FL} = 0.95V_A \quad (2.28)$$

ความเร็วที่ล้อแตะพื้น (Touchdown Speed) คือ

$$V_{TD} \approx 1.15V_{S_L} \quad (2.29)$$

โดยที่

$S_L$	=	ระยะทางในการลงจอดทั้งหมด ( $ft, m$ )
$S_{LNGR}$	=	ระยะที่ล้อสัมผัสพื้น ( $ft, m$ )
$S_{LR}$	=	ระยะที่ล้อกำลังเริ่มสัมผัสพื้น ( $ft, m$ )
$S_{LTR}$	=	ระยะเปลี่ยนผ่านจากการที่เครื่องบินอยู่บนอากาศกับอยู่บนพื้นดิน ( $ft, m$ )
$S_{LDES}$	=	ระยะทางที่เครื่องบินลดความเร็วหลังจากผ่านระดับกีดขวาง ( $ft, m$ )
$S_{LA}$	=	ระยะทางลงจอดในช่วงที่เครื่องบินอยู่บนอากาศ ( $ft, m$ )
$S_{LG}$	=	ระยะลงจอดของเครื่องบินขณะที่อยู่บนพื้นดิน ( $ft, m$ )
$S$	=	พื้นที่ปีก ( $ft^2, m^2$ )
$V_{S_L}$	=	ความเร็วที่เครื่องบินสูญเสียแรงยก ( $ft/sec, m/sec, kts, km/hr$ )
$V$	=	ความเร็วของเครื่องบิน ( $ft/sec, m/sec, kts, km/hr$ )
$V_A$	=	ความเร็วขณะเข้าสู่เขตประชิดท่าอากาศยาน ( $ft/sec, m/sec, kts, km/hr$ )
$V_{FL}$	=	ความเร็วก่อนที่ล้อจะแตะพื้น ( $ft/sec, m/sec, kts, km/hr$ )
$V_{TD}$	=	ความเร็วที่ล้อแตะพื้น ( $ft/sec, m/sec, kts, km/hr$ )
$V_w$	=	ความเร็วลม ( $ft/sec, m/sec, kts, km/hr$ )
$\phi$	=	มุมเอียงปีกเครื่องบิน ( $rad$ )
$g$	=	แรงโน้มถ่วงโลก ( $ft/sec^2, m/sec^2$ )
$T$	=	แรงผลัก ( $lbs, N$ )
$W$	=	น้ำหนักของเครื่องบิน ( $lbs, N$ )
$\mu_{s_{brake}}$	=	สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานเบรกบนพื้น
$\mu_g$	=	สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานระหว่างล้อกับพื้น
$C_{D_s}$	=	สัมประสิทธิ์แรงต้านที่กระทำต่อเครื่องบิน



$C_{L_g}$	=	สัมประสิทธิ์แรงยก
$C_{L_{maxL}}$	=	สัมประสิทธิ์แรงยกที่มีค่ามากที่สุด
$R_{flare}$	=	รัศมีก่อนที่ล้อยจะแตะพื้น ( $ft, m$ )
$\bar{\gamma}_A$	=	มุมของการร่อนให้มีค่าติดลบ ( $deg, rad$ )
$h_{screen}$	=	ความสูงของระดับสิ่งกีดขวาง ( $ft, m$ )
$h_{flare}$	=	ความสูงก่อนที่ล้อยจะแตะพื้น ( $ft, m$ )
$\zeta$	=	ความหนาแน่นอากาศ ( $slugs / ft^3, Kg / m^3$ )
$\bar{q}$	=	ความดันอากาศพลศาสตร์ ( $lbs / ft^2, N / m^2$ )

## 2.1.2 ทฤษฎีการตรวจจับการชนกัน

ในการตรวจจับการชนกันนั้นจะแบ่งการทำงานออกเป็นสองส่วนหลัก ได้แก่ การตรวจจับในช่วงกว้าง (Broad Phase) ซึ่งเป็นส่วนที่ทำการคัดเลือกเอาเฉพาะคู่ของวัตถุที่มีโอกาสเกิดการชนกันและตัดวัตถุอื่น ๆ ที่ไม่มีโอกาสเกิดการชนกันออกไป และการตรวจจับการชนกันในช่วงแคบ (Narrow Phase) คือนำคู่ของวัตถุที่มีโอกาสเกิดการชนกันมาหาว่ามีการชนกันจริงหรือไม่ และชนกันที่จุดใด ระยะที่ใกล้ที่สุดหรือระยะที่ทั้งสองวัตถุเหลื่อมกันมีขนาดเท่าไร ในทิศทางใด ซึ่งวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะใช้วิธีการตรวจจับการชนกัน ดังนี้

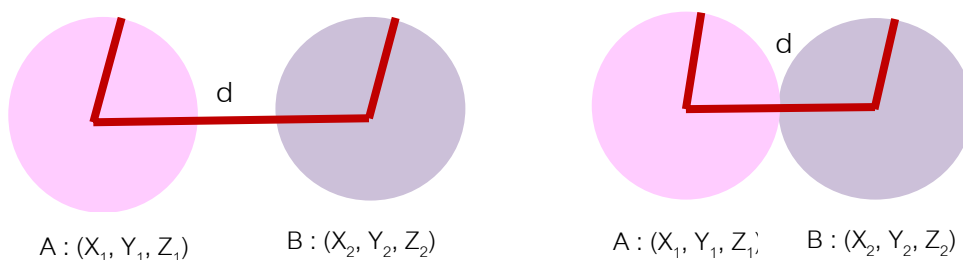
### 1) ตรวจจับการชนโดยใช้ระยะห่าง

ในการหาระยะห่างระหว่างวัตถุสองสิ่ง เช่น วัตถุ A และวัตถุ B จะมีการกำหนดค่ามาตรฐานค่าหนึ่ง โดยที่วัตถุนั้นถ้าอยู่ใกล้กันเกินค่าหนึ่ง แสดงว่าวัตถุนั้นชนกัน ซึ่งในการคำนวณใช้สูตร Euclidean distance เป็นการหาระยะห่างระหว่างจุดสองจุด คือ จุด  $(x_1, y_1, z_1)$  และจุด  $(x_2, y_2, z_2)$  ระยะห่างมาตรฐาน เท่ากับ

$$d = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2 + (z_1 - z_2)^2} \quad (2.30)$$

โดยที่  $d > Ar + Br$  แสดงการไม่ชนกันของวัตถุและ  $d < Ar + Br$  แสดงไม่ชนกันของวัตถุ ดังรูปที่

2.5



รูปที่ 2.5 ตรวจจับการชนกันโดยใช้ระยะห่าง

โดยที่ใช้หลักการที่ว่า ถ้าสมมติมีวัตถุห้าชิ้น ในการทดสอบว่าวัตถุชิ้นไหนจะชนกันก็ต้องวนรอบ (loop) เปรียบเทียบ ชิ้นที่ 1 กับชิ้นที่ 2, ชิ้นที่ 1 กับชิ้นที่ 3, ชิ้นที่ 1 กับชิ้นที่ 4 และ ชิ้นที่ 1 กับชิ้นที่ 5 จากนั้นก็วนรอบเปรียบเทียบชิ้นที่ 2 กับชิ้นที่ 3, ชิ้นที่ 2 กับชิ้นที่ 4 และชิ้นที่ 2 กับชิ้นที่ 5 ทำไปเรื่อยๆจนกระทั่งถึงวัตถุชิ้นที่ 4 กับชิ้นที่ 5 เป็นต้น

## 2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในส่วนของผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องจะประกอบด้วยการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการแก้ไขปัญหาการเข้าใกล้กันของเครื่องบินและการตรวจจับและหลีกเลี่ยงการชนกันด้วยทฤษฎีทางคอมพิวเตอร์ ซึ่งมีดังต่อไปนี้

การศึกษากการแก้ไขปัญหาเครื่องบินชนกันกลางอากาศเป็นอีกเรื่องหนึ่งที่น่าสนใจอย่างมาก เนื่องจากปริมาณเครื่องบินบนท้องฟ้าที่เพิ่มขึ้นทุกวันจึงมีการนำเสนอรูปแบบการบินแบบใหม่ที่เรียกว่ารูปแบบการบินอิสระ (Free Flight) งานวิจัยการแก้ไขปัญหาการชนกันในรูปแบบการบินอิสระอย่างมีประสิทธิภาพในบริเวณการควบคุมการจราจรทางอากาศตามเส้นทางบิน (En-Route Control Service) [5, 6] ซึ่งมีระดับความสูงตั้งแต่ 18,000 ฟุต ได้ถูกศึกษาโดยอาศัยข้อมูลทางสถิติของสถานการณ์การจราจรจริงเหนือประเทศฝรั่งเศส ซึ่งงานวิจัยนี้แบ่งออกเป็นสามส่วนหลัก คือ ระบบจำลองการจราจรทางอากาศ (Traffic Simulator), การตรวจสอบเครื่องบินชนกัน (Conflict Detection Clustering) และการแก้ไขเครื่องบินชนกัน (Problem Solver) โดยในการจำลองการจราจรทางอากาศจะเป็นตัวแสดงทิศทางและความเร็วของเครื่องบินแต่ละลำและส่งข้อมูลไปยังระบบตรวจสอบเครื่องบินชนกัน ถ้าระบบตรวจสอบพบว่าเครื่องบินกลุ่มใดมีแนวโน้มจะชนกัน ระบบจะทำการส่งตำแหน่งไปยังระบบแก้ไขเครื่องบินชนกัน และเมื่อระบบทำการแก้ไขเสร็จแล้ว ระบบจะทำการส่งข้อมูลกลับมาตรวจสอบกับระบบตรวจสอบเครื่องบินชนกันอีกครั้งว่ารูปแบบการแก้ไขนั้นๆประสบความสำเร็จพร้อมทั้งตรวจสอบเครื่องบินลำอื่นๆสำหรับการแก้ไขนั้น นำพาไปยังแนวโน้มการชนกันของเครื่องบินลำอื่นหรือไม่ ถ้าระบบตรวจสอบเครื่องบินชนกันไม่พบแนวโน้มการชนกันอีก ระบบจะส่งข้อมูลกลับไปยังระบบจำลองการจราจรทางอากาศ เพื่อใช้ในการแก้ไขปัญหาคต่อไป เป้าหมายในงานวิจัยนี้คือการทำให้ไม่เกิดปัญหาการเข้าใกล้กันของเครื่องบินในรูปแบบการบินอิสระและมีการแก้ไขปัญหาคด้วยระยะเวลาอันสั้น จึงนำเสนอการประยุกต์ขั้นตอนทางพันธุกรรม (Genetic Algorithm) สำหรับการค้นหาการแก้ไขปัญหาคการชนกันของเครื่องบินที่เหมาะสม เนื่องจากแนวทางการแก้ไขในปัญหาการชนกันของเครื่องบินในทางทฤษฎีนั้น เครื่องบิน  $n$  ลำ จะมีค่าเท่ากับ  $2^{n(n-1)/2}$  รูปแบบ ดังนั้น ถ้า  $n=9$  ลำ รูปแบบการแก้ไขจะ

เท่ากับ 268 ล้านแนวทาง สรุปได้ว่า รูปแบบการค้นหาแนวทางการแก้ไขปัญหาเครื่องบินเข้าใกล้กันโดยอาศัยการประยุกต์รูปแบบขั้นตอนทางพันธุกรรมในบริเวณจราจรทางอากาศตามเส้นทางบินมีประสิทธิภาพที่ดีแต่มีข้อจำกัดที่ยังรองรับปริมาณเครื่องบินที่ไม่มาก

ส่วนงานวิจัยในการค้นหาแนวทางการแก้ไขปัญหาเครื่องบินชนกันสองลำ [7] ศึกษาเพียงการเปลี่ยนแปลงเส้นทางบินในบริเวณการควบคุมการจราจรทางอากาศตามเส้นทางบินสำหรับแก้ไขปัญหานี้ แต่ไม่ได้เป็นแนวทางการแก้ไขที่ประหยัดหรือดีที่สุด จากนั้นมีการศึกษาหาวิธีที่ปลอดภัยและใช้หลักเศรษฐศาสตร์เพื่อต้องการหาวิธีที่ใช้เชื้อเพลิงน้อยที่สุด [8] ใช้การคำนวณหาความยาวของวิถีแนวมินและเวลาน้อยที่สุด โดยอธิบายเงื่อนไขที่จำเป็นเพื่อหาวิธีแก้ปัญห เครื่องบินเข้าใกล้กันที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งจากการทดลองพบว่าการแก้ไขปัญหาเครื่องบินเข้าใกล้กันสามลำจะใช้วิธีวางแผนให้เครื่องบินแต่ละลำบินอ้อมกัน เมื่อจำนวนเครื่องบินเพิ่มขึ้นทำให้จำนวนของการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดเพิ่มมากขึ้น แต่ในทางปฏิบัติจะยากที่จะคาดการณ์ว่าการเข้าใกล้กันของเครื่องบินมากกว่าสองลำจะจัดการได้ ต่อมามีการศึกษาการเข้าใกล้กันของเครื่องบินแต่แบบจำลองพื้นฐานที่ใช้จะใช้วิถีการบินแนวนอนของการบินไต่ระดับขึ้น-ลง และใช้ความแตกต่างทางด้านความเร็ว [9] โดยศึกษากรณีที่เครื่องบินมีจำนวนมากกว่าสองลำ ถ้ามีปัญหาเครื่องบินเข้าใกล้กันจะใช้การประยุกต์ขั้นตอนทางพันธุกรรม (Genetic Algorithm) ในการแก้ปัญหาโดยพบว่าเมื่อเครื่องบินไม่สามารถหลีกเลี่ยงการบินเข้าใกล้กันได้ทำให้เครื่องบินแต่ละลำต้องบินหักเหออกจากเส้นทางปกติ ทำให้เครื่องบินเกิดการล่าช้าได้ แต่เมื่อมีการประยุกต์ใช้กับเครื่องบินจำนวนมากในที่นี้ใช้เครื่องบิน 20 ลำบินตามแนววงกลม ในการแก้ปัญหาโดยวิธีการประยุกต์ขั้นตอนทางพันธุกรรมจะมีวิธีน้อยมาก ซึ่งการแก้ปัญหาก็จะใช้เพียงวิธีเดียวเท่านั้นคือ เครื่องบินเหล่านั้นต้องเลี่ยงในทิศทางเดียวกันเพื่อหลีกเลี่ยงการชนกัน ซึ่งถ้าประยุกต์ใช้กับเครื่องบินจำนวนไม่มากจะพบว่าการประยุกต์ขั้นตอนทางพันธุกรรมสามารถแก้ปัญหการเข้าใกล้กันของเครื่องบินได้อย่างมีประสิทธิภาพในสถานการณ์ที่เกิดขึ้นทันทีทันใด

นอกจากนี้ได้มีการศึกษาถึงระบบตรวจสอบการเข้าใกล้กันและระบบแก้ไขปัญห เครื่องบินเข้าใกล้กัน ได้ถูกออกแบบมาเพื่อเป็นเครื่องมือสำหรับเตือนภัยที่เกิดจากการจราจรทางอากาศ [10] ซึ่งเป็นการศึกษาการเข้าใกล้กันของเครื่องบินสองลำ ในระนาบสามมิติ โดยนิยามเครื่องบินทั้งสองลำว่า "Own Ship" และ "Intruder" โดยเครื่องบินที่เป็น Own Ship จะเป็นเครื่องบินที่ทำการเปลี่ยนแปลงทิศทางและเครื่อง Intruder จะเป็นเครื่องบินที่มีพื้นที่วงกลมโดยรอบ ซึ่งมีนิยาม คือ

$$P = \{(x, y, z) / x^2 + y^2 < D \text{ and } |z| < H\} \quad (2.31)$$

เป็นนियามการตรวจสอบการเข้าใกล้กันที่ใช้อย่างกว้างขวางและเป็นส่วนหนึ่งของงานวิจัยอื่น ๆ ที่ศึกษาการแก้ปัญหาเครื่องบินเข้าใกล้กัน ในงานวิจัยฉบับนี้นำเสนอขั้นตอนการแก้ไขปัญห เครื่องบินเข้าใกล้กันที่ใช้ชื่อว่า RR3D โดยมีขั้นตอนดังนี้คือ ประการแรก ค้นหาแนวทางการหลีกเลี่ยงปัญหาเครื่องบินเข้าใกล้กัน ประการที่สอง กำหนดแนวทางที่ไม่สามารถแก้ไขปัญหในกรณีศึกษานั้นๆได้ ประการสุดท้าย นำแนวทางที่เหลือ ค้นหาแนวทางที่มีการเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุด ผลคือขั้นตอนการแก้ไขนี้สามารถค้นหาแนวทางการแก้ปัญหาเครื่องบินเข้าใกล้กันของเครื่องบินสองลำได้โดยการเปลี่ยนแปลงทิศทาง, เปลี่ยนแปลงความเร็ว และเปลี่ยนแปลงอัตราการไต่ระดับ/ลดระดับ แต่พบว่าถึงแม้แนวความคิดในการแก้ไขปัญหโดยอาศัยวิธีการทั้ง 3 แบบ เข้ามาผสมผสานเพื่อให้ได้มาซึ่งแนวทางการแก้ไขที่ดีที่สุด แต่ในความเป็นจริงแล้วแนวทางนี้ไม่สามารถทำให้เกิดขึ้นโดยนักบินได้ ตัวอย่างเช่น นักบินเครื่องบินสายการบินไทยจำเป็นต้องเพิ่มความเร็วจนถึง 320 KN พร้อมทั้งเปลี่ยนแปลงทิศทางเครื่องบินโดยเลี้ยวไปทางซ้าย 10 องศาและไต่ระดับไปยังความสูง 33,000 ฟุต นักบินจะต้องปฏิบัติตามคำสั่งถึงสามคำสั่งซึ่งเป็นเรื่องที่ยากและอาจจะทำให้ไม่สามารถแก้ไขได้จริงในระบบการบิน

นอกเหนือจากงานวิจัยเกี่ยวกับการบิน งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการแก้ปัญหานี้ ได้ถูกเสนอโดยใช้การตรวจสอบการเข้าใกล้กันหรือซีดี (Collision Detection : CD) [11] โดยพิจารณาเฉพาะแบบจำลองวัตถุที่ทะลุผ่านเข้าไปไม่ได้ (Impenetrable Objects) โดยใช้กรณีศึกษาของวัตถุแข็งเกร็ง (Rigid Body) ที่เคลื่อนที่ในที่ว่าง โดยงานฉบับนี้ได้มุ่งเน้นไปที่การป้องกันการเข้าใกล้กันโดยอาศัยปริมาตรปกคลุมวัตถุเชิงลำดับชั้น หรือ บีวีเอช (Bounding-Volume Hierarchy : BVH) ซึ่งทำการปรับขนาดให้เหมาะสมเมื่อจำเป็นเมื่อวัตถุเปลี่ยนรูปทรงโดยใช้วิธีสร้างพื้นผิวโดยรวมเข้าด้วยกันด้วยการคำนวณเชิงเส้น หรือ แอลบีเอส (Linear-Blend Skinning :LBS) ซึ่งงานหลักๆของขั้นตอนวิธีตกอยู่ที่การปรับปรุงทรงกลมที่ครอบวัตถุให้กระชับกับขนาดวัตถุ เพื่อเป็นการเพิ่มความเร็ของการตรวจสอบการชน นอกจากนี้ไม่ได้ระบุถึงปัญหาของการป้องกันการเข้าใกล้กันแบบต่อเนื่อง โดยเฉพาะวัตถุที่สามารถเปลี่ยนรูปได้



รูปที่ 2.6 การชนกันของโมเดลมนุษย์ด้วย Spheres บนระดับ 6 และ 7 ของต้นไม้

ที่มา : Kavan L, Z. J. , Computer Graphics Forum2005

จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องข้างต้นพบว่า วิธีการประยุกต์ขั้นตอนทางพันธุกรรม [5, 6] เมื่อประยุกต์ใช้กับเครื่องบินจำนวนไม่มากเป็นวิธีที่แก้ปัญหาเครื่องบินเข้าใกล้กันในสถานการณ์ที่เกิดขึ้นทันทีทันใดที่มีประสิทธิภาพ แต่ก็ไม่สามารถรองรับจำนวนเครื่องบินที่เข้าใกล้กันจำนวนมากได้ เพราะเมื่อมีจำนวนเครื่องบินจำนวนมาก ก็จะทำให้รูปแบบการแก้ปัญหาเพิ่มขึ้นอย่างมากด้วยเช่นกัน แต่งานวิจัยฉบับนี้สามารถเพิ่มจำนวนเครื่องบินในการจำลองได้เพิ่มขึ้นไม่จำกัด แต่ผลที่ได้ก็มีความแม่นยำน้อยกว่าวิธีการประยุกต์ขั้นตอนทางพันธุกรรมด้วยเช่นกัน ต่อมางานวิจัยที่แก้ปัญหาเครื่องบินเข้าใกล้กันสามลำ [8] โดยใช้วิธีวางแผนให้เครื่องบินบินอ้อมกัน โดยเมื่อจำนวนเครื่องบินเพิ่มขึ้นทำให้ต้องหาค่าที่เหมาะสมที่สุดเพิ่มมากขึ้น ซึ่งในทางปฏิบัติจริงนั้น จะยากในการคาดการณ์ว่าการเข้าใกล้กันของเครื่องบินสองลำจะจัดการได้ ซึ่งงานวิจัยฉบับนี้สามารถทำให้เห็นภาพที่ชัดเจนของการจัดการเครื่องบินเข้าใกล้กันที่มีมากกว่าสองลำได้ ซึ่งในทางปฏิบัติจริงนั้นก็ยังมีส่วนที่ต้องแก้ปัญหาในเรื่องของความแม่นยำอีกเช่นกัน ในส่วนของงานที่ใช้วิธี RR3D [10] เป็นการศึกษาโดยใช้เครื่องบินเพียงสองลำ ในระนาบสามมิติ เป็นการนำเอาแนวคิดในเรื่องการหลีกเลี่ยงปัญหาเครื่องบินเข้าใกล้กัน กำจัดแนวทางที่ไม่สามารถแก้ปัญหาในกรณีศึกษานั้นๆได้ และค้นหาแนวทางที่มีการเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุด ซึ่งวิธีนี้ต้องการหาแนวทางการแก้ไขที่ดีที่สุด แต่ในความเป็นจริงนั้นนักบินก็ไม่สามารถแก้ไขได้ด้วยวิธีที่นำเสนอวิธีนี้ แต่งานวิจัยฉบับนี้ศึกษาโดยใช้เครื่องบินตั้งแต่สองลำขึ้นไป ในระนาบสามมิติเช่นกัน และผลที่ได้จะใช้เวลาในการแก้ปัญหาน้อยกว่าวิธีนี้ สุดท้ายวิธีตรวจสอบการชนกันโดยอาศัยปริมาตรปกคลุมวัตถุเชิงลำดับชั้น [11] เมื่อปรับปรุงทรงกลมที่ครอบวัตถุให้กระชับกับขนาดวัตถุจะเป็นการเพิ่มความเร็วในการตรวจสอบการชน แต่งานวิจัยนี้จะเสนอวิธีตรวจสอบการเข้าใกล้กันของเครื่องบินและแก้ปัญหการเข้าใกล้กันของเครื่องบินที่มีความรวดเร็วและง่ายกว่าวิธีที่นำเสนอมาข้างต้น ซึ่งวิธีที่เสนอนี้ได้อ้างอิงจากพฤติกรรมการบินของเครื่องบินจริง ดังนั้น การตรวจสอบการเข้าใกล้กันของเครื่องบินนั้นจะใช้วิธีสร้างทรงกระบอกที่ครอบกับโมเดลซึ่งจะมีขนาดมาตรฐานประกอบกับการคำนวณขั้นตอนต่างๆล่วงหน้า เพราะในสถานการณ์จริงนั้นในการเข้าใกล้กันจะมีเรื่องระยะห่าง แรงลมปะทะเป็นข้อจำกัดที่สำคัญ และนอกจากนี้งานวิจัยนี้สนใจการแก้ไขปัญหาการเข้าใกล้กันของเครื่องบินเปรียบเทียบกับกรณีที่มีผู้ควบคุมการจราจรทางอากาศกรณีเข้าสู่เขตประชิดท่าอากาศยาน และกรณีการควบคุมการจราจรทางอากาศแบบกระจายการควบคุม ว่าแต่ละวิธีใช้เวลาในการแก้ไขปัญหาแตกต่างกันอย่างไร และมีสาเหตุหลักๆในการแก้ไขปัญหาและเวลาลงจอดของเครื่องบินที่ต่างกันอย่างไร

### บทที่ 3

#### การหลบหลีกการเข้าใกล้กันและการลงจอดของเครื่องบิน

การจำลองการหลบหลีกการเข้าใกล้กันและการลงจอดของเครื่องบิน จะประกอบไปด้วย  
หัวข้อหลักๆ คือ 1.โมเดลเครื่องบินและพารามิเตอร์ 2.การตรวจสอบการเข้าใกล้กันของเครื่องบิน  
3.การแก้ไขปัญหาการเข้าใกล้กัน 4.บริเวณเขตประชิดท่าอากาศยาน และ 5.ขั้นตอนวิธีในการ  
จำลองการบิน

#### 3.1 โมเดลเครื่องบินและพารามิเตอร์



รูปที่ 3.1 โมเดลเครื่องบิน

ในงานวิจัยนี้สนใจพารามิเตอร์ของเครื่องบินโบอิง 747 [12] เนื่องจากเครื่องบินโบอิง 747  
เป็นเครื่องบินพาณิชย์ขนาดใหญ่และเป็นเครื่องบินพิสัยไกลที่สายการบินไทยและสายการบิน  
นานาชาตินำมาใช้เป็นเครื่องบินโดยสารในปัจจุบัน พารามิเตอร์ของเครื่องบินโบอิง 747 ที่ใช้ใน  
การทดลองเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญที่ใช้ในการคำนวณระยะทางในการลงจอดของเครื่องบิน ตาม  
รายละเอียดดังต่อไปนี้

ตารางที่ 3.1 พารามิเตอร์ของเครื่องบินโบอิง 747 ที่ใช้คำนวณระยะทาง  
และเวลาในการลงจอดของเครื่องบิน

ความเร็วที่เครื่องบินสูญเสียแรงยก ( $V_{S_L}$ )	102.1 ft / sec
ความเร็วของเครื่องบิน ( $V$ )	935 km / hr
ความเร็วขณะเข้าสู่เขตประชิดท่าอากาศยาน ( $V_A$ )	132.7 ft / sec
ความเร็วก่อนที่ล้อจะแตะพื้น ( $V_{FL}$ )	126.1 ft / sec
ความเร็วที่ล้อแตะพื้น ( $V_{TD}$ )	117.4 ft / sec
ความเร็วลม ( $V_w$ )	0 ft / sec
มุมเอียงปีกเครื่องบิน ( $\phi$ )	0 rad
แรงโน้มถ่วงโลก ( $g$ )	10 m / sec <sup>2</sup>

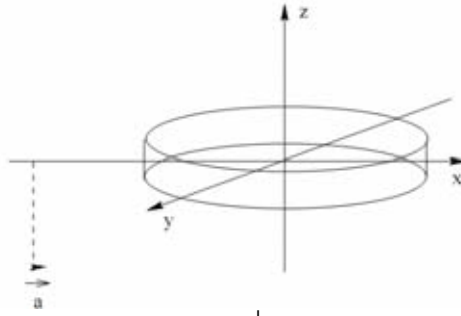
แรงผลึก ( $T$ )	57,800lbs
น้ำหนักของเครื่องบิน ( $W$ )	376,600lbs
สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานเบรกบนพื้น ( $\mu_{\text{brake}}$ )	0.4
สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานระหว่างล้อกับพื้น ( $\mu_g$ )	0.03
สัมประสิทธิ์แรงต้านที่กระทำต่อเครื่องบิน ( $C_{D_g}$ )	0.30
สัมประสิทธิ์แรงยก ( $C_{L_g}$ )	0.4
สัมประสิทธิ์แรงยกที่มีค่ามากที่สุด ( $C_{L_{\text{max}_L}}$ )	2.12
รัศมีก่อนที่ล้อจะแตะพื้น ( $R_{\text{flare}}$ )	6,173ft
มุมของการร่อนให้มีค่าติดลบ ( $\bar{\gamma}_A$ )	-3deg
ความสูงของระดับสิ่งกีดขวาง ( $h_{\text{screen}}$ )	35ft
ความสูงก่อนที่ล้อจะแตะพื้น ( $h_{\text{flare}}$ )	10ft

### 3.2 การตรวจสอบการเข้าใกล้กันของเครื่องบิน

หลักการของระบบการตรวจสอบเครื่องบินเข้าใกล้กันจะใช้การสร้างพื้นที่วงกลมให้กับเครื่องบินคู่หนึ่งๆ ที่ทำการตรวจสอบปัญหาการเข้าใกล้กัน โดยวงกลมที่สร้างนั้นจะให้ความยาวของรัศมีเท่ากับ 1.5 NM ซึ่งถ้าวงกลมวงใดมาซ้อนทับกัน จะถือว่าเครื่องบินคู่หนึ่งๆ เกิดการเข้าใกล้กัน

ส่วนป้องกันความปลอดภัย (Protected Zone) ที่ถูกกำหนดในบริเวณควบคุมจราจรทางอากาศเขตประชิดท่าอากาศยาน รัศมีโดยรอบของเครื่องบินและความสูง สูงขึ้น +1,000 ฟุต และต่ำลง -1,000 ฟุต

ในงานวิจัยฉบับนี้จะทำการสร้างทรงกระบอกครอบโมเดลเครื่องบิน[13] โดยที่ทรงกระบอกที่สร้างขึ้นจะคำนึงถึงระยะห่างมาตรฐานที่กำหนดไว้ในการบินอากาศ นั่นคือระยะห่างมาตรฐานระหว่างเครื่องบินเท่ากับ 3 NM และระยะห่างมาตรฐานในแนวตั้งทั้งระดับบนและล่างเท่ากับ 1,000 ฟุต โดยในการจำลองนั้นจะย่อขนาดโดยการกำหนดอัตราส่วนให้มีความสมจริง



รูปที่ 3.2 ปริมาตรทรงกระบอกที่ได้สร้างให้กับโมเดลเครื่องบิน

ข้อกำหนดของระบบตรวจสอบโมเดลเครื่องบินเข้าใกล้กัน คือ ระยะห่างของโมเดลเครื่องบินแต่ละลำใดๆจะต้องมีขนาดมากกว่าหรือเท่ากับระยะที่กำหนดไว้ตลอดเวลา ซึ่งสามารถแสดงได้ดังนี้

$$D_{ij}(t) = (x_j(t) - x_i(t))^2 + (y_j(t) - y_i(t))^2 + (z_j(t) - z_i(t))^2 - d_{ij}^2 \geq 0 \quad (3.1)$$

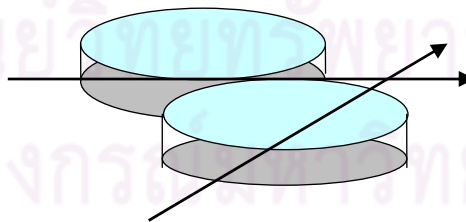
โดยที่  $(x_i, y_i, z_i)$  คือ ตำแหน่งของเครื่องบินลำที่  $i$  บนพิกัดแกน  $x, y, z$   
 $(x_j, y_j, z_j)$  คือ ตำแหน่งของเครื่องบินลำที่  $j$  บนพิกัดแกน  $x, y, z$   
 $d_{ij}$  คือ ระยะห่างมาตรฐาน



ไม่เกิดการเข้าใกล้กัน

เกิดการเข้าใกล้กัน

รูปที่ 3.3 เหตุการณ์เข้าใกล้กันของระยะห่างมาตรฐาน



รูปที่ 3.4 แนวการบินและการซ้อนทับกันของพื้นที่วงกลมแทนโมเดลเครื่องบิน

### 3.3 การแก้ไขปัญหาการเข้าใกล้กัน

วิธีการแก้ไขปัญหาคollision avoidance ของเครื่องบินเมื่อตรวจพบว่าเครื่องบินคู่ใดกำลังจะเข้ามาชนกันแล้ว ผู้ควบคุมการจราจรทางอากาศสามารถทำได้ดังต่อไปนี้



1. เปลี่ยนแปลงทิศทางของเครื่องบินลำที่จะแก้ไข
2. เปลี่ยนแปลงความเร็ว (เพิ่มหรือลด) ของเครื่องบินลำที่จะแก้ไข
3. เปลี่ยนแปลงระดับความสูง (เพิ่มหรือลด) ของเครื่องบินลำที่จะแก้ไข

แต่ในงานวิจัยฉบับนี้จะให้ความสนใจกับการแก้ไขปัญหาการเข้าใกล้กันของเครื่องบิน บริเวณเขตประชิดท่าอากาศยานส่วนบนและส่วนกลาง โดยในการแก้ไขปัญหาการเข้าใกล้กัน บริเวณเขตประชิดท่าอากาศยานส่วนบนจะใช้การเปลี่ยนแปลงความสูงของเครื่องบินลำที่จะแก้ไข นั่นคือ เครื่องบินลำหนึ่งจะคงระดับความสูงเดิม เครื่องบินลำที่จะแก้ไขคือเครื่องบินลำที่ตำแหน่งของเครื่องบินใกล้กับทางเข้าพื้นที่รูดคอย (Stack) มากที่สุดซึ่งจะทำการบินลดระดับเพื่อเปลี่ยนแปลงความสูง เพื่อทำการหลีกเลี่ยงการเข้าใกล้กัน และในการแก้ไขปัญหาการเข้าใกล้กัน บริเวณเขตประชิดท่าอากาศยานส่วนกลางจะใช้การเพิ่มระดับความเร็วของเครื่องบิน นั่นคือ เครื่องบินลำที่จะแก้ไขคือเครื่องบินลำที่ตำแหน่งของเครื่องบินต่ำกว่าจะทำการเพิ่มระดับความเร็ว เพื่อหลีกเลี่ยงการเข้าใกล้กัน ดังนั้น ในงานวิจัยฉบับนี้จึงมีข้อกำหนดดังต่อไปนี้

1. เครื่องบินทุกลำเป็นเครื่องรุ่นและชนิดเดียวกัน
2. ในบริเวณเขตประชิดท่าอากาศยานส่วนบนและส่วนล่าง เครื่องบินทุกลำใช้ความเร็วที่สม่ำเสมอเท่ากันทุกลำ
3. ในบริเวณเขตประชิดท่าอากาศยานส่วนบนและส่วนล่าง ความเร็วของเครื่องบินแต่ละลำ จะไม่มีการเปลี่ยนแปลงตั้งแต่จุดเริ่มต้นการวิเคราะห์จนถึงจุดปลายทางที่กำหนด

### 3.4 บริเวณเขตประชิดท่าอากาศยาน

การให้บริการควบคุมจราจรทางอากาศของประเทศไทยแบ่งออกเป็นสามส่วน คือ

#### 3.4.1 บริการควบคุมจราจรทางอากาศบริเวณท่าอากาศยาน (Aerodrome Control Service หรือ Tower)

ดำเนินการโดยหอบังคับการบิน (Control Tower) ณ ที่ตั้งท่าอากาศยานแต่ละแห่ง เกี่ยวข้องกับการควบคุมการเคลื่อนไหวของการจราจรทั้งหมดบนทางขับและบนลานจอด เช่น การนำอากาศยานเข้าจอด ถอยออกจากที่จอด การให้คำสั่งเพื่อนำอากาศยานเข้า-ออกทางวิ่ง และรวมถึงการอนุญาตให้นักบินนำอากาศยานขึ้น-ลง เป็นต้น

### 3.4.2 บริการควบคุมจราจรทางอากาศเขตประชิดท่าอากาศยาน (Approach Control Service หรือ Approach)

การบริการส่วนนี้ปฏิบัติงานโดยหน่วยควบคุมการจราจรทางอากาศ ที่เรียกว่า Approach Control มีหน้าที่ในการจัดการจราจรในเขตประชิดสนามบินหนึ่งๆ โดยรับช่วงการควบคุมต่อจากหอบังคับการบิน แล้วโอนต่อไปให้ศูนย์ควบคุมการจราจรทางอากาศตามเส้นทางบินในกรณีท่าอากาศยานบินขึ้น และรับช่วงการควบคุมต่อจากศูนย์ควบคุมการจราจรทางอากาศตามเส้นทางบินแล้วโอนให้หอบังคับการบินในกรณีท่าอากาศยานบินลงสู่สนามบิน งานบริการส่วนที่สองนี้รับผิดชอบนำน่านฟ้าท่าอากาศยานในภูมิภาคทุกแห่งในรัศมีประมาณ 30 ไมล์ทะเลภายในระดับความสูง 11,000 ฟุต เมื่ออากาศยานพ้นจากความรับผิดชอบแล้ว จะส่งมอบให้ส่วนที่สามต่อไป

### 3.4.3 บริการควบคุมจราจรทางอากาศตามเส้นทางบิน (Area Control Service หรือ Control)

การบริการควบคุมจราจรทางอากาศในบริเวณหรือตามเส้นทางบิน ปฏิบัติงานโดยศูนย์ควบคุมจราจรทางอากาศ วิทยุการบินฯ ดำเนินการทั่วทั้งอาณาเขตประเทศไทย ที่เรียกว่า เขตแถลงข่าวการบินกรุงเทพ (Bangkok Flight Information Region หรือ BKK/FIR) รวมทั้งน่านฟ้าบางส่วนเหนือเขตทะเลจีนใต้ และน่านฟ้าเหนือประเทศกัมพูชาตั้งแต่ระดับความสูง 19,500 ฟุตขึ้นไป โดยแบ่งเขตรับผิดชอบทั้งหมดเป็น 8 เขต พร้อมนำเอาระบบการติดต่อสื่อสารระหว่างศูนย์ควบคุมจราจรทางอากาศกับนักบินแบบซีพีดีแอลซี (Controller/Pilot Data Link Communication หรือ CPDLC) มาใช้งานร่วมด้วย

ทวงกระบอกสูงขึ้นไปในท้องฟ้าประมาณ 23,000 ฟุต เรียกว่า สแตก (Stack) ใช้สำหรับกักเครื่องบินให้บินวนรอคอยเป็นชั้นๆ รอการเรียกเพื่อลงสู่ท่าอากาศยานในช่วงที่มีการจราจรคับคั่ง ณ บริเวณใกล้ถึงน่านฟ้าท่าอากาศยาน

เนื่องจากการที่ท่าอากาศยานเป็น “คอขวด” เป็นธรรมชาติที่สุดของกระแสจราจรทางอากาศ เมื่อการจราจรมีปริมาณมากกว่าความจุของท่าอากาศยาน เครื่องบินที่กำลังบินเข้ามาอาจจะต้องถูกหน่วงไว้ให้บินวนเวียนรอคอยอยู่ภายในพื้นที่ที่กำหนดเป็นชั้นๆ (Stack) ด้วยจำนวน 1 หรือ 2 หรือ 3 stacks ทั้งนี้แล้วแต่ปริมาณของเครื่องบินที่ต้องรอคอย พื้นที่รอคอยนี้ปกติดูอยู่ห่างจากท่าอากาศยานประมาณ 16 กิโลเมตรหรืออาจจะมากกว่านั้น พื้นที่ดังกล่าวเป็นรูปไข่คล้ายทางวิ่งม้าแข่ง ซึ่งมีแกนยาวประมาณ 8 กิโลเมตร และแกนสั้นประมาณ 5 กิโลเมตร

เครื่องบินซึ่งรอคอยการลงสู่ท่าอากาศยานจะบินวนเวียนอยู่ด้วยความสูงคงที่เป็นชั้นๆ แต่ ละชั้นห่างกัน 1,000 ฟุต เมื่อเครื่องบินลำล่างสุดออกจากพื้นที่รอคอย เพื่อบินเข้าวิถีนำร่องสู่ทาง วิ่งเครื่องบินลำที่อยู่สูงถัดไปหนึ่งชั้นจะบินลงมาแทนที่ และทำเช่นนี้ต่อไปเรื่อยๆ การลดความเร็ว ของเครื่องบินลงระหว่างทางเพื่อให้เครื่องบินกระจายเวลามาถึงท่าอากาศยานออกไป ยังเป็นเรื่อง ที่เป็นไปไม่ได้ เพราะการทำเช่นนี้ทำให้เกิดความขัดแย้งต่อความเร็วที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดของ เครื่องบิน เมื่อเป็นเช่นนี้ ความต้องการระบบบินวนเป็นชั้นในพื้นที่รอคอย (Stack) ก็ยังคงเป็น สิ่งจำเป็นอยู่

ขั้นตอนในการจำลองการบินในงานวิจัยฉบับนี้ได้แบ่งพื้นที่ในส่วนที่ต้องการทำการทดลอง คือ พื้นที่บริเวณเขตประชิดท่าอากาศยาน (Approach Area) ออกเป็นสี่ส่วน ดังนี้

1) ส่วนของบริเวณเขตประชิดท่าอากาศยานส่วนบน คือ ส่วนที่เครื่องบินเริ่มเข้าสู่เขต ประชิดท่าอากาศยานส่วนบนจนถึงเขตประชิดท่าอากาศยานส่วนกลาง ช่วงนี้จะมีการตรวจสอบ การเข้าใกล้กัน รวมถึงการแก้ไขปัญหาการเข้าใกล้กันโดยใช้การเปลี่ยนแปลงความสูง ในงานวิจัย ฉบับนี้จะเลือกวิธีในการแก้ไขปัญหา (Conflict Resolution) ก็คือ โมเดลเครื่องบินลำหนึ่งคงความ สูงที่ระดับเดิม โมเดลเครื่องบินลำที่ตำแหน่งของเครื่องบินใกล้กับทางเข้าพื้นที่รอคอย (Stack) มากที่สุดซึ่งจะทำการบินลดระดับเพื่อเปลี่ยนแปลงความสูง เพื่อทำการหลีกเลี่ยงการเข้าใกล้กัน โดยจะใช้การตรวจทีละคู่ๆไป (Pairwise)

2) ส่วนของบริเวณเขตประชิดท่าอากาศยานส่วนกลาง คือ ส่วนที่โมเดลเครื่องบินผ่านเส้น ที่แบ่งบริเวณเขตประชิดท่าอากาศยานส่วนบนและบริเวณเขตประชิดท่าอากาศยานส่วนกลางเข้า มา แต่ยังไม่ถึงบริเวณเขตประชิดท่าอากาศยานส่วนล่าง (Holding Stack) ช่วงนี้จะมีการ ตรวจสอบการเข้าใกล้กันโดยใช้ทรงกระบอกรัศมีอัตราส่วนเทียบเท่ากับ 1.5 NM มาตรวจสอบการ เข้าใกล้กัน คูไหนที่ถูกตรวจสอบว่าเกิดการเข้าใกล้กัน จะมีการแก้ไขปัญหาการเข้าใกล้กัน โดยใช้ การเพิ่มความเร็วของโมเดลเครื่องบิน นั่นคือ โมเดลเครื่องบินลำหนึ่งจะทำการเพิ่มความเร็วให้มาก ขึ้น

3) ส่วนของบริเวณเขตประชิดท่าอากาศยานส่วนล่างหรือโฮลดิ้ง สแตก (Holding Stack) คือ บริเวณเขตประชิดท่าอากาศยานที่พ้นจากเขตประชิดท่าอากาศยานส่วนกลางจนถึงบริเวณเขต ประชิดท่าอากาศยานส่วนล่างซึ่งในชั้นนี้ไม่มีการตรวจจับการเข้าใกล้กัน เพราะส่วนนี้จะเป็นส่วนที่ โมเดลเครื่องบินเตรียมลงจอดและพื้นที่ช่วงที่จะเกิดปัญหาการเข้าใกล้กันแล้ว ซึ่งก่อนที่จะลงจอด นั้นถ้ามีโมเดลเครื่องบินลำอื่นทำการลงจอดอยู่ โมเดลเครื่องบินในลำดับถัดไปจะทำการบินวนรอ ในพื้นที่รอคอย (Stack) ซึ่งถ้าพื้นที่รอคอยชั้นล่างสุดว่างแล้ว โมเดลเครื่องบินก็จะเข้ามาประจำ พื้นที่รอคอยที่ว่างชั้นล่างสุดก่อน ลำต่อไปก็จะบินเข้ามาจอดในพื้นที่รอคอยชั้นถัดไปจนครบ และ

หลังจากนั้นก็ทำการลงจอดตามลำดับ ซึ่งพื้นที่รอกคอยในงานวิจัยนี้ก็เป็นแบบเข้าทางเดียว และออกได้ทางเดียวก่อนที่โมเดลเครื่องบินจะทำการลงจอด

4) ส่วนของการลงจอดของโมเดลเครื่องบิน เป็นบริเวณที่โมเดลเครื่องบินกำลังทำการลงจอดจนกระทั่งโมเดลเครื่องบินนั้นๆ จอดสนิท

### 3.5 อัลกอริทึมตรวจสอบการเข้าใกล้กัน

อัลกอริทึม การตรวจสอบการชน (A1..AN,

เงื่อนไขนำเข้า เครื่องบินA1...AN, ระยะชน d

เงื่อนไขผลลัพธ์ ความสูงของเครื่องบินทุกลำจากพื้น = 0

01: สร้างทรงกระบอกปกคลุมเครื่องบิน A

02: วนซ้ำจนกว่าจะจอดทุกลำ {

03: เมื่อเครื่องบินเข้าสู่เขตประชิดท่าอากาศยานส่วนบน สำหรับเครื่องบินลำ I to N

04: เมื่อเครื่องบินเข้าสู่เขตประชิดท่าอากาศยานส่วนบน สำหรับเครื่องบินลำ J to N

05: ตรวจสอบระยะทางระหว่าง AI กับ AJ ดังสมการที่ 3.1

06: บันทึกคู่ที่น่าจะชนในตาราง

07: หากพบการชน เครื่องบินลำที่อยู่ใกล้ทางเข้าพื้นที่รอกคอย (Stack) มากที่สุดซึ่งจะทำการบินลดระดับเพื่อเปลี่ยนแปลงความสูง ดังสมการที่ 2.15

08: เมื่อเครื่องบินเข้าสู่เขตประชิดท่าอากาศยานส่วนกลาง สำหรับเครื่องบินลำ I to N

09: เมื่อเครื่องบินเข้าสู่เขตประชิดท่าอากาศยานส่วนกลาง สำหรับเครื่องบินลำ J to N

10: ตรวจสอบระยะทางระหว่าง AI กับ AJ ดังสมการที่ 3.1

11: บันทึกคู่ที่น่าจะชนในตาราง

12: หากพบการชน เครื่องบินลำที่อยู่ตำแหน่งต่ำกว่าจะเพิ่มความเร็วของเครื่องบิน ดังสมการที่ 2.10 และ 2.27

13: เมื่อเครื่องบินเข้าสู่เขตประชิดท่าอากาศยานส่วนล่างหรือพื้นที่รอกคอย สำหรับเครื่องบินลำ I to N

14: เครื่องบินจะบินวนในพื้นที่รอกคอยและทำการลดจอดตามลำดับ ดังสมการที่ 2.19-2.29

15: }

16: จบการทำงาน

จากอัลกอริทึมข้างต้นสามารถอธิบายขั้นตอนการตรวจสอบการเข้าใกล้กันอย่างละเอียด  
ดังนี้

- 1) เมื่อ  $n$  เป็นจำนวนโมเดลเครื่องบิน เริ่มแรกสร้างทรงกระบอกปกคลุมเครื่องบินทุกลำ
- 2) เมื่อโมเดลเครื่องบินเข้าสู่เขตประชิดท่าอากาศยานส่วนบน โมเดลเครื่องบินจะถูกตรวจสอบการเข้าใกล้กัน ดังสมการที่ 3.1 ซึ่งเมื่อโมเดลเครื่องบินใดเข้าใกล้กันโมเดลเครื่องบินนั้นจะแก้ไขปัญหามาโดยการเปลี่ยนแปลงระดับความสูงดังสมการที่ 2.15 เพื่อให้โมเดลเครื่องบินนั้นหลีกเลี่ยงเส้นทางให้กับโมเดลเครื่องบินอีกลำ เมื่อโมเดลเครื่องบินสามารถแก้ปัญหการเข้าใกล้กันนี้ได้แล้ว ก็จะบินเข้าสู่เขตประชิดท่าอากาศยานส่วนกลางในลำดับต่อไป
- 3) เมื่อโมเดลเครื่องบินเข้าสู่เขตประชิดท่าอากาศยานส่วนกลาง โมเดลเครื่องบินจะถูกตรวจสอบการเข้าใกล้กัน ดังสมการที่ 3.1 เช่นกัน ซึ่งเมื่อโมเดลเครื่องบินใดเข้าใกล้กันจะโมเดลเครื่องบินนั้นจะแก้ไขปัญหามาโดยการเปลี่ยนแปลงความเร็วดังสมการที่ 2.10 และสมการที่ 2.27 โดยที่โมเดลเครื่องบินลำใดอยู่ในตำแหน่งที่ต่ำกว่าก็จะเพิ่มความเร็วให้เร็วขึ้นเพื่อให้โมเดลเครื่องบินนั้นหลีกเลี่ยงเส้นทางให้กับโมเดลเครื่องบินอีกลำ เมื่อโมเดลเครื่องบินสามารถแก้ปัญหการเข้าใกล้กันนี้ได้แล้ว ก็จะบินเข้าสู่เขตประชิดท่าอากาศยานส่วนล่างในลำดับต่อไป
- 4) เมื่อโมเดลเครื่องบินเข้าสู่เขตประชิดท่าอากาศยานส่วนล่างหรือ Holding Stack ส่วนนี้ จะไม่มีการตรวจสอบการเข้าใกล้กันของโมเดลเครื่องบินเพราะส่วนนี้จะเป็นพื้นที่รอคอยเพื่อเตรียมลงจอด
- 5) เมื่อโมเดลเครื่องบินเข้าสู่ส่วนของการลงจอด เมื่อโมเดลเครื่องบินลำก่อนหน้าทำการลงจอดเรียบร้อยแล้ว โมเดลเครื่องบินลำถัดไปก็จะทำการลงจอดตามลำดับ จนกระทั่งโมเดลเครื่องบินทุกลำลงจอดจนครบ ซึ่งในการคำนวณระยะทางและเวลาในการลงจอดจะคำนวณดังสมการที่ 2.19 – 2.29

## บทที่ 4

### การทดลองและวิเคราะห์ผล

สำหรับงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอวิธีจำลองการบินสำหรับหลีกเลี่ยงการชนกันของโมเดลเครื่องบิน เพื่อที่จะสามารถประเมินคุณภาพและประสิทธิภาพของวิธีที่นำเสนอได้อย่างครบถ้วน ดังนั้น ในการที่เสนอวิธีสร้างและพัฒนาโปรแกรมตรวจสอบการเข้าใกล้กันและแก้ไขปัญหาการเข้าใกล้กันของเครื่องบินนั้นได้อาศัยการทดลองนี้ ซึ่งจะแบ่งการทดลองออกเป็นสี่ส่วนหลักด้วยกัน คือ 1. การทดลองสำหรับแก้ปัญหาการเข้าใกล้กันของเครื่องบินกรณีมีผู้ควบคุมการจราจรทางอากาศและกรณีการควบคุมการจราจรทางอากาศแบบกระจายโดยที่มีเครื่องบินเข้าสู่สนามบินจำนวนห้าลำ 2. การทดลองสำหรับแก้ปัญหาการเข้าใกล้กันของเครื่องบินกรณีมีผู้ควบคุมการจราจรทางอากาศและกรณีการควบคุมการจราจรทางอากาศแบบกระจายโดยที่มีเครื่องบินเข้าสู่สนามบินจำนวน 10 ลำ 3. การทดลองสำหรับแก้ปัญหาการเข้าใกล้กันของเครื่องบินกรณีมีผู้ควบคุมการจราจรทางอากาศและกรณีการควบคุมการจราจรทางอากาศแบบกระจายโดยที่มีเครื่องบินเข้าสู่สนามบินจำนวน 15 ลำ และ 4. การทดลองสำหรับแก้ปัญหาการเข้าใกล้กันของเครื่องบินกรณีมีผู้ควบคุมการจราจรทางอากาศและกรณีการควบคุมการจราจรทางอากาศแบบกระจายโดยที่มีเครื่องบินเข้าสู่สนามบินจำนวน 20 ลำ โดยมีรายละเอียดต่าง ๆ รวมไปถึงเครื่องมือที่ใช้และการวิเคราะห์ผลการทดลองดังต่อไปนี้

#### 4.1 เครื่องมือที่ใช้และปัจจัยแวดล้อม

การทดลองนี้ได้ทดลองโดยใช้เครื่อง INTEL CORE DUO PROCESSOR T2050 1.6 GHz หน่วยความจำ 2048 M โดยพัฒนาบน Autodesk Maya 2008 และใช้ Maya embedded language เป็นเครื่องมือพัฒนา

จากการสร้างซอฟต์แวร์ทดสอบการเข้าใกล้กันของเครื่องบินนี้ การทดลองในส่วนของการแสดงผลและส่วนของการตรวจสอบการเข้าใกล้กัน (Collision Detection) และการแก้ไขปัญหาการเข้าใกล้กัน (Collision Resolution) จะใช้เครื่องมือจาก Autodesk Maya 2008 ในการประมวลผลทั้งหมด

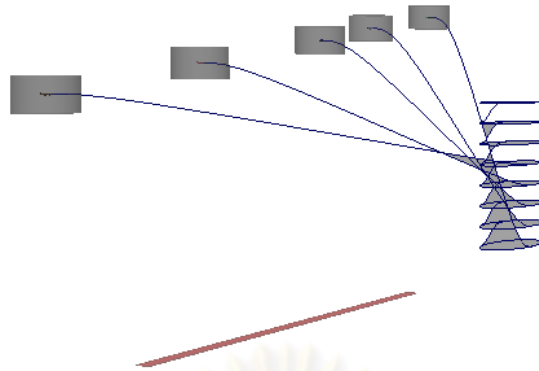
## 4.2 ผลการทดลอง

ในการทดลองได้ทำการทดสอบการตรวจสอบการเข้าใกล้กันของโมเดลเครื่องบินและการแก้ไขปัญหาการเข้าใกล้กันของโมเดลเครื่องบิน โดยแบ่งเป็นกรณีที่มีผู้ควบคุมการจราจรทางอากาศและกรณีที่มีการควบคุมการจราจรทางอากาศแบบกระจายการควบคุม ซึ่งทำการทดสอบกับโมเดลเครื่องบินห้าลำ, 10 ลำ, 15 ลำ และ 20 ลำ ได้ดังนี้

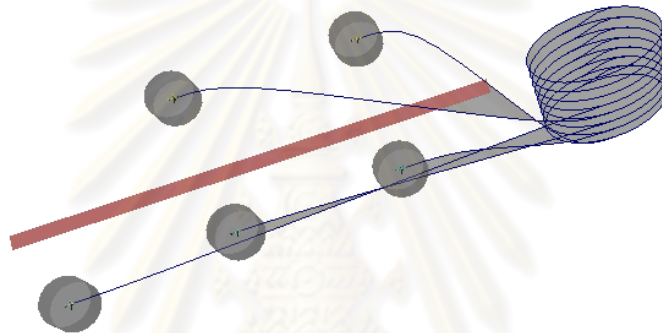
### 4.2.1 การทดลองทดสอบการแก้ปัญหการเข้าใกล้กันของเครื่องบินกรณีมีผู้ควบคุมการจราจรทางอากาศและกรณีการควบคุมการจราจรทางอากาศแบบกระจายโดยที่มีเครื่องบินเข้าสู่สนามบินจำนวนห้าลำ

ในการทดลองนี้เสนอวิธีในการจำลองการเข้าใกล้กันของเครื่องบิน โดยจะทำการตรวจสอบการเข้าใกล้กันของเครื่องบิน โดยที่มีเครื่องบินห้าลำ ว่ามีเครื่องบินคู่ใดบ้างเกิดการเข้าใกล้กัน และเกิดการเข้าใกล้กันกี่คู่ เมื่อเครื่องบินเกิดการเข้าใกล้กันบริเวณเขตประชิดท่าอากาศยานส่วนบน เครื่องบินจะทำการหลบหลีกกันโดยการเปลี่ยนแปลงความสูง เมื่อเครื่องบินเกิดการเข้าใกล้กันบริเวณเขตประชิดท่าอากาศยานส่วนกลาง เครื่องบินจะทำการหลบหลีกกันโดยเครื่องบินที่อยู่ตำแหน่งต่ำกว่าจะทำการเพิ่มความเร็วของเครื่องบินตามวิธีการศึกษาที่กล่าวไว้ในบทที่ 3 และสุดท้ายจะทำการวัดเวลาเฉลี่ยในการเข้าสู่เขตประชิดท่าอากาศยานของเครื่องบินจนกระทั่งลงจอดเพื่อเปรียบเทียบและวิเคราะห์ผลระหว่างกรณีมีผู้ควบคุมการจราจรทางอากาศและมีผู้ควบคุมการจราจรทางอากาศแบบกระจายการควบคุม

ในการทดลองการตรวจสอบการเข้าใกล้กันกรณีมีผู้ควบคุมการจราจรทางอากาศ เมื่อมีเครื่องบิน 5 ลำบินมาในเขตประชิดท่าอากาศยานพร้อมๆกัน ผู้วิจัยจะทำหน้าที่เป็นผู้ควบคุมการจราจรทางอากาศโดยที่กำหนดเส้นทางของเครื่องบินที่จะทำการลงจอดและทำการจัดเรียงเครื่องบินแบบสุ่มโดยในการทดลองแรกนี้ใช้เครื่องบินจำนวนห้าลำ เส้นทางบินละสามสิบครั้ง โดยที่จัดเรียงเครื่องบินเพียงหนึ่งและสองเส้นทางเท่านั้น ในการจัดเรียงหนึ่งเส้นทางเป็นการจัดเรียงเครื่องบินเพื่อเข้ามาสู่สนามบินเพียงเส้นทางเดียวซึ่งจะเรียงลำดับก่อนหลัง โดยเครื่องบินลำที่เข้าสู่เขตประชิดท่าอากาศยานก่อนจะถูกเรียงลำดับก่อน และเครื่องบินที่เข้าสู่เขตประชิดท่าอากาศยานทีหลังจะถูกเรียงตามลำดับต่อไป ดังรูปที่ 4.1 และการจัดเรียงสองเส้นทางเป็นการจัดเรียงเครื่องบินเพื่อเข้ามาสู่สนามบินสองเส้นทางและจัดเรียงเครื่องบินเพื่อเข้ามาสนามบินในทิศทางเดียวกันทั้งสองเส้นทาง ดังรูปที่ 4.2 การทดลองนี้บันทึกค่าเฉลี่ยของเวลาตั้งแต่เข้าสู่เขตประชิดท่าอากาศยานจนกระทั่งเครื่องบินลงจอดในตารางที่ 4.1



รูปที่ 4.1 เส้นทางบินในการลงจอดหนึ่งเส้นทางของเครื่องบินห้าลำ



รูปที่ 4.2 เส้นทางบินในการลงจอดสองเส้นทางของเครื่องบินห้าลำ

ตารางที่ 4.1 การตรวจสอบการเข้าใกล้กันของเครื่องบินห้าลำกรณีมีผู้ควบคุมการจราจรทางอากาศ โดยทำการทดลองเส้นทางละ 30 ครั้ง

เส้นทาง	จำนวนการเข้าใกล้กันของเครื่องบินบริเวณเขตประชิดท่าอากาศยานส่วนบน (ครั้ง)			จำนวนการเข้าใกล้กันของเครื่องบินบริเวณเขตประชิดท่าอากาศยานส่วนกลาง (ครั้ง)			ค่าเฉลี่ยเวลา (วินาที)
	2 ลำ	3 ลำ	4 ลำ	2 ลำ	3 ลำ	4 ลำ	
1	0	0	0	0	0	0	258
2	0	0	0	0	0	0	215

จากตาราง 4.1 พบว่า ในการตรวจสอบการเข้าใกล้กันของเครื่องบินห้าลำกรณีมีผู้ควบคุมการจราจรทางอากาศ เมื่อจัดเรียงเครื่องบินก่อนจะลงจอดหนึ่งและสองเส้นทาง โดยทำการทดลองเส้นทางละ 30 ครั้ง จะไม่พบการเข้าใกล้กันของเครื่องบินคู่ใดๆเลย เพราะการที่มีผู้ควบคุมจราจร



ทางอากาศจะมีการจัดเรียงเครื่องบินเพื่อเตรียมลงจอดเพราะได้ป้องกันการเข้าใกล้กันและจัดระยะห่างที่ปลอดภัยแล้วจึงไม่เกิดการเข้าใกล้กันของเครื่องบิน ซึ่งในการจัดเรียงเครื่องบินก่อนจะลงจอด 1 เส้นทางโดยทำการทดลองเส้นทางละ 30 ครั้ง จะใช้เวลาเฉลี่ยตั้งแต่เครื่องบินเข้าสู่เขตประชิดท่าอากาศยานจนกระทั่งลงจอด 258 วินาที และในการจัดเรียงเครื่องบินก่อนจะลงจอดสองเส้นทางโดยทำการทดลองเส้นทางละ 30 ครั้ง จะใช้เวลาเฉลี่ยตั้งแต่เครื่องบินเข้าสู่เขตประชิดท่าอากาศยานจนกระทั่งลงจอด 215 วินาที

ในการทดลองการตรวจสอบการเข้าใกล้กันกรณีมีผู้ควบคุมการจราจรทางอากาศแบบกระจายการควบคุม คือ การที่มีผู้ควบคุมจราจรทางอากาศที่ทำหน้าที่ดูแลและควบคุมความเรียบร้อยเท่านั้น แต่ไม่มีผลต่อการจัดลำดับการลงจอดของเครื่องบิน ซึ่งในการจัดการลงจอดของเครื่องบินนี้จะจัดจากขั้นตอนวิธีที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 3 การทดลองนี้ได้ทำการทดลอง 30 ครั้ง โดยในแต่ละครั้งเครื่องบินแต่ละลำจะอยู่ ณ ตำแหน่งต่างๆกัน ซึ่งจะได้จากการสุ่มด้วยคอมพิวเตอร์ ดังนั้นเมื่อมีเครื่องบินห้าลำบินมาในเขตประชิดท่าอากาศยานพร้อมๆกัน ก็จะมีการตรวจสอบการเข้าใกล้กันและเมื่อเครื่องบินเหล่านั้นได้แก้ไขปัญหาการเข้าใกล้กันแล้ว ก็จะมีการลงจอด โดยมีผลการทดลองดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 การตรวจสอบการเข้าใกล้กันของเครื่องบินห้าลำกรณีมีผู้ควบคุมการจราจรทางอากาศแบบกระจายการควบคุม

ครั้งที่	จำนวนการเข้าใกล้กันของเครื่องบินบริเวณเขตประชิดท่าอากาศยานส่วนบน (ครั้ง)			จำนวนการเข้าใกล้กันของเครื่องบินบริเวณเขตประชิดท่าอากาศยานส่วนกลาง (ครั้ง)			เวลา (วินาที)
	2 ลำ	3 ลำ	4 ลำ	2 ลำ	3 ลำ	4 ลำ	
1	0	0	0	2	0	0	130
2	0	0	0	2	0	0	132
3	0	0	0	2	0	0	131
4	1	0	0	2	0	0	128
5	0	0	0	3	0	0	129
6	0	0	0	3	0	0	130

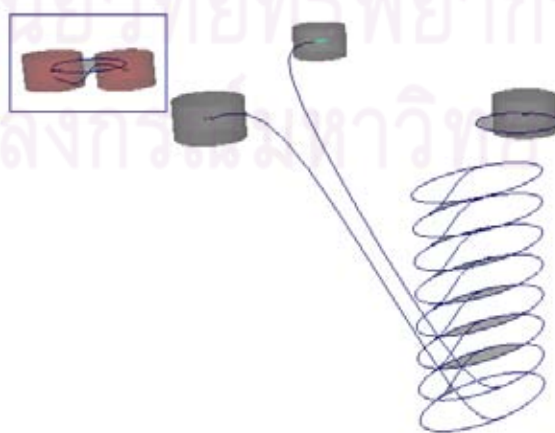
ครั้งที่	จำนวนการเข้าใกล้กันของ เครื่องบินบริเวณเขตประชิด ท่าอากาศยานส่วนบน (ครั้ง)			จำนวนการเข้าใกล้กันของ เครื่องบินบริเวณเขตประชิด ท่าอากาศยานส่วนกลาง (ครั้ง)			เวลา (วินาที)
	2 ลำ	3 ลำ	4 ลำ	2 ลำ	3 ลำ	4 ลำ	
7	0	0	0	2	0	0	132
8	0	0	0	1	0	0	128
9	0	0	0	0	0	0	122
10	0	0	0	1	0	0	126
11	0	0	0	2	0	0	132
12	0	0	0	2	0	0	130
13	0	0	0	3	0	0	129
14	0	0	0	1	0	0	128
15	1	0	0	1	0	0	126
16	0	0	0	2	0	0	130
17	0	0	0	3	0	0	128
18	0	0	0	2	0	0	131
19	0	0	0	2	0	0	132
20	1	0	0	2	0	0	130
21	0	0	0	1	0	0	129
22	0	0	0	2	0	0	131
23	0	0	0	2	0	0	132

ครั้งที่	จำนวนการเข้าใกล้กันของ เครื่องบินบริเวณเขตประชิด ท่าอากาศยานส่วนบน (ครั้ง)			จำนวนการเข้าใกล้กันของ เครื่องบินบริเวณเขตประชิด ท่าอากาศยานส่วนกลาง (ครั้ง)			เวลา (วินาที)
	2 ลำ	3 ลำ	4 ลำ	2 ลำ	3 ลำ	4 ลำ	
24	0	0	0	3	0	0	129
25	0	0	0	2	0	0	131
26	1	0	0	2	0	0	130
27	0	0	0	2	0	0	132
28	0	0	0	1	0	0	129
29	0	0	0	2	0	0	132
30	0	0	0	2	0	0	131
เวลาลงจอดเฉลี่ย							130

ผลการทดลองพบว่าในกรณีนี้ที่ผู้ควบคุมการจราจรทางอากาศเป็นแบบการกระจายการควบคุม เมื่อทำการทดลอง 30 ครั้ง พบว่าบริเวณเขตประชิดท่าอากาศยานส่วนบน จะตรวจสอบและพบเครื่องบินเข้าใกล้กันมากที่สุดเพียงสองลำ ในการทดลองครั้งที่ 4, 15, 20 และ 26 นั่นคือการทดลองครั้งที่ 4 พบการเข้าใกล้กันของเครื่องบินเพียงสองลำ จำนวนหนึ่งครั้ง (เครื่องบินลำที่ 3 กับเครื่องบินลำที่ 5) การทดลองครั้งที่ 15 พบการเข้าใกล้กันของเครื่องบินเพียง 2 ลำ จำนวน 1 ครั้ง (เครื่องบินลำที่ 2 กับเครื่องบินลำที่ 5) การทดลองครั้งที่ 20 พบการเข้าใกล้กันของเครื่องบินเพียงสองลำ จำนวนหนึ่งครั้ง (เครื่องบินลำที่ 2 กับเครื่องบินลำที่ 4) และในการทดลองครั้งที่ 26 พบการเข้าใกล้กันของเครื่องบินเพียงสองลำ จำนวนหนึ่งครั้ง (เครื่องบินลำที่ 1 กับเครื่องบินลำที่ 4) เนื่องจากการสุ่มตำแหน่งเครื่องบินจากคอมพิวเตอร์จะทำให้เครื่องบินเหล่านั้นมีโอกาสกระจายกันอยู่มากกว่าที่จะเข้าใกล้กันในตอนแรก ทำให้ในช่วงนี้ไม่ค่อยพบการเข้าใกล้กัน จากนั้นเมื่อตรวจสอบบริเวณเขตประชิดท่าอากาศยานส่วนกลาง เมื่อตรวจสอบและพบเครื่องบินเข้าใกล้กันมากที่สุดเพียงสองลำ ซึ่งในการทดลองครั้งที่ 5, 6, 13, 17 และ 24 พบเครื่องบินเข้าใกล้กันสองลำ จำนวนสามครั้ง การทดลองครั้งที่ 5 มีเครื่องบินลำที่ 2 เข้าใกล้กันกับลำที่ 5, เครื่องบินลำที่ 2 เข้า

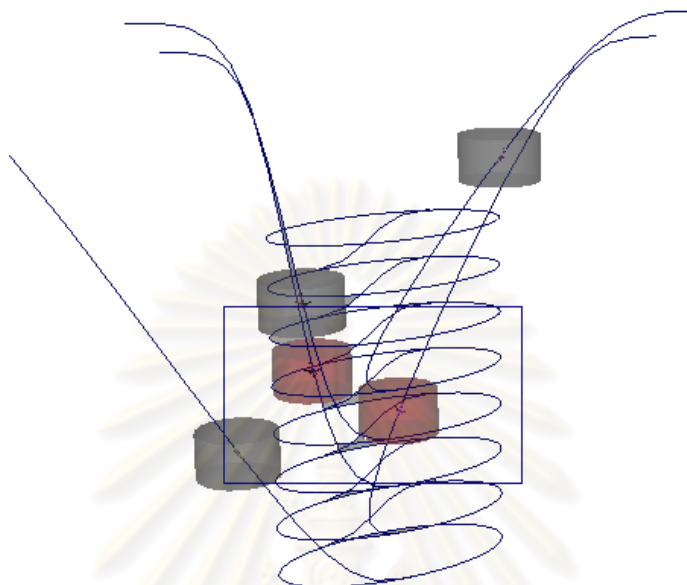
ใกล้กันกับลำที่ 4 และ เครื่องบินลำที่ 2 เข้าใกล้กันกับลำที่ 3 การทดลองครั้งที่ 6 มีเครื่องบินลำที่ 1 เข้าใกล้กันกับลำที่ 5, เครื่องบินลำที่ 1 เข้าใกล้กันกับลำที่ 3 และ เครื่องบินลำที่ 2 เข้าใกล้กันกับลำที่ 5 การทดลองครั้งที่ 13 มีเครื่องบินลำที่ 4 เข้าใกล้กันกับลำที่ 8, เครื่องบินลำที่ 7 เข้าใกล้กันกับลำที่ 9 และ เครื่องบินลำที่ 1 เข้าใกล้กันกับลำที่ 6 การทดลองครั้งที่ 17 มีเครื่องบินลำที่ 4 เข้าใกล้กันกับลำที่ 6, เครื่องบินลำที่ 5 เข้าใกล้กันกับลำที่ 10 และ เครื่องบินลำที่ 3 เข้าใกล้กันกับลำที่ 6 และการทดลองครั้งที่ 24 มีเครื่องบินลำที่ 2 เข้าใกล้กันกับลำที่ 3, เครื่องบินลำที่ 8 เข้าใกล้กันกับลำที่ 10 และ เครื่องบินลำที่ 6 เข้าใกล้กันกับลำที่ 7 แต่ในการทดลองทั้งหมด 30 ครั้ง จะพบเครื่องบินเข้าใกล้กันสองลำทั้งหมด 57 ครั้ง และผลการทดลองแสดงถึงเวลาการลงจอดของเครื่องบินตั้งแต่เครื่องบินเข้าสู่เขตประชิดท่าอากาศยานจนถึงเครื่องบินลำสุดท้ายจอด พบว่าในการทดลองครั้งที่ 9 ไม่มีเครื่องบินคู่ใดๆเข้าใกล้กันเลย จึงใช้เวลาทั้งหมดน้อยที่สุด นั่นคือ 122 วินาที แต่ในการทดลองครั้งที่ 2, 7, 11, 19, 23, 27 และ 29 ใช้เวลาทั้งหมดมากที่สุด นั่นคือ 132 วินาที เนื่องจากการเข้าใกล้กันของเครื่องบินบริเวณเขตประชิดท่าอากาศยานส่วนกลาง และ ตำแหน่งของเครื่องบินที่ได้จากการสุ่มในตอนแรกเพราะถ้าตำแหน่งเครื่องบินอยู่ในตำแหน่งที่ไกลมากจะทำให้กว่าเครื่องบินทุกลำจะลงจอดครบต้องใช้เวลา นาน และสุดท้ายเวลาเฉลี่ยในการทดลองกรณีนี้ที่ผู้ควบคุมการจราจรทางอากาศเป็นแบบการกระจายการควบคุมกรณีมีเครื่องบินห้าลำ เท่ากับ 130 วินาที

ในส่วนของ การแก้ไขปัญหาการเข้าใกล้กันบริเวณเขตประชิดท่าอากาศยานส่วนบน ในกรณีนี้เครื่องบินแต่ละลำตรวจพบว่าเข้าใกล้กัน เครื่องบินลำที่จะแก้ไขปัญหานี้ต้องทำการเปลี่ยนแปลงระดับความสูงเพื่อแก้ไขปัญหาการเข้าใกล้กัน ดังรูป 4.3 เครื่องบินที่แสดงในกรอบสี่เหลี่ยมจะมีเส้นทางในการเปลี่ยนแปลงระดับความสูงเมื่อเครื่องบินทั้งสองลำเข้าใกล้กัน



รูปที่ 4.3 การเข้าใกล้กันของเครื่องบินบริเวณเขตประชิดท่าอากาศยานส่วนบนของเครื่องบินห้าลำ

ในส่วนของการแก้ไขปัญหาการเข้าใกล้กันบริเวณเขตประชิดทำอากาศยานส่วนกลาง ในกรณีที่เครื่องบินแต่ละลำตรวจพบว่าเข้าใกล้กัน เครื่องบินลำที่อยู่ในตำแหน่งต่ำกว่าจะทำการเพิ่มความเร็วจนเพื่อแก้ไขปัญหาการเข้าใกล้กัน ดังรูป 4.4



รูปที่ 4.4 การเข้าใกล้กันของเครื่องบินบริเวณเขตประชิดทำอากาศยานส่วนกลางเครื่องบินห้าลำ

ตารางที่ 4.3 เปรียบเทียบผลการทดลองของเครื่องบินเข้าสู่เขตประชิดทำอากาศยานห้าลำ

ประเภท	จำนวนการเข้าใกล้กันของเครื่องบินสองลำ (ครั้ง)	จำนวนการเข้าใกล้กันของเครื่องบินสามลำ (ครั้ง)	ค่าเฉลี่ย เวลา (วินาที)	ค่า เบี่ยงเบน มาตรฐาน
กรณีมีผู้ควบคุมการจราจรทางอากาศ				
- 1 เส้นทาง	0	0	258	2.79
- 2 เส้นทาง	0	0	215	2.64
กรณีการควบคุมการจราจรทางอากาศแบบกระจายการควบคุม			130	2.27
- บริเวณเขตประชิดทำอากาศยานส่วนบน	2	0		
- บริเวณเขตประชิดทำอากาศยานส่วนกลาง	57	0		

เมื่อทำการเปรียบเทียบระหว่างกรณีที่มีการควบคุมการจราจรทางอากาศแบบกระจายการควบคุมกับกรณีที่มีผู้ควบคุมการจราจรทางอากาศของเครื่องบินห้าลำ พบว่า กรณีที่มีการควบคุมการจราจรทางอากาศแบบกระจายการควบคุม เครื่องบินมีโอกาสเข้าใกล้กันทั้งในบริเวณเขตประชิดท่าอากาศยานส่วนบนและส่วนกลาง และเวลาเฉลี่ยของเครื่องบินตั้งแต่เข้าสู่เขตประชิดท่าอากาศยานจนกระทั่งลงจอดในการทดลองทั้ง 30 ครั้ง เท่ากับ 130 วินาที ส่วนกรณีที่มีผู้ควบคุมการจราจรทางอากาศเครื่องบินนั้นจะไม่มีโอกาสเข้าใกล้กันเลย และเวลาเฉลี่ยของเครื่องบินตั้งแต่เข้าสู่เขตประชิดท่าอากาศยานจนกระทั่งลงจอดซึ่งทำการทดลองจัดเป็นหนึ่งเส้นทางและสองเส้นทาง เส้นทางละ 30 ครั้งเช่นกัน เท่ากับ 258 วินาที และ 215 วินาที ตามลำดับ ซึ่งพบว่าใช้เวลานานกว่ากรณีที่มีการควบคุมการจราจรทางอากาศแบบกระจายการควบคุม เพราะเมื่อมีผู้ควบคุมการจราจรทางอากาศ ผู้ควบคุมจราจรทางอากาศจะทำการจัดเรียงเครื่องบินที่จะทำการลงจอด โดยเว้นระยะห่างเพื่อความปลอดภัยและคำนึงถึงการเข้าใกล้กันเรียบร้อยแล้ว แต่จะทำให้เกิดความล่าช้าในการลงจอดด้วยเช่นกัน

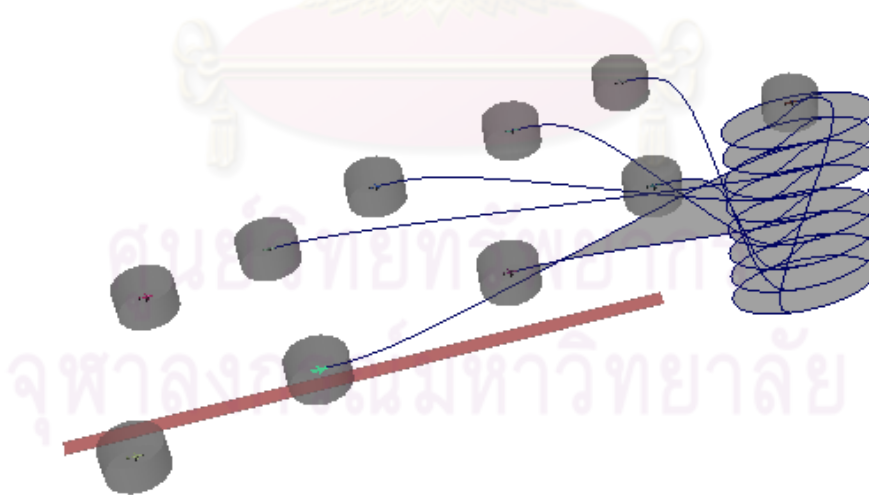
จากการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่า เมื่อมีเครื่องบินเข้าสู่เขตประชิดท่าอากาศยานพร้อมกันห้าลำ การมีผู้ควบคุมจราจรทางอากาศจะพบจำนวนการเข้าใกล้กันของเครื่องบินน้อยกว่าการที่มีการควบคุมการจราจรทางอากาศแบบกระจายการควบคุม เพราะผู้ควบคุมจราจรทางอากาศจะทำการจัดเรียงเครื่องบินเพื่อป้องกันการเข้าใกล้กันของเครื่องบินเรียบร้อยแล้ว แต่ก็พบว่าเวลาเฉลี่ยของเครื่องบินตั้งแต่เข้าสู่เขตประชิดท่าอากาศยานจนกระทั่งลงจอดจะมากกว่าเพราะผู้ควบคุมการจราจรทางอากาศจะจัดเรียงเครื่องบินให้มีระยะห่างอย่างเหมาะสม ทำให้เวลาในการลงจอดของเครื่องบินล่าช้ากว่ากรณีการควบคุมการจราจรทางอากาศแบบกระจายการควบคุม ซึ่งแสดงให้เห็นว่าผลการทดลองนี้ได้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ที่สามารถจำลองการเข้าใกล้กันของเครื่องบิน และทำการตรวจพบการเข้าใกล้กันและทำการแก้ไขปัญหาการเข้าใกล้กันของเครื่องบิน กรณีที่มีการควบคุมการจราจรทางอากาศแบบกระจายการควบคุมได้ นอกจากนี้วิธีที่ผู้วิจัยเสนอก็สามารถตรวจสอบได้ว่าเครื่องบินลำใดบ้างเกิดการเข้าใกล้กัน และแสดงการลงจอดของเครื่องบินแต่ละลำได้อย่างทันกาล

#### 4.2.2 การทดลองทดสอบการแก้ปัญหาการเข้าใกล้กันของเครื่องบินกรณีที่มีผู้ควบคุมการจราจรทางอากาศและกรณีการควบคุมการจราจรทางอากาศแบบกระจายโดยที่มีเครื่องบินเข้าสู่สนามบินจำนวน 10 ลำ

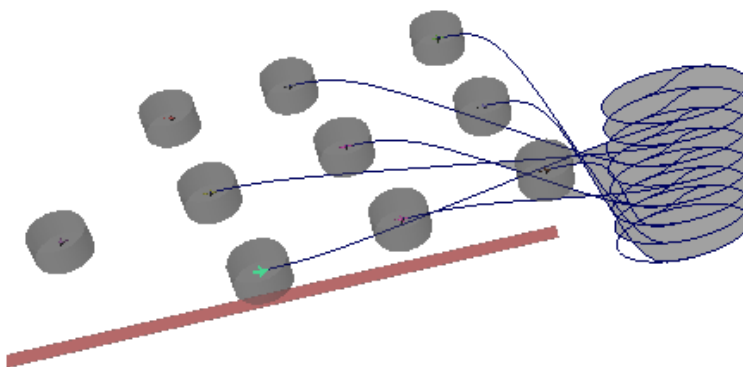
ในการทดลองนี้เสนอวิธีในการจำลองการเข้าใกล้กันของเครื่องบิน โดยจะทำการตรวจสอบการเข้าใกล้กันของเครื่องบิน โดยที่มีเครื่องบิน 10 ลำ ว่ามีเครื่องบินคู่ใดบ้างเกิดการเข้า

ใกล้กัน และเกิดการเข้าใกล้กันก็คู่ เมื่อเครื่องบินเกิดการเข้าใกล้กันบริเวณเขตประชิดท่าอากาศยานส่วนบน เครื่องบินจะทำการหลบหลีกกันโดยการเปลี่ยนแปลงความสูง เมื่อเครื่องบินเกิดการเข้าใกล้กันบริเวณเขตประชิดท่าอากาศยานส่วนกลาง เครื่องบินจะทำการหลบหลีกกันโดยเครื่องบินที่อยู่ตำแหน่งต่ำกว่าจะทำการเพิ่มความเร็วของเครื่องบินตามวิธีการศึกษาที่กล่าวไว้ในบทที่ 3 และสุดท้ายจะทำการวัดเวลาเฉลี่ยในการเข้าสู่เขตประชิดท่าอากาศยานของเครื่องบิน จนกระทั่งลงจอดเพื่อเปรียบเทียบและวิเคราะห์ผลระหว่างกรณีที่มีผู้ควบคุมการจราจรทางอากาศ และมีผู้ควบคุมการจราจรทางอากาศแบบกระจายการควบคุม

ในการทดลองการตรวจสอบการเข้าใกล้กันกรณีที่มีผู้ควบคุมการจราจรทางอากาศ เมื่อมีเครื่องบิน 10 ลำบินมาในเขตประชิดท่าอากาศยานพร้อมๆกัน ผู้วิจัยจะทำหน้าที่เป็นผู้ควบคุมการจราจรทางอากาศโดยที่กำหนดเส้นทางของเครื่องบินที่จะทำการลงจอด โดยที่กำหนดเส้นทางสองเส้นทางและสามเส้นทาง ในการจัดเรียงสองเส้นทางเป็นการจัดเรียงเครื่องบินเพื่อเข้ามาสู่สนามบินสองเส้นทาง โดยที่จัดเรียงเครื่องบินเพื่อเข้ามาสนามบินในทิศทางเดียวกันทั้งสองเส้นทาง โดยเครื่องบินลำที่เข้าสู่เขตประชิดท่าอากาศยานก่อนจะถูกเรียงลำดับก่อน และเครื่องบินที่เข้าสู่เขตประชิดท่าอากาศยานทีหลังจะถูกเรียงตามลำดับต่อไป ดังรูปที่ 4.5 และการจัดเรียงสามเส้นทางเป็นการจัดเรียงเครื่องบินเพื่อเข้ามาสู่สนามบินสามเส้นทาง โดยที่จัดเรียงเครื่องบินเพื่อเข้ามาสนามบินในทิศทางเดียวกันทั้งสามเส้นทาง ดังรูปที่ 4.6 การทดลองนี้บันทึกค่าเฉลี่ยของเวลาตั้งแต่เข้าสู่เขตประชิดท่าอากาศยานจนกระทั่งเครื่องบินลงจอดในตารางที่ 4.4



รูปที่ 4.5 เส้นทางบินในการลงจอดสองเส้นทางของเครื่องบิน 10 ลำ



รูปที่ 4.6 เส้นทางบินในการลงจอดสามเส้นทางของเครื่องบิน 10 ลำ

ตารางที่ 4.4 การตรวจสอบการเข้าใกล้กันของเครื่องบิน 10 ลำกรณีมีผู้ควบคุมการจราจรทางอากาศ โดยทำการทดลองเส้นทางละ 30 ครั้ง

เส้นทาง	จำนวนการเข้าใกล้กันของเครื่องบินบริเวณเขตประชิดท่าอากาศยานส่วนบน (ครั้ง)			จำนวนการเข้าใกล้กันของเครื่องบินบริเวณเขตประชิดท่าอากาศยานส่วนกลาง (ครั้ง)			เวลาเฉลี่ย (วินาที)
	2 ลำ	3 ลำ	4 ลำ	2 ลำ	3 ลำ	4 ลำ	
2	0	0	0	0	0	0	507
3	0	0	0	0	0	0	469

จากตาราง 4.4 พบว่า ในการตรวจสอบการเข้าใกล้กันของเครื่องบิน 10 ลำกรณีมีผู้ควบคุมการจราจรทางอากาศ เมื่อจัดเรียงเครื่องบินก่อนจะลงจอดสองและสามเส้นทาง โดยทำการทดลองเส้นทางละ 30 ครั้ง จะไม่พบการเข้าใกล้กันของเครื่องบินใดๆเลย เพราะการที่มีผู้ควบคุมการจราจรทางอากาศจะมีการจัดเรียงเครื่องบินเพื่อเตรียมลงจอดเพราะได้ป้องกันการเข้าใกล้กันและจัดระยะห่างที่ปลอดภัยแล้วจึงไม่เกิดการเข้าใกล้กันของเครื่องบิน แต่จะทำให้เครื่องบินเหล่านั้นทำการลงจอดช้ากว่าเดิม ซึ่งในการจัดเรียงเครื่องบินก่อนจะลงจอดสองเส้นทางจะใช้เวลาเฉลี่ยตั้งแต่เครื่องบินเข้าสู่เขตประชิดท่าอากาศยานจนกระทั่งลงจอด 507 วินาที และในการจัดเรียงเครื่องบินก่อนจะลงจอดสามเส้นทางจะใช้เวลาตั้งแต่เครื่องบินเข้าสู่เขตประชิดท่าอากาศยานจนกระทั่งลงจอด 469 วินาที

ในการทดลองการตรวจสอบการเข้าใกล้กันกรณีมีผู้ควบคุมการจราจรทางอากาศแบบกระจายการควบคุม การทดลองนี้ได้ทำการทดลอง 30 ครั้ง โดยในแต่ละครั้งเครื่องบินแต่ละลำจะ



อยู่ ณ ตำแหน่งต่างๆกัน ซึ่งจะได้จากการสุ่มด้วยคอมพิวเตอร์ ดังนั้นเมื่อมีเครื่องบิน 10 ลำบินมาในเขตประชิดท่าอากาศยานพร้อมๆกัน ก็จะมีการตรวจสอบการเข้าใกล้กันเป็นคู่ๆ และเมื่อเครื่องบินเหล่านั้นได้แก้ไขปัญหาการเข้าใกล้กันแล้ว ก็จะมีการลงจอด โดยมีผลการทดลองดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 การตรวจสอบการเข้าใกล้กันของเครื่องบิน 10 ลำกรณีมีผู้ควบคุม  
การจราจรทางอากาศแบบกระจายการควบคุม

ครั้งที่	จำนวนการเข้าใกล้กันของ เครื่องบินบริเวณเขตประชิด ท่าอากาศยานส่วนบน (ครั้ง)			จำนวนการเข้าใกล้กันของ เครื่องบินบริเวณเขตประชิด ท่าอากาศยานส่วนกลาง (ครั้ง)			เวลา (วินาที)
	2 ลำ	3 ลำ	4 ลำ	2 ลำ	3 ลำ	4 ลำ	
1	0	1	0	5	0	0	368
2	2	0	0	3	0	0	418
3	0	0	0	1	0	0	434
4	0	0	0	2	0	0	404
5	0	0	0	1	2	0	408
6	0	0	0	2	0	0	401
7	0	0	0	3	0	0	372
8	1	0	0	2	0	0	395
9	0	1	0	5	0	0	374
10	2	0	0	3	0	0	416
11	1	0	0	2	0	0	394
12	0	0	0	2	0	0	401

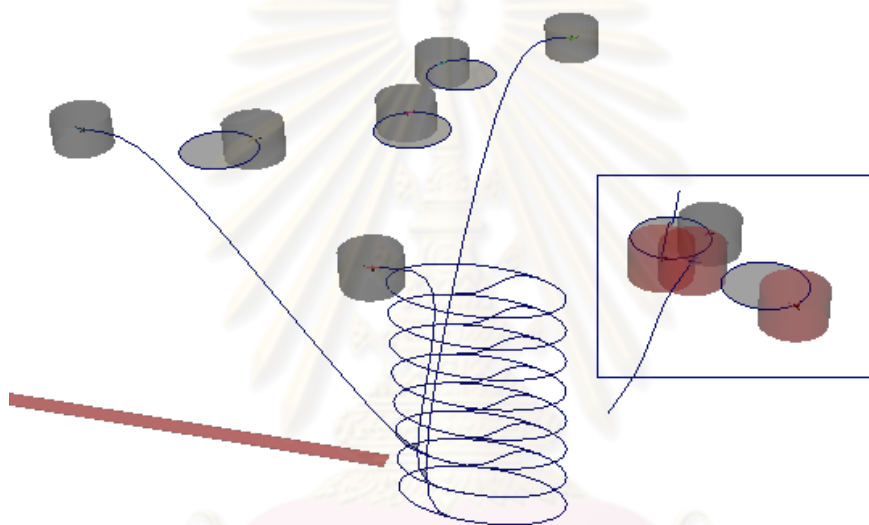
ครั้งที่	จำนวนการเข้าใกล้กันของ เครื่องบินบริเวณเขตประชิด ท่าอากาศยานส่วนบน (ครั้ง)			จำนวนการเข้าใกล้กันของ เครื่องบินบริเวณเขตประชิด ท่าอากาศยานส่วนกลาง (ครั้ง)			เวลา (วินาที)
	2 ลำ	3 ลำ	4 ลำ	2 ลำ	3 ลำ	4 ลำ	
13	2	0	0	2	0	0	392
14	1	0	0	3	0	0	401
15	2	1	0	3	0	0	409
16	0	1	0	1	2	0	392
17	1	0	0	3	0	0	400
18	1	0	0	2	0	0	397
19	0	1	0	2	1	0	386
20	2	0	0	3	0	0	406
21	1	0	0	2	0	0	386
22	0	1	0	3	0	0	384
23	0	0	0	3	1	0	371
24	1	0	0	2	0	0	403
25	2	0	0	1	0	0	401
26	1	0	0	2	0	0	399
27	0	0	0	3	0	0	369
28	1	0	0	2	0	0	401

ครั้งที่	จำนวนการเข้าใกล้กันของ เครื่องบินบริเวณเขตประชิด ท่าอากาศยานส่วนบน (ครั้ง)			จำนวนการเข้าใกล้กันของ เครื่องบินบริเวณเขตประชิด ท่าอากาศยานส่วนกลาง (ครั้ง)			เวลา (วินาที)
	2 ลำ	3 ลำ	4 ลำ	2 ลำ	3 ลำ	4 ลำ	
30	0	0	0	2	0	0	403
เวลาลงจอดเฉลี่ย							396

ผลการทดลองพบว่าในกรณีที่ผู้ควบคุมการจราจรทางอากาศเป็นแบบการกระจายการควบคุม เมื่อทำการทดลอง 30 ครั้ง พบว่าบริเวณเขตประชิดท่าอากาศยานส่วนบน จะตรวจสอบและพบเครื่องบินเข้าใกล้กันมากที่สุด ในการทดลองครั้งที่ 1, 9, 15, 16, 19 และ 22 พบการเข้าใกล้กันของเครื่องบินเพียงสามลำ จำนวนหนึ่งครั้ง นั่นคือ การทดลองครั้งที่ 1 เครื่องบินลำที่ 2 เครื่องบินลำที่ 3 และเครื่องบินลำที่ 5 เข้าใกล้กัน, การทดลองครั้งที่ 9 เครื่องบินลำที่ 1 เครื่องบินลำที่ 2 และเครื่องบินลำที่ 4 เข้าใกล้กัน, การทดลองครั้งที่ 15 เครื่องบินลำที่ 5 เครื่องบินลำที่ 7 และเครื่องบินลำที่ 9 เข้าใกล้กัน, การทดลองครั้งที่ 16 เครื่องบินลำที่ 2 เครื่องบินลำที่ 6 และเครื่องบินลำที่ 8 เข้าใกล้กัน, การทดลองครั้งที่ 19 เครื่องบินลำที่ 1 เครื่องบินลำที่ 3 และเครื่องบินลำที่ 9 เข้าใกล้กัน และการทดลองครั้งที่ 22 เครื่องบินลำที่ 3 เครื่องบินลำที่ 7 และเครื่องบินลำที่ 8 เข้าใกล้กัน และการทดลองครั้งที่ 2, 8, 10, 11, 13, 14, 15, 17, 18, 20, 21, 24, 25, 26, 28 และ 29 พบการเข้าใกล้กันของเครื่องบินเพียงสองลำ จำนวนหนึ่งหรือสองครั้ง เนื่องจากการสุ่มตำแหน่งเครื่องบินจากคอมพิวเตอร์จะทำให้เครื่องบินเหล่านั้นมีโอกาสกระจายกันอยู่มากกว่าที่จะเข้าใกล้กันในตอนแรก ทำให้ในช่วงนี้ไม่ค่อยพบการเข้าใกล้กัน จากนั้นเมื่อตรวจสอบบริเวณเขตประชิดท่าอากาศยานส่วนกลาง จะตรวจสอบและพบเครื่องบินเข้าใกล้กันมากที่สุด ในการทดลองครั้งที่ 5, 16, 19, 23 และ 29 พบการเข้าใกล้กันของเครื่องบินเพียงสามลำ จำนวนหนึ่งหรือสองครั้ง แต่ในการทดลองทั้งหมด 30 ครั้ง จะพบเครื่องบินเข้าใกล้กันสองลำทั้งหมด 71 ครั้ง และผลการทดลองแสดงถึงเวลาเฉลี่ยการลงจอดของเครื่องบินตั้งแต่เครื่องบินเข้าสู่เขตประชิดท่าอากาศยานจนถึงเครื่องบินลำสุดท้ายจอด พบว่าในการทดลองครั้งที่ 1 ใช้เวลาทั้งหมดน้อยที่สุด นั่นคือ 368 วินาที ซึ่งเป็นเพราะว่าในบริเวณเขตประชิดท่าอากาศยานส่วนกลางในการทดลองครั้งนี้ เมื่อมีการเข้าใกล้กันเครื่องบินลำที่อยู่ในตำแหน่งต่ำกว่าก็จะมีเพิ่มความเร็วของเครื่องบินทำให้เมื่อมีจำนวนครั้งในการเข้าใกล้กันมาก จะทำให้เครื่องบินเพิ่มความเร็วเพื่อแก้ปัญหาการเข้าใกล้กัน และสามารถลงจอดได้เร็วขึ้น แต่ในการทดลองครั้งที่ 3 ใช้เวลาทั้งหมดมากที่สุด นั่นคือ 434 วินาที เนื่องจากการทดลองครั้งนี้มีการเข้าใกล้กันของเครื่องบินบริเวณเขตประชิดท่าอากาศยาน

ส่วนกลางเพียงสองลำ จำนวนหนึ่งครั้ง (เครื่องบินลำที่ 4 กับเครื่องบินลำที่ 10) ทำให้เครื่องบินที่เข้ามาบริเวณนี้แต่ละลำไม่มีการเปลี่ยนแปลงระดับความเร็วแต่อย่างใด และตำแหน่งของเครื่องบินที่ได้จากการสุ่มในตอนแรกอยู่ในตำแหน่งที่ไกลมากกว่าจะทำให้เครื่องบินทุกลำจะลงจอดครบต้องใช้เวลาช้านาน และสุดท้ายเวลาเฉลี่ยในการทดลองกรณีนี้ที่ผู้ควบคุมการจราจรทางอากาศเป็นแบบการกระจายการควบคุมกรณีมีเครื่องบิน 10 ลำ เท่ากับ 396 วินาที

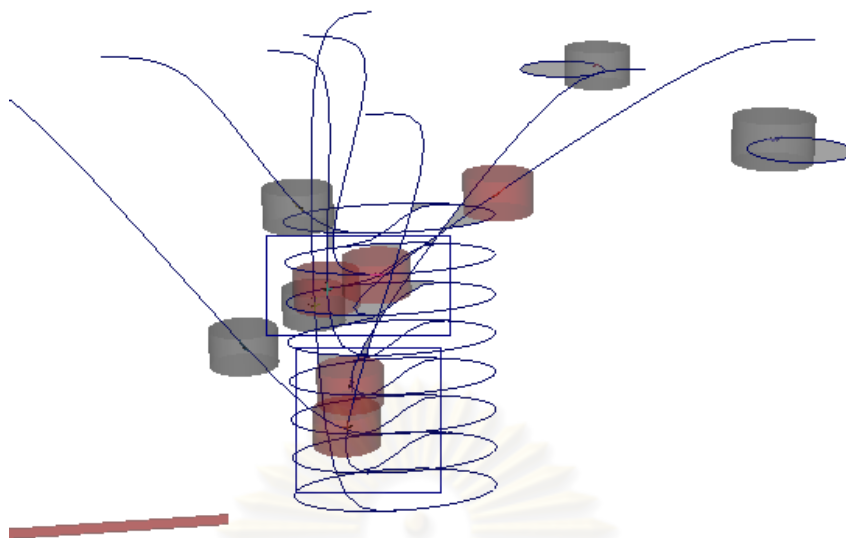
ในส่วนของ การแก้ไขปัญหการเข้าใกล้กันบริเวณเขตประชิดท่าอากาศยานส่วนบน ในกรณีที่เครื่องบินแต่ละลำตรวจพบว่าเข้าใกล้กัน เครื่องบินลำที่จะแก้ไขปัญหานั้นต้องทำการเปลี่ยนแปลงระดับความสูงเพื่อแก้ไขปัญหการเข้าใกล้กัน ดังรูป 4.7



รูปที่ 4.7 การเข้าใกล้กันของเครื่องบินบริเวณเขตประชิดท่าอากาศยานส่วนบนเครื่องบิน 10 ลำ

ในส่วนของ การแก้ไขปัญหการเข้าใกล้กันบริเวณเขตประชิดท่าอากาศยานส่วนกลาง ในกรณีที่เครื่องบินแต่ละลำตรวจพบว่าเข้าใกล้กัน เครื่องบินลำที่อยู่ในตำแหน่งต่ำกว่าจะทำการเพิ่มความเร็วเพื่อแก้ไขปัญหการเข้าใกล้กัน ดังรูป 4.8

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.8 การเข้าใกล้กันของเครื่องบินบริเวณเขตประชิดทำอากาศยานส่วนกลางเครื่องบิน 10 ลำ

ตารางที่ 4.6 เปรียบเทียบผลการทดลองของเครื่องบินเข้าสู่เขตประชิดทำอากาศยาน 10 ลำ

ประเภท	จำนวนการเข้าใกล้กันของเครื่องบินสองลำ(ครั้ง)	จำนวนการเข้าใกล้กันของเครื่องบินสามลำ (ครั้ง)	ค่าเฉลี่ยเวลา (วินาที)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
กรณีมีผู้ควบคุมการจราจรทางอากาศ				
- 2 เส้นทาง	0	0	507	5.07
- 3 เส้นทาง	0	0	469	6.43
กรณีการควบคุมการจราจรทางอากาศแบบกระจายการควบคุม			396	14.92
- บริเวณเขตประชิดทำอากาศยานส่วนบน	23	6		
- บริเวณเขตประชิดทำอากาศยานส่วนกลาง	71	7		

เมื่อทำการเปรียบเทียบระหว่างกรณีที่มีการควบคุมการจราจรทางอากาศแบบกระจายการควบคุมกับกรณีที่มีผู้ควบคุมการจราจรทางอากาศของเครื่องบิน 10 ลำ พบว่า กรณีที่มีการควบคุมการจราจรทางอากาศแบบกระจายการควบคุม เครื่องบินมีโอกาสเข้าใกล้กันทั้งในบริเวณเขตประชิดท่าอากาศยานส่วนบนและส่วนกลาง และเวลาเฉลี่ยของเครื่องบินตั้งแต่เข้าสู่เขตประชิดท่าอากาศยานจนกระทั่งลงจอดในการทดลองทั้ง 30 ครั้ง เท่ากับ 396 วินาที ส่วนกรณีที่มีผู้ควบคุมการจราจรทางอากาศเครื่องบินนั้นจะไม่มีโอกาสเข้าใกล้กันเลย และเวลาเฉลี่ยของเครื่องบินตั้งแต่เข้าสู่เขตประชิดท่าอากาศยานจนกระทั่งลงจอดซึ่งจัดเป็นสองเส้นทางและสามเส้นทาง เท่ากับ 507 วินาที และ 469 วินาที ตามลำดับ ซึ่งพบว่าใช้เวลานานกว่ากรณีที่มีการควบคุมการจราจรทางอากาศแบบกระจายการควบคุม เพราะเมื่อมีผู้ควบคุมการจราจรทางอากาศ ผู้ควบคุมจราจรทางอากาศจะทำการจัดเรียงเครื่องบินที่จะทำการลงจอด โดยเว้นระยะห่างเพื่อความปลอดภัยและคำนึงถึงการเข้าใกล้กันเรียบร้อยแล้ว แต่จะทำให้เกิดความล่าช้าในการลงจอดด้วยเช่นกัน

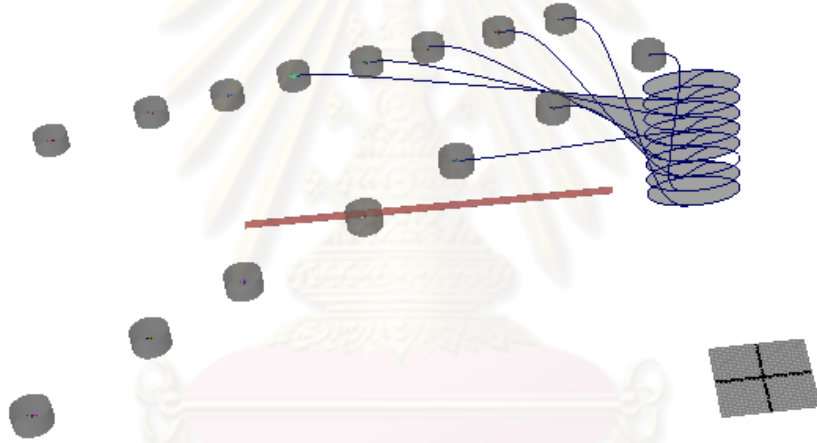
จากการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่า เมื่อมีเครื่องบินเข้าสู่เขตประชิดท่าอากาศยานพร้อมกัน 10 ลำ การมีผู้ควบคุมจราจรทางอากาศจะพบจำนวนการเข้าใกล้กันของเครื่องบินน้อยกว่ากรณีที่มีการควบคุมการจราจรทางอากาศแบบกระจายการควบคุม เพราะผู้ควบคุมจราจรทางอากาศจะทำการจัดเรียงเครื่องบินเพื่อป้องกันการเข้าใกล้กันของเครื่องบินเรียบร้อยแล้ว แต่ก็พบว่าเวลาเฉลี่ยของเครื่องบินตั้งแต่เข้าสู่เขตประชิดท่าอากาศยานจนกระทั่งลงจอดจะมากกว่าเพราะผู้ควบคุมการจราจรทางอากาศจะจัดเรียงเครื่องบินให้มีระยะห่างอย่างเหมาะสม ทำให้เวลาในการลงจอดของเครื่องบินล่าช้ากว่ากรณีการควบคุมการจราจรทางอากาศแบบกระจายการควบคุม ซึ่งแสดงให้เห็นว่าผลการทดลองนี้ได้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ที่สามารถจำลองการเข้าใกล้กันของเครื่องบิน และทำการตรวจพบการเข้าใกล้กันและทำการแก้ไขปัญหาการเข้าใกล้กันของเครื่องบิน กรณีที่มีการควบคุมการจราจรทางอากาศแบบกระจายการควบคุมได้ นอกจากนี้วิธีที่ผู้วิจัยเสนออีก สามารถตรวจสอบได้ว่าเครื่องบินลำใดบ้างเกิดการเข้าใกล้กัน และแสดงการลงจอดของเครื่องบินแต่ละลำได้อย่างทันกาล

#### 4.2.3 การทดลองทดสอบการแก้ไขปัญหาการเข้าใกล้กันของเครื่องบินกรณีที่มีผู้ควบคุมการจราจรทางอากาศและกรณีการควบคุมการจราจรทางอากาศแบบกระจายโดยที่มีเครื่องบินเข้าสู่สนามบินจำนวน 15 ลำ

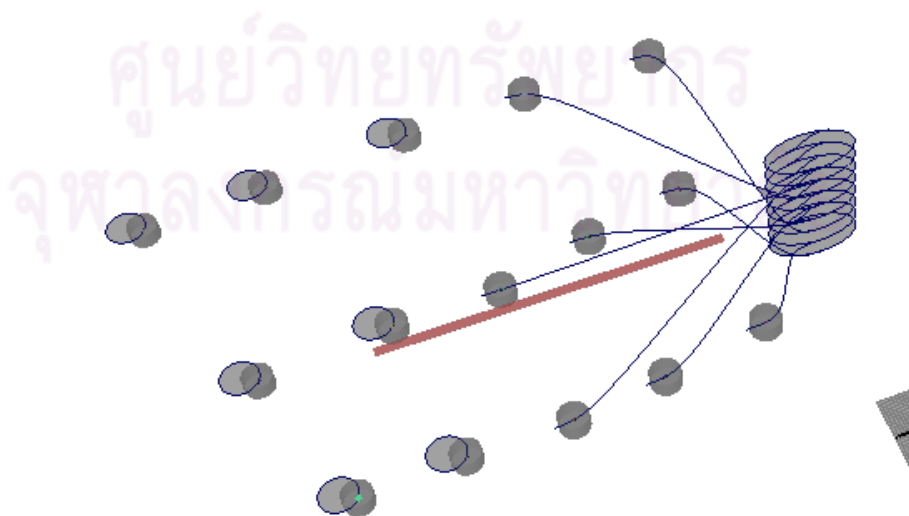
ในการทดลองนี้เสนอวิธีในการจำลองการเข้าใกล้กันของเครื่องบิน โดยจะทำการตรวจสอบการเข้าใกล้กันของเครื่องบิน โดยที่มีเครื่องบิน 15 ลำ ว่ามีเครื่องบินคู่ใดบ้างเกิดการเข้าใกล้กัน และเกิดการเข้าใกล้กันกี่คู่ เมื่อเครื่องบินเกิดการเข้าใกล้กันบริเวณเขตประชิดท่าอากาศยาน

ยานส่วนบน เครื่องบินจะทำการหลบหลีกกันโดยการเปลี่ยนแปลงความสูง เมื่อเครื่องบินเกิดการเข้าใกล้กันบริเวณเขตประชิดท่าอากาศยานส่วนกลาง เครื่องบินจะทำการหลบหลีกกันโดยเครื่องบินที่อยู่ตำแหน่งต่ำกว่าจะทำการเพิ่มความเร็วของเครื่องบินตามวิธีการศึกษาที่กล่าวไว้ในบทที่ 3 และสุดท้ายจะทำการวัดเวลาเฉลี่ยในการเข้าสู่เขตประชิดท่าอากาศยานของเครื่องบิน จนกระทั่งลงจอดเพื่อเปรียบเทียบและวิเคราะห์ผลระหว่างกรณีที่มีผู้ควบคุมการจราจรทางอากาศ และมีผู้ควบคุมการจราจรทางอากาศแบบกระจายการควบคุม

ในการทดลองการตรวจสอบการเข้าใกล้กันกรณีที่มีผู้ควบคุมการจราจรทางอากาศ เมื่อมีเครื่องบิน 15 ลำบินมาในเขตประชิดท่าอากาศยานพร้อมๆกัน ผู้วิจัยจะทำหน้าที่เป็นผู้ควบคุมการจราจรทางอากาศโดยที่กำหนดเส้นทางของเครื่องบินที่จะทำการลงจอด โดยที่กำหนดเส้นทางสองเส้นทาง และสามเส้นทาง ดังรูปที่ 4.9 และรูป 4.10



รูปที่ 4.9 เส้นทางบินในการลงจอดสองเส้นทางของเครื่องบิน 15 ลำ



รูปที่ 4.10 เส้นทางบินในการลงจอดสามเส้นทางของเครื่องบิน 15 ลำ

ตารางที่ 4.7 การตรวจสอบการเข้าใกล้กันของเครื่องบิน 15 ลำกรณีมีผู้ควบคุมการจราจรทางอากาศ โดยทำการทดลองเส้นทางละ 30 ครั้ง

เส้นทาง	จำนวนการเข้าใกล้กันของเครื่องบินบริเวณเขตประชิดท่าอากาศยานส่วนบน (ครั้ง)			จำนวนการเข้าใกล้กันของเครื่องบินบริเวณเขตประชิดท่าอากาศยานส่วนกลาง (ครั้ง)			เวลาเฉลี่ย (วินาที)
	2 ลำ	3 ลำ	4 ลำ	2 ลำ	3 ลำ	4 ลำ	
2	0	0	0	2	0	0	942
3	0	0	0	5	0	0	891

จากตาราง 4.7 พบว่า ในการตรวจสอบการเข้าใกล้กันของเครื่องบิน 15 ลำกรณีมีผู้ควบคุมการจราจรทางอากาศ เมื่อจัดเรียงเครื่องบินก่อนจะลงจอดสองเส้นทางและสามเส้นทาง โดยทำการทดลองเส้นทางละ 30 ครั้ง จะได้ผลคือ เมื่อจัดเครื่องบินเป็นสองเส้นทางจะพบจำนวนการเข้าใกล้กันเฉลี่ยของเครื่องบินเพียงสองลำ จำนวนสองครั้ง เมื่อจัดเครื่องบินเป็นสามเส้นทางพบจำนวนการเข้าใกล้กันของเครื่องบินเฉลี่ยเพียงสองลำ จำนวนห้าครั้ง เพราะการที่มีผู้ควบคุมการจราจรทางอากาศจะมีการจัดเรียงเครื่องบินเพื่อเตรียมลงจอดเพราะได้ป้องกันการเข้าใกล้กันและจัดระยะห่างที่ปลอดภัยแล้วทำให้บริเวณเขตประชิดท่าอากาศยานส่วนบนจะไม่เกิดการเข้าใกล้กันของเครื่องบิน ส่วนบริเวณเขตประชิดท่าอากาศยานส่วนกลางสามารถเกิดการเข้าใกล้กันได้ เพราะเมื่อจำนวนเครื่องบินมากขึ้น เครื่องบินกำลังจะบินเข้าสู่ส่วนพื้นที่รอคอยจะทำให้เกิดการเข้าใกล้กันในระยะนี้ได้ ในการจัดเรียงเครื่องบินก่อนจะลงจอดสองเส้นทางจะใช้เวลาเฉลี่ยตั้งแต่เครื่องบินเข้าสู่เขตประชิดท่าอากาศยานจนกระทั่งลงจอด 942 วินาที และในการจัดเรียงเครื่องบินก่อนจะลงจอดสามเส้นทางจะใช้เวลาเฉลี่ยตั้งแต่เครื่องบินเข้าสู่เขตประชิดท่าอากาศยานจนกระทั่งลงจอด 891 วินาที

ในการทดลองการตรวจสอบการเข้าใกล้กันกรณีมีผู้ควบคุมการจราจรทางอากาศแบบกระจายการควบคุม การทดลองนี้ได้ทำการทดลอง 30 ครั้ง โดยในแต่ละครั้งเครื่องบินแต่ละลำจะอยู่ ณ ตำแหน่งต่างๆกัน ซึ่งจะได้จากการสุ่มด้วยคอมพิวเตอร์ ดังนั้นเมื่อมีเครื่องบิน 15 ลำบินมาในเขตประชิดท่าอากาศยานพร้อมๆกัน ก็จะมีการตรวจสอบการเข้าใกล้กันเป็นคู่ๆ และเมื่อเครื่องบินเหล่านั้นได้แก้ไขปัญหาการเข้าใกล้กันแล้ว ก็จะมีการลงจอด โดยมีผลการทดลองดังตารางที่ 4.8



## ตารางที่ 4.8 การตรวจสอบการเข้าใกล้กันของเครื่องบิน 15 ลำกรณีมีผู้ควบคุม

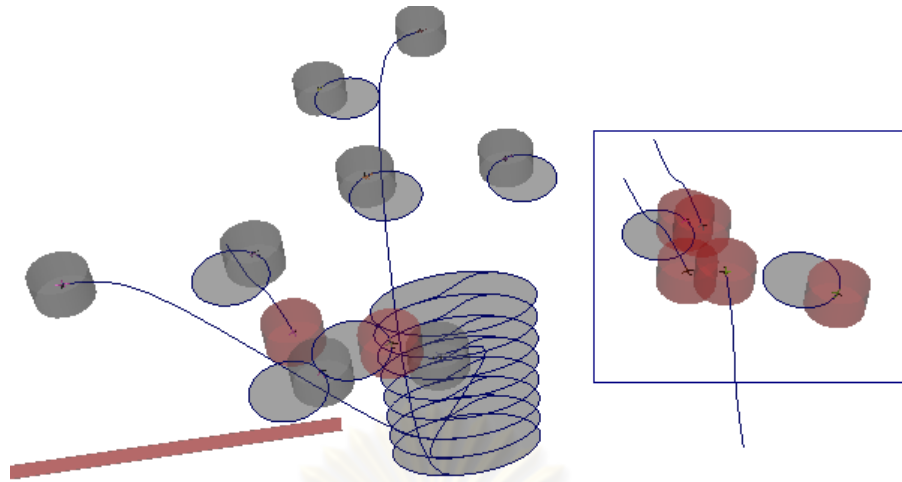
## การจราจรทางอากาศแบบกระจายการควบคุม

ครั้งที่	จำนวนการเข้าใกล้กันของ เครื่องบินบริเวณเขตประชิด ทำอากาศยานส่วนบน (ครั้ง)			จำนวนการเข้าใกล้กันของ เครื่องบินบริเวณเขตประชิด ทำอากาศยานส่วนกลาง (ครั้ง)			เวลา (วินาที)
	2 ลำ	3 ลำ	4 ลำ	2 ลำ	3 ลำ	4 ลำ	
1	2	1	0	3	1	0	884
2	1	0	0	7	0	0	861
3	1	0	0	4	0	0	875
4	1	0	0	3	1	0	893
5	1	0	0	2	1	0	878
6	1	0	0	6	1	0	871
7	2	0	0	3	2	0	882
8	2	0	0	5	1	0	875
9	1	1	0	6	0	0	868
10	1	0	0	5	1	0	877
11	1	0	0	4	1	0	892
12	2	0	0	6	0	0	873
13	1	0	0	3	0	0	890
14	1	1	0	4	1	0	889
15	1	0	0	3	1	0	893

ครั้งที่	จำนวนการเข้าใกล้กันของ เครื่องบินบริเวณเขตประชิด ท่าอากาศยานส่วนบน (ครั้ง)			จำนวนการเข้าใกล้กันของ เครื่องบินบริเวณเขตประชิด ท่าอากาศยานส่วนกลาง (ครั้ง)			เวลา (วินาที)
	2 ลำ	3 ลำ	4 ลำ	2 ลำ	3 ลำ	4 ลำ	
16	1	0	0	4	0	0	879
17	2	0	0	5	0	0	876
18	2	0	0	6	1	0	872
19	1	1	0	6	0	0	870
20	1	0	0	3	0	0	891
21	1	0	0	4	0	0	878
22	2	1	0	5	0	0	876
23	1	0	0	4	0	0	876
24	2	0	0	5	0	0	873
25	2	0	0	5	1	0	877
26	1	0	0	3	0	0	878
27	2	0	0	4	0	0	875
28	1	0	0	4	0	0	875
29	1	1	0	5	0	0	874
30	1	0	0	4	0	0	878
เวลาลงจอดเฉลี่ย							878

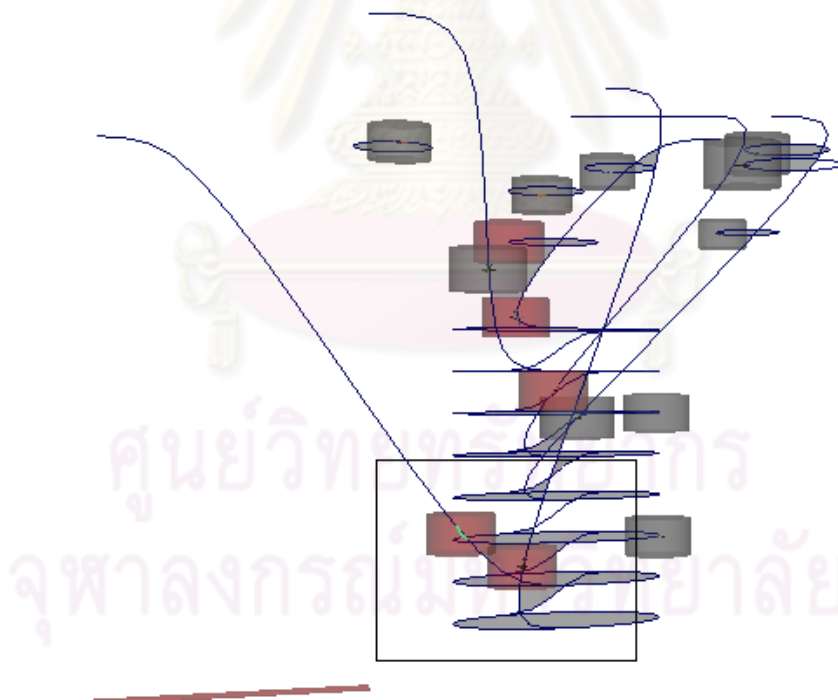
ผลการทดลองพบว่าในกรณีที่ผู้ควบคุมการจราจรทางอากาศเป็นแบบการกระจายการควบคุม เมื่อทำการทดลอง 30 ครั้ง พบว่าบริเวณเขตประชิดท่าอากาศยานส่วนบน จะตรวจสอบและพบเครื่องบินเข้าใกล้กันมากที่สุด ในการทดลองครั้งที่ 1, 9, 14, 19, 22 และ 29 นั่นคือ พบการเข้าใกล้กันของเครื่องบินสามลำ จำนวนหนึ่งครั้ง เนื่องจากการสุ่มตำแหน่งเครื่องบินจากคอมพิวเตอร์จะทำให้เครื่องบินเหล่านั้นมีโอกาสกระจายกันอยู่มากกว่าที่จะเข้าใกล้กันในตอนแรก ทำให้ในช่วงนี้ไม่ค่อยพบการเข้าใกล้กัน จากนั้นเมื่อตรวจสอบบริเวณเขตประชิดท่าอากาศยานส่วนกลาง เมื่อตรวจสอบและพบเครื่องบินเข้าใกล้กันมากที่สุดเพียงสามลำ จำนวนสองครั้ง ได้แก่ ในการทดลองครั้งที่ 7 (พบเครื่องบินลำที่ 12 ,ลำที่ 14 และลำที่ 15 เข้าใกล้กัน และพบเครื่องบินลำที่ 8 ,ลำที่ 10 และลำที่ 12 เข้าใกล้กัน) ในการทดลองทั้งหมด 30 ครั้ง จะพบเครื่องบินเข้าใกล้กันสามลำรวมทั้งหมด 13 ครั้ง พบเครื่องบินเข้าใกล้กันสองลำรวมทั้งหมด 131 ครั้ง และผลการทดลองแสดงถึงเวลาการลงจอดของเครื่องบินตั้งแต่เครื่องบินเข้าสู่เขตประชิดท่าอากาศยานจนถึงเครื่องบินลำสุดท้ายจอด พบว่าในการทดลองครั้งที่ 2 ใช้เวลาทั้งหมดน้อยที่สุด นั่นคือ 861 วินาที ซึ่งเป็นเพราะว่าในบริเวณเขตประชิดท่าอากาศยานส่วนกลางในการทดลองครั้งนี้ เมื่อมีการเข้าใกล้กันเครื่องบินลำที่อยู่ในตำแหน่งต่ำกว่าก็จะมี การเพิ่มความเร็วของเครื่องบินทำให้เมื่อมีจำนวนครั้งในการเข้าใกล้กันมาก จะทำให้เครื่องบินเพิ่มความเร็วเพื่อแก้ไขปัญหาการเข้าใกล้กัน และสามารถลงจอดได้เร็วขึ้น แต่ในการทดลองครั้งที่ 4 และ 15 ใช้เวลาทั้งหมดมากที่สุด นั่นคือ 893 วินาที เนื่องจากการทดลองครั้งนี้มีการเข้าใกล้กันของเครื่องบินบริเวณเขตประชิดท่าอากาศยานส่วนกลางเพียงสองลำ จำนวนสองครั้ง (การทดลองครั้งที่ 4 มีการเข้าใกล้กันของเครื่องบินลำที่ 8 กับเครื่องบินลำที่ 15 และเครื่องบินลำที่ 11 กับเครื่องบินลำที่ 15 และการทดลองครั้งที่ 15 มีการเข้าใกล้กันของเครื่องบินลำที่ 3 กับเครื่องบินลำที่ 7 และเครื่องบินลำที่ 12 กับเครื่องบินลำที่ 16) ทำให้เครื่องบินที่เข้ามาบริเวณนี้แต่ละลำมีการเปลี่ยนแปลงระดับความเร็วแต่จำนวนไม่มาก และตำแหน่งของเครื่องบินที่ได้จากการสุ่มในตอนแรกอยู่ในตำแหน่งที่ไกลมากกว่าเครื่องบินลำอื่นๆ ทำให้เวลาที่เครื่องบินทุกลำจะลงจอดครบต้องใช้เวลา นาน และสุดท้ายเวลาเฉลี่ยในการทดลองกรณีที่ผู้ควบคุมการจราจรทางอากาศเป็นแบบการกระจายการควบคุมกรณีมีเครื่องบิน 15 ลำ เท่ากับ 878 วินาที

ในส่วนของการแก้ไขปัญหาการเข้าใกล้กันบริเวณเขตประชิดท่าอากาศยานส่วนบน ในกรณีที่เครื่องบินแต่ละลำตรวจพบว่าเข้าใกล้กัน เครื่องบินลำที่จะแก้ไขปัญหา นั้นต้องทำการเปลี่ยนแปลงระดับความสูงเพื่อแก้ไขปัญหาการเข้าใกล้กัน ดังรูป 4.11



รูปที่ 4.11 การเข้าใกล้กันของเครื่องบินบริเวณเขตประชิดท่าอากาศยานส่วนบนเครื่องบิน 15 ลำ

ในส่วนของการแก้ไขปัญหาการเข้าใกล้กันบริเวณเขตประชิดท่าอากาศยานส่วนกลาง ในกรณีเครื่องบินแต่ละลำตรวจพบว่าเข้าใกล้กัน เครื่องบินลำที่อยู่ในตำแหน่งต่ำกว่าจะทำการเพิ่มความเร็วจนเพื่อแก้ไขปัญหาการเข้าใกล้กัน ดังรูป 4.6



รูปที่ 4.12 การเข้าใกล้กันของเครื่องบินบริเวณเขตประชิดท่าอากาศยานส่วนกลางเครื่องบิน 15 ลำ

ตารางที่ 4.9 เปรียบเทียบผลการทดลองของเครื่องบินเข้าสู่เขตประชิดท่าอากาศยาน 15 ลำ

ประเภท	จำนวนการเข้า ใกล้กันของ เครื่องบินสอง ลำ (ครั้ง)	จำนวนการเข้า ใกล้กันของ เครื่องบินสาม ลำ (ครั้ง)	ค่าเฉลี่ย เวลา (วินาที)	ค่า เบี่ยงเบน มาตรฐาน
กรณีมีผู้ควบคุมการจราจรทาง อากาศ				
- 2 เส้นทาง	2	0	942	6.42
- 3 เส้นทาง	5	0	891	5.76
กรณีการควบคุมการจราจรทาง อากาศแบบกระจายการควบคุม			878	7.36
- บริเวณเขตประชิดท่า อากาศยานส่วนบน	40	6		
- บริเวณเขตประชิดท่า อากาศยานส่วนกลาง	131	13		

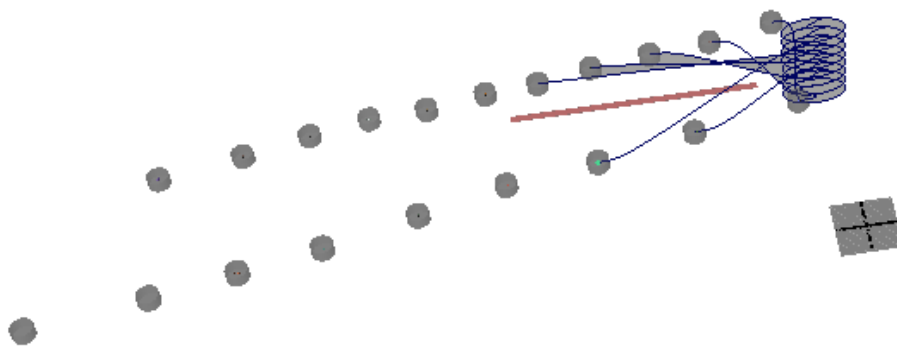
เมื่อทำการเปรียบเทียบระหว่างกรณีที่มีการควบคุมการจราจรทางอากาศแบบกระจายการควบคุมกับกรณีมีผู้ควบคุมการจราจรทางอากาศของเครื่องบิน 15 ลำ พบว่า กรณีที่มีการควบคุมการจราจรทางอากาศแบบกระจายการควบคุม เครื่องบินมีโอกาสเข้าใกล้กันทั้งในบริเวณเขตประชิดท่าอากาศยานส่วนบนและส่วนกลาง และเวลาเฉลี่ยของเครื่องบินตั้งแต่เข้าสู่เขตประชิดท่าอากาศยานจนกระทั่งลงจอดในการทดลองทั้ง 30 ครั้ง เท่ากับ 878 วินาที ส่วนกรณีมีผู้ควบคุมการจราจรทางอากาศเครื่องบินนั้นจะไม่มีโอกาสเข้าใกล้กันบริเวณเขตประชิดท่าอากาศยานส่วนบนเลย เพราะเมื่อมีผู้ควบคุมการจราจรทางอากาศ ผู้ควบคุมจราจรทางอากาศจะทำการจัดเรียงเครื่องบินที่จะทำการลงจอด โดยเว้นระยะห่างและคำนึงถึงการเข้าใกล้กันเรียบร้อยแล้วจึงไม่พบการเข้าใกล้กันในบริเวณนี้ แต่จะสามารถเข้าใกล้กันบริเวณเขตประชิดท่าอากาศยานส่วนกลางและเวลาเฉลี่ยของเครื่องบินตั้งแต่เข้าสู่เขตประชิดท่าอากาศยานจนกระทั่งลงจอดซึ่งจัดเป็นสองเส้นทางและสามเส้นทางเท่ากับ 942 วินาที และ 891 วินาที ตามลำดับ ซึ่งพบว่าใช้เวลานานกว่ากรณีที่มีการควบคุมการจราจรทางอากาศแบบกระจายการควบคุม เพราะเมื่อมีผู้ควบคุมการจราจรทางอากาศ ผู้ควบคุมจราจรทางอากาศจะทำการจัดเรียงเครื่องบินที่จะทำการลงจอด โดยเว้นระยะห่างเพื่อความปลอดภัยและคำนึงถึงการเข้าใกล้กันเรียบร้อยแล้ว แต่จะทำให้เกิดความล่าช้าในการลงจอดด้วยเช่นกัน

จากการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่า เมื่อมีเครื่องบินเข้าสู่เขตประชิดท่าอากาศยานพร้อมกัน 15 ลำ การมีผู้ควบคุมจราจรทางอากาศจะพบจำนวนการเข้าใกล้กันของเครื่องบินน้อยกว่าการที่มีการควบคุมจราจรทางอากาศแบบกระจายการควบคุม เพราะผู้ควบคุมจราจรทางอากาศจะทำการจัดเรียงเครื่องบินเพื่อป้องกันการเข้าใกล้กันของเครื่องบินเรียบร้อยแล้ว แต่ก็พบว่าเวลาเฉลี่ยของเครื่องบินตั้งแต่เข้าสู่เขตประชิดท่าอากาศยานจนกระทั่งลงจอดจะมากกว่าเพราะผู้ควบคุมจราจรทางอากาศจะจัดเรียงเครื่องบินให้มีระยะห่างอย่างเหมาะสม ทำให้เวลาในการลงจอดของเครื่องบินล่าช้ากว่ากรณีการควบคุมจราจรทางอากาศแบบกระจายการควบคุม ซึ่งแสดงให้เห็นว่าผลการทดลองนี้ได้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ที่สามารถจำลองการเข้าใกล้กันของเครื่องบิน และทำการตรวจพบการเข้าใกล้กันและทำการแก้ไขปัญหาการเข้าใกล้กันของเครื่องบิน กรณีที่มีการควบคุมจราจรทางอากาศแบบกระจายการควบคุมได้ นอกจากนี้วิธีที่ผู้วิจัยเสนออีก สามารถตรวจสอบได้ว่าเครื่องบินลำใดบ้างเกิดการเข้าใกล้กัน และแสดงการลงจอดของเครื่องบินแต่ละลำได้อย่างทันกาล

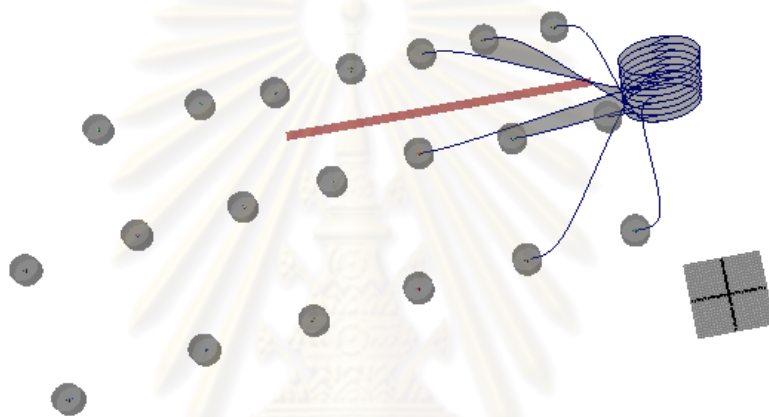
#### 4.2.4 การทดลองทดสอบการแก้ปัญหาการเข้าใกล้กันของเครื่องบินกรณีมีผู้ควบคุมจราจรทางอากาศและกรณีการควบคุมจราจรทางอากาศแบบกระจายโดยที่มีเครื่องบินเข้าสู่สนามบินจำนวน 20 ลำ

ในการทดลองนี้เสนอวิธีในการจำลองการเข้าใกล้กันของเครื่องบิน โดยจะทำการตรวจสอบการเข้าใกล้กันของเครื่องบิน โดยที่มีเครื่องบิน 20 ลำ ว่ามีเครื่องบินคู่ใดบ้างเกิดการเข้าใกล้กัน และเกิดการเข้าใกล้กันกี่คู่ เมื่อเครื่องบินเกิดการเข้าใกล้กันบริเวณเขตประชิดท่าอากาศยานส่วนบน เครื่องบินจะทำการหลบหลีกกันโดยการเปลี่ยนแปลงความสูง เมื่อเครื่องบินเกิดการเข้าใกล้กันบริเวณเขตประชิดท่าอากาศยานส่วนกลาง เครื่องบินจะทำการหลบหลีกกันโดยเครื่องบินที่อยู่ตำแหน่งต่ำกว่าจะทำการเพิ่มความเร็วของเครื่องบินตามวิธีการศึกษาที่กล่าวไว้ในบทที่ 3 และสุดท้ายจะทำการวัดเวลาเฉลี่ยในการเข้าสู่เขตประชิดท่าอากาศยานของเครื่องบินจนกระทั่งลงจอดเพื่อเปรียบเทียบและวิเคราะห์ผลระหว่างกรณีมีผู้ควบคุมจราจรทางอากาศและมีผู้ควบคุมจราจรทางอากาศแบบกระจายการควบคุม

ในการทดลองการตรวจสอบการเข้าใกล้กันกรณีมีผู้ควบคุมจราจรทางอากาศ เมื่อมีเครื่องบิน 20 ลำบินมาในเขตประชิดท่าอากาศยานพร้อมๆกัน ผู้วิจัยจะทำหน้าที่เป็นผู้ควบคุมจราจรทางอากาศโดยที่กำหนดเส้นทางของเครื่องบินที่จะทำการลงจอด โดยที่กำหนดเส้นทางสองเส้นทางและสามเส้นทาง ดังรูป 4.13 และ 4.14



รูปที่ 4.13 เส้นทางบินในการลงจอดสองเส้นทางของเครื่องบิน 20 ลำ



รูปที่ 4.14 เส้นทางบินในการลงจอดสามเส้นทางของเครื่องบิน 20 ลำ

ตารางที่ 4.10 การตรวจสอบการเข้าใกล้กันของเครื่องบิน 20 ลำกรณีมีผู้ควบคุมการจราจรทางอากาศ โดยทำการทดลองเส้นทางละ 30 ครั้ง

เส้นทาง	จำนวนการเข้าใกล้กันของเครื่องบินบริเวณเขตประชิดทำอากาศยานส่วนบน (ครั้ง)			จำนวนการเข้าใกล้กันของเครื่องบินบริเวณเขตประชิดทำอากาศยานส่วนกลาง (ครั้ง)			เวลาเฉลี่ย (วินาที)
	2 ลำ	3 ลำ	4 ลำ	2 ลำ	3 ลำ	4 ลำ	
2	0	0	0	3	0	0	2183
3	0	0	0	2	2	0	1894

จากตาราง 4.10 พบว่า ในการตรวจสอบการเข้าใกล้กันของเครื่องบิน 20 ลำกรณีมีผู้ควบคุมการจราจรทางอากาศ เมื่อจัดเรียงเครื่องบินก่อนจะลงจอดสองเส้นทางและสามเส้นทาง โดยทำการทดลองเส้นทางละ 30 ครั้ง พบว่า เมื่อจัดเครื่องบินเป็นสองเส้นทางจะพบจำนวนการ

เข้าใกล้กันเฉลี่ยของเครื่องบินเพียงสองลำ จำนวนสามครั้ง เมื่อจัดเครื่องบินเป็นสามเส้นทางพบ จำนวนการเข้าใกล้กันเฉลี่ยของเครื่องบินสามลำ จำนวนสองครั้ง และพบจำนวนการเข้าใกล้กันเฉลี่ยของเครื่องบินสองลำ จำนวนสองครั้ง เพราะการที่มีผู้ควบคุมจราจรทางอากาศจะมีการจัดเรียงเครื่องบินเพื่อเตรียมลงจอดเพราะได้ป้องกันการเข้าใกล้กันและจัดระยะห่างที่ปลอดภัย แล้วทำให้บริเวณเขตประชิดท่าอากาศยานส่วนบนจะไม่เกิดการเข้าใกล้กันของเครื่องบิน ส่วน บริเวณเขตประชิดท่าอากาศยานส่วนกลางสามารถเกิดการเข้าใกล้กันได้ เพราะเมื่อจำนวนเครื่องบินมากขึ้น เครื่องบินกำลังจะบินเข้าสู่ส่วนพื้นที่รอคอยจะทำให้เกิดการเข้าใกล้กันในระยะนี้ได้ ในการจัดเรียงเครื่องบินก่อนจะลงจอดสองเส้นทางจะใช้เวลาเฉลี่ยตั้งแต่เครื่องบินเข้าสู่เขตประชิดท่าอากาศยานจนกระทั่งลงจอด 2183 วินาที และในการจัดเรียงเครื่องบินก่อนจะลงจอดสามเส้นทางจะใช้เวลาเฉลี่ยตั้งแต่เครื่องบินเข้าสู่เขตประชิดท่าอากาศยานจนกระทั่งลงจอด 1894 วินาที

ตารางที่ 4.11 การตรวจสอบการเข้าใกล้กันของเครื่องบิน 20 ลำกรณีมีผู้ควบคุม

การจราจรทางอากาศแบบกระจายการควบคุม

ครั้งที่	จำนวนการเข้าใกล้กันของ เครื่องบินบริเวณเขตประชิด ท่าอากาศยานส่วนบน (ครั้ง)			จำนวนการเข้าใกล้กันของ เครื่องบินบริเวณเขตประชิด ท่าอากาศยานส่วนกลาง (ครั้ง)			เวลา (วินาที)
	2 ลำ	3 ลำ	4 ลำ	2 ลำ	3 ลำ	4 ลำ	
1	1	0	0	4	1	0	1744
2	1	0	0	4	1	0	1764
3	1	0	0	6	0	0	1572
4	1	0	0	7	1	0	1474
5	2	0	0	3	2	0	1891
6	1	0	0	6	2	0	1569
7	1	0	0	7	1	0	1472
9	2	0	0	7	0	0	1482



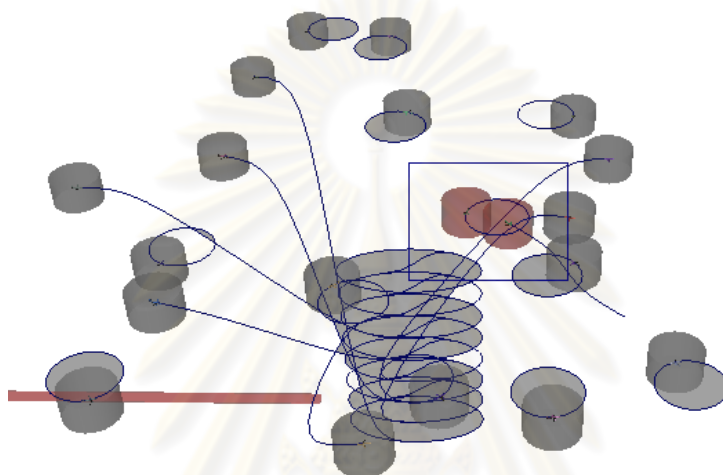
ครั้งที่	จำนวนการเข้าใกล้กันของ เครื่องบินบริเวณเขตประชิด ท่าอากาศยานส่วนบน (ครั้ง)			จำนวนการเข้าใกล้กันของ เครื่องบินบริเวณเขตประชิด ท่าอากาศยานส่วนกลาง (ครั้ง)			เวลา (วินาที)
	2 ลำ	3 ลำ	4 ลำ	2 ลำ	3 ลำ	4 ลำ	
10	1	0	0	4	2	0	1809
11	1	0	0	5	1	0	1843
12	2	0	0	4	0	0	1798
13	1	0	0	6	1	0	1564
14	1	0	0	5	2	0	1711
15	1	0	0	5	1	0	1723
16	2	0	0	7	1	0	1650
17	1	0	0	6	1	0	1654
18	2	0	0	6	0	0	1648
19	2	0	0	5	0	0	1698
20	1	0	0	4	2	0	1703
21	1	0	0	5	1	0	1687
22	1	0	0	5	2	0	1644
23	2	0	0	7	1	0	1543
24	2	0	0	5	1	0	1654
25	2	0	0	6	0	0	1703

ครั้งที่	จำนวนการเข้าใกล้กันของ เครื่องบินบริเวณเขตประชิด ท่าอากาศยานส่วนบน (ครั้ง)			จำนวนการเข้าใกล้กันของ เครื่องบินบริเวณเขตประชิด ท่าอากาศยานส่วนกลาง (ครั้ง)			เวลา (วินาที)
	2 ลำ	3 ลำ	4 ลำ	2 ลำ	3 ลำ	4 ลำ	
26	1	0	0	7	0	0	1459
27	1	0	0	4	1	0	1767
28	2	0	0	5	1	0	1675
29	1	0	0	6	0	0	1634
30	2	0	0	5	1	0	1712
เวลาลงจอดเฉลี่ย							1669

ผลการทดลองพบว่าในกรณีที่ผู้ควบคุมการจราจรทางอากาศเป็นแบบการกระจายการควบคุม เมื่อทำการทดลอง 30 ครั้ง บริเวณเขตประชิดท่าอากาศยานส่วนบน จะตรวจสอบและพบเครื่องบินเข้าใกล้กันมากที่สุด นั่นคือ พบจำนวนการเข้าใกล้กันของเครื่องบินสองลำ จำนวนรวมทั้งหมด 41 ครั้ง จากนั้นเมื่อตรวจสอบบริเวณเขตประชิดท่าอากาศยานส่วนกลาง เมื่อตรวจสอบและพบเครื่องบินเข้าใกล้กันมากที่สุดเพียงสามลำ จำนวนรวมทั้งหมด 28 ครั้ง พบเครื่องบินเข้าใกล้กันมากที่สุดเพียงสองลำ จำนวนรวมทั้งหมด 161 ครั้ง และผลการทดลองแสดงถึงเวลาการลงจอดของเครื่องบินตั้งแต่เครื่องบินเข้าสู่เขตประชิดท่าอากาศยานจนถึงเครื่องบินลำสุดท้ายจอดพบว่าในการทดลองครั้งที่ 26 ใช้เวลาทั้งหมดน้อยที่สุด นั่นคือ 1459 วินาที ซึ่งเป็นเพราะว่าในบริเวณเขตประชิดท่าอากาศยานส่วนกลางในการทดลองครั้งนี้ เมื่อมีการเข้าใกล้กันเครื่องบินลำที่อยู่ตำแหน่งต่ำกว่าก็จะมี การเพิ่มความเร็วยของเครื่องบินทำให้เมื่อมีจำนวนครั้งในการเข้าใกล้กันมาก จะทำให้เครื่องบินเพิ่มความเร็วยเพื่อแก้ปัญหาการเข้าใกล้กัน และสามารถลงจอดได้เร็วขึ้น แต่ในการทดลองครั้งที่ 5 ใช้เวลาทั้งหมดมากที่สุด นั่นคือ 1891 วินาที เนื่องจากในการทดลองครั้งนี้มีการเข้าใกล้กันของเครื่องบินบริเวณเขตประชิดท่าอากาศยานส่วนกลางเพียงสองลำ จำนวนสามครั้ง และเครื่องบินเข้าใกล้กันสามลำ จำนวนสองครั้ง ทำให้เครื่องบินที่เข้ามาบริเวณนี้แต่ละลำมีการเปลี่ยนแปลงระดับความเร็วยแต่จำนวนไม่มาก และตำแหน่งของเครื่องบินที่ได้จากการสุ่มใน

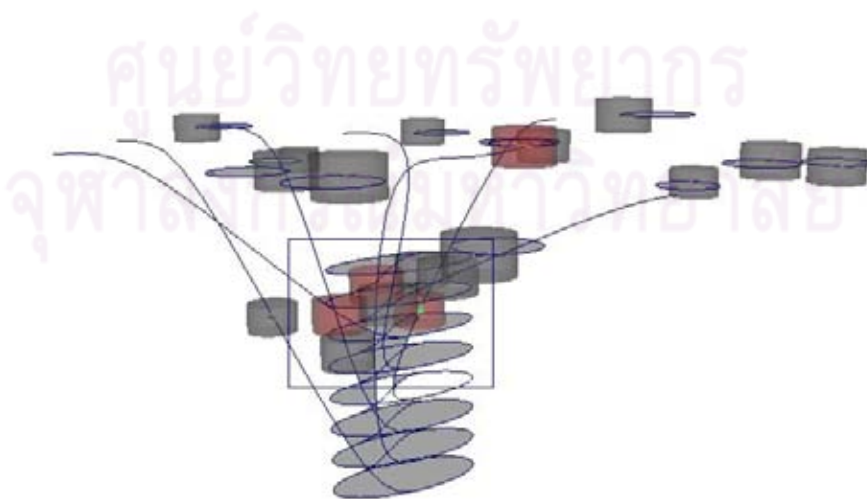
ตอนแรกอยู่ในตำแหน่งที่ไกลมากกว่าเครื่องบินลำอื่นๆทำให้เวลาที่เครื่องบินทุกลำจะลงจอดครบ ต้องใช้เวลานาน และสุดท้ายเวลาเฉลี่ยในการทดลองกรณีที่ผู้ควบคุมการจราจรทางอากาศเป็นแบบการกระจายการควบคุมกรณีมีเครื่องบิน 20 ลำ เท่ากับ 1669 วินาที

ในส่วนของ การแก้ไขปัญหการเข้าใกล้กันบริเวณเขตประชิดท่าอากาศยานส่วนบน ในกรณีที่เครื่องบินแต่ละลำตรวจพบว่าเข้าใกล้กัน เครื่องบินลำที่จะแก้ไขปัญหานั้นต้องทำการเปลี่ยนแปลงระดับความสูงเพื่อแก้ไขปัญหการเข้าใกล้กัน ดังรูป 4.15



รูปที่ 4.15 การเข้าใกล้กันของเครื่องบินบริเวณเขตประชิดท่าอากาศยานส่วนบนเครื่องบิน 20 ลำ

ในส่วนของ การแก้ไขปัญหการเข้าใกล้กันบริเวณเขตประชิดท่าอากาศยานส่วนกลาง ในกรณีที่เครื่องบินแต่ละลำตรวจพบว่าเข้าใกล้กัน เครื่องบินลำที่อยู่ในตำแหน่งต่ำกว่าจะทำการเพิ่มความเร็วจึงแก้ไขปัญหการเข้าใกล้กัน ดังรูป 4.16



รูปที่ 4.16 การเข้าใกล้กันของเครื่องบินบริเวณเขตประชิดท่าอากาศยานส่วนกลางเครื่องบิน 20 ลำ

ตารางที่ 4.12 เปรียบเทียบผลการทดลองของเครื่องบินเข้าสู่เขตประชิดท่าอากาศยาน 20 ลำ

ประเภท	จำนวนการเข้า ใกล้กันของ เครื่องบินสอง ลำ(ครั้ง)	จำนวนการเข้า ใกล้กันของ เครื่องบินสาม ลำ (ครั้ง)	ค่าเฉลี่ย เวลา (วินาที)	ค่า เบี่ยงเบน มาตรฐาน
กรณีมีผู้ควบคุมการจราจรทาง อากาศ				
- 2 เส้นทาง	3	0	2183	7.43
- 3 เส้นทาง	2	2	1894	8.32
กรณีการควบคุมการจราจรทาง อากาศแบบกระจายการควบคุม			1669	111.85
- บริเวณเขตประชิดท่า อากาศยานส่วนบน	41	0		
- บริเวณเขตประชิดท่า อากาศยานส่วนกลาง	161	28		

เมื่อทำการเปรียบเทียบระหว่างกรณีมีการควบคุมการจราจรทางอากาศแบบกระจายการควบคุมกับกรณีมีผู้ควบคุมการจราจรทางอากาศของเครื่องบิน 20 ลำ พบว่า กรณีมีการควบคุมการจราจรทางอากาศแบบกระจายการควบคุม เครื่องบินมีโอกาสเข้าใกล้กันทั้งในบริเวณเขตประชิดท่าอากาศยานส่วนบนและส่วนกลาง และเวลาเฉลี่ยของเครื่องบินตั้งแต่เข้าสู่เขตประชิดท่าอากาศยานจนกระทั่งลงจอดในการทดลองทั้ง 30 ครั้ง เท่ากับ 1669 วินาที ส่วนกรณีมีผู้ควบคุมการจราจรทางอากาศเครื่องบินนั้นจะไม่มีโอกาสเข้าใกล้กันบริเวณเขตประชิดท่าอากาศยานส่วนบนเลย เพราะเมื่อมีผู้ควบคุมการจราจรทางอากาศ ผู้ควบคุมจราจรทางอากาศจะทำการจัดเรียงเครื่องบินที่จะทำการลงจอด โดยเว้นระยะห่างและคำนึงถึงการเข้าใกล้กันเรียบร้อยแล้วจึงไม่พบการเข้าใกล้กันในบริเวณนี้ แต่จะสามารถเข้าใกล้กันบริเวณเขตประชิดท่าอากาศยานส่วนกลางและเวลาเฉลี่ยของเครื่องบินตั้งแต่เข้าสู่เขตประชิดท่าอากาศยานจนกระทั่งลงจอดซึ่งจัดเป็นสองเส้นทางและสามเส้นทางเท่ากับ 2183 วินาที และ 1894 วินาที ตามลำดับ ซึ่งพบว่าใช้เวลานานกว่ากรณีที่มีการควบคุมการจราจรทางอากาศแบบกระจายการควบคุม เพราะเมื่อมีผู้ควบคุมการจราจรทางอากาศ ผู้ควบคุมจราจรทางอากาศจะทำการจัดเรียงเครื่องบินที่จะทำการลงจอด โดยเว้นระยะห่างเพื่อความปลอดภัยและคำนึงถึงการเข้าใกล้กันเรียบร้อยแล้ว แต่จะทำให้เกิดความล่าช้าในการลงจอดด้วยเช่นกัน

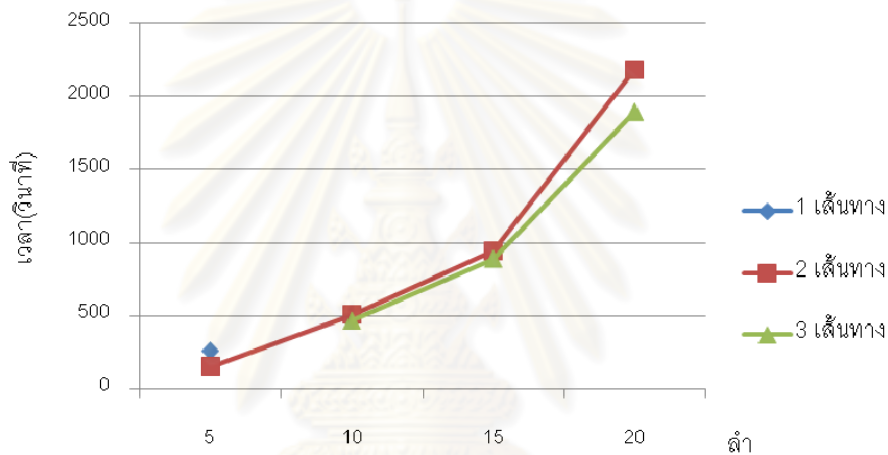
จากการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่า เมื่อมีเครื่องบินเข้าสู่เขตประชิดท่าอากาศยานพร้อมกัน 20 ลำ การมีผู้ควบคุมจราจรทางอากาศจะพบจำนวนการเข้าใกล้กันของเครื่องบินน้อยกว่าการที่มีการควบคุมการจราจรทางอากาศแบบกระจายการควบคุม เพราะผู้ควบคุมจราจรทางอากาศจะทำการจัดเรียงเครื่องบินเพื่อป้องกันการเข้าใกล้กันของเครื่องบินเรียบร้อยแล้ว แต่ก็พบว่าเวลาเฉลี่ยของเครื่องบินตั้งแต่เข้าสู่เขตประชิดท่าอากาศยานจนกระทั่งลงจอดจะมากกว่าเพราะผู้ควบคุมการจราจรทางอากาศจะจัดเรียงเครื่องบินให้มีระยะห่างอย่างเหมาะสม ทำให้เวลาในการลงจอดของเครื่องบินล่าช้ากว่ากรณีการควบคุมการจราจรทางอากาศแบบกระจายการควบคุม ซึ่งแสดงให้เห็นว่าผลการทดลองนี้ได้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ที่สามารถจำลองการเข้าใกล้กันของเครื่องบิน และทำการตรวจพบการเข้าใกล้กันและทำการแก้ไขปัญหการเข้าใกล้กันของเครื่องบินกรณีที่มีการควบคุมการจราจรทางอากาศแบบกระจายการควบคุมได้ นอกจากนี้วิธีที่ผู้วิจัยเสนออีก สามารถตรวจสอบได้ว่าเครื่องบินลำใดบ้างเกิดการเข้าใกล้กัน และแสดงการลงจอดของเครื่องบินแต่ละลำได้อย่างทันกาล

#### 4.3 วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

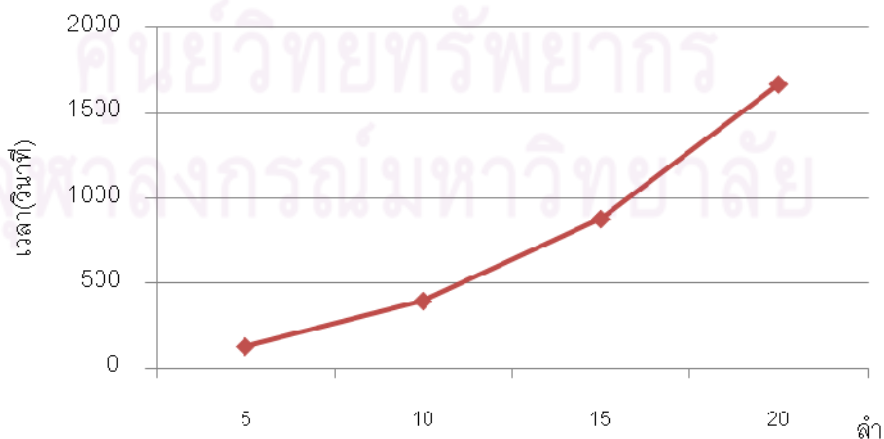
ในการทดลองเพื่อทดสอบการจำลองสำหรับแก้ปัญหาการเข้าใกล้กันของเครื่องบินกรณีมีผู้ควบคุมการจราจรทางอากาศและกรณีการควบคุมการจราจรทางอากาศแบบกระจายโดยที่มีเครื่องบินเข้าใกล้กันห้าลำ, 10 ลำ, 15 ลำ และ 20 ลำ จะให้ผลการทดลองที่คล้ายคลึงกัน นั่นคือการทดลองที่มีผู้ควบคุมจราจรทางอากาศโดยผู้วิจัยจะทำหน้าที่เป็นผู้ควบคุมการจราจรทางอากาศจะพบจำนวนการเข้าใกล้กันของเครื่องบินน้อยกว่าการที่มีการควบคุมการจราจรทางอากาศแบบกระจายการควบคุม เพราะผู้ควบคุมการจราจรทางอากาศจะทำการจัดเรียงเครื่องบินเพื่อป้องกันการเข้าใกล้กันของเครื่องบินเรียบร้อยแล้ว แต่ก็พบว่าเวลาเฉลี่ยของเครื่องบินตั้งแต่เข้าสู่เขตประชิดท่าอากาศยานจนกระทั่งลงจอดจะมากกว่าเพราะผู้ควบคุมการจราจรทางอากาศจะจัดเรียงเครื่องบินให้มีระยะห่างอย่างเหมาะสม ทำให้เวลาในการลงจอดของเครื่องบินล่าช้ากว่ากรณีการควบคุมการจราจรทางอากาศแบบกระจายการควบคุมอีกด้วย นอกจากนี้เมื่อมีเครื่องบินลำใดๆเข้าใกล้กัน ก็สามารถตรวจสอบได้ว่าเป็นเครื่องบินลำที่เท่าไร และเข้าใกล้กันบริเวณเขตประชิดท่าอากาศยานส่วนใด แต่ถ้ามีจำนวนเครื่องบินที่เข้าสู่เขตประชิดท่าอากาศยานพร้อมๆกันจำนวนมาก คือ เครื่องบินจำนวนตั้งแต่ 10 ลำเป็นต้นไป ในการสังเกตการเข้าใกล้กันของเครื่องบินจะยากขึ้นเนื่องจากโอกาสที่เครื่องบินจะเข้าใกล้กันยิ่งเพิ่มขึ้นและจะแสดงผลในรูปแบบทันกาล

ในส่วนของการวิเคราะห์เวลาในการเข้าถึงเขตประชิดท่าอากาศยานจนกระทั่งลงจอดของเครื่องบินกับจำนวนเส้นทางการบินกรณีมีผู้ควบคุมการจราจรทางอากาศ พบว่า เมื่อจำนวน

เครื่องบินเพิ่มมากขึ้น ในการจัดเรียงเครื่องบินเพื่อทำการลงจอด ถ้าจัดเรียงเครื่องบินเข้าสู่สนามบินหลายเส้นทางจะทำให้เครื่องบินใช้เวลาในการเข้าถึงเขตประชิดท่าอากาศยานจนกระทั่งลงจอดน้อยกว่าดังรูปที่ 4.17 เช่น กรณีเครื่องบินเข้าสู่เขตประชิดท่าอากาศยานพร้อมกัน 20 ลำ เมื่อจัดเรียงเครื่องบินเข้าสู่เส้นทางสองเส้นทางจะใช้เวลา 2183 วินาที และเมื่อจัดเรียงเครื่องบินเข้าสู่เส้นทางสามเส้นทางจะใช้เวลาเพียง 1894 วินาที เป็นต้น ส่วนเวลาในการเข้าถึงเขตประชิดท่าอากาศยานจนกระทั่งลงจอดของเครื่องบินกับจำนวนเครื่องบินกรณีการควบคุมการจราจรทางอากาศแบบกระจายพบว่าเมื่อจำนวนเครื่องบินมากขึ้นก็จะทำให้เวลาในการเข้าถึงเขตประชิดท่าอากาศยานจนกระทั่งลงจอดของเครื่องบินมากขึ้นเช่นเดียวกัน ดังรูปที่ 4.18 ซึ่งในส่วนนี้ก็สอดคล้องกับงานวิจัยอีกหลายงานดังสรุปไว้ในบทที่ 5



รูปที่ 4.17 เวลาเฉลี่ยตั้งแต่เครื่องบินเข้าสู่เขตประชิดท่าอากาศยานจนกระทั่งลงจอด กรณีมีผู้ควบคุมการจราจรทางอากาศ



รูปที่ 4.18 เวลาเฉลี่ยตั้งแต่เครื่องบินเข้าสู่เขตประชิดท่าอากาศยานจนกระทั่งลงจอด กรณีการควบคุมการจราจรทางอากาศแบบกระจายการควบคุม

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ ได้นำเสนอวิธีการแก้ไขปัญหาการเข้าใกล้กันของเครื่องบินด้วยวิธีการจำลองด้วยคอมพิวเตอร์ โดยได้มีการทำการทดลองและวิเคราะห์ผลไว้อย่างละเอียดที่นำเสนอในบทที่ 4 ซึ่งจะเห็นได้ว่าวิธีที่นำเสนอสามารถจำลองการเข้าใกล้กันของเครื่องบินและทำการแก้ไขปัญหาได้โดยมีจำนวนของเครื่องบินมากกว่าวิธีอื่นๆ โดยผลการวิจัยทั้งหมดที่ได้นำเสนอไปนั้น สามารถสรุปได้ดังนี้

#### 5.1 สรุปผลการวิจัย

ในการแก้ไขปัญหาการเข้าใกล้กันของเครื่องบินจากการจำลองด้วยคอมพิวเตอร์ ในงานวิจัยนี้ได้เสนอวิธีในการตรวจสอบการเข้าใกล้กัน และได้สร้างโปรแกรมเพื่อทำการแก้ปัญห การเข้าใกล้กัน เพื่อเป็นการประมาณสถานการณ์จริงได้อย่างแม่นยำขึ้น โดยใช้ข้อมูลจริงใน ส่วนของพารามิเตอร์ของเครื่องบิน และระยะห่างในการเข้าใกล้กันของเครื่องบิน ซึ่งในการทำวิธีนี้ จำเป็นต้องใช้สมการคณิตศาสตร์ในการช่วยในการแก้ไขปัญหามาก เพื่อที่จะสร้าง โปรแกรมในการตรวจสอบการเข้าใกล้กันและแก้ไขปัญหานั้นๆ ประกอบกับจำลองการลงจอดของ เครื่องบินที่สมจริงที่สุด แต่ปัญหาสำคัญของงานวิจัยนี้ คือ ใช้เพียงพารามิเตอร์ของเครื่องบินเพียง รุนเดียวเท่านั้น เนื่องจากถ้าใช้พารามิเตอร์ของเครื่องบินที่เป็นไปได้ทั้งหมด จะทำให้ขั้นตอนวิธีใน การสร้างโปรแกรมตรวจสอบการเข้าใกล้กันและการแก้ไขปัญหาการเข้าใกล้กันนั้นซับซ้อนอย่าง มาก นอกจากนี้ยังทำการเปรียบเทียบการแก้ไขปัญหการเข้าใกล้กันระหว่างกรณีที่มีผู้ควบคุม การจราจรทางอากาศในการช่วยแก้ไขปัญหการเข้าใกล้กันของเครื่องบิน กับกรณีที่มีการควบคุม การจราจรทางอากาศแบบกระจายการควบคุม (Distributed Decentralize Control) นั่นคือ มีผู้ ควบคุมจราจรทางอากาศประจำสนามบินแต่ไม่ได้ช่วยในการแก้ไขปัญหการเข้าใกล้กันและทำ การจัดเรียงเครื่องบินเพื่อทำการลงจอด ซึ่งในการทำการทดลองส่วนนี้จะทำให้เห็นความแตกต่าง จากงานวิจัยอื่นๆมาก และที่สำคัญจำนวนเครื่องบินที่ใช้ทดสอบในวิธีอื่นๆจะมีข้อจำกัดใน การศึกษา เพราะบางวิธีในการเพิ่มจำนวนเครื่องบินทำให้เพิ่มแนวทางการแก้ไขเป็นจำนวนมาก แต่สำหรับวิธีนี้สามารถเพิ่มจำนวนเครื่องบินในปริมาณมากขึ้นกว่าวิธีอื่นๆได้อย่างไม่จำกัด และใน การตรวจสอบการเข้าใกล้กันก็สามารถแสดงผลการเข้าใกล้กันของเครื่องบินแต่ละลำว่าเครื่องบิน

ลำโพงเข้าใกล้กับเครื่องบินลำโพง ที่บริเวณเขตประชิดท่าอากาศยานส่วนใด ประกอบกับการแก้ไข ปัญหาการเข้าใกล้กัน โดยในบริเวณเขตประชิดท่าอากาศยานส่วนบนเครื่องบินจะแก้ปัญหาโดยการเปลี่ยนแปลงความสูง ในบริเวณเขตประชิดท่าอากาศยานส่วนกลางเครื่องบินจะแก้ปัญหาโดยการเปลี่ยนแปลงความเร็ว

จากผลการทดลองนั้นได้นำวิธีนี้ไปเทียบกับวิธีที่ใช้การประยุกต์ขั้นตอนทางพันธุกรรมซึ่งเป็นวิธีที่ค้นหาการแก้ไขปัญหาการชนกันของเครื่องบินที่เหมาะสม จึงสรุปได้ว่า ในการค้นหาแนวทางการแก้ไขปัญหาเครื่องบินเข้าใกล้กันโดยอาศัยการประยุกต์รูปแบบขั้นตอนทางพันธุกรรม (Genetic Algorithm)[5, 6] ในบริเวณจราจรทางอากาศตามเส้นทางบินมีประสิทธิภาพที่ดีกว่า เพราะวิธีขั้นตอนทางพันธุกรรมนั้น เมื่อเครื่องบินมีจำนวนมากขึ้นก็จะค้นหาแนวทางแก้ไขหลายแนวทางมากขึ้น แต่วิธีที่นำเสนอนี้สามารถรองรับปริมาณเครื่องบินในจำนวนที่มากกว่า สามารถกำหนดความเร็วและพารามิเตอร์ให้ใกล้เคียงกับเครื่องบินจริงและสามารถแสดงผลการแก้ปัญหา นั้นๆ ได้แบบทันกาล จากนั้นเมื่อนำผลการทดลองของงานวิจัยฉบับนี้ไปเทียบกับวิธี RR3D[10] พบว่าในการนำแนวคิดในการแก้ไขปัญหาโดยอาศัยวิธีทั้งสามแบบ นั้นคือ ค้นหาแนวทางการหลีกเลี่ยงปัญหาเครื่องบินเข้าใกล้กัน, กำหนดแนวทางที่ไม่สามารถแก้ไขปัญหาในกรณีศึกษา นั้นๆ ได้ และค้นหาแนวทางที่มีการเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุด ในการนำทั้งสามแนวคิดมาผสานเพื่อให้ได้มาซึ่งแนวทางแก้ไขที่ดีที่สุดนั้น ก็ยังคงเป็นแนวทางที่ไม่สามารถปฏิบัติได้จริง ส่วนแนวทางของวิธีที่งานวิจัยนี้ได้นำเสนอ นั้นจะกำหนดว่าในแต่ละบริเวณจะทำการแก้ไขปัญหาการเข้าใกล้กันอย่างไร ทำให้สามารถแก้ไขปัญหานั้นได้แน่นอนและเป็นขั้นตอนมากกว่า และสามารถทดสอบกับเครื่องบินในจำนวนที่มากกว่าได้ด้วย นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบกับ การตรวจสอบการเข้าใกล้กันกับวิธีอาศัย ปริมาตรปกคลุมเชิงลำดับชั้น (Bounding Volume Hierarchy: BVH) [11] วิธีนี้จะทำการปรับปรุง ทรวงกลมที่ครอบวัตถุให้กระชับกับขนาดวัตถุเพื่อเป็นการเพิ่มความเร็วในการตรวจสอบการชน แต่ ผลการทดลองที่ได้จากงานวิจัยฉบับนี้สามารถตรวจสอบการชนได้รวดเร็วกว่า เพราะจะมี ทรวงกระบอกที่แสดงระยะห่างมาตรฐานในการปกคลุมโมเดลเครื่องบิน ในการตรวจสอบว่า เครื่องบินที่มีทรวงกระบอกครอบเหล่านั้นมีการชนกันหรือไม่ และมีการแก้ไขปัญหามีการชนกัน ของทรวงกระบอกที่ครอบนั้นอย่างไร

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยฉบับนี้ทำการทดลองโดยที่มีผู้ควบคุมการจราจรทางอากาศแบบการกระจายการ ควบคุม (Distributed Decentralize Control) ซึ่งยังไม่สามารถพัฒนาให้ไม่มีผู้ควบคุมการจราจร ทางอากาศได้ทั้งหมด เพราะมีข้อจำกัดในเรื่องการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องบิน ให้เครื่องบิน



เหล่านี้ติดต่อสื่อสารหรือส่งสัญญาณบางอย่างระหว่างกันเพื่อจัดลำดับการลงจอดของเครื่องบินเองได้ งานวิจัยที่สามารถพัฒนาได้ต่อไป นั่นคือ การปรับทรงกระบอกครอบเครื่องบิน ซึ่งต้องใช้สมการคณิตศาสตร์ช่วยในการคำนวณความเร็วของเครื่องบินแต่ละลำ และแรงลมปะทะของเครื่องบินด้วย เพื่อจะเป็นประโยชน์ในการประมาณการณ์สถานการณ์จริง การพัฒนาเพิ่มเติมสามารถครอบคลุมการเปลี่ยนแปลงความเร็วของวัตถุบินได้ในบริเวณทดสอบเพื่อให้ใกล้เคียงกับสถานการณ์จริงในบริเวณศึกษามากขึ้น รวมถึงประยุกต์ใช้กับการสร้างภาพเคลื่อนไหวอัตโนมัติของการบินที่ต้องการความสมจริงซึ่งยากต่อการวาดด้วยมนุษย์ นอกจากนี้ยังสามารถนำไปพัฒนาในส่วนของวัตถุบินได้อื่นๆ ในการป้องกันการเข้าใกล้กัน เช่น นก ผีเสื้อ เป็นต้น ซึ่งวัตถุบินได้เหล่านี้จะไม่มีกำหนดทรงกระบอกครอบเพื่อแสดงระยะห่างมาตรฐาน เนื่องจากวัตถุบินได้เหล่านี้เป็นรูปแบบที่สามารถอยู่ด้วยกันเป็นกลุ่มเป็นฝูง การที่วัตถุบินได้เหล่านี้บินเข้าใกล้กันในงานของคอมพิวเตอร์กราฟิกส์ ควรจะมีอัลกอริทึมที่สามารถทำให้วัตถุบินได้เหล่านี้สามารถบินหลบหลีกกันให้เป็นรูปแบบตามธรรมชาติได้



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## รายการอ้างอิง

- [1] นระ คมนามูล. (2551). เทคโนโลยีการขนส่งทางอากาศ: การบินพลเรือนและการควบคุมจราจรทางอากาศ, สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี.
- [2] นิลุบล ไอรูศิลป์. (2549). กลศาสตร์การบิน 1 กองการศึกษาโรงเรียนนายเรืออากาศ กองบัญชาการฝึกศึกษาทหารอากาศ.
- [3] Lewis, C. E. D. J. E. (2003). Flight Theory and Aerodynamics : A Practical Guide for Operational Safety.
- [4] Lan, R. J. a. C.-T. E. (1997). Takeoff and Landing : Airplane Aerodynamics and Performance, Design, Analysis and Research Corporation.
- [5] Alliot, D. N. a. J. M. (2003). Optimal Resolution of En Route Conflicts. Air Traffic Management Seminar.
- [6] Durand N, J. M. A., O Chansou (2001). Optimal Resolution of En Route Conflicts. In Proceedings of ATM2001.
- [7] Niedringhaus W.P., I. F., J.C. Corbin, A.H. Gisch, N.J. Taber and F.H. Leiber. (1983). Automated En Route Air Traffic Control Algorithmic Specification: Flight Plan Conflict Probe. In Proceedings of ATM 2001 EuroControl.
- [8] Bicchi A., P. L. (2000). Optimal Conflict Resolution for Air Traffic Control. Intelligent Transportation Systems 2000. Proceedings. IEEE.pp.167-172.
- [9] Durand N., J. M. A., and Joseph Noailles. (1996). Automatic aircraft conflict resolution using genetic algorithms. In Proceedings of the Symposium on Applied Computing Philadelphia. ACM.pp.289-298.
- [10] Alfon G.S., M. C., D.Gilles and Flore K.N., (2002). Air Traffic Conflict Resolution and Recovery., Univ. Space Research Association.pp.4-6.
- [11] Kavan L, Z. J. (2005). "Fast collision detection for skeletally deformable models." Computer Graphics Forum, pp.363-372.
- [12] Trani, A. A. (2003). Analysis of Air Transportation Systems : The Aircraft and the System. NEXTOR - National Center of Excellence for Aviation Research: 1-51.

- [13] Resmerita S., M. H. a. G. M. (2003). A Framework for Conflict Resolution in Air Traffic Management. 42nd IEEE Conference on Decision and Control.pp.2035-2040.



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายสรศักดิ์ ไชยเลิศ เกิดวันที่ 16 มิถุนายน พ.ศ. 2522 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาที่โรงเรียนยุพราชวิทยาลัย จากนั้นจึงเข้าศึกษาต่อที่คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม ในปีการศึกษา 2543 จึงสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมโยธาและเข้าศึกษาต่อที่คณะรัฐศาสตร์ เอกบริหารรัฐกิจ มหาวิทยาลัยรามคำแหง ในปีการศึกษา 2546 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาโท สาขาวิชาศิลปศาสตรบัณฑิต (รัฐศาสตร์) จากนั้นเข้าศึกษาในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ที่ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีการศึกษา 2550



ศูนย์วิทยพัชการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย