JIST Journal of Information Science and Technology
Volume 13, NO 2 | JUL – DEC 2023 | 32-39
ISSN: 2651-1053 (Online)
ISSN: 1906-9553 (Print)

โปรแกรมการจำลองอากาศยานในเรดาร์ทุติยภูมิสำหรับฝึกอบรมการป้องกันทางอากาศ

Flight Simulator Program in Secondary Surveillance for Air Defense Training

พลวัฒน์ คำแล[1,2] วรวัฒน์ เชิญสวัสดิ์[2] และ กิ่งกาญจน์ สุขคณาภิบาล[2]*

Ponlawat Khamlae[1,2] Worawat Choensawat[2] and Kingkarn Sookhanaphibarn[2]*

[1]คณะเทคโนโลยีสารสนเทศและนวัตกรรม สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศและวิทยาการข้อมูล

[1]School of Information Technology and Innovation Department of Information Technology and Data Science

[2]ศูนย์นวัตกรรมพิเศษเฉพาะทาง มหาวิทยาลัยกรุงเทพ ถนนพหลโยธิน ต.คลองหนึ่ง อ.คลองหลวง ปทุมธานี

[2]Center of Specialty Innovation (CoSI), Bangkok University

Phaholyothin Road, Klong Nueng Subdistrict, Klong Luang District, Pathum Thani

Received: May 31, 2023; Revised: December 15, 2023; Accepted: December 20, 2023; Published: December 29, 2023

ABSTRACT – This article presents a program for simulating aircraft in radar airspace for air defense training. The program is specifically designed for close-range and medium-range radar systems, which are crucial in training personnel to detect radar signals without the need for actual aircraft flights. The simulation program can replicate various scenarios, including training exercises with multiple radar systems and realistic situations with a dense number of aircraft. The article introduces an innovation that utilizes the simulation program, generating synthetic radar data from real data collected by FlightRadar24. The program features include: 1) simulating real data collected from FlightRadar24, 2) simulating data with noise synthesis techniques applied to actual data, and 3) generating diverse data using individual flight synthesis and air traffic density synthesis techniques. Experimental results demonstrate that the simulation program can be effectively utilized in real air defense systems.

KEYWORDS: ATC Simulation Software, ATC Training, Flight Safety, Flight Simulation, Radar System, Air Traffic Control Training

บทคัดย่อ -- บทความนี้นำเสนอโปรแกรมการจำลองอากาศยานในเรดาร์ทุติยภูมิสำหรับฝึกอบรมการป้องกันทางอากาศ โปรแกรมนี้ใช้กับระบบเรดาร์พิสัยใกล้และพิสัยกลางเป็นส่วนสำคัญที่ช่วยให้เจ้าหน้าที่สามารถฝึกฝนทักษะการตรวจจับเรดาร์ได้โดยไม่จำเป็นต้องนำเครื่องบินขึ้นบินจริงเพื่อฝึกซ้อม โดยโปรแกรมจำลองนี้สามารถจำลองสถานการณ์ต่างๆ ได้ เช่น การฝึกซ้อมด้วยเรดาร์หลายตัวและในสถานการณ์จริงที่มีจำนวนอากาศยานที่หนาแน่นได้ บทความนี้นำเสนอนวัตกรรมใหม่ที่ใช้โปรแกรมจำลองอากาศยานในเรดาร์ที่สังเคราะห์จากข้อมูลจริงที่เก็บรวบรวมจาก FlightRadar24 โดยตัวโปรแกรมมีคุณสมบัติดังนี้ 1) จำลองข้อมูลที่เก็บรวบรวมจาก FlightRadar24 2) จำลองข้อมูลจากเทคนิคการสังเคราะห์สัญญาณรบกวน (noise

**Corresponding Author: worawat.c@bu.ac.th*

synthesis) **3) จำลองข้อมูลที่หลากหลายโดยใช้เทคนิคแบบสังเคราะห์เดี่ยว และสังเคราะห์ความหนาแน่นของการจราจรทางอากาศ ผลการทดลองชี้ให้เห็นว่าระบบสามารถนำโปรแกรมจำลองนี้ไปใช้จริงกับระบบป้องกันภัยทางอากาศได้**

คำสำคัญ: ซอฟต์แวร์จำลอง ATC, การฝึกอบรม ATC, ความปลอดภัยการบิน, การจำลองการบิน, ระบบเรดาร์, การฝึกอบรมผู้ควบคุมจราจรทางอากาศ

1. บทนำ

ระบบป้องกันภัยทางอากาศใช้ระบบเรดาร์และเซ็นเซอร์อื่นๆ ในการตรวจจับและติดตามเครื่องบินที่เข้ามา ประสิทธิภาพของระบบเหล่านี้ขึ้นอยู่กับผู้ปฏิบัติงานที่ได้รับการฝึกอบรมอย่างเชี่ยวชาญเพื่อใช้งาน ระบบเครื่องช่วยฝึกป้องกันภัยทางอากาศใช้สำหรับฝึกเจ้าหน้าที่ให้วางแผนต่อรูปแบบการบินที่เรดาร์ตรวจจับได้และตอบสนองต่อภัยคุกคามทางอากาศ

โปรแกรมจำลองอากาศยานในระบบเรดาร์ทุติยภูมิ (ระบบเรดาร์พิสัยใกล้และพิสัยกลาง) เป็นส่วนหนึ่งของเครื่องช่วยฝึกที่ทำหน้าที่สำคัญในบริบทนี้ ช่วยให้เจ้าหน้าที่สามารถฝึกฝนทักษะการตรวจจับเรดาร์ได้โดยไม่จำเป็นต้องนำเครื่องบินขึ้นบินจริงเพื่อฝึกซ้อม โปรแกรมสามารถจำลองสถานการณ์ต่างๆ เช่น การฝึกซ้อมด้วยเรดาร์ตรวจจับพิสัยใกล้และพิสัยกลางหลายตัวและในสถานการณ์จริงที่มีจำนวนอากาศยานที่หนาแน่นได้

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นไปที่การพัฒนาโปรแกรมจำลองเรดาร์ทุติยภูมิที่ได้รับข้อมูลการบินจริงจาก FlightRadar24 ภายในขอบเขตที่กำหนด และสร้างข้อมูลเรดาร์ (หมายถึงอากาศยานที่จำลองขึ้นมา) สำหรับระบบป้องกันภัยทางอากาศ โปรแกรมจำลองมีคุณสมบัติดังนี้

1) จำลองข้อมูลที่เก็บรวบรวมจาก FlightRadar24

2) จำลองข้อมูลจากเทคนิคการสังเคราะห์สัญญาณรบกวน (noise synthesis) บนข้อมูลจริง

3) จำลองข้อมูลที่หลากหลายโดยใช้เทคนิคแบบสังเคราะห์เดี่ยว (Individual flight synthesis) และจำลองการหนาแน่นของการจราจรทางอากาศ

คุณสมบัติของโปรแกรมจำลองเรดาร์การบินนี้ช่วยให้สามารถสร้างรูปแบบสถานการณ์ต่างๆ ในพื้นที่ที่กำหนดได้ โปรแกรมจำลองเรดาร์ทุติยภูมิเป็นเครื่องมือสำหรับการฝึกป้องกันภัยทางอากาศ

2.ทบทวนวรรณกรรม

2.1 การจำลองเรดาร์ในการฝึกป้องกันภัยทางอากาศ

การจำลองอากาศยานในเรดาร์ทุติยภูมิเป็นองค์ประกอบสำคัญในการฝึกการป้องกันทางอากาศ เนื่องจากช่วยอำนวยความสะดวกในการจัดหาเป้าหมายจำลองเพื่อวัตถุประสงค์ในการฝึกระบบป้องกันภัยทางอากาศ งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการฝึกต่อสู้ป้องกันภัยทางอากาศมีดังนี้

การออกแบบเป้าหมายโดยใช้การจำลองเป้าหมายที่ซับซ้อนเสนอโดย [1] และ [2] ซึ่งนำเสนอข้อมูลเชิงลึกเกี่ยวกับการประยุกต์ใช้โครงสร้างโมเดลแบบโมดูลาร์และแบบคอมโพเนนต์สำหรับการพัฒนากรอบและดำเนินการวิเคราะห์รายละเอียดของแบบจำลองเป้าหมายทางอากาศ (Computer Generated Forces: CGF) แบบจำลองที่ได้สามารถนำไปใช้อย่างมีประสิทธิภาพในการจำลองเรดาร์เพื่อฝึกต่อสู้สำหรับหน่วยปืนเพื่อป้องกันภัยทางอากาศ

กระบวนการลำดับชั้นการวิเคราะห์เพื่อประเมินประสิทธิภาพการรบของเรดาร์ป้องกันภัยทางอากาศสำหรับหน่วยภาคพื้นดิน อ้างอิงใน [3] และแบบจำลองการเผชิญหน้าระหว่างลำแสงเรดาร์ค้นหากับเป้าหมายได้นำเสนอใน [4] โดยคำนึงถึงขั้นตอนการปฏิบัติงานของเรดาร์ค้นหา ซึ่งงานวิจัยนี้ให้ข้อมูลที่เกี่ยวกับการคำนวณระยะเวลาการเผชิญหน้าระหว่างลำแสงเรดาร์ค้นหากับเป้าหมาย

กล่าวโดยสรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้องที่เกี่ยวข้องเป็นเรื่องการจำลองสถานการณ์ที่ไม่ได้ใช้ข้อมูลจริงของการบิน และในบทความนี้นำเสนอการใช้ข้อมูลการบินเป็นพื้นฐานในการจำลองข้อมูลเรดาร์ในฝึกอบรมเรื่องการป้องกันทางอากาศ

2.2 การแลกเปลี่ยนข้อมูลเรดาร์ทุติยภูมิด้วยโปรโตคอล ASTERIX

ระบบเรดาร์พิสัยใกล้และพิสัยกลางในปัจจุบันได้ใช้รูปแบบการแลกเปลี่ยนข้อมูลผ่านโปรโตคอล ASTERIX สำหรับการตรวจสอบการควบคุมการบิน ซึ่ง ASTERIX เป็นโปรโตคอลมาตรฐานสำหรับการส่งและแปลงข้อมูลการตรวจสอบอากาศยาน โดยโปรโตคอลนี้ถูกพัฒนาโดย EUROCONTROL ซึ่งเป็นการร่วมมือระหว่าง 41 ประเทศในยุโรปที่มีเป้าหมายในการรักษาการเฝ้าระวังทางอากาศให้มีความปลอดภัยและประสิทธิภาพ โปรโตคอลนี้ออกแบบมาสำหรับระบบที่มีแบนด์วิดท์จำกัด ซึ่งหมายความว่าข้อมูลถูกเก็บรักษาด้วยจำนวนบิตที่น้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้ ซึ่งทำให้สามารถส่งข้อมูลปริมาณมากได้ [5]

มาตรฐาน ASTERIX โดยใช้ Category 34 (CAT034) และ Category 48 (CAT048) ใช้ในการส่งข้อมูลจำลองของเรดาร์ โดยที่ Cat048 ระบุถึงข้อมูลของอากาศยาน หรือเรียกว่า target report มีและ Category 034 ระบุโครงสร้างของข้อความ North Marker service message (ข้อมูลของเรดาร์) [6]

"Target report" เป็นข้อความที่มีจำนวน Data Items คงที่ แต่ละ Data Item เป็นการรวมของไบต์หนึ่งตัวหรือมากกว่า โดยมีจุดประสงค์เพื่อให้ข้อมูลที่เฉพาะเจาะจงใน "target report" ข้อมูลใน Data Items จะถูกแปลงออกเป็นตัวเลขทศนิยม เช่น มุมอาซิมุท (Azimuth) ระยะทางจากเรดาร์ หรืออาจเป็นบิตที่มีข้อมูลเจาะจง เช่น 1 = เครื่องบินพลเรือน และ 0 = เครื่องบินทหาร Data Items จะถูกเรียงลำดับตามหมายเลขอ้างอิงเสมอ

โปรโตคอลมีคำอธิบายสำหรับแต่ละหมายเลขอ้างอิง ที่อธิบายข้อมูลใน Data Item แต่ละอัน [7] ASTERIX ประกอบด้วยหมวดหมู่ต่าง ๆ ที่ระบุไว้ในต้นของ "target report" ซึ่งระบุโครงสร้างของ "target report" และวิธีการตีความ

ตัวอย่างเช่น เลขฐาน 16 ต่อไปนี้เป็นตัวอย่างข้อมูลอากาศยานใน CAT048 (การแปลงความข้อมูลโดยละเอียดสามารถดูเพิ่มเติมที่ [7])

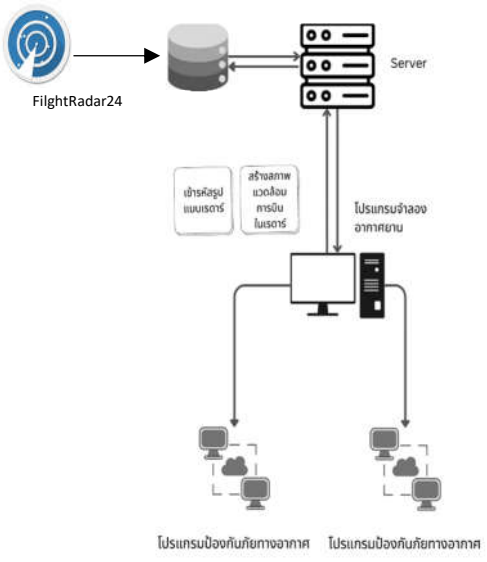
HEX:300021F9990900852027FC00410016E351950000977885311387FFFFFB370A65578

จากข้อมูลด้านบนสามารถแปลงความหมายได้ดังนี้:

- Time of Day, [s]: 20472
- ตำแหน่งอากาศยานวัดจากเรดาร์ในพิกัดเชิงขั้ว
    - RHO, [NM]: 22.88671875
    - THETA, [°]: 114.71923828125
- Mode-3/A Code 04567
- Aircraft Address: 8934161
- Aircraft Identification: THD024
- Track Number: 903
- ตำแหน่งอากาศยานวัดจากเรดาร์ในพิกัดคาร์ทีเซียน
    - X: -9.5703125 NM
    - Y: 20.7890625 NM
- ความสูง: 35000 ft

3.วิธีดำเนินงานวิจัย

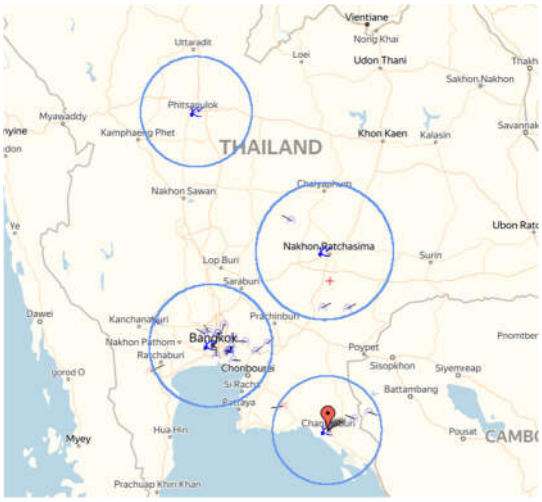
ในการศึกษานี้เริ่มด้วยการการเก็บรวมรวบข้อมูลการบิน บันทึกลงฐานข้อมูล กำหนดจำนวนและรัศมีการตรวจจับของเรดาร์แต่ละตัว เช่น เรดาร์ DR172-ADV [8] และเรดาร์ TRML3D [9] มีรัศมีการตรวจเป็น 140 กม. และ 200 กม. ตามลำดับ จากนั้นทำการจำลองข้อมูลการบินซึ่งรวมถึงข้อมูลต่างๆ เช่น ทิศทาง ความเร็ว ความสูง ฝ่าย (unknown, friendly, hostile และ อื่นๆ) และเวลาตอบสนอง เป็นต้น และส่งข้อมูลที่ได้จำลองไปยังระบบป้องกันภัยทางอากาศผ่านโปรโตคอล ASTERIX ดังที่แสดงในรูปที่ 1.



รูปที่ 1. แผนภาพการทำงานของระบบ

3.1 สร้างสภาพแวดล้อมการฝึกอบรมสำหรับเจ้าหน้าที่ป้องกันภัยทางอากาศ

3.1.1 การจำลองเรดาร์พิสัยใกล้และพิสัยกลางหลายตัว การจำลองสามารถจำลองระบบเรดาร์ต่างๆ โดยแต่ละระบบมีลักษณะการทำงานที่แตกต่างกัน สิ่งเหล่านี้สามารถใช้แยกกันหรือใช้ร่วมกัน โดยเลียนแบบสภาพแวดล้อมเรดาร์หลายตัวที่พบในสถานการณ์การป้องกันทางอากาศในโลกความเป็นจริง ดังรูปที่ 2.



รูปที่ 2. ภาพหน้าจอโปรแกรมจำลองอากาศยานในเรดาร์ทุติยภูมิ

3.1.2 การจำลองสามารถจำลองเครื่องบินประเภทต่างๆ ได้ ตั้งแต่เครื่องบินส่วนตัวขนาดเล็กไปจนถึงเครื่องบินพาณิชย์ขนาดใหญ่ เครื่องบินไอพ่นทหาร และเฮลิคอปเตอร์ เครื่องบินแต่ละประเภทมีลายเซ็นเรดาร์และลักษณะการบินที่แตกต่างกัน ซึ่งจำลองได้อย่างแม่นยำ

3.1.3 ความหนาแน่นของการจราจรทางอากาศที่แตกต่างกัน โปรแกรมจำลองสามารถสร้างสถานการณ์ที่มีระดับความหนาแน่นของการจราจรทางอากาศที่แตกต่างกัน ตั้งแต่ต่ำไปจนถึงสูง คุณสมบัตินี้ช่วยให้ผู้เข้ารับการฝึกอบรมสามารถฝึกฝนในสถานการณ์ต่างๆ ตั้งแต่การตรวจสอบน่านฟ้าเป็นประจำไปจนถึงการจัดการสถานการณ์ที่ซับซ้อนกับเครื่องบินจำนวนมากในน่านฟ้าที่จำกัด

3.2 วิธีการรับข้อมูลเที่ยวบินจริงจาก Flight Radar24 และสร้างข้อมูลเรดาร์

การพัฒนาโปรแกรมจำลองเรดาร์การบินเริ่มต้นด้วยการนำเข้าข้อมูลจาก FlightRadar24 API เพื่อบันทึกลงในฐานข้อมูล (MySQL) โดยมีขั้นตอนดังนี้

1) ขอ API Key จาก FlightRadar24 เพื่อใช้ในการเรียกข้อมูลผ่าน API ของ FlightRadar24

2) สร้างคำขอ (request) ไปยัง FlightRadar24 API เพื่อรับข้อมูลเกี่ยวกับอากาศยานที่อยู่ภายในพื้นที่ที่ระบุ ผ่านเมทอดหรือการร้องขอ HTTP (GET request) โดยเรียกใช้ API endpoint ของ FlightRadar24 และระบุพารามิเตอร์ที่ใช้ในการกำหนดพื้นที่ที่ต้องการเข้าถึงข้อมูล (latitude 1°39'00.0"N - 23°24'00.0"N และ longitude 94°18'00.0"E - 107°24'00.0"E) รูปที่ 3. แสดงอาณาเขตที่ใช้ในงานนี้

รูปที่ 3. อาณาเขตการรับข้อมูลจาก FlightRadar24 คลอบคลุม พื้นที่ประเทศไทย (1°39'00.0"N - 23°24'00.0"N และ 94°18'00.0"E - 107°24'00.0"E)

3) รับข้อมูลที่ได้จาก API และแปลงเป็นรูปแบบที่เหมาะสมและเกี่ยวข้องเช่น รหัสอากาศยาน (flight code), พิกัดทางภูมิศาสตร์ (latitude, longitude), ข้อมูลการบิน เป็นต้นสำหรับบันทึกลงในฐานข้อมูล รูปที่ 4. แสดงข้อมูลบางส่วนที่บันทึกในฐานข้อมูล

เมื่อได้รับข้อมูลนี้ โปรแกรมจำลองจะประมวลผลและสร้างข้อมูลเรดาร์ให้สอดคล้องกับเรดาร์ทุติยภูมิที่ใช้ เช่นการจำลองส่งข้อมูลอากาศยานสำหรับเรดาร์ DR172-ADV จะอัปเดตข้อมูลทุก ๆ 4 วินาที (1 รอบการหมุนของจานสายอากาศ) ในขณะที่ข้อมูลที่ได้จาก flightRadar24 นั้นไม่แน่นอน เช่น ทุก 30 วินาที – 1 นาที

จึงต้องมีการการแปลงข้อมูลที่ได้มาเป็นสัญญาณที่จำลองจากระบบเรดาร์ สามารถคำนวณตำแหน่งของอากาศยานโดยใช้ linear interpolation ระหว่างจุดข้อมูลที่อยู่ โดยสมการของตำแหน่งอากาศยานเป็นดังนี้:

$$P(t) = P_1 + (t - t_1)(\frac{P_2 - P_1}{t_2 - t_1})$$

โดยที่:

- *P(t)* คือตำแหน่งของอากาศยานในเวลา *t* ที่ต้องการคำนวณ
- P_1 และ P_2 คือตำแหน่งของอากาศยานในเวลา t_1 และ t_2 *ตามลำดับ*
- เวลา t_1 และ t_2 คือช่วงเวลาที่มีข้อมูลอยู่
- *t* คือเวลาที่ต้องการคำนวณตำแหน่ง

hex	address	lat	lon	heading	altitude	Speed	aircraftType	destination	departed	flightNumber	date-time
3002d64c	88809A	10.86	106.76	248	2025	226	A321	DAD	SGN	HVN145	2023-04-23 23:59:58
3002d8c5	750474	6.98	103.56	206	36025	443	A320	PNH	KUL	AXM535	2023-04-23 23:59:58
3002dea6	71C002	20.61	103.09	68	39000	512	A333	CNX	ICN	KAL668	2023-04-23 23:59:58
3002e1ec	3C4B21	3.06	101.21	290	28000	526	B748	SIN	FRA	DLH779	2023-04-23 23:59:58
3002e588	885103	14.96	104.26	70	39000	496	A359	BKK	ICN	THA658	2023-04-23 23:59:58
3002e60c	76CD76	2.56	102.73	301	23400	474	A388	SIN	LHR	SIA322	2023-04-23 23:59:58
3002e838	76B863	2.01	102.52	126	32975	446	A21N	PEN	SIN	TGW423	2023-04-23 23:59:58
3002ecb1	750422	5.81	103.24	17	37000	477	B38M	KUL	NRT	MXD872	2023-04-23 23:59:58
3002eefe	86D646	13.85	101.42	68	21950	418	B788	BKK	NRT	TZP52	2023-04-23 23:59:58
3002f130	8881AE	18.77	106.97	157	34575	456	A21N	HAN	SGN	VJC163	2023-04-23 23:59:58
30020d4c	896582	4.63	99.36	128	39050	440	A21N	SHJ	KUL	ABY802	2023-04-23 23:59:59
30022242	71C088	13.84	100.8	198	3000	206	B738	ICN	BKK	JJA2203	2023-04-23 23:59:59
300257fe	899134	3.41	104.88	220	34000	478	B77L	TPE	SIN	EVA6085	2023-04-23 23:59:59
30026785	801506	1.76	102.52	102	27825	448	A20N	TRZ	SIN	IGO1007	2023-04-23 23:59:59
3002690d	7503BF	2.5	101.93	236	5050	280	A320	HKG	KUL	AXM131	2023-04-23 23:59:59
30027b9c	75857E	3.19	103.79	260	34000	466	A321	MNL	KUL	CEB501	2023-04-23 23:59:59
3002834b	75833C	13.51	102.03	255	30475	462	A333	MNL	BKK	PAL740	2023-04-23 23:59:59
30029071	8880E1	16.1	97.8	308	34000	501	B789	SGN	FRA	HVN31	2023-04-23 23:59:59
30029f86	758532	10.9	106.95	276	5275	218	A321	MNL	SGN	CEB751	2023-04-23 23:59:59
3002b5f0	888156	10.82	106.66	249	100	149	A321	HPH	SGN	VJC283	2023-04-23 23:59:59

รูปที่ 4. ตัวอย่างข้อมูลที่ได้จาก FlightRadar24

การใช้สมการ linear interpolation นี้จะช่วยในการประมาณค่าตำแหน่งของอากาศยานในเวลาที่ไม่มีข้อมูลอยู่ โดยคำนึงถึงค่าตำแหน่งของอากาศยานในขณะที่มีข้อมูลอยู่ เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่เป็นไปได้ที่สุดในการประมาณค่าตำแหน่งของอากาศยานในช่วงเวลาที่ไม่มีข้อมูล

4.เทคนิคจำลองการบินและผลทดสอบ

4.1 การสังเคราะห์เส้นทางเฉพาะเครื่องบินหนึ่งลำ

การสังคราะห์เส้นทางเฉพาะเครื่องหนึ่งลำ (Individual flight synthesis) โดยเส้นทางการบินเดิมแสดงด้วยพิกัด ซึ่งแสดงเป็น l และ g แต่ละลำดับประกอบด้วย n จุดข้อมูลซึ่งสอดคล้องกับพิกัดละติจูดและลองจิจูดของเส้นทางการบินตามลำดับ

สำหรับ Gaussian noise จุดข้อมูลแต่ละจุดในลำดับใหม่จะคำนวณโดยการเพิ่มจำนวนสุ่มที่ดึงมาจากการแจกแจงแบบปกติที่มีค่าเฉลี่ย 0 และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ระบุ σ ไป ยังแต่ละพิกัดละติจูดและลองจิจูด สิ่งนี้แสดงทางคณิตศาสตร์เป็น

$l'i = li + Noise(k, \sigma^2)$ สำหรับละติจูด

$g'i = gi + Noise(\mathrm{k}, \sigma^2)$ สำหรับลองจิจูด

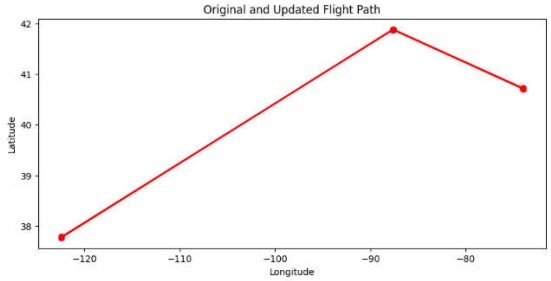
ข้อผิดพลาดของตำแหน่งสำหรับแต่ละจุดข้อมูลจะถูกคำนวณเป็นระยะทางระหว่างพิกัดดั้งเดิมและพิกัดที่เพิ่มสัญญาณรบกวน ระยะทางในปริภูมิ 2 มิติ เช่น พิกัดละติจูดและลองจิจูดคือระยะทางเส้นตรงระหว่างจุดสองจุด ในทางคณิตศาสตร์สำหรับแต่ละจุดข้อมูลของตำแหน่งผิดพลาด

$$E_i = \sqrt{(l'i - li)^2 + (g'i - gi)^2}$$

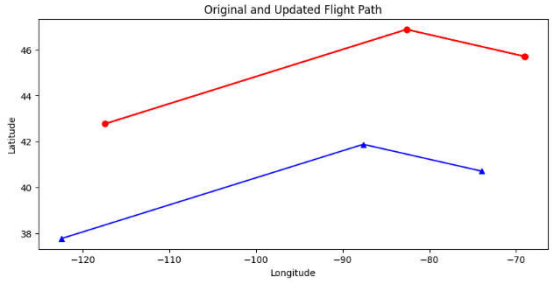
สูตรนี้จะคำนวณรากที่สองของผลรวมของกำลังสองของผลต่างระหว่างพิกัดละติจูดและลองจิจูดดั้งเดิมและพิกัดละติจูดและลองจิจูดที่เพิ่มสัญญาณรบกวน โดยให้ระยะทางเป็นเส้นตรงหรือข้อผิดพลาดระหว่างตำแหน่งดั้งเดิมและตำแหน่งที่เพิ่มสัญญาณรบกวน

ผลของการสร้างเส้นทาง

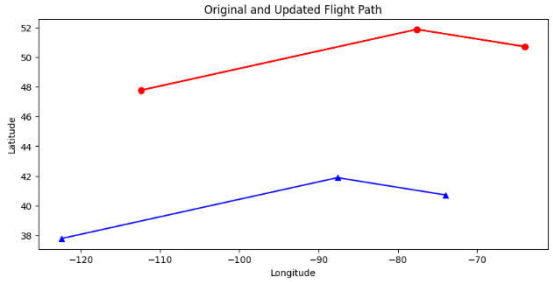
จากการคำนวนของเส้นทางเครื่องบินโดยมีค่ารบกวนเส้นทางจะได้จุดพิกัดที่มีตำแหน่งต่างไปจากจุดพิกัดดังเดิม โดยหากกำหนดค่า k เป็น 0 จะได้ค่าความต่างของพิกัดตำแหน่งไม่เปลี่ยนไปจากเดิมดูได้จากรูปที่ 5.



รูปที่ 4 difference positions with k = 0



รูปที่ 5. difference positions with k = 5



รูปที่ 6. difference positions with k = 10

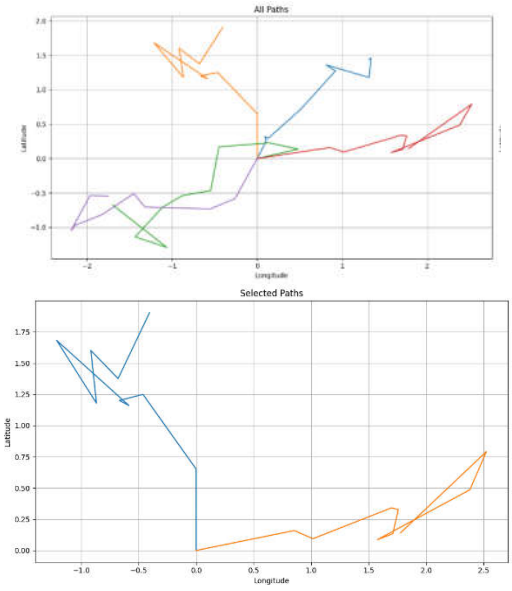
โดยหาก กำหนดค่า K มากกว่า 0 จะได้ค่าความต่างของพิกัดตำแหน่งเปลี่ยนไปจากเดิม จากรูปที่ 5 และ 6

4.2 การจำลองความหนาแน่นของการจราจรทางอากาศ

ในการทดลองนี้ได้นำเข้าข้อมูลการบินเป็นเวลา 24 ชั่วโมงสำหรับพื้นที่ที่กำหนดตามที่แสดงในรูปที่ 2. ประมาณข้อมูลที่นำเข้า 241,240 ระเบียนข้อมูล จากเที่ยวบินทั้งสิ้นจำนวน 5,137 เที่ยวบิน และเมื่อพิจารณาจำนวนเที่ยวบิน (ความหนาแน่นของการจราจรทางอากาศ) ณ. เวลาใดเวลาหนึ่งพบว่า ในพื้นที่ที่กำหนดมีความหนาแน่นของการจราจรทางอากาศมากที่สุดคือ 248 เที่ยวบินดังที่แสดงในรูปที่ 6 ซึ่งแสดงจำนวนเที่ยวบินในหนึ่งวัน ในงานนี้จึงกำหนดอัตราความหนาแน่นเป็น 1 ที่จำนวนอากาศยาน 248 ลำต่ออาณาเขตที่กำหนด

ตัวอย่างการสังเคราะห์ความหนาแน่นของการจราจรทางอากาศแสดงในรูปที่ 8. เช่นเลือกเส้นทางจากอัตราที่ต้องการอัตราความหนาแน่นที่ 0.4 จึงได้ที่อากาศยานที่แสดงจำนวน 2 ลำ จาก 5 ลำ และสังเคราะห์เส้นทาง 2 เส้นทางที่ต่างจากเส้นทางเดิมโดยใช้การสังเคราะห์ในหัวข้อ 4.1

รูปที่ 7. จำนวนเที่ยวบินตามช่วงเวลาต่าง ๆ ในหนึ่งวัน



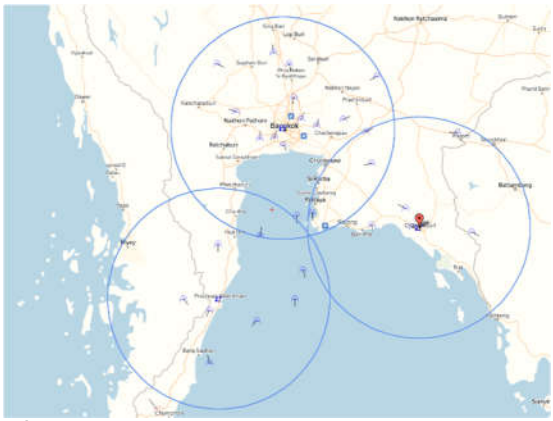
รูปที่ 8. เส้นทางบินทั้งหมดและเส้นทางที่สังเคราะห์

4.3 ผลของโปรแกรมจำลองอากาศยาน

ขั้นตอนวิธีการสังเคราห์เส้นทางเฉพาะเครื่องบินหนึ่งลำและการสังเคราห์ชุดข้องข้อมูลการบินในสถานการณ์จำลองสามารถนำมาใช้กับระบบป้องกันทางอากาศโดยมีตัวอย่างสถานการณ์แสดงในรูปที่ 9 ดังนี้

1) เรดาร์ทุติยภูมิจำนวน 3 ตัว ซึ่งมีพิสัยการค้นหาอากาศยานตามวงทั้งสาม

2) ใช้โปรแกรมจำลองอากาศยานโดยตั้ง 3 ตำแหน่งเรดาร์ทุติยภูมิ 3 ตัวตามตำแหน่งดังรูป โดยกำหนดค่าความหนาแน่นของการจำลองเท่ากับ 0.6



รูปที่ 9. สถานการณ์จำลองของข้อมูลเรดาร์ทุติยภูมิจากโปรแกรมจำลองที่นำเสนอ

5. สรุปผล

งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นถึงการจำลองอากาศยานในเรดาร์ทุติยภูมิสำหรับการฝึกป้องกันภัยทางอากาศ โดยใช้ข้อมูลเที่ยวบินจริงจาก FlightRadar24 โปรแกรมจำลองนี้จึงเป็นทางเลือกที่คุ้มค่าและมีประสิทธิภาพสำหรับ ช่วยให้เจ้าหน้าที่สามารถฝึกฝนทักษะการตรวจจับด้วยเรดาร์ในสภาพแวดล้อมที่สมจริง

ประโยชน์ที่สำคัญอย่างหนึ่งของโปรแกรมจำลองคือความสามารถในการสร้างสถานการณ์การฝึกอบรมที่หลากหลาย สิ่งนี้ทำได้โดยการจำลองเรดาร์พิสัยใกล้และพิสัยกลางหลายตัว เครื่องบินประเภทต่างๆ และความหนาแน่นของการจราจรทางอากาศที่แตกต่างกัน สถานการณ์การฝึกที่หลากหลายดังกล่าวช่วยให้เจ้าหน้าที่สามารถแยกความแตกต่างระหว่างเครื่องบินที่เป็นมิตรและข้าศึกได้อย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะอย่างยิ่งในสถานการณ์การจราจรทางอากาศที่มีความหนาแน่นสูง ซึ่งเป็นความท้าทายที่ผู้ปฏิบัติงานเหล่านี้มักเผชิญอยู่บ่อยครั้ง

การวิจัยเกี่ยวข้องกับการทดสอบและการคำนวณอย่างละเอียดเพื่อให้มั่นใจถึงความแม่นยำและการทำงานของโปรแกรมจำลอง ด้วยเหตุนี้ เส้นทางของเครื่องบินและสภาพแวดล้อมการบินจึงถูกสร้างขึ้นอย่างละเอียดเพื่อจำลองสถานการณ์ที่สมจริง ผลลัพธ์บ่งชี้ถึงศักยภาพของโปรแกรมจำลองในการเพิ่มความพร้อมและประสิทธิภาพของเจ้าหน้าที่ป้องกันทางอากาศ

เอกสารอ้างอิง

[1] Hao, J., Wang, X., Yang, S., Gao, H., Yu, C., & Xing, W. (2022). Intelligent Target Design Based on Complex Target Simulation. Applied Sciences, 12(16), 8010.

[2] Wang, S., & Liu, Y. (2020). Modeling and simulation of CGF aerial targets for simulation training. In Proc. Int. Conf. Comput. Intell. Syst. Netw. Remote Control (pp. 1-14).

[3] Yang, P. E. N. G. (2022, April). A study on development of intelligent ground-based air defense radar under the background of modern war. In Journal of Physics: Conference Series (Vol. 2252, No. 1, p. 012068). IOP Publishing.

[4] Jung, Y. H., & Hong, S. M. (2003). Modeling and parameter optimization of agile beam radar tracking. IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, 39(1), 13-33.

[5] Behm, A., Borkar, V. R., Carey, M. J., Grover, R., Li, C., Onose, N., ... & Tsotras, V. J. (2011). Asterix: towards a scalable, semistructured data platform for evolving-world models. Distributed and Parallel Databases, 29, 185-216.

[6] EOUROCONTROL: All-purpose structured EUROCONTROL surveillance information exchange (ASTERIX). https://www.eurocontrol.int/asterix (Accesed 11 June 2023)

[7] Eurocontrol, CAT048 - EUROCONTROL Specification for Surveillance Data Exchange ASTERIX Part 4 Category 48 https://www.eurocontrol.int/publication/cat048-eurocontrol-specification-surveillance-data-exchange-asterix-part4 (Accesed 11 June 2023)

[8] Khamsalee, P., Mesawad, P., & Wongsan, R. (2020). Hybrid metamaterial for the secondary radar antenna system. Journal of Electromagnetic Engineering and Science, 20(3), 221-233.

[9] Mumford, R. (2005). EADS supplies radar and weapon coordination systems to the Netherlands. Microwave Journal, 48(5), 147-148