

ระบบสังเกตการณ์และประมวลผลข้อมูล ADS-B ในภูมิภาคอาเซียน
ADS-B DATA OBSERVATION AND PROCESSING IN ASEAN



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2563

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ระบบสังเกตการณ์และประมวลผลข้อมูล ADS-B ในภูมิภาคอาเซียน

ADS-B DATA OBSERVATION AND PROCESSING IN ASEAN

โดย

| | | |
|---------------|------------|----------|
| นายวิศ | นิลเกษร | 60010908 |
| นายศรุต | पुलकेतु | 60010960 |
| นายอิทธิพัฒน์ | ลุ่นเซี่ยะ | 60011194 |

อาจารย์ที่ปรึกษา

ศ.ดร.พรชัย ทรัพย์นิธิ

ผศ.ดร.เวธิต ภาคย์พิสุทธิ

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2563

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2563

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ระบบสังเกตการณ์และประมวลผลข้อมูล ADS-B ในภูมิภาคอาเซียน

ADS-B DATA OBSERVATION AND PROCESSING IN ASEAN

ผู้จัดทำ

- | | | | |
|---|---------------|------------|----------|
| 1 | นายวิศ | นิลเกษร | 60010908 |
| 2 | นายศรุต | พุลเกตุ | 60010960 |
| 3 | นายอิทธิพัฒน์ | ลุ่นเชียยะ | 60011194 |

P. Supnithi
.....
(ศ.ดร.พรชัย ทรัพย์นิธิ)

อาจารย์ที่ปรึกษา

Ar
.....
(ผศ.ดร.เวธิต ภาคย์พิสุทธิ์)

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำปริญญาานิพนธ์เรื่อง “ระบบสังเกตการณ์และประมวลผลข้อมูล ADS-B ในภูมิภาคอาเซียน” จะไม่สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ หากไม่ได้รับการสนับสนุนจาก ศ.ดร.พรชัย ทรัพย์นิธิ และ ผศ.ดร.เวธิต ภาคย์พิสุทธิ์ ที่คอยให้คำแนะนำ แนวคิด แก้ไขข้อบกพร่องที่เกิดขึ้น และการสนับสนุนอุปกรณ์ต่าง ๆ ตลอดการดำเนินโครงการนี้จนเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบคุณรุ่นพี่ที่ปรึกษาที่คอยให้ความช่วยเหลือ ให้ความรู้ ยืมสถานที่ในการทดสอบ อุปกรณ์ และคอยตรวจสอบความผิดพลาดของชิ้นงาน

ขอขอบคุณ เพื่อน ๆ รุ่นพี่ บิดา มารดา และครอบครัว ที่คอยให้ความช่วยเหลือ และคอยให้กำลังใจที่ดีในการดำเนินโครงการให้สำเร็จลุล่วงไปได้



| | |
|---------------|-----------|
| นายวิศ | นิลเกษร |
| นายศรุต | พุลเกตุ |
| นายอิทธิพัฒน์ | ลุ่นเซียะ |
| | ผู้จัดทำ |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ระบบสังเกตการณ์และประมวลผลข้อมูล ADS-B ในภูมิภาคอาเซียน
ADS-B DATA OBSERVATION AND PROCESSING IN ASEAN

| | | | |
|-----|---------------|------------|----------|
| โดย | นายวิศ | นิลเกษร | 60010908 |
| | นายศรุต | พุลเกตุ | 60010960 |
| | นายอิทธิพัฒน์ | ลุ่นเซียงะ | 60011194 |

อาจารย์ที่ปรึกษา ศ.ดร.พรชัย ทรัพย์นิธิ
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ผศ.ดร.เวจิต ภาคย์พิสุทธิ

บทคัดย่อ

เนื่องจากระบบการนำร่องอากาศยานในปัจจุบัน มีแนวโน้มที่จะกำหนดให้ใช้ระบบ ADS-B เป็นมาตรฐานเสริมในการติดตามอากาศยาน รวมถึงการใช้งานอื่น ๆ จึงต้องมีการตรวจสอบคุณภาพของระบบ ADS-B เช่น ความแม่นยำในการระบุพิกัดและความเร็วของอากาศยาน รวมไปถึงความแม่นยำของข้อมูลประเภทอื่น ๆ ซึ่งในแต่ละช่วงการบินสามารถทนทานต่อค่าความผิดพลาดได้ต่างกัน ดังนั้นแต่ละพื้นที่จึงต้องมีการตรวจสอบความแม่นยำของระบบติดตามอากาศยานอัตโนมัตินี้ตลอดเวลา ทางผู้จัดทำจึงได้ทำการพัฒนาระบบการตรวจสอบความผิดพลาดของ ADS-B โดยระบบนี้ซึ่งจะประกอบไปด้วยอุปกรณ์ SDR ที่ใช้ในการรับข้อมูล ADS-B และ Mode-S เพื่อนำไปประมวลผลโดยซอฟต์แวร์ที่ทางผู้จัดทำพัฒนาขึ้นมาในเครื่อง Raspberry Pi โดยซอฟต์แวร์นี้จะทำการประมวลผลข้อมูลค่าตัวแปรต่าง ๆ ที่ระบบ ADS-B และ Mode-S ส่งออกมา ข้อมูลที่ได้จากระบบเหล่านี้สามารถนำไปใช้พัฒนาในด้านอื่นได้ ในปริญญาวิทยานิพนธ์นี้ได้นำข้อมูลเหล่านี้มาใช้คำนวณหาทิศทางและความเร็วของลมและจัดทำเป็นแผนที่แสดงความเร็วลมจากนั้นจะส่งข้อมูลเหล่านี้ไปฐานข้อมูลบนคลาวด์เพื่อนำไปทำการแสดงผลเป็นตารางข้อมูล แผนที่ตำแหน่งอากาศยาน และแผนที่ทิศทางลมบนเว็บไซต์ที่พัฒนาขึ้นมา

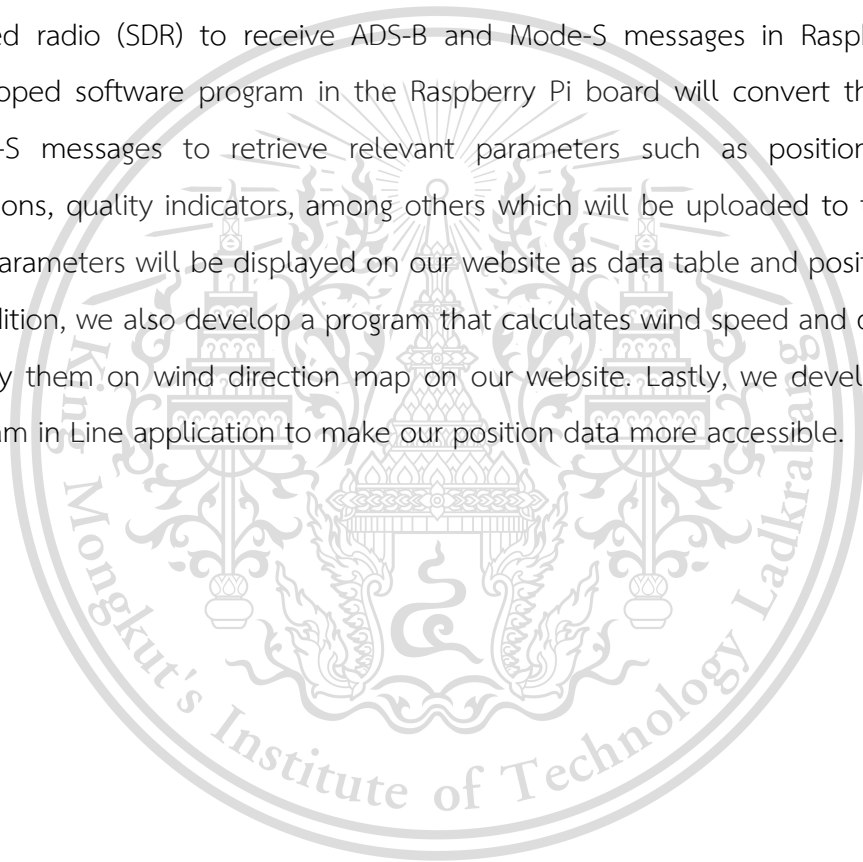
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

Abstract

At present Automatic Dependent Surveillance–Broadcast (ADS-B) technology is considered an additional standard for aircraft tracking. In order to ensure its performance and safety, there is a need to check the quality of this ADS-B system for example precision of positioning and speed. The amount of error tolerance of each flight range can vary different. So, we need to collect the quality of ADS-B data in each area. We aim to develop an ADS-B tracking and quality monitoring by using software defined radio (SDR) to receive ADS-B and Mode-S messages in Raspberry Pi. The developed software program in the Raspberry Pi board will convert the ADS-B and Mode-S messages to retrieve relevant parameters such as positions, velocities, directions, quality indicators, among others which will be uploaded to the database. The parameters will be displayed on our website as data table and position mapping. In addition, we also develop a program that calculates wind speed and direction then display them on wind direction map on our website. Lastly, we develop a chatbot program in Line application to make our position data more accessible.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญ

| | หน้า |
|--|----------|
| กิตติกรรมประกาศ | I |
| บทคัดย่อ | II |
| สารบัญ | IV |
| สารบัญรูป | VII |
| สารบัญตาราง | XI |
| บทที่ 1 บทนำ | 1 |
| 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา | 1 |
| 1.2 วัตถุประสงค์ | 2 |
| 1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์ | 2 |
| บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง | 3 |
| 2.1 ระบบติดตามอากาศยานอัตโนมัติ ADS-B | 3 |
| 2.1.1 เวอร์ชันของ ADS-B | 4 |
| 2.1.2 Navigation Uncertainty Category – position (NUCp) | 4 |
| 2.1.3 Navigation Uncertainty Category – velocity (NUCv) | 6 |
| 2.1.4 Navigation Accuracy Category – position (NACp) | 7 |
| 2.1.5 Navigation Accuracy Category – velocity (NACv) | 8 |
| 2.1.6 Navigation Integrity Category (NIC) | 8 |
| 2.1.7 Surveillance Integrity Level (SIL) | 11 |
| 2.2 Mode-S | 11 |
| 2.2.1 Mode-S interrogations and replies | 11 |
| 2.2.2 รูปแบบของ Mode-S | 12 |
| 2.2.3 โครงสร้างข้อความ Mode-S | 13 |
| 2.3 บอร์ด Raspberry Pi | 16 |
| 2.4 SDR (Software defined radio) | 16 |
| 2.5 ไพธอน | 17 |
| 2.6 การสร้างแผนที่ลมโดยใช้ข้อมูลจากระบบ ADS-B และ Mode-S | 17 |
| 2.7 โปรแกรมอ่านค่าพารามิเตอร์ ADS-B และ Mode-S ด้วยภาษาไพธอน | 20 |
| 2.7.1 PyModeS | 20 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรนำเอกสารนี้ไปเผยแพร่หรือใช้ประโยชน์อื่นใดโดยไม่ได้รับอนุญาต

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญ (ต่อ)

| | หน้า |
|--|-----------|
| 2.8 ระบบการจัดการฐานข้อมูล | 20 |
| 2.8.1 ระบบการจัดการฐานข้อมูลเชิงสัมพันธ์ MySQL | 20 |
| 2.8.2 ระบบการจัดการฐานข้อมูลที่ไม่สัมพันธ์ (NoSQL) MongoDB | 21 |
| 2.8.3 ระบบการจัดการฐานข้อมูล Firebase | 21 |
| 2.9 การสร้างเว็บไซต์ด้วย HTML, PHP, CSS, Javascript และ Bootstrap | 21 |
| 2.9.1 Hyper Text Markup Language (HTML) | 21 |
| 2.9.2 PHP Hypertext Preprocessors (PHP) | 22 |
| 2.9.3 Cascading Style Sheets (CSS) | 23 |
| 2.9.4 JavaScript (JS) | 24 |
| 2.10 แชนบอทในแอปพลิเคชัน Line | 24 |
| 2.10.1 Dialog flow | 24 |
| 2.10.2 Line | 24 |
| บทที่ 3 การออกแบบและการจัดทำปฏิญานินพณ์ | 25 |
| 3.1 การออกแบบ | 25 |
| 3.1.1 โปรแกรมอ่านค่าพารามิเตอร์ | 26 |
| 3.1.2 โปรแกรมอ่านข้อความ Mode-S | 33 |
| 3.1.3 ซอฟต์แวร์เชื่อมต่อฐานข้อมูล | 35 |
| 3.1.4 ฐานข้อมูล | 35 |
| 3.1.5 หน้าเว็บเพจ | 39 |
| 3.1.6 แผนที่แสดงความเร็วและทิศทางลม | 43 |
| 3.1.7 แชนบอทบอกตำแหน่งอากาศยาน | 43 |
| 3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง | 45 |
| 3.2.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการรับข้อมูล และประมวลผล | 45 |
| 3.2.2 เครื่องมือซอฟต์แวร์ที่ใช้ | 48 |
| 3.3 การจัดเก็บผลทดลอง | 54 |
| 3.3.1 การจัดเก็บข้อมูลของระบบ ADS-B และนำมาประมวลผลสร้างเป็นกราฟแสดงการกระจายตัวของตัวแปรความไม่แน่นอน | 54 |
| 3.3.2 การทดสอบแผนที่แสดงความเร็วลม | 54 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญ (ต่อ)

| | หน้า |
|---|-----------|
| 3.3.3 การทดสอบแชทบอทบนแอปพลิเคชัน Line | 54 |
| 3.3.4 การนำข้อมูลไปแสดงผลบนเว็บไซต์ | 54 |
| บทที่ 4 ผลการทดลอง | 55 |
| 4.1. การจัดเก็บข้อมูลของระบบ ADS-B และนำมาประมวลผลสร้างเป็นกราฟแสดงการกระจายตัวของตัวแปรความไม่แน่นอน | 55 |
| 4.1.1. ผลการทดสอบฟังก์ชันต่าง ๆ ในโปรแกรมไพธอน | 55 |
| 4.1.2. การกระจายตัวของตัวแปรความไม่แน่นอน | 63 |
| 4.2 การทดสอบแผนที่แสดงความเร็วลม | 68 |
| 4.3 การทดสอบแชทบอทบนแอปพลิเคชัน Line | 70 |
| 4.4 ส่วนการแสดงผลของเว็บไซต์ | 72 |
| 4.4.1 การทดสอบตารางแสดงข้อมูลของอุปกรณ์ ADS-B | 73 |
| 4.4.2 การตรวจสอบแผนที่ติดตามอากาศยาน | 74 |
| 4.4.3 ค่าตัวชี้วัดที่ความสูงต่าง ๆ | 75 |
| บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ | 77 |
| 5.1 บทสรุป | 77 |
| 5.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ | 77 |
| บรรณานุกรม | 78 |
| ภาคผนวก ก การตั้งค่า Raspberry Pi | 79 |
| ภาคผนวก ข รูปภาพการเข้าร่วมประกวดผลงานนวัตกรรมสายอุดมศึกษา ประจำปี 2563 | 87 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญรูป

| | หน้า |
|---|------|
| รูปที่ 2.1 โครงสร้างของข้อความ ADS-B | 3 |
| รูปที่ 2.2 HPL และ HAL | 6 |
| รูปที่ 2.3 ประเภทสัญญาณ Uplinks ของ Mode-S | 11 |
| รูปที่ 2.4 ตัวอย่างข้อความตอบกลับของ Mode-S | 12 |
| รูปที่ 2.5 โครงสร้างข้อความ Mode-S | 14 |
| รูปที่ 2.6 ตัวอย่างการสร้าง Modified ICAO Address | 14 |
| รูปที่ 2.7 RTL-SDR Dongle รุ่น R820T2 RTL2832U | 16 |
| รูปที่ 2.8 ความสัมพันธ์ระหว่างทิศทางของอากาศยานกับทิศทางกระแสลม [8] | 18 |
| รูปที่ 2.9 องค์ประกอบการสร้างเว็บไซต์ด้วย HTML | 22 |
| รูปที่ 2.10 ตัวอย่างการเขียนโค้ดและการแสดงผลของ HTML | 22 |
| รูปที่ 2.11 การแทรกภาษา PHP ลงในเอกสาร HTML | 23 |
| รูปที่ 2.12 การออกแบบเว็บไซต์ด้วยภาษา CSS | 23 |
| รูปที่ 2.13 การเขียนโค้ดสร้างเว็บไซต์โดยใช้ภาษา JavaScript | 24 |
| รูปที่ 3.1 แผนผังการทำงานโดยรวมของระบบ | 25 |
| รูปที่ 3.2 แผนผังการทำงานของโปรแกรมหลัก | 26 |
| รูปที่ 3.3 แผนผังการหาเวอร์ชัน | 27 |
| รูปที่ 3.5 แผนผังการหาค่า NUCv | 28 |
| รูปที่ 3.6 แผนผังการหาค่า NACp | 29 |
| รูปที่ 3.7 แผนผังการหาค่า NACv | 30 |
| รูปที่ 3.8 แผนผังการหาค่า NIC | 31 |
| รูปที่ 3.9 แผนผังการหาค่า SIL | 32 |
| รูปที่ 3.10 แผนผังการทำงานของฐานข้อมูลเก็บเวอร์ชัน | 36 |
| รูปที่ 3.11 แผนผังการทำงานของฐานข้อมูลเก็บข้อความที่ได้รับ | 36 |
| รูปที่ 3.12 Collections เก็บข้อมูล Mode-S ใน MongoDB | 37 |
| รูปที่ 3.13 Collections เก็บข้อมูล ADS-B ใน MongoDB | 38 |
| รูปที่ 3.14 ข้อมูลใน Firebase ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์อื่น | 38 |
| รูปที่ 3.15 คำสั่งไฟล์การเชื่อมฐานข้อมูล | 39 |
| รูปที่ 3.16 คำสั่งการเรียกใช้ฐานข้อมูลกับหน้าเว็บเพจ | 39 |

สารบัญรูป (ต่อ)

| | หน้า |
|---|------|
| รูปที่ 3.17 หน้าเว็บเพจแสดงการกระจายตัวของค่าพารามิเตอร์ ADS-B | 40 |
| รูปที่ 3.18 หน้าเว็บเพจแสดงค่าพารามิเตอร์ ADS-B | 40 |
| รูปที่ 3.19 หน้าเว็บเพจแสดงการกระจายตัวของค่าพารามิเตอร์ ADS-B | 41 |
| รูปที่ 3.20 หน้าเว็บเพจแสดงการกระจายตัวของค่า NUCp ที่ความสูงต่าง ๆ | 41 |
| รูปที่ 3.21 หน้าเว็บเพจแผนที่แสดงตำแหน่งอากาศยาน | 42 |
| รูปที่ 3.22 หน้าเว็บเพจตัวต้นแบบแสดงแผนที่ลม | 42 |
| รูปที่ 3.23 หน้าคำสั่ง crontab ที่ใช้เรียกโปรแกรมไพธอน | 43 |
| รูปที่ 3.24 แผนผังการทำงานของเซทบอท | 44 |
| รูปที่ 3.25 เสืออากาศรัศมีความถี่ 1090 MHz | 45 |
| รูปที่ 3.26 สายเคเบิล RG58 | 45 |
| รูปที่ 3.27 บอร์ด Raspberry Pi 3B+ | 46 |
| รูปที่ 3.28 บอร์ด Raspberry Pi 4 | 47 |
| รูปที่ 3.29 อุปกรณ์ RTL-SDR รุ่น RTL2832U | 48 |
| รูปที่ 3.30 หน้าต่างโปรแกรม Adobe Dreamweaver 2020 | 48 |
| รูปที่ 3.31 หน้าต่างโปรแกรม MySQL Workbench | 49 |
| รูปที่ 3.32 หน้าต่างโปรแกรม Visual Studio Code | 49 |
| รูปที่ 3.33 ตัวอย่างแผนภูมิจาก Google Chart | 50 |
| รูปที่ 3.34 หน้าต่างโปรแกรม MongoDB Compass | 51 |
| รูปที่ 3.35 โปรแกรม XAMPP | 51 |
| รูปที่ 3.36 แพลตฟอร์ม Dialogflow | 52 |
| รูปที่ 3.37 เฟรมเวิร์ค Bootstrap | 53 |
| รูปที่ 3.38 ตัวช่วยในการสร้างแผนที่ mapbox | 53 |
| รูปที่ 4.1 ฟังก์ชันอ่านค่าเวอร์ชันจากข้อความ | 55 |
| รูปที่ 4.2 ผลลัพธ์จากฟังก์ชันอ่านค่าเวอร์ชัน | 55 |
| รูปที่ 4.3 ฟังก์ชันอ่านค่าพารามิเตอร์ NUCp | 56 |
| รูปที่ 4.4 ผลลัพธ์จากฟังก์ชันอ่านค่า NUCp | 56 |
| รูปที่ 4.5 ฟังก์ชันอ่านค่าพารามิเตอร์ NUCv | 57 |
| รูปที่ 4.6 ผลลัพธ์จากฟังก์ชันอ่านค่า NUCv | 57 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับเอาไว้ใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้วยการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆก็ตาม กรุณาแจ้งไปยังเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญรูป (ต่อ)

| | หน้า |
|--|------|
| รูปที่ 4.7 ฟังก์ชันสำหรับอ่านค่าพารามิเตอร์ NACp | 57 |
| รูปที่ 4.8 ผลลัพธ์จากฟังก์ชันอ่านค่า NACp | 58 |
| รูปที่ 4.9 ฟังก์ชันสำหรับอ่านค่าพารามิเตอร์ NACv | 58 |
| รูปที่ 4.10 ผลลัพธ์จากฟังก์ชันอ่านค่า NACv | 58 |
| รูปที่ 4.11 ฟังก์ชันสำหรับอ่านค่าพารามิเตอร์ NIC | 59 |
| รูปที่ 4.12 ผลลัพธ์จากฟังก์ชันอ่านค่า NIC | 59 |
| รูปที่ 4.13 ฟังก์ชันสำหรับอ่านค่าพารามิเตอร์ SIL | 60 |
| รูปที่ 4.14 ผลลัพธ์จากฟังก์ชันอ่านค่า SIL | 60 |
| รูปที่ 4.15 ฟังก์ชันอ่านค่าข้อความ Mode-S BDS5,0 | 61 |
| รูปที่ 4.16 ผลลัพธ์จากฟังก์ชันอ่านค่าข้อความ Mode-S BDS5,0 | 61 |
| รูปที่ 4.17 ฟังก์ชันอ่านค่าข้อความ Mode-S BDS6,0 | 62 |
| รูปที่ 4.18 ผลลัพธ์จากฟังก์ชันอ่านค่าข้อความ Mode-S BDS6,0 | 62 |
| รูปที่ 4.19 การกระจายตัวของตัวแปร NUCp | 63 |
| รูปที่ 4.20 การกระจายตัวของตัวแปร NUCv | 64 |
| รูปที่ 4.21 การกระจายตัวของตัวแปร NACp | 65 |
| รูปที่ 4.22 การกระจายตัวของตัวแปร NACv | 66 |
| รูปที่ 4.23 การกระจายตัวของตัวแปร NIC | 67 |
| รูปที่ 4.23 การกระจายตัวของตัวแปร SIL | 68 |
| รูปที่ 4.24 แผนที่ลมที่สร้างขึ้นของวันที่ 27 มีนาคม พ.ศ.2564 เวลา 21.36 น. | 69 |
| รูปที่ 4.25 ข้อมูลจากระบบ METARs ในวันที่ 27 มีนาคม พ.ศ.2564 | 69 |
| รูปที่ 4.26 แผนที่ลมที่สร้างขึ้นของวันที่ 26 มีนาคม พ.ศ.2564 เวลา 15.44 น. | 70 |
| รูปที่ 4.27 ข้อมูลจากระบบ METARs ในวันที่ 26 มีนาคม พ.ศ.2564 | 70 |
| รูปที่ 4.28 ผลการทดลองแซทเทอไลต์โดยใช้หมายเลข ICAO | 71 |
| รูปที่ 4.29 ผลการทดลองแซทเทอไลต์โดยใช้หมายเลขเที่ยวบิน | 71 |
| รูปที่ 4.30 ข้อความตอบกลับเมื่อใส่ข้อมูลที่ไม่มีในฐานข้อมูล | 72 |
| รูปที่ 4.31 ข้อมูลก่อนคัดกรองโดยกรองความเร็วอากาศยาน | 73 |
| รูปที่ 4.32 ข้อมูลหลังคัดกรองโดยกรองความเร็วอากาศยาน | 73 |
| รูปที่ 4.33 หมายเลข ICAO ของเครื่องบินที่สัญญาณขาดหาย | 74 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สามารถใช้ส่วนราชการได้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้วยการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ก็ตามห้ามมิให้ดัดแปลงแก้ไขเพิ่มเติมและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญรูป (ต่อ)

| | หน้า |
|--|------|
| รูปที่ 4.34 เครื่องหมายเลข ICAO “88420E” ที่สัญญาณขาดหาย | 75 |
| รูปที่ 4.35 กราฟแสดงผลพารามิเตอร์ NIC | 76 |
| รูปที่ 4.36 กราฟแสดงผลพารามิเตอร์ NUCp ที่ความสูงมากกว่า 30,000 feet | 76 |
| รูปที่ ก.1 หน้าต่าง crontab | 81 |
| รูปที่ ก.2 ตัวอย่างการแก้ไขไฟล์ my.cnf | 82 |
| รูปที่ ก.3 ผลลัพธ์จากคำสั่ง ifconfig | 83 |
| รูปที่ ก.4 ผลลัพธ์คำสั่ง sudo ssh-keygen | 84 |
| รูปที่ ก.5 ผลลัพธ์จากคำสั่ง sudo ssh-copy-id | 84 |
| รูปที่ ก.6 ข้อความที่พิมพ์ในไฟล์ | 85 |
| รูปที่ ก.7 ผลลัพธ์จากคำสั่ง | 86 |
| รูปที่ ก.8 ผลลัพธ์จากคำสั่ง | 86 |
| รูปที่ ข.1 โปสเตอร์ที่ใช้ในงานประกวด | 88 |
| รูปที่ ข.2 ภาพกิจกรรม | 89 |
| รูปที่ ข.3 เกียรติบัตรที่ได้รับจากกิจกรรมประกวด | 90 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญตาราง

| | หน้า |
|---|------|
| ตารางที่ 2.1 รายละเอียดโครงสร้างข้อความ ADS-B [2] | 4 |
| ตารางที่ 2.2 รายละเอียดค่า NUCp [2] | 5 |
| ตารางที่ 2.3 รายละเอียดค่า NUCv หรือ NUCr [2] | 6 |
| ตารางที่ 2.4 รายละเอียดค่า NACp [2] | 7 |
| ตารางที่ 2.5 รายละเอียดค่า NACv [2] | 8 |
| ตารางที่ 2.6 รายละเอียดค่า NIC ของ ADS-B เวอร์ชัน 1 [2] | 9 |
| ตารางที่ 2.7 รายละเอียดค่า NIC ของ ADS-B เวอร์ชัน 2 [2] | 10 |
| ตารางที่ 2.8 รายละเอียดค่า SIL [2] | 11 |
| ตารางที่ 2.9 รูปแบบของ Mode-S Uplinks and downlink | 13 |
| ตารางที่ 2.10 ค่าคงที่สำหรับสมการ 2.6 2.7 และ 2.8 | 19 |
| ตารางที่ 3.1 โครงสร้างของข้อความ BDS5,0 [2] | 33 |
| ตารางที่ 3.2 โครงสร้างของข้อความ BDS6,0 [2] | 34 |
| ตารางที่ 3.3 คุณสมบัติของ Raspberry Pi 3B+ และ Raspberry Pi 4 | 46 |
| ตารางที่ 3.4 คุณสมบัติของอุปกรณ์ RTL-SDR รุ่น RTL2832U | 47 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

Automatic Dependent Surveillance-Broadcast (ADS-B) คือเทคโนโลยีติดตามอากาศยานที่อากาศยานหาพิกัดของตนเองด้วยระบบดาวเทียมนำทาง เช่น Global Positioning System (GPS) และ Flight Management System (FMS) เป็นต้น และกระจายพิกัดนั้นออกมาทุก 0.4 ถึง 0.6 วินาที ด้วยเหตุนี้สถานีควบคุมการจราจรทางอากาศภาคพื้นดินจึงสามารถรับข้อมูลนี้ร่วมกับการใช้เรดาร์ทุติยภูมิ (Secondary surveillance radar) ในการหาพิกัดของอากาศยาน เนื่องจากข้อมูลของ ADS-B ไม่จำเป็นต้องมีการส่งสัญญาณจากสถานีภาคพื้นดิน อีกอย่างอากาศยานลำอื่นก็สามารถรับข้อมูลนี้เพื่อให้รู้ถึงสถานะของอากาศยานโดยรอบ และสามารถเว้นระยะห่างจากอากาศยานลำอื่นได้

ADS-B ในปัจจุบันมีอยู่ 3 เวอร์ชันคือ 0, 1 และ 2 ซึ่งมีตัวแปรความไม่แน่นอนใน ADS-B รวมทั้ง 3 เวอร์ชันมีอยู่ 6 ตัวแปรได้แก่ Navigation Uncertainty Category-Position (NUCp), Navigation Uncertainty Category-velocity (NUCv), Navigation Accuracy Category-velocity (NACp), Navigation Accuracy Category-velocity (NACv), Navigation Integrity Category (NIC) และ Surveillance Integrity Level (SIL) โดย NUCp, NACp และ NIC จะบอกถึงความไม่แน่นอนของพิกัด ส่วน NUCv และ NACv จะบอกถึงความไม่แน่นอนในความเร็ว และ SIL จะบอกถึงโอกาสที่จะเกิดความผิดพลาดเกินกว่าที่กำหนดโดยที่ไม่สามารถตรวจจับได้

จากงานวิจัยก่อนหน้าของประเทศจีน [3] และสาธารณรัฐเช็ก [9] ที่ได้ทำการตรวจสอบระดับคุณภาพของระบบ ADS-B โดยใช้ตัวแปร NUCp ซึ่งค่านี้มี 10 ระดับคือ 0-9 จากการเปรียบเทียบทั้ง 2 งานวิจัยพบว่าค่า NUCp ที่ได้มีค่าตั้งแต่ 6 ขึ้นไป ซึ่งเป็นจำนวนข้อความที่มากกว่า 90% จากข้อความทั้งหมด แสดงให้เห็นว่าเทคโนโลยีนี้มีความน่าเชื่อถือที่สูงมากและเหมาะที่จะนำมาประยุกต์ใช้กับอากาศยานแทนเทคโนโลยีเรดาร์แบบเก่าในพื้นที่ประเทศจีนและสาธารณรัฐเช็ก

เนื่องจากสถาบันการบินพลเรือนต้องการข้อมูลและการตรวจสอบค่าความไม่แน่นอน เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยและอ้างอิงเท่านั้น การค้าไม่ว่ากรณีใดผู้จัดทำจึงมีแนวคิดสร้างและพัฒนาระบบรับข้อมูล ADS-B ที่จะสามารถเข้าถึงข้อมูลพิกัดความเร็ว

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ความสูง และค่าความไม่แน่นอนเพื่อให้หน่วยงานด้านการบินในประเทศสามารถนำข้อมูลไปพิจารณาคุณภาพของอุปกรณ์ ADS-B ได้

1.2 วัตถุประสงค์

- 1) เพื่อรวบรวมข้อมูลจากระบบ ADS-B ให้หน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับการบิน เช่น สถาบันการบินพลเรือน สามารถนำข้อมูลไปพิจารณาคุณภาพของอุปกรณ์ ADS-B ได้
- 2) เพื่อพิจารณาค่าตัวแปร NUCp, NUCv, NACp, NACv, SIL และ NIC เปรียบเทียบกับมาตรฐานขององค์การการบินพลเรือนระหว่างประเทศ
- 3) เพื่อนำข้อมูลจากระบบ ADS-B และ Mode-S ไปใช้พัฒนาในด้านการทำแผนที่ลมจากทิศทางการบินของอากาศยาน การติดตามและเฝ้าระวังอากาศยาน เป็นต้น

1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์

- 1) พัฒนาโปรแกรมไพธอน เวอร์ชัน 3.7.4 เพื่อรับค่าตัวแปรต่าง ๆ เช่น ความสูง ความเร็ว ตำแหน่ง และค่าความไม่แน่นอน จากเครื่องส่งสัญญาณ ADS-B และ Mode-S จากนั้นรวบรวมข้อมูลตั้งแต่วันที่ 25 กุมภาพันธ์ พ.ศ.2563 ถึงวันที่ 27 มีนาคม พ.ศ.2564 เพื่อทดสอบคุณภาพของระบบ ทำการแสดงผล และบันทึกไว้ในฐานข้อมูล (Database)
- 2) นำข้อมูลที่บันทึกไว้มาประยุกต์ใช้คำนวณความเร็วของลมและสร้างเป็นกราฟแสดงความเร็วของลมแสดงผลผ่านเว็บไซต์ โดยใช้ภาษาพีเอชพี (PHP) จาวาสคริปต์ (JavaScript) และเอชทีเอ็มแอล (HTML)
- 3) พัฒนาแชทบอท (Dialog flow) ในแอปพลิเคชัน Line เพื่อให้บุคคลทั่วไปสามารถใช้ในการสอบถามตำแหน่งอากาศยานที่เคยบินผ่านมาในเขตที่เก็บข้อมูลได้ โดยจะตอบกลับเป็นพิกัดบน Google map

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

2.1 ระบบติดตามอากาศยานอัตโนมัติ ADS-B

ระบบ Automatic Dependent Surveillance Broadcast (ADS-B) เป็นเทคโนโลยีติดตามอากาศยานใหม่ล่าสุดที่ใช้ระบบระบุพิกัด เช่น Global Positioning System (GPS) และ Flight Management System (FMS) เป็นต้น และกระจายพิกัดนั้นออกมาทุก ๆ 0.4 ถึง 0.6 วินาที ทั้งนี้ระบบ ADS-B ยังช่วยให้นักบินและผู้ควบคุมการจราจรทางอากาศ “มองเห็น” และควบคุมอากาศยานได้แม่นยำขึ้น สามารถแสดงตำแหน่งของอากาศยาน ความสูง ความเร็ว ตลอดจนพารามิเตอร์อื่น ๆ ได้อย่างครบถ้วนสมบูรณ์โดยไม่ต้องอาศัยผู้ควบคุม

ข้อมูลจากระบบ ADS-B นั้นจะถูกส่งไปยังอากาศยานลำอื่นที่ติดตั้งระบบ ADS-B รวมทั้งสถานีภาคพื้นดินที่ติดตั้งระบบนี้ หรือเครื่องรับส่งสัญญาณดาวเทียมที่จะถ่ายทอดตำแหน่งของอากาศยานและข้อมูลอื่น ๆ มายังศูนย์ควบคุมการจราจรทางอากาศทันที รายละเอียดมาตรฐาน ADS-B เรียบเรียงและดัดแปลงมาจาก Technical Provisions for Mode S Services and Extended Squitter Second Edition [1]

ข้อความจากระบบ ADS-B มีความยาว 112 บิต แบ่งออกเป็น 5 ส่วน แสดงดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 โครงสร้างของข้อความ ADS-B

จากรูปที่ 2.1 โครงสร้างของข้อความ ADS-B แบ่งออกเป็น 5 ส่วน คือ DF (Downlink Format) 5 บิต ใช้บ่งบอกที่มาของข้อความว่ามาจากระบบ ADS-B หรือว่าระบบ Mode-S, CA (Capability) 3 บิต, หมายเลข ICAO 24 บิต เป็นหมายเลขประจำอากาศยานแต่ละลำ, ข้อมูล 56 บิต และ Parity 24 บิต

ข้อความจาก ADS-B จะขึ้นต้นด้วย DF (Downlink Format) เท่ากับ 17 หรือในกรณีของ TIS-B (Traffic Information Service – Broadcast) DF จะมีค่าเท่ากับ 18 หมายความว่า 5 บิตแรกจะต้องเป็น 10001 หรือ 10010 และบิตที่ 6 ถึง 8 จะใช้เป็นตัวระบุตัวตนเพิ่มเติม ซึ่งจะมีความหมายแตกต่างกันออกไป โครงสร้างของข้อความจะมีลักษณะแสดงดังตารางที่ 2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 2.1 รายละเอียดโครงสร้างข้อความ ADS-B [2]

| nBits | Bits | Abbreviation | Name |
|-------|-----------|--------------|------------------------------------|
| 5 | 1 - 5 | DF | Downlink Format |
| 3 | 6 - 8 | CA | Capability (additional identifier) |
| 56 | 33 - 88 | DATA | Data |
| | [33 - 37] | [TC] | Type Code |
| 24 | 88 - 112 | PI | Parity/Interrogator ID |

2.1.1 เวอร์ชันของ ADS-B

ตั้งแต่ระบบ ADS-B เริ่มใช้งาน ก็ได้มีการพัฒนามา 3 เวอร์ชัน คือเวอร์ชัน 0, 1 และ 2 เหตุผลหลักในการพัฒนาเวอร์ชัน 1 และ 2 ก็เพื่อให้ระบบ ADS-B สามารถส่งข้อมูลเกี่ยวกับอากาศยานได้ละเอียดขึ้นโดย ADS-B เวอร์ชัน 1 ได้ถูกนำมาใช้ในปี ค.ศ. 2008 และเวอร์ชัน 2 ได้ถูกนำมาใช้ในปี ค.ศ. 2012 การจะแยกแต่ละเวอร์ชันออกจากกันดูได้จากข้อความที่มี Typecode 31 จะมีการบอกเลขเวอร์ชัน 1 และ 2 อยู่ ส่วนเวอร์ชัน 0 จะไม่มีข้อความ Typecode 31 เวลาอ่านข้อความจึงจำเป็นที่จะอนุมานให้เป็นเวอร์ชัน 0 ก่อนจนกว่าจะเจอข้อความ Typecode 31 ข้อความต่อ ๆ ไปของ ICAO address นั้นจะรู้ว่าเป็นเวอร์ชันอะไร โดยเวอร์ชัน 1 จะเลิกใช้ NUCv แต่จะมีตัวแปรเพิ่มขึ้นมา 4 ตัวแปร ได้แก่ NACp, NACv, NIC และ SIL ในเวอร์ชัน 2 มีตัวแปรเหมือนกับเวอร์ชัน 1 NIC จะมีค่าที่ละเอียดมากขึ้น และส่วนแนวตั้งใน NIC ไม่ถูกใช้ ในปฏิญานพนธ์นี้ มีค่าพารามิเตอร์ที่สนใจอยู่ 6 ตัว ได้แก่ NUCp, NUCv, NIC, NACp, NACv และ SIL โดยค่าพารามิเตอร์แต่ละตัวจะมีความหมายต่างกัน ดังนี้

2.1.2 Navigation Uncertainty Category – position (NUCp)

NUCp เป็นค่าที่บอกถึงความไม่แน่นอนของพิกัดซึ่งได้มาจาก Global Navigation Satellite System (ระบบดาวเทียมจีเอ็นเอสเอส) ถูกนำมาใช้ในตั้งแต่ในเวอร์ชัน 0 ใน NUCp มีตัวแปรย่อยอีก 2 ตัวแปรที่ใช้กำหนด NUCp คือ Horizontal Protection Limit (HPL) ที่แสดงค่ารัศมีวงกลมที่มีจุดศูนย์กลางคือตำแหน่งจริง ซึ่งพิกัดจากระบบดาวเทียมจีเอ็นเอสเอสในแนวราบของอากาศยานจะอยู่ในวงกลมนี้แน่นอน และ Containment Radius (Rc) แสดงรัศมีทรงกลมที่ตำแหน่งจริงของอากาศยานจะมีโอกาส 95% ที่จะอยู่ในทรงกลมนี้ทั้งแนวราบและแนวตั้ง โดยมีการแปลงค่ากลับจาก NUCp เป็น HPL และ Rc ตามตารางที่ 2.2 โดย Rcu คือ Containment Radius ของแนวราบ และ Rcz คือ Containment Radius ของแนวตั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารทบทวนเนื้อหาสำหรับการเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับผูกพันไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 2.2 รายละเอียดค่า NUCp [2]

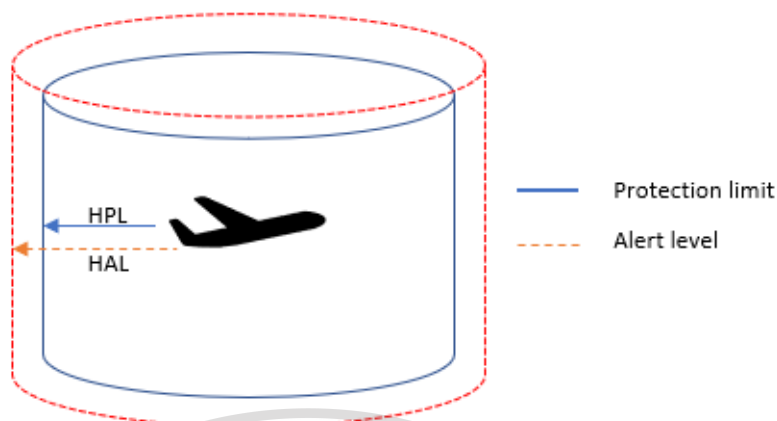
| Type Code | NUCp | HPL | RCu | RCz |
|-----------|------|--------------------|--------------------|--------|
| 0 | 0 | N/A | N/A | N/A |
| 5 | 9 | < 7.5 m | < 3 m | N/A |
| 6 | 8 | < 25 m | < 10 m | N/A |
| 7 | 7 | < 185 m (0.1 NM) | < 93 m (0.05 NM) | N/A |
| 8 | 6 | > 185 m (0.1 NM) | > 93 m (0.05 NM) | N/A |
| 9 | 9 | < 7.5 m | < 3 m | N/A |
| 10 | 8 | < 25 m | < 10 m | N/A |
| 11 | 7 | < 185 m (0.1 NM) | < 93 m (0.05 NM) | N/A |
| 12 | 6 | < 370 m (0.2 NM) | < 185 m (0.1 NM) | N/A |
| 13 | 5 | < 926 m (0.5 NM) | < 763 m (0.25 NM) | N/A |
| 14 | 4 | < 1,852 m (1 NM) | < 926 m (0.5 NM) | N/A |
| 15 | 3 | < 3,704 m (2 NM) | < 1,852 m (1 NM) | N/A |
| 16 | 2 | < 18,520 m (10 NM) | < 9,260 m (5 NM) | N/A |
| 17 | 1 | < 37,040 m (20 NM) | < 18,520 m (10 NM) | N/A |
| 18 | 0 | > 37,040 m (20 NM) | > 18,520 m (10 NM) | N/A |
| 20 | 9 | < 7.5 m | < 3 m | < 4 m |
| 21 | 8 | < 25 m | < 10 m | < 15 m |
| 22 | 0 | > 25 m | > 10 m | > 15 m |

โดย HPL ควรจะอยู่ใน Horizontal Alert Limit (HAL) ที่จุดศูนย์กลางคือพิกัดจริง และในรัศมีนั้นต้องมีพิกัดจากระบบดาวเทียมจีเอ็นเอสเอสในแนวราบของอากาศยาน ในความน่าจะเป็นที่สูงสำหรับแต่ละโหมดในการทำงาน ดังที่แสดงในรูปที่ 2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 2.2 HPL และ HAL

2.1.3 Navigation Uncertainty Category – velocity (NUCv)

NUCv เป็นค่าที่บอกถึงความไม่แน่นอนในค่าความเร็วและทิศทางที่ได้จากระบบ Global Positioning System ใช้ในเวอร์ชัน 0 ใน NUCv มีตัวแปรอีก 2 ตัวที่กำหนดค่า NUCv คือ Horizontal Velocity Error (HVE) และ Vertical Velocity Error (VVE) ที่บอก 95% ของความผิดพลาดในความเร็วแนวราบและแนวตั้งตามลำดับ การเทียบ NUCv เป็น HVE และ VVE แสดงดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 รายละเอียดค่า NUCv หรือ NUCr [2]

| NUCv | Horizontal Velocity Error (95%) | Vertical Velocity Error (95%) |
|------|---------------------------------|-------------------------------|
| 0 | ไม่ทราบค่า | ไม่ทราบค่า |
| 1 | < 10 m/s | < 15.2 m/s |
| 2 | < 3 m/s | < 4.6 m/s |
| 3 | < 1 m/s | < 1.5 m/s |
| 4 | < 0.3 m/s | < 0.46 m/s |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.1.4 Navigation Accuracy Category – position (NACp)

NACp เป็นค่าที่บอกความไม่แน่นอนของพิกัดแตกต่างจาก NUCp ที่ได้มาจาก HPL และ Rc ตรงที่ NACp ใช้ค่า Horizontal Figure of Merit (HFOM) และ Vertical Figure of Merit (VFOM) ในระบบดาวเทียมจีเอ็นเอสเอส จะมีความหมายคล้าย ๆ Rc ใน NUCp แต่จะมีความละเอียดที่มากกว่า เริ่มนำมาใช้ตั้งแต่ในเวอร์ชัน 1 โดยมีค่า NACp แสดงดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 รายละเอียดค่า NACp [2]

| NACp | EPU (or HFOM) | VEPU (or VFOM) |
|------|---------------------------|----------------|
| 11 | < 3 m | < 4 m |
| 10 | < 10 m | < 15 m |
| 9 | < 30 m | < 45 m |
| 8 | < 93 m (0.05 NM) | N/A |
| 7 | < 185 m (0.1 NM) | N/A |
| 6 | < 556 m (0.3 NM) | N/A |
| 5 | < 926 m (0.5 NM) | N/A |
| 4 | < 1,852 m (1 NM) | N/A |
| 3 | < 3,704 m (2 NM) | N/A |
| 2 | < 7,408 m (4 NM) | N/A |
| 1 | < 18,520 m (10 NM) | N/A |
| 0 | > 18,520 m หรือไม่ทราบค่า | N/A |

จากตารางที่ 2.4 หากค่า NACp มีค่าเป็น 9 หมายความว่า ค่าขอบเขต 95% ของความแม่นยำในแนวระนาบมีค่าน้อยกว่า 30 เมตรและในแนวตั้งมีค่าน้อยกว่า 15 เมตร เมื่ออากาศยานส่งข้อมูลพิกัดและความสูงมาจะมีความแม่นยำในระดับน้อยกว่า 30 เมตรในแนวระนาบ น้อยกว่า 15 เมตรในแนวตั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.1.5 Navigation Accuracy Category – velocity (NACv)

NACv ถูกนำมาใช้ใน ADS-B เวอร์ชัน 1 เพื่อแทนที่ NUCv ในเวอร์ชัน 0 มีตัวแปร Horizontal Figure of Merit – rate (HFOMr) และ Vertical Figure of Merit – rate (VFOMr) เพื่อใช้ระบุค่าความผิดพลาด 95% ของความเร็วแนวราบและแนวตั้ง แสดงดังตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 รายละเอียดค่า NACv [2]

| NACv | HFOMr | VFOMr |
|------|-----------|------------|
| 0 | N/A | N/A |
| 1 | < 10 m/s | < 15.2 m/s |
| 2 | < 3 m/s | < 4.5 m/s |
| 3 | < 1 m/s | < 1.5 m/s |
| 4 | < 0.3 m/s | < 0.46 m/s |

2.1.6 Navigation Integrity Category (NIC)

NIC ได้มีการเริ่มนำมาใช้ในเวอร์ชัน 1 ร่วมกับ NACp เพื่อแทน NUCp มีตัวแปร Rc เหมือนในเวอร์ชัน 0 และ Vertical Protection Limit (VPL) เป็นค่าแสดงรัศมีวงกลมที่มีจุดศูนย์กลางคือตำแหน่งจริง ซึ่งพิกัดจากระบบดาวเทียมจีเอ็นเอสเอสในแนวตั้งของอากาศยานจะอยู่ในวงกลมนี้แน่นอน โดยในเวอร์ชัน 1 จะมี supplement bit (NICs) เพื่อให้สามารถระบุค่า NIC ได้ละเอียดขึ้น แสดงดังตารางที่ 2.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 2.6 รายละเอียดค่า NIC ของ ADS-B เวอร์ชัน 1 [2]

| Type Code | NICs | NIC | Radius of containment (RC) | Vertical protection limit (VPL) |
|-----------|------|-----|----------------------------|---------------------------------|
| 0 | N/A | N/A | N/A | N/A |
| 5 | 0 | 11 | < 7.5 m | N/A |
| 6 | 0 | 10 | < 25 m | N/A |
| 7 | 1 | 9 | < 75 m | N/A |
| | 0 | 8 | < 185 m (0.1 NM) | N/A |
| 8 | 0 | 0 | > 185 m or Unknow | N/A |
| 9 | 0 | 11 | < 7.5 m | < 11 m |
| 10 | 0 | 10 | < 25 m | < 37.5 m |
| 11 | 1 | 9 | < 75 m | < 112 m |
| | 0 | 8 | < 185 m (0.1 NM) | N/A |
| 12 | 0 | 7 | < 370 m (0.2 NM) | N/A |
| 13 | 0 | 6 | < 926 m (0.5 NM) | N/A |
| | 1 | | < 1,111 m (0.6 NM) | N/A |
| 14 | 0 | 5 | < 1,852 m (1 NM) | N/A |
| 15 | 0 | 4 | < 3,704 m (2 NM) | N/A |
| 16 | 1 | 3 | < 7,408 m (4 NM) | N/A |
| | 0 | 2 | < 14.8 km (8 NM) | N/A |
| 17 | 0 | 1 | < 37.0 km (20 NM) | NA |
| 18 | 0 | 0 | > 37.0 km or Unknow | N/A |
| 20 | 0 | 11 | < 7.5 m | < 11 m |
| 21 | 0 | 10 | < 25 m | < 37.5 m |
| 22 | 0 | 0 | > 25 m | > 112 m |

จากตารางที่ 2.6 ยกตัวอย่างกรณีที่มี Typecode มีค่าเป็น 7 ถ้าค่า NICs เป็น 0 รัศมี

จำกัดในแนวระนาบจะมีระยะน้อยกว่า 182.5 เมตร ถ้าค่า NICs เป็น 1 รัศมีจำกัดในแนวระนาบจะมีระยะน้อยกว่า 75 เมตร ใน ADS-B เวอร์ชัน 2 จะมี supplement bit 3 ตัวคือ NICa, NICb และ

NICc เพื่อใช้ระบุค่า NIC ให้ละเอียดขึ้นและนำส่วน VPL ออกแสดงดังตารางที่ 2.7

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 2.7 รายละเอียดค่า NIC ของ ADS-B เวอร์ชัน 2 [2]

| Type Code | NICa | NICb | NICc | NIC | Rc |
|-----------|------|------|------|--------------------|---------------------|
| 5 | 0 | N/A | 0 | 11 | < 7.5 m |
| 6 | 0 | N/A | 0 | 10 | < 25 m |
| 7 | 1 | N/A | 0 | 9 | < 75 m |
| | 0 | N/A | 0 | 8 | < 185 m (0.1 NM) |
| 8 | 1 | N/A | 1 | 7 | < 370 m (0.2 NM) |
| | 1 | N/A | 0 | 6 | < 556 m (0.3 NM) |
| | 0 | N/A | 1 | | < 1,111 m (0.6 NM) |
| | 0 | N/A | 0 | 0 | > 1,111 m or Unknow |
| 9 | 0 | 0 | N/A | 11 | < 7.5 m |
| 10 | 0 | 0 | N/A | 10 | < 25 m |
| 11 | 1 | 1 | N/A | 8 | < 185 m (0.1 NM) |
| 12 | 0 | 0 | N/A | 7 | < 370 m (0.2 NM) |
| 13 | 0 | 1 | N/A | 6 | < 556 m (0.3 NM) |
| | 0 | 0 | N/A | | < 926 m (0.5 NM) |
| | 1 | 1 | N/A | < 1,111 m (0.6 NM) | |
| | 0 | 0 | N/A | 5 | < 1,852 m (1 NM) |
| 14 | 0 | 0 | N/A | 5 | < 1,852 m (1 NM) |
| 15 | 0 | 0 | N/A | 4 | < 3,704 m (2 NM) |
| 16 | 1 | 1 | N/A | 3 | < 7,408 m (4 NM) |
| | 0 | 0 | N/A | 2 | < 14.8 km (8 NM) |
| 17 | 0 | 0 | N/A | 1 | < 37.2 km (20 NM) |
| 18 | 0 | 0 | N/A | 0 | > 37.2 km or Unknow |
| 20 | N/A | N/A | N/A | 11 | < 7.5 m |
| 21 | N/A | N/A | N/A | 10 | < 25 m |
| 22 | N/A | N/A | N/A | 0 | > 25 m |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.1.7 Surveillance Integrity Level (SIL)

SIL ถูกนำมาใช้ตั้งแต่เวอร์ชัน 1 มี 2 ตัวแปร คือ Probability of exceeding horizontal containment radius (P-Rc) บอกร้อยโอกาสที่ผิดพลาดจริงแนวระนาบของอากาศยานจะอยู่นอกวงกลม Rc ของ NIC และ Probability of exceeding vertical integrity containment region (P-VPL) บอกร้อยโอกาสที่ผิดพลาดจริงในแนวตั้งจะอยู่นอกวง VPL ใน NIC ซึ่งจะมีค่าแสดงดังตารางที่ 2.8

ตารางที่ 2.8 รายละเอียดค่า SIL [2]

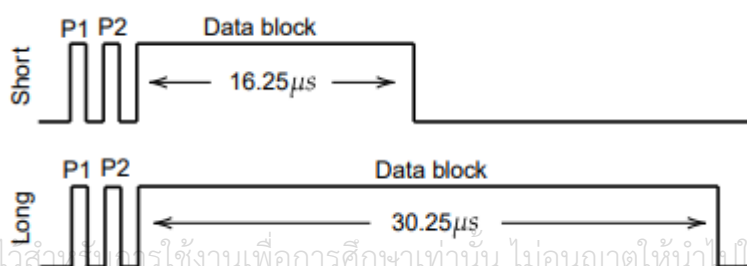
| SIL | P-Rc | P-VPL |
|-----|----------------------|----------------------|
| 0 | Unknow | Unknow |
| 1 | $< 1 \times 10^{-3}$ | $< 1 \times 10^{-3}$ |
| 2 | $< 1 \times 10^{-5}$ | $< 1 \times 10^{-5}$ |
| 3 | $< 1 \times 10^{-7}$ | $< 2 \times 10^{-7}$ |

2.2 Mode-S

Mode-S เป็นระบบ SSR (Secondary Surveillance Radar) ถูกกำหนดมาตรฐานโดย ICAO สามารถเลือกสอบถามข้อมูลไปยังอากาศยานโดยใช้บิตระบุตัวตนอากาศยาน 24 บิต ซึ่งแต่ละเครื่องจะแตกต่างกัน โดยมีเครื่องรับและส่งสัญญาณทำงานที่ความถี่วิทยุ 1030 MHz และ 1090 MHz

2.2.1 Mode-S interrogations and replies

สัญญาณขาขึ้น (Uplinks) ของ Mode-S ที่ส่งจากศูนย์ควบคุมจราจรทางอากาศจะมีส่วนที่บอกว่าต้องการข้อมูลอะไรจากอากาศยาน เช่น หมายเลขเที่ยวบิน, ทิศทางของอากาศยาน, ระดับความสูงของอากาศยาน เป็นต้น โดยจะมีสัญญาณ สอบถาม 2 ประเภท ดังรูปที่ 2.3



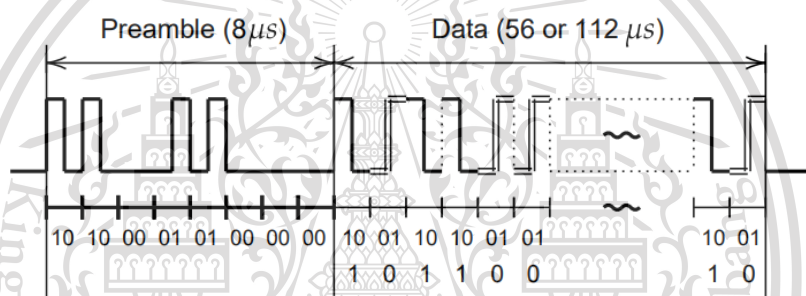
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
รูปที่ 2.3 ประเภทสัญญาณ Uplinks ของ Mode-S

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

จากรูปที่ 2.3 สัญญาณ Short interrogation จะมี 56 บิตและสัญญาณ Long interrogation จะมี 112 บิต สัญญาณพัลส์ P2 จะเป็นตัวกำหนดให้ Transponder Mode A/C ไม่สนใจข้อความนี้ ยกเว้น Mode-S ที่สนใจข้อความ Interrogation นี้ โดยสัญญาณนี้ใช้รูปแบบการมอดูเลตแบบ Differential Phase-Shift Keying (DPSK)

สัญญาณขาลง (Downlinks) จะเป็นการตอบกลับจากอากาศยานจะมี 2 ประเภท เช่นเดียวกับสัญญาณขาขึ้น (Uplinks) คือ Short reply และ Long reply จะส่ง 2 บิตต่อ 1 ไมโครวินาทีและส่งต่อเนื่องเป็นเวลา 56 หรือ 112 ไมโครวินาที โครงสร้างข้อความจะมีลักษณะดังรูปที่ 2.4 โดยจะตอบกลับด้วยข้อมูลอะไรขึ้นอยู่กับประเภทของ Interrogation ที่ได้รับ ข้อความใน Mode-S นั้น



รูปที่ 2.4 ตัวอย่างข้อความตอบกลับของ Mode-S

จากรูปที่ 2.4 ข้อความตอบกลับจะมี Preamble ที่แน่นอนคือ 1010000101000000 และข้อมูลที่ส่งมาในสัญญาณจะถูกมอดูเลตด้วยวิธี Pulse Position Modulation (PPM) โดยบิต 1 จะถูกแสดงโดยพัลส์ High 0.5 ไมโครวินาที และตามด้วย Low อีก 0.5 ไมโครวินาที ส่วนบิต 0 จะตรงกันข้ามกับบิต 1 คือจะเริ่มด้วยพัลส์ Low 0.5 ไมโครวินาที และตามด้วยพัลส์ High 0.5 ไมโครวินาที

2.2.2 รูปแบบของ Mode-S

Mode-S สามารถมีข้อมูลขาขึ้น (Uplinks) และขาลง (Downlinks) ได้หลากหลายรูปแบบโดยใช้ บิต 5 บิตแรกของข้อความจะเป็นตัวระบุรูปแบบหรือก็คือ Uplink Format (UF) และ Downlink Format (DF) ซึ่งข้อมูลที่ส่งจะมีความแตกต่างกันไปตามตารางที่ 2.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 2.9 รูปแบบของ Mode-S Uplinks and downlink

| UF/DF | Bits | Uplink Type | Downlink Type |
|-------|------|-----------------------------------|-------------------------------------|
| 0 | 56 | Short air-air surveillance (ACAS) | Short air-air surveillance (ACAS) |
| 4 | 56 | Surveillance, altitude request | Surveillance, altitude reply |
| 5 | 56 | Surveillance, identity request | Surveillance, identity reply |
| 11 | 56 | Mode-S All-Call | All-Call reply |
| 16 | 112 | Long air-air surveillance (ACAS) | Long air-air surveillance (ACAS) |
| 17 | 112 | - | Extended squitter |
| 18 | 112 | - | Extended squitter / non transponder |
| 19 | 112 | - | Military extended squitter |
| 20 | 112 | Comm-A, altitude request | Comm-B, altitude reply |
| 21 | 112 | Comm-A, identity request | Comm-B, identity reply |
| 24 | 112 | Comm-C (ELM) | Comm-D (ELM) |

จากตารางที่ 2.9 UF17 18 และ 19 ไม่ถูกใช้ใน Mode-S เพราะข้อมูลเหล่านี้จะถูกออกอากาศมาอัตโนมัติในระบบ ADS-B

2.2.3 โครงสร้างข้อความ Mode-S

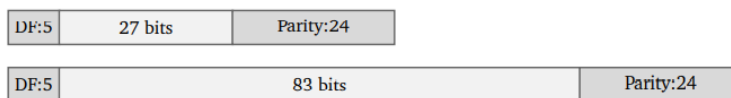
ใน Mode-S จะมีข้อความ 2 ประเภทคือ Short และ Long โดยมีจำนวน Header และ Parity ที่เท่ากัน แต่จะมีจำนวนบิตข้อมูลแตกต่างกัน ดังรูปที่ 2.5 โดยข้อความทั้ง 2 ประเภทมี Header จำนวน 5 บิต และ Parity จำนวน 24 บิต แต่ข้อความแบบ Short จะมีบิตข้อมูล 27 บิต ข้อความแบบ Long จะมีบิตข้อความ 83 บิต และจะถูกใช้ในสถานการณ์ที่ต่างกัน เมื่อศูนย์ควบคุมจราจรทางอากาศส่งสัญญาณสอบถามที่มี Uplink Format เป็น 0 4 5 และ 11 อากาศยานจะตอบกลับด้วยข้อความแบบ Short แต่ถ้าศูนย์ควบคุมจราจรทางอากาศส่งสัญญาณสอบถามที่มี Uplink

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของ Thai Air Navigation System (TANS) ไม่สามารถนำออกจำหน่ายหรือใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 2.5 โครงสร้างข้อความ Mode-S

2.2.3.1 Parity

ใน Mode-S มีการใช้ Parity 3 แบบ แบบแรกคือแบบเดียวกันกับที่ใช้ในระบบ ADS-B อีก 2 แบบที่เหลือคือ Address Parity (AD) และ Data Parity (DP) โดยขั้นตอนคำนวณมีดังต่อไปนี้

1.) กำหนด x^i แทนบิตแต่ละบิตของข้อความและ $M(x)$ แทนพหุนามของข้อความ Mode-S บิต Parity $P(x)$ สามารถคำนวณได้จากเศษเหลือของ Cyclic redundancy check (CRC) ดังสมการที่ 2.1 และ 2.2

$$M(x) = \sum_{i=0}^{87 \text{ or } 32} a_i x^i, \quad a_i \in (0, 1) \quad (2.1)$$

$$P(x) = M(x) \% G(x) \quad (2.2)$$

โดยที่ % แทนกระบวนการหารเอาเศษ (MOD)

2.) สำหรับข้อความ Extended squitter $P(x)$ จะถูกส่งเป็นบิต Parity 24 บิตของข้อความ สามารถตรวจสอบความผิดพลาดโดยทำการคำนวณเดียวกันกับฝั่งส่ง อย่างไรก็ตาม สำหรับข้อความ Mode-S นั้น Address Parity จะถูกสร้างโดยการซ้อนทับ CRC ด้วยหมายเลข ICAO สุดท้ายแล้ว Parity ที่ส่งไปจะไม่ใช่ $P(x)$ แต่จะเป็น Parity ใหม่ คือ $P_A(x)$ โดย $A(x)$ คือพหุนามของหมายเลข ICAO ประจำอากาศยานนั้น ๆ

$$P_A(x) = P(x) + A(x) \quad (2.3)$$

3.) สำหรับ Downlink Format 20 และ 21 จะมีตัวเลข Comm-B Data Selector (BDS) ที่ขึ้นอยู่กับประเภทของ SSR interrogation เพิ่มเข้ามา ในกรณีนี้ Data Parity (DP) จะถูกเพิ่มเข้าไปใน 24 บิตสุดท้ายของข้อความ โดยเมื่อมีการใช้ DP บิต Parity จะถูกซ้อนทับด้วย Modified ICAO Address (MA) ด้วยการ XOR ดังตัวอย่างในรูปที่ 2.6

| | | |
|-------------|--------|-------------------------------|
| ICAO: | DD33AA | 1101 1101 0011 0011 1010 1010 |
| BDS 4,4 | 440000 | 0100 0100 0000 0000 0000 0000 |
| | | XOR |
| Modified AA | 9933AA | 1001 1001 0011 0011 1010 1010 |

รูปที่ 2.6 ตัวอย่างการสร้าง Modified ICAO Address

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

MA จะถูกนำไปใช้แทน ICAO ในการสร้าง Parity กำหนดให้ $P_{MA}(x)$ แทนพหุนามของ Modified address และ $P_D(x)$ แทน Data Parity จะมีวิธีการคำนวณดังสมการที่ 2.4

$$\begin{aligned} P_D(x) &= P(x) + P_{MA}(x) \\ &= P(x) + A(x) + D(x) \end{aligned} \quad (2.4)$$

โดย $D(x)$ แทนพหุนามของ BDS จากข้อความ Mode-S Comm-B

2.2.3.2 Comm-B Data Selector (BDS)

Comm-B Data Selector (BDS) คือรหัส 8 บิตที่ใช้ระบุว่าข้อมูลใดจะถูกใส่ไปในข้อความที่ส่ง มักจะถูกเขียนในรูปเลขฐาน 16 ยกตัวอย่างเช่น 4,0 หรือ 0,B ซึ่ง BDS จะทำหน้าที่เหมือน Typecode ในระบบ ADS-B คือใช้ระบุว่าข้อความนั้นมีข้อมูลอะไรอยู่ เพียงแต่ว่า BDS นั้นอาจไม่ได้ถูกส่งมาพร้อมข้อความเสมอ รหัส BDS มีดังนี้

- BDS 1,0 – Data link capability report ใช้สำหรับรายงานข้อมูลของเครื่อง รับ-ส่ง สัญญาณที่ติดตั้งอยู่บนอากาศยาน
- BDS 1,7 – Common usage GICB capability report ใช้สำหรับรายงานข้อมูลของอุปกรณ์ Ground-initiated Comm-B
- BDS 2,0 – Aircraft identification ใช้สำหรับรายงานหมายเลขเที่ยวบินของอากาศยานในแต่ละเที่ยวบิน
- BDS 3,0 – ACAS active resolution advisory ใช้สำหรับรายงานคำแนะนำนักบินที่สร้างขึ้นโดยอุปกรณ์ Airborne Collision Avoidance System (ACAS)
- BDS 4,0 – Selected vertical intention ข้อความนี้ถูกออกแบบมาเพื่อให้ศูนย์ควบคุมจราจรทางอากาศและนักบินใช้ตรวจสอบว่าอากาศยานได้ปฏิบัติตามข้อปฏิบัติในแต่ละความสูงหรือไม่.
- BDS 5,0 – Track and turn report ใช้สำหรับรายงานตัวแปรที่ใช้อธิบายลักษณะทิศทางของอากาศยาน
- BDS 6,0 – Heading and speed report ข้อความนี้ถูกออกแบบให้ส่งข้อมูล airspeed และ vertical rate ให้ศูนย์ควบคุมจราจรทางอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.3 บอร์ด Raspberry Pi

Raspberry Pi คือบอร์ดคอมพิวเตอร์ขนาดเล็ก (Single-Board Computer) ที่พัฒนาโดย Raspberry Pi Foundation มีความสามารถในการใช้งานเหมือนคอมพิวเตอร์ทั่วไป ในปัจจุบัน Raspberry Pi ได้ถูกเผยแพร่มาหลายรุ่น โดยทุกรุ่นจะมีชิพ Broadcom เป็นหน่วยประมวลผลกลาง (CPU) และหน่วยประมวลผลกราฟฟิกในตัว (GPU) มีความเร็วตั้งแต่ 700 MHz ถึง 1.4 GHz

Raspberry Pi รุ่นแรก Raspberry pi Model B ได้วางจำหน่ายในปี 2012 ตามด้วยรุ่น Model A ที่ราคาถูกกว่าในปี 2014 หลังจากนั้นในปี 2017 ก็ได้วางจำหน่าย Raspberry Pi zero ที่มีขนาดเล็กและมีฟังก์ชัน Wi-Fi และ Bluetooth เพิ่มขึ้นมา และในปี 2018 ก็ได้วางขาย Raspberry Pi 3 Model B+ ที่ใช้หน่วยประมวลผลกลางแบบ 64 บิตความเร็ว 1.4 GHz และมี Wi-Fi 5.0 GHz พร้อมกับรองรับเครือข่ายความเร็วสูงระดับ Gigabit

องค์กรที่พัฒนา Raspberry Pi มีอยู่ 2 องค์กร โดยในบอร์ด 2 รุ่นแรกได้รับการพัฒนาโดย Raspberry Pi Foundation หลังจากได้วางขาย Model B ไปแล้ว องค์กรได้จัดตั้งมูลนิธิ Raspberry Pi Trading ขึ้นเป็นองค์กรการกุศลเพื่อการศึกษาส่งเสริมการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์คอมพิวเตอร์ขั้นพื้นฐานโดยสนับสนุนการใช้ภาษาไพธอน และ Scratch เป็นหลัก

2.4 SDR (Software defined radio)

SDR (Software defined radio) คือระบบวิทยุสื่อสารที่นำชิ้นส่วนของฮาร์ดแวร์ต่าง ๆ มาประกอบขึ้นกลายเป็นตัวประมวลผลคลื่นสัญญาณเพื่อใช้งานบนคอมพิวเตอร์หรืออุปกรณ์ที่สามารถทำงานกับเครื่องรับสัญญาณนี้ได้ ซึ่งจะทำให้การแปลงสัญญาณอนาล็อกที่ได้รับเป็นสัญญาณดิจิทัล พร้อมทั้งถูกออกแบบมาเพื่อรับคลื่นสัญญาณในรูปแบบคลื่นที่หลากหลายเช่น AM FM ASK QAM PWM และอื่น ๆ ซึ่งจะขึ้นอยู่กับซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการทำงานร่วมกับอุปกรณ์ SDR โดยตัวอุปกรณ์มีหลากหลายรูปแบบให้เลือกใช้งาน ซึ่งจะมีคุณสมบัติการใช้งานที่แตกต่างกันไปในแต่ละอุปกรณ์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

รูปที่ 2.7 RTL-SDR Dongle รุ่น R820T2 RTL2832U

(ที่มา : blog.bliley.com)

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

จากรูปที่ 2.7 RTL-SDR เป็นเครื่องรับสัญญาณวิทยุ ประกอบไปด้วย RTL2832U ADC, 1PPM TCXO, ขั้วต่อSMA F, จูนเนอร์ R820T2 และเคสอะลูมิเนียมแบบ passive cooling สามารถปรับช่วงสัญญาณที่รับได้ตั้งแต่ 500 kHz ถึง 1.7 GHz และมีแผงวงจร bias-tee สำหรับจ่ายไฟให้อุปกรณ์ภายนอกเช่นเสาอากาศ โดยจะใช้งานบนคอมพิวเตอร์ที่มีซอฟต์แวร์สแกนวิทยุ อย่างเช่น SDR #, HSDR, SDR-Radio, Linrad, GQRX หรือ SDR Touch ที่ใช้บนระบบแอนดรอยด์ และยังทำงานได้ทั้งบนระบบ Windows, MacOS, Linux, Android และ Raspberry Pi

ทั้งนี้ยังเหมาะกับการใช้งานบนแอปพลิเคชัน การควบคุมการจราจรทางอากาศ, วิทยุ ความปลอดภัยสาธารณะ, ADS-B เรดาร์อากาศยาน, AIS เรดาร์เรือ, ACARS, วิทยุระบบ trunked, P25/MotoTRBO เสียงดิจิตอล, POCSAG , บอลลูนสภาพอากาศ, APRS, NOAA APT ดาวเทียม สภาพอากาศ, ดาวเทียม Meteor M2, ดาราศาสตร์วิทยุ, มอนิเตอร์การกระจายตัวของดาวตก, DAB หรือใช้สำหรับ panadapter ราคาถูกพร้อมวิทยุ ham แบบดั้งเดิม

2.5 ไพธอน

ไพธอนเป็นภาษาโปรแกรมมิ่งระดับสูง โดยถูกออกแบบมาให้เป็นภาษาสคริปต์ที่ทำให้ อ่านง่าย โดยตัดความซับซ้อนในโครงสร้างไวยากรณ์ของภาษาออกไป สามารถนำไปใช้ในการเขียน โปรแกรมได้หลายหลายประเภท เช่น การเขียนโปรแกรมแบบฟังก์ชัน การเขียนโปรแกรมเชิงวัตถุ และการเขียนโปรแกรมแบบเป็นขั้นตอน จึงนิยมใช้กันอย่างแพร่หลายทั่วโลก ปรินซิปลินท์นี้ได้นำไพธอน มาใช้ในการเขียนโปรแกรมสำหรับ ADS-B เป็นตัวแปรที่ต้องการ เช่น พิกัด ความสูง ความเร็ว ความ ไม่แน่นอน เป็นต้น และเขียนฟังก์ชันในการส่งตัวแปรเหล่านั้นเก็บไว้ในฐานข้อมูล

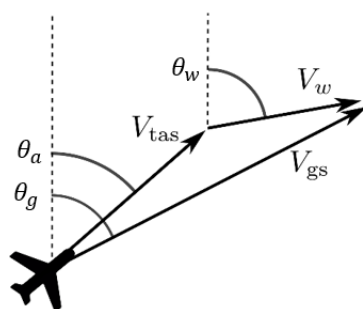
2.6 การสร้างแผนที่ลมโดยใช้ข้อมูลจากระบบ ADS-B และ Mode-S

ปรินซิปลินท์ฉบับนี้มีแนวคิดการนำข้อมูลจากระบบ ADS-B (Automatic dependent surveillance – broadcast) และข้อมูลจากระบบ Mode-S ซึ่งเป็น SSR (Secondary Surveillance Radar) มาใช้สังเกตการณ์สภาพอากาศโดยรอบอากาศยาน โดยนำข้อมูลจากระบบดังกล่าวมาสร้าง เป็นแผนที่ลม [8] เมื่ออากาศยานบินผ่านกระแสลม จะทำให้ทิศของหัวอากาศยานนั้นแตกต่างไปจาก ทิศทางการเคลื่อนที่ ทำให้สามารถนำทิศทางดังกล่าวมาทำการคำนวณเป็นทิศทางของกระแสลม โดยรอบอากาศยานได้ ดังรูปที่ 2.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 2.8 ความสัมพันธ์ระหว่างทิศทางของอากาศยานกับทิศทางกระแสลม [8]

จากรูปที่ 2.8 กำหนดให้ \vec{V}_{gs} เป็นเวกเตอร์ที่บอกทิศทางการเคลื่อนที่ของอากาศยาน และ V_{tas} เป็นเวกเตอร์ที่บอกค่าความเร็วสัมพันธ์ของอากาศยานและอากาศโดยรอบ จะสามารถหาเวกเตอร์ของลม หรือ V_w ได้จากสมการ

$$\vec{V}_w = \vec{V}_{gs} - \vec{V}_{tas} \quad (2.5)$$

โดยมี θ_a เป็นมุมของหัวอากาศยานเทียบจากทิศเหนือ θ_g คือทิศทางการเคลื่อนที่ของอากาศยานเทียบกับทิศเหนือ และ θ_w คือทิศทางของกระแสลมเมื่อเทียบกับทิศเหนือ ซึ่งค่าต่าง ๆ นี้สามารถรับมาได้จากระบบ ADS-B และ Mode-S ข้อมูลที่นำมาใช้ในการคำนวณได้แก่

- Aircraft barometric altitude (H_p) ได้จาก ADS-B (Type code 9 ถึง 18)
- Aircraft ground speed (V_{gs}) ได้จาก ADS-B (Type code 19)
- Aircraft true airspeed (V_{tas}) ได้จาก Mode-S Comm-B BDS5,0
- Aircraft indicated airspeed (V_{ias}) ได้จาก Mode-S Comm-B BDS6,0
- Aircraft true airspeed (M) ได้จาก Mode-S Comm-B BDS6,0

เนื่องจาก update rate ของ BDS5,0 นั้นค่อนข้างต่ำจึงต้องทำการแปลง indicated air speed จาก BDS6,0 เป็น true airspeed แต่อย่างไรก็ตาม การคำนวณต้องอาศัยอุณหภูมิของอากาศที่สามารถคำนวณได้จาก true airspeed จาก BDS5,0 ร่วมกันความดันอากาศ โดยใช้สมการ 2.6 2.7 และ 2.8 โดยใช้ค่าคงที่ในตารางที่ 2.10

$$p = p_0 \cdot \exp\left(-\frac{g_0}{RT_0} h\right) \quad (2.6)$$

$$\left. \begin{aligned} T &= \frac{V_{tas,50}^2 \cdot p}{V_{ias}^2 \cdot \rho_0 \cdot R} & M < 0.3 \\ T &= \frac{V_{tas,50}^2 \cdot T_0}{M^2 \cdot a_0^2} & M \geq 0.3 \end{aligned} \right\} \quad (2.7)$$

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 2.10 ค่าคงที่สำหรับสมการ 2.6 และ 2.7

| ตัวแปร | ค่าคงที่ | หน่วย | คำอธิบาย |
|----------|----------|-------------------|---------------------------------|
| p_0 | 101325 | Pa | ความดันอากาศที่ระดับน้ำทะเล |
| ρ_0 | 1.225 | Kg/m ³ | ความหนาแน่นอากาศที่ระดับน้ำทะเล |
| a_0 | 340.29 | m/s | ความเร็วของเสียงที่ระดับน้ำทะเล |
| T_0 | 288.15 | K | อุณหภูมิที่ระดับน้ำทะเล |
| R | 287.05 | J/(kg·K) | ค่าคงที่ของแก๊สที่ระดับน้ำทะเล |

เนื่องจากการบีบอัดของอากาศเมื่ออากาศยานเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูง ($M \geq 0.3$) Mach number จะถูกใช้ในการคำนวณแทน indicated airspeed ดังสมการ 2.8 และ 2.9

$$\rho = \frac{p}{RT} \quad (2.8)$$

$$\left. \begin{aligned} V_{tas} &= V_{ias} \sqrt{\frac{\rho_0}{\rho}} & M < 0.3 \\ V_{tas} &= M a_0 \sqrt{\frac{T}{T_0}} & M \geq 0.3 \end{aligned} \right\} \quad (2.9)$$

ตัวอย่างการคำนวณหาอุณหภูมิเมื่อกำหนดให้มีข้อมูล Mach number = 0.295 เมื่อเครื่องบินบินอยู่ที่ความสูง 1200 เมตร มีข้อมูล true airspeed จาก BDS5,0 เท่ากับ 210 knot (108.033 m/s) และ indicated airspeed เท่ากับ 190 knot (97.744 m/s)

หาค่าความดันอากาศโดยใช้สมการที่ 2.8

$$\begin{aligned} p &= p_0 \cdot \exp\left(-\frac{g_0}{RT_0} h\right) \\ &= 101,325 \cdot \exp\left(-\frac{9.8}{287.05 \times 288.15} \times 1200\right) \\ &= 87,896.113 \text{ Pa} \end{aligned}$$

เนื่องจาก Mach number < 0.3

$$\begin{aligned} T &= \frac{V_{tas,50}^2 \cdot p}{V_{ias}^2 \cdot \rho_0 \cdot R} & M < 0.3 \\ &= \frac{108.033^2 \times 87,896.113}{97.744^2 \times 1.225 \times 287.05} \\ &= 305.35 \text{ Kelvin} \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.7 โปรแกรมอ่านค่าพารามิเตอร์ ADS-B และ Mode-S ด้วยภาษาไพธอน

ไพธอนเป็นภาษาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ระดับสูง ถูกออกแบบมาเป็นภาษาสคริปต์ที่อ่านง่ายโดยตัดความซับซ้อนของโครงสร้างและไวยากรณ์ของภาษาออก มีการทำงานแบบอินเทอร์พรีเตอร์ (Interpreter) คือการแปลชุดคำสั่งทีละบรรทัดเพื่อป้อนเข้าสู่หน่วยประมวลผลของคอมพิวเตอร์ให้ทำงานตามที่ต้องการ ภาษาไพธอนนี้สามารถนำไปใช้เขียนโปรแกรมได้หลายประเภท ไม่ได้จำกัดอยู่ที่งานเฉพาะทางใดทางหนึ่ง

ในการอ่านค่าพารามิเตอร์ของ ADS-B และ Mode-S จำเป็นต้องมีการเรียกใช้โมดูล (Module) ซึ่งเป็นไฟล์หรือส่วนของโปรแกรมที่ใช้กำหนดตัวแปร, ฟังก์ชัน หรือคลาส โดยจะแยกออกจากส่วนของโปรแกรมหลัก ในมอดูลจะประกอบไปด้วยชุดคำสั่งต่าง ๆ มอดูลที่สำคัญในการอ่านค่าพารามิเตอร์ ADS-B ได้แก่

2.7.1 PyModeS

PyModeS ถูกสร้างโดย Junzi Sun จากกลุ่มวิจัย CNS/ATM คณะวิศวกรรมการบิน และอวกาศ Delft University of Technology และสนับสนุนโดยสถาบันต่าง ๆ เป็นไลบรารีไพธอนสำหรับแปลความหมายข้อความของ Mode-S รวมไปถึง ADS-B ซึ่งสามารถนำไปใช้ในการเขียนโปรแกรมภาษาไพธอน หรือใช้เป็นเครื่องมือในการตรวจสอบและจัดเก็บข้อมูลการจราจรทางอากาศ

2.8 ระบบการจัดการฐานข้อมูล

2.8.1 ระบบการจัดการฐานข้อมูลเชิงสัมพันธ์ MySQL

MySQL คือ โปรแกรมระบบจัดการฐานข้อมูล ที่พัฒนาโดยบริษัท MySQL AB มีหน้าที่เก็บข้อมูลอย่างเป็นระบบ รองรับคำสั่ง SQL เป็นเครื่องมือสำหรับเก็บข้อมูล ที่ต้องใช้ร่วมกับเครื่องมือหรือโปรแกรมอื่น เพื่อให้ได้ระบบงานที่รองรับความต้องการของผู้ใช้ เช่นทำงานร่วมกับเครื่องบริการเว็บ (Web Server) เพื่อให้บริการแก่ภาษาสคริปต์ที่ทำงานฝั่งเครื่องเซิร์ฟเวอร์ (Server-Side Script) เช่น ภาษา php ภาษา asp.net หรือภาษาเจเอสพี เป็นต้น หรือทำงานร่วมกับโปรแกรมประยุกต์ (Application Program) เช่น ภาษา Visual basic .net ภาษาจาวา หรือภาษาซีชาร์ป เป็นต้น โปรแกรมถูกออกแบบให้สามารถทำงานได้บนระบบปฏิบัติการที่หลากหลาย และเป็นระบบฐานข้อมูลโอเพนซอร์ส (Open Source) ที่ถูกนำไปใช้งานมากที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.8.2 ระบบการจัดการฐานข้อมูลที่ไม่สัมพันธ์ (NoSQL) MongoDB

MongoDB คือ โปรแกรมระบบจัดการฐานข้อมูล ที่พัฒนาโดยบริษัท MongoDB เก็บข้อมูลในในรูปแบบเอกสารที่คล้ายเครื่องหมายที่ใช้แทนวัตถุที่เป็นข้อมูลที่สามารถทำงานได้กับภาษา Java Script (JSON) สามารถใช้ร่วมกับภาษา และโปรแกรมต่าง ๆ เพื่อให้ได้ระบบงานที่รองรับความต้องการของผู้ใช้ เช่น ภาษาไพธอนและภาษา php เป็นต้น สามารถใช้ได้บนระบบปฏิบัติการที่หลากหลาย และเป็นหนึ่งในระบบการจัดการฐานข้อมูลที่ไม่ใช่เชิงสัมพันธ์ที่ถูกนำมาใช้งานมากที่สุด

2.8.3 ระบบการจัดการฐานข้อมูล Firebase

Firebase คือ โปรแกรมระบบจัดการฐานข้อมูล ที่พัฒนาโดย Google เป็นระบบการจัดการฐานข้อมูลที่ไม่สัมพันธ์ เป็นระบบจัดการฐานข้อมูลที่ตั้งอยู่บนระบบคลาวด์เก็บข้อมูลแบบ JSON และมีการอัปเดตข้อมูลกับผู้ใช้ที่เชื่อมต่อกับฐานข้อมูลอยู่อย่างต่อเนื่อง แอปพลิเคชันที่ใช้ Firebase จะสามารถตอบสนองได้แม้ว่าจะไม่ได้เชื่อมต่อกับอินเทอร์เน็ต เนื่องจาก Firebase นำข้อมูลเข้าไปไว้ในหน่วยความจำของผู้ใช้และผู้ใช้งานได้รับการอัปเดตข้อมูลเมื่อเชื่อมต่อกับอินเทอร์เน็ตอีกครั้ง Firebase สามารถเข้าถึงได้จากโทรศัพท์ หรือเว็บเบราว์เซอร์โดยตรง

2.9 การสร้างเว็บไซต์ด้วย HTML, PHP, CSS, Javascript และ Bootstrap

2.9.1 Hyper Text Markup Language (HTML)

HTML คือ ภาษาคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการสร้างเอกสารบนเว็บไซต์ หรือหน้า (Webpage) ถูกพัฒนาและกำหนดมาตรฐานโดยองค์กร World Wide Web Consortium (W3C) ซึ่งไฟล์ที่สร้างจะเป็นในรูปแบบของไฟล์ HTML (มีนามสกุลไฟล์เป็น .htm หรือ .html) ซึ่งโปรแกรมเว็บเบราว์เซอร์ต่าง ๆ เช่น Google Chrome, Microsoft Edge, Mozilla Firefox จะทำหน้าที่ในการแปลงไฟล์ HTML ให้เป็นการแสดงผลให้ผู้ใช้เห็นในรูปแบบของหน้าเว็บ

HTML ยังเป็นภาษาประเภท Markup ในการสร้างเว็บเพจ โดยสามารถเขียนได้โดยใช้โปรแกรม Notepad++, Wordpress, Adobe Dreamweaver ซึ่งออกแบบมาเพื่อความสะดวกในการสร้างหน้าเว็บโดย HTML องค์ประกอบที่สำคัญในการสร้างเว็บไซต์ด้วย HTML คือการเปิดแท็ก (Tag) โดยเวอร์ชันใหม่ล่าสุดคือ HTML 5 ซึ่งจะมีการเขียนโค้ดที่สั้นลงและทำให้เข้าใจง่ายขึ้น โครงสร้างของ HTML จะประกอบไปด้วยส่วนของคำสั่ง 2 ส่วน คือ ส่วนหัว (Head) และส่วนที่เป็นเนื้อหา (Body) โดยมีรูปแบบคำสั่งแสดงดังรูปที่ 2.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์และสงวนสิทธิ์ในเนื้อหาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 2.9 องค์ประกอบการสร้างเว็บไซต์ด้วย HTML

เมื่อทราบถึงโครงสร้างการใส่แท็ก HTML แล้วจึงทำการทดสอบโดยการพิมพ์ข้อความที่ต้องการลงไป ดังแสดงในรูปที่ 2.10

```

<!DOCTYPE html>
<html>
<head>
<title>ชื่อโปรแกรมที่ต้องการแสดงในส่วนหัว</title>
</head>
<body>

<h1>หัวเรื่องที่ต้องการแสดง</h1>
<p>ย่อหน้าที่ต้องการแสดง</p>

</body>
</html>

```

หัวเรื่องที่ต้องการแสดง
ย่อหน้าที่ต้องการแสดง

รูปที่ 2.10 ตัวอย่างการเขียนโค้ดและการแสดงผลของ HTML

2.9.2 PHP Hypertext Preprocessors (PHP)

PHP ย่อมาจาก “Personal Home Page Tool” ซึ่งเป็นภาษาประเภทสคริปต์ (Scripting Language) ทำงานแบบ Server Side Script โดยสามารถนำไปเขียนแทรกในภาษา HTML ได้ในรูปของข้อความหรือใช้งานภาษา PHP โดยตรง การใช้โปรแกรมช่วยเหลือในการสร้างเว็บไซต์จะมีการจำแนกสีของตัวอักษรระหว่าง HTML และ PHP อย่างชัดเจนเพื่อไม่ให้เกิดความสับสน ซึ่งมีการทำงานแบบโปรแกรมแปลคำสั่ง โดยจะเป็นการแปลคำสั่งที่ละบรรทัดทุกครั้งที่มีการเรียกสคริปต์ ซึ่งมีข้อดีในการไม่ต้องนำไปประมวลผลใหม่ (Compile) แต่ข้อเสียเมื่อมีการเขียนคำสั่งผิดรูปแบบของ Syntax จะไม่สามารถรู้ถึงความผิดพลาดของสคริปต์ได้นอกจากการทดสอบไฟล์และ

ผู้ใช้งานพบความผิดพลาดเอง จากรูปจะเห็นว่ามีการแทรกภาษา PHP ลงในเอกสาร HTML ดังรูปที่ 2.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

```

1 <!doctype html>
2 <!-- Database Connect -->
3 <?php
4 $con = mysqli_connect("ninjasalmon.com", "palm", "12345678", "preproj_ADSB");
5 ?>
6
7 <html>
8
9 <head>
10 <meta charset="utf-8">
11 <link rel="stylesheet" href="https://maxcdn.bootstrapcdn.com/bootstrap/3.4.1/css/bootstrap.min.css">
12 <link rel="stylesheet" type="text/css" href="Css/style2.css">
13 <script src="https://ajax.googleapis.com/ajax/libs/jquery/3.4.1/jquery.min.js"></script>
14 <script src="https://maxcdn.bootstrapcdn.com/bootstrap/3.4.1/js/bootstrap.min.js"></script>
15 <script src="js/active.js"></script>
16 <!-- Title -->
17 <title>Quality Assesment Of ADS-b</title>

```

รูปที่ 2.11 การแทรกภาษา PHP ลงในเอกสาร HTML

2.9.3 Cascading Style Sheets (CSS)

CSS เป็นภาษาที่ใช้ในการจัดการออกแบบตกแต่ง (Layout) ได้แก่ การแบ่งช่องว่าง ให้อ่านสวยงาม การจัดระเบียบ สีของข้อความ รูปแบบตัวอักษร ขนาดตัวอักษร สีพื้นหลัง หรือการ กำหนดรูปแบบ (Style) ซึ่งยังใช้งานร่วมกับภาษา HTML ได้โดยจะจำแนกวิธีการเขียนที่เหมือนกันใน การแสดงผล หรือก็คือก็เขียนภาษา CSS จะไม่ขึ้นอยู่กับข้อความของภาษา HTML โดยจะใช้แท็ก <style> แยกออกมาต่างหากและเขียนในรูปแบบของ CSS ดังแสดงในรูปที่ 2.12

```

19 <style type="text/css">
20 .navbar {
21   overflow: hidden;
22   background-color: #333;
23   top: 0;
24   width: 100%;
25 }
26
27 .jumbotron {
28   background-color: #333333;
29   color: white;
30   margin: 30px;
31   padding: 30px;
32 }
33
34 .container {
35   padding: inherit;
36   margin-top: auto;
37 }

```

รูปที่ 2.12 การออกแบบเว็บไซต์ด้วยภาษา CSS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระยาโชชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.9.4 JavaScript (JS)

จาวาสคริปต์ เป็นภาษาคอมพิวเตอร์สำหรับการเขียนเว็บไซต์ โดยภาษานี้มันมักจะใช้กับการออกแบบการตอบสนองต่อผู้ใช้งานในหน้าเว็บเพื่อให้ผู้ใช้งานมีความรู้สึกตอบสนอง มีการเคลื่อนไหวกับการกระทำบนอินเทอร์เน็ตได้และยังสามารถใช้ร่วมกับภาษา HTML จาวาสคริปต์ยังเป็นภาษาประเภทสคริปต์ที่ไม่ต้องการ การเขียนให้ถูกรูปแบบเพื่อให้ไฟล์สามารถทำงานได้ แต่ก็ยังคงเป็นจุดด้อยในการตรวจสอบความผิดพลาดของหน้าเว็บได้อีกเช่นกัน ส่วนมากใช้ในหน้าเว็บเพื่อประมวลผลข้อมูลที่ฝั่งของผู้ใช้งาน แต่ก็ยังมีใช้เพื่อเพิ่มเติมความสามารถในการเขียนสคริปต์โดยฝังอยู่ในโปรแกรมอื่น ๆ โดยรูปแบบการเขียนเป็นดังรูปที่ 2.13

```

1  S(function(){
2      S("#home a:contains('Home)').parent().addClass('active');
3      S("#table a:contains('Table)').parent().addClass('active');
4      S("#contact a:contains('Contact)').parent().addClass('active');
5      S("#help a:contains('Help)').parent().addClass('active');
6  });

```

รูปที่ 2.13 การเขียนโค้ดสร้างเว็บไซต์โดยใช้ภาษา JavaScript

2.10 แชนบอทในแอปพลิเคชัน Line

2.10.1 Dialog flow

Dialog flow เป็นแพลตฟอร์มที่ใช้ในการออกแบบส่วนต่อประสานผู้ใช้แบบสนทนา และนำไปใช้ร่วมกับ แอปพลิเคชันมือถือ, เว็บแอปพลิเคชัน และบอท เป็นต้น การสร้างแชทบอทด้วย Dialog flow เริ่มต้นด้วยการสร้าง Agent ที่จะเป็นตัวควบคุมการสื่อสารกับผู้ใช้ของคุณ Dialog flow จะแปลงข้อความที่ผู้ใช้ส่งมาเป็นข้อมูลเชิงโครงสร้างที่แอปพลิเคชันที่เรานำมาเชื่อมสามารถใช้ได้ Intent เป็นสิ่งที่แยกแยะเจตนาของผู้ใช้จากคำพูดของผู้ใช้ เมื่อผู้ใช้ส่งข้อความหรือพูดมา Dialog flow จะทำการหา Intent ใกล้เคียงที่สุดใน Agent ที่เราสร้างไว้ในตัว Intent นั้นจะมีการเก็บข้อมูลจากสิ่งที่ผู้ใช้ส่งมาและการตอบกลับ

2.10.2 Line

Line เป็นแอปพลิเคชันที่ใช้ในการสื่อสารบนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เช่น โทรศัพท์ แท็บเล็ต และคอมพิวเตอร์ ผู้ใช้สามารถส่งข้อความ สติกเกอร์ วิดีโอ คลิปเสียง หรือแม้กระทั่งการโทรผ่าน Voice over IP (VoIP) และวิดีโอคอล Line มีบริการอื่น ๆ อีกมากมายรวมไปถึงการทำแชทบอท Line มีบริการสำหรับช่วยสร้างแชทบอทชื่อ Line bot Designer แต่ในปรัญญาณิพนธ์นี้ เราใช้ Dialog Flow ทำแชทบอทและเชื่อมต่อกับ Line Official Account ที่สร้างขึ้นด้วย Webhook

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

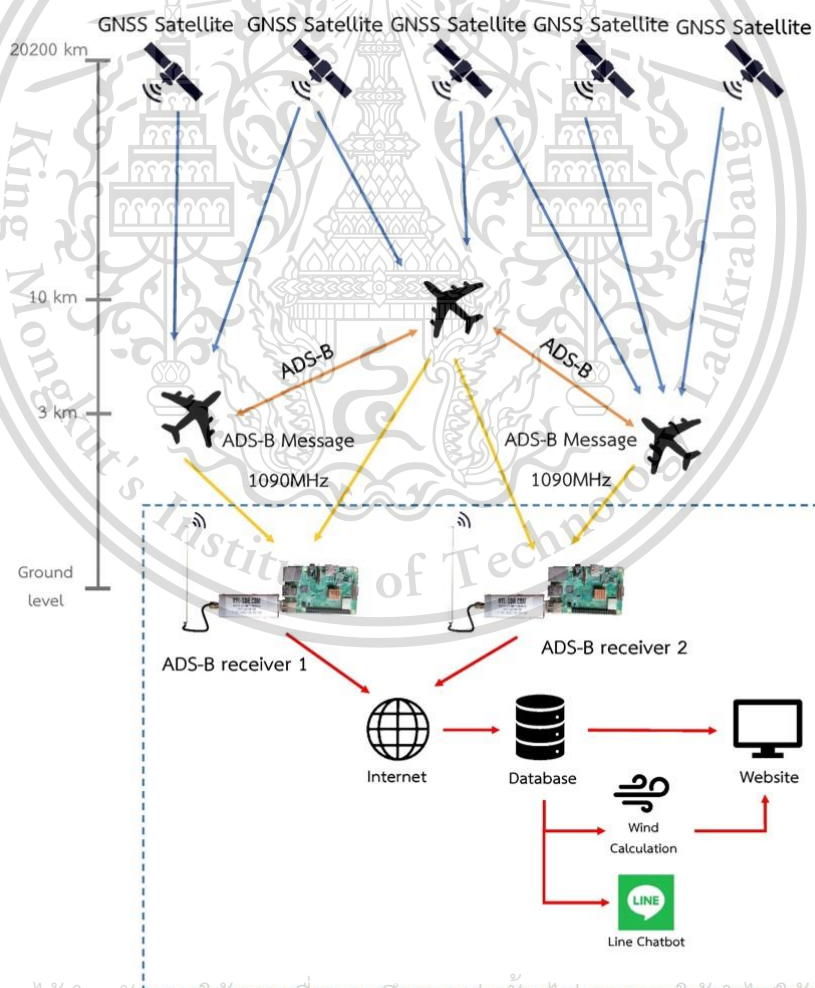
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 3

การออกแบบและการจัดทำปฏิญญานิพนธ์

3.1 การออกแบบ

ระบบที่พัฒนาขึ้นนี้จะเริ่มจากการรับข้อความ ADS-B และ Mode-S จากเสาอากาศรับความถี่ 1090 MHz ผ่านสาย RG-58 มาที่ RTL-SDR Dongle รุ่น RTL2832U เพื่อตีโมดูเลตจากนั้น Raspberry Pi จะทำการถอดรหัสข้อความออกมาเป็นค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ นำข้อมูลเก็บไว้ในฐานข้อมูล แล้วให้แสดงผลออกมาบนหน้าเว็บไซต์ นอกจากนี้ยังนำข้อมูลที่เก็บไว้ไปใช้คำนวณและสร้างเป็นแผนที่แสดงความเร็วและทิศทางลมและมีเซตบอทในแอปพลิเคชันไลน์เพื่อสอบถามตำแหน่งของอากาศยาน โดยมีภาพรวมของระบบดังรูปที่ 3.1



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานอกระบบเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

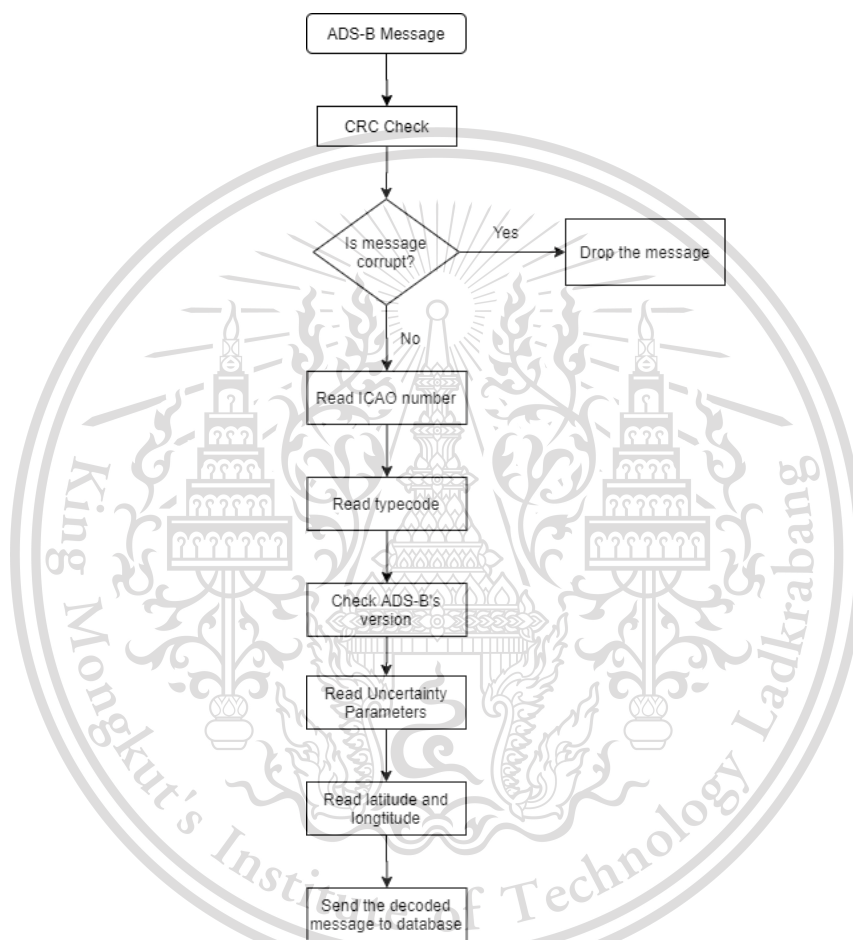
รูปที่ 3.1 แผนผังการทำงานโดยรวมของระบบ

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.1.1 โปรแกรมอ่านค่าพารามิเตอร์

โปรแกรมอ่านค่าพารามิเตอร์จากข้อมูล ADS-B ที่ได้รับมาจะทำการตรวจสอบ CRC ของข้อมูลจากนั้นจะทำการอ่านหมายเลข ICAO และบันทึกเวลาและเลข Type code (TC) แล้วหาค่าตัวแปรความไม่แน่นอน ความสูง ความเร็ว พิกัดของอากาศยานต่อไป มีลักษณะการทำงานแสดงดังรูปที่ 3.2



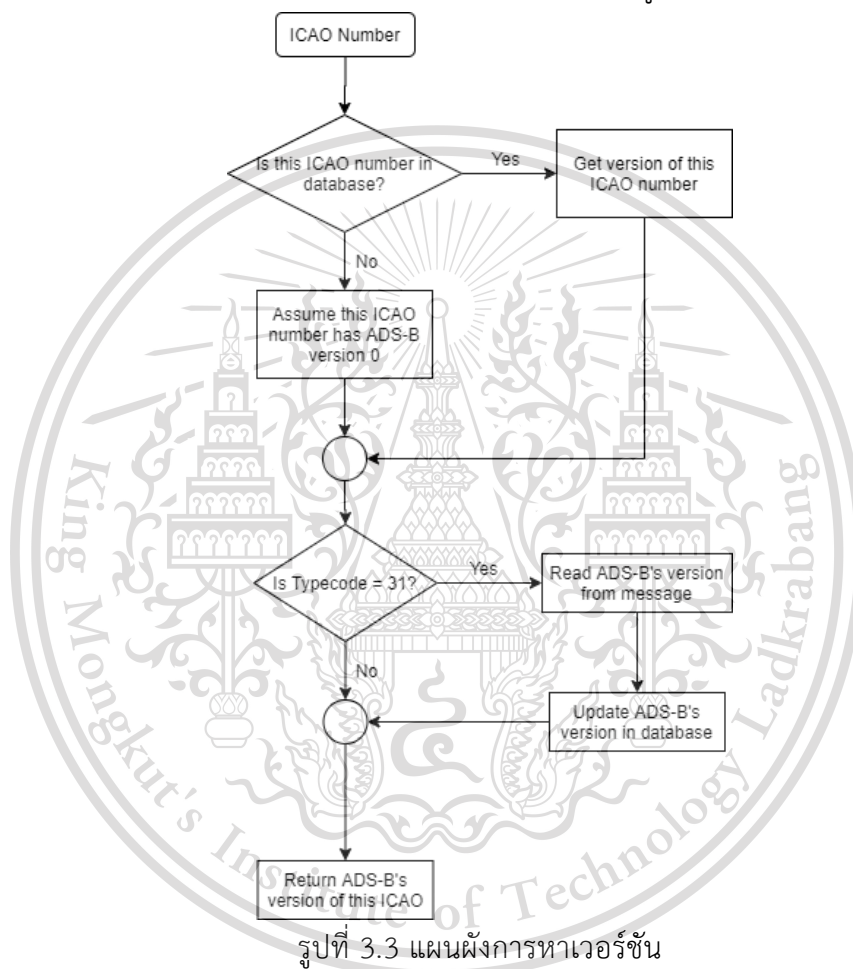
รูปที่ 3.2 แผนผังการทำงานของโปรแกรมหลัก

ในรูปที่ 3.2 การทำงานของโปรแกรมหลักจะเริ่มหลังจากรับข้อความเข้ามา จากนั้นจะตรวจสอบความถูกต้องของข้อความโดยใช้กระบวนการ Cyclic Redundancy Check (CRC) หากข้อความมีความผิดพลาดจะไม่นำไปประมวลผล ไม่เช่นนั้นจะอ่านหมายเลข ICAO และ Typecode ของข้อความ จากนั้นทำการตรวจสอบเวอร์ชันของ ADS-B และอ่านค่าพารามิเตอร์ความไม่แน่นอนต่าง ๆ พิกัด ความสูง และความเร็ว ของข้อความที่ได้รับมา โดยจะเริ่มจากขั้นตอนการตรวจสอบเอกสารนี้เป็นเวอร์ชันที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ในขั้นตอนการตรวจสอบเวอร์ชันของ ADS-B จะทำการตรวจสอบจากฐานข้อมูลภายในอุปกรณ์ โดยตรวจสอบว่าในฐานข้อมูลมีเวอร์ชันของหมายเลข ICAO ที่ต้องการหรือไม่ ในกรณีที่มียกจะนำเวอร์ชันจากฐานข้อมูลมาใช้ แต่ถ้าหากไม่มีข้อมูลจะอนุมานว่าเป็นเวอร์ชัน 0 และเมื่ออากาศยานลำนั้นส่งข้อความที่มี Typecode เป็น 31 ออกมา จะทำการอ่านเวอร์ชันและบันทึกลงฐานข้อมูล ลักษณะการทำงานในขั้นตอนตรวจสอบเวอร์ชันมีลักษณะแสดงดังรูปที่ 3.3



ในขั้นตอนการอ่านค่าพารามิเตอร์ความไม่แน่นอนต่าง ๆ มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

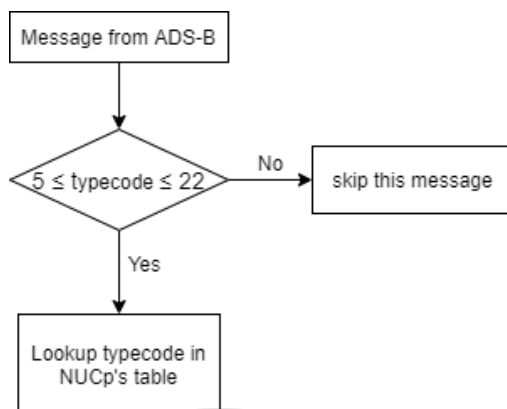
1.) NUCp

หลังจากที่โปรแกรมได้รับข้อความจากระบบ ADS-B แล้วต่อมาจะทำการตรวจสอบ Typecode ของข้อความว่าอยู่ในช่วง 5 ถึง 22 หรือไม่ กรณีถ้าหากข้อความมี Typecode อยู่ในช่วงดังกล่าว โปรแกรมจะทำการหาค่า NUCp โดยใช้ Typecode เปรียบเทียบกับตาราง 2.2 มีลักษณะการทำงานแสดงดังรูปที่ 3.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

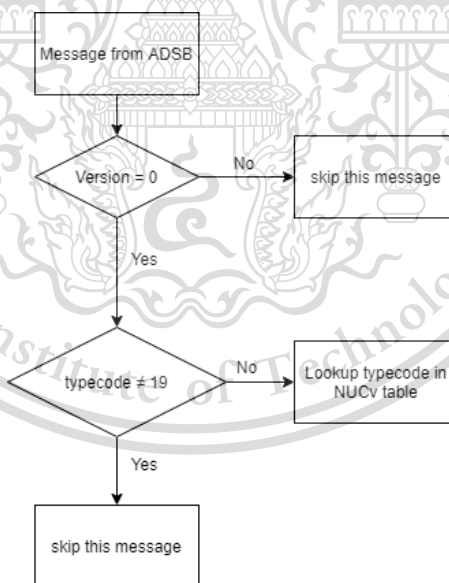
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.4 แผนผังการหาค่า NUCp

2.) NUCv

เมื่อโปรแกรมได้รับข้อความจากระบบ ADS-B แล้วหลังจากนั้นจะทำการตรวจสอบว่าเวอร์ชันของ ADS-B เป็น 0 หรือไม่ กรณีถ้าหากข้อความนั้นมาจาก ADS-B เวอร์ชัน 0 โปรแกรมจะทำการตรวจสอบต่อว่าข้อความมี Typecode เป็น 19 หรือไม่ โดย NUCv จะไม่ปรากฏในข้อความที่มี Typecode เป็น 19 มีลักษณะการทำงานแสดงดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 แผนผังการหาค่า NUCv

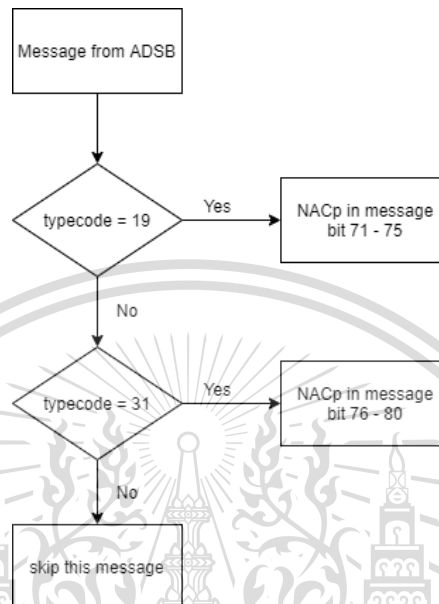
3.) NACp

เมื่อโปรแกรมได้รับข้อความจากระบบ ADS-B แล้วหลังจากนั้นจะทำการตรวจสอบ Typecode ของข้อความ กรณีที่ข้อความมี Typecode เป็น 19 โปรแกรมจะทำการแปลงบิตข้อความ ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ที่ 71 ถึง 75 เป็นเลขฐานสิบ แต่กรณีที่ข้อความมี Typecode เป็น 31 โปรแกรมจะทำการแปลงบิตข้อความที่ 76-80 เป็นเลขฐานสิบ เพื่อหาค่า NACp มีลักษณะการทำงานแสดงดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 แผนผังการหาค่า NACp

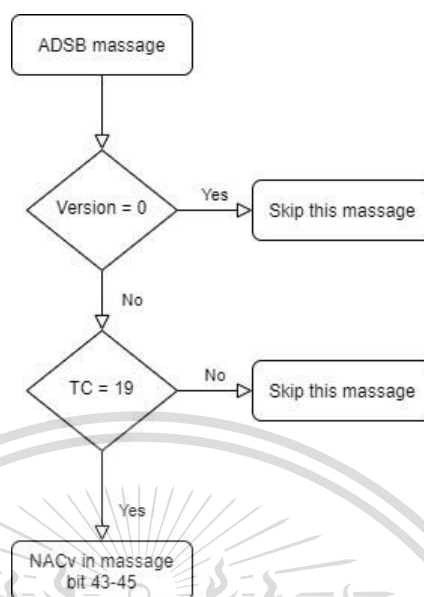
4.) NACv

เมื่อโปรแกรมได้รับข้อความจากระบบ ADS-B แล้วหลังจากนั้นจะทำการตรวจสอบเวอร์ชันของ ADS-B ก่อน โดยตัวแปร NACv จะไม่ปรากฏในข้อความที่มาจาก ADS-B เวอร์ชัน 0 ดังนั้นโปรแกรมจะทำการอ่านเฉพาะข้อความที่มาจาก ADS-B เวอร์ชัน 1 หรือ 2 โดยจะตรวจสอบว่าข้อความที่ได้รับมาที่ Typecode เป็น 19 หรือไม่ ในกรณีที่ข้อความมี Typecode เป็น 19 โปรแกรมจะแปลงบิตข้อความที่ 43-45 เป็นเลขฐานสิบ เพื่อหาค่าของตัวแปร NACv มีลักษณะการทำงานแสดงดังรูปที่ 3.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.7 แผนผังการหาค่า NACv

5.) NIC

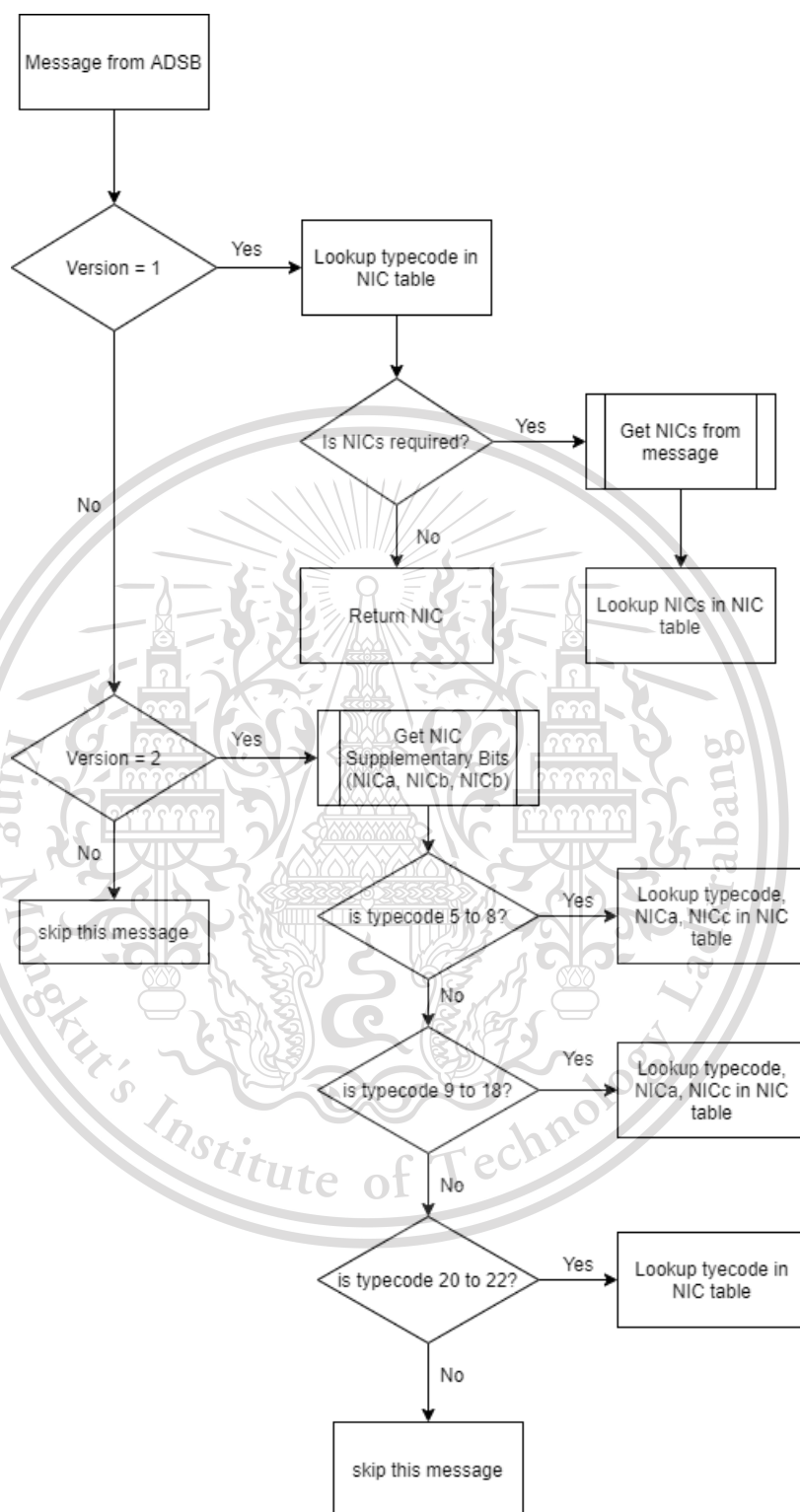
ค่า NIC จะถูกแบ่งเป็น 2 แบบ ตามเวอร์ชันของ ADS-B โดยในเวอร์ชัน 1 จะนำ Typecode ไปเทียบกับตาราง NIC จากนั้นตรวจสอบว่าต้องใช้ Supplement bit (NICs) หรือไม่ ถ้าไม่ต้องการ ก็สามารถนำค่า NIC ไปใช้ได้ ถ้าหากว่าต้องใช้ จะทำการนำค่า NICs มาเปรียบเทียบกับ Typecode เพื่อหาค่า NIC

หากเป็นเวอร์ชัน 2 จะต้องทำการอ่านค่า Supplementary bits (NICa, NICb, NICc) ก่อน แล้วจึงตรวจสอบว่าข้อความที่เข้ามา มี Typecode มีค่าอยู่ในช่วง 5 ถึง 8 หรือ 9 ถึง 18 หรือไม่ ถ้าอยู่ในช่วงดังกล่าว จะนำ Typecode และ Supplementary bits ไปใช้ตรวจสอบในตาราง NIC ร่วมกัน แต่ถ้า Typecode มีค่าอยู่ในช่วง 20 ถึง 22 จะใช้ Typecode เพียงอย่างเดียวในการตรวจสอบกับตาราง NIC โดยจะมีลักษณะการทำงานแสดงดังรูปที่ 3.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.8 แผนผังการหาค่า NIC

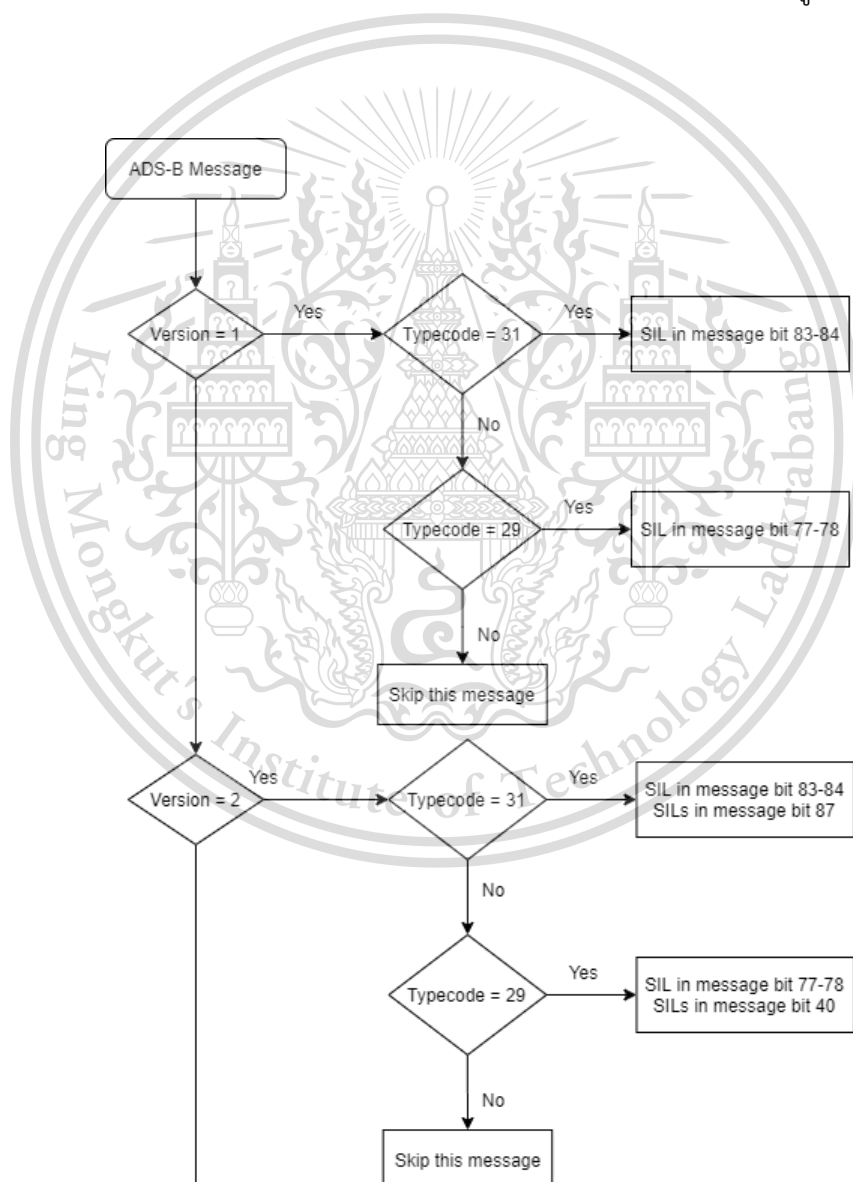
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

6.) SIL

ค่า SIL จะถูกแบ่งตามเวอร์ชันเช่นเดียวกับ NIC โดยถ้าข้อความที่เข้ามานั้นมาจาก ADS-B เวอร์ชัน 1 จะทำการตรวจสอบว่า Typecode เท่ากับ 31 หรือ 29 หรือไม่ สำหรับ Typecode 31 ค่า SIL จะอยู่ที่บิตที่ 83-84 ของข้อความ และสำหรับ Typecode 29 ค่า SIL จะอยู่ที่บิตที่ 77-78 ของข้อความ สำหรับ ADS-B เวอร์ชัน 2 จะตรวจสอบว่า Typecode เท่ากับ 31 หรือ 29 หรือไม่ เช่นเดียวกับเวอร์ชัน 1 แต่ตำแหน่งของบิตจะต่างออกไป และใช้ SILs (SIL Supplement bit) ในการบอกหน่วยว่าเป็นต่อชั่วโมง หรือต่อเที่ยวบิน มีลักษณะการทำงานแสดงดังรูปที่ 3.9



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีสิทธิ์ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
รูปที่ 3.9 แผนผังการหาค่า SIL

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.1.2 โปรแกรมอ่านข้อความ Mode-S

ในปฏิญญาฉบับนี้จะสนใจข้อมูลที่ได้จาก Mode-S ที่มี BDS เป็น BDS5,0 - Track and turn report และ BDS6,0 - Heading and Speed Report โดยข้อมูลที่ได้จะมีดังนี้

1.) BDS5,0 – Track and turn report

ข้อมูลจาก BDS5,0 – Track and turn report จะบอกตัวแปรเกี่ยวกับทิศทางต่าง ๆ ของอากาศยาน เช่น roll angle และ track angle นอกจากนี้ยังบอก ground speed และ true airspeed (TAS) ของอากาศยาน โดยจะมีโครงสร้างดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 โครงสร้างของข้อความ BDS5,0 [2]

| Field | MSG | MB | Bits |
|--|-------|-------|------|
| Status (for roll angle) | 33 | 1 | 1 |
| Sign | 34 | 2 | 1 |
| Roll angle Range: [-90, +90] degrees LSB: 45/256 degrees | 35-43 | 3-11 | 9 |
| Status (for track angle) | 44 | 12 | 1 |
| Sign | 45 | 13 | 1 |
| True track angle Range: [-180, +180] degrees LSB: 90/512 degrees | 46-55 | 14-23 | 10 |
| Status (for ground speed) | 56 | 24 | 1 |
| Ground speed Range: [0, 2046] kt LSB: 2 kt | 57-66 | 25-34 | 10 |
| Status (for track angle rate) | 67 | 35 | 1 |
| Sign | 68 | 36 | 1 |
| Track angle rate Range: [-16, 16] degrees/second LSB: 8/256 degrees/second | 69-77 | 37-45 | 9 |
| Status (for true airspeed) | 78 | 46 | 1 |
| True airspeed Range: [0, 2046] kt LSB: 2 kt | 79-88 | 47-56 | 10 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ในเชิงพาณิชย์
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ยกเว้นที่มีเหตุเปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ข้อมูลที่น่าสนใจในข้อความนี้คือ True track angle ซึ่งบ่งบอกถึงทิศทางการเคลื่อนที่ของอากาศยานเมื่อเปรียบเทียบกับพื้นดิน โดยจะมีช่วงตั้งแต่ -180 องศา ถึง 180 องศาเทียบกับทิศเหนือ และอีกตัวแปรหนึ่งคือ True airspeed ที่บ่งบอกถึงความเร็วสัมพันธ์ระหว่างตัวอากาศยานกับมวลอากาศที่ไหลผ่านตัวอากาศยาน โดยจะมีช่วงตั้งแต่ 0 ถึง 2046 knots

2.) BDS6,0 - Heading and Speed Report.

ข้อความนี้ถูกออกแบบให้ส่งข้อมูล airspeed และ vertical rate ให้ศูนย์ควบคุมจราจรทางอากาศจะระบุ indicated airspeed (IAS), Mach number, Barometric altitude และ Magnetic heading โดยจะมีโครงสร้างดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 โครงสร้างของข้อความ BDS6,0 [2]

| Field | MSG | MB | Bits |
|--|-------|-------|------|
| Status (for magnetic heading) | 33 | 1 | 1 |
| Sign | 34 | 2 | 1 |
| Magnetic heading Range: [-180, +180] degrees LSB: 90/512 degrees | 35-44 | 3-12 | 10 |
| Status (for indicated air speed) | 45 | 13 | 1 |
| Indicated airspeed Range: [0, 1023] kt LSB: 1 kt | 46-55 | 14-23 | 10 |
| Status (for Mach number) | 56 | 24 | 1 |
| Mach number Range: [0, 4.092] LSB: 0.004 | 57-66 | 25-34 | 10 |
| Status (for barometric altitude rate) | 67 | 35 | 1 |
| Sign | 68 | 36 | 1 |
| Barometric altitude rate Range: [-16384, +16352] ft/min LSB: 32 ft/min | 69-77 | 37-45 | 9 |
| Status (for inertial vertical velocity) | 78 | 46 | 1 |
| Sign | 79 | 47 | 1 |
| Inertial vertical velocity Range: [-16348, +16352] ft/min LSB: 32 ft/min | 80-88 | 48-56 | 9 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่โรงเรียนใช้สำหรับนักเรียนในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุใดก็ตามที่นำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตจากโรงเรียน

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ข้อมูลที่สนใจในข้อความนี้คือ Magnetic heading ซึ่งเป็นทิศทางของอากาศยาน เทียบกับทิศเหนือของสนามแม่เหล็กโลกซึ่งอาจจะแตกต่างกับทิศทางของ track angle เนื่องจากอิทธิพลของลม นอกจากนี้ยังมี Indicated airspeed ซึ่งเป็นความเร็วของอากาศยานที่วัดได้จากอุปกรณ์ airspeed indicator บนอากาศยาน และ Mach number คือสัดส่วนของความเร็วของอากาศยานต่อความเร็วเสียง

3.1.3 ซอฟต์แวร์เชื่อมต่อฐานข้อมูล

การเชื่อมต่อฐานข้อมูล MySQL มี 2 ส่วน ส่วนแรกคือฐานข้อมูลเก็บเวอร์ชันที่อยู่ภายในเครื่อง Raspberry Pi โดยใช้โมดูล mysql-connector เชื่อมต่อไปยังพอร์ต 3306 ผ่านทาง localhost ส่วนที่ 2 คือฐานข้อมูลเก็บผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรมอ่านค่าพารามิเตอร์ที่อยู่ที่ภาควิชาโทรคมนาคม ต้องทำการเชื่อมต่อผ่าน SSH Tunneling โดยใช้โมดูล sshunnel เชื่อมต่อไปยังพอร์ต 22 แล้วจึงเชื่อมต่อไปยังพอร์ต 3306 ผ่านทาง SSH Tunneling การส่งข้อมูลไปยังฐานข้อมูลจะทำการส่งทุก ๆ 10 ข้อความ เพื่อลดจำนวนการเชื่อมต่อ ข้อมูลที่ส่งไปจะถูกเก็บไว้ในตาราง fulllog เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป

การเชื่อมต่อไปยังฐานข้อมูล MongoDB ที่ตั้งอยู่ระบบ cloud ภายนอก ต้องใช้การ SSH Tunneling โดยใช้โมดูล sshunnel เชื่อมต่อไปยังพอร์ต 22 จากนั้นใช้โมดูล pymongo เชื่อมต่อไปที่พอร์ต 27017 จึงสามารถทำการส่งข้อมูล หรือดึงข้อมูลออกมาได้

3.1.4 ฐานข้อมูล

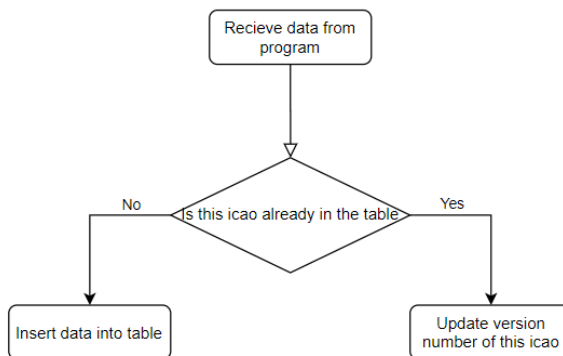
1.) MySQL

ฐานข้อมูลที่ใช้ในการเก็บข้อมูลเวอร์ชันและข้อมูลที่ได้รับใช้ระบบการจัดการฐานข้อมูลเชิงสัมพันธ์ชื่อ MySQL ในการสร้างฐานข้อมูล 2 อัน อันแรกอยู่ในตัว Raspberry Pi มีไว้เก็บค่าเวอร์ชันของ ADS-B ตัวที่เคยเจอไว้ ทำให้สามารถบอกเลขเวอร์ชันได้โดยไม่ต้องรอข้อความที่มี Typecode เป็น 31 โดยจะทำงานแสดงดังรูปมีลักษณะการทำงานแสดงดังรูปที่ 3.10 ถ้าข้อมูลที่ได้รับมี ICAO อยู่ในตารางแล้วจะอัปเดตค่าเก่าแทน ตารางที่สองมีไว้เก็บทุก ๆ ข้อความที่ได้รับและอ่านค่าได้ โดยจะมีการทำงานแสดงดังรูปที่ 3.11 เมื่อมีข้อความส่งมาที่ฐานข้อมูลจะถูกตรวจสอบว่าช่อง raw, callsign, time หรือเวอร์ชันเป็น Null หรือไม่ ถ้าใช่จะไม่เก็บไว้ในฐานข้อมูล ถ้าไม่เช่นนั้นจะเก็บไว้ในฐานข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.10 แผนผังการทำงานของฐานข้อมูลเก็บเวอร์ชัน



รูปที่ 3.11 แผนผังการทำงานของฐานข้อมูลเก็บข้อความที่ได้รับ

จากรูปที่ 3.10 จะเป็น Flow chart การทำงานของฐานข้อมูลเก็บเลขเวอร์ชันใน Raspberry Pi โดยมีการทำงานดังนี้ รับข้อความที่ส่งเข้ามาจากนั้นตัดสินใจว่ามีข้อมูลเวอร์ชันของ ICAO Address นี้หรือไม่ ถ้าไม่มีจะเก็บข้อมูลเวอร์ชันคู่กับ ICAO Address ในแถวใหม่ ถ้ามีจะทำการอัปเดตค่าเวอร์ชันด้วยข้อมูลใหม่

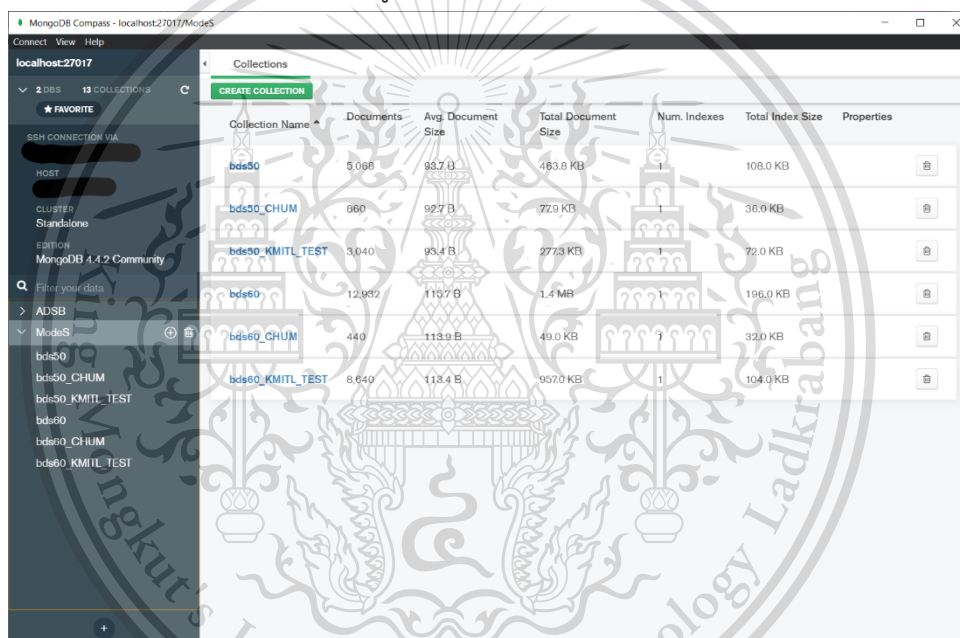
จากรูปที่ 3.11 เป็น Flow chart การทำงานของฐานข้อมูลเก็บค่าข้อความที่ได้รับ หลังจากได้รับข้อความมาแล้วจะทำการตรวจว่าค่าที่สำคัญหายไปหรือไม่ มีค่าที่จำเป็นต้องมีดังนี้ ข้อความที่ได้รับ, ICAO Address, เวลา และเวอร์ชัน ถ้าขาดอันใดอันหนึ่งข้อความนั้นจะถูกทิ้งไปทันที ถ้ามีครบทุกค่าจะนำไปเก็บไว้ในฐานข้อมูล

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.) MongoDB

ระบบการจัดการฐานข้อมูลไม่สัมพันธ์ชื่อ MongoDB เป็นฐานข้อมูลที่เรานำไปเชื่อมต่อกับเซิร์ฟเวอร์เพื่อตอบคำถามของผู้ใช้เซิร์ฟเวอร์ และเป็นฐานข้อมูลที่ใช้ในการเก็บข้อมูล BDS5, BDS6 ที่เก็บได้เพื่อที่จะนำข้อมูลไปทดสอบการทำงานความเร็วม โดยจะมีการตัดสินใจก่อนส่งมาที่ MongoDB ว่าเป็น BDS5, BDS6 หรือเป็นข้อมูลของ ADS-B ถ้าเป็นข้อมูล BDS5 หรือ BDS6 จะถูกนำไปเก็บไว้ใน Database ที่ชื่อว่า ModeS และจะแยก Collection สำหรับ BDS5 และ BDS6 สำหรับแต่ละสถานีรับสัญญาณไว้ ดังรูปที่ 3.12 ถ้าเป็นข้อมูลของ ADS-B จะถูกนำไปเก็บในฐานข้อมูลชื่อ ADSB ใน Collection ชื่อว่า log ดังรูปที่ 3.13



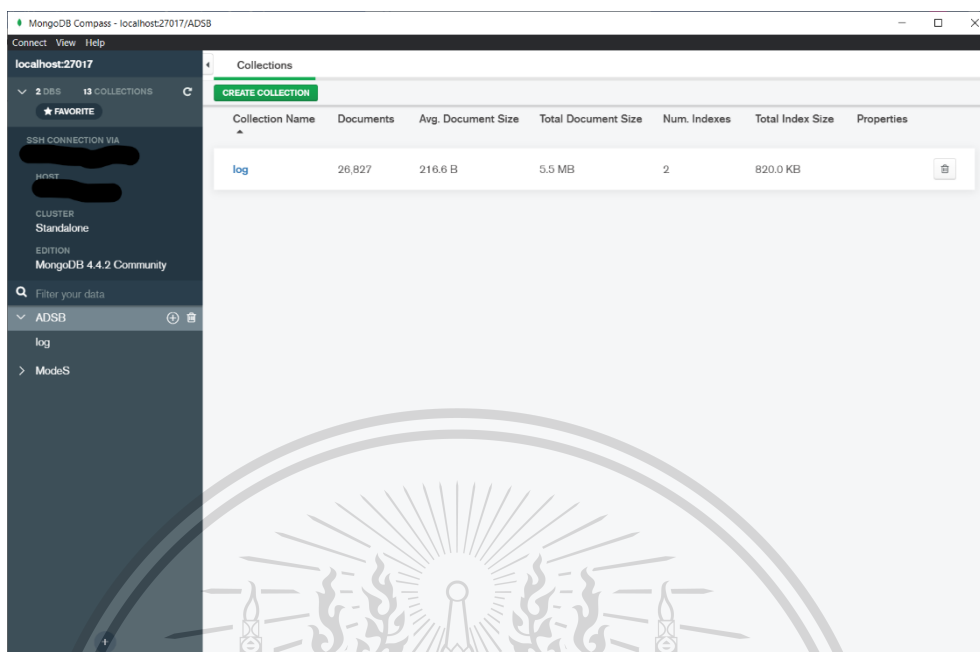
| Collection Name | Documents | Avg. Document Size | Total Document Size | Num. Indexes | Total Index Size | Properties |
|------------------|-----------|--------------------|---------------------|--------------|------------------|------------|
| bds50 | 5,068 | 93.7 B | 463.8 KB | 1 | 108.0 KB | |
| bds50_CHUM | 660 | 92.7 B | 72.9 KB | 1 | 36.0 KB | |
| bds50_KMITL_TEST | 3,040 | 93.4 B | 277.3 KB | 1 | 72.0 KB | |
| bds60 | 12,982 | 110.7 B | 1.4 MB | 1 | 196.0 KB | |
| bds60_CHUM | 440 | 113.9 B | 49.0 KB | 1 | 32.0 KB | |
| bds60_KMITL_TEST | 8,640 | 118.4 B | 957.0 KB | 1 | 104.0 KB | |

รูปที่ 3.12 Collections เก็บข้อมูล Mode-S ใน MongoDB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.13 Collections เก็บข้อมูล ADS-B ใน MongoDB

3.) Firebase

ระบบการจัดการฐานข้อมูลแบบตามเวลาจริง Firebase ถูกนำมาใช้ในการจัดเก็บข้อมูลตำแหน่งของอากาศยานที่ผ่านมาใกล้เครื่องรับในเวลาไม่เกิน 30 วินาที เพื่อนำไปใช้ทำเป็นแผนที่แสดงตำแหน่งของอากาศยานในปัจจุบัน



รูปที่ 3.14 ข้อมูลใน Firebase

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.1.5 หน้าเว็บเพจ

การสร้างและออกแบบเว็บไซต์นั้นจะใช้โปรแกรม Adobe Dreamweaver 2020 โดยจะทำการเชื่อมต่อระบบฐานข้อมูลไปยัง phpMyAdmin ในการนำข้อมูลมาแสดงผลทางหน้าเว็บไซต์ ในรูปที่ 3.15 เป็นการสร้างไฟล์แยกเพื่อให้ง่ายต่อการแก้ไขโดยใช้ภาษา PHP ในการเขียน ด้วยคำสั่ง `mysqli_connect` เพื่อเชื่อมไปยังฐานข้อมูลของ `preproj_ADSB`



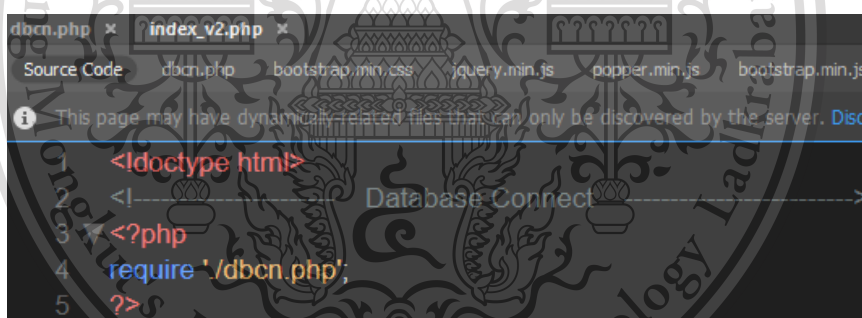
```

1 <?php
2 $con = mysqli_connect("139.180.189.95", "pi", "12345678", "preproj_ADSB");
3 ?>

```

รูปที่ 3.15 คำสั่งไฟล์การเชื่อมฐานข้อมูล

และเมื่อต้องการให้หน้าเว็บเพจเรียกใช้ข้อมูลจากฐานข้อมูล จะทำการใช้คำสั่ง `require` แล้วทำการใส่ชื่อไฟล์ที่ได้สร้างการเชื่อมฐานข้อมูลเอาไว้ใส่ลงไปในคำสั่งในรูปที่ 3.16



```

1 <!doctype html>
2 <!-- Database Connect -->
3 <?php
4 require './dbcn.php';
5 ?>

```

รูปที่ 3.16 คำสั่งการเรียกใช้ฐานข้อมูลกับหน้าเว็บเพจ

โดยหน้าเว็บเพจที่ได้ทำการออกแบบไว้นั้นให้มีการแสดงผลหลัก ๆ ออกเป็น 6 รูปแบบด้วยกันดังแสดงต่อไปนี้

3.1.5.1 หน้า Homepage

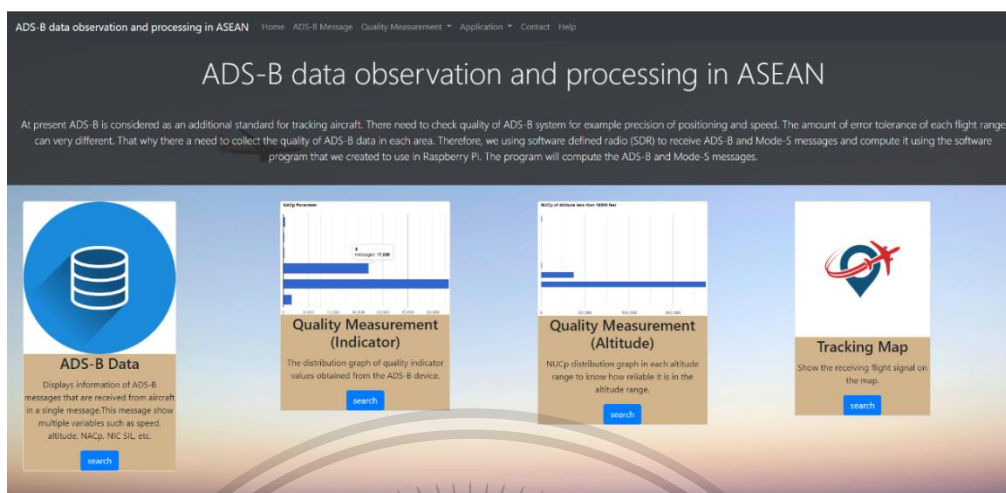
อธิบายถึงส่วนต่าง ๆ ที่มีภายในเว็บไซต์เพื่อให้ผู้ใช้งานทราบถึงการนำข้อมูลมาประยุกต์ใช้ในส่วนต่าง ๆ และได้มีการอธิบายถึงค่าตัวแปรชีวิตเพื่อให้ทราบค่าคุณภาพที่ได้นำมาแสดงผลมีความแตกต่างกันอย่างไร ผู้ใช้งานสามารถกดเข้าไปยังหน้าแสดงข้อมูลของ ADS-B ได้ แสดงดังรูปที่ 3.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.17 หน้าเว็บเพจแสดงการกระจายตัวของค่าพารามิเตอร์ ADS-B

3.1.5.2 การแสดงผลตารางเก็บข้อมูลที่รับได้ในแต่ละวัน

การแสดงผลข้อมูลที่รับได้ในแต่ละวันจะทำการอ่านข้อมูลจากฐานข้อมูลมาโดยตรง และนำมาสร้างเป็นตารางแสดงผล โดยจะแสดงหมายเลข ICAO Callsign หรือหมายเลขเที่ยวบิน วันเวลาที่รับข้อมูลเข้ามาเวอร์ชันของ ADS-B ความสูง ความเร็ว พิกัดของอากาศยาน และมีตัวเลือกวันที่ของข้อมูลที่ต้องการดู มีลักษณะแสดงดังรูปที่ 3.14

| ICAO | Callsign | Date | Version | Altitude | Heading | heading | NICp | NICp | NAcp | NAcp | SIL | NICp | Latitude | Longitude | HPL | NICp |
|--------|----------|---------------------|---------|----------|---------|---------|------|------|------|------|-----|---------|----------|-----------|-----|------|
| 040108 | | 2020-03-01 00:07:25 | 0 | 3300 | | | | | | | | | 14.021 | 101.034 | 185 | 93 |
| 040108 | | 2020-03-01 00:02:31 | 0 | | | | | | | | | | | | | |
| 390583 | | 2020-03-01 01:41:17 | 2 | | 157 | 193.75 | | | | | | | | | | |
| 390583 | | 2020-03-01 01:41:06 | 2 | | 156 | 193.97 | | | | 1 | | | | | | |
| 390583 | | 2020-03-01 01:41:27 | 2 | | 152 | 193.84 | | | | 1 | | | | | | |
| 390583 | | 2020-03-01 01:40:41 | 2 | | 203 | 193.35 | | | | 1 | | | | | | |
| 390583 | | 2020-03-01 01:41:27 | 2 | | 192 | 193.42 | | | | 1 | | | | | | |
| 424401 | | 2020-03-01 00:57:56 | 2 | | | | | | 9 | | 3 | | | | | |
| 424401 | | 2020-03-01 00:58:11 | 2 | 3525 | | | 7 | | | | 8 | 13.825 | 100.801 | 185 | 93 | |
| 424401 | | 2020-03-01 00:58:11 | 2 | 3375 | | | 7 | | | | 8 | 13.915 | 100.799 | 185 | 93 | |
| 424401 | | 2020-03-01 01:00:06 | 2 | | 187 | 194.2 | | | | 1 | | | | | | |
| 424401 | | 2020-03-01 00:58:22 | 2 | 3025 | | | 7 | | | | 8 | 13.9131 | 100.798 | 185 | 93 | |

รูปที่ 3.18 หน้าเว็บเพจแสดงค่าพารามิเตอร์ ADS-B

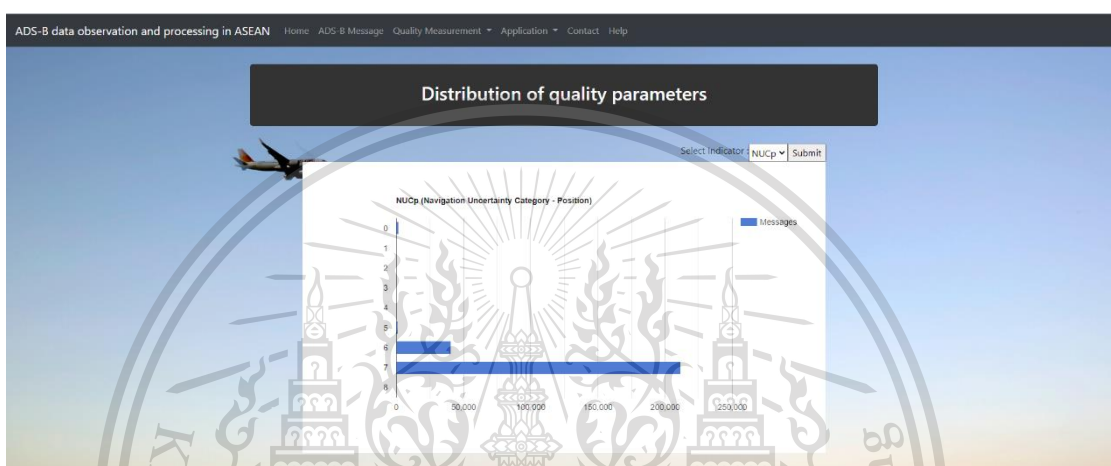
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.1.5.3 การแสดงผลเป็นกราฟโดยแสดงการกระจายตัวของค่าพารามิเตอร์ ADS-B

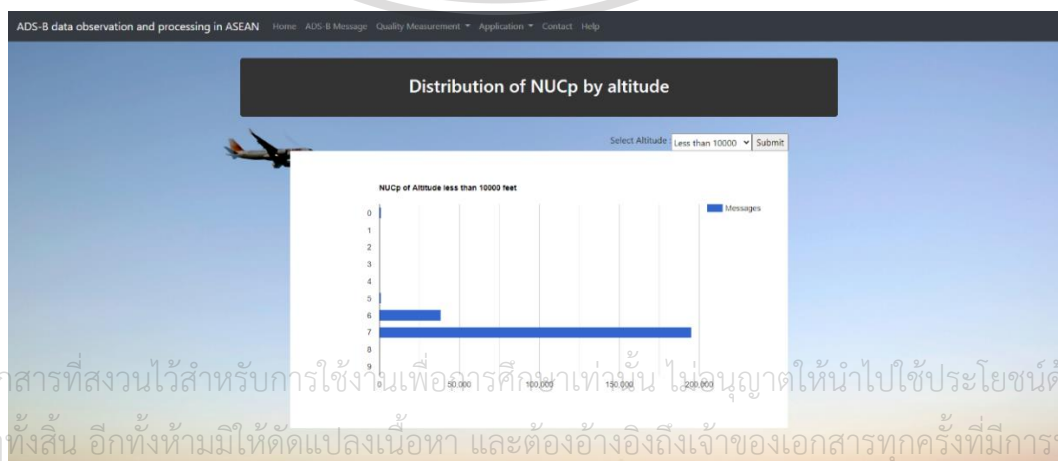
การแสดงผลเป็นกราฟจะดึงข้อมูลของตัวแปรต่าง ๆ มาจากฐานข้อมูล และใช้ Google Chart ในการสร้างกราฟขึ้นมา โดยสามารถเลือกได้ว่าจะดูกราฟของค่าตัวแปรความไม่แน่นอนตัวใด แสดงดังรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.19 หน้าเว็บเพจแสดงการกระจายตัวของค่าพารามิเตอร์ ADS-B

3.1.5.4 การแสดงผลเป็นกราฟโดยแสดงการกระจายตัวของค่าพารามิเตอร์ NUCp ที่ความสูงต่าง ๆ

แสดงผลเป็นกราฟจะดึงข้อมูลของตัวแปรต่าง ๆ มาจากฐานข้อมูล และใช้ Google Chart ในการสร้างกราฟขึ้นมา โดยจะมีตัวเลือกว่าจะดูกราฟของค่า NUCp ที่ความสูงใด โดยจะแบ่งเป็นช่วงความสูงตั้งแต่ต่ำกว่า 10,000 ฟุต และเพิ่มขึ้นทีละ 5,000 ฟุต ไปจนถึงช่วงความสูงมากกว่า 30,000 ฟุต แสดงดังรูปที่ 3.16



รูปที่ 3.20 หน้าเว็บเพจแสดงการกระจายตัวของค่า NUCp ที่ความสูงต่าง ๆ

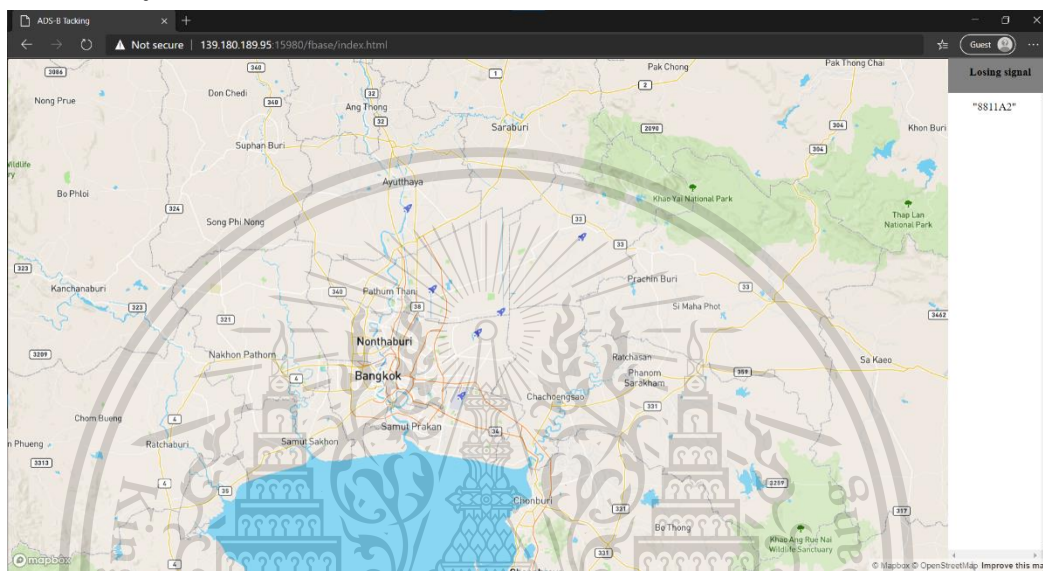
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only; not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.1.5.5 การแสดงตำแหน่งของอากาศยาน

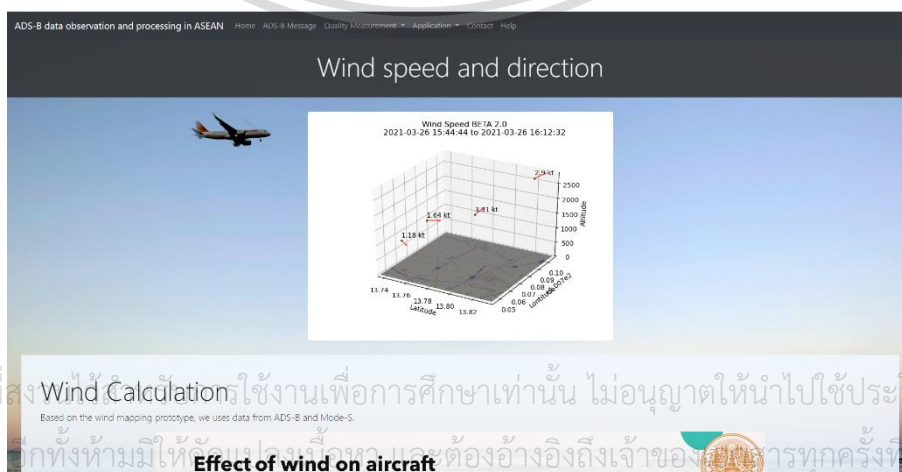
หน้าเว็บนี้จะแสดงตำแหน่งของอากาศยานที่รับข้อมูลมาได้บนแผนที่ โดยจะอัปเดตทุก 3 วินาที และมีฟังก์ชันในการแจ้งเตือนเมื่ออากาศยานไม่ได้ส่งสัญญาณออกมานานเกิน 30 วินาทีโดยจะมีลักษณะดังรูปที่ 3.17



รูปที่ 3.21 หน้าเว็บเพจแผนที่แสดงตำแหน่งอากาศยาน

3.1.5.6 การนำข้อมูลทิศทางและความเร็วลมมาประยุกต์ใช้

นำข้อมูลจากระบบ ADS-B และ Mode-S มาใช้ในการสร้างเป็นแผนที่ลมที่เกิดขึ้น ณ จุดความสูงต่าง ๆ เพื่อให้เห็นภาพว่าที่ตำแหน่งต่าง ๆ ในแผนที่ที่มีทิศทางลมไปทางใดและมีความเร็วลมเท่าใด ดังแสดงในรูปที่ 3.18



รูปที่ 3.22 หน้าเว็บเพจตัวต้นแบบแสดงแผนที่ลม

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.1.6 แผนทีแสดงความเร็วและทิศทางลม

การสร้างแผนที่แสดงทิศทางและความเร็วลมใช้โปรแกรมภาษาไพธอนร่วมกับไลบรารี matplotlib ในการสร้างแผนที่โดยอาศัยข้อมูลจากระบบ ADS-B และ ModeS ที่เก็บอยู่ในฐานข้อมูล มาคำนวณตามทฤษฎี เมื่อทำการเขียนโปรแกรมภาษาไพธอนเสร็จแล้ว จึงนำไปโปรแกรมไปใส่ใน เซิร์ฟเวอร์ และใช้โปรแกรม crontab ในการสั่งให้โปรแกรมทำการสร้างแผนที่ลมทุก ๆ 1 ชั่วโมงเพื่อนำไปใส่ในหน้าเว็บไซต์ ในรูปที่ 3.19 กำหนดเวลาที่ทำงานเป็น 0 */1 * * * หมายความว่า จะทำงานทุก ๆ 1 ชั่วโมง ในตอนที่นาฬิกาอยู่ที่ 0 นาที เช่น 10.00 น. 11.00 น. เป็นต้น

```
GNU nano 2.9.3 /tmp/crontab.ZA7hOP/crontab
# Edit this file to introduce tasks to be run by cron.
#
# Each task to run has to be defined through a single line
# indicating with different fields when the task will be run
# and what command to run for the task
#
# To define the time you can provide concrete values for
# minute (m), hour (h), day of month (dom), month (mon),
# and day of week (dow) or use '*' in these fields (for 'any').#
# Notice that tasks will be started based on the cron's system
# daemon's notion of time and timezones.
#
# Output of the crontab jobs (including errors) is sent through
# email to the user the crontab file belongs to (unless redirected).
#
# For example, you can run a backup of all your user accounts
# at 5 a.m every week with:
# 0 5 * * 1 tar -zcf /var/backups/home.tgz /home
#
# For more information see the manual pages of crontab(5) and cron(8)
#
# m h dom mon dow   command
0 */1 * * * /usr/bin/python3 /home/pai/windspeed/test3.py >> /home/pai/windspeed/cron.log 2>&1
```

รูปที่ 3.23 หน้าคำสั่ง crontab ที่ใช้เรียกโปรแกรมไพธอน

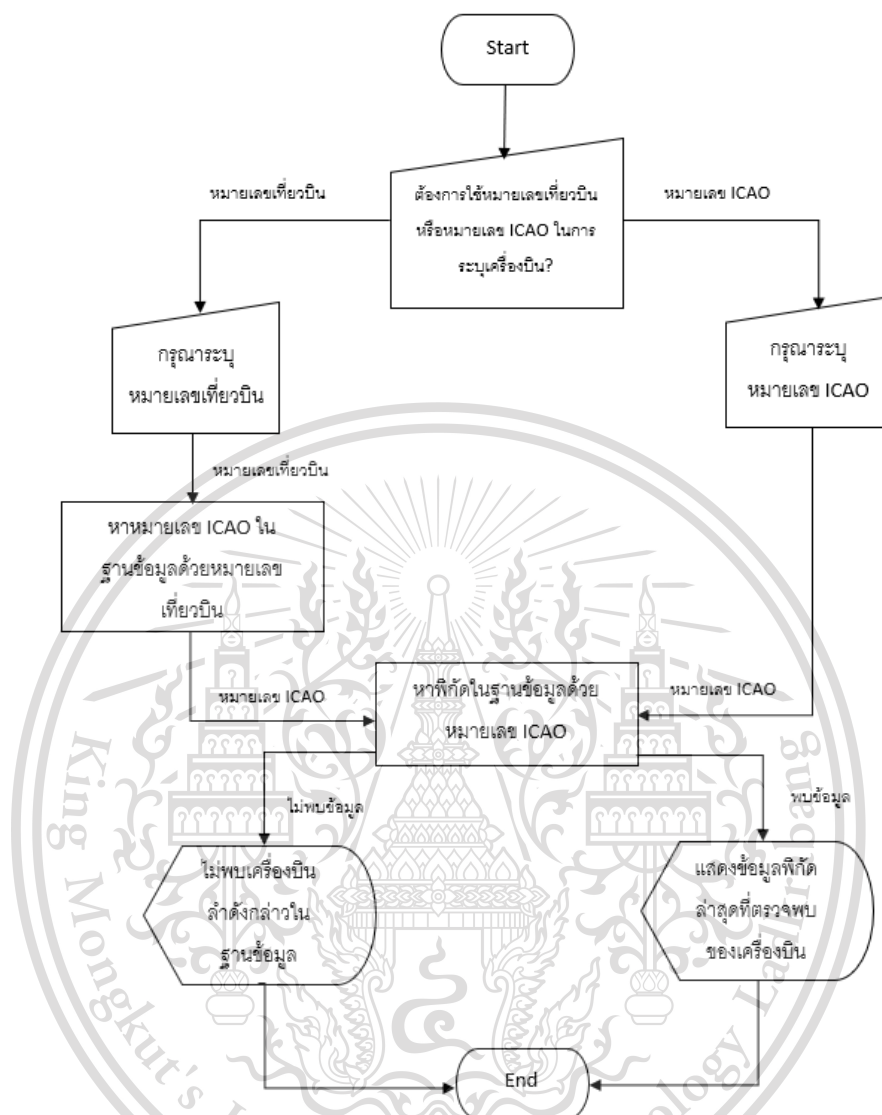
3.1.7 แชทบอทบอกตำแหน่งอากาศยาน

การสร้างแชทบอทสำหรับใช้ในแอปพลิเคชัน Line ด้วย Dialog flow ที่เป็นแพลตฟอร์มช่วยพัฒนาแชทบอทของ Google แชทบอทที่สร้างขึ้นจะมีการอธิบายวิธีใช้เบื้องต้นเมื่อเข้ามาคุยเป็นครั้งแรกหรือมีการทักทายแชทบอท หลังจากผู้ใช้ส่งข้อความต้องการอยากรู้ตำแหน่งของอากาศยานแชทบอทจะการทำงานตามที่แสดงใน รูปที่ 3.20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.24 แผนผังการทำงานของแซทบอท

จากรูปที่ 3.22 สามารถอธิบายเป็นขั้นตอนได้ดังนี้

1. เมื่อแซทบอทได้รับคำสั่งให้หาตำแหน่งเครื่องบิน จะถามผู้ใช้งานว่าต้องการใช้หมายเลขเที่ยวบิน หรือหมายเลข ICAO ในการค้นหา
2. เมื่อผู้ใช้งานต้องการใช้หมายเลขเที่ยวบินในการค้นหา แซทบอทจะทำการเปลี่ยนหมายเลขเที่ยวบินเป็นหมายเลข ICAO ก่อน จากนั้นจะทำการค้นหาข้อมูลตำแหน่งจากฐานข้อมูลโดยใช้หมายเลข ICAO

3. เมื่อทำการหาข้อมูลในฐานข้อมูลแล้ว แซทบอทจะตอบกลับผู้ใช้งานด้วยพิกัดของเครื่องบินลำนั้น หรือถ้าหาข้อมูลไม่เจอก็จะแจ้งผู้ใช้งาน

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

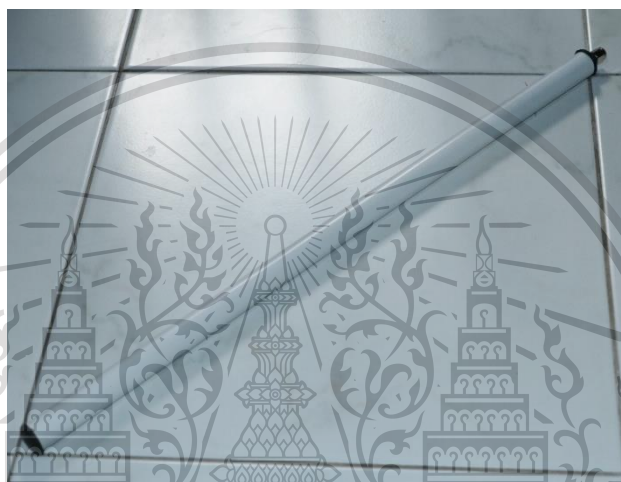
3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

ในปฏิญญาฉบับนี้ มีอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง ดังนี้

3.2.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการรับข้อมูล และประมวลผล

3.2.1.1 เสาอากาศรับความถี่ 1090 MHz

เสาอากาศความยาว 41 เซนติเมตร ใช้รับความถี่ 1090 MHz มีกำลังขยาย 7 dBi



รูปที่ 3.25 เสาอากาศรับความถี่ 1090 MHz

3.2.1.2 สายเคเบิล RG58

RG มาจากศัพท์เต็มว่า “Radio Guide” เลข 58 เป็นสายแบบที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางรวมจากภายนอก 0.195 นิ้ว ความต้านทาน (impedance) อยู่ที่ 50 ถึง 53.5 โอห์ม (Ohms) ในการทดลองนี้ใช้สาย RG58 ความยาว 10 เมตร ใช้เชื่อมต่อเสาอากาศกับอุปกรณ์ RTL-SDR



รูปที่ 3.26 สายเคเบิล RG58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในเท่านั้น ไม่ควรนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.2.1.3 Raspberry Pi 3B+ และ Raspberry Pi 4

Raspberry Pi เป็นบอร์ดคอมพิวเตอร์ขนาดเล็กที่ใช้หน่วยประมวลผลสถาปัตยกรรม ARM ในปริญญาโทปีนี้ได้้นำ Raspberry Pi 3B+ และ Raspberry Pi 4 มาเป็นหน่วยประมวลผลสำหรับอ่านค่าพารามิเตอร์และส่งข้อมูลไปยังฐานข้อมูล โดย Raspberry Pi 3B+ และ Raspberry Pi 4 มีคุณสมบัติแสดงดังตาราง 3.3

ตารางที่ 3.3 คุณสมบัติของ Raspberry Pi 3B+ และ Raspberry Pi 4

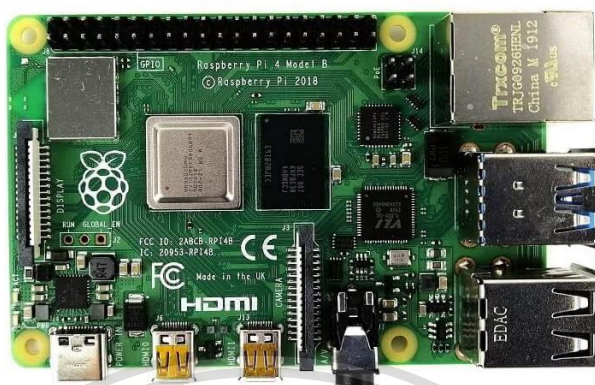
| | Raspberry Pi 3B+ | Raspberry Pi 4 |
|------------|--|--|
| CPU | Cortex-A53(ARMv8) 64-bit SoC @1.4 GHz | Quad core Cortex-A72 (ARM v8) 64-bit SoC @1.5GHz |
| RAM | 1GB LPDDR2 SDRAM | 4GB LPDDR4-2400 SDRAM |
| Networking | 2.4GHz and 5GHz IEEE 802.11b/g/n/ac Bluetooth 4.2 Gigabit Ethernet | 2.4GHz and 5GHz IEEE 802.11ac Bluetooth 5.0 Gigabit Ethernet |
| Ports | HDMI, 3.5mm analogue audio-video jack, 4 USB 2.0 ports | 2 micro-HDMI, 2 USB 3.0 ports, 2 USB 2.0 ports |
| Dimensions | 82mm x 56mm x 19.5mm, 50g | 82mm x 56mm x 19.5mm, 50g |



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 3.27 บอร์ด Raspberry Pi 3B+
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
(ที่มา: <https://bit.ly/3m94BPZ>)

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.28 บอร์ด Raspberry Pi 4
(ที่มา: <https://bit.ly/3wdTQ3J>)

ในการทดลองนี้ Raspberry Pi ทั้ง 2 เครื่องใช้ระบบปฏิบัติการ Raspbian 10 buster หลังจากติดตั้งระบบปฏิบัติการเสร็จแล้ว ให้ทำการ SSH ไปที่เครื่อง Raspberry Pi หรือต่อจอแสดงผล แล้วเปิด Terminal เพื่อทำการตั้งค่า วิธีการตั้งค่า Raspberry Pi อยู่ในภาคผนวก ก

3.2.1.4 RTL-SDR RTL2832U R820T2

RTL2832U เป็นอุปกรณ์ตีมอดูเลต DVB-T COFDM ที่รองรับอินเตอร์เฟซ USB2.0 สามารถตรวจค่าพารามิเตอร์ของการมอดูเลต เช่น Code rate, Guard Interval ได้อย่างอัตโนมัติ มีคุณสมบัติแสดงดังตาราง 3.4

ตารางที่ 3.4 คุณสมบัติของอุปกรณ์ RTL-SDR รุ่น RTL2832U

| | |
|-------------------------|--|
| Bandwidth | Up to 2.4 MHz stable. |
| ADC | RTL2832U 8-bits. |
| Frequency Range | 500 kHz – 1766 MHz (500 kHz – 24 MHz in direct sampling mode) |
| Typical input impedance | 50 Ohms |
| Typical current draw | 270 – 280 mA |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

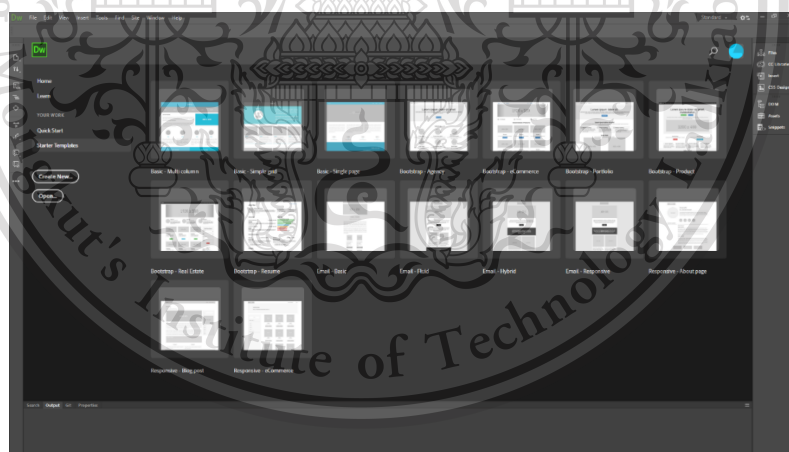


รูปที่ 3.29 อุปกรณ์ RTL-SDR รุ่น RTL2832U
(ที่มา: <https://bit.ly/3dqAjnQ>)

3.2.2 เครื่องมือซอฟต์แวร์ที่ใช้

3.2.2.1 Adobe Dreamweaver 2020

Adobe Dreamweaver เป็นโปรแกรมสร้างเว็บเพจแบบเสมือนจริงของบริษัท Adobe ซึ่งช่วยให้ผู้สร้างเว็บไม่ต้องเขียนภาษา HTML เองทั้งหมด Dreamweaver มีฟังก์ชันให้ผู้ใช้สามารถจัดวางข้อความ รูปภาพ ตาราง วิดีโอ รวมไปถึงองค์ประกอบอื่น ๆ ภายในเว็บเพจได้ง่ายขึ้น โดยไม่ต้องใช้ภาษาสคริปต์



รูปที่ 3.30 หน้าต่างโปรแกรม Adobe Dreamweaver 2020

3.2.2.2 MySQL Workbench

MySQL Workbench เป็นเครื่องมือที่ใช้สำหรับจัดการฐานข้อมูล MySQL Server มีฟังก์ชันทำงานหลัก ๆ ที่นิยมใช้ 3 ส่วนคือ SQL Development, Data Modeling และ Server Administration ความสามารถ MySQL Workbench ค่อนข้างสูงและสามารถทำงานได้เร็ว รวมทั้งยังสามารถออกแบบ Data Model, EER Model รวมไปถึงฟังก์ชันอื่น ๆ อีกมากมาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการทำงานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.31 หน้าต่างโปรแกรม MySQL Workbench

3.2.2.3 Visual Studio Code

Visual Studio Code หรือ VSCode เป็นโปรแกรม Code Editor ที่ใช้ในการแก้ไขและปรับแต่งโค้ด จากบริษัทไมโครซอฟท์ มีการพัฒนาออกมาในรูปแบบของ Open-Source ซึ่ง Visual Studio Code นั้น เหมาะสำหรับนักพัฒนาโปรแกรมที่ต้องการใช้งานข้ามแพลตฟอร์มรองรับการใช้งานทั้งบน Windows, macOS และ Linux สนับสนุนทั้งภาษา JavaScript, TypeScript และ Node.js สามารถเชื่อมต่อกับ Git ได้ นำมาใช้งานได้ง่ายไม่ซับซ้อน มีเครื่องมือส่วนขยายต่าง ๆ ให้เลือกใช้อย่างมาก สามารถเปิดใช้งานภาษาอื่น ๆ ทั้ง ภาษา C++, C#, Java, ไพธอน, PHP หรือ Go



รูปที่ 3.32 หน้าต่างโปรแกรม Visual Studio Code

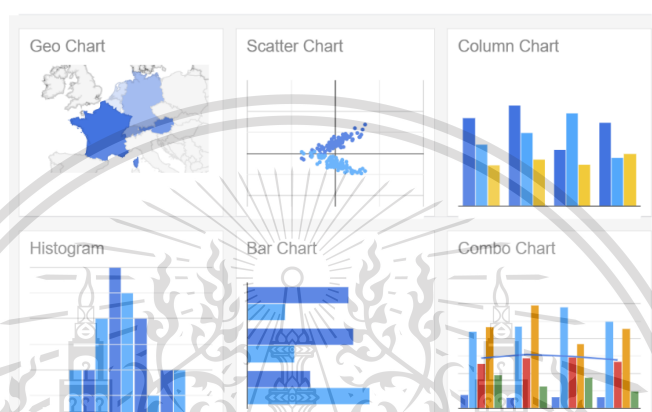
3.2.2.4 Google Chart

Google Chart เป็นเครื่องมือในการสร้างแผนภูมิรูปภาพ ที่สามารถเรียกใช้ในรูปแบบของ Visualization API หรือส่วนต่อประสานโปรแกรมของ Google ที่จะแปลงข้อมูลสถิติต่าง ๆ ให้แสดงผลออกมาในรูปแบบแผนภูมิที่เรียบง่าย ไปจนถึงรูปแบบที่มีความซับซ้อน โดยอาศัยการเชื่อมต่อไม่ว่ากรณีใดก็ตาม ล้วนงานที่มีให้คิดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ภายใต้ชุดพัฒนาของส่วนต่อประสานโปรแกรม Visualization API ของ Google ทำให้สามารถนำชุดข้อมูลสถิติที่อยู่ในรูปของตาราง (Spread Sheets) มาทดสอบผ่านหน้าจอตดสอบ ก่อนนำไปใช้งานร่วมกับบริการ Google Docs หรือประยุกต์ให้ซับซ้อนมากขึ้นโดยการพัฒนาร่วมกับการเขียนโปรแกรมเพื่อดึงข้อมูลจากฐานข้อมูลขึ้นมาเป็นค่าตัวแปร เพื่อให้แสดงผลเป็นกราฟ หรือแผนภูมิที่สวยงามผ่านโปรแกรมเว็บเบราว์เซอร์มาตรฐาน



รูปที่ 3.33 ตัวอย่างแผนภูมิจาก Google Chart
(ที่มา: <https://developers.google.com/chart/interactive/docs/gallery>)

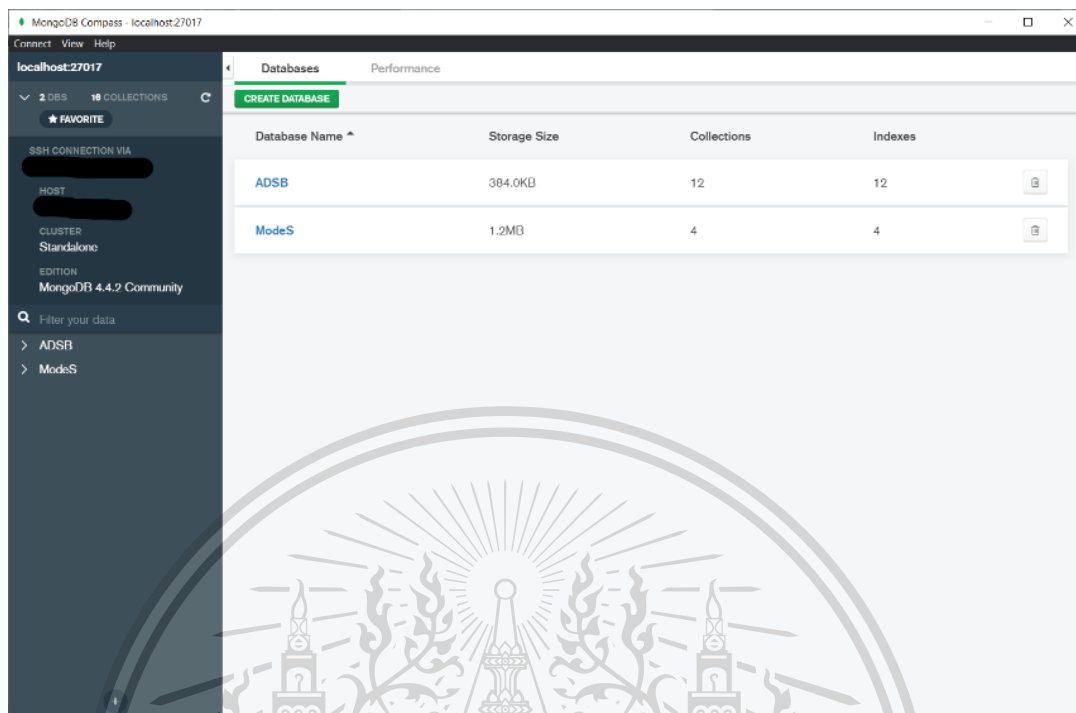
3.2.2.5 MongoDB Compass

MongoDB Compass เป็นเครื่องมือที่ใช้สำหรับการเข้าถึง MongoDB แบบ GUI อย่างเป็นทางการ ซึ่งพัฒนาโดย MongoDB เอง ช่วยทำให้สามารถจัดการโครงสร้าง สืบค้น ทำดัชนี และการดำเนินการอื่น ๆ บนฐานข้อมูล MongoDB ได้ง่ายขึ้นโดยไม่จำเป็นต้องใช้คำสั่ง shell ในการจัดการฐานข้อมูล MongoDB ทำให้ผู้ใช้งานสามารถเข้าถึงข้อมูลที่เก็บไว้ได้ง่ายขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

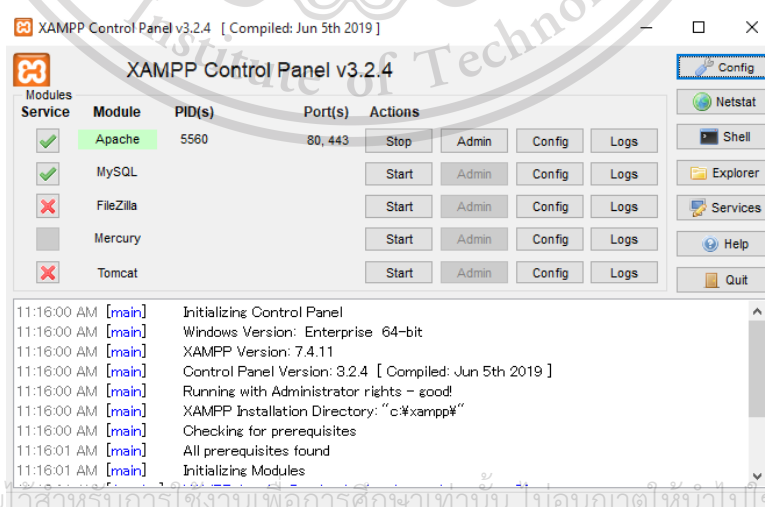
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.34 หน้าต่างโปรแกรม MongoDB Compass

3.2.2.6 XAMPP

เป็นโปรแกรม Apache web server ใช้จำลอง web server เพื่อทดสอบ สคริปต์ หรือเว็บไซต์ในเครื่อง โดยที่ไม่ต้องเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตและไม่มีค่าใช้จ่าย ง่ายต่อการติดตั้งและใช้งาน โปรแกรม Xampp จะมาพร้อมกับ PHP ภาษาสำหรับพัฒนาเว็บแอปพลิเคชัน, ฐานข้อมูล MySQL, Apache จะทำหน้าที่เป็นเว็บเซิร์ฟเวอร์, Perl, OpenSSL , phpMyadmin



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ประโยชน์ด้านการค้า

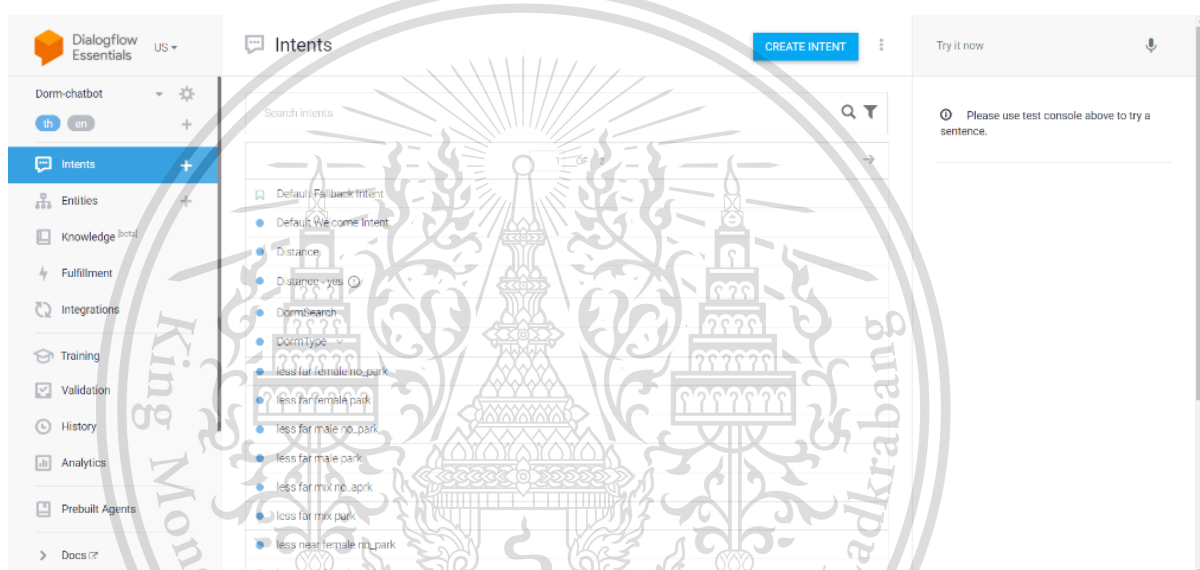
รูปที่ 3.35 โปรแกรม XAMPP, ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.2.2.7 Dialogflow

Dialogflow คือแพลตฟอร์มสำหรับสร้าง Chatbot ของ Google ที่ใช้ Machine Learning ด้าน Natural Language Processing (NLP) มาช่วยในการทำความเข้าใจถึงความต้องการ (Intent) และสิ่งที่ต้องการ (Entity) ในประโยคสนทนาของผู้ใช้งาน และตอบกลับตามกฎหรือ Flow ที่ผู้พัฒนากำหนดไว้ ซึ่ง Dialogflow จะช่วยเพิ่มความยืดหยุ่นของประโยคที่ Chatbot รับมาว่าไม่จำเป็นต้องตรงตามเงื่อนไขเสมอไป ก็สามารถเข้าใจถึงความต้องการของผู้ใช้งานได้ โดนเข้าสามารถเข้าถึงแพลตฟอร์ม Dialogflow ได้จากเว็บไซต์ซึ่งมีลักษณะดังรูปที่ 3.32



รูปที่ 3.36 แพลตฟอร์ม Dialogflow

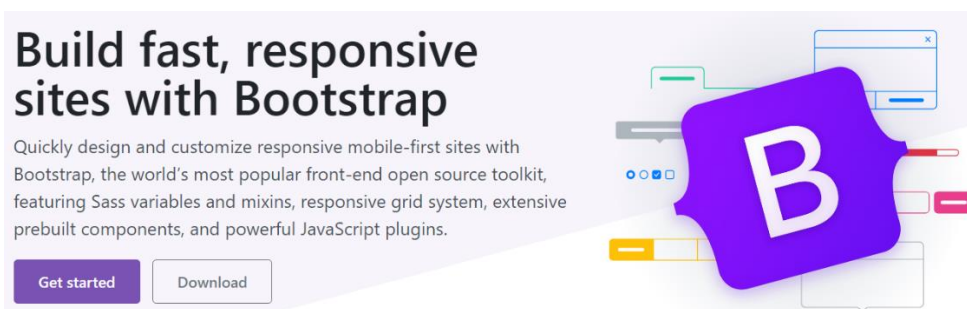
3.2.2.8 Bootstrap

Bootstrap คือ Front-end Framework ที่รวม HTML, CSS และ JS เข้าไว้ด้วยกันเพื่อใช้สำหรับสำหรับพัฒนาเว็บไซต์ในส่วนการแสดงผลให้ตอบสนองกับผู้ใช้ ซึ่งสามารถเข้ามาช่วยกำหนดกรอบการทำงานของกลุ่มผู้พัฒนาเว็บไซต์ให้เป็นไปในแนวทางเดียวกัน สามารถรองรับได้ทุกอุปกรณ์ หรือเรียกว่า Responsive Web หรือ Mobile First ตัวช่วย Bootstrap นี้ถูกพัฒนามาแล้ว 3 เวอร์ชัน ปัจจุบันได้ใช้เวอร์ชันที่ 4 ในการออกแบบและกำลังพัฒนาเวอร์ชันที่ 5 ซึ่งเป็นเวอร์ชันทดลองที่พัฒนาให้ใช้สะดวกขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

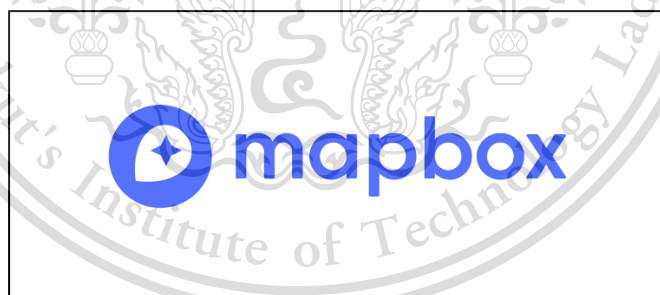
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.37 เฟรมเวิร์ค Bootstrap
(ที่มา: <https://getbootstrap.com/>)

3.2.2.8 Mapbox

Mapbox เป็นแพลตฟอร์มข้อมูลตำแหน่ง ที่ให้บริการผ่าน API ที่แสดงแผนที่และบริการระบุตำแหน่ง ซึ่งได้ถูกนำไปใช้งานในแอปพลิเคชันที่โด่งดังมากมาย ถูกคิดค้นขึ้นมาจากทีมนักพัฒนาเว็บไซต์เพื่อตอบปัญหา การทำอย่างไรให้แผนที่มีการเคลื่อนไหวในเว็บเบราว์เซอร์ แทนการที่ต้องดาวน์โหลดแผนที่นิ่งที่ต้องผ่านการเรนเดอร์จากเซิร์ฟเวอร์ โดยนักพัฒนาต้องการให้ฝั่งการเคลื่อนไหว, การตอบสนอง, การปรับแต่งแผนที่บนเว็บเพจและอุปกรณ์พกพาต่าง ๆ ทั้งยังรวมเทคโนโลยีการบอกตำแหน่งเวกเตอร์และการเรนเดอร์แบบสามมิติเข้าไว้ด้วยกันเพื่อให้ตอบโจทย์ถึงปัญหาที่ได้กล่าวไว้ก่อนหน้านี้



รูปที่ 3.38 ตัวช่วยในการสร้างแผนที่ mapbox
(ที่มา : www.geospatialworld.net)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.3 การจัดเก็บผลทดลอง

3.3.1 การจัดเก็บข้อมูลของระบบ ADS-B และนำมาประมวลผลสร้างเป็นกราฟแสดงการกระจายตัวของตัวแปรความไม่แน่นอน

นำข้อมูลที่ได้จากระบบ ADS-B ที่เก็บไว้ในฐานข้อมูลมาสร้างแผนกราฟแสดงการกระจายตัวของตัวแปรความไม่แน่นอนต่าง และเปรียบเทียบกับข้อกำหนดของ ICAO

3.3.2 การทดสอบแผนที่แสดงความเร็วลม

ทำการทดสอบโดยการเปรียบเทียบข้อมูลความเร็วลมที่คำนวณได้กับข้อมูลความเร็วลมบริเวณสนามบินสุวรรณภูมิที่กรมอุตุนิยมวิทยาได้ทำการบันทึกไว้ในระบบ METARs

3.3.3 การทดสอบแชทบอทบนแอปพลิเคชัน Line

การทดสอบแชทบอททำโดยการลองใช้แล้วตรวจสอบว่าได้การตอบกลับถูกต้องหรือไม่เมื่อเทียบกับข้อมูลในฐานข้อมูล

3.3.4 การนำข้อมูลไปแสดงผลบนเว็บไซต์

นำข้อมูลกราฟ แผนที่ลม ตารางแสดงข้อความ ADS-B และการเข้าถึงแชทบอท ไปแสดงบนหน้าเว็บไซต์เพื่อให้ง่ายต่อการค้นหาและเข้าถึงข้อมูลได้ง่ายขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 4

ผลการทดลอง

ผู้จัดทำได้ทำการเก็บผลการทำงานของระบบ โดยแบ่งการทดลองและจัดเก็บผลการทดลองเป็นส่วน ๆ ดังต่อไปนี้

4.1. การจัดเก็บข้อมูลของระบบ ADS-B และนำมาประมวลผลสร้างเป็นกราฟแสดงการกระจายตัวของตัวแปรความไม่แน่นอน

ทำการทดสอบโปรแกรมภาษาไพธอนที่ได้เขียนขึ้นมาโดยนำเอาข้อความของระบบ ADS-B ที่รู้ค่าอยู่แล้วมาใส่เป็นอินพุตในฟังก์ชันสำหรับหาค่าตัวแปรต่าง ๆ แล้วดูผลลัพธ์ จากการทดสอบฟังก์ชันต่าง ๆ ได้ผลลัพธ์ดังนี้

4.1.1. ผลการทดสอบฟังก์ชันต่าง ๆ ในโปรแกรมไพธอน

4.1.1.1 ฟังก์ชันหาเวอร์ชันของ ADS-B

ฟังก์ชันหาเวอร์ชันของ ADS-B ได้นำแผนผังการทำงานในรูปที่ 3.3 มาปรับเป็นการเขียนโปรแกรมภาษาไพธอนเพื่อใช้สำหรับหาค่าเวอร์ชันของข้อความนั้น ๆ ดังรูปที่ 4.1 และได้ทำการทดลองใส่อินพุตเป็นข้อความที่ทราบค่าเวอร์ชันคือ 8C88596DF9002602834938E7411A ซึ่งมี Typecode เป็น 31 และมีเวอร์ชันเท่ากับ 2 ผลลัพธ์ที่ได้มีลักษณะดังรูปที่ 4.2

```
def version(msg):  
    tc = typecode(msg)  
  
    if tc != 31:  
        raise RuntimeError(  
            "%s: Not a status operation message, expecting TC = 31" % msg  
        )  
  
    msgbin = common.hex2bin(msg)  
    version = common.bin2int(msgbin[72:75])  
  
    print("message : " + str(msg))      #For Testing  
    print("typecode : " + str(tc))     #For Testing  
    print("version : " + str(version))  #For Testing  
  
    return version
```

รูปที่ 4.1 ฟังก์ชันอ่านค่าเวอร์ชันจากข้อความ

```
PS C:\Users\kanok\Desktop\project> & C:/Users/kanok/Desktop/ADS-B/ADS-B.py  
message : 8C88596DF9002602834938E7411A  
typecode : 31  
version : 2
```

รูปที่ 4.2 ผลลัพธ์จากฟังก์ชันอ่านค่าเวอร์ชัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น ไม่ควรเผยแพร่หรือใช้เพื่อวัตถุประสงค์ทางการค้า

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.1.1.2 ฟังก์ชันอ่านค่าพารามิเตอร์ NUCp

ฟังก์ชันอ่านค่าพารามิเตอร์ NUCp ได้นำแผนผังการทำงานรูปที่ 3.4 มาปรับเป็นการเขียนโปรแกรมภาษาไพธอนเพื่อใช้สำหรับหาค่าพารามิเตอร์ NUCp ของข้อความนั้น ๆ ดังรูปที่ 4.3 และทำการทดสอบโดยนำข้อความ 8D8832B65811D15E5C707E49E5BA จากระบบ ADS-B ที่มีค่า NUCp เท่ากับ 7 ใส่ออกเป็นอินพุต ผลลัพธ์ที่ได้มีลักษณะดังรูปที่ 4.4

```
def nuc_p(msg):
    tc = typecode(msg)

    if typecode(msg) < 5 or typecode(msg) > 22:
        raise RuntimeError(
            "%s: Not a surface position message (5<TC<8), \
            airborne position message (8<TC<19), \
            or airborne position with GNSS height (20<TC<22)"
            % msg
        )

    try:
        NUCp = uncertainty.TC_NUCp_lookup[tc]
        HPL = uncertainty.NUCp[NUCp]["HPL"]
        RCu = uncertainty.NUCp[NUCp]["RCu"]
        RCv = uncertainty.NUCp[NUCp]["RCv"]
    except KeyError:
        HPL, RCu, RCv = uncertainty.NA, uncertainty.NA, uncertainty.NA

    if tc in [20, 21]:
        RCv = uncertainty.NA

    print("message : " + str(msg))          #For Testing
    print("NUCp   : " + str(NUCp))          #For Testing
    return NUCp, HPL, RCu, RCv
```

รูปที่ 4.3 ฟังก์ชันอ่านค่าพารามิเตอร์ NUCp

```
PS C:\Users\kanok\Desktop\project> & C:/Us
message : 8D8832B65811D15E5C707E49E5BA
NUCp    : 7
PS C:\Users\kanok\Desktop\project> █
```

รูปที่ 4.4 ผลลัพธ์จากฟังก์ชันอ่านค่า NUCp

4.1.1.3 ฟังก์ชันอ่านค่าพารามิเตอร์ NUCv

ฟังก์ชันอ่านค่าพารามิเตอร์ NUCv ได้นำแผนผังการทำงานรูปที่ 3.5 มาปรับเป็นการเขียนโปรแกรมภาษาไพธอนเพื่อใช้สำหรับหาค่าพารามิเตอร์ NUCv ของข้อความนั้น ๆ ดังรูปที่ 4.5 และทำการทดสอบโดยนำข้อความ 8D8811A29910A79108700AAC5197 จากระบบ ADS-B ที่มีค่า NUCv เท่ากับ 2 ใส่ออกเป็นอินพุต ผลลัพธ์ที่ได้มีลักษณะดังรูปที่ 4.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น มิอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

```

def nuc_v(msg):
    tc = typecode(msg)

    if tc != 19:
        raise RuntimeError(
            "%s: Not an airborne velocity message, expecting TC = 19" % msg
        )

    msgbin = common.hex2bin(msg)
    NUCv = common.bin2int(msgbin[42:45])

    try:
        HVE = uncertainty.NUCv[NUCv]["HVE"]
        VVE = uncertainty.NUCv[NUCv]["VVE"]
    except KeyError:
        HVE, VVE = uncertainty.NA, uncertainty.NA

    print("message : " + str(msg)) #For Testing
    print("NUCp : " + str(NUCv)) #For Testing

    return NUCv, HVE, VVE

```

รูปที่ 4.5 ฟังก์ชันอ่านค่าพารามิเตอร์ NUCv

```

PS C:\Users\kanok\Desktop\project> & C:/U/
message : 8D8811A29910A79108700AAC5197
NUCp : 2
PS C:\Users\kanok\Desktop\project>

```

รูปที่ 4.6 ผลลัพธ์จากฟังก์ชันอ่านค่า NUCv

4.1.1.4 ฟังก์ชันอ่านค่าพารามิเตอร์ NACp

ฟังก์ชันอ่านค่าพารามิเตอร์ NACp ได้นำแผนผังการทำงานรูปที่ 3.6 มาปรับเป็นการเขียนโปรแกรมภาษาไพธอนเพื่อใช้สำหรับหาค่าพารามิเตอร์ NACp ของข้อความนั้น ๆ ดังรูปที่ 4.7 และทำการทดสอบโดยนำข้อความ 8C885105F9004C02854938D4824F จากระบบ ADS-B ที่มีค่า NACp เท่ากับ 9 ใส่ไปเป็นอินพุต ผลลัพธ์ที่ได้มีลักษณะดังรูปที่ 4.8

```

def nac_p(msg):
    tc = typecode(msg)

    if tc not in [29, 31]:
        raise RuntimeError(
            "%s: Not a target state and status message, \
            or operation status message, expecting TC = 29 or 31"
            % msg
        )

    msgbin = common.hex2bin(msg)

    if tc == 29:
        NACp = common.bin2int(msgbin[71:75])
    elif tc == 31:
        NACp = common.bin2int(msgbin[76:80])

    try:
        EPU = uncertainty.NACp[NACp]["EPU"]
        VEPU = uncertainty.NACp[NACp]["VEPU"]
    except KeyError:
        EPU, VEPU = uncertainty.NA, uncertainty.NA

    print("message : " + str(msg)) #For testing
    print("NACp : " + str(NACp)) #For testing

    return NACp, EPU, VEPU

```

รูปที่ 4.7 ฟังก์ชันสำหรับอ่านค่าพารามิเตอร์ NACp

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้ง

ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

```
PS C:\Users\kanok\Desktop\project> & C:/Use
message : 8C885105F9004C02854938D4824F
NUCp    : 9
PS C:\Users\kanok\Desktop\project> █
```

รูปที่ 4.8 ผลลัพธ์จากฟังก์ชันอ่านค่า NACp

4.1.1.5 ฟังก์ชันอ่านค่าพารามิเตอร์ NACv

ฟังก์ชันอ่านค่าพารามิเตอร์ NACv ได้นำแผนผังการทำงานรูปที่ 3.7 มาปรับเป็นการเขียนโปรแกรมภาษาไพธอนเพื่อใช้สำหรับหาค่าพารามิเตอร์ NACv ของข้อความนั้น ๆ ดังรูปที่ 4.9 และทำการทดสอบโดยนำข้อความ 8D888192990C31225860091AE02F จากระบบ ADS-B ที่มีค่า NACv เท่ากับ 1 ใส่อินพุต ผลลัพธ์ที่ได้มีลักษณะดังรูปที่ 4.10

```
def nac_v(msg):
    tc = typecode(msg)
    if tc != 19:
        raise RuntimeError(
            "%s: Not an airborne velocity message, expecting TC = 19" % msg
        )
    msgbin = common.hex2bin(msg)
    NACv = common.bin2int(msgbin[42:45])
    try:
        HFOMr = uncertainty.NACv[NACv]["HFOMr"]
        VFOMr = uncertainty.NACv[NACv]["VFOMr"]
    except KeyError:
        HFOMr, VFOMr = uncertainty.NA, uncertainty.NA
    print("message : " + str(msg)) #For Testing
    print("NACv : " + str(NACv)) #For Testing
    return NACv, HFOMr, VFOMr
```

รูปที่ 4.9 ฟังก์ชันสำหรับอ่านค่าพารามิเตอร์ NACv

```
PS C:\Users\kanok\Desktop\project> & C:/Us
message : 8D888192990C31225860091AE02F
NACv    : 1
PS C:\Users\kanok\Desktop\project> █
```

รูปที่ 4.10 ผลลัพธ์จากฟังก์ชันอ่านค่า NACv

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.1.1.6 ฟังก์ชันอ่านค่าพารามิเตอร์ NIC

ฟังก์ชันอ่านค่าพารามิเตอร์ NIC ได้นำแผนผังการทำงานรูปที่ 3.7 มาปรับเป็นการเขียนโปรแกรมภาษาไพธอนเพื่อใช้สำหรับหาค่าพารามิเตอร์ NIC ของข้อความนั้น ๆ ดังรูปที่ 4.11 และทำการทดสอบโดยนำข้อความ 8D8851055805B4F84BE82CEDC7A7 ซึ่งเป็นข้อความจากระบบ ADS-B เวอร์ชัน 1 และค่า NIC Supplementary เท่ากับ 9 จากระบบ ADS-B ที่มีค่า NIC เท่ากับ 9 ใส่อ่านเป็นอินพุต ผลลัพธ์ที่ได้มีลักษณะดังรูปที่ 4.12

```
def nic_v1(msg, NICs):
    if typecode(msg) < 5 or typecode(msg) > 22:
        raise RuntimeError(
            "%s: Not a surface position message (5<TC<8), \
            airborne position message (8<TC<19), \
            or airborne position with GNSS height (20<TC<22)"
            % msg
        )
    tc = typecode(msg)
    NIC = uncertainty.TC_NICv1_lookup[tc]
    if isinstance(NIC, dict):
        NIC = NIC[NICs]
    try:
        Rc = uncertainty.NICv1[NIC][NICs]["Rc"]
        VPL = uncertainty.NICv1[NIC][NICs]["VPL"]
    except KeyError:
        Rc, VPL = uncertainty.NA, uncertainty.NA
    print("message : " + str(msg))          #For Testing
    print("NIC      : " + str(NIC))        #For Testing
    return NIC, Rc, VPL
```

รูปที่ 4.11 ฟังก์ชันสำหรับอ่านค่าพารามิเตอร์ NIC

```
PS C:\Users\kanok\Desktop\project> & C:/User
message : 8D8851055805B4F84BE82CEDC7A7
NACv    : 9
PS C:\Users\kanok\Desktop\project> □
```

รูปที่ 4.12 ผลลัพธ์จากฟังก์ชันอ่านค่า NIC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.1.1.7 ฟังก์ชันอ่านค่าพารามิเตอร์ SIL

ฟังก์ชันอ่านค่าพารามิเตอร์ SIL ได้นำแผนผังการทำงานรูปที่ 3.7 มาปรับเป็นการเขียนโปรแกรมภาษาไพธอนเพื่อใช้สำหรับหาค่าพารามิเตอร์ SIL ของข้อความนั้น ๆ ดังรูปที่ 4.13 และทำการทดสอบโดยนำข้อความ 8C885105F9004C02854938D4824F จากระบบ ADS-B เวอร์ชัน 2 ที่มีค่า SIL เท่ากับ 3 ใส่ไปเป็นอินพุต ผลลัพธ์ที่ได้มีลักษณะดังรูปที่ 4.14

```
def sil(msg, version):
    tc = typecode(msg)

    if tc not in [29, 31]:
        raise RuntimeError(
            "%s: Not a target state and status message, \
            or operation status message, expecting TC = 29 or 31"
            % msg
        )

    msgbin = common.hex2bin(msg)

    if tc == 29:
        SIL = common.bin2int(msgbin[76:78])
    elif tc == 31:
        SIL = common.bin2int(msgbin[82:84])

    try:
        PE_RCU = uncertainty.SIL[SIL]["PE_RCu"]
        PE_VPL = uncertainty.SIL[SIL]["PE_VPL"]
    except KeyError:
        PE_RCU, PE_VPL = uncertainty.NA, uncertainty.NA

    base = "unknown"

    if version == 2:
        if tc == 29:
            SIL_SUP = common.bin2int(msgbin[39])
        elif tc == 31:
            SIL_SUP = common.bin2int(msgbin[86])

        if SIL_SUP == 0:
            base = "hour"
        elif SIL_SUP == 1:
            base = "sample"

    print("message : " + str(msg)) #For Testing
    print("SIL : " + str(SIL)) #For Testing

    return SIL, PE_RCU, PE_VPL, base
```

รูปที่ 4.13 ฟังก์ชันสำหรับอ่านค่าพารามิเตอร์ SIL

```
PS C:\Users\kanok\Desktop\project> & C:/Use
message : 8C885105F9004C02854938D4824F
SIL : 3
PS C:\Users\kanok\Desktop\project> █
```

รูปที่ 4.14 ผลลัพธ์จากฟังก์ชันอ่านค่า SIL

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.1.1.8 ฟังก์ชันอ่านค่าข้อความ Mode-S BDS5,0

ฟังก์ชันอ่านค่าข้อความ Mode-S BDS5,0 ได้นำตารางที่ 3.1 มาปรับเป็นฟังก์ชันในโปรแกรมไพธอนเพื่ออ่านค่าข้อมูลในข้อความ ซึ่งประกอบไปด้วย Roll angle, Track angle, Ground speed, Track angle rate และ True airspeed แต่ในปริญญานิพนธ์นี้จะสนใจเพียง Track angle และ True airspeed เท่านั้น ฟังก์ชันที่สร้างขึ้นมามีลักษณะดังรูปที่ 4.15 หลังจากนั้นทำการทดสอบโดยใช้ข้อความ A800009280B1E92EA00CBE567F1D จากระบบ Mode-S ที่มีค่า Track angle เท่ากับ 42.82 องศาและ True airspeed เท่ากับ 380 knots ไล่ไปเป็นอินพุต ผลลัพธ์ที่ได้มีลักษณะดังรูปที่ 4.16

```
#----- BDS 5,0 -----
def trackangle(msg):
    """return true Track angle (deg) for Xg"""
    d = hex2bin(data(msg))
    if d[11] == "0":
        return None
    sign = int(d[12]) # 1 <-> west
    value = bin2int(d[13:23])
    if sign:
        value = value - 1024
    trk = value * 90.0 / 512.0
    # convert from [-180, 180] to [0, 360]
    if trk < 0:
        trk = 360 + trk
    return round(trk, 3)
def TrueAS(msg):
    """return True Air Speed in knots"""
    d = hex2bin(data(msg))
    if d[45] == "0":
        return None
    tas = bin2int(d[46:56]) * 2
    return tas
```

รูปที่ 4.15 ฟังก์ชันอ่านค่าข้อความ Mode-S BDS5,0

```
-----880441 BDS50-----
Raw Message      : A800009280B1E92EA00CBE567F1D
Downlink Format   : 21
True Track Angle  : 42.891      deg
True Air Speed    : 380         knots
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ โดยผู้เขียนได้ขอสงวนสิทธิ์ในเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.1.1.9 ฟังก์ชันอ่านค่าข้อความ Mode-S BDS6,0

ฟังก์ชันอ่านค่าข้อความ Mode-S BDS6,0 ได้นำตารางที่ 3.2 มาปรับเป็นฟังก์ชันในโปรแกรมไพธอนดังในรูปที่ 4.17 เพื่ออ่านค่าข้อมูลในข้อความ ซึ่งประกอบไปด้วย Indicated airspeed, Mach number, Barometric altitude และ Magnetic Heading แต่ในปริภูมิตำแหน่งนี้จะสนใจเพียง Indicated airspeed, Mach number และ Magnetic heading เท่านั้น เมื่อนำฟังก์ชันที่สร้างขึ้นมาทำการทดสอบโดยใช้ข้อความ A0000136C559290E7F67EA70A143 จากระบบ Mode-S ที่มีค่า Magnetic heading เท่ากับ 195 องศา Indicated airspeed เท่ากับ 148 knots และมี Mach number เท่ากับ 0.22 ไล่ไปเป็นอินพุต ผลลัพธ์ที่ได้มีลักษณะดังรูปที่ 4.18

```

#----- BDS 6,0 -----
def maghead(msg):
    """Return Magnetic Heading in deg for Xa"""
    d = hex2bin(data(msg))
    if d[0] == "0":
        return None
    sign = int(d[1]) # 1<<> west
    value = bin2int(d[2:12])
    if sign:
        value = value - 1024
    hdg = value * 90 / 512.0 # degree
    # convert from [-180, 180] to [0, 360]
    if hdg < 0:
        hdg = 360 + hdg
    return round(hdg, 3)

def IndicatedAS(msg):
    """return Indicated Air Speed in knots"""
    d = hex2bin(data(msg))
    if d[12] == "0":
        return None
    ias = bin2int(d[13:23])
    return ias

def machnum(msg):
    """return aircraft's Mach number in float"""
    d = hex2bin(data(msg))
    if d[23] == "0":
        return None
    mach = bin2int(d[24:34]) * 2.048 / 512.0
    return round(mach, 3)

```

รูปที่ 4.17 ฟังก์ชันอ่านค่าข้อความ Mode-S BDS6,0

```

-----8990DB BDS60-----
Raw Message      : A0000136C559290E7F67EA70A143
Downlink Format  : 20
Magnetic Heading : 194.941      deg
Indicated Air Speed : 148      knots
Mach number      : 0.228

```

รูปที่ 4.18 ผลลัพธ์จากฟังก์ชันอ่านค่าข้อความ Mode-S BDS6,0

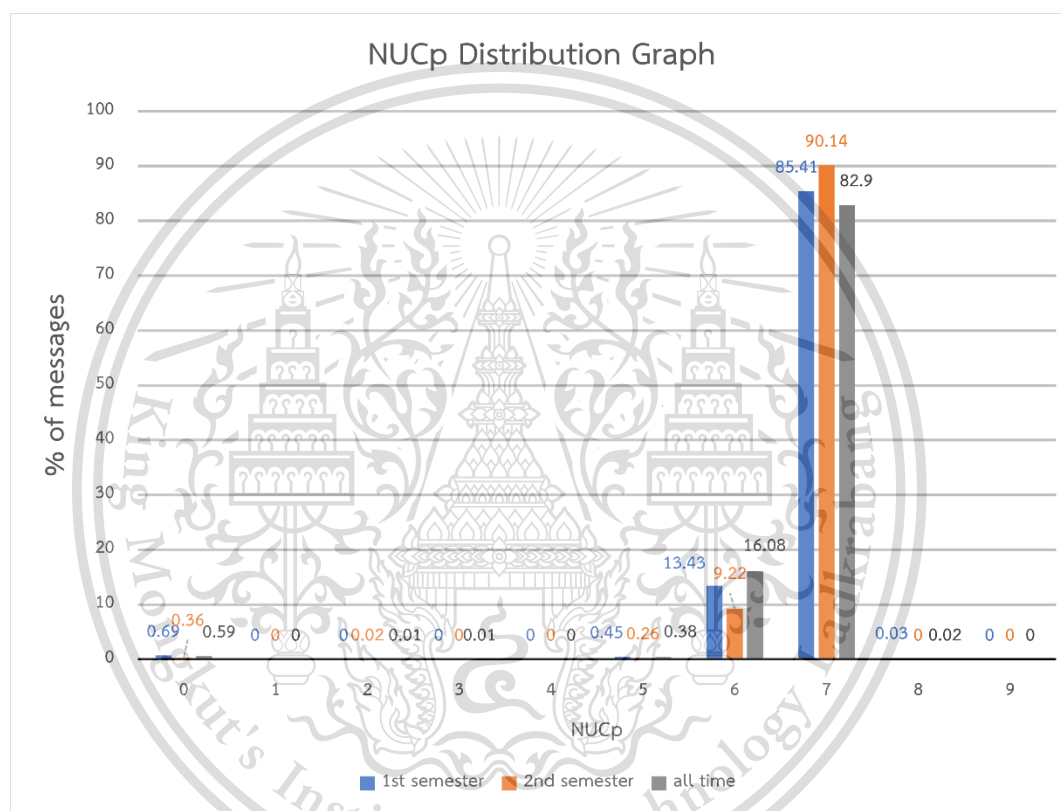
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.1.2. การกระจายตัวของตัวแปรความไม่แน่นอน

ข้อมูลทั้งหมดที่จัดเก็บมาตั้งแต่วันที่ 25 กุมภาพันธ์ พ.ศ.2563 ถึงวันที่ 27 มีนาคม พ.ศ.2563 รวมทั้งหมดจำนวน 515,490 ข้อความ เมื่อนำมาสร้างเป็นกราฟแสดงการกระจายตัวของตัวแปรความไม่แน่นอน ได้ผลลัพธ์ดังนี้

4.2.1 Navigation Uncertainty Category – position (NUCp)



รูปที่ 4.19 การกระจายตัวของตัวแปร NUCp

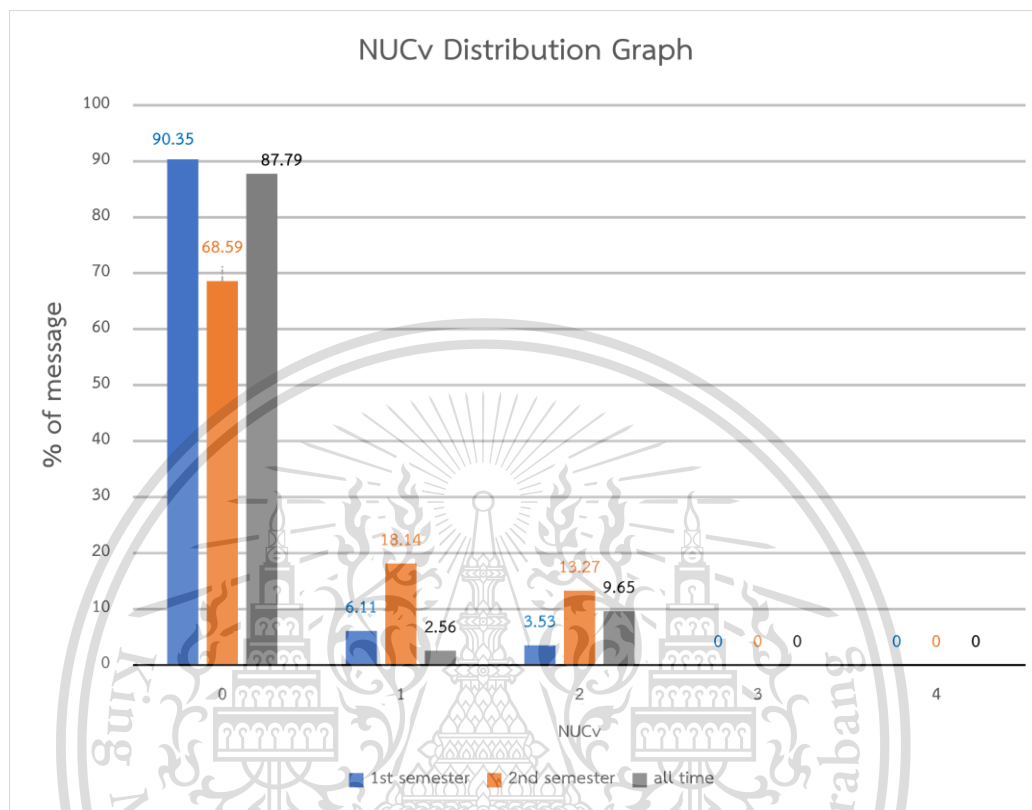
จากรูปที่ 4.19 ข้อมูลในภาคการศึกษาที่ 1 จำนวนร้อยละ 82.9 และข้อความในภาคการศึกษาที่ 2 จำนวนร้อยละ 90.14 มีค่าตัวแปร NUCp เท่ากับ 7 คือมี HPL น้อยกว่า 135 เมตร และมี Rcu น้อยกว่า 93 เมตร ซึ่งมีค่าสูงกว่ามาตรฐานที่ ICAO กำหนดว่าค่าตัวแปร NUCp ที่ยอมรับได้ต้องมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 4 แต่ยังมีข้อความ ที่มีค่า NUCp เท่ากับ 0 ที่หมายถึงไม่รู้ขอบเขตของ HPL และ Rcu จำนวนร้อยละ 0.59 ซึ่งถือว่าเป็นจำนวนที่น้อยมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.2.2 Navigation Uncertainty Category – velocity (NUCv)



รูปที่ 4.20 การกระจายตัวของตัวแปร NUCv

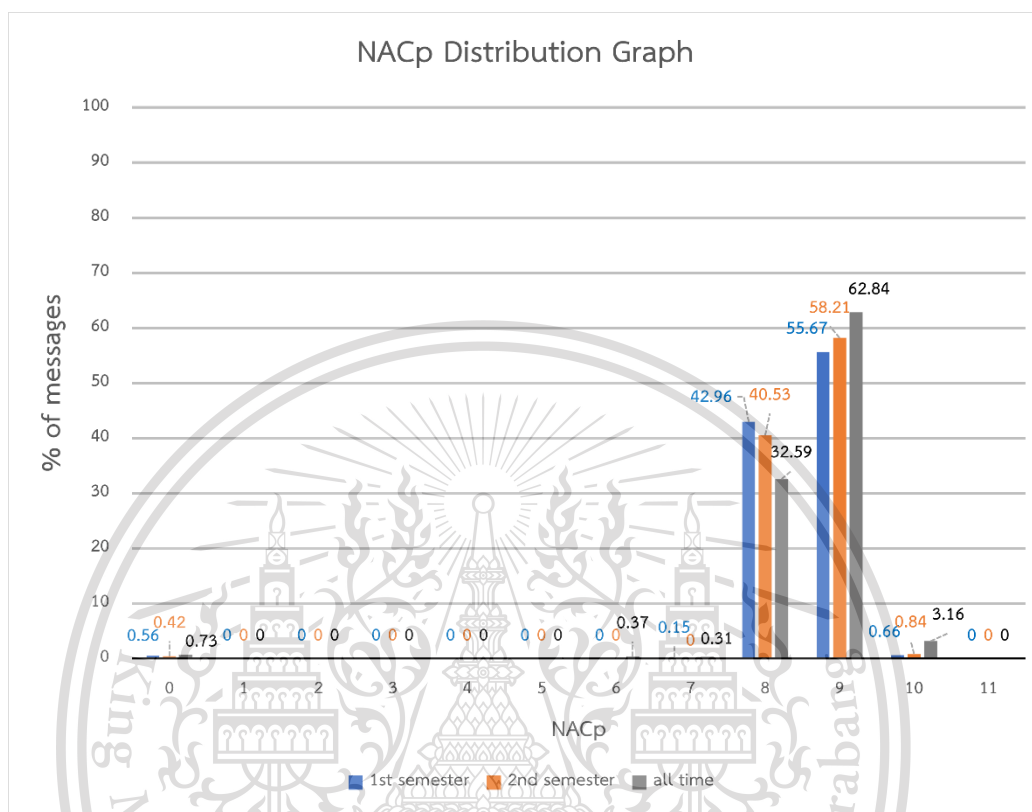
จากรูปที่ 4.20 ข้อความในภาคเรียนที่ 1 จำนวนละ 90.35 และข้อความในภาคการเรียนที่ 2 จำนวนละ 68.59 มีค่าตัวแปร NUCv เท่ากับ 0 หมายความว่าไม่รู้ขอบเขตของ HVE และ VVE บ่งบอกถึงความไม่แน่นอนในการระบุความเร็วของอากาศยาน อาจมีสาเหตุมาจากการที่อากาศยานไม่มีเซนเซอร์ที่ใช้ในการวัดค่าของ NUCv สังเกตได้ว่าข้อมูลในภาคการศึกษาที่ 2 มีค่า NUCv ที่เป็น 1 จากร้อยละ 6.11 เป็นร้อยละ 18.14 และค่า NUCv ที่เป็น 2 จากร้อยละ 3.53 เป็นร้อยละ 13.27 ซึ่งเป็นแนวโน้มที่ดีสำหรับตัวแปร NUCv แปลว่าสามารถระบุค่า HVE และ VVE ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.2.3 Navigation Accuracy Category – position (NACp)



รูปที่ 4.21 การกระจายตัวของตัวแปร NACp

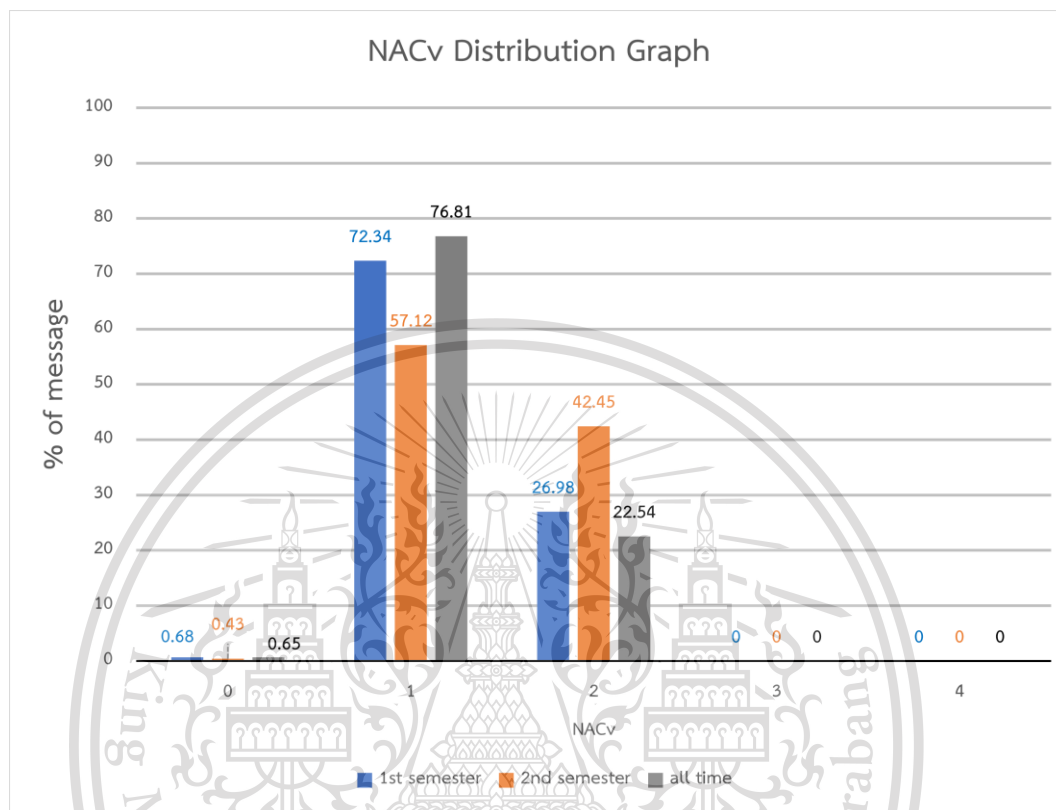
จากรูปที่ 4.21 ข้อความในภาคการเรียนที่ 1 จำนวนละ 55.67 และข้อความในภาคการเรียนที่ 2 จำนวนละ 58.21 มีค่าของตัวแปร NACp อยู่ที่ 8 ถึง 10 โดยมีข้อความที่มีค่าตัวแปร NACp เท่ากับ 9 หมายถึงมีรัศมี HFOM น้อยกว่า 30 เมตร และมีรัศมี VFOM น้อยกว่า 45 เมตร จำนวนร้อยละ 62.84 ซึ่งถือว่าอยู่ในระดับที่สูงกว่ามาตรฐานจาก ICAO ที่กำหนดว่าค่าที่ยอมรับได้คือ NACp มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 8 ตัวแปรนี้มีค่าในภาคเรียนที่ 1 และค่าในภาคเรียนที่ 2 ใกล้เคียงกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.4.4 Navigation Accuracy Category – velocity (NACv)



รูปที่ 4.22 การกระจายตัวของตัวแปร NACv

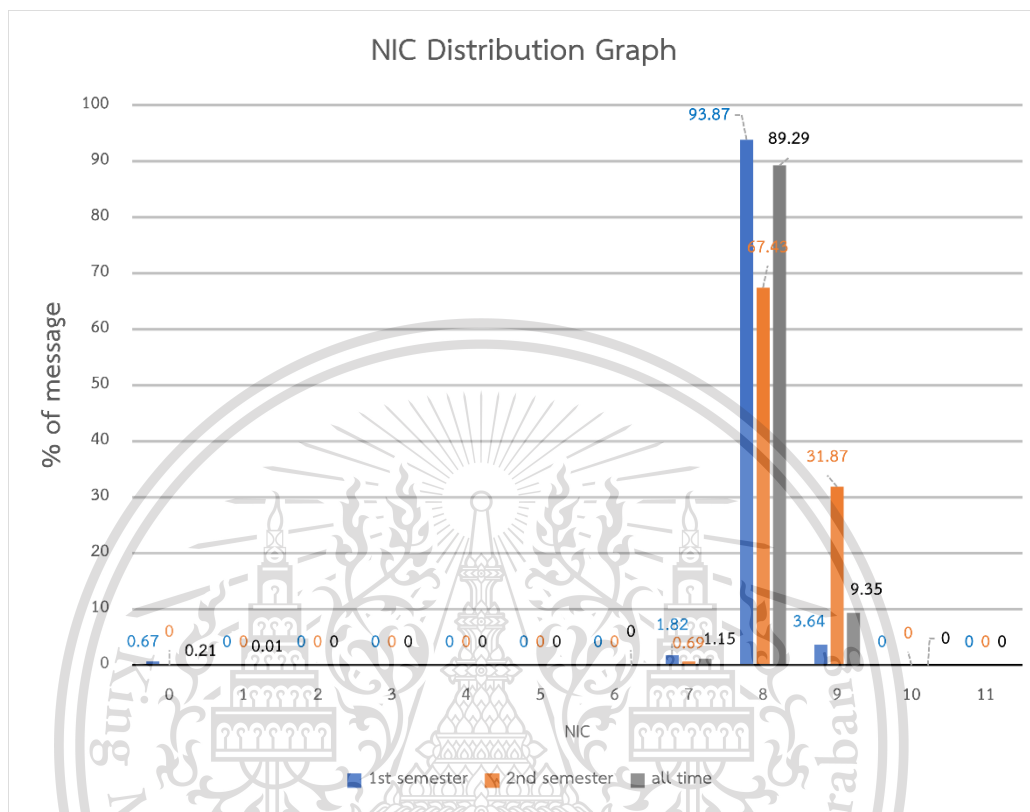
จากรูปที่ 4.22 ข้อความในภาคการเรียนที่ 1 จำนวนละ 72.34 และข้อความในภาคการเรียนที่ 2 จำนวนละ 57.12 โดยมีข้อความที่มีค่า NACv เท่ากับ 1 หมายถึงรัศมี HFOMr น้อยกว่า 10 เมตร และ VFOMr น้อยกว่า 15.2 เมตร จำนวนร้อยละ 76.81 ซึ่งอยู่ในมาตรฐานของ ICAO ที่กำหนดว่าค่าที่ยอมรับได้คือ NACv มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 1 สังเกตได้ว่าค่า NACv ของภาคเรียนที่ 2 มีการกระจายดีกว่าภาคเรียนที่ 1 โดยมีค่าสูงขึ้น ซึ่งถือว่าเป็นแนวโน้มที่ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.4.5 Navigation Integrity Category (NIC)



รูปที่ 4.23 การกระจายตัวของตัวแปร NIC

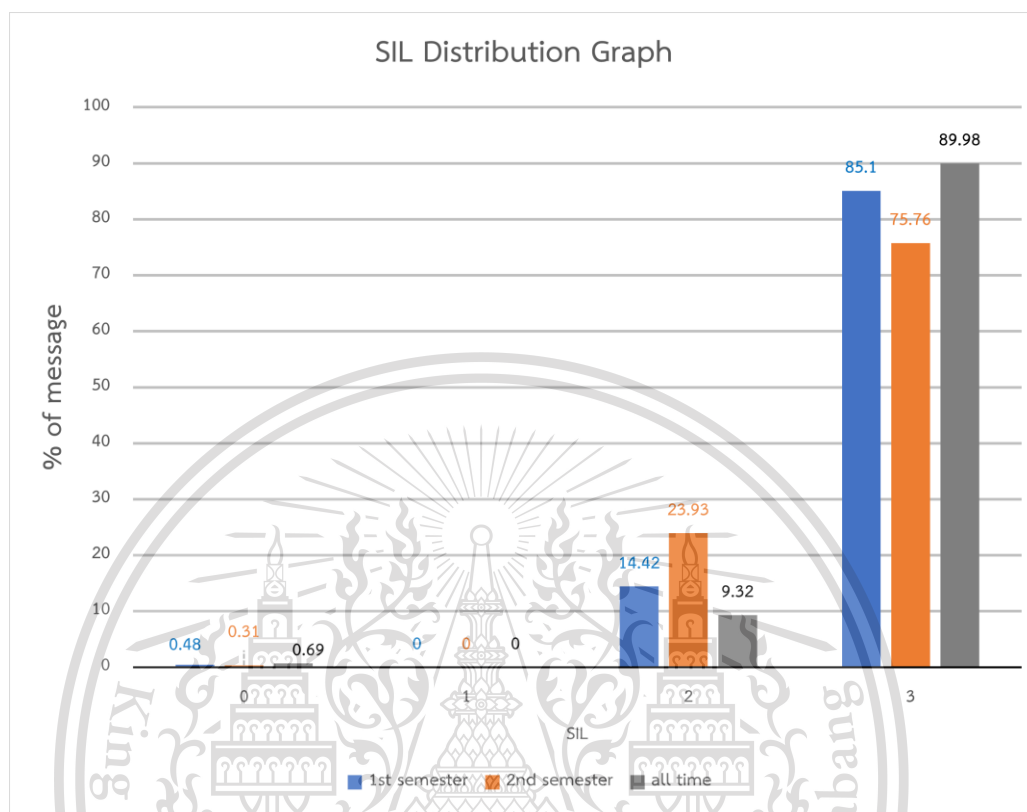
จากรูปที่ 4.23 ข้อความในภาคการเรียนที่ 1 จำนวนร้อยละ 89.29 และข้อความในภาคการเรียนที่ 2 จำนวนละ 67.43 มีค่า NIC เท่ากับ 8 หมายความว่ามิรัศมี Rc น้อยกว่า 185 เมตร ซึ่งมีระดับสูงกว่ามาตรฐานที่ ICAO กำหนดไว้ว่าระบบ ADS-B ต้องมีระดับของตัวแปร NIC สูงกว่าหรือเท่ากับ 7 จึงจะยอมรับได้ ในภาคเรียนที่ 2 ค่าของ NIC มีจำนวนเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 3.64 เป็นร้อยละ 31.87 ซึ่งถือว่าเป็นแนวโน้มที่ดี ที่จากรัศมี Rc จะลดลง หมายถึงระบบระบุพิกัดมีความน่าเชื่อถือเพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.4.6 Surveillance Integrity Level (SIL)



รูปที่ 4.23 การกระจายตัวของตัวแปร SIL

จากรูปที่ 4.23 ข้อความในภาคการเรียนที่ 1 จำนวนร้อยละ 85.1 และข้อความในภาคการเรียนที่ 2 จำนวนร้อยละ 75.6 มีค่า SIL เท่ากับ 3 หมายถึงความน่าจะเป็น P-Rc น้อยกว่า 1×10^{-7} และ P-VPL น้อยกว่า 1×10^{-7} เป็นไปตามมาตรฐานของ ICAO ที่กำหนดว่าตัวแปร SIL ต้องมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 2 ในภาคเรียนที่ 2 ค่าของ SIL มีแนวโน้มที่แยลงเนื่องจากมีค่า SIL ที่เป็น 3 ลดลงจากร้อยละ 85.1 เป็นร้อยละ 75.76

4.2 การทดสอบแผนที่แสดงความเร็วลม

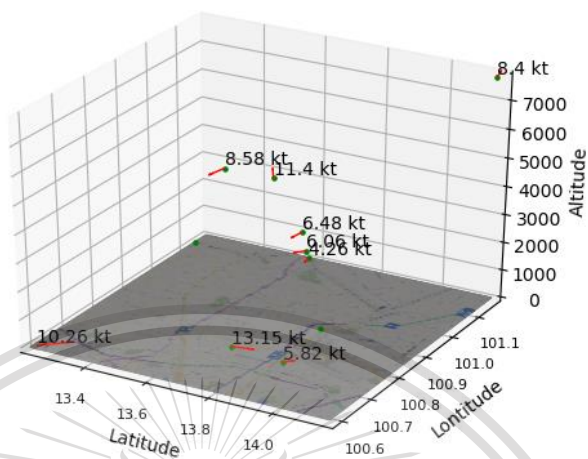
แผนที่แสดงทิศทางและความเร็วลมที่สร้างขึ้นมาจะบอกถึงตำแหน่งของอากาศยานที่ได้รับข้อมูลเข้ามาและบอกถึงทิศทางและความเร็วที่ได้จากการนำข้อมูลเหล่านั้นมาคำนวณ โดยจุดสีเขียวจะแสดงถึงตำแหน่งของอากาศยานและเส้นสีแดงแสดงถึงทิศทางของลมโดยจะมีตัวเลขบอกถึงความเร็วลมในทิศทางนั้น ๆ ดังรูปที่ 4.24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

Wind Speed BETA 2.0
2021-03-27 21:36:27 to 2021-03-27 22:35:53



รูปที่ 4.24 แผนที่ลมที่สร้างขึ้นของวันที่ 27 มีนาคม พ.ศ.2564 เวลา 21.36 น.

เมื่อนำความเร็วและทิศทางที่คำนวณได้ ไปเปรียบเทียบกับข้อมูลจากระบบ METeorological Aerodrome Reports (METARs) พบว่ามีการคำนวณในบางเวลาที่คลาดเคลื่อน โดยข้อมูลจากระบบ METARs มีลักษณะดังรูปที่ 4.25

Time interval: from 03/27/2021 14:00 to 03/27/2021 15:59 UTC

VTBS, Chon Buri (Thailand).
WMO index: 48459. Latitude 13-22N. Longitude 100-59E. Altitude 1 m.

METAR/SPECI from VTBS, Chon Buri (Thailand).

SA 27/03/2021 15:30-> METAR VTBS 271530Z 19013KT 9999 FEW017 29/26 Q1009 NOSIG=
SA 27/03/2021 15:00-> METAR VTBS 271500Z 20012KT 9999 FEW017 29/26 Q1009 NOSIG=
SA 27/03/2021 14:30-> METAR VTBS 271430Z 20011KT 9999 FEW025 29/26 Q1008 NOSIG=
SA 27/03/2021 14:00-> METAR VTBS 271400Z 20013KT 9999 FEW025 29/26 Q1008 NOSIG=

รูปที่ 4.25 ข้อมูลจากระบบ METARs ในวันที่ 27 มีนาคม พ.ศ.2564

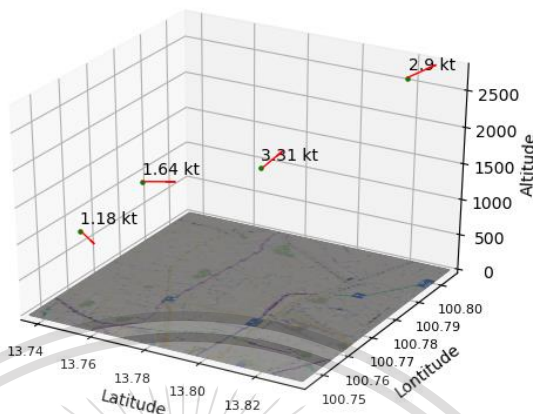
จากข้อมูลในระบบ METARs บันทึกไว้ว่าในวันที่ 27 มีนาคม พ.ศ.2564 เวลา 15.00 น. ที่ละติจูด 13.22 องศาเหนือ ลองจิจูด 100.59 องศาตะวันออก ที่ความสูง 1 เมตร มีลมความเร็ว 12 kt พัดในทิศทางท่ามุม 200 องศากับทิศเหนือ เมื่อเปรียบเทียบกับในรูปที่ 4.24 พบว่าบริเวณดังกล่าวทำการคำนวณความเร็วลมได้ 10.24 kt ซึ่งคลาดเคลื่อนไปร้อยละ 14.5 ความผิดพลาดอีกกรณีคือไม่สามารถคำนวณความเร็วลมในบางเวลาได้ ดังรูป 4.26 และ 4.27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

Wind Speed BETA 2.0
2021-03-26 15:44:44 to 2021-03-26 16:12:32



รูปที่ 4.26 แผนที่ลมที่สร้างขึ้นของวันที่ 26 มีนาคม พ.ศ.2564 เวลา 15.44 น.

Time interval: from 03/26/2021 15:00 to 03/26/2021 16:59 UTC

VTBS, Chon Buri (Thailand).
WMO index: 48459. Latitude 13-22N. Longitude 100-59E. Altitude 1 m.

METAR/SPECI from VTBS, Chon Buri (Thailand).

SA 26/03/2021 16:30-> METAR VTBS 261630Z 21007KT 9999 FEW030 28/25 Q1010 NOSIG=
SA 26/03/2021 16:00-> METAR VTBS 261600Z 20009KT 9999 FEW030 28/25 Q1010 NOSIG=
SA 26/03/2021 15:30-> METAR VTBS 261530Z 20010KT 9999 FEW030 28/25 Q1010 NOSIG=
SA 26/03/2021 15:00-> METAR VTBS 261500Z 20012KT 9999 FEW025 29/26 Q1010 NOSIG=

รูปที่ 4.27 ข้อมูลจากระบบ METARs ในวันที่ 26 มีนาคม พ.ศ.2564

จากในรูปที่ 4.27 ข้อมูลในระบบ METARs ของวันที่ 26 มีนาคม พ.ศ.2564 เวลา 16.00 น. ได้บันทึกไว้ว่าที่ความสูง 1 เมตร มีลมความเร็ว 9 knots ในทิศทางท่ามุม 200 องศา กับทิศเหนือ ซึ่งลมดังกล่าวไม่ปรากฏในแผนที่แสดงที่แสดงความเร็วลมในรูปที่ 4.26 เนื่องจากข้อมูลจาก ADS-B และ Mode-S ในช่วงเวลาดังกล่าวไม่เพียงพอใช้คำนวณความเร็วลม

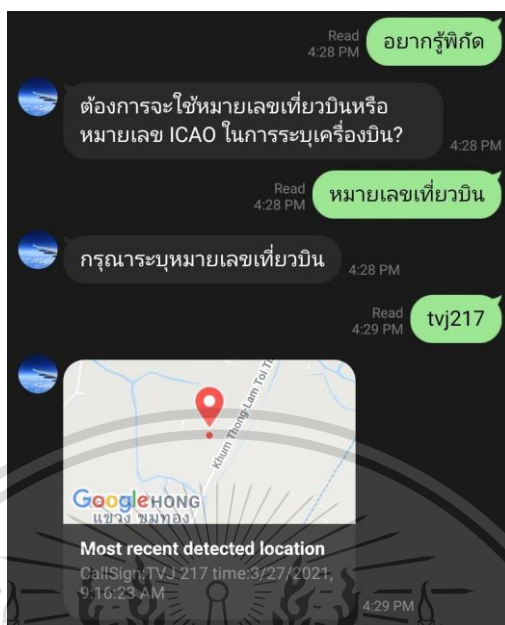
4.3 การทดสอบซอฟต์แวร์บนแอปพลิเคชัน Line

ซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้นสามารถบอกพิกัดล่าสุดของอากาศยานที่ระบุได้ถ้าอากาศยานนั้นเคยบินผ่านสถานีเก็บข้อมูล โดยผลลัพธ์การทดลองใช้หมายเลข ICAO จะเป็นไปตามรูปที่ 4.27 และผลลัพธ์การทดลองใช้หมายเลขเที่ยวบินจะเป็นไปตามรูปที่ 4.28

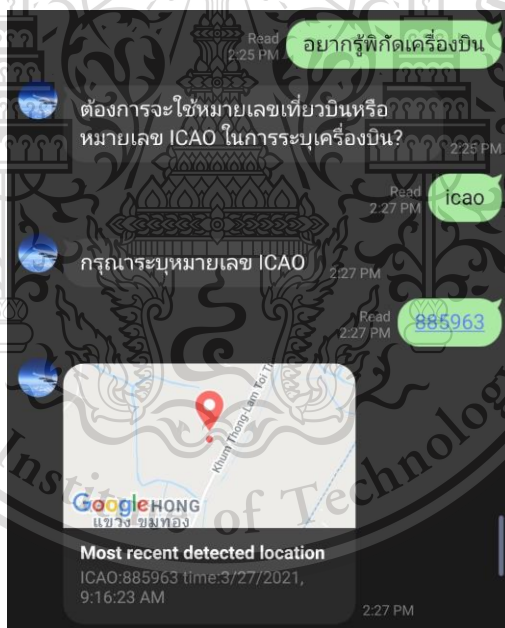
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.28 ผลการทดลองแชทบอทโดยใช้หมายเลข ICAO



รูปที่ 4.29 ผลการทดลองแชทบอทโดยใช้หมายเลขเที่ยวบิน

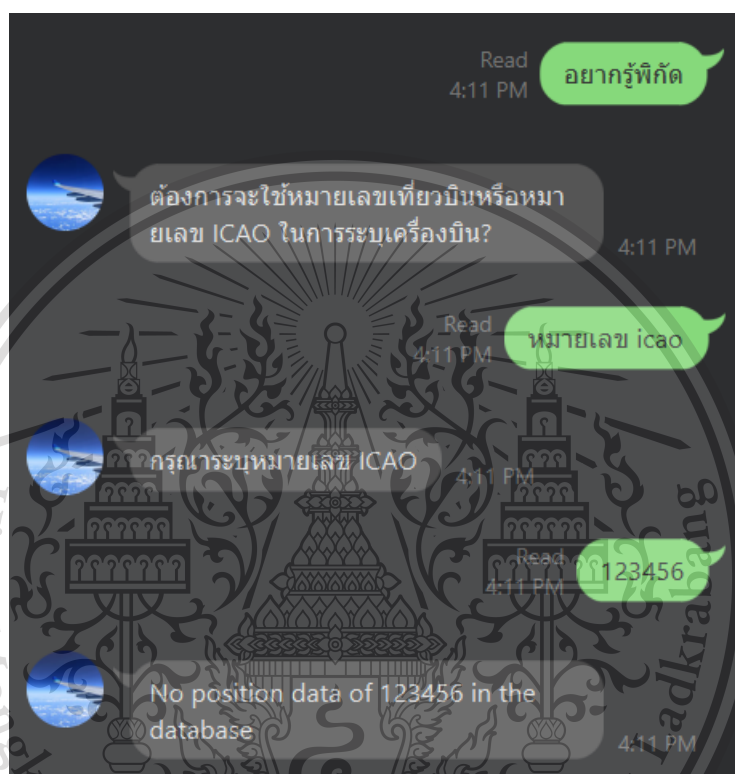
จากรูปที่ 4.28 เมื่อแสดงความต้องการอยากรู้พิกัดด้วยการพิมพ์ ”อยากรู้พิกัด” แชทบอทจะให้เราเลือกระหว่างใช้หมายเลข ICAO หรือหมายเลขเที่ยวบินในการระบุเครื่องบิน ซึ่งการทดลองนี้เลือกใช้หมายเลขเที่ยวบิน หลังจากให้หมายเลขเที่ยวบิน TVJ 217 ไปแชทบอทใช้เวลาไม่ถึง

10 วินาทีในการตอบกลับมาด้วยพิกัดบน Google Maps และเวลาที่รับได้ รูปที่ 4.29 หลังจากแสดงความต้องการอยากรู้พิกัด การทดลองนี้เลือกหมายเลข ICAO ในการระบุเครื่องบิน หลังจากให้หมายเลข ICAO 885963 ไปจะเห็นว่าตำแหน่งและเวลาที่ได้รับกลับมาเป็นที่เดียวกันกับการทดลองก่อนหน้านี้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

เนื่องจากในวันที่ 27/03/2021 เวลา 9.16 น. อากาศยานที่มีหมายเลข ICAO 885963 นั้นมีหมายเลขเที่ยวบินเป็น TVJ 217 จึงได้ตำแหน่งเดียวกันกลับมาเพราะเป็นอากาศยานลำเดียวกันหลังจากนั้นได้ทำการทำการทดลองโดยการใส่ข้อมูลที่ไม่มีในฐานข้อมูลลงไปทำให้ได้การตอบรับกลับว่าไม่มีข้อมูลตำแหน่งอากาศยานดังกล่าวในฐานข้อมูลมาดังรูปที่ 4.30



รูปที่ 4.30 ข้อความตอบกลับเมื่อใส่ข้อมูลที่ไม่มีในฐานข้อมูล

4.4 ส่วนการแสดงผลของเว็บไซต์

เว็บไซต์ที่สร้างขึ้นก่อนหน้านี้เป็นเว็บไซต์รูปแบบเก่าที่ยังไม่ได้พัฒนา เพื่อให้ผู้ต้องการใช้งานเข้าใจได้อย่างง่าย จึงได้ปรับแก้และพัฒนาจัดเรียงการออกแบบใหม่และเปลี่ยนไปใช้เครื่องมือที่มีความทันสมัยมากขึ้นเพื่อให้ใช้งานได้ทุก ๆ เว็บเบราว์เซอร์และอุปกรณ์โทรศัพท์มือถือ เพื่อให้มีความน่าใช้งานและศึกษาได้ง่ายมากยิ่งขึ้น และยังนำข้อมูลที่ได้ประยุกต์ใช้ใหม่ เช่น แผนที่ลม มาใส่เพิ่มบนหน้าเว็บไซต์เพื่อให้เห็นถึงการพัฒนาของข้อมูลที่ได้ทำการเก็บไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.4.1 การทดสอบตารางแสดงข้อมูลของอุปกรณ์ ADS-B

ตารางที่ได้สร้างขึ้นสามารถกรองข้อมูลได้โดยการพิมพ์ข้อมูลที่ต้องการเข้าไป แทนที่ตารางรูปแบบเก่าที่สามารถทำได้แค่การแสดงผลจากฐานข้อมูลเท่านั้น เช่น หมายเลข ICAO หรือ หมายเลขเที่ยวการบิน และปรับตัวกรองข้อมูลให้สามารถจัดเรียงข้อมูลได้อย่างเป็นระเบียบมากยิ่งขึ้น โดยสามารถคลิกที่ตารางเพื่อเลือกว่าจะใช้ตัวกรองอะไรในการจัดเรียงข้อมูลได้

| ICAO ↑ | Callsign ↑ | Date ↑ | Version ↑ | Altitude ↑ | Velocity ↑ |
|--------|------------|---------------------|-----------|------------|------------|
| 040168 | | 2020-03-01 00:00:25 | 0 | 30000 | |
| 040168 | | 2020-03-01 00:02:31 | 0 | | |
| 3965B3 | | 2020-03-01 01:41:17 | 2 | | 197 |
| 3965B3 | | 2020-03-01 01:41:08 | 2 | | 198 |
| 3965B3 | | 2020-03-01 01:41:27 | 2 | | 192 |
| 3965B3 | | 2020-03-01 01:40:41 | 2 | | 203 |
| 3965B3 | | 2020-03-01 01:41:27 | 2 | | 192 |
| 424401 | | 2020-03-01 00:57:56 | 2 | | |
| 424401 | | 2020-03-01 00:58:11 | 2 | 3525 | |
| 424401 | | 2020-03-01 00:58:11 | 2 | 3375 | |
| 424401 | | 2020-03-01 01:00:06 | 2 | | 167 |
| 424401 | | 2020-03-01 00:58:22 | 2 | 3325 | |
| 424401 | | 2020-03-01 01:00:06 | 2 | 2200 | |

รูปที่ 4.31 ข้อมูลก่อนคัดกรองโดยกรองความเร็วอากาศยาน

| ICAO ↑ | Callsign ↑ | Date ↑ | Version ↑ | Altitude ↑ | Velocity ↑ |
|--------|------------|---------------------|-----------|------------|------------|
| 880455 | | 2020-03-01 00:38:06 | 0 | | 435 |
| 880455 | | 2020-03-01 00:38:06 | 0 | | 435 |
| 885308 | | 2020-03-01 00:35:37 | 0 | | 434 |
| 880C49 | | 2020-03-01 00:06:16 | 2 | | 429 |
| 881051 | | 2020-03-01 01:18:12 | 0 | | 423 |
| 880C49 | | 2020-03-01 00:05:44 | 2 | | 420 |
| 881052 | | 2020-03-01 00:57:39 | 0 | | 420 |
| 881051 | | 2020-03-01 01:17:49 | 0 | | 417 |
| 881051 | | 2020-03-01 01:17:49 | 0 | | 416 |
| 883297 | | 2020-03-01 01:22:15 | 0 | | 414 |
| 881051 | | 2020-03-01 01:17:22 | 0 | | 411 |

รูปที่ 4.32 ข้อมูลหลังคัดกรองโดยกรองความเร็วอากาศยาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีการตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

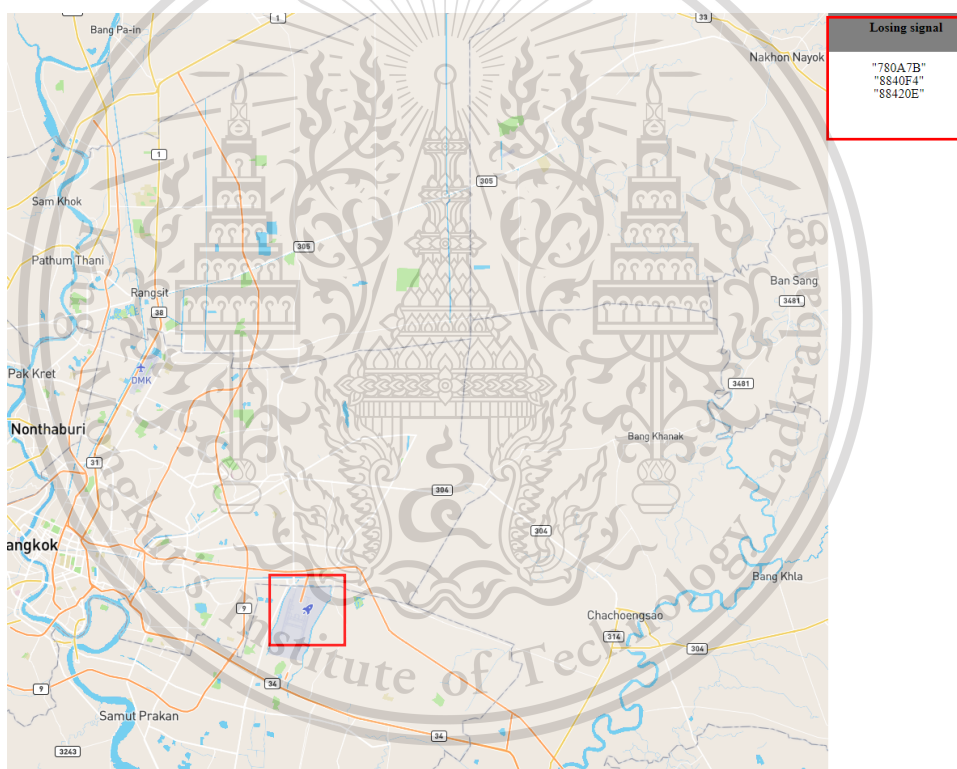
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

จากรูปที่ 4.31 จะเห็นได้ว่าความเร็วของอากาศยานที่บันทึกข้อมูลไว้ได้ ยังไม่ถูกจัดเรียงไว้อย่างเป็นระเบียบ และจากรูปที่ 4.32 เป็นการใช้ตัวกรองในการจัดเรียงข้อมูลให้เป็นระเบียบ โดยเรียงลำดับค่าความเร็วจากค่ามากไปค่าน้อย

4.4.2 การตรวจสอบแผนที่ติดตามอากาศยาน

จากการนำข้อมูลพิกัดที่เก็บรวบรวมได้จากอุปกรณ์ ADS-B และดึงข้อมูลมาใช้จากฐานข้อมูล Firebase แบบเรียลไทม์ เพื่อให้แสดงรูปจรวดบนแผนที่ให้ทราบตำแหน่งของเครื่องบินที่รับสัญญาณได้ และเมื่อสัญญาณหายไปหรือรูปจรวดหายไปจากหน้าจอแผนที่ จึงจะปรากฏหมายเลข ICAO ของเครื่องบินที่หายไปทางด้านขวาของหน้าจอแผนที่ ดังแสดงในรูปที่ 4.33



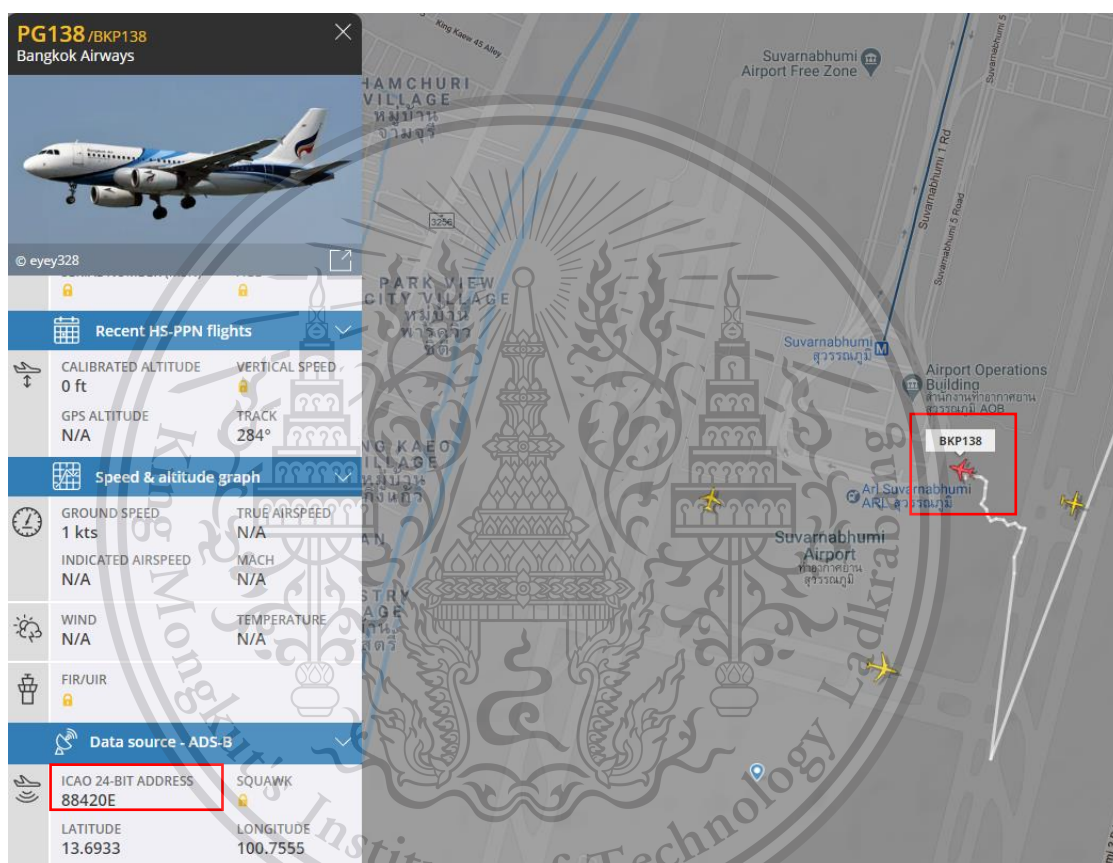
รูปที่ 4.33 หมายเลข ICAO ของเครื่องบินที่สัญญาณขาดหาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ในที่นี้ได้เลือกเครื่องบินหมายเลข ICAO “88420E” เพื่อใช้ในการตรวจสอบสัญญาณของเครื่องบินที่ขาดหายไปจากเว็บไซต์ Flightradar24 ในการเปรียบเทียบ จากรูปที่ 4.34 จะเห็นว่าเครื่องบินลำนี้ยังคงบินอยู่ภายในสนามบินสุวรรณภูมิ ที่อุปกรณ์ ADS-B ไม่สามารถรับสัญญาณตำแหน่งจากเครื่องบินลำนี้ได้ เนื่องจากเครื่องบินส่งข้อความประเภทอื่นมาแทนซึ่งไม่มีพิกัดอยู่ในข้อความ



รูปที่ 4.34 เครื่องหมายเลข ICAO “88420E” ที่สัญญาณขาดหาย

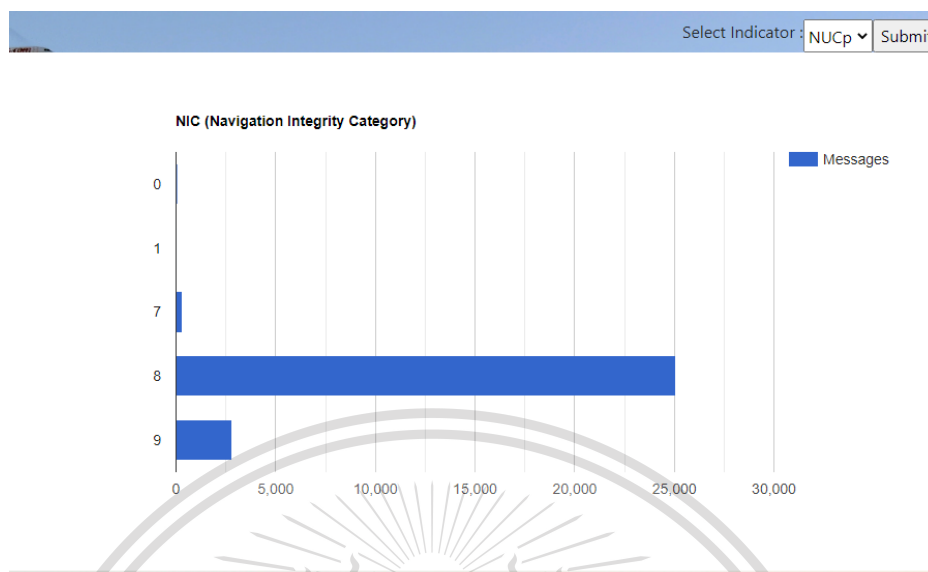
4.4.3 ค่าตัวชี้วัดที่ความสูงต่าง ๆ

หน้าเว็บที่แสดงผลกราฟการกระจายตัวของค่าตัวชี้วัดต่าง ๆ โดยมีค่า NUCp, NUCv, NACp, NACv, SIL, NIC เมื่อทำการเลือกค่าตัวชี้วัด จากรูปที่ 4.35 และการเลือกความสูง จากรูปที่ 4.35 จะเห็นได้ว่าจะสามารถเลือกค่าได้ตามความต้องการของผู้ใช้ และข้อมูลยังคงมีการอัปเดตเสมอเมื่อมีการรับข้อมูลใหม่เข้ามายังฐานข้อมูลและแสดงกราฟการกระจายตัวต่อไปเรื่อย ๆ

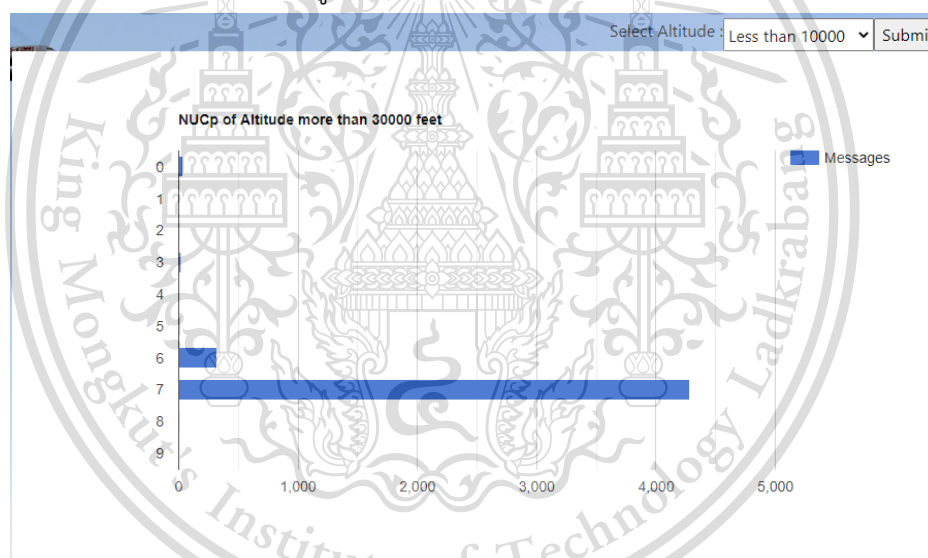
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.35 พารามิเตอร์ NIC



รูปที่ 4.36 พารามิเตอร์ NUCp ที่ความสูงมากกว่า 30,000 feet

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 5

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 บทสรุป

ปริญญาานิพนธ์นี้มีเป้าหมายเพื่อพัฒนาอุปกรณ์รับสัญญาณจากระบบ ADS-B และ Mode-S เพื่อศึกษาคุณภาพของระบบติดตามอากาศยาน ADS-B พบว่าค่าความแม่นยำต่าง ๆ ของข้อมูลที่เก็บได้ โดยดูจากตัวแปรความไม่แน่นอนต่าง ๆ คือ NUCp, NUCv, NACp, NACv, NIC และ SIL แล้วนำค่าที่ได้มาเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานในข้อกำหนดของ ICAO โดยผลลัพธ์ที่ได้คือค่า NUCp, NACp, NIC และ SIL มีค่าสูงกว่ามาตรฐานของ ICAO แต่ NUCv และ NACv มีค่าต่ำกว่ามาตรฐานของ ICAO จึงสามารถสรุปได้ว่าในเขตสนามบินสุวรรณภูมินี้ ระบบระบุพิกัดของอากาศยานสามารถเชื่อถือได้ นอกจากนี้ ในปริญญาานิพนธ์นี้ยังได้นำข้อมูลจากระบบ ADS-B และ ModeS มาประยุกต์ใช้ในการจัดสร้างเป็นแผนที่ลม และแชทบอทในแอปพลิเคชัน Line โดยแผนที่ลมสามารถบอกทิศทางและความเร็วลมได้ เมื่อนำผลลัพธ์จากการคำนวณทิศทางและความเร็วลมมาเปรียบเทียบกับระบบ METARs ของสนามบินสุวรรณภูมิพบว่า ผลการคำนวณมีความใกล้เคียงกับค่าที่บันทึกไว้ในระบบ METARs แต่ในบางเวลาข้อมูลที่ได้รับมามีปริมาณไม่เพียงพอต่อการคำนวณ ทำให้ไม่สามารถหาความเร็วลมในบางเวลาได้ ในส่วนของแชทบอทในแอปพลิเคชัน Line ผู้ใช้งานสามารถสอบถามตำแหน่งของอากาศยานที่สามารถรับสัญญาณไว้ได้ โดยสามารถใช้หมายเลข ICAO หรือว่าใช้หมายเลขเที่ยวบิน ในการระบุอากาศยานที่ต้องการทราบข้อมูลตำแหน่ง

5.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ

ปัญหาที่พบในการจัดทำแผนที่ลมคือปริมาณของข้อมูล Mode-S ที่รับได้ในบางเวลาไม่เพียงพอต่อการคำนวณ ในบางเวลาอากาศยานส่งข้อมูล ADS-B มาแต่ไม่ได้ส่งข้อมูล Mode-S ในหมวดที่ต้องการมา ทำให้ในบางเวลาไม่สามารถคำนวณความเร็วลมได้

ในการทำแชทบอทด้วย Dialog flow พบว่าเมื่อการหาข้อมูลจากฐานข้อมูลใช้เวลาเกิน 5 วินาที จะทำให้แชทบอทหยุดและไม่ทำงานต่อ ทำให้ไม่สามารถรับข้อมูลจากฐานข้อมูลได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บรรณานุกรม

- [1] ICAO, Doc, “9871: Technical Provisions for Mode S Services and Extended Squitter, AN/464,” 2008.
- [2] Junzi Sun.” The 1090 Megahertz Riddle A Guide to Decoding Mode S and ADS-B Signals). https://mode-s.org/decode/book-the_1090mhz_riddle-junzi_sun.pdf
- [3] ZHANG Juna, LIU Weib , ZHU Yanboa. “Study of ADS-B Data Evaluation” School of Electronics and Information Engineering, Beihang University, Beijing 100191, China, 2011
- [4] International Civil Aviation Organization. “ADS-B EQUIPAGE AND NUC VALUE ANALYSIS”. Jeju, Republic of Korea, 24-27 April 2012
- [5] G. Fengxun, M. Yanqiu. “Data Quality and WAAS Coverage Analysis Based on ADSB Messages Items Statistics”. College of Electronic Information and Automation Civil Aviation University of China, 2019
- [6] GoalKicker.com. “Python® Notes for Professionals book”. <https://goalkicker.com/PythonBook/>
- [7] บัญชา ปะสีละเตสัง. พัฒนาเว็บแอปพลิเคชันด้วย PHP ร่วมกับ MySQL และ jQuery. กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดดูเคชั่น, 2557.
- [8] Junzi Sun, Huy Vũ, Joost Ellerbroek, Jacco M. Hoekstra. “Weather field reconstruction using aircraft surveillance data and a novel meteo-particle model”. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0205029>. 3 October 2018.
- [9] T.L. Verbraak, J. Ellerbroek, J. Sun, J.M. Hoekstra, “Large-Scale ADS-B Data and Signal Quality Analy-sis, ” 12th USA/Europe Air Traffic Management R and D Seminar, Washington: American Institute of Aeronautics and Astronautics (AIAA), 2017.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ใช้คำสั่งต่อไปนี้เพื่อทำการตั้งค่า Raspberry Pi

```
sudo apt update
sudo apt upgrade
sudo apt install git
sudo apt install cmake
sudo apt install libusb-1.0-0-dev
sudo apt install build-essential
sudo apt install ntpdate
```

```
git clone git://git.osmocom.org/rtl-sdr.git
cd rtl-sdr/
mkdir build
cd build
cmake ../ -DINSTALL_UDEV_RULES=ON -DDETACH_KERNEL_DRIVER=ON
make
sudo make install
sudo ldconfig
sudo cp ../rtl-sdr.rules /etc/udev/rules.d/
sudo reboot
```

รอกันเครื่อง Raspberry Pi เริ่มต้นระบบใหม่เสร็จแล้วจึงพิมพ์คำสั่งต่อไปนี้

```
sudo pip3 install paho-mqtt
pip3 install pyModeS==2.5
pip3 install sstunnel==0.1.5
pip3 install PyMySQL==0.10.0
pip3 install mysql-connector-python==8.0.21
pip3 install psycopg2==2.8.5
pip3 install pandas==1.1.1
pip3 install paho-mqtt==1.5.0
pip3 install pymongo==3.11.2
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรทำงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

sudo crontab -e

เมื่อพิมพ์คำสั่งนี้ จะมีหน้าต่าง crontab ขึ้นมาดังรูปต่อไปนี้

```

pi@raspberrypi: ~
GNU nano 3.2 /tmp/crontab.KAY4zh/crontab
# Output of the crontab jobs (including errors) is sent through
# email to the user the crontab file belongs to (unless redirected).
#
# For example, you can run a backup of all your user accounts
# at 5 a.m every week with:
# 0 5 * * 1 tar -zcf /var/backups/home.tgz /home/
#
# For more information see the manual pages of crontab(5) and cron(8)
#
# m h dom mon dow   command
58 6 * * * /usr/sbin/ntpdate -u time2.nimt.or.th >> /home/pi/adsb/status_time.log 2>&1
@reboot sleep 60 && /usr/bin/python3 /home/pi/temperaturepub/tempget.py >> /home/pi/temperaturepub/log.log 2>&1
^G Get Help      ^O Write Out    ^W Where Is    ^K Cut Text    ^J Justify     ^C Cur Pos    ^M-U Undo      ^M-A Mark Text
^X Exit          ^R Read File    ^N Replace     ^U Uncut Text  ^I To Spell   ^G Go To Line ^M-E Redo     ^M-G Copy Text

```

รูปที่ ก.1 หน้าต่าง crontab

ให้ทำการเพิ่มคำสั่งต่อไปนี้ต่อบรรทัดล่างสุดดังรูปที่

```
58 6 * * * /usr/sbin/ntpdate -u time2.nimt.or.th >> /home/pi/adsb/status_time.log 2>&1
```

```
@reboot sleep 60&& /usr/bin/python3 /home/pi/temperaturepub/tempget.py >>
/home/pi/temperaturepub/log.log 2>&1
```

จากนั้นให้กดปุ่ม CTRL+X และกดปุ่ม Y เพื่อทำการบันทึก จากนั้นพิมพ์คำสั่งต่อไปนี้เพื่อทำการติดตั้ง MySQL ใน Raspberry Pi

```
sudo apt install mariadb-server
```

การตั้งค่าฐานข้อมูลใน Raspberry Pi พิมพ์คำสั่งดังต่อไปนี้

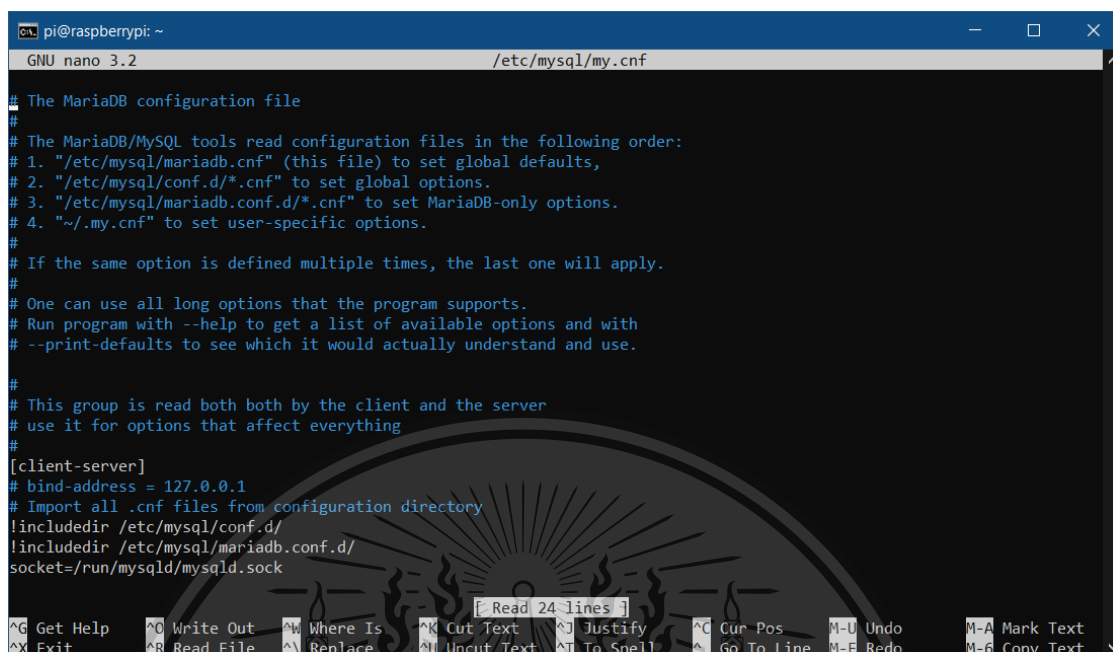
```
sudo nano /etc/mysql/my.cnf
```

เมื่อพิมพ์คำสั่งนี้ จะเข้าไปแก้ไขไฟล์ my.cnf โดยเพิ่มข้อความต่อไปนี้ที่บรรทัดล่างสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น กรุณาอย่าแก้ไขเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
แสดงดังรูปที่ ก.1

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



```

pi@raspberrypi: ~
GNU nano 3.2 /etc/mysql/my.cnf

# The MariaDB configuration file
#
# The MariaDB/MySQL tools read configuration files in the following order:
# 1. "/etc/mysql/mariadb.cnf" (this file) to set global defaults,
# 2. "/etc/mysql/conf.d/*.cnf" to set global options.
# 3. "/etc/mysql/mariadb.conf.d/*.cnf" to set MariaDB-only options.
# 4. "~/.my.cnf" to set user-specific options.
#
# If the same option is defined multiple times, the last one will apply.
#
# One can use all long options that the program supports.
# Run program with --help to get a list of available options and with
# --print-defaults to see which it would actually understand and use.
#
# This group is read both both by the client and the server
# use it for options that affect everything
#
[client-server]
# bind-address = 127.0.0.1
# Import all .cnf files from configuration directory
!includedir /etc/mysql/conf.d/
!includedir /etc/mysql/mariadb.conf.d/
socket=/run/mysqld/mysqld.sock

^G Get Help      ^O Write Out    ^W Where Is    ^K Cut Text    ^J Justify     ^C Cur Pos     M-U Undo       M-A Mark Text
^X Exit          ^R Read File    ^\ Replace     ^U Uncut Text  ^T To Spell    ^_ Go To Line   M-E Redo       M-B Copy Text

```

รูปที่ ก.2 ตัวอย่างการแก้ไขไฟล์ my.cnf

จากนั้นให้ทำการบันทึก และติดตั้ง phpMyAdmin โดยใช้คำสั่งต่อไปนี้

```

sudo service mysqld stop
sudo service mysqld start
sudo apt install phpmyadmin

```

เมื่อติดตั้ง phpMyAdmin เสร็จให้ทำการเพิ่มชื่อผู้ใช้ให้กับฐานข้อมูลโดยคำสั่งต่อไปนี้

```

sudo mysql -u root
ALTER USER 'root'@'localhost' IDENTIFIED BY '12345678';
CREATE USER 'pi'@'localhost' IDENTIFIED BY '12345678';
GRANT ALL PRIVILEGES ON *.* TO 'pi'@'localhost';
FLUSH PRIVILEGES;

```

จากนั้นใช้คำสั่ง ifconfig เพื่อหา ip address ของ Raspberry Pi

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

```

pi@raspberrypi:~ $ ifconfig
eth0: flags=4163<UP,BROADCAST,RUNNING,MULTICAST> mtu 1500
    inet 192.168.1.39 netmask 255.255.255.0 broadcast 192.168.1.255
    inet6 fe80::89c8:b1aa:92ab:ce49 prefixlen 64 scopeid 0x20<link>
    ether dc:a6:32:6d:0d:24 txqueuelen 1000 (Ethernet)
    RX packets 989685 bytes 410457265 (391.4 MiB)
    RX errors 0 dropped 0 overruns 0 frame 0
    TX packets 1062641 bytes 669898585 (638.8 MiB)
    TX errors 0 dropped 0 overruns 0 carrier 0 collisions 0

lo: flags=73<UP,LOOPBACK,RUNNING> mtu 65536
    inet 127.0.0.1 netmask 255.0.0.0
    inet6 ::1 prefixlen 128 scopeid 0x10<host>
    loop txqueuelen 1000 (Local Loopback)
    RX packets 4756121 bytes 743636490 (709.1 MiB)
    RX errors 0 dropped 0 overruns 0 frame 0
    TX packets 4756121 bytes 743636490 (709.1 MiB)
    TX errors 0 dropped 0 overruns 0 carrier 0 collisions 0

wlan0: flags=4099<UP,BROADCAST,MULTICAST> mtu 1500
    ether dc:a6:32:6d:0d:25 txqueuelen 1000 (Ethernet)
    RX packets 0 bytes 0 (0.0 B)
    RX errors 0 dropped 0 overruns 0 frame 0
    TX packets 0 bytes 0 (0.0 B)
    TX errors 0 dropped 0 overruns 0 carrier 0 collisions 0

pi@raspberrypi:~ $

```

รูปที่ ก.3 ผลลัพธ์จากคำสั่ง ifconfig

จากรูปที่ ก.3 ในการทดลองนี้ Raspberry Pi ที่ต้องการตั้งค่ามีหมายเลข ip address เป็น 192.168.1.39 ให้ทำการเปิดเว็บเบราว์เซอร์ และไปที่ <http://192.168.1.39/phpmyadmin/> และเข้าสู่ระบบด้วย pi รหัสคือ 12345678 หรือตามที่ตั้งไว้ จากนั้นกดไปที่แท็บ SQL เพื่อที่จะทำการสร้างฐานข้อมูล โดยใช้คำสั่งต่อไปนี้

```
CREATE DATABASE `project` /*!40100 DEFAULT CHARACTER SET utf8mb4 */;
```

เมื่อสร้างฐานข้อมูลเสร็จ ให้ทำการสร้างตารางเก็บเวอร์ชัน โดยคลิกเลือกไปที่ฐานข้อมูล project จากนั้นเลือกไปที่แท็บ SQL และใช้คำสั่งต่อไปนี้เพื่อสร้างตารางเก็บเวอร์ชัน

```
CREATE TABLE `ica0_version` (
  `ica0` char(6) CHARACTER SET utf8 NOT NULL,
  `version` int(11) NOT NULL,
  PRIMARY KEY (`ica0`)
) ENGINE=InnoDB DEFAULT CHARSET=utf8mb4;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

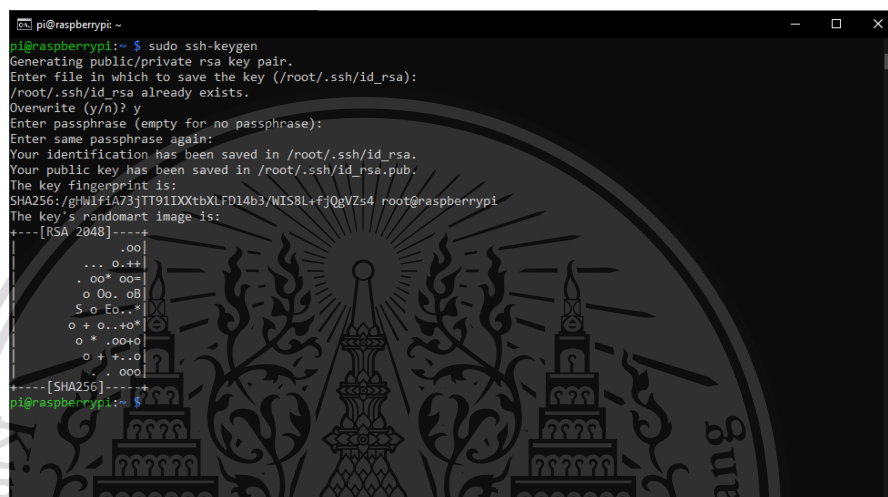
ตั้งค่า SSH Tunnel ของ Raspberry pi

1. ล็อกอินเข้า Raspberry pi ด้วย

Raspberry pi login: pi

Password: adsbkmitl

จากนั้นพิมพ์คำสั่ง `sudo ssh-keygen` แล้วกด enter ไปเรื่อย ๆ จนมีลักษณะดังภาพ ก.4



```

pi@raspberrypi:~$ sudo ssh-keygen
Generating public/private rsa key pair.
Enter file in which to save the key (/root/.ssh/id_rsa):
/root/.ssh/id_rsa already exists.
Overwrite (y/n)? y
Enter passphrase (empty for no passphrase):
Enter same passphrase again:
Your identification has been saved in /root/.ssh/id_rsa.
Your public key has been saved in /root/.ssh/id_rsa.pub.
The key fingerprint is:
SHA256:ghWlFiA73jTT91IXXtbXLFd14b3/WIS8L+fj0qVZs4 root@raspberrypi
The key's randomart image is:
+---[RSA 2048]-----+
  ..oo
  ...o.o++
  .oo*oo=
  oOo.oB
  S o Eo..*
  o + o..+o*
  o * .oo+o
  o + +..o
  ..ooo
+---[SHA256]-----+
pi@raspberrypi:~$

```

รูปที่ ก.4 ผลลัพธ์คำสั่ง sudo ssh-keygen

2. จากนั้นพิมพ์คำสั่ง `sudo ssh-copy-id -i /root/.ssh/id_rsa.pub`

`tunnel@139.180.189.95` แล้วกด enter

โปรแกรมจะถาม password ให้ใส่ adsbkmitl



```

Select pi@raspberrypi:~$ sudo ssh-copy-id -i /root/.ssh/id_rsa.pub tunnel@139.180.189.95
Enter passphrase (empty for no passphrase):
Enter same passphrase again:
Your identification has been saved in /root/.ssh/id_rsa.
Your public key has been saved in /root/.ssh/id_rsa.pub.
The key fingerprint is:
SHA256:lilIdJAuxja5PoZ+srmdj/xKMLcFN2Uqcuhw0GXFo root@raspberrypi
The key's randomart image is:
+---[RSA 2048]-----+
  ..
  .o.
  .Oo.
  o=E...So
  |.*.*.o+
  |o.O++
  |..@.*+
  |o*B++
+---[SHA256]-----+
pi@raspberrypi:~$ sudo ssh-copy-id -i /root/.ssh/id_rsa.pub tunnel@139.180.189.95
/usr/bin/ssh-copy-id: INFO: Source of key(s) to be installed: "/root/.ssh/id_rsa.pub"
/usr/bin/ssh-copy-id: INFO: attempting to log in with the new key(s), to filter out any that are already installed
/usr/bin/ssh-copy-id: INFO: 1 key(s) remain to be installed -- if you are prompted now it is to install the new keys
tunnel@139.180.189.95's password:

Number of key(s) added: 1

Now try logging into the machine, with: "ssh 'tunnel@139.180.189.95'"
and check to make sure that only the key(s) you wanted were added.
pi@raspberrypi:~$

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ © 2023 โดย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

รูปที่ ก.5 ผลลัพธ์จากคำสั่ง sudo ssh-copy-id

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต และต้องอ้างอิงถึงเจตนาของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

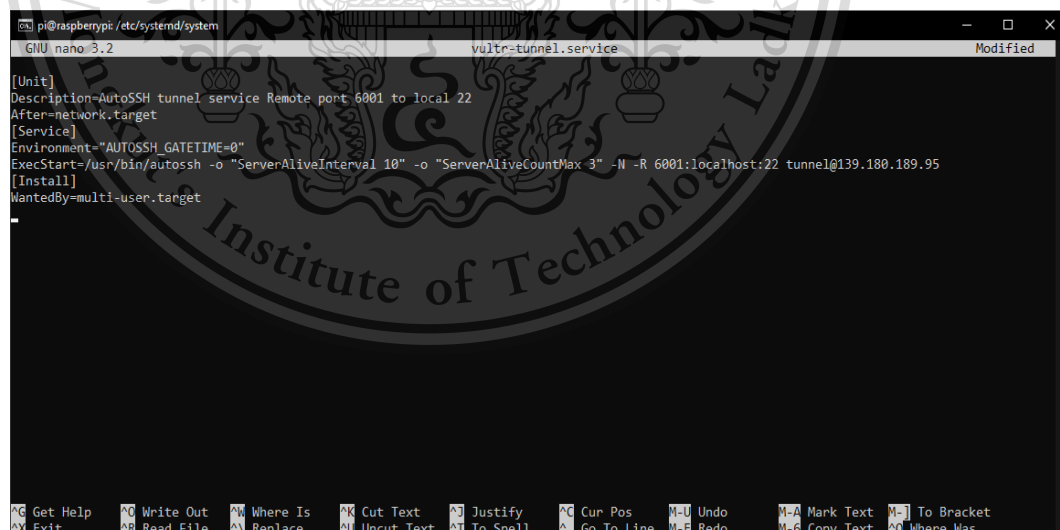
3. พิมพ์คำสั่ง `sudo nano /etc/systemd/system/vultr-tunnel.service`
4. จากนั้นพิมพ์

```
[Unit]
Description=AutoSSH tunnel service Remote port 6001 to local 22
After=network.target

[Service]
Environment="AUTOSSH_GATETIME=0"
ExecStart=/usr/bin/autossh -o "ServerAliveInterval 10" -o
"ServerAliveCountMax 3" -N -R 6001:localhost:22
tunnel@139.180.189.95

[Install]
WantedBy=multi-user.target
```

จะมีลักษณะดังภาพที่ ก.6



```
pi@raspberrypi: /etc/systemd/system
GNU nano 3.2 vultr-tunnel.service Modified

[Unit]
Description=AutoSSH tunnel service Remote port 6001 to local 22
After=network.target
[Service]
Environment="AUTOSSH_GATETIME=0"
ExecStart=/usr/bin/autossh -o "ServerAliveInterval 10" -o "ServerAliveCountMax 3" -N -R 6001:localhost:22 tunnel@139.180.189.95
[Install]
WantedBy=multi-user.target
-
```

รูปที่ ก.6 ข้อความที่พิมพ์ในไฟล์

จากนั้นกด CTRL+X เพื่อออกและบันทึกไฟล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

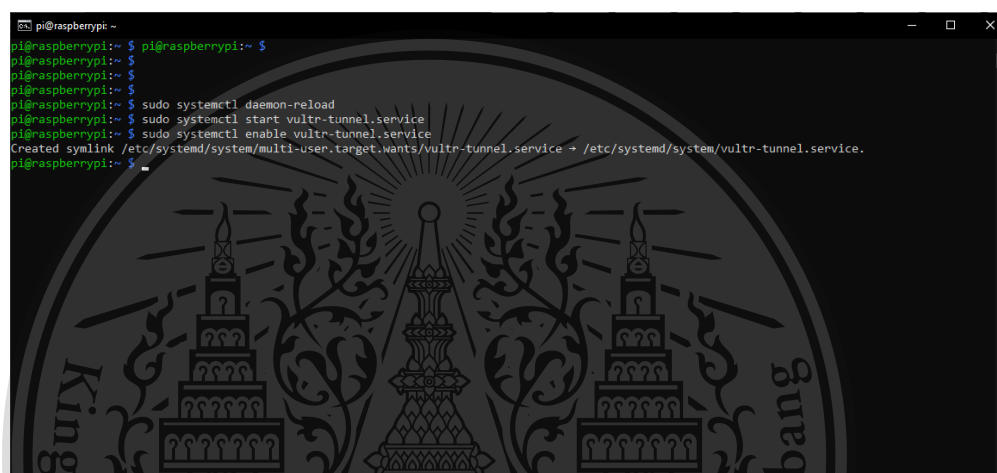
5. จากนั้นพิมพ์คำสั่ง

```
sudo systemctl daemon-reload
```

```
sudo systemctl start vultr-tunnel.service
```

```
sudo systemctl enable vultr-tunnel.service
```

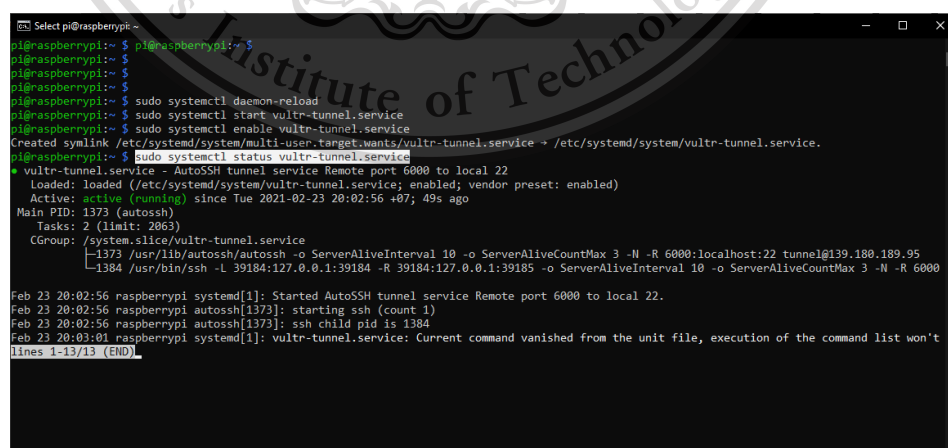
จะมีลักษณะดังภาพ



```
pi@raspberrypi:~$ pi@raspberrypi:~$
pi@raspberrypi:~$
pi@raspberrypi:~$
pi@raspberrypi:~$
pi@raspberrypi:~$ sudo systemctl daemon-reload
pi@raspberrypi:~$ sudo systemctl start vultr-tunnel.service
pi@raspberrypi:~$ sudo systemctl enable vultr-tunnel.service
Created symlink /etc/systemd/system/multi-user.target.wants/vultr-tunnel.service → /etc/systemd/system/vultr-tunnel.service.
pi@raspberrypi:~$
```

รูปที่ ก.7 ผลลัพธ์จากคำสั่ง

6. จากนั้นพิมพ์คำสั่ง `sudo systemctl status vultr-tunnel.service` เพื่อตรวจสอบการทำงาน โดยจะมีลักษณะดังภาพ



```
Select pi@raspberrypi:~$ pi@raspberrypi:~$
pi@raspberrypi:~$
pi@raspberrypi:~$
pi@raspberrypi:~$
pi@raspberrypi:~$ sudo systemctl daemon-reload
pi@raspberrypi:~$ sudo systemctl start vultr-tunnel.service
pi@raspberrypi:~$ sudo systemctl enable vultr-tunnel.service
Created symlink /etc/systemd/system/multi-user.target.wants/vultr-tunnel.service → /etc/systemd/system/vultr-tunnel.service.
pi@raspberrypi:~$ sudo systemctl status vultr-tunnel.service
● vultr-tunnel.service - AutoSSH tunnel service Remote port 6000 to local 22
   Loaded: loaded (/etc/systemd/system/vultr-tunnel.service; enabled; vendor preset: enabled)
   Active: active (running) since Tue 2021-02-23 20:02:56 +07; 49s ago
     Main PID: 1373 (autossh)
       Tasks: 2 (limit: 2063)
      CGroup: /system.slice/vultr-tunnel.service
              └─1373 /usr/lib/autossh/autossh -o ServerAliveInterval 10 -o ServerAliveCountMax 3 -N -R 6000:localhost:22 tunnel@139.180.189.95
                 └─1384 /usr/bin/ssh -L 39184:127.0.0.1:39184 -R 39184:127.0.0.1:39185 -o ServerAliveInterval 10 -o ServerAliveCountMax 3 -N -R 6000

Feb 23 20:02:56 raspberrypi systemd[1]: Started AutoSSH tunnel service Remote port 6000 to local 22.
Feb 23 20:02:56 raspberrypi autossh[1373]: starting ssh (count 1)
Feb 23 20:02:56 raspberrypi autossh[1373]: ssh child pid is 1384
Feb 23 20:03:01 raspberrypi systemd[1]: vultr-tunnel.service: Current command vanished from the unit file, execution of the command list won't
lines 1-13/13 (END)
```

รูปที่ ก.8 ผลลัพธ์จากคำสั่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



ภาคผนวก ข

รูปภาพการเข้าร่วมประกวดผลงานนวัตกรรมสายอุดมศึกษา ประจำปี 2563

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

Quality assessment of ADS-B

นายวิชาญ นิลเกษร (1), นายศุภร ชุลลกุล (2), นายอิทธิวัฒน์ อุ่นเชื้อ (3), ศ.ดร.พรชัย ทวีชัย (4), รศ.ดร.เวรณี ภาคพิทักษ์
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมอากาศยาน วิทยาลัยการบิน กรุงเทพฯ 10520



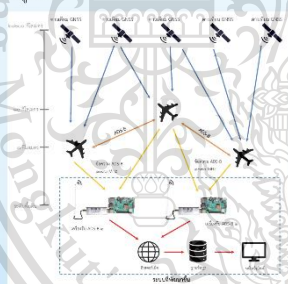
บทคัดย่อ

นับจากเหตุการณ์ที่เกี่ยวข้องกับ MH370 สูญหายในปี 2014 [1] ระบบการนำร่องอากาศยานในปัจจุบันมีแนวโน้มกำหนดให้ใช้ระบบ ADS-B (Automatic Dependent Surveillance Broadcast) เป็นมาตรฐานเสริมในการติดตามอากาศยาน รวมถึงการใช้งานอื่น ๆ ซึ่งต้องมีการตรวจสอบคุณภาพของระบบ ADS-B อาทิเช่น ความแม่นยำในการระบุพิกัดความเร็วของเครื่องบิน รวมไปถึงความแม่นยำของข้อมูลประเภทอื่น ๆ โดยในแต่ละช่วงการบินสามารถทนทานต่อค่าความผิดพลาดได้ต่างกัน ดังนั้นแต่ละพื้นที่จึงต้องมีการตรวจสอบความแม่นยำของระบบติดตามอากาศยานอัตโนมัติที่สอดคล้องเวลา

หลักการที่เกี่ยวข้อง

ระบบ Automatic Dependent Surveillance (ADS) เป็นระบบนำร่องอากาศยานที่สามารถให้ข้อมูลต่าง ๆ เช่น ตำแหน่ง ความสูง ความเร็ว และพารามิเตอร์อื่น ๆ ได้อย่างสมบูรณ์โดยไม่ต้องมีคนควบคุม ซึ่งปัจจุบันมีอยู่ 2 แบบ คือ Automatic Dependent Surveillance Contract (ADS-C) มีการสื่อสารโดยใช้ดาวเทียม และ ADS-B มีการกระจายข้อมูลออกมาตลอดเวลา

ระบบ ADS-B เป็นเทคโนโลยีใหม่ล่าสุดที่ใช้กำหนดระบบบนพื้นดินด้านการสื่อสาร (Communication) การนำทาง (Navigation) และการติดตามอากาศยาน (Surveillance) ของการจราจรทางอากาศในปัจจุบัน ทั้งนี้ระบบ ADS-B ยังช่วยให้ช่วยให้นักบินและผู้ควบคุมการจราจรทางอากาศควบคุมอากาศยานได้แม่นยำมากขึ้น โดยมีลักษณะระบบตามรูปที่ 1



รูปที่ 1 ภาพรวมระบบที่ออกแบบ

การทำงาน

เมื่ออุปกรณ์ Raspberry pi ได้รับข้อความจากระบบ ADS-B จากนั้นใช้โปรแกรมไพธอนที่พัฒนาขึ้นทำการอ่านค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ เช่น หมายเลข ICAO ความเร็ว ความสูง ทิศทาง หมายเลขเที่ยวบิน และตัวแปรความไม่แน่นอนต่าง ๆ จากข้อความ ADS-B ซึ่งยกตัวอย่างการอ่านค่า NACp (Navigation Accuracy Category) ดังรูปที่ 2 คือ ต้องทราบค่า version ก่อนจึงสามารถอ่านค่าของ NACp ได้ หากข้อความไม่เข้าเงื่อนไขใด ๆ จะทำการอ่านค่าพารามิเตอร์อื่นต่อไป



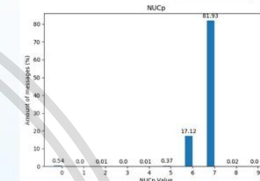
รูปที่ 2 Flow chart การอ่านค่า NACp

ผลการทดลอง



รูปที่ 3 เล้าอากาศยานที่ติดตั้งในภาคพื้นดินและ Raspberry Pi ที่ใช้

โครงการนี้ทดลองติดตั้งอุปกรณ์ Raspberry pi และเสาอากาศตามรูปที่ 3 อยู่ที่ตาดฟ้าของอาคารเรียน 12 ชั้น สถาบันพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังรูปที่ 4 และเก็บข้อมูลของระบบ ADS-B ในรูปแบบข้อความความเป็นเวลา 10 วัน จากนั้นนำมาวิเคราะห์หาค่าความไม่แน่นอนต่าง ๆ



รูปที่ 5 การกระจายของ NUCp
 หลังจากทดลองรับข้อความได้ 380,101 ข้อความ พบว่าค่า NUCp ที่ได้ดังรูปที่ 5 มีการกระจายที่ เนื่องจากค่า NUCp ต้องมากกว่า 4 จึงจะสามารถมั่นใจได้ว่าพิกัดจาก ADS-B มีความแม่นยำเพียงพอที่จะแยกอากาศยานออกจากกันได้

สรุป

โครงการนี้มีเป้าหมายเพื่อศึกษาคุณภาพของระบบติดตามอากาศยาน ADS-B จากการทดลองหาค่าความแม่นยำต่าง ๆ ของข้อมูลที่เก็บได้ 380,101 ข้อความ ค่า NUCp เท่ากับ 7 มีจำนวน 81.93% ของข้อความทั้งหมด ถือว่าเป็นค่าที่ดีเนื่องจากมีค่ามากกว่า 4 NUCp เท่ากับ 0 มีจำนวน 63.96% ของข้อความทั้งหมด จัดอยู่ในเกณฑ์ที่ไม่ดีเนื่องจาก 0 คือไม่สามารถบอกค่า HVE (Horizontal Velocity Error) และ VVE (Vertical Velocity Error) ได้ NACp เท่ากับ 9 มีจำนวน 63.93% ของข้อความทั้งหมด จัดอยู่ในเกณฑ์ดีเพราะบอกถึงความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งซึ่งบอกถึงความคลาดเคลื่อนน้อย NACv เท่ากับ 1 มีจำนวน 84.22% ของข้อความทั้งหมด จัดอยู่ในเกณฑ์ที่ไม่ดีเพราะบอกถึงความคลาดเคลื่อนทางความเร็วคือ NACv มีค่าน้อยยิ่งคลาดเคลื่อนมาก SIL (Source Integrity Level) ที่เป็น 3 มีจำนวน 92.1% ของข้อความทั้งหมด จัดอยู่ในเกณฑ์ดีเพราะเป็นค่ามากที่สุดและบอกถึงโอกาสที่ความผิดพลาดจะเกินขอบเขตที่สร้างในอ้อย NIC (Navigation Integrity Category) ที่เป็น 9 มีจำนวน 98.62% ของข้อความทั้งหมด จัดอยู่ในเกณฑ์ดีเพราะ NIC บอกความน่าเชื่อถือของระบบนำทาง NIC ที่มีค่าสูงที่สามารถเชื่อถือระบบนำทางได้ โดยการทดลองทั้งหมดนี้ติดตั้งอุปกรณ์ในอาคารตาดฟ้า 12 ชั้น ที่สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในอนาคตผู้จัดทำมีความต้องการนำชุดทดลองไปติดตั้งที่จังหวัดชุมพร และเชียงใหม่ ประเด็นกล่าว ตามรูปที่ 6



รูปที่ 6.1 ตำแหน่งชุมพร รูปที่ 6.2 ตำแหน่งเชียงใหม่ ที่มา: maps.google.com

อ้างอิง

- [1] BBC. "Missing Malaysia plane MH370: What we know". <https://www.bbc.com/news/world-asia-26503141>
- [2] Federal Aviation Administration. "§ 91.227 Automatic Dependent Surveillance-Broadcast (ADS-B) Out equipment performance requirements". https://www.ecfr.gov/cgi-bin/text-idx?node=14:2.0.1.3.104se14.2.91_1227
- [3] International Civil Aviation Organization. *Technical Provisions for Mode S Services and Extended Squitter Second Edition*, 2012

รูปที่ ข.1 โปสเตอร์ที่ใช้ในงานประกวด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
 Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ ข.2 ภาพกิจกรรม

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.