

ระบบการทำนายสภาพอวกาศด้วยเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์

บริเวณประเทศไทย

SPACE WEATHER FORECASTING SYSTEM (SWFS) BASED ON AI

TECHNOLOGY OVER THAILAND



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

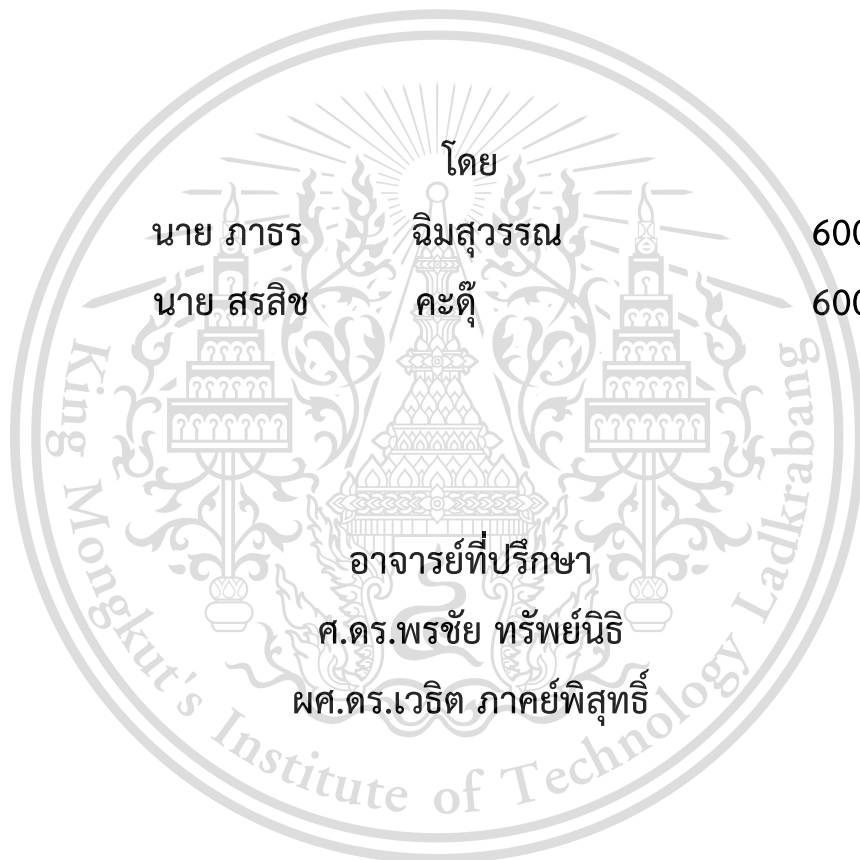
ปีการศึกษา 2563

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.

ระบบการทำนายสภาพอวกาศด้วยเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์
บริเวณประเทศไทย
SPACE WEATHER FORECASTING SYSTEM (SWFS) BASED ON AI
TECHNOLOGY OVER THAILAND



โดย
นาย ภาธร ฉิมสุวรรณ 60010783
นาย สรสิทธิ์ คະตุ้ 60011031

อาจารย์ที่ปรึกษา
ศ.ดร.พรชัย ทรัพย์นิธิ
ผศ.ดร.เวริต ภาคย์พิสุทธิ์

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 ระบบการทำนายสภาพอวกาศด้วยเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์บริเวณประเทศไทย

SPACE WEATHER FORECASTING SYSTEM (SWFS) BASED ON AI TECHNOLOGY
OVER THAILAND

ผู้จัดทำ

1. นายภาธร นิมสุวรรณ 60010783
2. นายสรสิทธิ์ คະดี้ 60011031

P. Supnithi

(ศ.ดร.พรชัย ทรัพย์นิธิ)

อาจารย์ที่ปรึกษา

[Signature]

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(ผศ.ดร.เวธิต ภาคย์พิสุทธิ์)

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

โครงการ ระบบการทำนายสภาพอากาศด้วยเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์บริเวณประเทศไทย สำเร็จสำเร็จลุล่วงได้ด้วยความสามารถ และความช่วยเหลือจากอาจารย์ที่ปรึกษา ศ.ดร.พรชัย ทรัพย์-นิธิ ผศ.ดร.เวธิต ภาคย์พิสุทธิ์ และนักศึกษาปริญญาเอก คุณณภัทร ทองเกษม รวมถึงนักศึกษาปริญญาโท ที่ให้คำปรึกษา คำแนะนำ และตรวจสอบความผิดพลาดต่างๆในการทำงาน ทางคณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณอย่างสูง

ขอขอบคุณคณาจารย์และเจ้าหน้าที่ประจำภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่าน ที่ได้อบรมสั่งสอนประสิทธิ์ประสาทวิชา ความรู้ และประสบการณ์ให้แก่ผู้จัดทำ

ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัว ที่ให้ความรัก ความห่วงใย และเป็นกำลังใจที่สำคัญเสมอมาและที่สำคัญคือสนับสนุนให้โอกาสทางด้านการศึกษามีค่ายิ่งแก่ผู้จัดทำ

นาย ภาธร

นาย สรสิข

ฉิมสุวรรณ

คะดี

ผู้จัดทำ

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.

ระบบการทำนายสภาพอวกาศด้วยเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์
 บริเวณประเทศไทย
 SPACE WEATHER FORECASTING SYSTEM (SWFS)
 BASED ON AI TECHNOLOGY OVER THAILAND

โดย นายภาธร ฉิมสุวรรณ 60010783
 นายสรสิช คະตุ 60011031

อาจารย์ที่ปรึกษา ศ.ดร.พรชัย ทรัพย์นิธิ
 อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ผศ.ดร.เวธิต ภาคย์พิสุทธิ์

บทคัดย่อ

ชั้นบรรยากาศที่มีความสูง 350 กิโลเมตรจากพื้นผิวโลกขึ้นไปจนถึงอวกาศมีผลกระทบต่อระบบการนำร่องด้วยดาวเทียม และระบบการสื่อสารความถี่สูงโดยเรียกชั้นนี้ว่าชั้นไอโอโนสเฟียร์ โดยในโครงการนี้จะศึกษาคุณลักษณะและพฤติกรรมของชั้นบรรยากาศนี้ ได้แก่ การคำนวณปริมาณอิเล็กตรอนรวมบนชั้นบรรยากาศ (Total Electron Content, TEC) การเกิดพลาสมาบับเบิลบริเวณเส้นศูนย์สูตร (Equatorial Plasma Bubble, EPB) และการคำนวณค่าความถี่วิทยุสูงสุดที่สามารถใช้งานได้ (Maximum Usable Outage Frequency, MUF) ค่า TEC และปรากฏการณ์ EPB จะส่งผลกระทบต่อการหน่วงเวลาการแพร่กระจายสัญญาณดาวเทียมมีผลกระทบต่อผู้ใช้งานด้านต่าง ๆ เช่นนำร่องของอากาศยานในระบบช่วยในการลงจอดของเครื่องบิน (Ground Based Augmentation System, GBAS) นอกจากนี้ยังส่งผลกระทบต่อระบบการระบุตำแหน่งแม่นยำสูง (Precise Point Positioning, PPP) ทำให้ประสิทธิภาพลดลง โดยในส่วนของ MUF จะส่งผลต่อการสื่อสารความถี่วิทยุที่ใช้การสะท้อนกับชั้นบรรยากาศในการส่งสัญญาณ ดังนั้นโครงการนี้จะนำเสนอระบบการทำนายสภาพอวกาศด้วยเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์บริเวณประเทศไทย โดยใช้เรดาร์ย่านความถี่สูง (VHF) ในการตรวจจับพลาสมาบับเบิลบริเวณเส้นศูนย์สูตร และใช้เทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น มิใช่เพื่อเผยแพร่สู่สาธารณะโดยไม่ผ่านการคัด

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.

การทำนายเพื่อทำการหาความผิดปกติของปรากฏการณ์ปริมาณอิเล็กตรอนรวมบนชั้นบรรยากาศและค่า MUF บริเวณประเทศไทย จากนั้นนำผลลัพธ์ที่ได้จากการทำนายมาจัดเก็บลงในฐานข้อมูลและแสดงผลผ่านเว็บไซต์

ABSTRACT

Ionosphere at an altitude of 350 km from the Earth's surface and above affect Navigation Satellite System and high-frequency communication systems. Important parameters include Total Electron Content (TEC) and Maximum Usable Frequency (MUF). Irregularities in ionosphere also affect Precise Point Positioning (PPP) resulting in performance degradation. The MUF aids high-frequency communication systems that rely on signal reflection of the ionosphere to transmit signals. Therefore, in this senior project, we develop Space Weather Forecasting System (SWFS) based on AI Technology such as Neural Network (NN), Long Short-Term Memory (LSTM), and Support Vector Machine (SVM) over Thailand by using the Very High Frequency (VHF) radar to detect plasma bubbles around the equator and using artificial intelligence technology or AI to make predictions to find anomalies of TEC and MUF around Thailand area. Then the results obtained from the predictions are stored in a database and displayed on the website.

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
1.2	2
1.3	2
บทที่ 2	ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง
2.1	3
2.2	5
2.3	6
2.4	8
2.5	11
2.6	13
2.7	13
2.8	14
2.9	15

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 (ต่อ)

	หน้า
2.10 Long Short-Term Memory (LSTM)	22
2.11 หลักการของแบบจำลอง Support Vector Machine (SVM)	26
2.12 หลักการในการตรวจจับปรากฏการณ์ Overfit หรือการจดจำเหตุการณ์ที่ทำการฝึกฝน	30
2.13 Library Python ที่เกี่ยวข้องกับงาน	31
บทที่ 3 การออกแบบและการจัดทำปฏิญญาอินพนธ์	33
3.1 การออกแบบ	33
3.1.1 การทดลองปริมาณอิเล็กทรอนิกส์บนชั้นบรรยากาศ	33
3.1.2 ระบบตรวจจับพลาสมาบับเบิลบริเวณเส้นศูนย์สูตร	44
3.1.3 การทดลองสร้างแผนที่ Outage Frequency	48
3.1.4 การแบ่งระดับ Outage frequency ณ สถานีชุมพรด้วยเทคโนโลยี Support Vector Machine (SVM)	50
3.1.5 การออกแบบเว็บไซต์แสดงผล	52
3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	54
3.2.1 สถานีเรดาร์ย่าน VHF ที่ประเทศไทย	54
3.3 การจัดเก็บผลการทดลอง	55
3.3.1 ส่วนที่เกี่ยวข้องกับการทำนายค่า VTEC	55
3.3.2 ส่วนที่เกี่ยวข้องกับระบบตรวจจับพลาสมาบับเบิลบริเวณเส้นศูนย์สูตร	57
3.3.3 ส่วนที่เกี่ยวข้องกับค่าความถี่วิกฤต	57
3.3.4 ส่วนที่ใช้ในการแสดงผล	58

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 (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4	ผลการทดลอง
	59
4.1	ผลการคำนวณและทำนายค่า VTEC
	59
4.1.1	ผลการทดสอบในส่วนของโปรแกรมที่ใช้ในการคำนวณ Mutual Information
	59
4.1.2	ผลการทดสอบในส่วนของโปรแกรม Neural Network และ LSTM ที่ใช้ในการทำนายค่า VTEC
	62
4.1.3	ผลการทดสอบในส่วนของเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการทำนายค่า VTEC จากแบบจำลอง Neural Network, LSTM และ IRI-2016
	66
4.2	ผลการทดลองสร้างระบบตรวจจับพลาสมาบับเบิลบริเวณเส้นศูนย์สูตร
	69
4.2.1	Range time interval plot (RTI)
	70
4.2.2	ทำการพล็อตในรูปแบบของ Keogram
	73
4.2.3	ทำการพล็อตในรูปแบบของ Fan Shape
	73
4.3	ผลการทดลองสร้างแผนที่ค่าความถี่วิกฤต
	75
4.4	การแสดงผลผ่านเว็บไซต์
	83
บทที่ 5	บทสรุปและข้อเสนอแนะ
	88
5.1	บทสรุป
	88
5.2	ข้อเสนอแนะ
	88
บรรณานุกรม	89
ภาคผนวก	91

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

รูปที่	หน้า
2.1	4
2.2	5
2.3	6
2.4	7
2.5	8
2.6	10
2.7	11
2.8	13
2.9	14
2.10	16
2.11	17
2.12	18
2.13	19
2.14	19
2.15	20
2.16	21
2.17	23

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 (ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.18 รูปแบบของแบบจำลอง LSTM ที่สามารถใช้ข้อมูลของลำดับก่อนหน้ามาใช้ในการทำนาย	23
2.19 การแบ่งกลุ่มของแบบจำลอง SVM ในระนาบ 2 มิติด้วย Hyperplane line	26
2.20 การแบ่งกลุ่มของแบบจำลอง SVM ในระนาบ 2 มิติที่มี Support Vector	27
2.21 การแบ่งกลุ่มที่มีเวกเตอร์อนุโลม	29
2.22 การแบ่งข้อมูลอินพุต ให้ออกเป็นข้อมูล 2 ชุด	30
2.23 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความผิดพลาดกับรอบที่ทำการฝึก	31
3.1 ภาพรวมของระบบการตรวจสอบความผิดปกติบนชั้นบรรยากาศ	33
3.2 บล็อกไดอะแกรมของระบบการทำนายปริมาณอิเล็กทรอนิกส์รวมบนชั้นบรรยากาศ	34
3.3 (ก) ข้อมูลค่ากลางของ VTEC รายวินาที (ข) ข้อมูลค่ากลางของ VTEC รายชั่วโมง	36
3.4 หน้าต่างจากเว็บไซต์กลางของนาซาที่ใช้สำหรับดาวโหลดข้อมูล	37
3.5 ไฟล์ข้อมูลที่ทำกรการจัดเก็บ	38
3.6 เมทริกซ์ของข้อมูลที่ทำกรอ่านจากไฟล์ข้อมูลที่ทำกรการจัดเก็บ	38
3.7 ตำแหน่งของสถานีที่ใช้ในการเก็บค่า pseudorange	39
3.8 (ก) แผนภาพของ Neural Network (ข) แผนภาพของ LSTM ณ N loopback	41
3.9 ผังการทำงานของโปรแกรม Neural Network ที่เขียนด้วยภาษาไพธอน	42
3.10 ผังการทำงานของโปรแกรม LSTM ที่เขียนด้วยภาษาไพธอน	43
3.11 บล็อกไดอะแกรมของระบบการตรวจจับพลาสมาบับเบิลบริเวณเส้นศูนย์สูตร	45
3.12 ตัวอย่างข้อมูลของ CSV file ของลำคลื่นที่ 1 รอบที่ 1	46

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 (ต่อ)

รูปที่	หน้า	
3.13	รูปแบบของ Struct ที่ใช้ในการจัดเก็บข้อมูล	46
3.14	ตัวแปรที่จัดเก็บใน alt1 และ alt2	47
3.15	การแปลงข้อมูลจากระยะทางของลำคลื่นให้เป็นระยะทาง Eastward Distance	47
3.16	บล็อกไดอะแกรมของระบบแผนที่ความถี่ขาดหาย สำหรับการแจ้งเตือนเมื่อใช้การส่งแบบสะท้อนกับชั้นบรรยากาศ ณ บริเวณประเทศไทย	49
3.17	รูปแบบของแบบจำลองที่ใช้ในการแบ่งระดับ outage frequency	50
3.18	แผนผังการทำงานของโปรแกรมแบ่งระดับ Outage frequency ณ สถานีชุมพรด้วยเทคโนโลยี Support Vector Machine (SVM)	51
3.19	ภาพจำลองหน้าระบบตรวจจับพลาสมาบับเบิล	52
3.20	ภาพจำลองหน้าแผนที่ Outage Frequency Map	53
3.21	ภาพจำลองหน้าปริมาณอิเล็กทรอนิกส์รวมบนชั้นบรรยากาศ	54
3.22	สถานีเรดาร์ย่าน VHF ที่ประเทศไทย	54
3.23	ตำแหน่งสถานีที่ใช้ในการทดลองบริเวณประเทศไทย	56
4.1	(ก) ค่ากลาง VTEC ที่ทำการจัดเก็บของทุกสถานี (ข) ตัวอย่างค่ากลาง VTEC ณ สถานี SRTN จำนวน 8 ปีย้อนหลัง (2008-2016)	59
4.2	แผนภาพ Neural Network ของระบบ	61
4.3	แผนภาพ LSTM ของระบบ	61
4.4	เมทริกซ์ที่ทำการจัดเก็บข้อมูลจาก 11 สถานี	62
4.5	(ก) - (ค) แบบจำลอง LSTM ที่ loopback เท่ากับ 1, 12, 24 ตามลำดับ	63
4.6	ค่า RMSE เฉลี่ยช่วงปี 2020 จากแบบจำลอง DNN, LSTM และ IRI-2016	66
4.7	ค่า R-square เฉลี่ยช่วงปี 2020 จากแบบจำลอง DNN, LSTM และ IRI-2016	67

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 (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.8 ค่า VTEC จากการทำนาย ณ สถานี SOKA, DPT9 และ LPBR ในช่วง quiet period	68
4.9 ค่า VTEC จากการทำนาย ณ สถานี SOKA, DPT9 และ LPBR ในช่วง storm period	69
4.10 (ก) - (ข) RTI Plot ของลำคลื่นที่ 1 ถึง 8 ของรอบที่ 1 ตามลำดับ	71
4.11 (ก) - (ข) RTI Plot ของลำคลื่นที่ 1 ถึง 8 ของรอบที่ 2 ตามลำดับ	72
4.12 Keogram Plot ของลำคลื่นที่ 1 ถึง 8 ของรอบที่ 1 ณ ความสูง 350 กิโลเมตร	73
4.13 ผลลัพธ์ของการพล็อตในรูปแบบของ Fan Shape plot ณ เวลา 13.52.44 UTC	74
4.14 ไดเรกทอรี(plasmabubble_detect) ใน server (ip: 161.246.18.205) ที่ต้องการจัดเก็บ	74
4.15 แผนที่ Outage Frequency ณ บริเวณประเทศไทย ในรูปแบบ Gif file	75
4.16 ผลจากการถ่ายโอนข้อมูล Outage Frequency จากคอมพิวเตอร์ลงบน server	75
4.17 เว็บไซต์ที่ใช้ในการดาวน์โหลดข้อมูล	77
4.18 ผลการดาวน์โหลดข้อมูลปี 2008-2016	78
4.19 ตัวอย่างข้อมูลค่ากลางของค่าความถี่วิกฤติ	79
4.20 ข้อมูลหลังการปรับแต่งข้อมูล	80
4.21 Confusion Matrix ของโมเดล SVM ชนิด Kernel RBF	82
4.22 ผลการพล็อตพลาสมาบับเบิลแบบ Fan shape plot แสดงผ่านเว็บไซต์	83
4.23 ผลการพล็อตพลาสมาบับเบิลแบบ Keogram แสดงผ่านเว็บไซต์	84
4.24 ผลการพล็อตพลาสมาบับเบิลแบบ RTI แสดงผ่านเว็บไซต์	85
4.25 ผลการแสดงผลของแผนที่ Outage Frequency Map	86
4.26 หน้าเว็บไซต์แสดงปริมาณอิเล็กทรอนิกส์รวมบนชั้นบรรยากาศ	87

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

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

ตารางที่	หน้า	
3.1	ทิศทางการยิงของลำคลื่นรอบที่ 1	55
3.2	ทิศทางการยิงของลำคลื่นรอบที่ 2	55
3.3	ระดับข้อมูลค่าการกระจายของค่า foF2	58
4.1	ค่า Mutual Information ที่ทำการวัดเทียบกับค่ากลาง VTEC	60
4.2	ค่า RMSE ได้จากการฝึกฝนแบบจำลอง Neural Network	64
4.3	ค่า RMSE ได้จากการฝึกฝนแบบจำลอง LSTM	65
4.4	RMSE และ R-square เฉลี่ยช่วงปี 2020 ในแต่ละสถานี	67
4.5	ผลการทดลองโมเดล SVM ชนิด Linear	81
4.6	ผลการทดลองโมเดล SVM ชนิด Kernel Sigmoid	81
4.7	ผลการทดลองโมเดล SVM ชนิด Kernel RBF	81
4.8	ผลการทดสอบโมเดล SVM ชนิด Kernel RBF กับชุดข้อมูลปี 2016	82

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

ระบบ Global Navigation Satellite System (GNSS) คือ ระบบนำทางด้วยดาวเทียม โดยใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เป็นตัวรับสัญญาณเพื่อประมวลผลเชิงตำแหน่ง โดยเทคโนโลยีนี้มีประโยชน์อย่างมากต่อเทคโนโลยีด้านต่าง ๆ เช่น ระบบรถยนต์ไร้คนขับ เกษตรอัจฉริยะ และระบบเคลื่อนที่อัตโนมัติของอากาศยาน เป็นต้น โดยปัจจุบันนี้ได้มีระบบนำทางด้วยดาวเทียมหลากหลายระบบ เช่น GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou, QZSS, SBAS ซึ่งในการส่งสัญญาณมายังเครื่องรับที่ภาคพื้นดินจะต้องผ่านชั้นบรรยากาศโดยเฉพาะชั้นไอโอโนสเฟียร์ที่เป็นหนึ่งในสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดความผิดพลาดในการนำร่อง โดยเฉพาะอย่างยิ่งผู้ใช้งานในพื้นที่บริเวณเส้นศูนย์สูตรแม่เหล็ก ที่มีความแปรปรวนในชั้นบรรยากาศสูง เนื่องจากประเทศไทยที่ตั้งอยู่ในเขตละติจูดแม่เหล็กต่ำ และความผิดปกติในชั้นไอโอโนสเฟียร์ที่เรียกว่าพลาสมาบับเบิล (plasma bubble) กำเนิดขึ้นในบริเวณนี้ จึงเหมาะสมแก่การศึกษาคุณลักษณะ และพฤติกรรมชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์นี้

ชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ประกอบไปด้วยปริมาณอิเล็กตรอนเป็นจำนวนมาก และจะแตกตัวออกเป็นไอออนเมื่อได้รับผลกระทบจากแสงอาทิตย์ซึ่งปริมาณอิเล็กตรอนที่แตกตัวนี้เป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดการหน่วงเวลา และการสะท้อนของสัญญาณ ในการศึกษาชั้นบรรยากาศนี้มีข้อมูลสำคัญเพื่อแสดงคุณลักษณะในชั้นไอโอโนสเฟียร์นี้ยกตัวอย่าง เช่น ปริมาณอิเล็กตรอนสุทธิ (Total Electron Content, TEC) และค่าความถี่วิกฤต (Critical frequency, foF2)

ในงานนี้จึงได้มีการศึกษาค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ โดยมีการคำนวณปริมาณอิเล็กตรอนสุทธิ และทำนายค่าดังกล่าวด้วย Neural Network และ Long Short Term Memory พร้อมทั้งเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองกับแบบจำลอง IRI-2016 ซึ่งเป็นแบบจำลองที่ใช้งานกันทั่วไปในปัจจุบัน เพื่อค้นคว้าแบบจำลองที่เหมาะสมที่สุดสำหรับผู้ใช้งานในบริเวณประเทศไทย จากนั้นศึกษาปรากฏการณ์พลาสมาบับเบิลจากข้อมูลที่ได้รับจากวีเอชเอฟเรดาร์ โดยจะทำการตรวจจับ plasma bubble โดยใช้ข้อมูลจากสถานีที่ kototabang ประเทศอินโดนีเซีย โดยตรวจจับการสะท้อนของสัญญาณตามแนวสนามแม่เหล็กโลก และวัดพลังงานของสัญญาณ สุดท้ายทำนายความผิดปกติของค่าความถี่วิกฤตด้วย SVM และนำผลลัพธ์ที่ได้จัดเก็บลงบนเซิร์ฟเวอร์ และแสดงผลผ่านเว็บไซต์

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.

1.2 วัตถุประสงค์

- 1) เพื่อพัฒนาระบบ และทำนายพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับ Total Electron Content (TEC) ด้วย Neural network และ Long short Term memory (LSTM)
- 2) เพื่อพัฒนาระบบตรวจจับปรากฏการณ์ plasma bubble โดยใช้คลื่นวิทยุความถี่ย่าน VHF
- 3) เพื่อพัฒนาแผนที่ความถี่ใช้งานสูงสุดในการส่งสัญญาณแบบสะท้อนกับชั้นบรรยากาศ

1.3 ขอบเขตของปริิญาานิพนธ์

- 1) ทำการดึงข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับสภาพอวกาศ เช่น plasma bubble จากสถานี kototabang ประเทศอินโดนีเซีย และ Total Electron Content (TEC) จำนวน 12 สถานีบริเวณประเทศไทยมาวิเคราะห์ และทำนายอนาคตของค่า TEC โดยใช้เทคโนโลยี Neural network และ LSTM พร้อมทั้งเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับแบบจำลอง IRI-2016
- 2) พัฒนาแผนที่ความถี่ใช้งานสูงสุดในการส่งสัญญาณแบบสะท้อนกับชั้นบรรยากาศ
- 3) นำข้อมูลสภาพอวกาศที่ทำนายโดยปัญญาประดิษฐ์มาแสดงผลผ่านเว็บไซต์

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 ชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์

ชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ (Ionosphere) เป็นชั้นบรรยากาศที่มีความสูงจากพื้นผิวโลก อยู่ที่ 50-1000 กิโลเมตร โดยประกอบไปด้วยปริมาณอิเล็กตรอน ที่เกิดจากการแตกตัวของไอออนสาเหตุมาจากรังสีอัลตราไวโอเล็ตของดวงอาทิตย์แผ่พลังงานแม่เหล็กไปยังโมเลกุลของแก๊สในชั้นบรรยากาศทำให้เกิดอิเล็กตรอนอิสระเพิ่มขึ้นในเวลากลางวัน และลดลงในเวลากลางคืน จากสาเหตุนี้ทำให้ค่าช่วงเวลาในช่วงเวลากลางวัน และกลางคืนมีค่าแตกต่างกันด้วย โดยในช่วงกลางวันที่มีดวงอาทิตย์จะมีการแตกตัวสูงกว่า โดยอิเล็กตรอนเหล่านี้ส่งผลกระทบต่อการทำงานของคลื่นวิทยุ

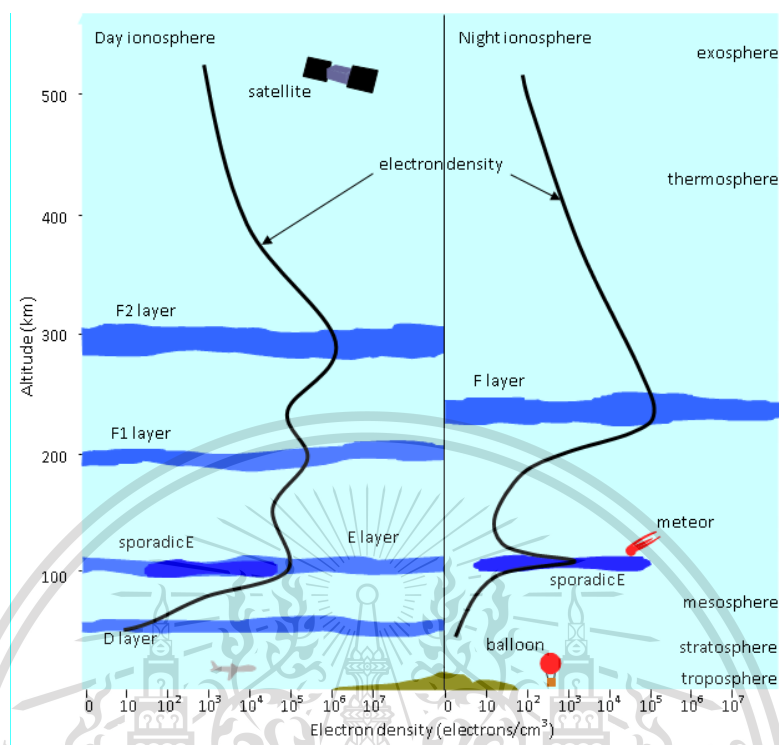
ชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์สามารถแบ่งชั้นย่อยออกเป็น 3 ชั้น ดังนี้

1. ชั้นบรรยากาศชั้น D มีระดับความสูงอยู่ที่ 50 - 90 กิโลเมตร โดยชั้นบรรยากาศนี้จะปรากฏในเวลากลางวันเนื่องจากรังสีจาก Solar Activity และมีปริมาณความหนาแน่นของอิเล็กตรอนที่ต่ำโดยมีค่าประมาณ 1,000 ต่อลูกบาศก์เซนติเมตร
2. ชั้นบรรยากาศชั้น E มีระดับความสูงอยู่ที่ 100 - 125 กิโลเมตร โดยความหนาแน่นของอิเล็กตรอนจะขึ้นอยู่กับช่วงเวลา โดยแบ่งออกเป็น เวลากลางวันจะมีความหนาแน่นของอิเล็กตรอนสูงสุดประมาณ 100,000 ต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ส่วนในเวลากลางคืนจะลดลงเหลือ 200 - 10,000 ต่อลูกบาศก์เซนติเมตร
3. ชั้นบรรยากาศชั้น F มีระดับความสูง 150 - 500 กิโลเมตร โดยชั้นนี้เป็นชั้นที่มีความหนาแน่นของอิเล็กตรอนมากที่สุดที่ระดับความสูง 300 กิโลเมตร สำหรับช่วงเวลากลางวันปริมาณอิเล็กตรอนจะแบ่งออกเป็น 2 ระดับ คือ F1 มีระดับความสูง 175 - 250 กิโลเมตร และ F2 มีระดับความสูง 250 - 400 กิโลเมตร แต่ในเวลากลางคืนจะรวมเป็นชั้นเดียวโดยชั้นบรรยากาศ F มีผลอย่างมากต่อการสะท้อนของคลื่นวิทยุ ในย่านความถี่สูง (3MHz - 30MHz) การแบ่งชั้นบรรยากาศและความหนาแน่นของอิเล็กตรอนที่กล่าวมาข้างต้นในเวลากลางวันและกลางคืนแสดงได้ดังรูปที่ 2.1

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 2.1 ชั้นบรรยากาศและความหนาแน่นของอิเล็กตรอนในเวลากลางวัน และกลางคืน [1]

จากรูปที่ 2.1 เพื่อระบุคุณลักษณะของชั้นไอโอโนสเฟียร์ จะมีค่าพารามิเตอร์จากข้อมูลดวงอาทิตย์ที่สำคัญดังนี้

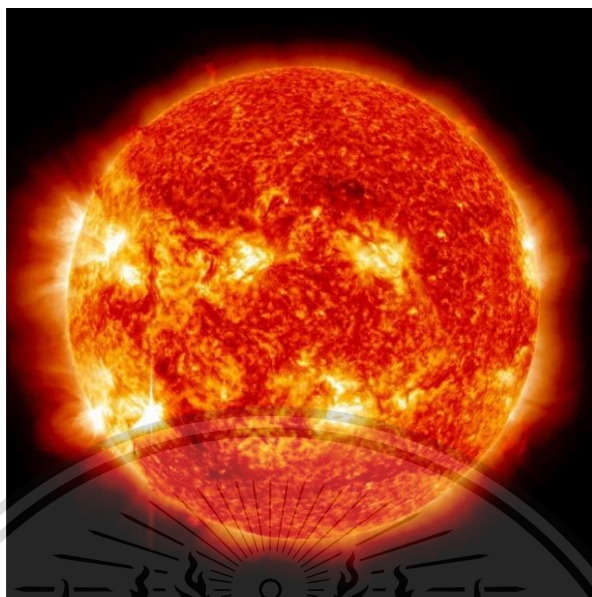
1. f10.7 cm radio emissions

ความผิดพลาดในการส่งสัญญาณดาวเทียมผ่านชั้นบรรยากาศ ซึ่งเกิดจากการปะทุของดวงอาทิตย์ ดังรูปที่ 2.2 โดยจุดที่มีการปะทุของดวงอาทิตย์จะเรียกว่า จุดมืดของดวงอาทิตย์ (Sun spot, Rz 12) ซึ่งสามารถวัดได้โดยใช้ดัชนี F10.7 ซึ่งเป็นตัวบ่งชี้จุดมืดของอาทิตย์โดยใช้ความยาวคลื่น 10.7 เซนติเมตร หรือความถี่ 2,800 MHz

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 การเกิดจุดมืดของอาทิตย์ (Sun spot, Rz 12) [2]

2. Disturbance storm time index (Dst-index)

ดัชนี Dst เป็นการวัดในบริบทของสภาพอากาศในอวกาศที่ให้ข้อมูลเกี่ยวกับความแรงของกระแสแหวนรอบโลกที่เกิดจากโปรตอนแสงอาทิตย์และอิเล็กตรอน โดยกระแสแหวนรอบโลกก่อให้เกิดสนามแม่เหล็กที่ตรงข้ามกับสนามแม่เหล็กของโลกนั่นคือถ้าความแตกต่างระหว่างอิเล็กตรอนสุริยะและโปรตอนสูงขึ้นสนามแม่เหล็กของโลกก็จะอ่อนแอลง

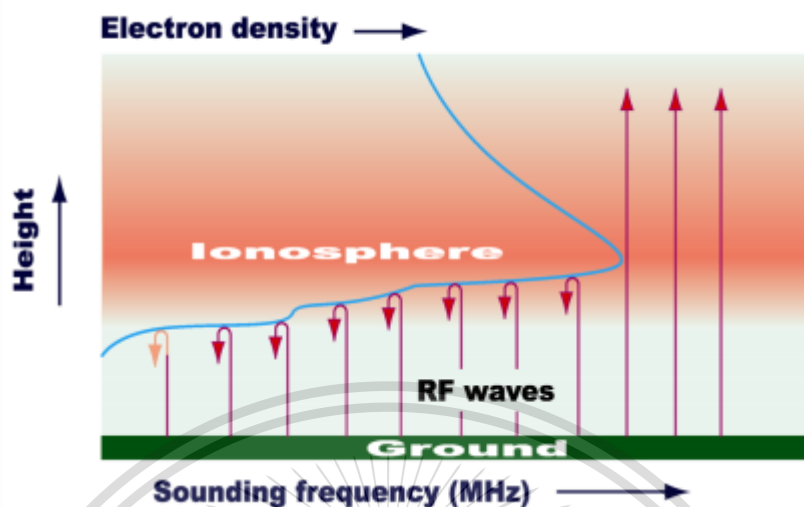
2.2 ความถี่วิกฤต (critical frequency) ชั้น F2

ความถี่วิกฤตคือ คือความถี่สูงสุดที่สามารถส่งสัญญาณคลื่นความถี่วิทยุสะท้อนชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ โดยวัดค่าได้โดยใช้เครื่องส่งสัญญาณคลื่นแบบตั้งฉากกับพื้นโลกโดยคลื่นจะโค้งตัวลงภายใต้อัตราของการเปลี่ยนแปลงค่าไอโอโนสเฟียร์ในค่าที่เพียงพอ และซึ่งอัตราของไอโอโนสเฟียร์นี้ถูกวัดต่อหน่วยความยาวคลื่นเคลื่อนเดินทางที่ใกล้ชิดต่อการเป็นลำคลื่น (Rays) ตกกระทบแบบเวกเตอร์คอสายที่ค่ามากกว่านี้คลื่นจะเกิดการโค้งเพื่อย้อนกลับสู่โลก ชื่อที่กำหนดความถี่สูงสุดนี้คือความถี่วิกฤต (Critical Frequency) ในทางปฏิบัติจะใช้ค่า 2 MHz ถึง 30MHz โดยสามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่สูงสุดกับความหนาแน่นอิเล็กตรอน และความสูงได้ดังรูปที่ 2.3

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 2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่สูงสุดกับความหนาแน่นอิเล็กตรอน และความสูง [1]

จากรูปเป็นหลักการการทำงานของเครื่องมือวัดหนึ่งๆที่เรียกว่า ไอโอโนซอนด์ (ionosonde) โดยจะมีสายอากาศเดี่ยวยิงคลื่นป้อนขึ้นไปยังชั้นบรรยากาศ และวัดค่าความถี่สูงสุดที่สามารถสะท้อนกลับมา นอกจากนี้ยังมีสถานีวีเอชเอฟเรดาร์ (VHF radar) ที่มีสายอากาศมากกว่าทำให้พื้นที่ครอบคลุมมากกว่า

2.3 ข้อมูลสัญญาณดาวเทียม

ข้อมูลที่ได้รับจากดาวเทียมจะจัดเก็บในลักษณะของ Receiver Independent Exchange (RINEX) โดยภายในไฟล์จะประกอบไปด้วยข้อมูล observation data, ephemeris data, navigation data ตัวอย่างไฟล์แสดงดังรูปที่ 2.4

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.

```

2.11 OBSERVATION DATA G (GPS) RINEX VERSION / TYPE
teqc 2010Oct21 20101216 08:31:59UTC PGM / RUN BY / DATE
DPT9 MARKER NAME
DPT9 MARKER NUMBER
SURVEY DIV DPT SURVEY DIV OBSERVER / AGENCY
462972 LEICA GRX1200PRO 4.12/2.121 REC # / TYPE / VERS
LEIAT502 NONE ANT # / TYPE
-1136984.0551 6091176.7425 1506867.1803 APPROX POSITION XYZ
0.0000 0.0000 0.0000 ANTENNA: DELTA H/E/N
1 WAVELENGTH FACT L1/2
4 C1 L1 P2 L2 # / TYPES OF OBSERV
5.0000 INTERVAL
15 LEAP SECONDS
Linux 2.4.20-8|Pentium IV|gcc -static|Linux|486/DX+ COMMENT
2.10 OBSERVATION DATA G COMMENT
SPIDER V2,1,0,2275 2010 10 03 01:00 COMMENT
BIT 2 OF LLI FLAGS DATA COLLECTED UNDER A/S CONDITION COMMENT
SNR is mapped to RINEX snr flag value [2-9] COMMENT
L1&L2: = 25dBHz -> 1; 26-27dBHz -> 2; 28-31dBHz -> 3 COMMENT
32-35dBHz -> 4; 36-38dBHz -> 5; 39-41dBHz -> 6 COMMENT
42-44dBHz -> 7; 45-48dBHz -> 8; >=49dBHz -> 9 COMMENT
2010 10 3 0 0 0.0000000 GPS TIME OF FIRST OBS
END OF HEADER
10 10 3 0 0 0.0000000 0 9G03G06G14G16G19G20G23G31G32
21099468.684 110878445.832 8 21099469.730 86398792.12046
20867624.156 109660094.587 8 20867625.033 85449416.37646
23455038.256 123257096.017 5 23455039.217 96044496.36343
20879213.184 109721010.465 8 20879213.310 85496892.40246
23486877.263 123424370.220 6 23486876.034 96174822.65343
22092147.352 116095001.410 7 22092146.749 90463636.47745
23093968.253 121359611.154 6 23093966.845 94565929.26643
23522597.394 123612102.994 6 23522597.247 96321126.70344
21549251.572 113242062.708 8 21549252.014 88240570.79145

```

Oct 3, 2010 00:00:00

PRN3
PRN6
PRN14
PRN16
PRN19
PRN20
PRN23
PRN31
PRN32

รูปที่ 2.4 ตัวอย่างรายละเอียดของข้อมูล Rinx file [10]

คำอธิบาย

C1 หมายถึงระยะทางเทียมจากน้บคาร์หัสของข้อมูลสัญญาณ (Code pseudorange) ของย่านความถี่ 1575.42 MHz

P2 หมายถึงระยะทางเทียมจากน้บคาร์หัสของข้อมูลสัญญาณ (Code pseudorange) ของย่านความถี่ 1277.60 MHz

L1 หมายถึงระยะทางเทียมจากเฟสของความถี่คลื่นพาห์ (Carrier-phase pseudorange) ของย่านความถี่ 1575.42 MHz

L2 หมายถึงระยะทางเทียมจากเฟสของความถี่คลื่นพาห์ (Carrier-phase pseudorange) ของย่านความถี่ 1277.60 MHz

โดยที่กรอบสีแดงด้านล่างจะเรียงข้อมูลระยะทางเทียมแต่ละชนิดตามกรอบสีแดงด้านบน

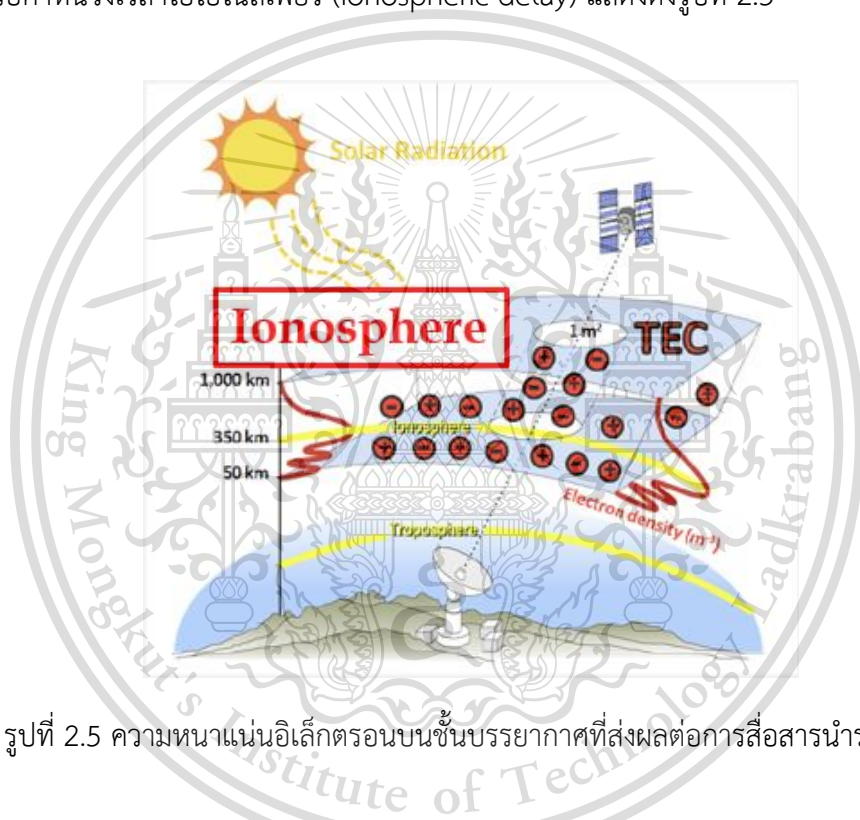
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

2.4 การคำนวณค่า TEC ที่เกิดจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์โดยใช้ไฟล์ RINEX จากเครื่องรับ

ในการส่งสัญญาณของดาวเทียมกำหนดให้ความเร็วของสัญญาณมีค่าคงที่เท่ากับความเร็วแสงในสุญญากาศ แต่เนื่องจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์นั้นประกอบไปด้วยอิเล็กตรอน ทำให้ค่าดัชนีหักเหของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ไม่คงที่ ส่งผลให้ความเร็วในการส่งสัญญาณในช่วงที่ผ่านชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์เกิดการหน่วงเวลาขึ้น เรียกว่าค่าหน่วงเวลาที่เกิดจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ หรือค่าหน่วงเวลาไอโอโนสเฟียร์ (Ionospheric delay) แสดงดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 ความหนาแน่นอิเล็กตรอนบนชั้นบรรยากาศที่ส่งผลต่อการสื่อสารนำร่อง [1]

จากรูปที่ 2.5 เมื่อเครื่องรับได้รับข้อมูลจากดาวเทียมจะสามารถนำระยะทางเทียม (Pseudorange) 2 ความถี่จากเครื่องรับมาคำนวณค่าปริมาณอิเล็กตรอนสุทธิบนชั้นบรรยากาศได้โดยใช้ความสัมพันธ์ของระยะทางเทียมที่คำนวณจากนับค่ารหัสของข้อมูลสัญญาณ (Code pseudorange) ในความถี่ที่ 1 ดังสมการที่ 2.1 และในความถี่ที่ 2 ดังสมการที่ 2.2

$$P_1 = \rho + d_{iono,f1} + c(b_{p1}^r + b_{p1}^s) + \varepsilon_{p1} \quad (2.1)$$

$$P_2 = \rho + d_{iono,f2} + c(b_{p2}^r + b_{p2}^s) + \varepsilon_{p2} \quad (2.2)$$

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.

ความสัมพันธ์ของระยะทางเทียมที่คำนวณจากวัดระยะเฟสของความถี่คลื่นพาห์ (Carrier-phase pseudorange) กับค่าความผิดพลาดต่าง ๆ ในความถี่ที่ 1 ดังสมการที่ 2.3 และในความถี่ที่ 2 ดังสมการที่ 2.4

$$L_1 = \rho - d_{iono,f1} + \lambda_1 n_1 + \varepsilon_{L1} \quad (2.3)$$

$$L_2 = \rho - d_{iono,f2} + \lambda_2 n_2 + \varepsilon_{L2} \quad (2.4)$$

โดยที่

$P_{1,2}$ คือ Code pseudorange (m) ของความถี่ที่ 1 และ 2

$L_{1,2}$ คือ Carrier-phase pseudorange (m) ของความถี่ที่ 1 และ 2

ρ คือ ระยะทางจริง (m)

$d_{iono,f1}, d_{iono,f2}$ คือ ค่าหน่วงเวลาไอโอโนสเฟียร์ความถี่ที่ 1 และ 2 ตามลำดับ (m)

b^s, b^r คือ ค่าหน่วงเวลาที่เกิดจากดาวเทียม และเครื่องรับ (s) ตามลำดับ

c คือ ความเร็วแสง 299,792,458 m/s

λ คือ เฟสของความถี่ (m)

n คือ ค่าความกำกวมที่เป็นจำนวนเต็ม (integer ambiguity)

ε คือ สัญญาณรบกวนอื่น ๆ และสัญญาณสะท้อน (m)

ในการคำนวณค่าหน่วงเวลาไอโอโนสเฟียร์จะใช้ผลรวมเชิงเส้น (Linear combination) [4] ระหว่างระยะทางเทียมทั้งสองความถี่ได้ดังสมการที่ 2.5

$$P_2 - P_1 = T_{iono,f2} - T_{iono,f1} + \left[c(b_{P2}^r + b_{P2}^s) - c(b_{P1}^r + b_{P1}^s) \right] + \varepsilon_{P3} \quad (2.5)$$

จากสมการที่ 2.5 จะสามารถจัดรูป และหาความสัมพันธ์ระหว่าง TEC ได้ดังสมการที่ 2.6

$$\begin{aligned} TEC = & \left(\frac{f_1^2 f_2^2}{A(f_1^2 - f_2^2)} \right) (P_2 - P_1) \\ & - \left(\frac{f_1^2 f_2^2}{A(f_1^2 - f_2^2)} \right) \left[c(b_{P2}^r + b_{P2}^s) - c(b_{P1}^r + b_{P1}^s) \right] \\ & - \left(\frac{f_1^2 f_2^2}{A(f_1^2 - f_2^2)} \right) \varepsilon_{P3} \end{aligned} \quad (2.6)$$

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.

โดยที่ค่า A เป็นค่าคงที่เท่ากับ 40.3 จากผลลัพธ์ของผลรวมเชิงเส้น ในสมการที่ 2.6 สามารถแบ่งส่วนประกอบของ TEC ออกเป็น 3 ส่วนจากผลรวมเชิงเส้นของ code pseudorange ดังสมการที่ 2.7

$$STEC_p = K(P_2 - P_1) + STEC_{hw} + STEC_{noise} \quad (2.7)$$

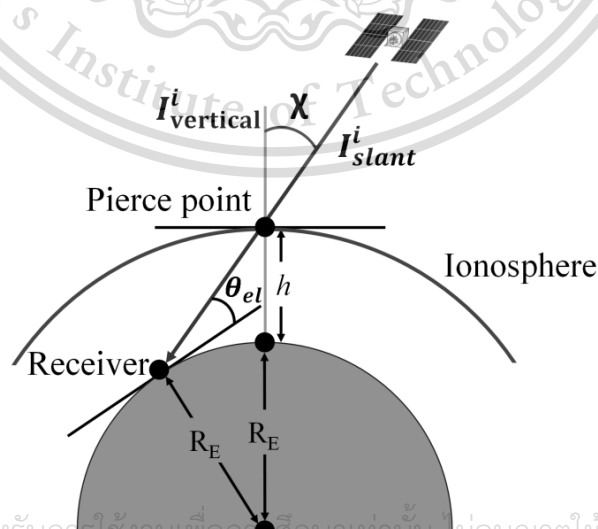
โดยที่ $STEC_p$ คือค่า TEC ในแนวเส้นสายตา (Line of sight) ระหว่างเครื่องรับและดาวเทียมเรียกว่า STEC (Slant TEC) ที่คำนวณมาจากผลรวมเชิงเส้นของ code pseudorange, TEC_{hw} คือค่าความผิดพลาดในหน่วย TECu ที่เกิดจากฮาร์ดแวร์หรือไบอัสของฮาร์ดแวร์ (Hardware biases), TEC_{noise} คือค่าความผิดพลาดในหน่วย TECu ที่เกิดจากสัญญาณรบกวน สัญญาณสะท้อน และสัญญาณอื่น ๆ และ K คือค่าคงที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่โดยมีค่าเป็น 9.5196

ในสมการที่ 2.6 สามารถแบ่งส่วนประกอบของ TEC ออกเป็น 3 ส่วนจากผลรวมเชิงเส้นของ carrier-phase pseudorange ดังสมการที่ 2.8

$$STEC_L = K(L_1 - L_2) + STEC_{ambiguity} + STEC_{noise} \quad (2.8)$$

โดยที่ $STEC_L$ คือค่า STEC ที่คำนวณมาจากผลรวมเชิงเส้นของ carrier-phase pseudorange $STEC_{ambiguity}$ คือค่าความผิดพลาดในหน่วย TECu ที่เกิดจากความกำกวมของการนับเฟสของสัญญาณ

จากสมการที่ 2.7 และ 2.8 จะสามารถเปลี่ยนค่า STEC ตามแนวสายตาให้เป็นค่า TEC ตามแนวตั้งฉากกับพื้นโลก (Vertical TEC, VTEC) ดังรูปที่ 2.6



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งรูปที่ 2.6 การเปลี่ยนค่า STEC ตามแนวสายตาให้เป็นค่า VTEC [2] ครั้งที่มีการนำไปใช้

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 2.6 สามารถแสดงความสัมพันธ์ในการเปลี่ยนค่า STEC ตามแนวสายตาให้เป็นค่า VTEC ได้ดังสมการที่ 2.9

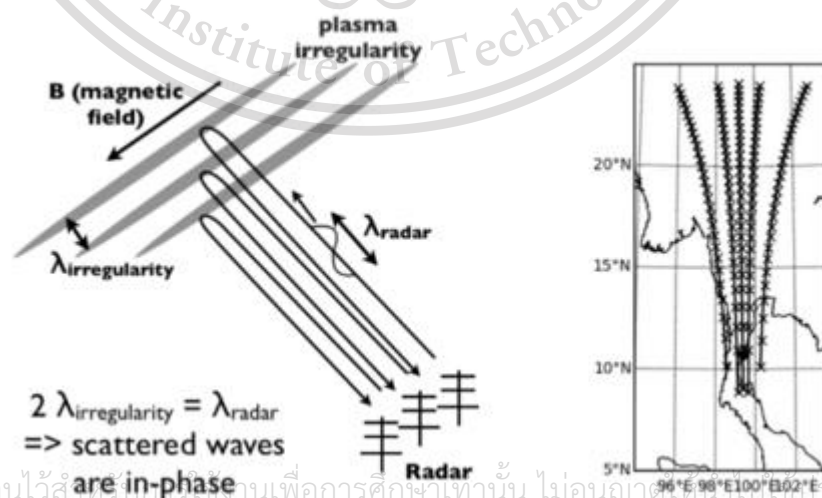
$$SF = \sqrt{1 - \left[\frac{R \times \cos(e)}{(R+h)} \right]^2} \quad (2.9)$$

โดยในการนำค่า VTEC ไปทำการทำนายโดยใช้ Neural Network จะใช้ค่ากลางของค่า VTEC ของทุกดาวเทียมที่เครื่องรับสามารถรับได้มาทำการทำนาย

2.5 หลักการของเรดาร์ย่าน VHF ที่ใช้ในการตรวจจับพลาสมาบับเบิลบริเวณเส้นศูนย์สูตร (Equatorial Plasma Bubbles, EPB)

พลาสมาบับเบิลบริเวณเส้นศูนย์สูตร (Equatorial Plasma Bubbles, EPB) เป็นปรากฏการณ์ธรรมชาติเกิดบนชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์บริเวณความสูง 250 กิโลเมตรขึ้นไปโดยจะพบปรากฏการณ์นี้ในบริเวณเส้นศูนย์สูตร มีสาเหตุจากความหนาแน่นของอิเล็กตรอนเนื่องจากการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์ในช่วงที่ดวงอาทิตย์ตกดิน โดย EPB จะทำให้แอมพลิจูด และเฟสของสัญญาณดาวเทียมที่ส่งมายังโลกมีคุณภาพลดลง รวมถึงสัญญาณที่ใช้ในการระบุตำแหน่งเกิดความผิดพลาดด้วยเช่นกัน

ในการตรวจจับ EPB จะใช้เรดาร์ย่าน VHF ที่ Kototabang ประเทศอินโดนีเซีย โดยตรวจจับการสะท้อนของสัญญาณตามแนวสนามแม่เหล็กโลก และวัดพลังงานของสัญญาณ ซึ่งจะมีรูปแบบในการตรวจจับการสะท้อนของสัญญาณ และทิศทางการยิงสัญญาณดังรูปที่ 2.7



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่เพื่อประโยชน์ด้านการค้า

รูปที่ 2.7 รูปแบบในการตรวจจับการสะท้อนของสัญญาณ
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุใดที่เผยแพร่เนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงชื่อของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
และทิศทางการยิงสัญญาณโดยใช้เรดาร์ย่าน VHF [13]

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 การตรวจจับการสะท้อนจะทำการยิงคลื่นขึ้นไปบนชั้นบรรยากาศโดยมีทิศทางในการยิงที่ต่างกันทั้งหมด 16 ลำคลื่นโดยแบ่งการยิงออกเป็น 2 รอบรอบละ 8 ลำคลื่น โดยจะสามารถสรุปออกมาเป็นรายละเอียดของทิศทางการยิงของคลื่นได้ดังตารางที่ 1 และ 2 ตารางที่ 2.1 ทิศทางการยิงของลำคลื่นรอบที่ 1

Beam No.	1	2	3	4	5	6	7	8
Azimuth	125°	137°	151°	165°	180°	195°	209°	223°
Zenith	37.5°	30.9°	26.6°	24.5°	23.8°	24.7°	27.2°	32.1°

ตารางที่ 2.2 ทิศทางการยิงของลำคลื่นรอบที่ 2

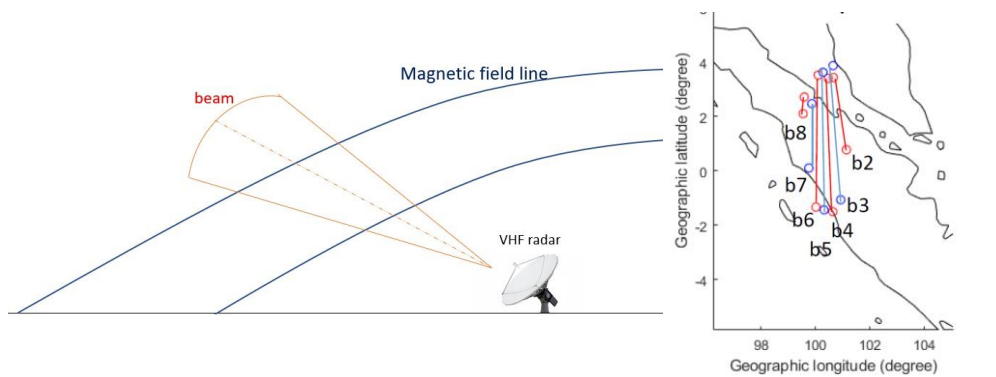
Beam No.	1	2	3	4	5	6	7	8
Azimuth	130°	144°	158°	172°	188°	202°	216°	230°
Zenith	34.3°	28.4°	25.3°	24.0°	24.1°	25.7°	29.3°	35.9°

จากตารางที่ 2.1 และ 2.2 ข้อมูลถูกจัดเก็บและแปลงข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบของตาราง (CSV file) โดยแบ่งออกเป็น 16 ไฟล์ โดยที่ 8 ไฟล์ แรกเป็นของลำคลื่นรอบที่ 1 และ 8 ไฟล์ หลังเป็นของลำคลื่นรอบที่ 2 ซึ่งจะทำการพล็อต 3 รูปแบบเพื่อตรวจจับ EPB ประกอบด้วย 1. การพล็อต Contour ในรูปแบบของค่า SNR ที่ เวลากับความสูง แตกต่างกัน (Range Time Interchange plot, RTI plot) 2. ทำการพล็อต Contour ในรูปแบบของค่า SNR ที่ความสูง 350 กิโลเมตร กับเวลา และ Eastward distance (Keogram plot) 3. ทำการพล็อต Fan shape บนแผนที่โลกซึ่งจะทำการย้ายละติจูด และลองจิจูดที่วัดค่า SNR ของสัญญาณก่อนเกิดการสะท้อนของสัญญาณที่ความสูงต่าง ๆ ให้อยู่บนสนามแม่เหล็กโลกที่ความสูง 350 กิโลเมตรโดยใช้ IGRF โมเดล (Fan shape Plot) 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 การใช้ IGRF โมเดลเพื่อแปลงให้อยู่ที่ละติจูด และลองจิจูดใหม่ที่ความสูงเป็น 350 กิโลเมตร ตามแนวสนามแม่เหล็กโลก [13]

2.6 หลักการคำนวณความถี่ขาดหาย

จากรูปที่ 2.4 จะนำค่าความถี่วิกฤต ชั้น 2 (foF2) ณ บริเวณประเทศไทย ที่ความสูง 350 กิโลเมตร ละติจูด 0 – 25 องศา และลองจิจูดที่ 90 – 125 องศา โดยเกณฑ์การประเมินความถี่ขาดหายคือ เมื่อที่ค่าความถี่วิกฤตมีค่าน้อยกว่าค่ามัธยฐานที่เกิน 50 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ไม่สามารถใช้งานการสื่อสารที่ต้องใช้การสะท้อนกับชั้นบรรยากาศ ซึ่งจะนำข้อมูลค่าความถี่วิกฤตที่ละติจูด 0 – 25 องศา และลองจิจูดที่ 90 – 125 องศาย้อนหลัง 30 วันมาหาค่ามัธยฐาน และทำการหาค่าการกระจายตัวเทียบกับค่าความถี่วิกฤตในปัจจุบัน และแบ่งออกเป็น 3 ระดับ ประกอบด้วย

1. ช่วงที่ค่าการกระจายตัวอยู่ต่ำกว่าค่ามัธยฐาน 30 เปอร์เซ็นต์จัดอยู่ในช่วงปกติ (Quiet)
2. ช่วงที่ค่าการกระจายตัวอยู่ต่ำกว่าค่ามัธยฐาน 50 เปอร์เซ็นต์จัดอยู่ในช่วงระวัง (Medium)
3. ช่วงที่ค่าการกระจายตัวอยู่ต่ำกว่าค่ามัธยฐานเกิน 50 เปอร์เซ็นต์จัดอยู่ในช่วงใช้งานไม่ได้ (Severe)

โดยนำมาสร้างเป็นแผนที่ Outage Frequency สำหรับการแจ้งเตือนเมื่อใช้การส่งแบบสะท้อนกับชั้นบรรยากาศ ณ บริเวณประเทศไทย

2.7 หลักการของ Mutual Information

Mutual Information (I) คือหลักการในการวัดความสัมพันธ์ระหว่าง ตัวแปรสุ่มจำนวน 2 ชุดแนวคิดเกี่ยวกับข้อมูลร่วมกันมีความเชื่อมโยงอย่างใกล้ชิดกับเอนโทรปีของตัวแปรสุ่มซึ่ง
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
 เป็นแนวคิดพื้นฐานในทฤษฎีสารสนเทศที่ระบุปริมาณจำนวนข้อมูลที่คาดหวังไว้ในตัวแปรสุ่มโดย
 ไม่ว่าจะเกิดจากสิ่งใดก็ตาม สิ่งหนึ่งที่เราต้องคำนึงถึงก็คือ เราจะต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
 สามารถแสดงความสัมพันธ์ได้ดังสมการที่ 2.10

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

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

$$I(X : Y) = H(X) + H(Y) - H(X, Y) \quad (2.10)$$

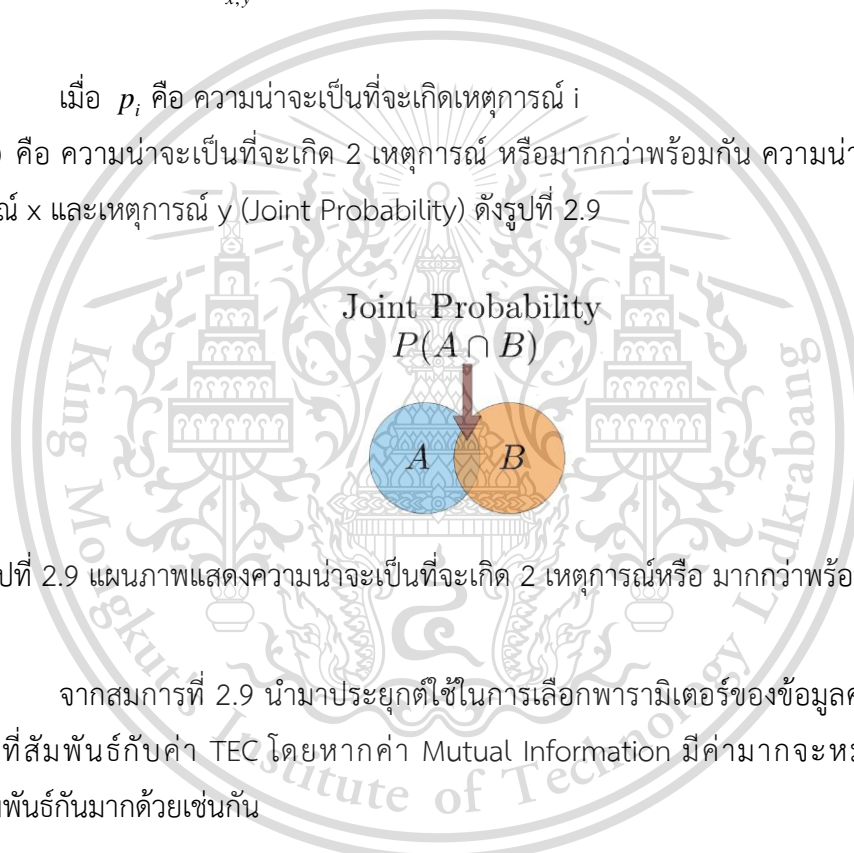
เมื่อ $H(x_i)$ คือ สมการเอนโทรปีของเหตุการณ์ X_i ดังสมการที่ 2.11

$$H(X_i) = -p_i \log \Sigma(p_i) \quad (2.11)$$

$H(X, Y)$ คือ เอนโทรปีตามเงื่อนไข (conditional entropy) ของ X มีเงื่อนไขขึ้นกับค่าสังเกตการณ์ของ Y ดังสมการที่ 2.12

$$H(X, Y) = -\sum_{x,y} p(x, y) \log(p(x, y)) \quad (2.12)$$

เมื่อ p_i คือ ความน่าจะเป็นที่จะเกิดเหตุการณ์ i
 $p(x, y)$ คือ ความน่าจะเป็นที่จะเกิด 2 เหตุการณ์ หรือมากกว่าพร้อมกัน ความน่าจะเป็นร่วมของเหตุการณ์ x และเหตุการณ์ y (Joint Probability) ดังรูปที่ 2.9



จากสมการที่ 2.9 นำมาประยุกต์ใช้ในการเลือกพารามิเตอร์ของข้อมูลคลื่นรังสีจากดวงอาทิตย์ที่สัมพันธ์กับค่า TEC โดยหาค่า Mutual Information มีค่ามากจะหมายถึงข้อมูลมีความสัมพันธ์กันมากด้วยเช่นกัน

2.8 ปัญญาประดิษฐ์ (Artificial intelligence: AI)

Artificial Intelligence (AI) คือ เทคโนโลยีที่การจำลองความฉลาดของมนุษย์ลงในเครื่องจักรที่ถูกตั้งโปรแกรมให้คิดและเลียนแบบเหมือนมนุษย์ โดยการพัฒนาาระบบเพื่อให้มีความสามารถในการรับรู้ เรียนรู้ ใช้เหตุผล และตัดสินใจเลือกทางเลือกที่ดีที่สุดจากการวิเคราะห์ข้อมูลที่เกี่ยวข้อง ตามเงื่อนไขที่กำหนด โดยแบ่งออกเป็น 3 ประเภท

1. Artificial Narrow Intelligence (ANI) หรือ Weak AI หรือ Narrow AI คือ

ปัญญาประดิษฐ์ที่มีระดับปัญญาและความสามารถในการเรียนรู้เฉพาะด้านใดเรื่องหนึ่ง

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. Artificial General Intelligence (AGI) หรือ Strong AI หรือ Deep AI คือ ปัญญาประดิษฐ์ที่มีระดับปัญญาและความสามารถเทียบเท่ากับมนุษย์ โดยสามารถเรียนรู้ได้หลาย ด้านเวลาเดียวกัน

3. Artificial Superintelligence (ASI) คือ ปัญญาประดิษฐ์ที่มีระดับปัญญาและความสามารถเหนือกว่ามนุษย์ โดยมีความสามารถที่หลากหลายรวมถึงการแก้ปัญหาและการตัดสินใจที่เหนือกว่ามนุษย์

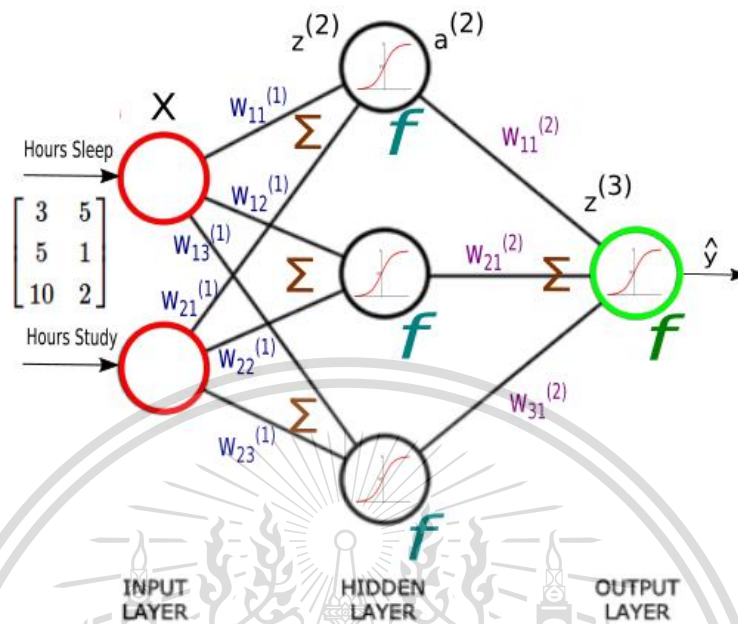
2.9 หลักการของ Neural Network

โครงข่ายประสาทเทียมหรือที่เรียกกันว่า Artificial Neural Networks (ANN) เป็นแบบจำลองแบบหนึ่งในแขนงของงานวิจัยทางด้านปัญญาประดิษฐ์หรือ Artificial Intelligence โดยมีการอ้างอิงมาจากการทำงานของเซลล์ประสาทในสมองของมนุษย์แต่ในโครงข่ายของเซลล์ประสาทในสมองของมนุษย์จริงมีขั้นตอนการทำงานที่ซับซ้อนกว่ามาก แต่กระนั้นโครงข่ายประสาทเทียมก็ยังสามารถที่จะนำมาใช้ประโยชน์ได้จริงในงานด้านวิทยาการคอมพิวเตอร์และวิศวกรรมโดยทั่วไปในสมองของมนุษย์นั้นจะประกอบไปด้วยเซลล์ประสาท (Neuron) ประมาณ 10^{11} ตัวโดยที่เซลล์ประสาทแต่ละตัวจะมีการเชื่อมโยงต่อไปยังเซลล์ประสาทอื่นอีกประมาณ 10^4 ตัวและเวลาที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างเซลล์ประสาทนั้นจะอยู่ในหลัก 10^{-3} วินาทีโดยการทำงานของเซลล์ประสาทในสมองมนุษย์นั้นจะมีลักษณะการประมวลผลแบบขนานขั้นสูง (Highly Parallel Processing) จึงทำให้มนุษย์เรียนรู้ได้อย่างรวดเร็ว และมีความเหมาะสมในการใช้งานกับ Unsupervised Learning โดยลักษณะของเซลล์ประสาทของมนุษย์เป็นดังรูปที่ 2.10

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 2.10 แผนภาพของ Neural network [14]

จากรูปที่ 2.10 มีเป้าหมายหลักของการนำเอาโครงข่ายประสาทเทียมมาใช้งานด้านวิศวกรรมและวิทยาการคอมพิวเตอร์นั้นคือการพัฒนาระบบการเรียนรู้ของเครื่องหรือที่เรียกว่า Machine Learning ให้มีประสิทธิภาพสูง การนำเอาโครงข่ายประสาทเทียมมาใช้งานแบ่งเป็น 2 ขั้นตอนหลักคือ ขั้นตอนฝึกฝน (Training, Feed forward propagation) หรือเรียนรู้ (Learning, Back propagation) และขั้นตอนการทดสอบ (Testing) หรือการใช้งานจริง

2.9.1 Feed forward propagation

จากรูปที่ 2.10 สามารถนำมาเขียนเป็นสมการทางคณิตศาสตร์ได้ดังสมการได้ดังต่อไปนี้

$$\begin{aligned} z^{(21)} &= x_1 w_{11} + x_2 w_{21} + x_3 w_{31} + \dots + x_{12} w_{12,1} + b_1 \\ z^{(22)} &= x_1 w_{12} + x_2 w_{22} + x_3 w_{32} + \dots + x_{12} w_{12,1} + b_2 \\ z^{(23)} &= x_1 w_{13} + x_2 w_{23} + x_3 w_{33} + \dots + x_{12} w_{12,1} + b_3 \end{aligned} \tag{2.13}$$

เมื่อ ค่า x_i คือ อินพุตตัวที่ i

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น ไม่สามารถนำออกเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีเมล: office@kmutt.ac.th หรือ โทร. 02-214-9999 ถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

ดังนั้นหากที่ n hidden node จะสามารถแสดงได้ดังสมการที่ 2.14

$$z^{(2n)} = x_1 w_{1n} + x_2 w_{2n} + x_3 w_{3n} + \dots + x_{12} w_{12n} + b_n \quad (2.14)$$

จากสมการที่ 2.14 สามารถใช้คุณสมบัติการคูณเมทริกซ์ (linear algebra) ในการรวมผลบวกของการคูณในสมการที่ 2.14 ได้ดังสมการที่ 2.15

$$\mathbf{z}^{(2)} = [\mathbf{x}_{1,1} \mathbf{x}_{1,2} \dots \mathbf{x}_{1,12}] \begin{pmatrix} \mathbf{w}_{1,1} & \dots & \mathbf{w}_{1,n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \mathbf{w}_{12,1} & \dots & \mathbf{w}_{12,n} \end{pmatrix} + b = \mathbf{X} * \mathbf{W} + b \quad (2.15)$$

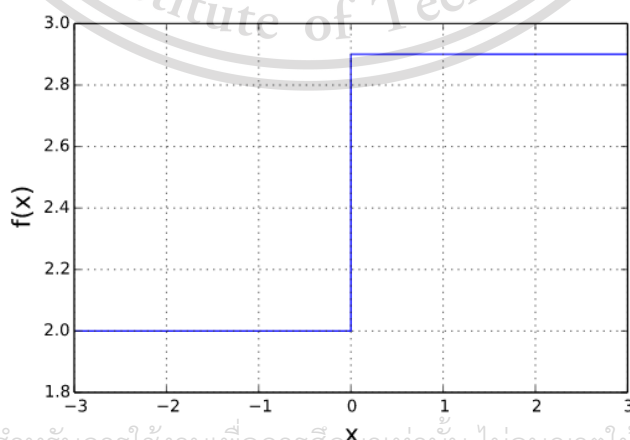
จากสมการที่ 2.14 เมื่อมีจำนวน hidden layer จำนวน 4 ตัวจะต้องปรับขนาดของค่าน้ำหนักของเมทริกซ์เพื่อให้สมการเป็นจริง ยกตัวอย่างเช่นมีจำนวนอินพุตขนาด [24x12] เอาต์พุตขนาด [24x1] มีจำนวน hidden layer มีค่าเป็น 4 และมีขนาด hidden node 35 15 15 2 ตามลำดับดังนั้นค่าขนาดเมทริกซ์จะต้องมีความสัมพันธ์คือ $\mathbf{W}^{(1)}$ มีขนาด [12x35], $\mathbf{W}^{(2)}$ มีขนาด [35x15], $\mathbf{W}^{(3)}$ มีขนาด [15x15], $\mathbf{W}^{(4)}$ มีขนาด [15x2], $\mathbf{W}^{(5)}$ มีขนาด [2x1]

ค่าเอาต์พุต จากสมการที่ 2.14 ต้องนำมาผ่านฟังก์ชันกระตุ้นเพื่อทำการเปลี่ยนค่าให้อยู่ระหว่าง 0 และ 1 ซึ่งสามารถแสดงกราฟฟังก์ชันกระตุ้น โดยสามารถแบ่งฟังก์ชันกระตุ้นได้เป็น 3 ประเภทดังนี้

2.9.1.1 ฟังก์ชัน BINARY STEP

มีสมการของอินพุตและเอาต์พุตดังสมการที่ 2.16 และมีลักษณะเป็นกราฟดังรูปที่ 2.11

$$y = 0 \text{ if } i < 0, y = 1 \text{ if } i > 0 \quad (2.16)$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้รูปที่ 2.11 ลักษณะของฟังก์ชัน Binary Step [16] เอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

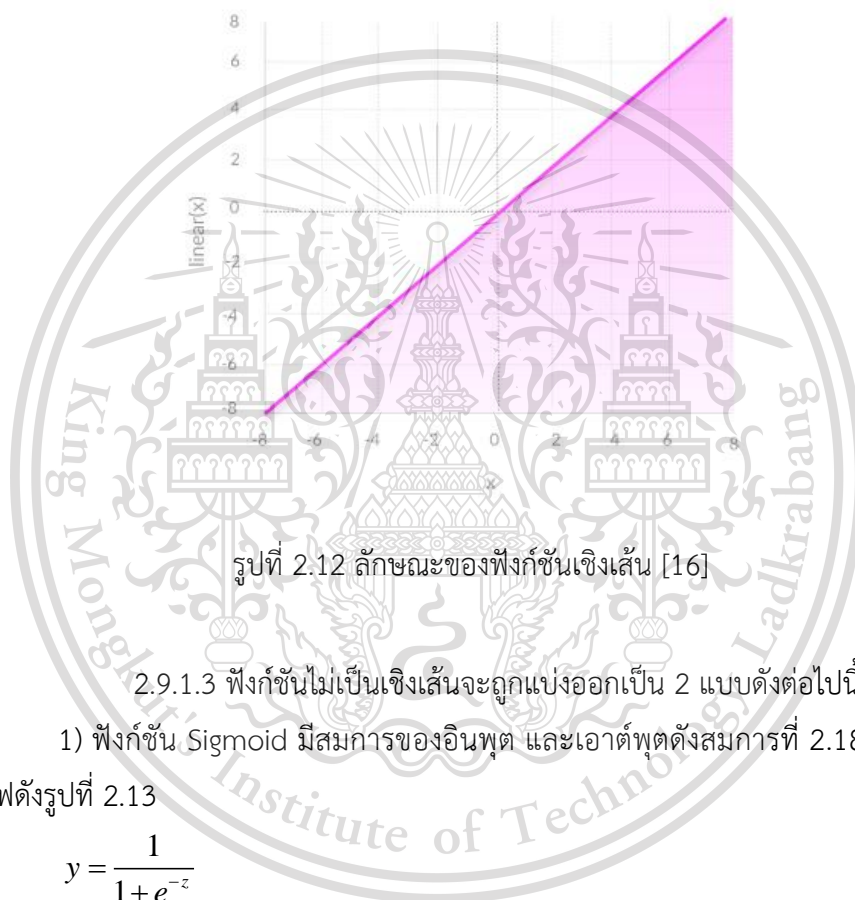
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.9.1.2 ฟังก์ชันเชิงเส้น

มีสมการของอินพุต และเอาต์พุตดังสมการที่ 2.17 และมีลักษณะเป็นกราฟดังรูปที่

2.12

$$y = x \quad (2.17)$$



รูปที่ 2.12 ลักษณะของฟังก์ชันเชิงเส้น [16]

2.9.1.3 ฟังก์ชันไม่เป็นเชิงเส้นจะถูกแบ่งออกเป็น 2 แบบดังต่อไปนี้

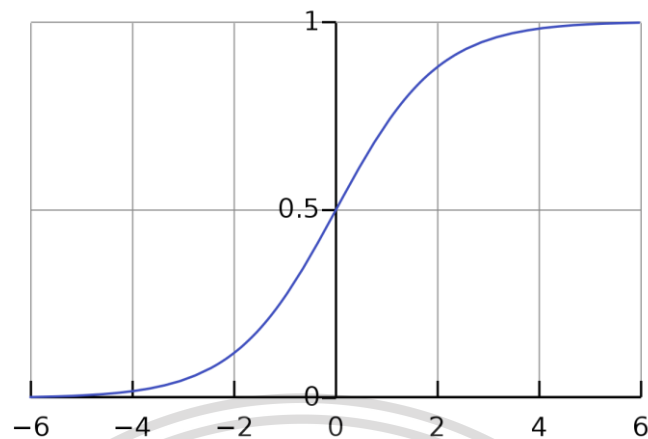
1) ฟังก์ชัน Sigmoid มีสมการของอินพุต และเอาต์พุตดังสมการที่ 2.18 และมีลักษณะเป็นกราฟดังรูปที่ 2.13

$$y = \frac{1}{1 + e^{-z}} \quad (2.18)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

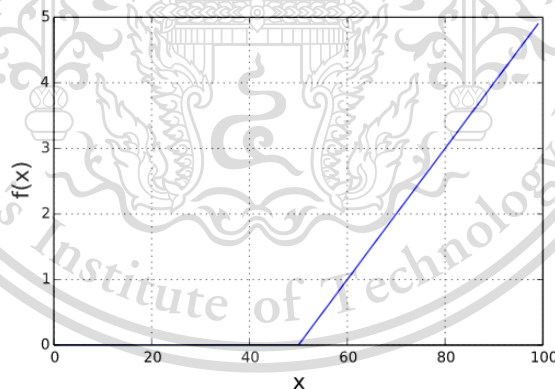
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 2.13 ลักษณะของฟังก์ชัน Sigmoid [16]

2) ฟังก์ชัน ReLU (Rectified Linear Unit) มีสมการของอินพุต และเอาต์พุตดังสมการที่ 2.19 และมีลักษณะเป็นกราฟดังรูปที่ 2.14

$$y = \max(0, z) \quad (2.19)$$



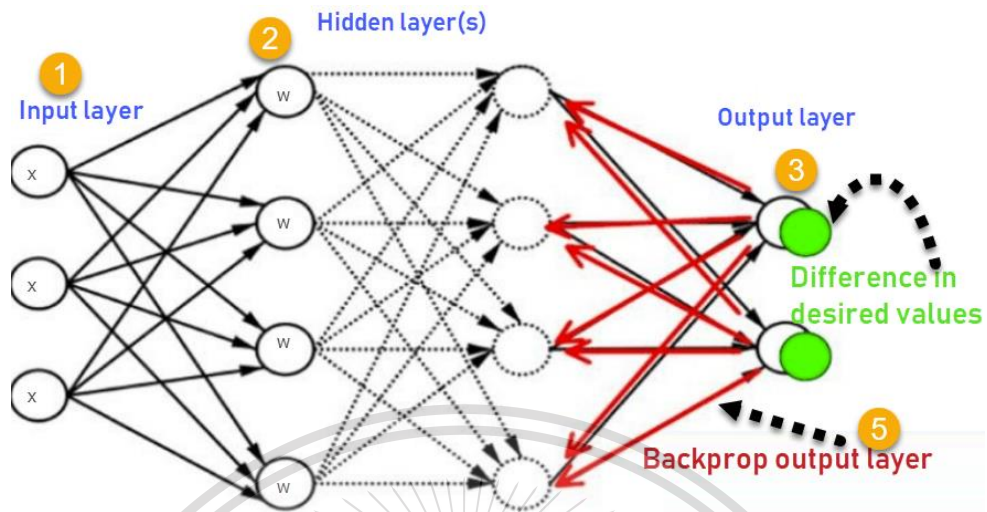
รูปที่ 2.14 ลักษณะของฟังก์ชัน ReLU [16]

2.9.2 Back propagation

เป็นขั้นตอนที่ต้องทำหลังจากขั้นตอนของ Feed forward propagation โดยเป็นขั้นตอนเอกสาร์นี้เป็นที่ใช้ในการปรับค่าน้ำหนักของเมทริกซ์ในสมการที่ 2.14 โดยสามารถแสดงขั้นตอนในการ Back การคำนวณว่ากรณี propagation ดังรูปที่ 2.15 ดัดแปลงเนื้อหา 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 2.15 ขั้นตอนในการ Back propagation [16]

จากรูปที่ 2.15 กระบวนการในการ feed back สามารถแบ่งออกเป็นอีก 2 ขั้นตอน ประกอบด้วย การคำนวณค่า cost ของฟังก์ชัน และกระบวนการในการปรับค่าน้ำหนักของเมทริกซ์โดยใช้วิธีการของ Gradient descent

1. cost ของฟังก์ชัน เป็นกระบวนการคำนวณค่าความผิดพลาดกำลังสองของการฝึกฝนในแต่ละรอบของ Neural Network โดยสามารถแสดงฟังก์ชัน cost ได้ดังสมการที่ 2.19

$$J = \frac{1}{2m} \sum_{i=1}^m (\hat{y}_i - y_i)^2 \quad (2.19)$$

เมื่อ m คือ จำนวนของข้อมูล

y_i คือ ข้อมูลที่ต้องการทำนายตัวที่ i

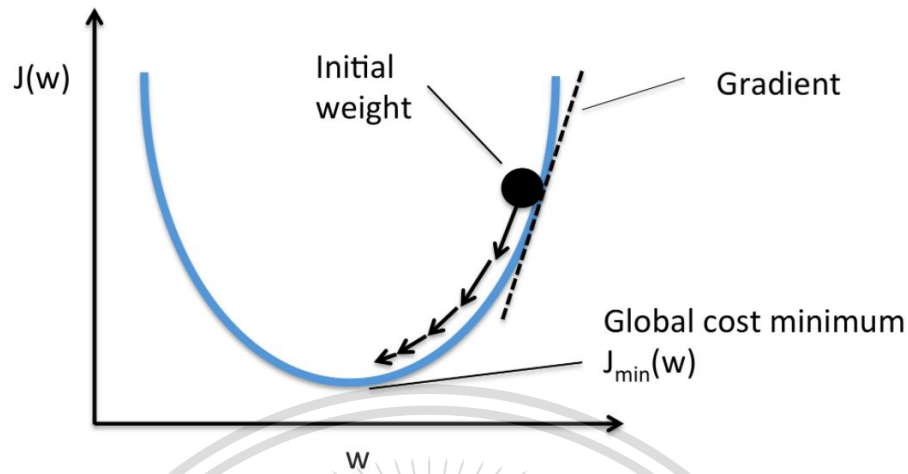
\hat{y}_i คือ ข้อมูลที่ทำนายได้โดย Neural Network ตัวที่ i

จากสมการที่ 2.19 สามารถนำมาพล็อตกราฟเพื่อดูความสัมพันธ์ระหว่างค่า cost ที่เกิดขึ้นกับค่าน้ำหนักของเมทริกซ์ได้ดังรูปที่ 2.16

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 2.16 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า cost ที่เกิดขึ้นกับค่าน้ำหนักของเมทริกซ์ [16]

2. กระบวนการในการปรับค่าน้ำหนักของเมทริกซ์โดยใช้วิธีการของ Gradient descent จากรูปที่ 2.16 ได้ใช้กระบวนการของ Gradient descent เพื่อทำการปรับค่าน้ำหนักของเมทริกซ์โดยการหาอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่า cost เทียบกับค่าน้ำหนักของเมทริกซ์เพื่อพยายามปรับค่าน้ำหนักของเมทริกซ์ให้ค่า cost ลดลงสู่จุด 0 โดยสามารถแสดงสมการการหาอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่า cost เทียบกับค่าน้ำหนักของเมทริกซ์ได้ดังสมการที่ 2.20

$$\frac{\partial J}{\partial \mathbf{w}^{(s)}} \quad (2.20)$$

จากสมการที่ 2.20 สามารถนำมาปรับค่าน้ำหนักของเมทริกซ์ได้ดังสมการที่ 2.21

$$\mathbf{w}^{\text{new}} = \mathbf{w}^{\text{old}} - lr * \frac{\partial J}{\partial \mathbf{w}} \quad (2.21)$$

เมื่อค่า ในสมการที่ 2.20 และ 2.21 สามารถแสดงได้ดังสมการที่ 2.22

$$\frac{\partial J}{\partial \mathbf{w}^{(s)}} = \mathbf{a}^{(i)T} * (\mathbf{y} - \hat{\mathbf{y}}) f'(\mathbf{z}^{(i+1)}) \quad (2.22)$$

i แสดงถึงชั้นที่ i ของ hidden layer

\mathbf{y} คือ ข้อมูลที่ต้องการทำนาย

$\hat{\mathbf{y}}$ คือ ข้อมูลที่ทำนายได้โดย Neural Network

\mathbf{a} คือ เอาต์พุตของแต่ละ hidden node

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีการคัดลอกเนื้อหา 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.

z คือ ผลคูณระหว่างเมทริกซ์อินพุตกับเมทริกซ์ของน้ำหนักเมทริกซ์

f คือ ฟังก์ชันอนุพันธ์ของฟังก์ชัน sigmoid

2.9.3 ความผิดพลาดในการฝึกฝนโมเดล

ในการคำนวณค่าความผิดพลาดในการฝึกฝน ของข้อมูลจะใช้ทั้งหมดสองสมการในการหาค่าความผิดพลาดประกอบด้วยค่า Mean Absolute Error (MAE) โดยสามารถแสดงได้ดังสมการที่ 2.23 ค่า Root Mean Square Error (RMSE) โดยสามารถแสดงได้ดังสมการที่ 2.24 และค่า R-Squared โดยสามารถแสดงได้ดังสมการที่ 2.25

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |y_i - \hat{y}_i| \quad (2.23)$$

$$RMSE = \frac{1}{N} \sqrt{\sum_{i=1}^N (y_i - \hat{y}_i)^2} \quad (2.24)$$

$$R^2 = 1 - \left(\frac{\sum (y - \hat{y})^2}{\sum (y - \bar{y})^2} \right) \quad (2.25)$$

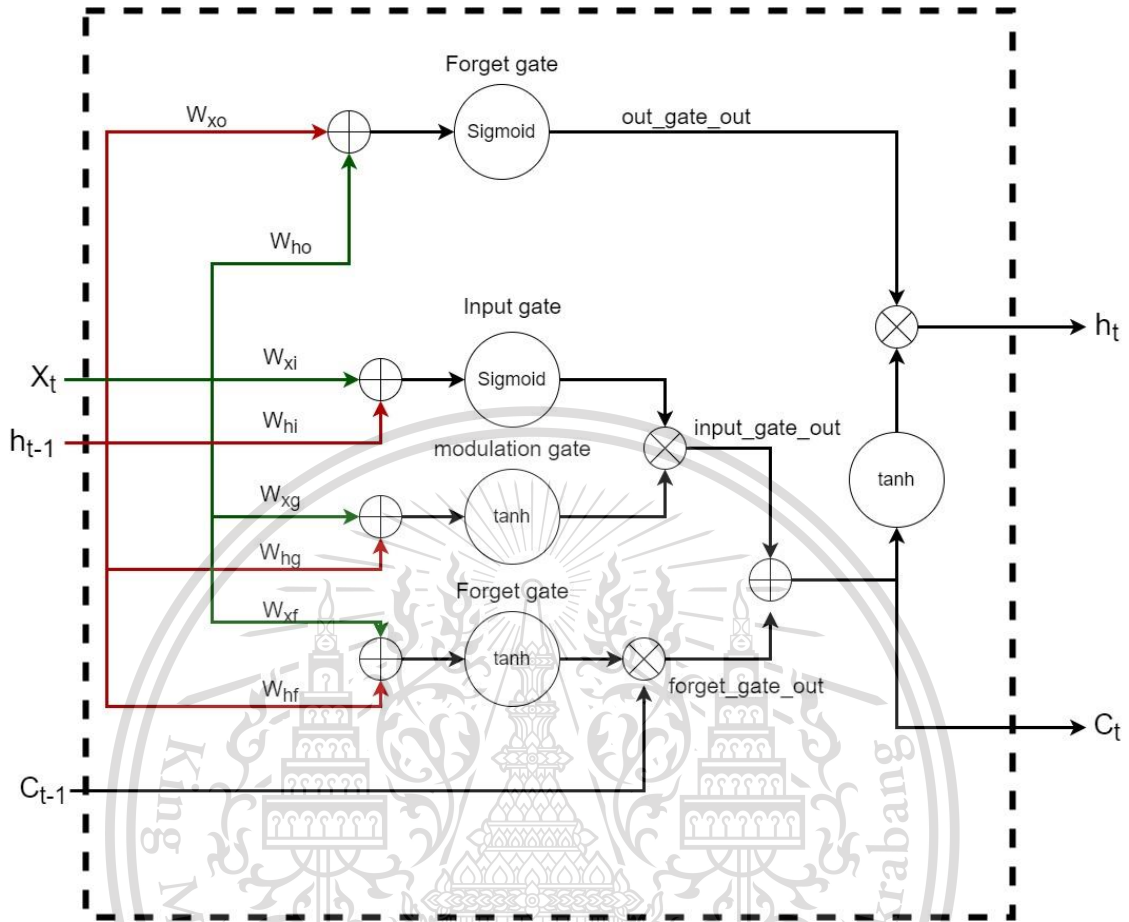
2.10 Long Short-Term Memory (LSTM)

แบบจำลอง Long Short-Term Memory (LSTM) คือ แบบจำลองที่ทำงานบนหลักการของเมทริกซ์ และมีความเหมาะสมกับข้อมูลที่มีลำดับยาว ๆ ของข้อมูลเพื่อนำข้อมูลในลำดับก่อนหน้าเพื่อร่วมใช้ในการทำนายค่า TEC ที่ต้องการโดย LSTM จะสามารถเลือกได้นำข้อมูลในลำดับก่อนหน้ามาร่วมในการทำนายหรือไม่ โดยจะสามารถแสดงแบบจำลอง LSTM ที่มีลำดับของข้อมูล 1 ลำดับได้ดังรูปที่ 2.17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

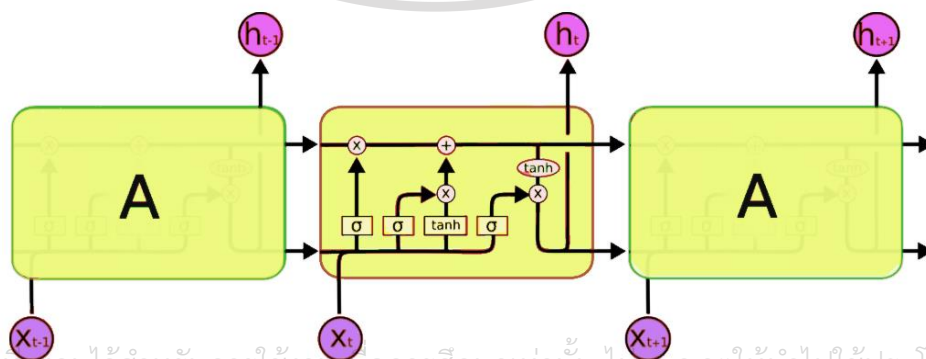
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

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



รูปที่ 2.17 รูปแบบของแบบจำลอง LSTM ที่มีลำดับของข้อมูล 1 ลำดับ

จากรูปที่ 2.17 เป็นรูปแบบของแบบจำลองโมเดล LSTM ที่มีลำดับของข้อมูล 1 ลำดับ และเมื่อนำรูปแบบดังกล่าวมาต่อเรียงกันจะสามารถสร้างรูปแบบของแบบจำลอง LSTM ที่สามารถใช้ข้อมูลของลำดับก่อนหน้ามาใช้ในการทำนายโดยจะสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.18



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดรูปที่ 2.18 รูปแบบของแบบจำลอง LSTM ที่สามารถใช้ข้อมูลของลำดับก่อนหน้ามาใช้ในการทำนายไปใช้

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

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

โดยจากรูปที่ 2.17 และ 2.18 สามารถแบ่งการทำงานออกเป็น 3 ขั้นตอนดังต่อไปนี้

2.10.1 ความผิดพลาดในโมเดล LSTM

ความผิดพลาดในโมเดล LSTM จะแบ่ง gate ที่ใช้ในการ feed forward แบบจำลอง LSTM ออกเป็น 4 gate ประกอบด้วยอินพุต gate, modulation gate, forget gate และ output gate

1. อินพุต gate

ที่อินพุต gate จะสามารถเขียนออกเป็นสมการได้ดังสมการที่ 2.26 และ 2.27

$$\mathbf{Z}_i = \mathbf{W}_{xi} * \mathbf{X}_t + \mathbf{W}_{hi} * \mathbf{h}_{t-1} + \mathbf{b}_i \quad (2.26)$$

$$\mathbf{in} = \text{sigmoid}(\mathbf{Z}_i) \quad (2.27)$$

เมื่อ \mathbf{X}_t คือ เมทริกซ์อินพุต, \mathbf{h}_{t-1} คือ เมทริกซ์เอาต์พุตที่ได้จากแบบจำลอง LSTM ลำดับก่อนหน้าโดยมีขนาด $[1, 1]$, \mathbf{W}_{xi} คือ เมทริกซ์น้ำหนักของอินพุต gate โดยมีขนาด $[\text{จำนวน hidden node}, 1]$, \mathbf{W}_{hi} คือ เมทริกซ์น้ำหนักของเอาต์พุตที่ได้จากแบบจำลอง LSTM ลำดับก่อนหน้า อินพุต gate $[\text{จำนวน hidden node}, 1]$, \mathbf{b}_i คือ เมทริกซ์ไบอัสของสมการ, \mathbf{in} คือ เมทริกซ์ ที่ต้องการจากอินพุต gate $[\text{จำนวน hidden node}, 1]$

2. modulation gate

ที่ modulation gate จะสามารถเขียนออกเป็นสมการได้ดังสมการที่ 2.28 และ 2.29

$$\mathbf{Z}_g = \mathbf{W}_{ig} * \mathbf{X}_t + \mathbf{W}_{hg} * \mathbf{h}_{t-1} + \mathbf{b}_g \quad (2.28)$$

$$\mathbf{ga} = \text{sigmoid}(\mathbf{Z}_g) \quad (2.29)$$

เมื่อ \mathbf{W}_{ig} คือ เมทริกซ์น้ำหนักของอินพุต modulation gate โดยมีขนาด $[\text{จำนวน hidden node}, 1]$, \mathbf{W}_{hg} คือ เมทริกซ์น้ำหนักของเอาต์พุตที่ได้จากแบบจำลอง LSTM ลำดับก่อนหน้า modulation gate โดยมีขนาด $[\text{จำนวน hidden node}, 1]$, \mathbf{b}_g คือ เมทริกซ์ไบอัสของสมการ, \mathbf{ga} คือ เมทริกซ์ที่ต้องการจาก modulation gate โดยมีขนาด $[\text{จำนวน hidden node}, 1]$

3. forget gate

ที่ forget gate จะสามารถเขียนออกเป็นสมการได้ดังสมการที่ 2.30 และ 2.31

$$\mathbf{Z}_f = \mathbf{W}_{if} * \mathbf{X}_t + \mathbf{W}_{hf} * \mathbf{h}_{t-1} + \mathbf{b}_f \quad (2.30)$$

$$\mathbf{fo} = \text{sigmoid}(\mathbf{Z}_f) \quad (2.31)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้วงเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกข้อมูลเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารหรือผู้ที่ถือกรรมสิทธิ์

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

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

forget gate โดยมีขนาด [จำนวน hidden node , 1], \mathbf{b}_f คือ เมทริกซ์ไบอัสของสมการ, \mathbf{f}_o คือ เมทริกซ์ ที่ต้องการจาก forget gate โดยมีขนาด [จำนวน hidden node , 1]

4. output gate

ที่ output gate จะสามารถเขียนออกเป็นสมการได้ดังสมการที่ 2.32 และ 2.33

$$\mathbf{Z}_o = \mathbf{W}_{x_o} * \mathbf{X}_t + \mathbf{W}_{h_o} * \mathbf{h}_{t-1} + \mathbf{b}_o \quad (2.32)$$

$$\mathbf{out} = \text{sigmoid}(\mathbf{Z}_o) \quad (2.33)$$

เมื่อ \mathbf{W}_{x_o} คือ เมทริกซ์น้ำหนักของอินพุต ณ output gate โดยมีขนาด [จำนวน hidden node , 1], \mathbf{W}_{h_o} คือ เมทริกซ์น้ำหนักของเอาต์พุตที่ได้จากแบบจำลอง LSTM ลำดับก่อนหน้า ณ output gate โดยมีขนาด [จำนวน hidden node , 1], \mathbf{b}_o คือ เมทริกซ์ไบอัสของสมการ, \mathbf{out} คือ เมทริกซ์ที่ต้องการจาก output gate โดยมีขนาด [จำนวน hidden node , 1]

จากสมการที่ 2.27 และ 2.29 เมื่อนำผลลัพธ์ที่ได้มาคูณกันจะสามารถแสดงได้ดังสมการที่ 2.34

$$\mathbf{In_gate_out} = \mathbf{in_ga} \quad (2.34)$$

จากสมการที่ 2.31 เมื่อนำผลลัพธ์มาคูณกับค่าเมทริกซ์หรือ cell state ที่ได้ model จาก ลำดับก่อนหน้าโดยจะสามารถแสดงได้ดังสมการที่ 2.35

$$\mathbf{forget_gate_out} = \mathbf{C}_{t-1} * \mathbf{fo} \quad (2.35)$$

เมื่อ \mathbf{C}_{t-1} คือ ค่าเมทริกซ์หรือ cell state ที่ได้จากโมเดลลำดับก่อนหน้า โดยมีขนาด [จำนวน hidden node , 1]

จากสมการที่ 2.34 และ 2.35 เมื่อนำมาบวกกันจะสามารถหาค่าเมทริกซ์ หรือ cell state ณ ลำดับปัจจุบัน เพื่อนำไปใช้ในโมเดลลำดับถัดไป และใช้ในการหาเอาต์พุตโดยจะสามารถแสดงได้ดังสมการที่ 2.36

$$\mathbf{C}_t = \mathbf{in_gate_out} + \mathbf{forget_gate_out} \quad (2.36)$$

จากสมการที่ 2.36 ในการหา Output จะสามารถหาได้โดยการนำสมการที่ 3.8 มาคูณกับ ค่าเมทริกซ์หรือ cell state ณ ลำดับปัจจุบัน โดยจะสามารถแสดงได้ดังสมการที่ 2.37

$$\mathbf{h}_t = \mathbf{out} * (\mathbf{C}_t)^T \quad (2.37)$$

2.10.2 ความผิดพลาดในโมเดล LSTM

ในการคำนวณเพื่อหาค่าความผิดพลาดสามารถหาได้โดยใช้สมการที่ 2.38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

$$\text{error} = E_{\text{delta}} = \frac{|h_t - y|^2}{2m} \quad (2.38)$$

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา 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.

เมื่อ h_t คือ เอาต์พุตที่ได้จากโมเดล

y คือ ค่าเป้าหมายที่เราต้องการทำนาย

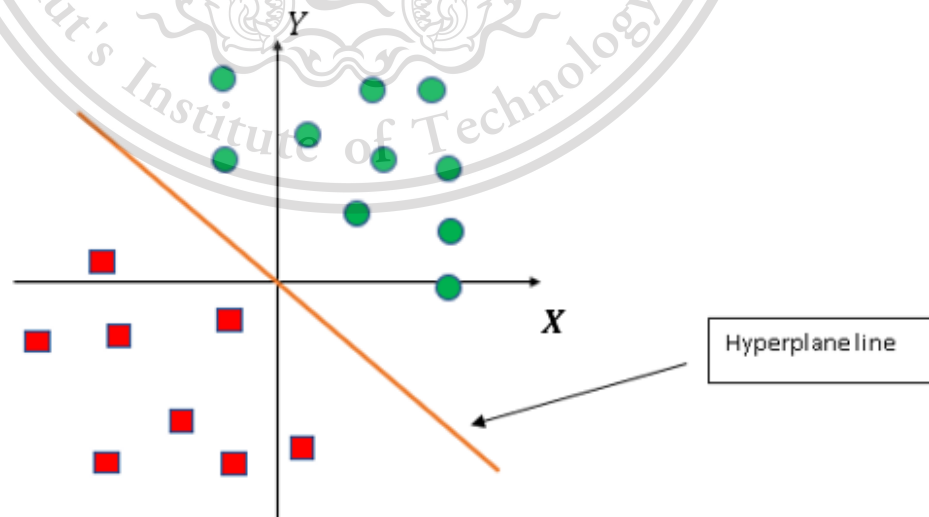
2.10.3 LSTM backpropagation

ในการทำ LSTM backpropagation มีเป้าหมายเพื่อปรับน้ำหนัก และเมทริกซ์ไบอัสจาก อินพุต gate ประกอบด้วย $\mathbf{W}_{xt}, \mathbf{W}_{hi}, \mathbf{b}_i$ น้ำหนัก และเมทริกซ์ไบอัสจาก modulation gate ครอบ ด้วย $\mathbf{W}_{ig}, \mathbf{W}_{hg}, \mathbf{b}_g$ weight และเมทริกซ์ไบอัสจาก forget gate ประกอบด้วย $\mathbf{W}_{if}, \mathbf{W}_{hf}, \mathbf{b}_f$ น้ำหนัก และเมทริกซ์ไบอัสจาก output gate ประกอบด้วย $\mathbf{W}_{xo}, \mathbf{W}_{ho}, \mathbf{b}_o$ เพื่อให้ค่าความผิดพลาด ในการทำนายมีค่าที่ต่ำลงโดยในการปรับน้ำหนัก และเมทริกซ์ไบอัสจะนำวิธีการ gradient descent มาเพื่อใช้ในการปรับค่าดังกล่าวโดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

วิธี gradient descent เป็นแก่นของการแก้เพื่อหาค่าที่เหมาะสมที่สุดให้กับฟังก์ชันหรือ Cost function หนึ่งๆ โดยการวนหาค่าที่ทำให้ cost (ในหนังสือส่วนมากมักเรียกว่า J) ต่ำสุด จากการ คำนวณความชัน ณ จุดที่เราอยู่แล้วพยายามเดินไปทางตรงข้ามกับความชัน ดังรูปที่ 2.16 ซึ่งจะทำการ ปรับค่าน้ำหนัก และเมทริกซ์ไบอัสดังกล่าวด้วยวิธีการเดียวกับ Neural network ในสมการที่ 2.21

2.11 หลักการของแบบจำลอง Support Vector Machine (SVM)

แบบจำลอง Support Vector Machine (SVM) มีความสามารถในการจัดหมวดหมู่ โดย พื้นฐานของแบบจำลองจะใช้การคำนวณแบบเชิงเส้นในการแบ่งกลุ่มข้อมูล ซึ่งการทำงานของ SVM จะ ทำการแบ่งกลุ่มข้อมูลโดยสร้างเส้นตรงไฮเปอร์เพลน (Hyperplane) ดังรูปที่ 2.19



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น รูปที่ 2.19 การแบ่งกลุ่มของแบบจำลอง SVM ในระนาบ 2 มิติด้วย Hyperplane line

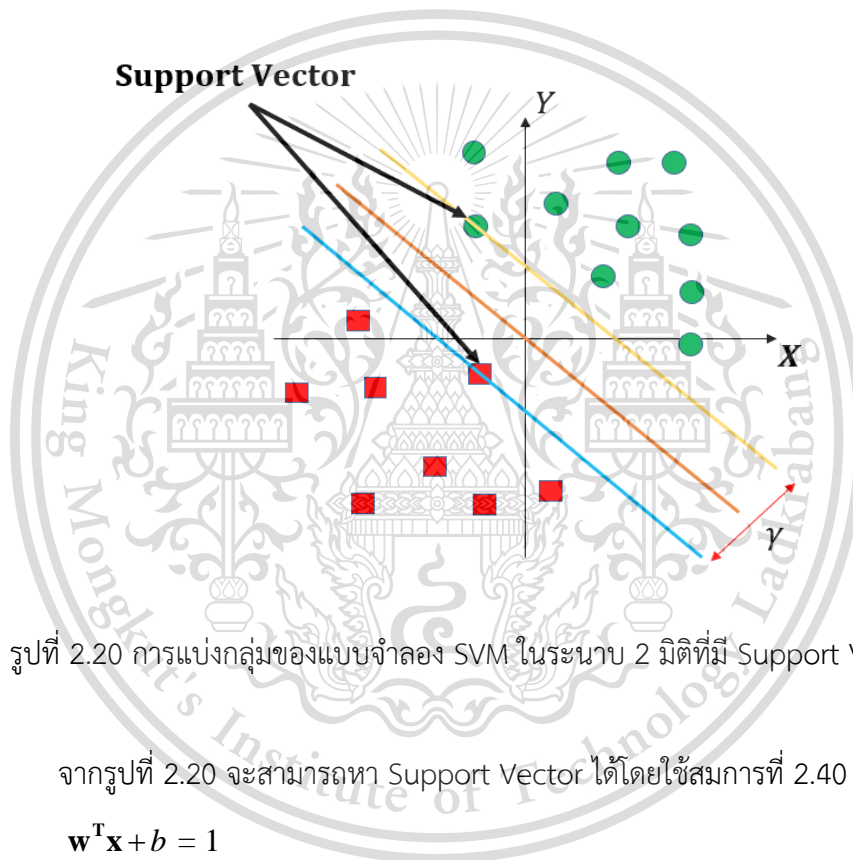
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

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

จากรูปที่ 2.19 จะสามารถสร้างไฮเปอร์เพลน ได้จากสมการเส้นตรงทั่วไปโดยจะสามารถแสดงได้ดังสมการที่ 2.39 โดยทั่วไปแล้วเราจะทำการสร้างเส้นตรง 2 เส้นขนานกับ Hyperplane line เพื่อป้องกันการจัดกลุ่มข้อมูลที่ผิดพลาดโดยเราจะเรียกเวกเตอร์ข้อมูลที่อยู่ห่างกันน้อยที่สุดนั้นว่า ซัพพอร์ตเวกเตอร์ (Support Vector) โดยจะสามารถแสดงซัพพอร์ตเวกเตอร์ได้ดังรูปที่ 2.20

$$\mathbf{w}^T \mathbf{x} + b = 0 \quad (2.39)$$

เมื่อ \mathbf{w}^T คือ เวกเตอร์ตั้งฉากของของค่าความชันของเส้นแบ่ง และ b คือ ค่าคงที่



รูปที่ 2.20 การแบ่งกลุ่มของแบบจำลอง SVM ในระนาบ 2 มิติที่มี Support Vector

จากรูปที่ 2.20 จะสามารถหา Support Vector ได้โดยใช้สมการที่ 2.40 และ 2.41

$$\mathbf{w}^T \mathbf{x} + b = 1 \quad (2.40)$$

$$\mathbf{w}^T \mathbf{x} + b = -1 \quad (2.41)$$

จากสมการที่ 2.40 และ 2.41 จะสามารถหาระยะห่างสูงสุดระหว่างเส้นขอบเขต (boundary) ของ support vector ของสองกลุ่ม ได้ดังสมการที่ 2.42

$$\gamma = \frac{2}{\|\mathbf{w}\|} \quad (2.42)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ต่อสาธารณะ 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.

จากหลักการที่กล่าวมาข้างต้นจะสามารถจำแนกกลุ่มข้อมูลออกเป็น 2 กลุ่มจากเงื่อนไขในสมการที่ 2.43 และ 2.44

$$\mathbf{w}^T \mathbf{x}_i + b \geq 1 \quad (2.43)$$

$$\mathbf{w}^T \mathbf{x}_i + b \leq -1 \quad (2.44)$$

จากสมการที่ 2.43 และ 2.44 จะสามารถหาระยะขอบที่น้อยที่สุดในการแบ่งกลุ่มข้อมูลได้ดังสมการที่ 2.45

$$\min_{\mathbf{w}, b} \frac{1}{2} \|\mathbf{w}\|^2 \quad (2.45)$$

จากสมการที่ 2.45 จะสามารถตรวจสอบเงื่อนไขได้จากสมการ 2.46

$$\mathbf{y}_i (\mathbf{w}^T \mathbf{x}_i + b) \geq 1 \quad (2.46)$$

เมื่อ \mathbf{y}_i คือค่าของกลุ่มที่ทำการแบ่ง

โดยในการเพิ่มประสิทธิภาพของการแบ่งกลุ่มข้อมูลด้วย SVM เพื่อหา Maximun margin มี 2 วิธีดังต่อไปนี้

1. วิธีซอฟต์มาร์จิน (SOFT MARGIN)

เป็นวิธีแก้ไขปัญหการแบ่งกลุ่มข้อมูลที่ผิดพลาด โดยมีการกำหนดตัวแปรค่าความผิดพลาด (SLACK VARIABLE, ξ_i) ที่ใช้ในการกำหนดค่าความยินยอมให้ข้อมูลมีเงื่อนไขที่ไม่ตรงกับสมการที่ 2.46 และทำการกำหนดตัวแปร C ซึ่งเป็นตัวกำหนดขนาดความกว้างของการยินยอมที่กล่าวมาข้างต้น โดยสามารถเขียนสมการใหม่ได้ดังสมการที่ 2.47 และแสดงเวกเตอร์อนุโลมได้ดังรูปที่ 2.21

$$\min_{\mathbf{w}, b} \frac{1}{2} \|\mathbf{w}\|^2 + C \sum_{i=1}^N \xi_i \quad (2.47)$$

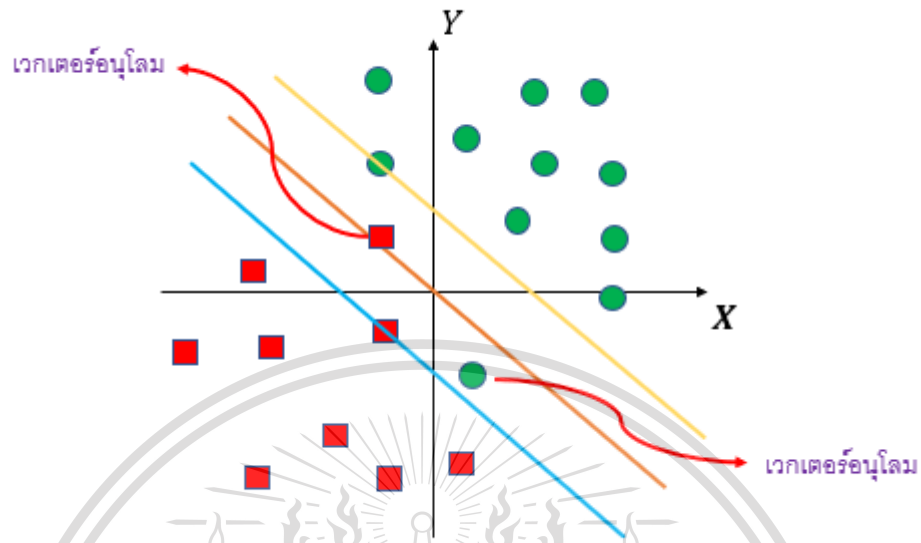
$$\text{โดยที่ } \mathbf{y}_i (\mathbf{w}^T \mathbf{x}_i + b) + \xi_i - 1 \geq 0$$

$$\xi_i \geq 0, i = 1, 2, \dots, N \text{ และ } C > 0$$

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 2.21 การแบ่งกลุ่มที่มีเวกเตอร์อนุโลม

จากรูปที่ 2.21 เมื่อเวกเตอร์อนุโลมคือ ข้อมูลที่มีเงื่อนไขไม่ตรงกับสมการที่ 2.46

2. SVM ที่ใช้ในการแบ่งข้อมูลที่ไม่เป็นเชิงเส้น

ในการแบ่งกลุ่มของข้อมูลที่ไม่เป็นเชิงเส้น จะทำการเพิ่มมิติของข้อมูลโดยใช้ Kernel function โดยจะสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ส่วนหลักดังต่อไปนี้

2.1 Linear Kernel

จะใช้เมื่อข้อมูลมีกลุ่มที่ชัดเจนเป็นเส้นตรงโดยจะสามารถแสดงได้ดังสมการที่ 2.48

$$\mathbf{k}(\mathbf{x}_i, \mathbf{x}_j) = \mathbf{x}_i^T \mathbf{x}_j \quad (2.48)$$

โดยที่ \mathbf{x}_i คือ พิกัดแกน x ของอินพุต

\mathbf{x}_j คือ พิกัดแกน y ของอินพุต

2.2 Polynomial Kernel

ใช้แสดงถึงความคล้ายคลึงกันของเวกเตอร์ในชุดข้อมูลที่ใช้ในการฝึกฝนโดยจะทำการแบ่งกลุ่มข้อมูลที่มีความคล้ายคลึงกับโพลีโนเมียลโดยจะสามารถแสดงได้ดังสมการที่ 2.49

$$\mathbf{k}(\mathbf{x}_i, \mathbf{x}_j) = (\mathbf{x}_i^T \mathbf{x}_j + 1)^d \quad (2.49)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิใช้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงแหล่งของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ d คือ ตัวเลขที่ใช้ในการกำหนดความโค้งของโพลีโนเมียล

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 Gaussain Kernel

ถูกใช้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพเมื่อข้อมูลดังกล่าวมีกลุ่มของข้อมูลที่ไม่ชัดเจนโดยจะสามารถแสดงได้ดังสมการที่ 2.50

$$\mathbf{k}(\mathbf{x}_i, \mathbf{x}_j) = e^{-\frac{\|\mathbf{x}_i - \mathbf{x}_j\|^2}{2\sigma^2}} \quad (2.50)$$

เมื่อ σ คือ ตัวเลขกำหนดขอบเขตในการตัดสินใจ

2.4 Gaussain RBF Kernel

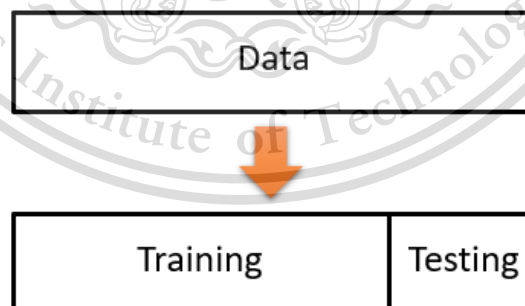
เป็นการใช้เพื่อเพิ่มรัศมีของวงกลมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการแบ่งกลุ่มข้อมูลโดยจะสามารถแสดงได้ดังสมการที่ 2.51

$$\mathbf{k}(\mathbf{x}_i, \mathbf{x}_j) = e^{-\gamma\|\mathbf{x}_i - \mathbf{x}_j\|^2} \quad (2.51)$$

เมื่อ γ คือ ระยะที่กว้างที่สุดที่ขยายจากเส้นไฮเปอร์เพลนในระนาบ 2 มิติ

2.12 หลักการในการตรวจจับปรากฏการณ์ Overfit

ในการตรวจสอบปรากฏการณ์ Overfit สามารถทำได้โดยการแบ่งข้อมูลอินพุต และเอาต์พุตให้ออกเป็นข้อมูล 2 ชุดประกอบด้วยฝึกฝนข้อมูล และทดสอบข้อมูลดังรูปที่ 2.19



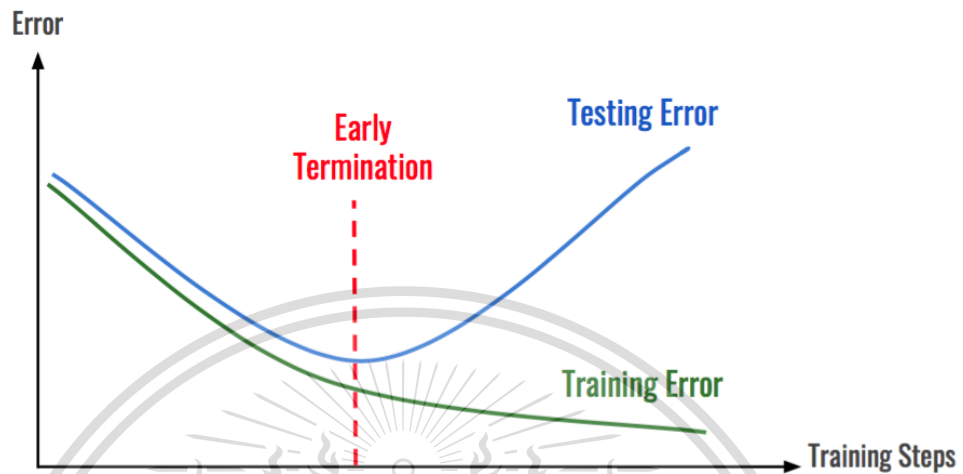
รูปที่ 2.22 การแบ่งข้อมูลอินพุตให้ออกเป็นข้อมูล 2 ชุด

จากรูปที่ 2.22 จะนำข้อมูลฝึกฝน มาใช้ในการฝึกฝนโมเดล Neural Network และนำค่าข้อมูลเอาต์พุตที่ได้จากการฝึกฝนโมเดล Neural Network มาคำนวณหาค่าความผิดพลาด โดยใช้ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น 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.

ข้อมูลฝึกฝน และข้อมูลทดสอบในการคำนวณโดยจะนำมาพล็อตกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความผิดพลาดกับรอบที่ทำการฝึกของข้อมูลฝึกฝน และข้อมูลทดสอบดังรูปที่ 2.22



รูปที่ 2.23 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความผิดพลาดกับรอบที่ทำการฝึก [17]

จากรูปที่ 2.23 ทำการตรวจสอบปรากฏการณ์ Overfit ได้โดยการเช็คที่จุด Early termination หากมีการคำนวณค่าผิดพลาดของข้อมูลทดสอบหากมีความผิดพลาดที่มากขึ้นในจำนวนรอบที่สูงขึ้นจะถือว่าเกิดปรากฏการณ์ Overfit

2.13 Library Python ที่เกี่ยวข้องกับงาน

1. ไลบรารี OS

เป็นโมดูลที่เรียกใช้ระบบปฏิบัติการโดยขึ้นอยู่กับฟังก์ชันการทำงาน เช่น หากต้องการเปิดไฟล์ หรืออ่านไฟล์ จะใช้ `open()`, หากต้องการจัดการหนทางจะใช้ `os.path` หากต้องการเปิด command prompt จะใช้คำสั่ง `os.system()` ซึ่งจะใช้ command prompt เพื่อดาวน์โหลดไฟล์จากเว็บไซต์ โดยมีคำสั่งใน command prompt ที่ใช้ในการดาวน์โหลดดังต่อไปนี้

`curl -o` มีความสามารถในการ download หรือ redirect output ลง file ด้วย `-o` `curl -I` มีความสามารถในการดู HTTP header

2. ไลบรารี time

เป็นโมดูลที่เกี่ยวข้องกับวันที่ และเวลาต่าง ๆ สำหรับฟังก์ชันการทำงานที่เกี่ยวข้องกับวันที่ และเวลามีตัวอย่างคำสั่ง ดังต่อไปนี้ `time.sleep(secs)` ถูกใช้เพื่อเรียกการหน่วงเวลาของโปรแกรม โดยไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น 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.

จะหน่วยเวลาเป็นหน่วยวินาที `time.process_time()` จะคืนค่าเป็นผลรวมของเวลาที่ใช้การดำเนินการของ CPU โดยจะไม่รวมเวลาของ `sleep` โดยการคืนค่าจะคืนค่าเป็นค่าทศนิยม (float)

3. ไลบรารี NumPy

เป็น library ที่รองรับการดำเนินการทางเมทริกซ์

4. ไลบรารี Matplotlib

เป็น library ที่ใช้ในการพล็อตกราฟสำหรับภาษาไพธอน และเป็นส่วนขยายของ NumPy ถูกออกแบบมาเพื่อให้มีความคล้ายคลึงกับ MATLAB



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

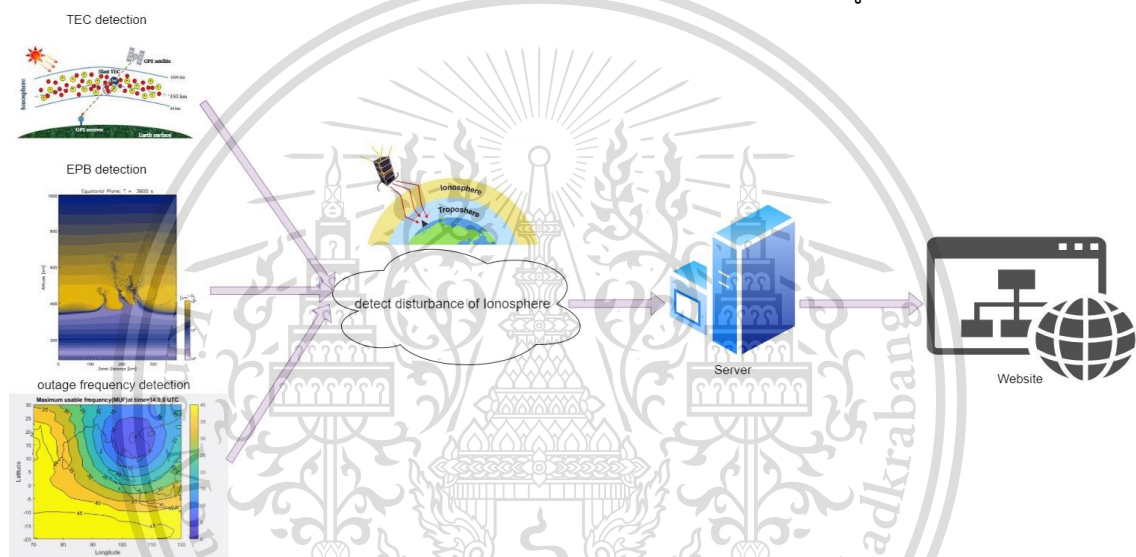
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

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

บทที่ 3 การออกแบบและการจัดทำปริญญานิพนธ์

3.1 การออกแบบ

ระบบการทำนายสภาพอวกาศด้วยเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์บริเวณประเทศไทยได้ ทำการศึกษาสภาพอวกาศที่ความสูง 350 กิโลเมตรจากพื้นผิวโลกขึ้นไปซึ่งผลต่อระบบการระบุ ตำแหน่งเครื่องรับ GNSS และระบบการนำร่องโดยมีค่าพารามิเตอร์หลัก 3 ค่า คือ ปริมาณอิเล็กตรอน รวมบนชั้นบรรยากาศ (Total Electron Content, TEC) พลาสมาบับเบิลบริเวณเส้นศูนย์สูตร (Equatorial Plasma Bubble, EPB) และ Outage Frequency เพื่อนำมาใช้เป็น multi sensor ในการตรวจสอบความผิดปกติบนชั้นบรรยากาศโดยจะสามาแสดงภาพรวมได้ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ภาพรวมของระบบการตรวจสอบความผิดปกติบนชั้นบรรยากาศ

3.1.1 การทดลองปริมาณอิเล็กตรอนรวมบนชั้นบรรยากาศ

ปริมาณอิเล็กตรอนรวมบนชั้นบรรยากาศจะทำให้เกิดความหน่วงเวลาของสัญญาณ GNSS ที่เดินทางผ่านชั้นบรรยากาศ ซึ่งเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดความผิดพลาดในการให้ตำแหน่ง ซึ่งปริมาณอิเล็กตรอนบนชั้นบรรยากาศจะมีความหนาแน่นที่แตกต่างกันในแต่ละความสูง

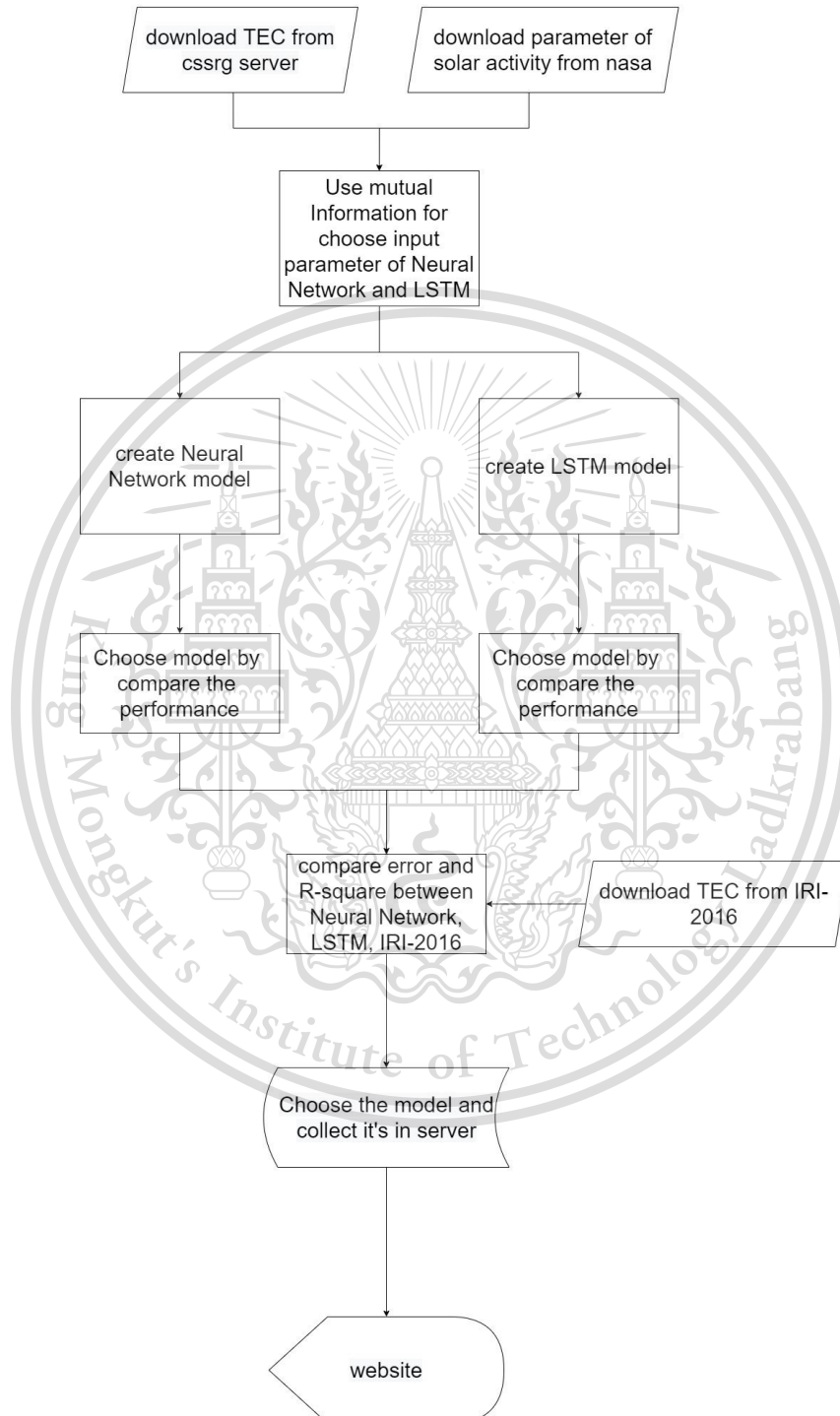
โดยที่ความสูง 250 กิโลเมตรขึ้นไปจะมีความหนาแน่นที่สูง ซึ่งจะนำปัญญาประดิษฐ์มาเพื่อทำนายค่าความหนาแน่นอิเล็กตรอน และทำการพล็อตกราฟแสดงค่าความสัมพันธ์ของ TEC ที่ทำการทำนายได้โดยใช้ Neural network และ Long short-term memory (LSTM) และแบบจำลองที่ใช้ทั่วไปในปัจจุบัน (IRI-2016) เทียบกับเวลาที่เกิดความผิดปกติ และช่วงเวลาปกติบนชั้นบรรยากาศ โดย

อินพุตของปัญญาประดิษฐ์จะใช้รังสีจากดวงอาทิตย์โดยวัดจากการใช้ Mutual Information ในการวัดความสัมพันธ์ระหว่างอินพุต และปริมาณอิเล็กตรอนรวมบนชั้นบรรยากาศ และนำผลลัพธ์ที่ได้จากการไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น 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.

ทำนายมาเปรียบเทียบหาผลลัพธ์ที่ดีที่สุด โดยแสดงผลในรูปแบบของกราฟ ซึ่งจะนำผลลัพธ์ที่ดีที่สุดมาจัดเก็บบนเซิร์ฟเวอร์ และแสดงผลผ่านเว็บไซต์ โดยแสดงภาพรวมการทำงานได้ดังรูปที่ 3.2



เอกสารนี้เป็นเอกสารรูปที่ 3.2 บล็อกไดอะแกรมของระบบการทำนายปริมาณอิเล็กตรอนรวมบนชั้นบรรยากาศชั้นด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

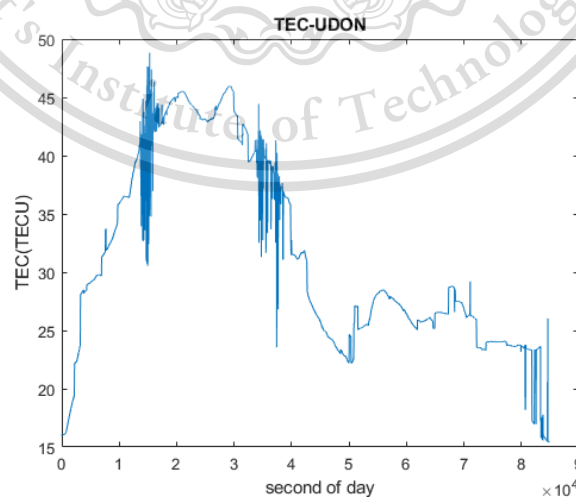
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

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

โดยเริ่มจากจะทำการดาวน์โหลดไฟล์ข้อมูลมาจากเซิร์ฟเวอร์ของศูนย์วิจัยความเป็นเลิศ ด้าน GNSS และ Space weather ซึ่งจะทำการดาวน์โหลดไฟล์ข้อมูลประจำแต่ละสถานีจำนวน 11 สถานีสถานีละ 8 ปี (2008 - 2016) ประกอบไปด้วย

1. สถานีอุตรดิตถ์ (UTTD)
2. สถานีอุดรธานี (UDON)
3. สถานีสุราษฎร์ธานี (SRTN)
4. สถานีสงขลา (SOKA)
5. สถานีศรีสะเกษ (SISK)
6. สถานีประจวบคีรีขันธ์ (PJRK)
7. สถานีนครสวรรค์ (NKSW)
8. สถานีนครราชสีมา (NKRM)
9. สถานีกรุงเทพมหานคร (DPT9)
10. สถานีเชียงใหม่ (CHMA)
11. สถานีจันทบุรี (CHAN)

โดยทำการคำนวณค่ากลางของ VTEC ที่เกิดจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์โดยใช้ RINEX file จากเครื่องรับโดยใช้สมการที่ 2.1 ถึง 2.9 และทำการแปลงข้อมูลรายวินาทีให้เป็นราย ชั่วโมงด้วยการสเกลโดยจะสามารถแสดงตัวอย่างของข้อมูลค่ากลางของ VTEC จำนวน 24 ชั่วโมงได้ดัง รูปที่ 3.3

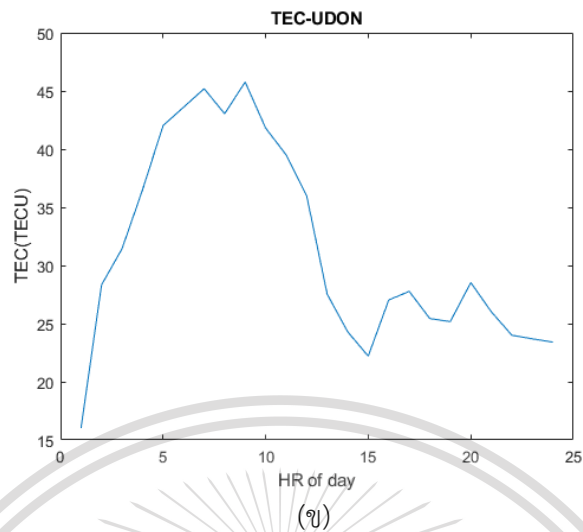


(ก)

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 3.3 (ก) ข้อมูลค่ากลางของ VTEC รายวินาที

(ข) ข้อมูลค่ากลางของ VTEC รายชั่วโมง

ทำการดาวน์โหลดค่ารังสีจากดวงอาทิตย์ที่ส่งผลกระทบต่อระบบการระบุตำแหน่งประกอบไปด้วย Scalar B, Bx, By, Bz, SW Proton Density, Kp-index, Rz12, Dst-index และ f10.7 จากเว็บไซต์กลางของนาซ่า [ref. <https://omniweb.gsfc.nasa.gov/form/dx1.html>] ดังรูปที่ 3.4

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.

OMNIWeb
SPDF•Goddard Space Flight Center

About Browse FTP Input-Data News Feedback

Interface to produce plots, listings or output files from OMNI 2

How to get data from command line

For specification of Y scale ranges for data plots click [HERE](#)

Plot data List data Create file (file?)

Select resolution
 Hourly averaged Daily averaged 27-day averaged Yearly averaged

Click [HERE](#) to get time spans for individual parameters.

Enter start and stop dates (Use yyyyddd or yyyymmdd)
 Start Stop

Select variables

Bartels Rotation Number # Fine Scale Points in IMF Avgs
 IMF Spacecraft ID # Fine Scale Points in Plasma Avgs
 Plasma Spacecraft ID

Magnetic field

IMF Magnitude Avg, nT B_y, GSM, nT
 Magnitude, Avg IMF Vr, nT B_z, GSM, nT
 Lat. of Avg. IMF, deg. Sigma in IMF Magnitude Avg.
 Long. of Avg. IMF, deg. Sigma in IMF Vector Avg.
 B_x, GSE, GSM, nT Sigma B_x, nT
 B_y, GSE, nT Sigma B_y, nT
 B_z, GSE, nT Sigma B_z, nT

Plasma

Proton Temperature, K Sigma-T
 Proton Density, n/cc Sigma-Np
 Flow Speed, km/sec Sigma-V
 Flow Longitude, deg. Sigma-Flow-Longitude
 Flow Latitude, deg. Sigma-Flow-Latitude
 Alpha Proton Density Ratio Sigma-Alpha Proton Ratio

Derived Parameters

Flow Pressure, nPa Alfvén Mach Number
 E_y - Electric Field, mV/m Magnetosonic Mach Number
 Plasma Beta Proton Quazy-Invariant (QI)

รูปที่ 3.4 หน้าต่างจากเว็บไซต์กลางของนาซ่าที่ใช้สำหรับดาวโหลดข้อมูล

จากรูปที่ 3.4 ทำการเลือกโหลดข้อมูลย้อนหลัง 10 ปี โดยเป็นข้อมูลรายชั่วโมงที่ทำการหาค่าเฉลี่ย 27 วันย้อนหลังซึ่งจะได้ผลลัพธ์การดาวนโหลดเป็นไฟล์ข้อมูล และทำการเขียนโปรแกรมเพื่ออ่านไฟล์ข้อมูลให้จัดเก็บในรูปของเมทริกซ์โดยไฟล์ข้อมูลสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.5

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	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			
1	2008	1	0	4.3	-2.3	2.3	-0.3	6.4	0.4	-1.5	17	9	-12	76.7	-1
2	2008	1	1	4.3	-2.9	2.4	0.2	5.4	-0.4	-1.3	17	9	-11	76.7	-1
3	2008	1	2	4.2	-3.0	2.3	-0.2	3.9	-0.9	-1.2	17	9	-8	76.7	-1
4	2008	1	3	4.0	-2.8	2.4	-1.1	4.4	-0.6	-1.2	17	9	-7	76.7	-1
5	2008	1	4	4.1	-1.9	2.6	-0.3	4.3	0.4	-2.7	17	9	-5	76.7	-1
6	2008	1	5	3.5	-1.2	3.1	-0.6	4.5	0.1	-2.9	17	9	-3	76.7	-1
7	2008	1	6	3.9	-1.9	2.9	-1.5	3.7	-0.9	-1.8	7	9	-5	76.7	-1
8	2008	1	7	4.2	-2.7	2.7	-1.5	3.2	-1.6	-1.3	7	9	-6	76.7	-1
9	2008	1	8	4.1	-3.0	2.6	-0.6	3.8	-0.9	-2.1	7	9	-5	76.7	-1
10	2008	1	9	3.8	-3.2	2.1	-0.3	4.4	0.3	-2.0	10	9	-5	76.7	-1
11	2008	1	10	3.3	-2.8	1.8	-0.4	5.5	0.4	-1.9	10	9	-7	76.7	-1
12	2008	1	11	3.8	-3.3	2.0	-0.2	3.8	-0.9	-1.2	10	9	-7	76.7	-1
13	2008	1	12	3.1	-3.0	0.6	-0.5	5.4	0.8	-0.7	7	9	-6	76.7	-1
14	2008	1	13	3.0	-2.6	-1.1	-0.7	5.4	1.5	-0.3	7	9	-7	76.7	-1
15	2008	1	14	3.2	-3.2	-0.3	-0.1	4.5	0.9	-0.9	7	9	-6	76.7	-1
16	2008	1	15	3.1	-3.0	0.3	0.4	4.8	0.6	-1.5	7	9	-8	76.7	-1
17	2008	1	16	2.4	-2.4	-0.1	0.2	7.0	0.6	-1.5	7	9	-8	76.7	-1
18	2008	1	17	2.4	-2.4	0.0	0.0	7.5	0.6	-1.7	7	9	-7	76.7	-1
19	2008	1	18	2.6	-2.6	0.2	-0.1	7.3	0.8	-1.9	7	9	-6	76.7	-1
20	2008	1	19	2.7	-2.6	0.8	-0.3	8.0	-0.8	0.4	7	9	-4	76.7	-1
21	2008	1	20	3.8	-3.1	2.0	-0.1	6.3	-0.2	-1.4	7	9	-5	76.7	-1
22	2008	1	21	3.2	-2.5	1.9	0.1	7.8	-0.1	-1.7	10	9	-3	76.7	-1
23	2008	1	22	2.8	1.3	1.1	1.2	7.8	-0.4	-2.1	10	9	-3	76.7	-1
24	2008	1	23	2.5	1.9	1.0	1.1	8.1	-0.6	-1.9	10	9	-3	76.7	-1
25	2008	2	0	2.3	1.2	1.5	0.4	8.1	-0.9	-1.7	3	9	-1	77.0	-1

รูปที่ 3.5 ไฟล์ข้อมูลที่ทำการจัดเก็บ

จากรูปที่ 3.7 หลักที่ 1 – 15 คือ ปี, เดือน, ชั่วโมง, Scalar B, Bx, By, Bz, SW Proton Density, Kp-index, Rz12, Plasma flow longitude angel, Plasma flow latitude angel, Dst-index, f10.7 และ flux flag ตามลำดับ และเมื่อเขียนโปรแกรมอ่านไฟล์ข้อมูล และจัดเก็บในรูปแบบของเมทริกซ์ดังรูปที่ 3.6

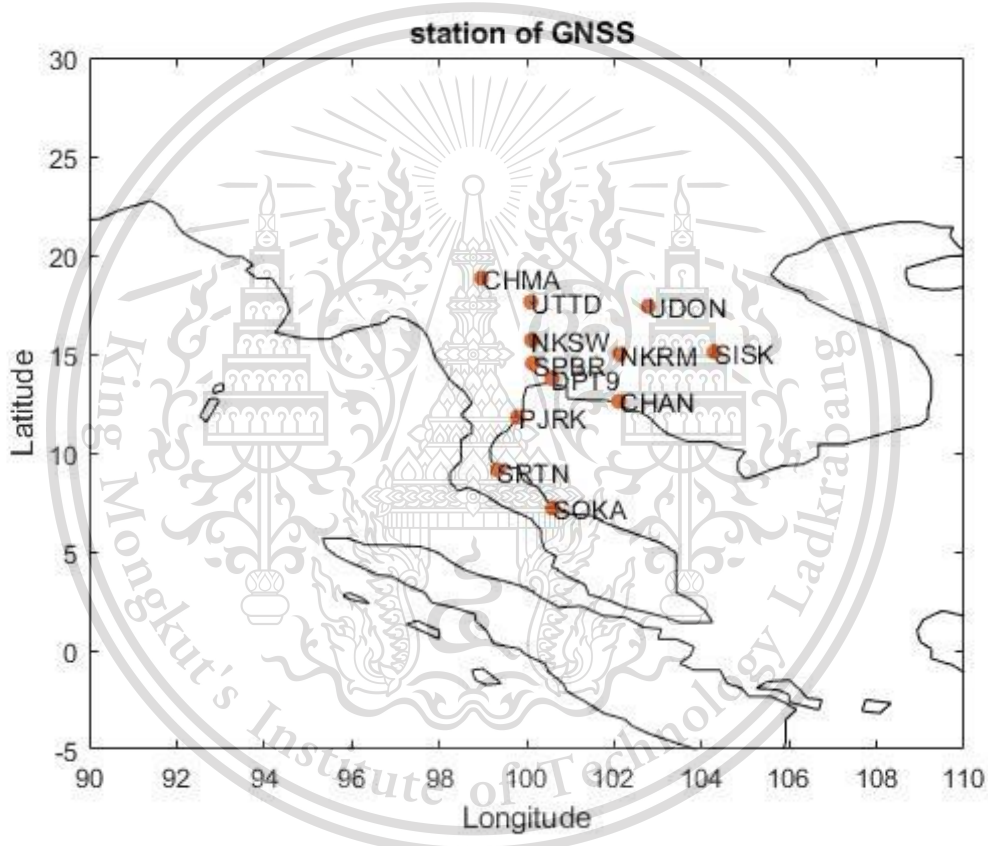
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	2008	1	0	4.3000	-2.3000	2.3000	-0.3000	6.4000	0.4000	-1.5000	17	9	-12	76.7000	-1
2	2008	1	1	4.3000	-2.9000	2.4000	0.2000	5.4000	-0.4000	-1.3000	17	9	-11	76.7000	-1
3	2008	1	2	4.2000	-3.0000	2.3000	-0.2000	3.9000	-0.9000	-1.2000	17	9	-8	76.7000	-1
4	2008	1	3	4.0000	-2.8000	2.4000	-1.1000	4.4000	-0.6000	-1.2000	17	9	-7	76.7000	-1
5	2008	1	4	4.1000	-1.9000	2.6000	-0.3000	4.3000	0.4000	-2.7000	17	9	-5	76.7000	-1
6	2008	1	5	3.5000	-1.2000	3.1000	-0.6000	4.5000	0.1000	-2.9000	17	9	-3	76.7000	-1
7	2008	1	6	3.9000	-1.9000	2.9000	-1.5000	3.7000	-0.9000	-1.8000	7	9	-5	76.7000	-1
8	2008	1	7	4.2000	-2.7000	2.7000	-1.5000	3.2000	-1.6000	-1.3000	7	9	-6	76.7000	-1
9	2008	1	8	4.1000	-3.0000	2.6000	-0.6000	3.8000	-0.9000	-2.1000	7	9	-5	76.7000	-1
10	2008	1	9	3.8000	-3.2000	2.1000	-0.3000	4.4000	0.3000	-2.0000	10	9	-5	76.7000	-1
11	2008	1	10	3.3000	-2.8000	1.8000	-0.4000	5.5000	0.4000	-1.9000	10	9	-7	76.7000	-1
12	2008	1	11	3.8000	-3.3000	2.0000	-0.2000	3.8000	-0.9000	-1.2000	10	9	-7	76.7000	-1
13	2008	1	12	3.1000	-3.0000	0.6000	-0.5000	5.4000	0.8000	-0.7000	7	9	-6	76.7000	-1
14	2008	1	13	3.0000	-2.6000	-1.1000	-0.7000	5.4000	1.5000	-0.3000	7	9	-7	76.7000	-1
15	2008	1	14	3.2000	-3.2000	-0.3000	-0.1000	4.5000	0.9000	-0.9000	7	9	-6	76.7000	-1
16	2008	1	15	3.1000	-3.0000	0.3000	0.4000	4.8000	0.6000	-1.5000	7	9	-8	76.7000	-1
17	2008	1	16	2.4000	-2.4000	-0.1000	0.2000	7.0000	0.6000	-1.5000	7	9	-8	76.7000	-1
18	2008	1	17	2.4000	-2.4000	0.0000	0.0000	7.5000	0.6000	-1.7000	7	9	-7	76.7000	-1
19	2008	1	18	2.6000	-2.6000	0.2000	-0.1000	7.3000	0.8000	-1.9000	7	9	-6	76.7000	-1
20	2008	1	19	2.7000	-2.6000	0.8000	-0.3000	8.0000	-0.8000	0.4000	7	9	-4	76.7000	-1
21	2008	1	20	3.8000	-3.1000	2.0000	-0.1000	6.3000	-0.2000	-1.4000	7	9	-5	76.7000	-1
22	2008	1	21	3.2000	-2.5000	1.9000	0.1000	7.8000	-0.1000	-1.7000	10	9	-3	76.7000	-1
23	2008	1	22	2.8000	1.3000	1.1000	1.2000	7.8000	-0.4000	-2.1000	10	9	-3	76.7000	-1
24	2008	1	23	2.5000	1.9000	1.0000	1.1000	8.1000	-0.6000	-1.9000	10	9	-3	76.7000	-1
25	2008	2	0	2.3000	1.2000	1.5000	0.4000	8.1000	-0.9000	-1.7000	3	9	-1	77.0000	-1
26	2008	2	1	2.1000	0.6000	-1.3000	-0.3000	8.0000	-0.9000	-1.7000	3	9	0	77.0000	-1
27	2008	2	2	2.4000	2.6000	-2.1000	0.4000	6.8000	-0.2000	-0.5000	3	9	-1	77.0000	-1
28	2008	2	3	2.9000	2.2000	-1.3000	0.5000	8.4000	1.1000	-0.4000	0	9	1	77.0000	-1
29	2008	2	4	2.0000	1.0000	-1.0000	0.3000	10.5000	0.2000	0.0000	0	9	4	77.0000	-1
30	2008	2	5	2.7000	1.3000	-2.0000	0.3000	10.5000	-0.7000	-0.2000	0	9	3	77.0000	-1
31	2008	2	6	2.3000	1.6000	-1.2000	0.9000	11.7000	-0.3000	-0.1000	3	9	3	77.0000	-1
32	2008	2	7	2.0000	1.1000	-1.2000	0.1000	12.6000	-0.3000	-1.2000	3	9	4	77.0000	-1
33	2008	2	8	2.6000	0.9000	-1.8000	0.7000	11.9000	-0.2000	-0.9000	3	9	4	77.0000	-1
34	2008	2	9	1.7000	-0.9000	-1.4000	-0.6000	14.7000	0.0000	-1.1000	3	9	7	77.0000	-1
35	2008	2	10	2.2000	-1.0000	-0.6000	-0.6000	13.7000	0.5000	-1.1000	3	9	5	77.0000	-1
36	2008	2	11	1.9000	-0.7000	0.8000	-0.5000	13.1000	0.5000	-1.5000	3	9	4	77.0000	-1
37	2008	2	12	1.6000	0.7000	-0.2000	0.5000	13.5000	1.3000	-1.5000	3	9	4	77.0000	-1
38	2008	2	13	1.6000	0.4000	0.8000	-0.4000	13.9000	1.5000	-1.3000	3	9	3	77.0000	-1
39	2008	2	14	1.6000	-1.3000	-0.2000	-0.4000	13.4000	1.1000	-0.6000	3	9	3	77.0000	-1
40	2008	2	15	2.0000	-1.8000	-0.5000	-0.5000	12.9000	0.6000	-0.8000	7	9	2	77.0000	-1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่งจากรูปที่ 3.6 เมทริกซ์ของข้อมูลที่ทำการอ่านจากไฟล์ข้อมูลที่ทำการจัดเก็บ ประโยชน์ด้านการค้า
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.

จากรูปที่ 3.6 นำค่ารังสีจากดวงอาทิตย์ที่ทำการดาวนโหนด กับค่ากลางของ VTEC ราย ชั่วโมงมาทำการวัด Mutual Information ที่ทำการเขียนโปรแกรมโดยใช้หลักการในบทที่ 2 หัวข้อที่ 2.8 เพื่อทำการวัดความสัมพันธ์ต่อกันของค่ารังสีจากดวงอาทิตย์ กับค่ากลางของ VTEC โดยจะเลือกค่า รังสีจากดวงอาทิตย์ที่มีค่า Mutual Information สูง ๆ มาเป็นอินพุตของ Neural Network นอกจากนี้ยังใช้พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับตำแหน่ง และเวลามาใช้ในการเป็นอินพุตของ Neural Network อีกด้วย โดยพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับตำแหน่งประกอบด้วยละติจูด และลองจิจูด ของแต่ละ สถานีโดยจะสามารถพล็อตแสดงสถานที่ที่ใช้ในการตั้งสถานีได้ดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 ตำแหน่งของสถานีที่ใช้ในการเก็บค่า pseudorange

จากรูปที่ 3.7 นำค่าละติจูด และลองจิจูด มาทำการสเกลค่าให้อยู่ระหว่าง -1 ถึง 1 โดยใช้ คุณสมบัติความเป็นเชิงเส้นของ sine และ cosine โดยสามารถแสดงได้ดังสมการ

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.

$$LATS = \sin\left(\frac{2\pi * latitude}{360}\right) \quad (3.1)$$

$$LATC = \cos\left(\frac{2\pi * latitude}{360}\right) \quad (3.2)$$

$$LONS = \sin\left(\frac{2\pi * longitude}{360}\right) \quad (3.3)$$

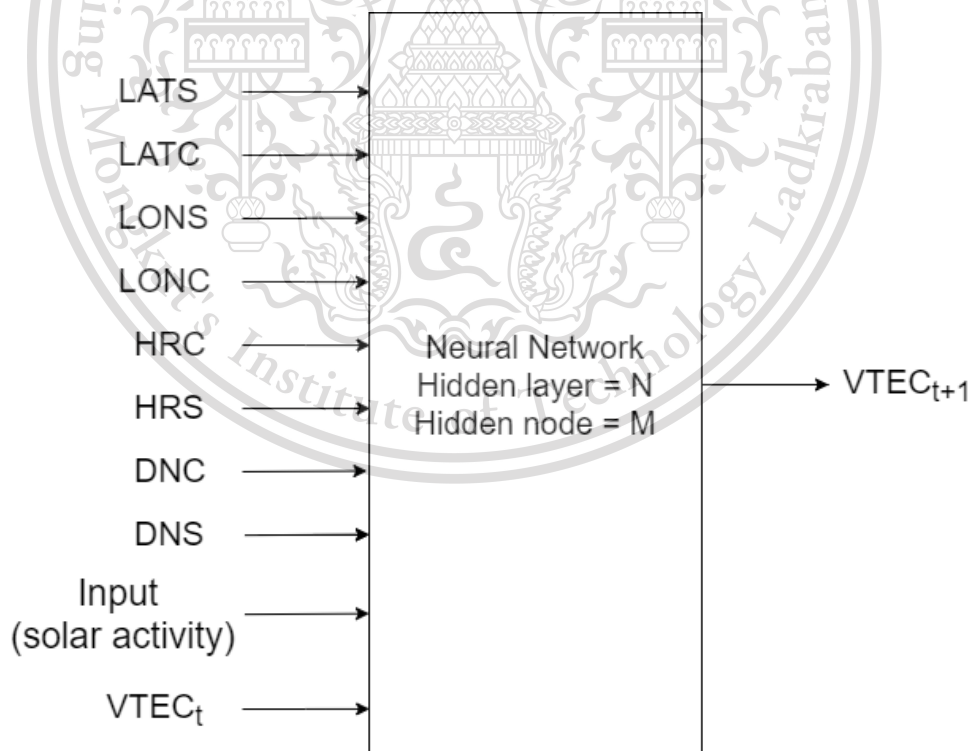
$$LONC = \cos\left(\frac{2\pi * longitude}{360}\right) \quad (3.4)$$

และพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับเวลา ประกอบด้วยชั่วโมง (HR) และ day of year (DN) โดยจะทำการสเกลให้อยู่ระหว่าง -1 และ 1 โดยใช้คุณสมบัติความเป็นเชิงเส้นของ sine และ cosine โดยสามารถแสดงได้ดังสมการ

$$DNS = \sin\left(\frac{2\pi DN}{365.25}\right), DNC = \cos\left(\frac{2\pi DN}{365.25}\right) \quad (3.5)$$

$$HRS = \sin\left(\frac{2\pi HR}{24}\right), HRC = \cos\left(\frac{2\pi HR}{24}\right)$$

จากที่กล่าวมาในข้างต้นจะสามารถแสดงแผนภาพของ Neural Network และ LSTM ได้ดังรูปที่ 3.8

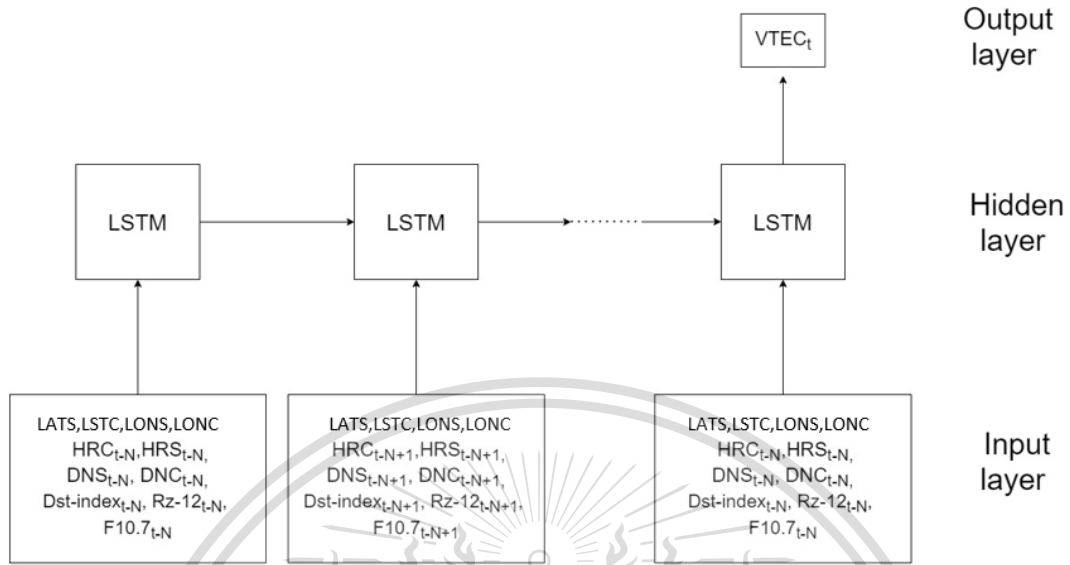


(ก)

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.



(ข)
รูปที่ 3.8 (ก) แผนภาพของ Neural Network
(ข) แผนภาพของ LSTM ณ N loopback

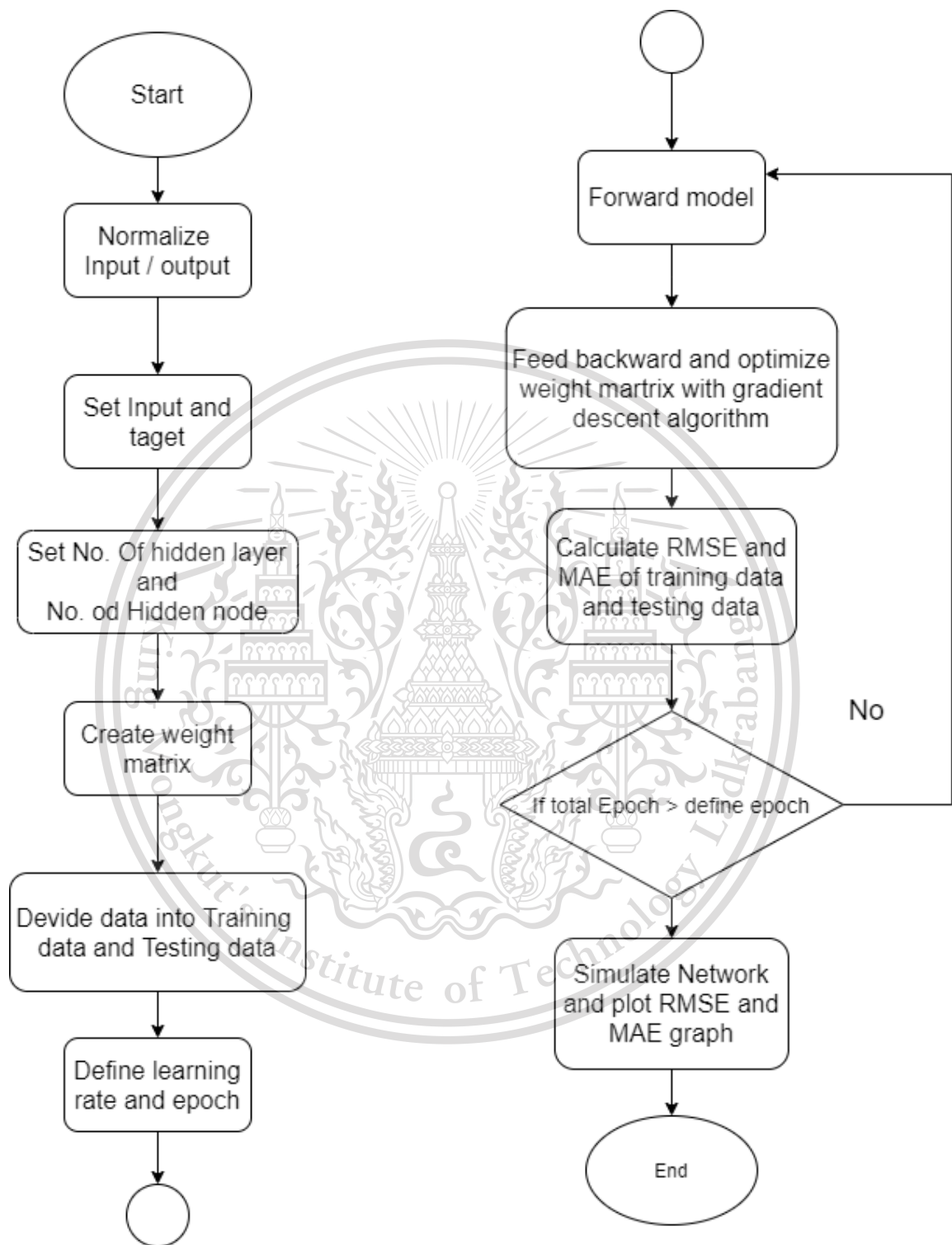
จากรูปที่ 3.8 (ก) ในการจัดเรียงข้อมูลจะจัดเรียงข้อมูลโดยการกำหนดให้ค่า solar activity เป็นค่า 24 ชั่วโมงก่อนหน้า และค่า VTEC จะเป็นค่าใน 1 ชั่วโมงก่อนหน้าเพื่อที่จะทำการทำนายค่า VTEC 1 ชั่วโมงถัดไปและค่า HRS, HRC, DNS, DNC เป็นค่าที่ระยะเวลาที่ต้องการจะทำนาย ซึ่งจะเป็นค่า 1 ชั่วโมงถัดไปเทียบกับเวลาของ VTEC โดยในการสร้างแบบจำลอง Neural Network จะทำการเขียนโปรแกรมด้วยภาษาไพธอน with numpy library โดยใช้หลักการของบทที่ 2 ในหัวข้อที่ 2.10 โดยสามารถแสดงแผนผังการทำงานของโปรแกรมได้ดังรูปที่ 3.9

จากรูปที่ 3.8 (ข) แสดงถึง LSTM time-series ซึ่งมีความเหมาะสมในการทำนายค่า output (h_t , $VTEC_t$) โดยการใช้ข้อมูลอินพุตลำดับก่อนหน้า ($\mathbf{x}_t = [x_1, x_2, x_3, \dots, x_N]$) มาช่วยในการทำนาย โดยในการสร้างแบบจำลอง LSTM จะทำการเขียนโปรแกรมด้วยภาษาไพธอน with keras libraryโดยใช้หลักการของบทที่ 2 ในหัวข้อที่ 2.11 โดยสามารถแสดงแผนผังการทำงานของโปรแกรมได้ดังรูปที่ 3.10

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.

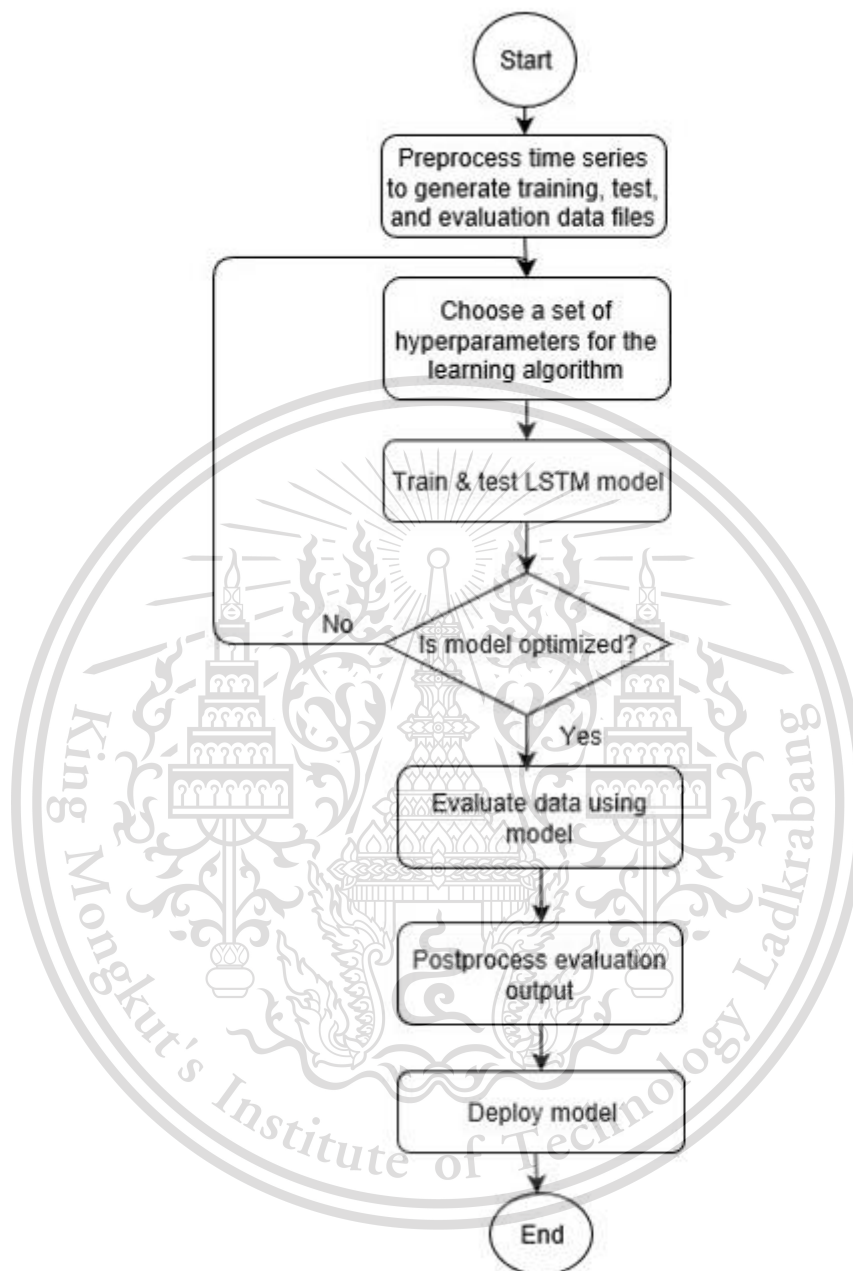


รูปที่ 3.9 ผังการทำงานของโปรแกรม Neural Network ที่เขียนด้วยภาษาไพธอน

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 3.10 ผังการทำงานของโปรแกรม LSTM ที่เขียนด้วยภาษาไพธอน

จากรูปที่ 3.9 ทำการสร้างโมเดลโดยการกำหนดจำนวน hidden layer และจำนวน
 เอกสารนี้เป็น hidden node โดยกำหนดให้ค่า learning rate มีค่าเป็น 0.01 และทำการแบ่งข้อมูลออกเป็น 3 ชนิด
 ไม่ว่าจะเป็นการฝึกฝน และ validating data ซึ่งจะเป็นข้อมูลในปี 2008 ถึง 2016 ซึ่งจะมี
 อัตราส่วนในการแบ่งเป็น 70 เปอร์เซ็นต์ และ 30 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ และข้อมูลทดสอบซึ่งจะเป็น

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

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

ข้อมูลในปี 2020 และกำหนดจำนวนการฝึกฝนจำนวน 50 รอบ และทำการคำนวณหาค่าความผิดพลาดของการฝึกฝน Neural Network เพื่อเลือกโมเดลที่ทำให้ค่าความผิดพลาดในการทำนายต่ำที่สุด

จากรูปที่ 3.10 ทำการสร้างโมเดลโดยการกำหนดจำนวน hidden node โดยกำหนดให้ค่า learning rate มีค่าเป็น 0.01 และทำการแบ่งข้อมูลออกเป็น 3 ชนิด ประกอบด้วยข้อมูลฝึกฝน และ validating data ซึ่งจะเป็นข้อมูลในปี 2008 ถึง 2016 ซึ่งจะมีอัตราส่วนในการแบ่งเป็น 70 เปอร์เซ็นต์ และ 30 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ และข้อมูลทดสอบซึ่งจะเป็นข้อมูลในปี 2020 และกำหนดจำนวนการ train จำนวน 50 รอบ และทำการคำนวณหาค่าความผิดพลาดของการ Train LSTM เพื่อเลือกโมเดลที่ทำให้ค่าความผิดพลาดในการทำนายต่ำที่สุด

เมื่อทำการหาแบบจำลองที่ดีที่สุดของ Neural network และ LSTM จะทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการทำนายค่า VTEC ระหว่าง Neural network, LSTM, IRI-2016 โดยใช้ข้อมูลทดสอบด้วยการเปรียบเทียบค่า RMSE และ R-square เพื่อหาแบบจำลองที่ดีที่สุดในการทำนายค่า VTEC และจัดเก็บแบบจำลองที่ดีที่สุดบนเซิร์ฟเวอร์ และทำการ set crontab เพื่อให้โปรแกรมทำนายค่า VTEC อัตโนมัติ

3.1.2 ระบบตรวจจับพลาสมาบับเบิลบริเวณเส้นศูนย์สูตร

ในการสร้างระบบตรวจจับพลาสมาบับเบิลบริเวณเส้นศูนย์สูตรโดยจะทำการทั้งสามรูปแบบดังหัวข้อที่ 2.8 โดยจะนำไปเปรียบเทียบกับความแม่นยำเมื่อระบบสามารถตรวจจับการเกิดพลาสมาบับเบิลบริเวณเส้นศูนย์สูตร ซึ่งจะนำผลลัพธ์จากการพล็อตมาจัดเก็บในเซิร์ฟเวอร์ และแสดงผลผ่านเว็บไซต์ โดยจะสามารถแสดงภาพรวมได้ดังบล็อกไดอะแกรมดังรูปที่ 3.11

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. อ่านข้อมูลจาก CSV file
ทำการอ่านข้อมูลของ CSV file ของแต่ละ Beam ดังรูปที่ 3.12 โดยจะมีทั้งหมด Beam ละเอียด 2 รอบโดยแต่ละรอบจะจัดเก็บในรูปของเมทริกซ์รูปแบบของ Struct ดังรูปที่ 3.13

รูปที่ 3.12 ตัวอย่างข้อมูลของ CSV file ของลำคลื่นที่ 1 รอบที่ 1

```
alt1
alt2
1x1 struct
1x1 struct
```

รูปที่ 3.13 รูปแบบของ Struct ที่ใช้ในการจัดเก็บข้อมูล

จากรูปที่ 3.13 ในแต่ละตัวแปรจะประกอบไปด้วย ข้อมูล data high range row col และ date ดังรูปที่ 3.14

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.

data	4582x153 double
hight	8x153 double
range	8x153 double
row	571
col	153
date	571x2 table

รูปที่ 3.14 ตัวแปรที่จัดเก็บใน alt1 และ alt2

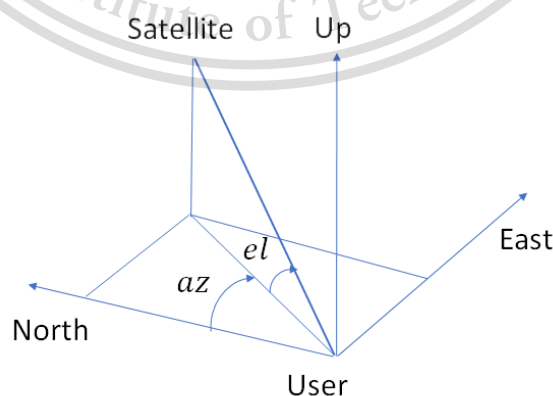
จากรูปที่ 3.14 data คือข้อมูลของ SNR ในไฟล์ CSV ของทุกไฟล์ที่นำมารวมกัน height คือความสูงของสัญญาณก่อนเกิดการก้องของสัญญาณ range คือระยะทางที่สัญญาณเดินทางก่อนเกิดการก้อง row, col คือขนาดของข้อมูลในแต่ละ beam และ date คือเวลาของ SNR ที่ตรวจจับการสะท้อนของสัญญาณได้

2. ทำการพล็อตในรูปแบบของ RTI

การพล็อตในรูปแบบของ RTI plot โดยพล็อต Contour ในรูปแบบของค่า SNR ที่ เวลา กับ Altitude แตกต่างกัน

3. ทำการพล็อตในรูปแบบของ Keogram

การพล็อตในรูปแบบของ Keogram plot เป็นการพล็อตเพื่อดูทิศทางการเคลื่อนที่ และความเร็วของ EPB โดยจะทำการพล็อต contour ในรูปแบบของค่า SNR ที่ความสูง 350 กิโลเมตร กับ เวลา และ Eastward Distance ซึ่งจะเป็นค่าของระยะทางตามแนวแกน East ดังรูปที่ 3.15



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 3.15 การแปลงข้อมูลจากระยะทางของลำคลื่นให้เป็นระยะทาง Eastward Distance
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่เนื้อหา 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.

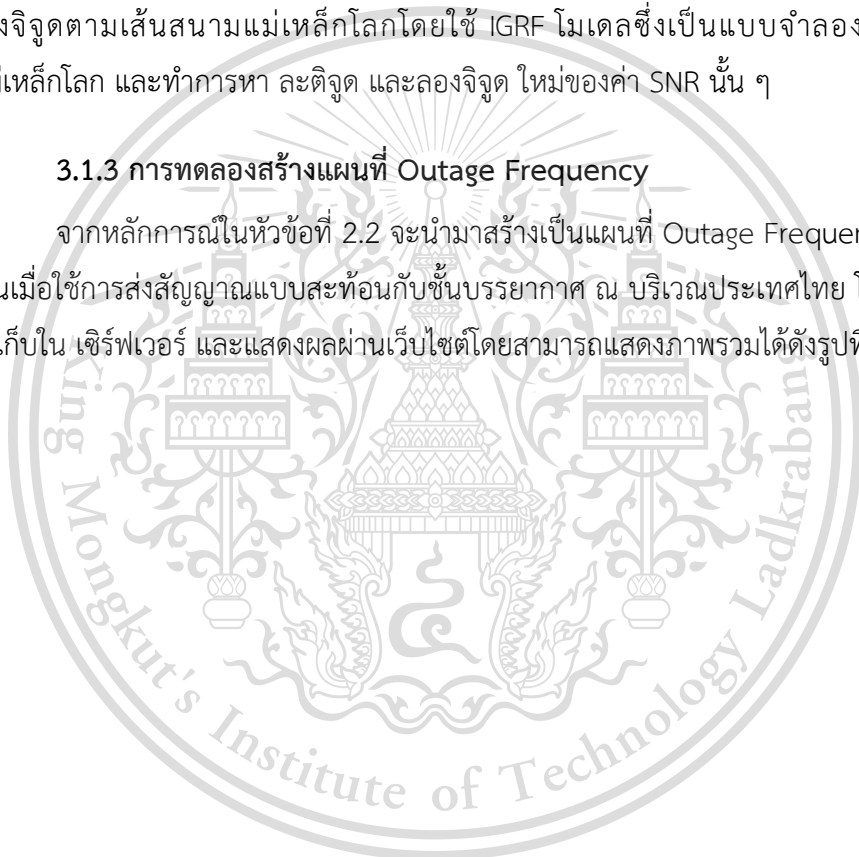
จากรูปที่ 3.15 เมื่อ User คือ VHF Radar และปลายทางคือจุดที่เกิดการสะท้อนของสัญญาณ จะเลือกข้อมูล SNR ที่ความสูงมีค่าเป็น 350 กิโลเมตรของทุกลำคลื่น และทำการแมปให้เป็นระยะทาง Eastward Distance เมื่อทำการพล็อต contour ในรูปแบบของค่า SNR ที่ความสูง 350 กิโลเมตรกับเวลา และ Eastward distance

4. ทำการพล็อตในรูปแบบของ Fan Shape

การพล็อตในรูปแบบของ Fan Shape plot ซึ่งจะเป็นการ Contour ค่า SNR ที่ละติจูดและลองจิจูดตามเส้นสนามแม่เหล็กโลกโดยใช้ IGRF โมเดลซึ่งเป็นแบบจำลองที่ใช้ในการหาสนามแม่เหล็กโลก และทำการหา ละติจูด และลองจิจูด ใหม่ของค่า SNR นั้น ๆ

3.1.3 การทดลองสร้างแผนที่ Outage Frequency

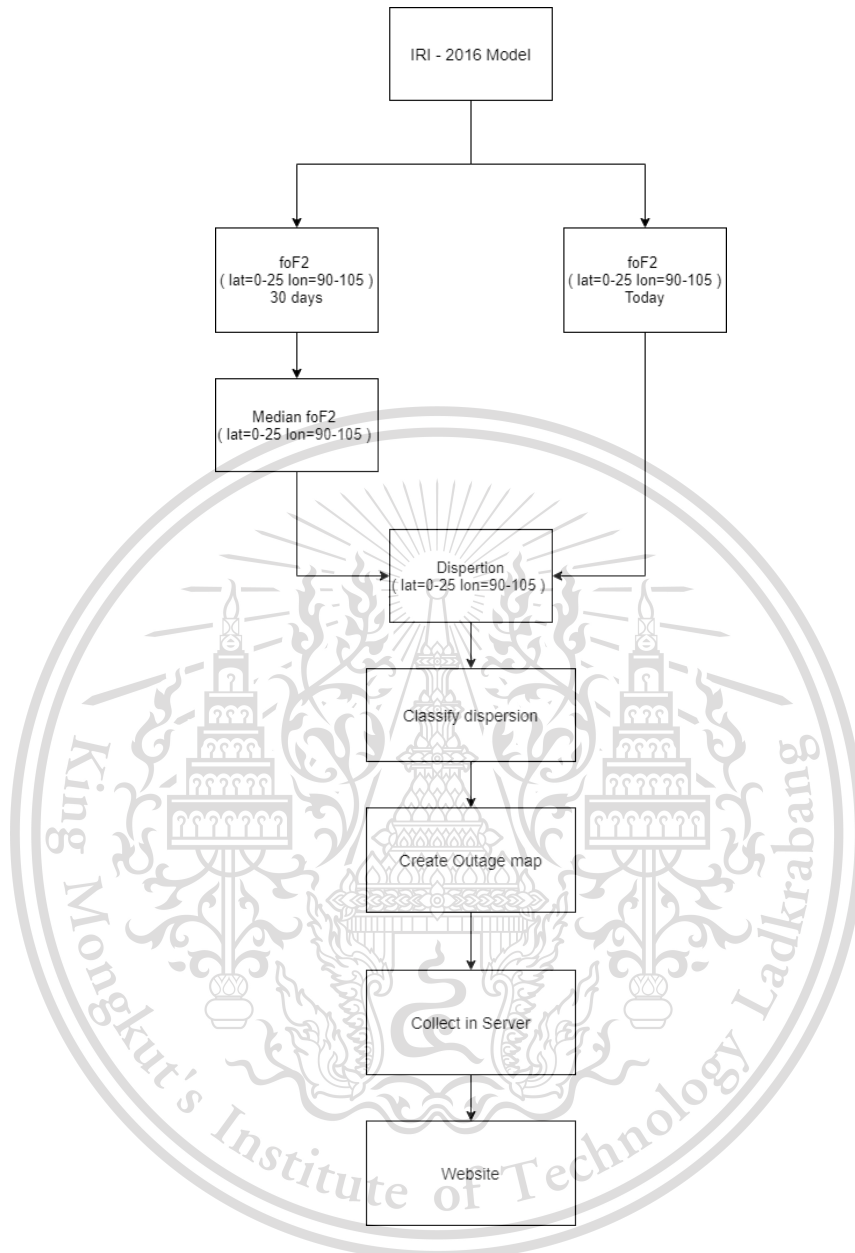
จากหลักการในหัวข้อที่ 2.2 จะนำมาสร้างเป็นแผนที่ Outage Frequency สำหรับการแจ้งเตือนเมื่อใช้การส่งสัญญาณแบบสะท้อนกับชั้นบรรยากาศ ณ บริเวณประเทศไทย โดยนำผลลัพธ์ที่ได้มาจัดเก็บใน เซิร์ฟเวอร์ และแสดงผลผ่านเว็บไซต์โดยสามารถแสดงภาพรวมได้ดังรูปที่ 3.16



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 3.16 บล็อกไดอะแกรมของระบบแผนที่ความถี่ขาดหาย สำหรับการแจ้งเตือนเมื่อใช้การส่งแบบสะท้อนกับชั้นบรรยากาศ ณ บริเวณประเทศไทย

จากรูป 3.16 ทำการดึงข้อมูลค่าความถี่วิกฤตชั้น 2 (foF2) จาก IRI-2016 โมเดลที่ความสูง 350 km ละติจูดที่ 0 – 25 องศา และลองจิจูดที่ 90 – 115 องศา ย้อนหลัง 27 วัน จากนั้นทำการหาค่าการกระจายตัวของ foF2 ในเวลาปัจจุบันเทียบกับค่ากลางของ foF2 27 วันย้อนหลังโดยสามารถหาค่าการกระจายตัวของ foF2 ได้จากสมการ 3.5

$$Dispersion(\%) = \frac{foF2(Median) - foF2(Today)}{foF2(Median)} * 100 \quad (3.5)$$

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

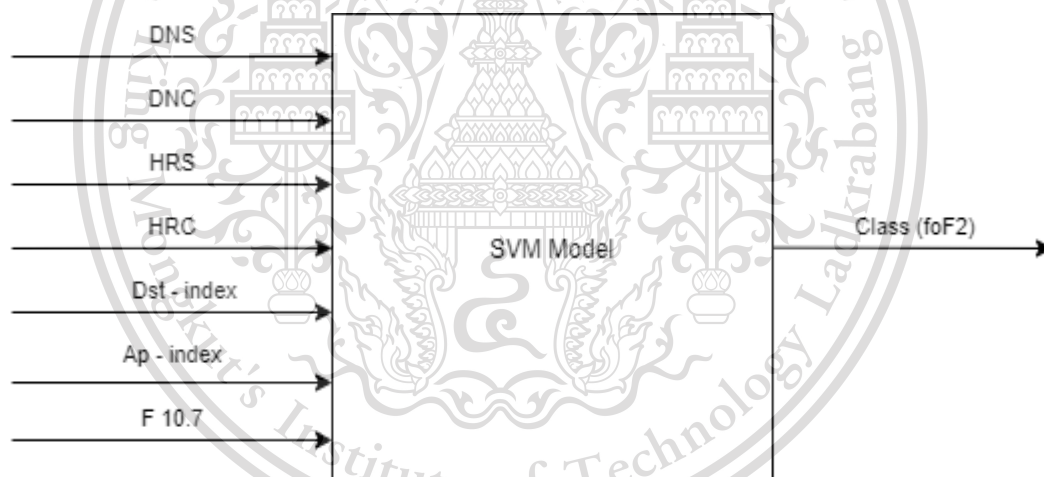
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

โดยทำการเขียนเงื่อนไขเพื่อใช้แบ่งระดับความรุนแรงของการกระจายตัวของค่า foF2 โดยจะสามารถแบ่งออกเป็น 3 ระดับดังต่อไปนี้

1. ค่าการกระจายข้อมูลต่ำกว่ามัธยฐาน 30% จะเก็บเป็นค่าเป็น 1
2. ค่าการกระจายข้อมูลต่ำกว่ามัธยฐาน 50% จะเก็บเป็นค่าเป็น 2
3. ค่าการกระจายข้อมูลต่ำกว่ามัธยฐานเกิน 50% จะเก็บเป็นค่าเป็น 3

3.1.4 การแบ่งระดับ Outage frequency ณ สถานีชุมพรด้วยเทคโนโลยี Support Vector Machine (SVM)

ในการแบ่งระดับ outage frequency ด้วยเทคโนโลยี Support Vector Machine (SVM) จะใช้ในการทำนายระดับ outage frequency จากค่า foF2 ณ สถานีชุมพรโดยในส่วนของ อินพุตประกอบด้วย DNS, DNC HRS, HRC, Dst-index, Ap-index และ f10.7 [14] โดยจะสามารถ แสดงรูปแบบของแบบจำลองได้ดังรูปที่ 3.17



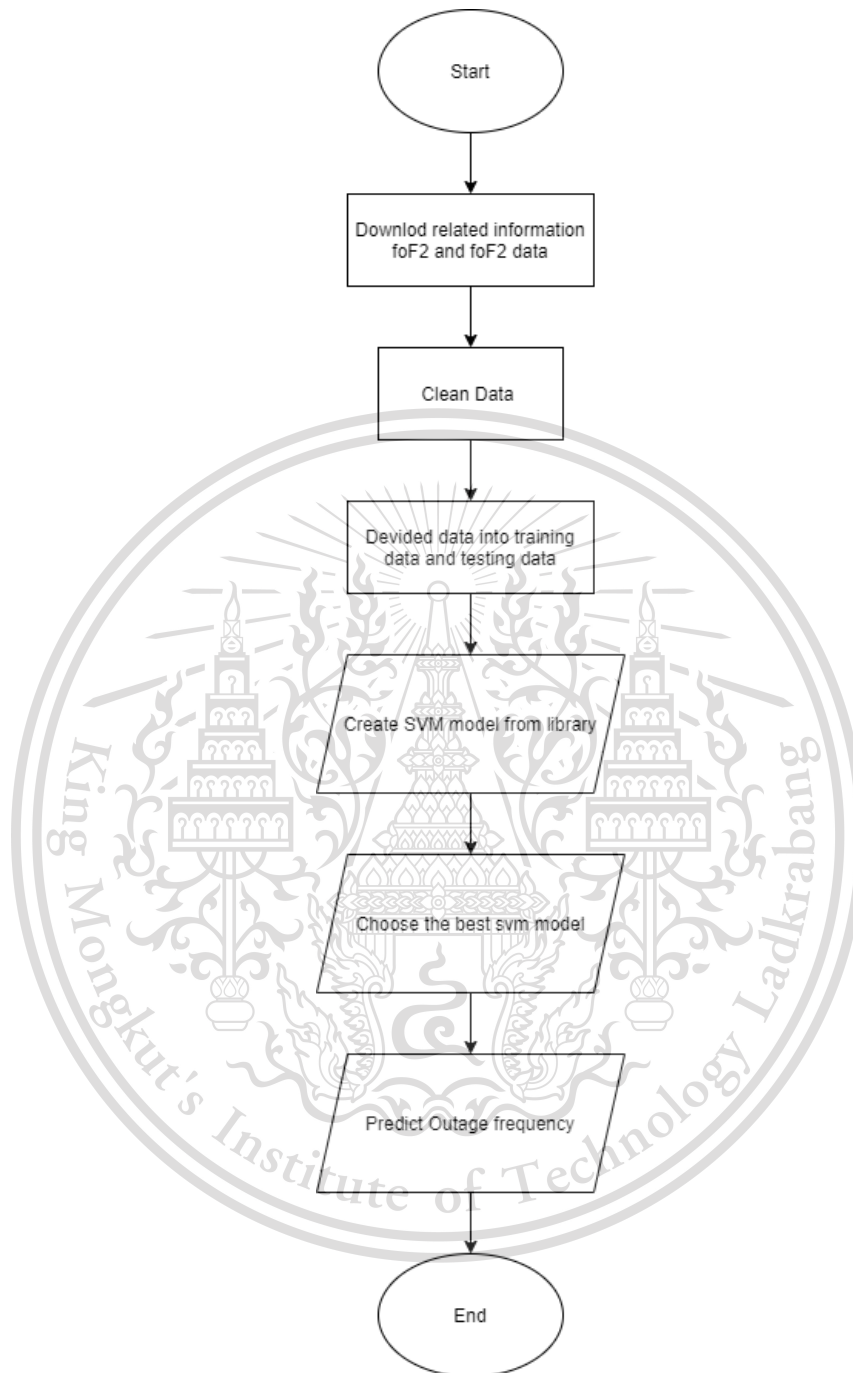
รูปที่ 3.17 รูปแบบของแบบจำลองที่ใช้ในการแบ่งระดับ outage frequency

จากรูปที่ 3.17 ทำการสร้างแบบจำลองโดยใช้ภาษาไพธอนซึ่งจะสามารถแสดงแผนผังการทำงานของโปรแกรมได้ดังรูปที่ 3.18

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 3.18 แผนผังการทำงานของโปรแกรมแบ่งระดับ Outage frequency ณ สถานีชุมพรด้วยเทคโนโลยี Support Vector Machine (SVM)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

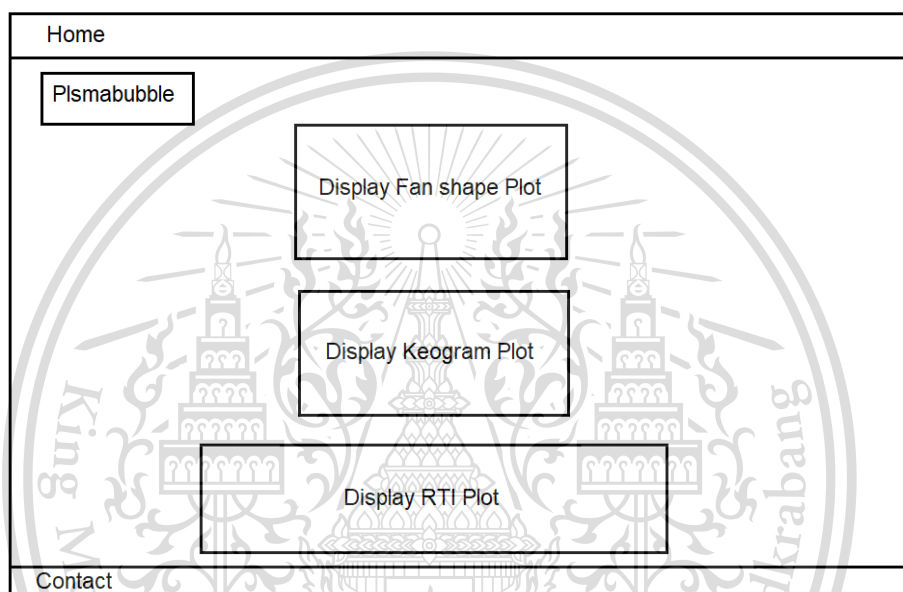
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.1.5 การออกแบบเว็บไซต์แสดงผล

ในการแสดงผลของโครงการจะทำการแสดงผลผ่านหน้าเว็บไซต์ โดยจะทำการแบ่งออกเป็น 2 ส่วนประกอบด้วย

1. หน้าเว็บไซต์ระบบตรวจจับพลาสมาบับเบิลบริเวณเส้นศูนย์สูตร

เป็นหน้าที่แสดงถึงการเปรียบเทียบกับความแม่นยำเมื่อระบบสามารถตรวจจับการเกิดพลาสมาบับเบิลบริเวณเส้นศูนย์สูตรซึ่งจะแสดงการพล็อตทั้งสามรูปแบบ โดยมีภาพจำลองดังรูปที่ 3.19



รูปที่ 3.19 ภาพจำลองหน้า ระบบตรวจจับพลาสมาบับเบิล

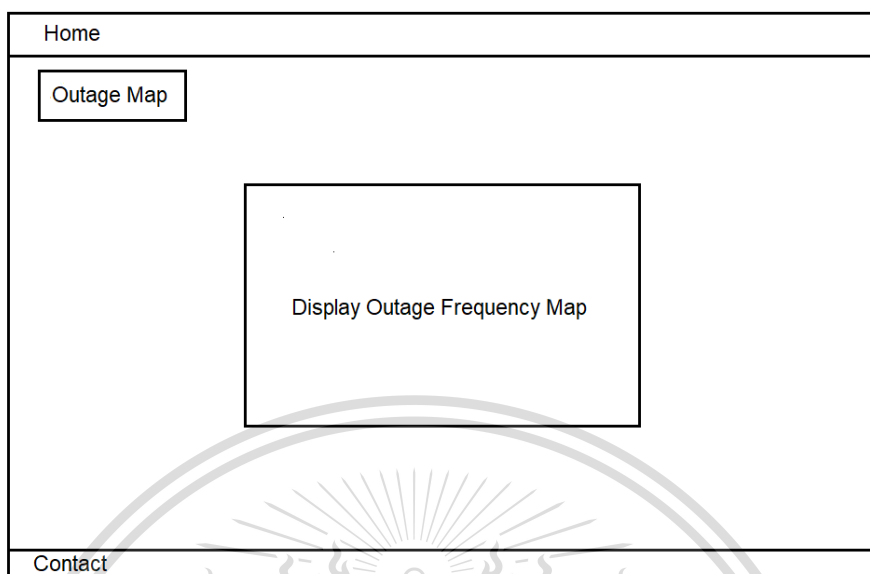
2. การออกแบบหน้าเว็บไซต์แผนที่ Outage Frequency Map

เป็นหน้าที่แสดงค่าการกระจายตัวเทียบกับค่าความถี่วิกฤตในปัจจุบัน ณ บริเวณประเทศไทย ที่ความสูง 350 กิโลเมตร ละติจูด 0 – 25 องศา และลองจิจูดที่ 90 – 125 องศาซึ่งจะแสดงในรูปแบบแผนที่ โดยมีภาพจำลองดังรูปที่ 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.



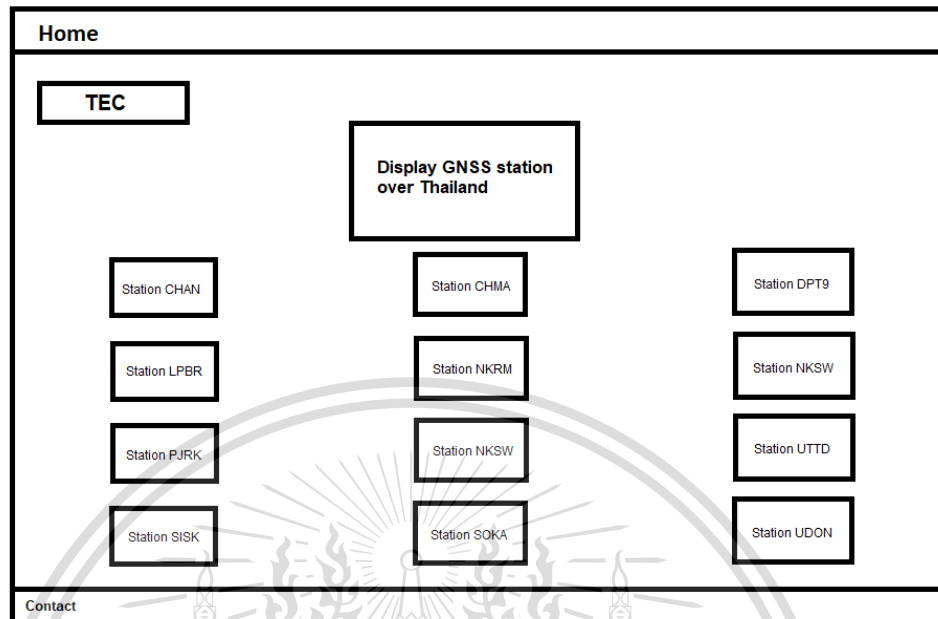
รูปที่ 3.20 ภาพจำลองหน้าจอแผนที่ Outage Frequency Map

3. หน้าเว็บไซต์แสดงปริมาณอิเล็กทรอนิกส์รวมบนชั้นบรรยากาศ แสดงสถานที่ที่ทำนายปริมาณอิเล็กทรอนิกส์รวมบนชั้นบรรยากาศทั้ง 12 สถานี ณ บริเวณประเทศไทย และแสดงค่าปริมาณอิเล็กทรอนิกส์รวมบนชั้นบรรยากาศที่ทำนายเปรียบเทียบกับค่ากลางของแต่ละสถานี

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 3.21 ภาพจำลองหน้าจอปริมาณอิเล็กตรอนรวมบนชั้นบรรยากาศ

3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

3.2.1 สถานีเรดาร์ย่าน VHF ที่ประเทศไทย



รูปที่ 3.22 สถานีเรดาร์ย่าน VHF ที่ประเทศไทย

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.

จากรูปที่ 3.22 การตรวจจับการสะท้อนจะทำการยิงคลื่นขึ้นไปบนชั้นบรรยากาศโดยมีทิศทางในการยิงที่ต่างกันทั้งหมด 16 ลำคลื่นโดยแบ่งการยิงออกเป็น 2 รอบรอบละ 8 ลำคลื่น โดยจะสามารถสรุปออกมาเป็นรายละเอียดของทิศทางการยิงของคลื่นได้ดังตารางที่ 3.1 และ 3.2

ตารางที่ 3.1 ทิศทางการยิงของลำคลื่นรอบที่ 1

Beam No.	1	2	3	4	5	6	7	8
Azimuth	125°	137°	151°	165°	180°	195°	209°	223°
Zenith	37.5°	30.9°	26.6°	24.5°	23.8°	24.7°	27.2°	32.1°

ตารางที่ 3.2 ทิศทางการยิงของลำคลื่นรอบที่ 2

Beam No.	1	2	3	4	5	6	7	8
Azimuth	130°	144°	158°	172°	188°	202°	216°	230°
Zenith	34.3°	28.4°	25.3°	24.0°	24.1°	25.7°	29.3°	35.9°

3.3 การจัดเก็บผลการทดลอง

การจัดเก็บผลแบ่งออกเป็น 4 การทดลองหลัก

3.3.1 ส่วนที่เกี่ยวข้องกับการทำนายค่า VTEC

ในส่วนที่เกี่ยวข้องกับการทำนายค่า VTEC จะแบ่งออกเป็น 3 ส่วนย่อยดังต่อไปนี้

3.3.1.1 ส่วนของโปรแกรมที่ใช้ในการคำนวณ Mutual information

การจัดเก็บผลการทดลองในส่วนของโปรแกรมที่ใช้ในการคำนวณ Mutual information โดยใช้หลักการในหัวข้อที่ 2.8 เพื่อใช้ในการเลือกพารามิเตอร์ที่เป็นค่ารังสีจากดวงอาทิตย์เพื่อใช้ในการฝึกฝนแบบจำลอง Neural Network และ LSTM ประกอบด้วย Scalar B, Bx, By, Bz, SW Proton Density, Kp-index, Rz12, Dst-index และ f10.7 โดยจะนำค่ารังสีจากดวงอาทิตย์ที่ทำการดาวนโหลด กับค่ากลางของ VTEC รายชั่วโมงมาทำการวัด Mutual Information

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

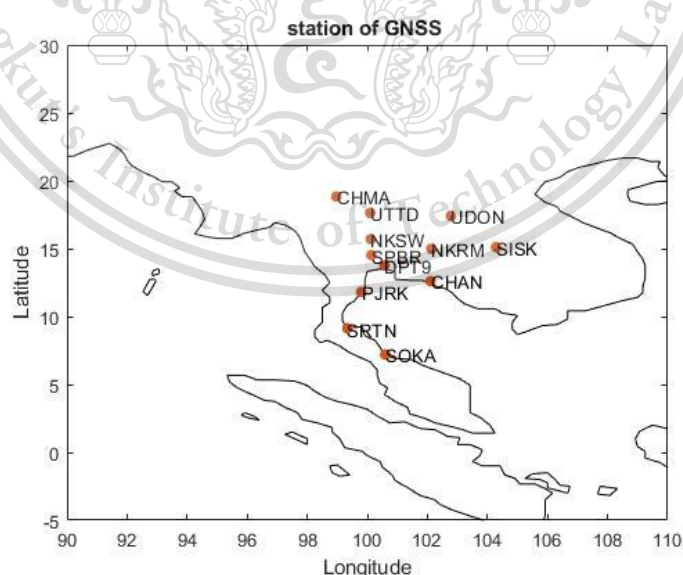
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.3.1.2 ส่วนของโปรแกรม Neural Network และ LSTM ที่ใช้ในการทำนายค่า VTEC

การทดลองในส่วนของ Neural Network และ LSTM ที่ใช้ในการทำนายค่า VTEC ในแต่ละสถานีประกอบด้วย

1. สถานีอุตรดิตถ์ (UTTD)
2. สถานีอุดรธานี (UDON)
3. สถานีสุราษฎร์ธานี (SRTN)
4. สถานีสงขลา (SOKA)
5. สถานีศรีสะเกษ (SISK)
6. สถานีประจวบคีรีขันธ์ (PJRK)
7. สถานีนครสวรรค์ (NKSW)
8. สถานีนครราชสีมา (NKRM)
9. สถานีกรุงเทพมหานคร (DPT9)
10. สถานีเชียงใหม่ (CHMA)
11. สถานีจันทบุรี (CHAN)

โดยทั้ง 11 สถานี สามารถแสดงตำแหน่งบนแผนที่ประเทศไทยได้ดังรูปที่ 3.23



รูปที่ 3.23 ตำแหน่งสถานีที่ใช้ในการทดลองบริเวณประเทศไทย

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.

โดยทำการออกแบบแบบจำลอง และเลือกอินพุตจากหัวข้อที่ 3.3.1 และเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำนายจากส่วนของการฝึกฝนโดยการวัดค่า RMSE เพื่อเลือกแบบจำลอง Neural Network และ LSTM ที่ดีที่สุด

3.3.1.3 ส่วนของการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการทำนายค่า VTEC จากแบบจำลอง Neural Network, LSTM และ IRI-2016

การทดลองในส่วนของการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการทำนายค่า VTEC จากแบบจำลอง Neural Network, LSTM และ IRI-2016 จะทำการเลือกแบบจำลองที่ดีที่สุดของ Neural Network และ LSTM จากหัวข้อที่ 3.3.2 และดาวนิโกลดโปรแกรม IRI-2016 จาก NASA ซึ่งจะทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการทำนายค่า VTEC ในแต่ละสถานีโดยการวัดค่า RMSE และ R-square เพื่อหาแบบจำลองที่ดีที่สุดในการทำนายค่า VTEC โดยแบ่งออกเป็น 3 ช่วง

1. การวัดค่า RMSE และ R-square เฉลี่ยช่วงปี 2020
 2. การวัดค่า RMSE และ R-square รายชั่วโมงในช่วงที่เป็น quiet period ของ solar activity
 3. การวัดค่า RMSE และ R-square รายชั่วโมงในช่วงที่เป็น storm period ของ solar activity
- โดยเมื่อหาแบบจำลองที่ดีที่สุดเสร็จสิ้นจะใช้แบบจำลองดังกล่าวในการทำนายค่า VTEC ของแต่ละสถานี ซึ่งจัดเก็บผลจากการทำนายบนเซิร์ฟเวอร์ และแสดงผลผ่านเว็บไซต์

3.3.2 ระบบตรวจจับพลาสมาบับเบิลบริเวณเส้นศูนย์สูตร

การทดลองในส่วนที่เกี่ยวข้องกับระบบตรวจจับพลาสมาบับเบิลบริเวณเส้นศูนย์สูตรจะทำการพล็อตกราฟที่ใช้ในการตรวจจับปรากฏการณ์ดังกล่าว 3 รูปแบบประกอบด้วย Range time interval plot (RTI), keogram plot และ fanshape plot โดยจะทำการจัดเก็บผลลัพธ์ดังกล่าวไว้บนเซิร์ฟเวอร์ และแสดงผลผ่านเว็บไซต์

3.3.3 ค่าความถี่วิกฤต

ในส่วนที่เกี่ยวข้องกับการทำนายค่า VTEC จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนย่อยดังต่อไปนี้

1.) แผนที่ Outage Frequency

ทำการสร้างแผนที่ Outage Frequency จะทำการเขียนเงื่อนไขเพื่อใช้แบ่งระดับความรุนแรงของการกระจายตัวของค่า foF2 เทียบกับค่ากลางของ foF2 27 วันย้อนหลังโดยจะสามารถแบ่งไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งหากมีเหตุเปลี่ยนแปลงเนื้อหา 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 3.3 ระดับข้อมูลค่าการกระจายของค่า foF2

ค่ากระจายของข้อมูลต่ำกว่าค่ามัธยฐาน (%)	ระดับของค่าที่เก็บ
30	1
50	2
50-100	3

โดยเมื่อทำการแบ่งระดับเสรีจลันจะทำการพล็อต contour ของแผนที่ Outage Frequency โดยจัดเก็บผลลัพธ์บนเซิร์ฟเวอร์ และแสดงผลผ่านเว็บไซต์

2.) ส่วนที่เกี่ยวข้องกับการแบ่งระดับการแบ่งระดับ Outage frequency ด้วยเทคโนโลยี Support Vector Machine

จากหัวข้อ 3.1.5 ในส่วนของการฝึกฝนข้อมูลในแบบจำลอง SVM แบ่งเป็น 3 ชนิดคือ

1. Linear
2. Kernel Sigmoid
3. Kernel RBF

3.3.4 ส่วนที่ใช้ในการแสดงผล

การทดสอบการแสดงผลผ่านเว็บไซต์จะทำการทดสอบโดยการอัปโหลดลงบนเซิร์ฟเวอร์ และจัดทำให้มีการเข้าถึงจากภายนอก หรือจากอินเทอร์เน็ตโปรโตคอลที่ต่างกันได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

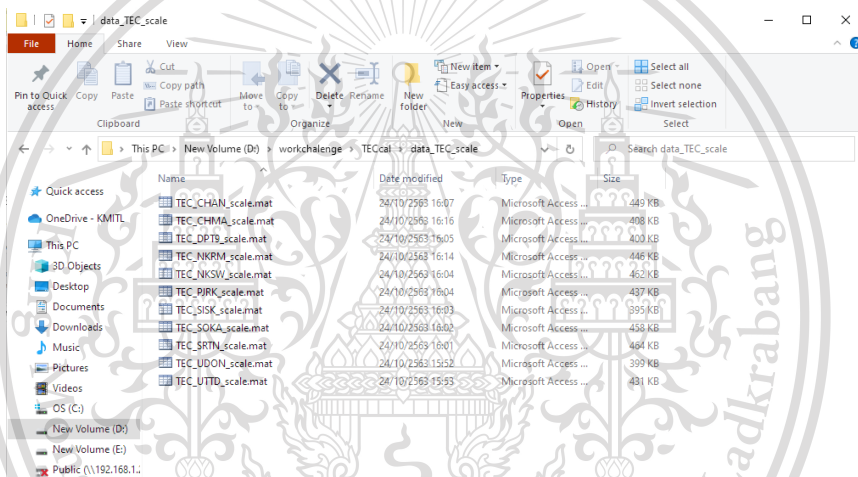
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 4 ผลการทดลอง

4.1 ผลการทดลองการคำนวณและทำนายค่า VTEC

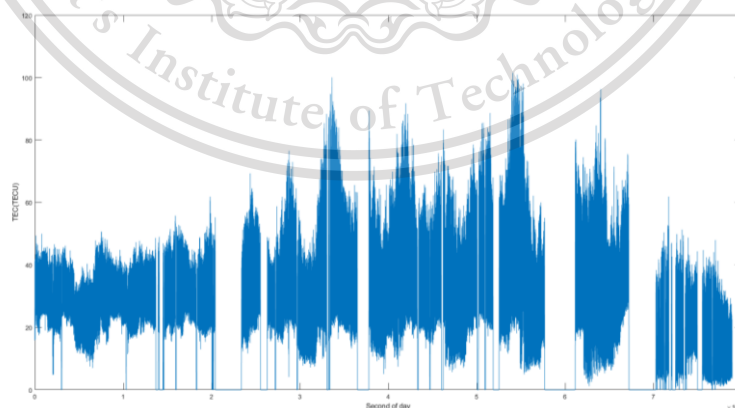
4.1.1 ผลการทดสอบในส่วนของโปรแกรมที่ใช้ในการคำนวณ Mutual Information

ในการทดสอบจะนำค่า VTEC ในปี 2008 ถึง 2016 ประจำสถานีที่ทำการดาวน์โหลดได้ ดังรูปที่ 4.1 มาหาความสัมพันธ์กับค่ารังสีจากดวงอาทิตย์ด้วยการคำนวณ Mutual Information เพื่อใช้ในการฝึกฝนแบบจำลอง Neural Network และ LSTM ประกอบด้วย Scalar B, Bx, By, Bz, SW Proton Density, Kp-index, Rz12, Dst-index และ f10.7 โดยจะตัดข้อมูลในช่วงที่ไม่มีค่าออกไปซึ่งจะได้ผลลัพธ์ดังตารางที่ 4.1



Name	Date modified	Type	Size
TEC_CHAN_scale.mat	24/10/2563 16:07	Microsoft Access ...	449 KB
TEC_CHMA_scale.mat	24/10/2563 16:16	Microsoft Access ...	498 KB
TEC_DFTD_scale.mat	24/10/2563 16:05	Microsoft Access ...	400 KB
TEC_NKRM_scale.mat	24/10/2563 16:14	Microsoft Access ...	446 KB
TEC_NKSW_scale.mat	24/10/2563 16:04	Microsoft Access ...	462 KB
TEC_PJRK_scale.mat	24/10/2563 16:04	Microsoft Access ...	437 KB
TEC_SISK_scale.mat	24/10/2563 16:03	Microsoft Access ...	395 KB
TEC_SOKA_scale.mat	24/10/2563 16:03	Microsoft Access ...	458 KB
TEC_SRTN_scale.mat	24/10/2563 16:01	Microsoft Access ...	464 KB
TEC_UDON_scale.mat	24/10/2563 13:52	Microsoft Access ...	399 KB
TEC_UTTD_scale.mat	24/10/2563 15:55	Microsoft Access ...	431 KB

(ก)



(ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในการเรียนการสอน ซึ่งการสื่อสารข้อมูลไปยังหน่วยงานอื่นโดยไม่ได้รับอนุญาตไว้ใช้ประโยชน์ด้านการค้า

รูปที่ 4.1 (ก) ไฟล์ค่ากลาง VTEC ที่ทำการจัดเก็บของทุกสถานี

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ข) ตัวอย่างค่ากลาง VTEC ณ สถานี SRTN จำนวน 8 ปีย้อนหลัง (2008-2016)

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 4.1 ค่า Mutual Information ที่ทำการวัดเทียบกับค่ากลาง VTEC

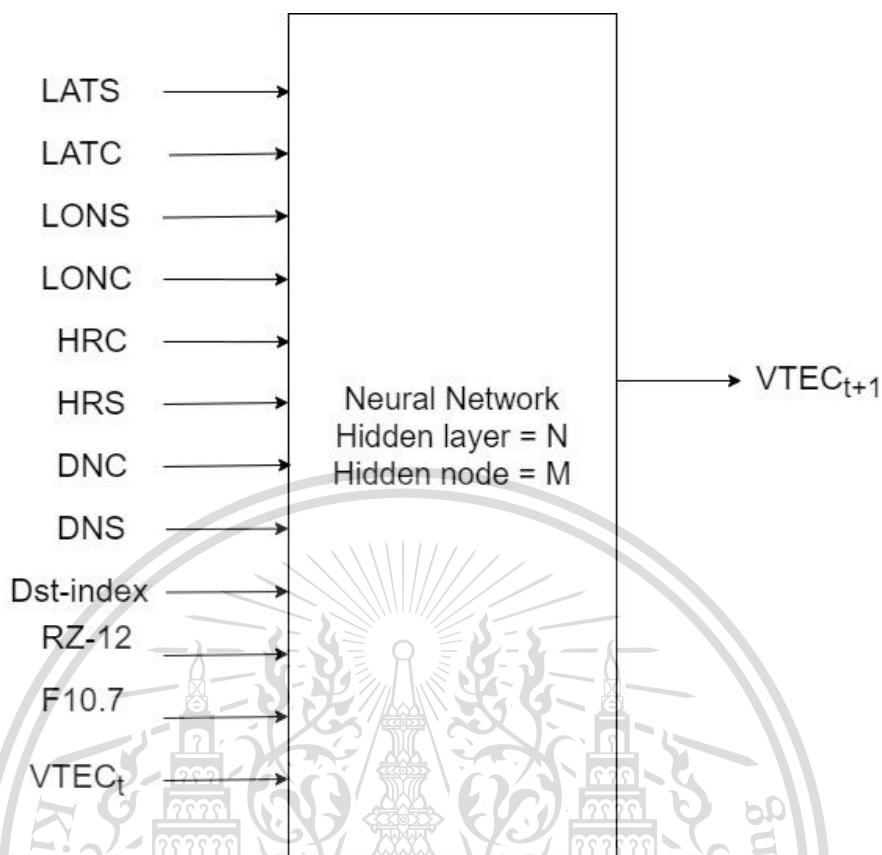
พารามิเตอร์ที่เป็นค่ารังสีจากดวงอาทิตย์	ค่า Mutual Information
Scalar B	0.0231
Bx	0.2441
By	0.2578
Bz	0.2308
SW Proton Density	0.0013
Kp-index	0.0451
Rz-12	0.4463
Plasma flow longitude angel	0.3334
Plasma flow latitude angel	0.1801
Dst-index	0.5520
f10.7	0.5626

จากตารางที่ 4.1 ทำการเลือกพารามิเตอร์ที่เป็นค่ารังสีจากดวงอาทิตย์โดยเลือกพารามิเตอร์ที่มีค่า Mutual Information สูง ๆ โดยพารามิเตอร์ดังกล่าวประกอบด้วย Rz-12, Dst-index, f10.7 ดังนั้น อินพุตของ Neural Network และ LSTM จะประกอบด้วย LATS, LATC, LONS, LONC, DNS, DNC, HRS, HRC, Rz-12, Dst-index, f10.7 โดยจะสามารถแสดงแผนภาพของ Neural Network และ LSTM ดังกล่าวได้ดังรูปที่ 4.2 และ 4.3

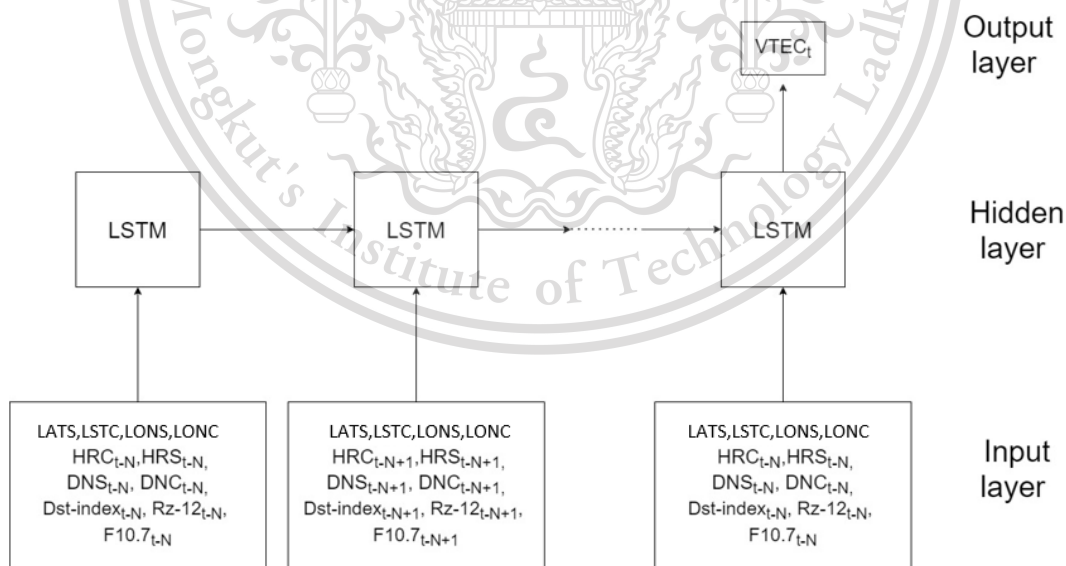
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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 4.2 โครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมที่ออกแบบของระบบ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการรูปที่ 4.3 โครงสร้าง LSTM ของระบบ ญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
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.

4.1.2 ค่า RMSE จากการฝึกฝนระบบ Neural Network และ LSTM ที่ใช้ในการทำนายค่า VTEC

การจัดเรียงข้อมูลค่ากลาง VTEC ในปี 2008 ถึง 2016 ของทุกสถานี และค่า LATS, LATC, LONS, LONC, DNS, DNC, HRS, HRC, Rz-12, Dst-index, f10.7 ให้อยู่ในรูปของเมทริกซ์ และทำการตัดช่วงเวลาที่ไม่มีค่ากลาง VTEC โดยจะสามารถแสดงเมทริกซ์ที่ทำการจัดเก็บได้ดังรูปที่ 4.4

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	17.6301	17.6301	17.6301	17.6301	17.6301	17.6301	17.6301	17.6301	17.6301	17.6301	17.6301	17.6301	17.6301	17.6301
2	100.0963	100.0963	100.0963	100.0963	100.0963	100.0963	100.0963	100.0963	100.0963	100.0963	100.0963	100.0963	100.0963	100.0963
3	0.5086	0.5086	0.5086	0.5086	0.5086	0.5086	0.5086	0.5086	0.5086	0.5086	0.5086	0.5086	0.5086	0.5086
4	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999
5	0.5000	0.6294	0.7500	0.8536	0.9330	0.9830	1	0.9830	0.9330	0.8536	0.7500	0.6294	0.5000	0.3706
6	1	0.9830	0.9330	0.8536	0.7500	0.6294	0.5000	0.3706	0.2500	0.1464	0.0670	0.0170	0	0.0170
7	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
8	-13	-13	-13	-13	-13	-13	-13	-13	-13	-13	-13	-13	-13	-13
9	69.4000	69.4000	69.4000	69.4000	69.4000	69.4000	69.4000	69.4000	69.4000	69.4000	69.4000	69.4000	69.4000	69.4000
10	20.3265	14.4543	26.6150	30.3117	36.8852	38.7276	43.7473	45.0668	42.4539	43.1049	42.0580	37.6938	32.0982	25.5759
11														
12														
13														

รูปที่ 4.4 เมทริกซ์ที่ทำการจัดเก็บข้อมูลจาก 11 สถานี

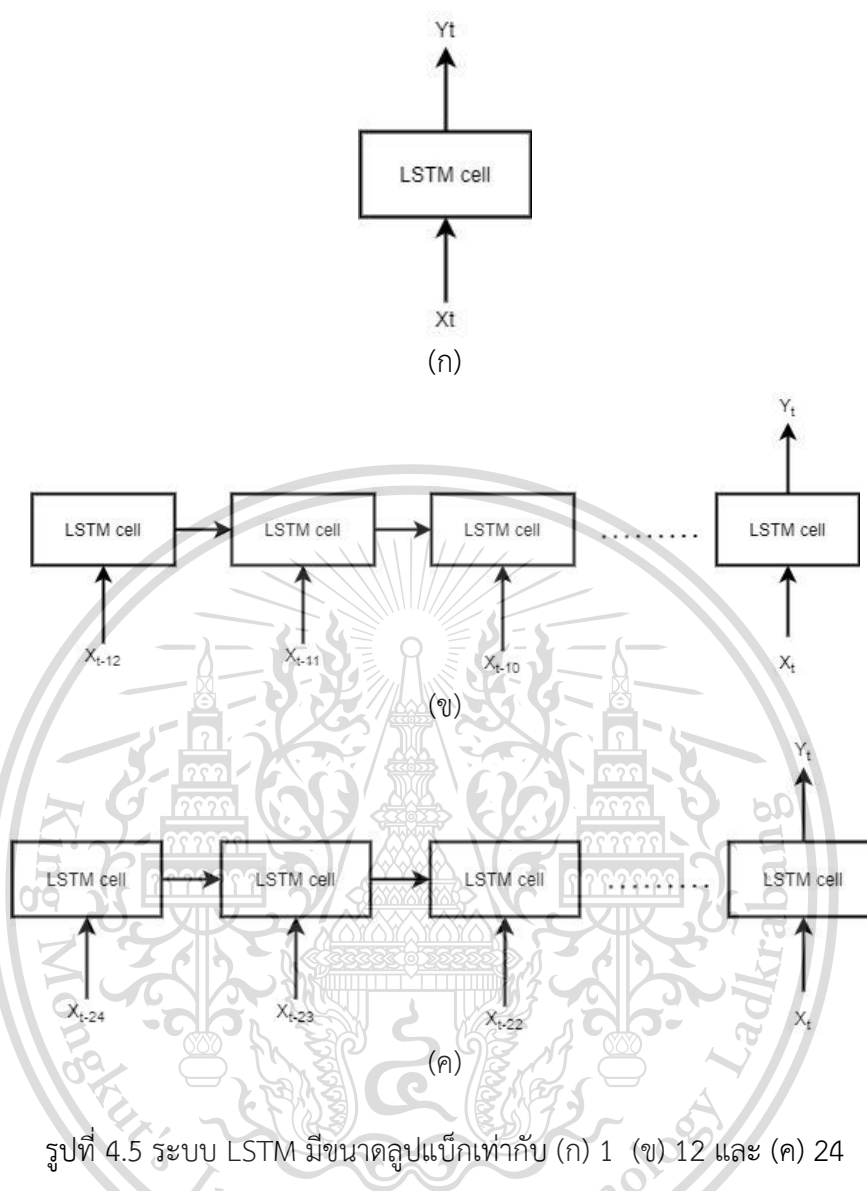
จากรูปที่ 4.4 สามารถอธิบายได้ว่าแถวที่ 1 ถึงแถวที่ 10 แสดงถึงชนิดของข้อมูล ประกอบด้วย ละติจูดของสถานี, ลองจิจูดของสถานี, DNS, DNC, HRS, HRC, Rz-12, Dst-index, f10.7, TEC ตามลำดับ และหลักของข้อมูลแสดงถึง time step ของข้อมูล

ทำการแบ่งข้อมูลออกเป็น 2 ส่วนประกอบด้วยข้อมูลฝึกฝน และ validating data โดยมีอัตราส่วนอยู่ที่ 70 เปอร์เซ็นต์ และ 30 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับจากนั้นจะทำการฝึกฝน Neural Network และ LSTM โดยกำหนดให้การปรับเมทริกซ์ใช้วิธีการ gradient descent ดังหัวข้อที่ 2.10.2 ที่มีอัตราการเรียนรู้ของแบบจำลองอยู่ที่ 0.01 ด้วย มีจำนวนในการฝึกฝนอยู่ที่ 50 รอบ ซึ่ง Neural Network จะทำการปรับจำนวน hidden node และ hidden layer และในส่วนของ LSTM จะทำการปรับจำนวนลำดับของข้อมูลที่ทำการร่วมใช้ในการทำนาย (loopback) ดังรูปที่ 4.5

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.



โดยในการเลือกแบบจำลองที่ดีที่สุด จะทำการคำนวณค่า RMSE ของชุดข้อมูลฝึกฝน และ validating data ที่มีค่าต่ำที่สุดโดยจะมีผลลัพธ์จากการฝึกฝนของ Neural Network และ LSTM ดังตารางที่ 4.2 และ 4.3 ตามลำดับ

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 4.2 ค่า RMSE ได้จากการฝึกฝนแบบจำลอง Neural Network

จำนวน hidden layer	จำนวน hidden node	RMSE จากข้อมูลฝึกฝน	RMSE จากข้อมูล validating data
1	10	52	34.8
1	20	38.4	20.4
1	30	33.6	22
1	40	39.42	27.832
2	20,20	23.24	26.216
2	30,30	28.48	24.4
2	40,40	16.8	17.6
2	50,50	20.884	14.744
3	10,10,10	22.52	34.8
3	20,20,20	11.6	12.6
3	30,30,30	25.36	26.616
3	40,40,40	21.102	25.652
4	10,10,10,10	20	16.4
4	15,15,15,15	16.8	28.66
4	20,20,20,20	15.46	16.866
4	25,25,25,25	14.096	14.404
4	35,35,35,35	7.2876	7.244
4	40,40,40,40	29.824	24.4012

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 4.3 ค่า RMSE ได้จากการฝึกฝนแบบจำลอง LSTM

จำนวน loopback	จำนวน hidden node	RMSE จากข้อมูลฝึกฝน	RMSE จากข้อมูล validating data
1	20	5.1917	5.5917
1	30	4.94	4.9425
1	40	4.71	4.7102
1	80	4.4274	4.6274
1	100	4.2896	5.2896
1	120	4.5578	5.6678
1	140	4.6778	4.7887
1	160	5.1917	5.3345
12	20	4.4178	4.6278
12	30	3.5475	4.4456
12	40	3.4570	3.5514
12	80	3.2744	3.77
12	100	3.1147	3.0011
12	120	4.2499	4.1125
12	140	4.5647	4.7756
12	160	5.1171	5.2242
24	20	3.9921	4.0021
24	30	3.5589	3.6657
24	40	3.4410	3.5541
24	80	3.470	3.4552
24	100	3.2214	3.22415
24	120	2.4532	2.5252
24	140	3.2201	4.2241
24	160	4.1917	4.2230

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.

จากตารางที่ 4.2 พบว่าแบบจำลอง Neural Network ที่ดีที่สุดจากการฝึกฝนคือแบบจำลองที่มีจำนวน hidden layer เท่ากับ 4 จำนวน hidden node เท่ากับ 35 ทุก layer โดยมีค่า RMSE จากข้อมูลฝึกฝนเท่ากับ 7.2876 และมีค่า RMSE จาก validating data เท่ากับ 7.244

จากตารางที่ 4.3 พบว่าแบบจำลอง LSTM ที่ดีที่สุดจากการฝึกฝนคือแบบจำลองที่มีจำนวน loopback เท่ากับ 24 จำนวน hidden node เท่ากับ 120 โดยมีค่า RMSE จากข้อมูลฝึกฝนเท่ากับ 2.4532 และมีค่า RMSE จาก validating data เท่ากับ 2.5252

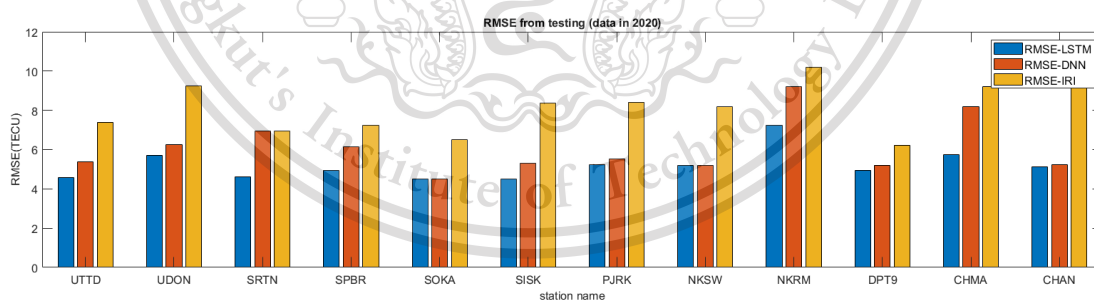
จากข้อมูลทีกล่าวมาพบว่าแบบจำลอง LSTM ให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าแบบจำลอง Neural Network ซึ่งสังเกตได้จากค่า RMSE ของแบบจำลอง LSTM นั้นมีค่าน้อยกว่า

4.1.3 ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการทำนายค่า VTEC จากแบบจำลอง Neural Network, LSTM และ IRI-2016

ทำการเลือกแบบจำลองที่ดีที่สุดของ Neural Network (DNN) และ LSTM จากหัวข้อที่ 4.2 และดาวเทียมโพลาร์แกรม IRI-2016 จาก NASA ซึ่งจะทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการทำนายค่า VTEC ในแต่ละสถานีโดยการวัดค่า RMSE และ R-square เพื่อหาแบบจำลองที่ดีที่สุดในการทำนายค่า VTEC ซึ่งการทดสอบจะใช้ข้อมูลทดสอบหรือ ข้อมูลในปี 2020 โดยแบ่งออกเป็น 3 ช่วง

1. การวัดค่า RMSE และ R-square เฉลี่ยช่วงปี 2020

ทำการวัดค่า RMSE และ R-square เฉลี่ยช่วงปี 2020 จากแบบจำลอง DNN, LSTM และ IRI-2016 ในแต่ละสถานีโดยจะมีผลลัพธ์ดังรูปที่ 4.6 และ 4.7

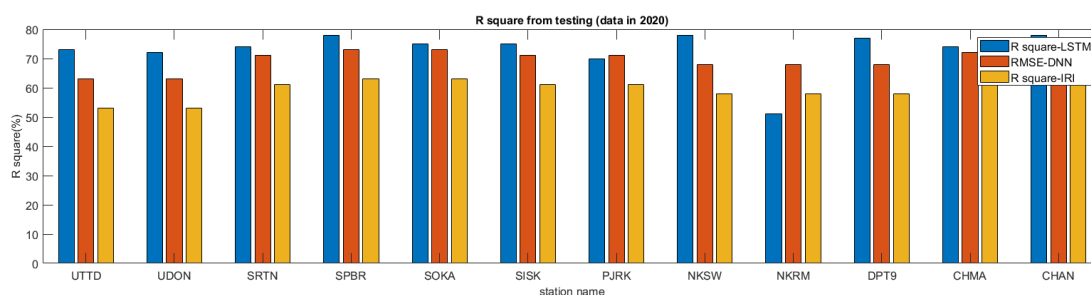


รูปที่ 4.6 ค่า RMSE เฉลี่ยช่วงปี 2020 จากแบบจำลอง DNN, LSTM และ IRI-2016

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 4.7 ค่า R-square เฉลี่ยช่วงปี 2020 จากแบบจำลอง DNN, LSTM และ IRI-2016

จากรูปที่ 4.6 และ 4.7 สามารถเขียนค่าเป็นตัวเลขโดยมีผลลัพธ์ดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 RMSE และ R-square เฉลี่ยช่วงปี 2020 ในแต่ละสถานี

ชื่อสถานี	LSTM model		DNN model		IRI-2016 model	
	RMSE (TECu)	R-square (%)	RMSE (TECu)	R-square (%)	RMSE (TECu)	R-square (%)
UTTD	4.3591	73.1155	5.3591	63.1265	7.3852	53.2314
UDON	5.4150	73.1329	5.6250	63.1459	9.2394	53.3351
SRTN	4.2112	72.2299	6.9944	62.4569	6.9559	61.6142
SPBR	4.5217	74.3123	6.8842	64.3778	7.2361	63.5523
SOKA	4.3312	78.3333	4.3444	68.3489	6.5115	63.7892
SISK	4.0059	75.4545	4.9929	65.4456	8.3526	61.8877
PJRK	5.2299	75.1122	5.5511	65.4454	8.4182	58.1423
NKSW	5.2243	70.7821	5.7816	60.1221	8.2024	58.1326
NKRM	5.9923	78.5932	7.8812	68.4564	10.2024	58.9823
DPT9	4.2213	51.2213	5.1221	41.4222	6.2024	62.2578
CHMA	4.7219	77.2173	8.5415	67.5551	9.2024	61.1114
CHAN	3.2591	74.5144	3.3354	64.4544	11.2024	61.7782

จากตารางที่ 4.4 พบว่าแบบจำลองที่ทำนายค่า VTEC โดยให้ค่า RMSE ต่ำที่สุด และ R-square สูงที่สุดคือแบบจำลอง LSTM

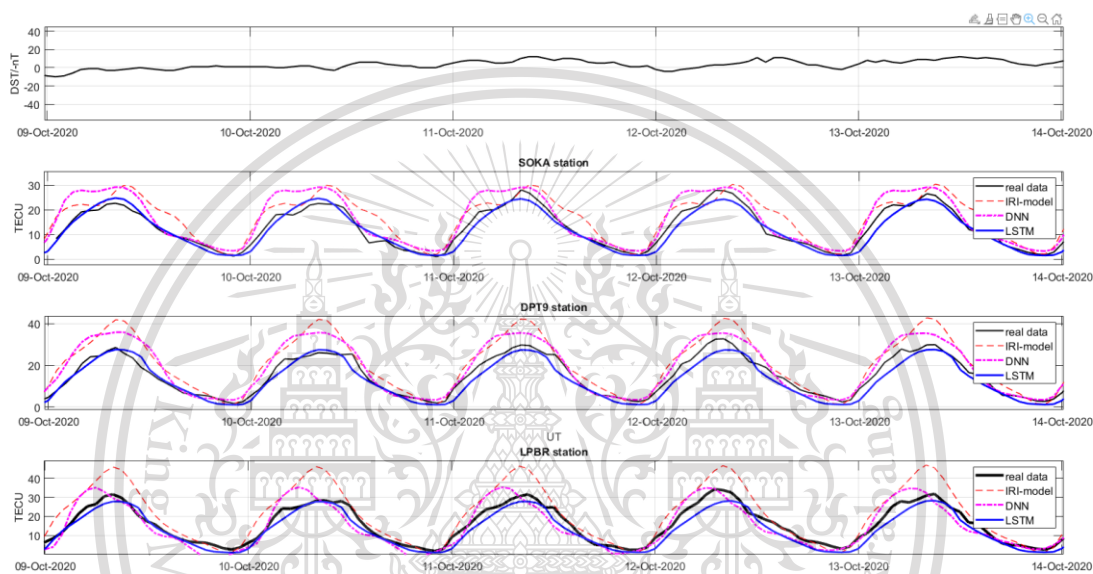
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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. การวัดค่า RMSE จากการทำนายค่า VTEC รายชั่วโมงจากกราฟในช่วงที่เป็น quiet period ของ solar activity

ทำการทดสอบวัดค่า RMSE จากการทำนายค่า VTEC จากแบบจำลอง Neural Network (DNN), LSTM และ IRI-2016 รายชั่วโมงในช่วงที่เป็น quiet period ของ solar activity กล่าวคือช่วงที่ไม่มีคามผิดปกติของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของโลกค่าดัชนี Dst ต่ำกว่า 100 nT โดยยกตัวอย่างการทำนายค่า VTEC รายชั่วโมงทั้งหมด 3 สถานีประกอบด้วย SOKA, DPT9 และ LPBR โดยจะมีค่า VTEC จากการทำนายในช่วง quiet period ดังรูปที่ 4.8



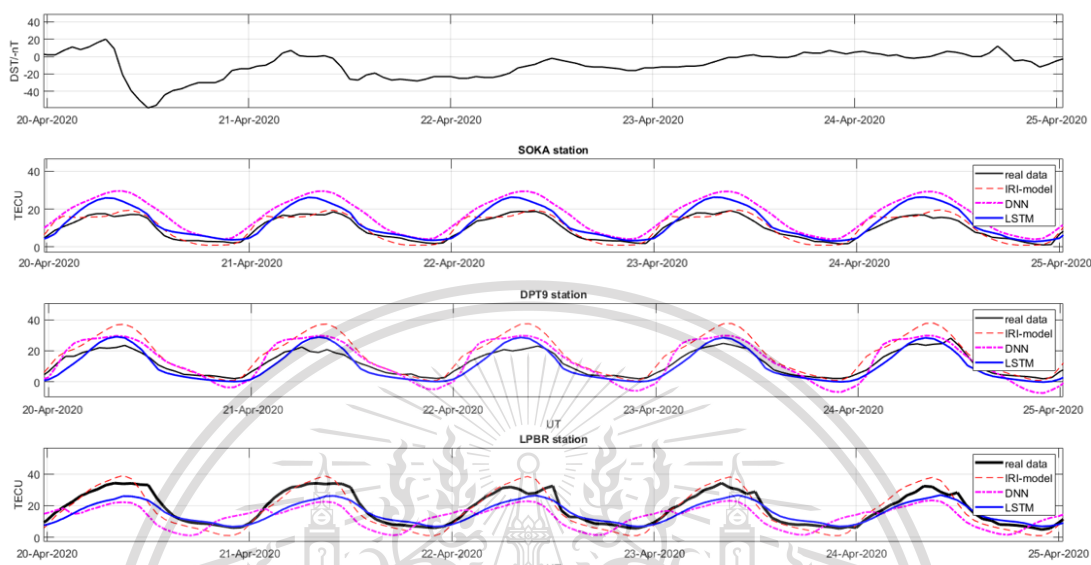
รูปที่ 4.8 ค่า VTEC จากการทำนาย ณ สถานี SOKA, DPT9 และ LPBR ในช่วง quiet period

จากรูปที่ 4.8 เป็นกราฟแสดงผลค่า TEC ซึ่งเปรียบเทียบกับแบบจำลองทั้ง 3 แบบในช่วงที่เป็น quiet period จากการเปรียบเทียบพบว่า ทุก ๆ สถานีพบว่าแบบจำลอง LSTM ให้ผลลัพธ์ค่า RMSE ที่ดีกว่าแบบจำลอง DNN และแบบจำลอง IRI-2016 ตัวอย่างเช่น สถานี SOKA การทำนายค่า VTEC จากแบบจำลอง LSTM มีค่า RMSE เท่ากับ 2.2521 ซึ่งมีค่า RMSE ต่ำกว่าแบบจำลอง DNN และ IRI-2016 ที่มีค่า RMSE เท่ากับ 2.7712 และ 3.1521 ตามลำดับ จึงสรุปได้ว่าแบบจำลองที่ทำนายค่า VTEC ดีที่สุดคือแบบจำลอง LSTM

3. การวัดค่า RMSE จากการทำนายค่า VTEC รายชั่วโมงจากกราฟในช่วงที่เป็น storm period ของ solar activity

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

ค่า VTEC รายชั่วโมงทั้งหมด 3 สถานีประกอบด้วย SOKA, DPT9 และ LPBR โดยจะมีค่า VTEC จากการทำนายในช่วง storm period ดังรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 ค่า VTEC จากการทำนาย ณ สถานี SOKA, DPT9 และ LPBR ในช่วง storm period

จากรูปที่ 4.9 เป็นกราฟแสดงผลค่า TEC ซึ่งเปรียบเทียบกับแบบจำลองทั้ง 3 แบบในช่วงที่เป็น storm period จากการเปรียบเทียบพบว่า ทุก ๆ สถานีพบว่าแบบจำลอง LSTM ให้ผลลัพธ์ค่า RMSE ที่ดีกว่าแบบจำลอง DNN และแบบจำลอง IRI-2016 ตัวอย่างเช่น สถานี LPBR การทำนายค่า VTEC จากแบบจำลอง LSTM มีค่า RMSE เท่ากับ 4.4599 ซึ่งมีค่า RMSE ต่ำกว่าแบบจำลอง DNN และ IRI-2016 ที่มีค่า RMSE เท่ากับ 6.2744 และ 6.2521 ตามลำดับ จึงสรุปได้ว่าแบบจำลองที่ทำนายค่า VTEC ดีที่สุดคือแบบจำลอง LSTM

จากการทดสอบจะใช้ข้อมูลทดสอบหรือ ข้อมูลในปี 2020 โดยแบ่งออกเป็น 3 ช่วงพบว่าแบบจำลองที่ดีที่สุดในการทำนายค่า VTEC คือแบบจำลอง LSTM ซึ่งทำการจัดเก็บแบบจำลองที่ดีที่สุดไว้บนเซิร์ฟเวอร์ และทำการทำนายแบบอัตโนมัติ

4.2 ผลการทดลองสร้างระบบตรวจจับพลาสมาบับเบิลบริเวณเส้นศูนย์สูตรจากข้อมูลเรดาร์วีเอชเอฟ

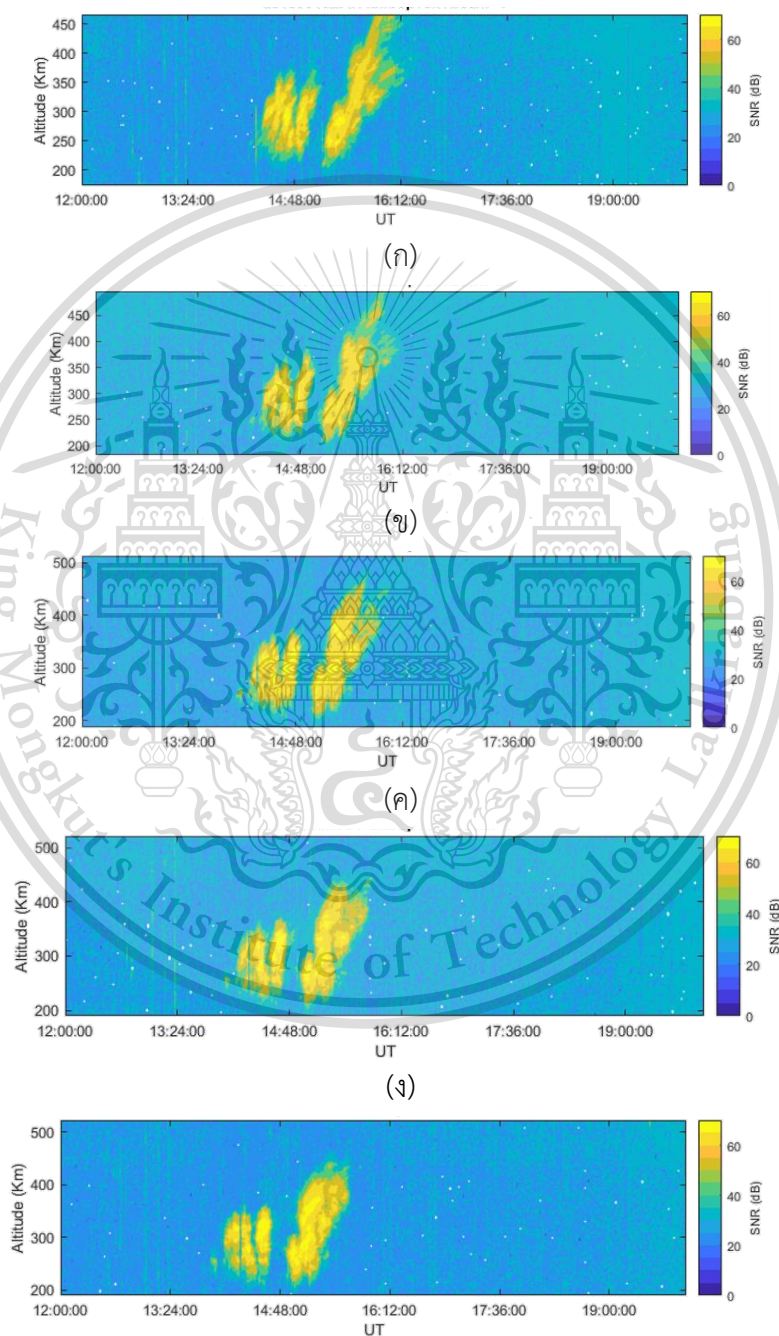
การทดลองในส่วนที่เกี่ยวข้องกับระบบตรวจจับพลาสมาบับเบิลจากข้อมูลเรดาร์วีเอชเอฟ เอกสารนี้เป็นที่สถานีโกโตตางัง ประเทศอินโดนีเซียจะทำการพล็อตกราฟที่ใช้ในการตรวจจับ 3 รูปแบบการคำนวณประกอบด้วย Range time interval plot (RTI), keogram plot และ fanshape plot ซึ่งจะมีการนำไปใช้

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

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

4.2.1 Range time interval plot (RTI)

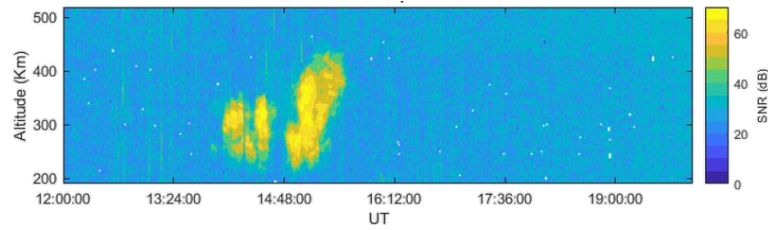
ทำการพล็อตในรูปแบบของ RTI plot จากไฟล์ข้อมูล CSV โดยทำการพล็อต Contour ในรูปแบบของค่า SNR ที่ เวลากับความสูง (Altitude) แตกต่างกันเมื่อนำมาข้อมูลมาพล็อตแบบ RTI Plot จะได้ผลลัพธ์ดังรูปที่ 4.10 และ 4.11



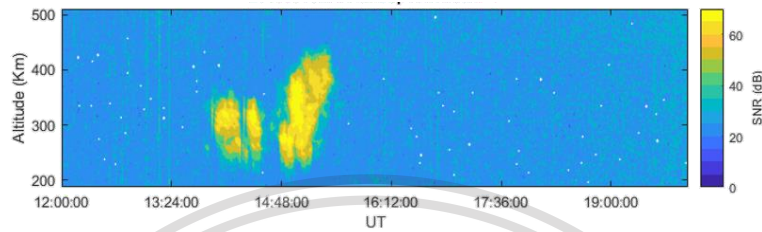
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

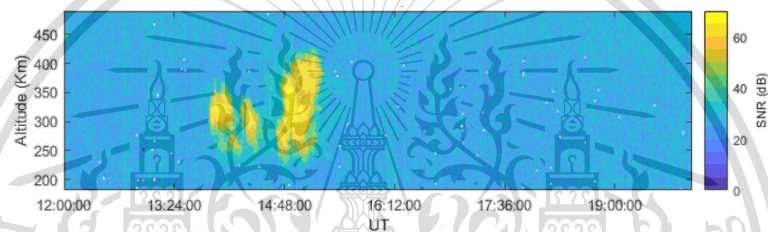
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



(จ)

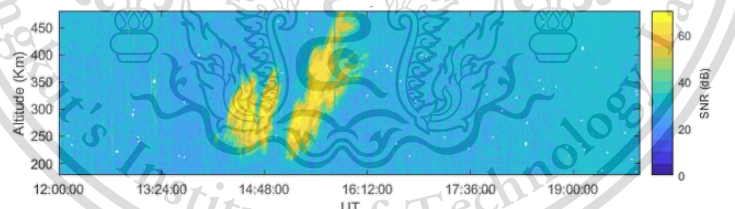


(ข)

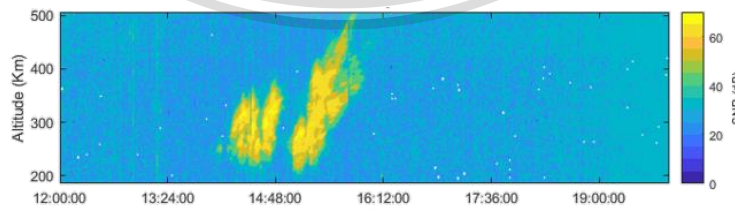


(ค)

รูปที่ 4.10 (ก) - (ง) RTI Plot ของลำคลื่นที่ 1 ถึง 8 ของรอบที่ 1 ตามลำดับ



(ก)

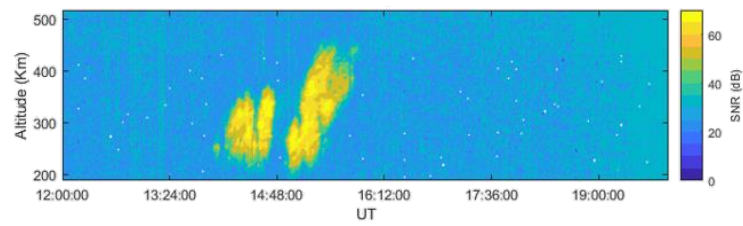


(ข)

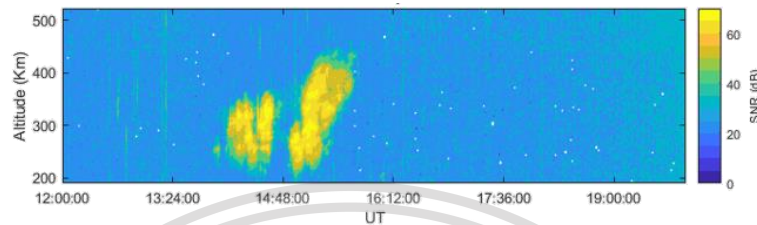
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

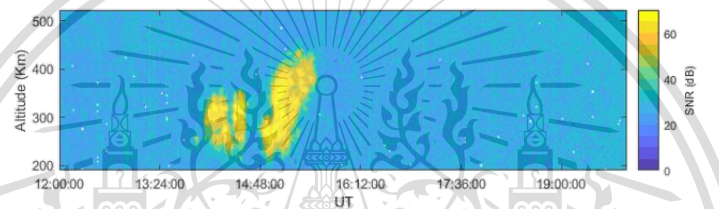
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



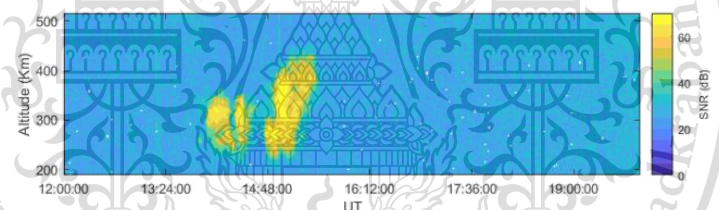
(ก)



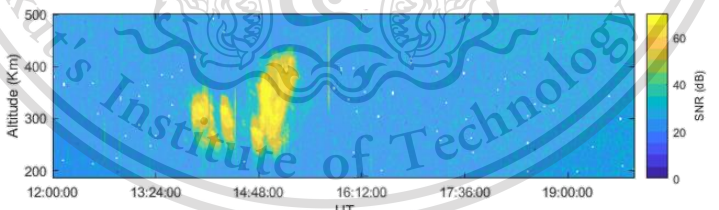
(ข)



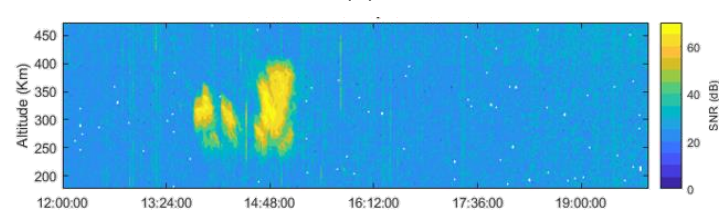
(ค)



(ง)



(จ)



(ฉ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 4.11 (ก) - (จ) RTI Plot ของลำคลื่นที่ 1 ถึง 8 ของรอบที่ 2 ตามลำดับ
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

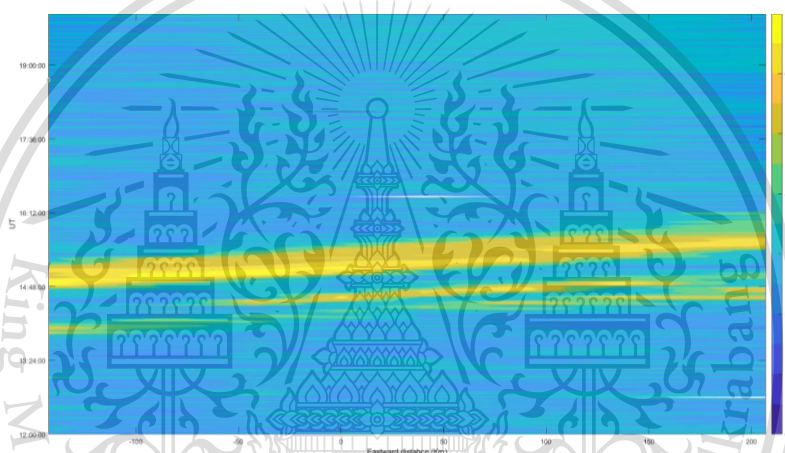
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

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

จากรูปที่ 4.10 และ 4.11 ช่วงค่า SNR ในช่วงเวลา 13.30.00 ถึง 15.30.00 (สีเหลือง, 45-70 dB) คือช่วงเวลาที่ VHF Radar สามารถตรวจจับ EPB ได้

4.2.2 การพล็อตในรูปแบบของ Keogram

การพล็อตในรูปแบบของ Keogram plot เป็นการพล็อตเพื่อดูทิศทางเคลื่อนที่และความเร็วของ EPB โดยจะทำการพล็อต contour ในรูปแบบของค่า SNR ที่ความสูง 350 กิโลเมตร กับเวลา และ Eastward Distance ซึ่งจะเป็นค่าของระยะทางตามแนวแกนตะวันออก เมื่อทำการพล็อต contour ในรูปแบบของค่า SNR ที่ความสูง 350 กิโลเมตรกับเวลา และ Eastward distance จะได้ผลลัพธ์ดังรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 Keogram Plot ของลำคลื่นที่ 1 ถึง 8 ของรอบที่ 1 ณ ความสูง 350 กิโลเมตร

จากรูปที่ 4.12 สามารถหาความเร็วได้โดยการใช้สมการเส้นตรงหาค่าความชัน โดยนำระยะทาง Eastward Distance เทียบกับเวลา

4.2.3 การพล็อตในรูปแบบของ Fan Shape

การพล็อตในรูปแบบของ Fan Shape ซึ่งจะเป็นการ Contour ค่า SNR ที่ละติจูดและลองจิจูดตามเส้นสนามแม่เหล็กโลกโดยใช้โมเดล IGRF ซึ่งเป็นแบบจำลองที่ใช้ในการหาสนามแม่เหล็กโลก และทำการหา ละติจูด และลองจิจูด ใหม่ของค่า SNR นั้น ๆ จะได้ผลลัพธ์ดังรูปที่ 4.13

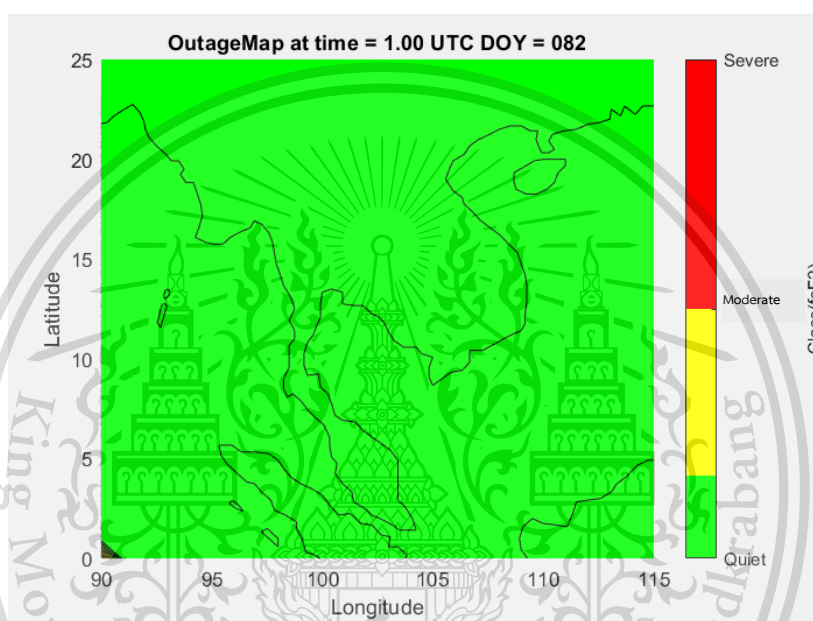
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

4.3 แผนที่การขาดหายความถี่

การพล็อต contour ของแผนที่ Outage Frequency ณ บริเวณประเทศไทยเป็นการใช้ข้อมูลจากค่าความถี่วิกฤต ชั้น f_2 (foF2) ที่ละติจูดที่ 0 – 25 องศา และลองจิจูดที่ 90 – 115 องศา เพื่อสร้างแผนที่ระดับการกระจายตัวซึ่งใช้ข้อมูลจาก IRI-2016 โดยนำค่ากลางของค่าความถี่วิกฤตเทียบย้อนหลัง 27 วัน กับวันปัจจุบันจะได้ค่าการกระจายตัว โดยแบ่งระดับความรุนแรงออกเป็น 3 ระดับ ตามมาตรฐาน ได้แก่ Quiet , Moderate และ Severe สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.15



รูปที่ 4.15 แผนที่ Outage Frequency ณ บริเวณประเทศไทย ในรูปแบบ Gif file

จากรูปที่ 4.15 ทำการถ่ายโอนข้อมูลโดยใช้คำสั่ง pscp เพื่อทำการถ่ายโอนข้อมูลจากคอมพิวเตอร์ลงบน server โดยสามารถแสดงผลที่ได้ดังรูปที่ 4.16

```

Command Prompt
C:\Users\User\Desktop\Project 4T\muf>pscp -P 22 OutageMap344.gif tts@161.246.18.205:/var/www/html/spaceweather
tts@161.246.18.205's password:
OutageMap344.gif | 23 kB | 24.0 kB/s | ETA: 00:00:00 | 100%
C:\Users\User\Desktop\Project 4T\muf>

```

รูปที่ 4.16 ผลจากการถ่ายโอนข้อมูล Outage Frequency จากคอมพิวเตอร์ลงบน server

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการวิจัยเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ในการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ยกเว้นที่ มีมติเห็นชอบแล้ว และต้องอ้างอิงถึงชื่อของเอกสารทุกครั้งหากมีการนำไปใช้

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

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

ชุมพร โดยข้อมูลที่ใช้ในการฝึกฝนโมเดลจะใช้ข้อมูลปี 2008 – 2015 และใช้ข้อมูลปี 2016 มาทำการทดสอบโมเดล ซึ่งโมเดลที่ใช้ในการแบ่งระดับ Outage frequency คือ Support Vector Machine

การแบ่งระดับ Outage frequency ด้วยเทคโนโลยี Support Vector Machine เป็นการแบ่งเพื่อบอกระดับการกระจายตัวของค่าความถี่วิกฤติเปรียบเทียบกับค่ากลางย้อนหลัง 27 วัน โดยสามารถแสดงเป็นขั้นตอนได้ดังนี้

1. ดาวน์โหลดข้อมูลที่ใช้ในการแบ่งกลุ่มค่าความถี่วิกฤติด้วยเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์

ทำการดาวน์โหลดข้อมูลที่ใช้ในการแบ่งกลุ่มค่าความถี่วิกฤติด้วยเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์จากเว็บไซต์ของนาซ่า (<https://omniweb.gsfc.nasa.gov>) ในรูปที่ 4.17 และดาวน์โหลดค่าความถี่วิกฤติที่สถานีชุมพร และแสดงผลข้อมูลได้ดังรูปที่ 4.18



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.

OMNIWeb
SPDF*Goddard Space Flight Center

About Browse FTP Input-Data News Feedback

Interface to produce plots, listings or output files from OMNI 2

[How to get data from command line](#)

For specification of Y scale ranges for data plots click [HERE](#)

Plot data List data Create file ([file?](#))

Select resolution

Hourly averaged Daily averaged 27-day averaged Yearly averaged

Click [HERE](#) to get time spans for individual parameters.

Enter start and stop dates (Use yyyyddd or yyyyymmdd)

Start Stop

Select variables

Bartels Rotation Number # Fine Scale Points in IMF Avgs
 [IMF Spacecraft ID](#) # Fine Scale Points in Plasma Avgs
 [Plasma Spacecraft ID](#)

Magnetic field

IMF Magnitude Avg, nT By, GSM, nT
 Magnitude, Avg IMF Vr, nT Bz, GSM, nT
 Lat. of Avg. IMF, deg. Sigma in IMF Magnitude Avg
 Long. of Avg. IMF, deg. Sigma in IMF Vector Avg
 Bx, GSE/GSM, nT Sigma Bx, nT
 By, GSE, nT Sigma By, nT
 Bz, GSE, nT Sigma Bz, nT

Plasma

Proton Temperature, K Sigma-T
 Proton Density, n/cc Sigma-Np
 Flow Speed, km/sec Sigma-V
 Flow Longitude, deg. Sigma-Flow-Longitude
 Flow Latitude, deg. Sigma-Flow-Latitude
 Alpha Proton Density Ratio Sigma-Alpha Proton Ratio

Derived Parameters

Flow Pressure, nPa Alfvén Mach Number
 Ey - Electric Field, mV/m Magnetosonic Mach Number
 Plasma Beta Proton Quazy-Invariant(QI)

Indices

Kp*10 Index AE Index, nT
 R Sunspot Number (new version) AL Index, nT
 Dst Index, nT AU Index, nT
 ap index, nT Polar Cap (PCN) index from Thule
 Solar index F10.7 Lyman Alpha Solar Index, W m⁻²
(sfu = 10-22W m⁻² Hz⁻¹)

รูปที่ 4.17 เว็บไซต์ที่ใช้ในการดาวน์โหลดข้อมูล

จากรูปที่ 4.17 เป็นการดาวน์โหลดข้อมูลจาก NASA โดยข้อมูลที่ดาวน์โหลด คือ Dst-index, Ap-index และ f10.7 ซึ่งทำได้โดยเลือก Create file และเลือกขนาดเวลาเป็นทุกๆ ชั่วโมง ในช่วงเวลาที่ต้องการคือ ปี 2008 – 2016 หลังจากนั้นให้เลือกข้อมูลที่ต้องการคือ Dst-index, Ap-index และ f10.7 สามารถแสดงผลลัพธ์ของข้อมูลได้ดังรูป 4.18

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.

	Year	Day	Hour	Dst	Ap	F10.7	foF2
	1	2	3	4	5	6	7
1	2008	1	0	-12	6	76.7000	4.2800
2	2008	1	1	-11	6	76.7000	6.3200
3	2008	1	2	-8	6	76.7000	6.9600
4	2008	1	3	-7	6	76.7000	6.4800
5	2008	1	4	-5	6	76.7000	5.7100
6	2008	1	5	-3	6	76.7000	5.3200
7	2008	1	6	-5	3	76.7000	5.2800
8	2008	1	7	-6	3	76.7000	5.8000
9	2008	1	8	-5	3	76.7000	6
10	2008	1	9	-5	4	76.7000	6.7600
11	2008	1	10	-7	4	76.7000	6.5100
12	2008	1	11	-7	4	76.7000	6.3600
13	2008	1	12	-6	3	76.7000	6.3200
14	2008	1	13	-7	3	76.7000	0
15	2008	1	14	-6	3	76.7000	0
16	2008	1	15	-8	3	76.7000	0
17	2008	1	16	-8	3	76.7000	0
18	2008	1	17	-7	3	76.7000	0
19	2008	1	18	-6	3	76.7000	0
20	2008	1	19	-4	3	76.7000	0
21	2008	1	20	-5	3	76.7000	3.4800
22	2008	1	21	-3	4	76.7000	0
23	2008	1	22	-3	4	76.7000	0
24	2008	1	23	-3	4	76.7000	0

รูปที่ 4.18 ผลการดาวนโหลดข้อมูลปี 2008-2016

จากรูปที่ 4.18 เป็นข้อมูลย้อนหลัง ตั้งแต่ปี 2008 – 2016 โดยแต่ละคอลัมน์ที่ 1-7 หมายถึง ปี เดือน วัน ชั่วโมง Dst-index, Ap-index f10.7 และค่าความถี่วิกฤติ ตามลำดับ ซึ่งหลังจากได้ข้อมูลมาจึงต้องทำการปรับแต่งข้อมูลก่อนที่จะฝึกฝนข้อมูลด้วยเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ โดยมีขั้นตอนดังนี้

- 1.) ทำการหาค่ากลางของค่าความถี่วิกฤติโดยใช้ข้อมูล 27 วันย้อนหลังเพื่อหาค่ากลาง แสดงตัวอย่างข้อมูลได้ดังรูปที่ 4.19

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.

	148	149	150	151	152	153	154	155	156	157	158	159	160	161
1	0	0	0	4.9600	4.9600	4.9600	5	5	5	5	5	5	5	5
2	6	5.9600	5.9600	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	5.9600
3	6.0300	6.0300	6.0300	6.1100	6.1100	6.1100	6.1100	6.1100	6.1100	6.1100	6.1100	6.3200	6.1100	6.1100
4	0	0	0	0	5.5500	5.7600	5.8000	5.8000	5.8000	5.8000	5.8000	5.8000	5.8000	5.7600
5	5.5500	5.4400	0	5.4400	5.5500	5.5500	5.5500	5.5500	5.5500	5.5500	5.5500	5.5500	5.5500	5.5500
6	5.3600	0	0	5.3600	5.5500	5.5900	5.5900	5.5900	5.5900	5.5900	5.5900	5.5900	5.5900	5.5900
7	5.8000	5.6300	5.4400	5.4400	5.4400	5.6300	5.7100	5.7100	5.7100	5.7100	5.7100	5.7100	5.7100	5.7100
8	6.1100	5.9200	5.9200	5.9200	5.9200	5.9600	5.9600	5.9600	5.9600	5.9600	5.9600	5.9600	5.9600	5.9600
9	6.4800	6.4000	6.4000	6.4000	6.4000	6.4000	6.4000	6.4000	6.4000	6.4000	6.4000	6.4000	6.4000	6.4000
10	6.5500	5.9200	5.9200	5.9200	5.9200	6.0300	6.0300	6.1100	6.1100	6.1900	6.4800	6.4800	6.5500	6.5500
11	7.2300	7.2300	6.8000	6.8000	6.8000	6.8000	6.8000	6.8000	6.8000	6.8000	6.8000	6.8000	6.8000	6.8000
12	7.3200	7.3200	7.2800	7.2800	7.2800	7.2800	7.2800	7.2800	7.3200	7.3200	7.3200	7.3200	7.3200	7.2800
13	8.0300	8.0300	7.7600	7.7600	7.7600	7.7600	7.7600	7.7600	7.7600	7.9600	7.9600	7.9600	7.9600	7.9600
14	6.3200	5.8400	5.8400	5.9200	6.1500	6.3200	6.3600	6.6700	6.6700	6.6700	6.6700	6.6700	6.6700	6.6700
15	4.8400	4.5100	4.5100	4.8400	4.8800	4.8800	4.8800	4.9200	4.9200	4.9200	4.9200	4.9200	4.9200	4.8800
16	3.6400	3.6400	3.6400	3.6400	3.6400	3.6400	3.6400	3.7900	3.7900	3.7900	3.7900	3.7900	3.7900	3.6400
17	2.7900	2.7900	2.7900	2.7900	2.7900	2.7900	2.7900	2.7900	2.8800	2.8800	2.8800	2.8800	2.8800	2.7900
18	2.2400	2.2400	2.4000	2.4000	2.4800	2.4800	2.4800	2.4800	2.6800	2.6800	2.6800	2.6800	2.6800	2.4800
19	0	0	2.1100	2.1100	2.1100	2.1100	2.2700	2.2700	2.4000	2.4000	2.4000	2.4000	2.4000	2.2700
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24	2.6400	2.5100	2.4800	2.4800	2.4800	2.4800	2.4800	2.4800	2.4800	2.4800	2.4800	2.4800	2.4400	2.4400

รูปที่ 4.19 ตัวอย่างข้อมูลค่ากลางของค่าความถี่วิกฤติ

จากรูปที่ 4.19 จะเห็นว่าข้อมูลจะมีค่าที่เป็น 0 อยู่ ดังนั้นเราจึงต้องทำการตัดข้อมูลส่วนนี้ออกเพื่อนำข้อมูลไปฝึกฝนกับโมเดล SVM ให้มีประสิทธิภาพ

- 2.) ตัดข้อมูลในช่วงที่มีค่าความถี่วิกฤติเท่ากับ 0 หรือมีค่าเป็น NAN ออกไป
- 3.) นำค่าของวันที่และเวลามาทำการปรับค่าให้อยู่ระหว่าง -1 ถึง 1 โดยใช้คุณสมบัติความเป็นเชิงเส้นของ sine และ cosine
- 4.) แบ่งระดับการกระจายตัวของข้อมูลค่าความถี่วิกฤติซึ่งมี 3 ระดับ คือ Quiet, Moderate, Severe

โดยจะสามารถแสดงข้อมูลหลังจากการปรับแต่งข้อมูลแล้วดังรูปที่ 4.20

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.

	1	2	3	4	5	6	7
1	0.0172	0.9999	0	1	6	76.7000	2
2	0.0172	0.9999	0.2588	0.9659	6	76.7000	1
3	0.0172	0.9999	0.5000	0.8660	6	76.7000	1
4	0.0172	0.9999	0.7071	0.7071	6	76.7000	1
5	0.0172	0.9999	0.8660	0.5000	6	76.7000	1
6	0.0172	0.9999	0.9659	0.2588	6	76.7000	1
7	0.0172	0.9999	1	6.1232e-17	3	76.7000	1
8	0.0172	0.9999	0.9659	-0.2588	3	76.7000	1
9	0.0172	0.9999	0.8660	-0.5000	3	76.7000	1
10	0.0172	0.9999	0.7071	-0.7071	4	76.7000	1
11	0.0172	0.9999	0.5000	-0.8660	4	76.7000	1
12	0.0172	0.9999	0.2588	-0.9659	4	76.7000	1
13	0.0172	0.9999	1.2246e-16	-1	3	76.7000	1
14	0.0172	0.9999	-0.8660	0.5000	3	76.7000	3
15	0.0344	0.9994	0	1	2	77	2
16	0.0344	0.9994	0.2588	0.9659	2	77	1
17	0.0344	0.9994	0.5000	0.8660	2	77	1
18	0.0344	0.9994	0.7071	0.7071	0	77	1
19	0.0344	0.9994	0.8660	0.5000	0	77	1
20	0.0344	0.9994	0.9659	0.2588	0	77	1
21	0.0344	0.9994	1	6.1232e-17	2	77	1
22	0.0344	0.9994	0.8660	-0.5000	2	77	1
23	0.0344	0.9994	0.7071	-0.7071	2	77	1
24	0.0344	0.9994	0.5000	-0.8660	2	77	1

รูปที่ 4.20 ข้อมูลหลังการปรับแต่งข้อมูล

จากรูปที่ 4.20 เป็นข้อมูลหลังการปรับแต่งข้อมูลโดยแต่ละคอลัมน์หมายถึง DOYS, DOYC HODS, HODC, Ap-index, f10.7 และค่าความถี่วิกฤติหลังจากการแบ่งคลาสของระดับความรุนแรง ตามลำดับ และทำการบันทึกข้อมูลเป็น csv file เพื่อใช้ในการเรียนรู้โมเดล SVM ผ่าน library sklearn ในภาษาไพธอน

2. นำข้อมูลไปเรียนรู้และทำนายในโมเดล Support Vector Machine (SVM)

นำข้อมูลปี 2008 – 2015 ไปเรียนรู้ฝึกฝนผ่าน library sklearn โดยการแบ่งกลุ่มของ SVM ที่ใช้ในการจำแนกข้อมูลแบ่งเป็น 3 ชนิดคือ Linear, Kernel Sigmoid และ Kernel RBF ซึ่งแบ่งข้อมูลเป็น 2 ส่วน ข้อมูลฝึกฝนโมเดล 70% ข้อมูลที่ใช้ทดสอบ 30% ซึ่งสามารถแสดงผลลัพธ์ได้ดังตารางที่ 4.5 – 4.7

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.

ตารางที่ 4.5 ผลการทดลองโมเดล SVM ชนิด Linear

Parameter C	Accuracy (%)
1	54.56
50	55.27
100	58.21
200	61.74

ตารางที่ 4.6 ผลการทดลองโมเดล SVM ชนิด Kernel Sigmoid

Parameter C	Accuracy (%)
1	86.88
50	87.62
100	87.62
200	87.60
500	87.61

ตารางที่ 4.7 ผลการทดลองโมเดล SVM ชนิด Kernel RBF

Parameter C	Accuracy (%)
1	91.54
50	92.59
100	92.55
200	92.04
500	92.15

จากตารางที่ 4.6 และ 4.7 มีค่าพารามิเตอร์ Gamma ที่ใช้ในการเรียนรู้ด้วยซึ่งกำหนดเป็น Auto โดยหมายถึงค่าพารามิเตอร์ Gamma มีค่าเท่ากับส่วนกลับของจำนวนฟีเจอร์ที่ใช้ในการเรียนรู้ จากตารางแสดงให้เห็นว่าการแบ่งกลุ่มชนิด Kernel RBF นั้นดีกว่าการแบ่งกลุ่มชนิด Linear และ Kernel Sigmoid จากนั้นเลือกโมเดลที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดคือ โมเดล Kernel RBF ที่มีพารามิเตอร์ C =50 เพื่อทดสอบกับกลุ่มข้อมูลปี 2016 ซึ่งเป็นกลุ่มข้อมูลที่ไม่ได้ไปเรียนรู้ซึ่งได้ผลลัพธ์ดังตารางที่ 4.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

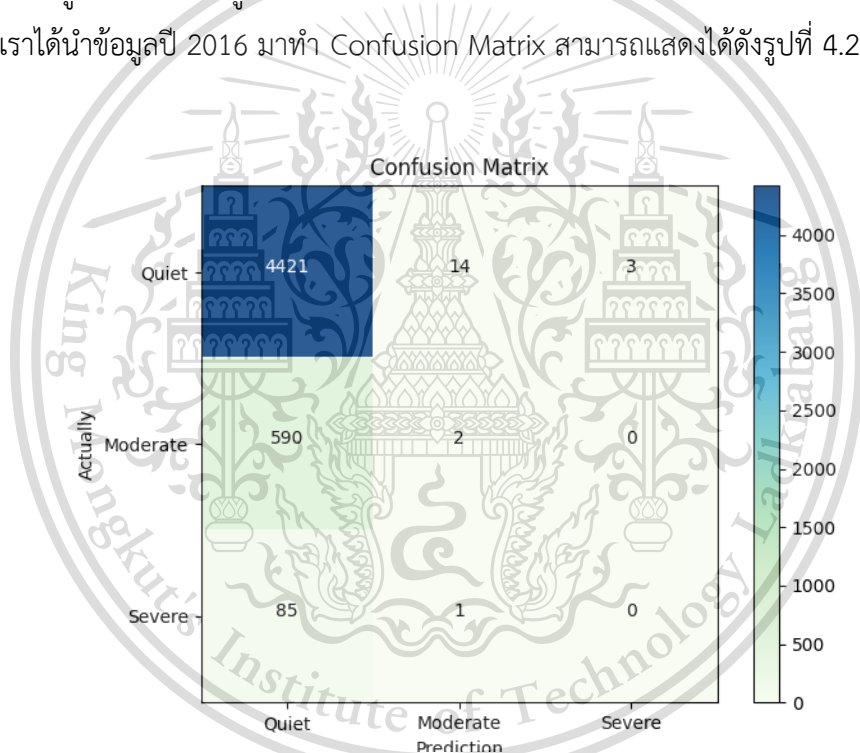
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

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

ตารางที่ 4.8 ผลการทดสอบโมเดล SVM ชนิด Kernel RBF กับชุดข้อมูลปี 2016

วันที่ทดสอบปี 2016	Accuracy (%)
37	79.16
44	87.50
167	91.60
170	87.50

จากตารางที่ 4.8 พบว่า เมื่อนำโมเดล SVM ชนิด Kernel RBF ทดสอบกับข้อมูลที่ไม่ได้นำเข้าไปเรียนรู้พบว่า มีความถูกต้องค่อนข้างไม่คงที่เนื่องจากสภาพอากาศของแต่ละวันไม่เหมือนกัน และทางเราได้นำข้อมูลปี 2016 มาทำ Confusion Matrix สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.21



รูปที่ 4.21 Confusion Matrix ของโมเดล SVM ชนิด Kernel RBF

จากรูปที่ 4.21 พบว่าในระดับ Quiet การทำนายของโมเดล SVM ชนิด Kernel RBF มีความถูกต้องสูงกว่า Moderate และ Severe แต่โดยรวมของข้อมูลนั้นโมเดล SVM ข้อมูลปี 2016 ที่เรานำมาทดสอบมีความถูกต้องอยู่ที่ 86.45%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

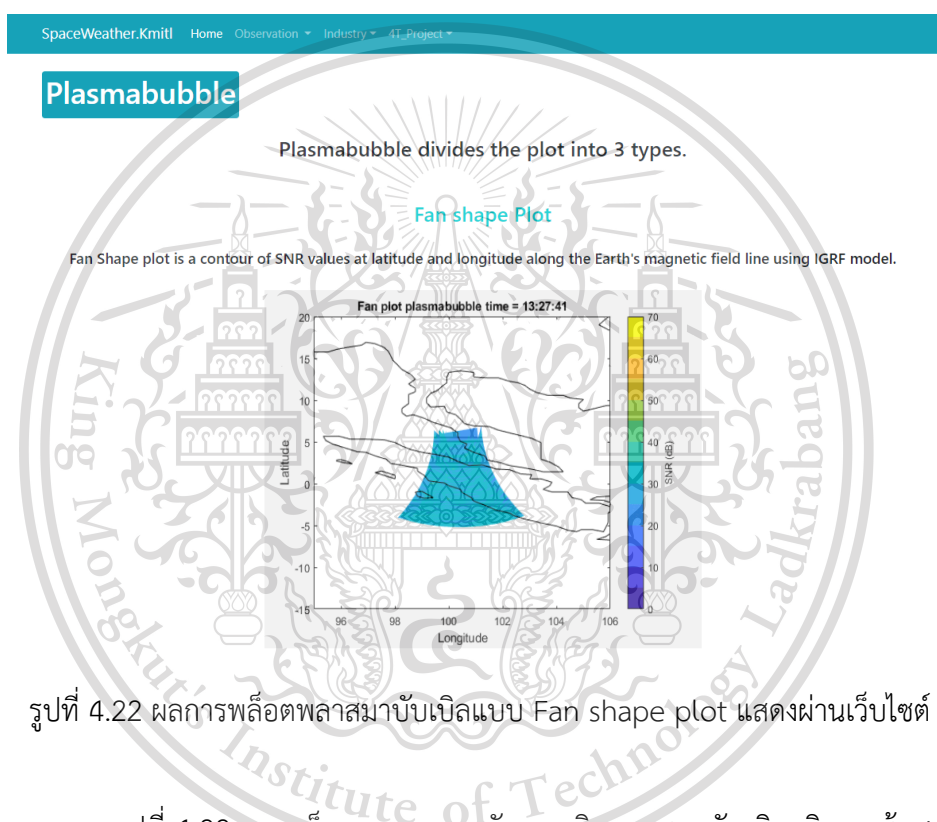
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.4 การแสดงผลผ่านเว็บไซต์

ในส่วนของคุณข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการแสดงผลผ่านเว็บไซต์จะทำการจัดเก็บอยู่ในรูปแบบไฟล์ PHP และจัดเก็บลงในเซิร์ฟเวอร์ แบ่งออกเป็น 3 ส่วนประกอบด้วย

4.4.1 หน้าเว็บไซต์ระบบตรวจจับพลาสมาบับเบิลบริเวณเส้นศูนย์สูตร

หน้าที่แสดงถึงการเปรียบเทียบกับความแม่นยำเมื่อระบบสามารถตรวจจับการเกิดพลาสมาบับเบิลบริเวณเส้นศูนย์สูตรซึ่งจะแสดงการพล็อตทั้ง 3 รูปแบบ โดยแสดงได้ดังรูปที่ 4.21



รูปที่ 4.22 ผลการพล็อตพลาสมาบับเบิลแบบ Fan shape plot แสดงผ่านเว็บไซต์

จากรูปที่ 4.22 การพล็อตระบบตรวจจับการเกิดพลาสมาบับเบิลบริเวณเส้นศูนย์สูตรในรูปแบบ Fan shape plot เป็นรูปแบบการเคลื่อนที่ของ EPB ที่ตรวจจับได้ในแต่ละช่วงเวลาบนแผนที่ประเทศอินโดนีเซีย

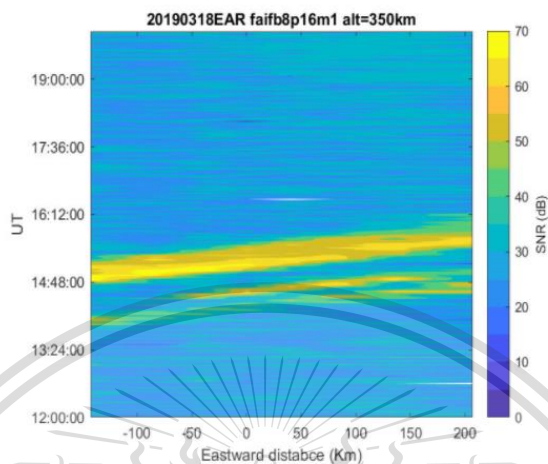
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

Keogram Plot

Keogram plot is a plot to see the direction of movement and the speed of the EPB
it plots the contour in the form of an SNR value at an altitude of 350 kilometers with time and Eastward Distance
which is the distance along the East axis.



รูปที่ 4.23 ผลการพล็อตพลาสมาบับเปิดแบบ Keogram แสดงผ่านเว็บไซต์

จากรูปที่ 4.23 การพล็อตระบบตรวจจับการเกิดพลาสมาบับเปิดบริเวณเส้นศูนย์สูตรใน
รูปแบบของ Keogram plot เป็นการพล็อตเพื่อใช้ในการดูทิศทางการเคลื่อนที่ และความเร็วของ EPB ที่
ความสูง 350 กิโลเมตร

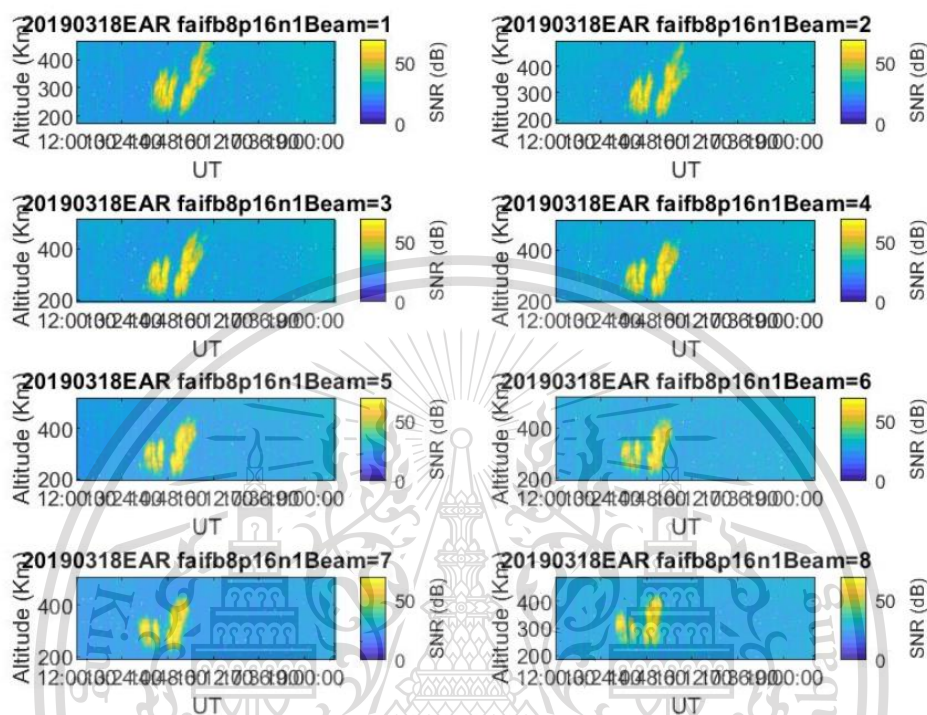
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

RTI Plot

RTI plot Contour plot in the form of SNR values at different altitudes when plotted as RTI Plot.
Which will split the beam shot into 2 rounds



รูปที่ 4.24 ผลการพล็อตพลาสมาบีมแบบ RTI แสดงผ่านเว็บไซต์

จากรูปที่ 4.24 การพล็อตระบบตรวจจับการเกิดพลาสมาบีมบริเวณเส้นศูนย์สูตรในรูปแบบของ RTI plot เป็นการพล็อต Contour ในรูปแบบของค่า SNR ที่ เวลากับความสูงจากพื้นดินของแต่ละ Beam

4.4.2 หน้าเว็บไซต์แผนที่ Outage Frequency Map

เป็นหน้าที่แสดงค่าการกระจายตัวเทียบกับค่าความถี่วิกฤตในปัจจุบัน ณ บริเวณประเทศไทย ที่ความสูง 350 กิโลเมตร ละติจูด 0 – 25 องศา และลองจิจูดที่ 90 – 125 องศาแสดงได้ดังรูปที่ 4.25

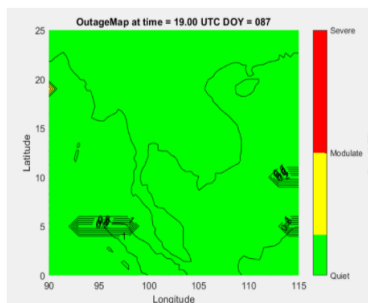
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

Outage Map

Outage Frequency Map around Thailand at altitude of 350 kilometers
Latitude 0 - 25 degrees and longitude at 90 - 125 degrees.



Usage

The dispersion value is divided into 3 levels.

- dispersion value not more than 30% at the Quiet.
- dispersion value is between 30-50% at the Modulate.
- dispersion value is over 50% at the Severe.

รูปที่ 4.25 ผลการแสดงผลของแผนที่ Outage Frequency Map

จากรูปที่ 4.25 เป็นแสดงแผนที่ Outage Frequency ณ บริเวณประเทศไทย แสดงถึงค่าการกระจายตัวของค่าความถี่วิกฤต (f_oF_2) ที่ความสูง 350 กิโลเมตร ละติจูด 0 – 25 องศา ลองจิจูดที่ 90 – 125 องศา และมีการแบ่งระดับความรุนแรงของค่าการกระจายตัวเป็น 3 ระดับ เพื่อบอกถึงระดับการกระจายตัวของค่าความถี่วิกฤตว่าคนใช้งานแผนที่ Outage Frequency ควรใช้ความถี่ในช่วงนั้นหรือไม่

4.4.3 หน้าเว็บไซต์แสดงปริมาณอิเล็กทรอนิกส์บนชั้นบรรยากาศ

สถานีที่ทำนายปริมาณอิเล็กทรอนิกส์บนชั้นบรรยากาศทั้ง 12 สถานี ณ บริเวณประเทศไทย และแสดงค่าปริมาณอิเล็กทรอนิกส์บนชั้นบรรยากาศที่ทำนายเปรียบเทียบกับค่ากลางของแต่ละสถานีสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

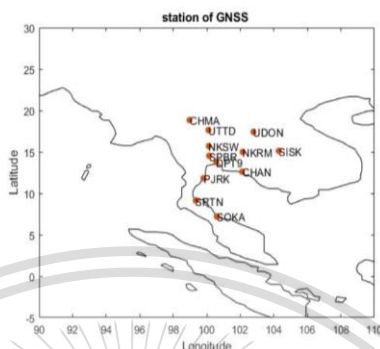
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

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

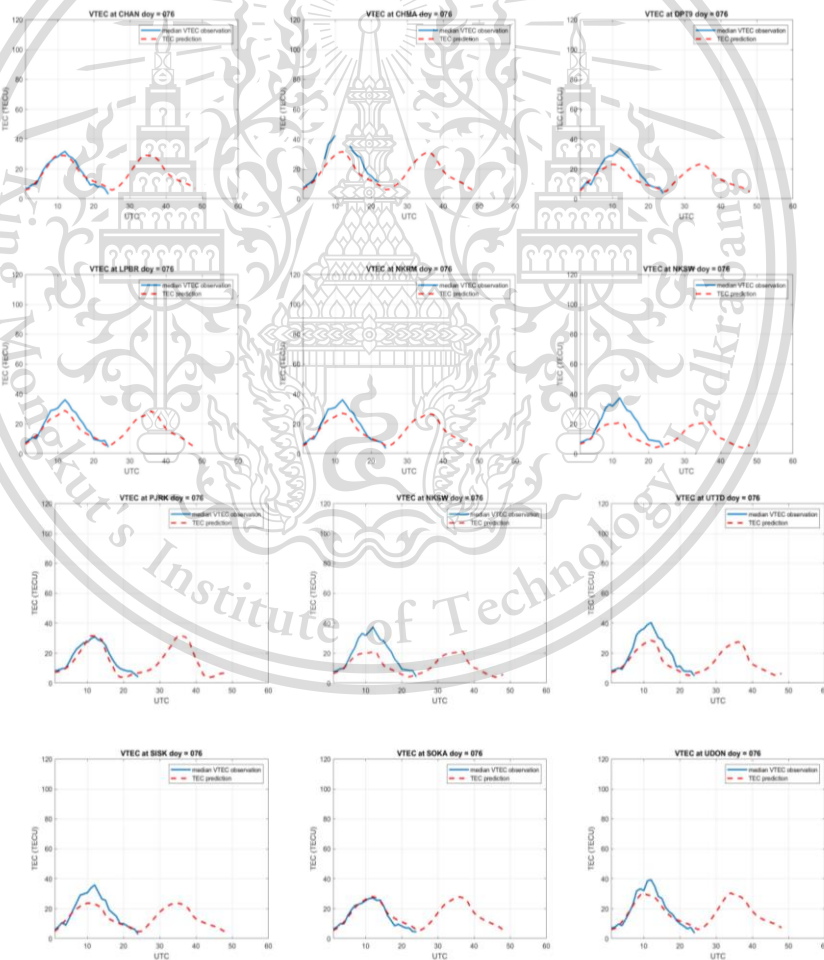
Total Electron Content

Total electron content (or TEC) is an important descriptive quantity for the ionosphere of the Earth. TEC is the total number of electrons integrated between two points, along a tube of one meter squared cross section, i.e., the electron columnar number density. It is often reported in multiples of the so-called TEC unit, defined as $TECU=10^{16}$ el/m²

GNSS station over Thailand



VTEC prediction over Thailand GNSS station



History TEC prediction plot

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งรูปที่ 4.26 หน้าเว็บไซต์แสดงปริมาณอิเล็กทรอนิกส์รวมบนชั้นบรรยากาศ ครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

จากรูป 4.26 คือสถานีทั้งหมดในประเทศไทยที่ทางเราได้ทำการทำนายค่าของ VTEC เพื่อให้ผู้ใช้งานได้ทราบถึงค่าของ VTEC ในแต่ละสถานีล่วงหน้า 24 ชั่วโมง ซึ่งมีทั้งหมด 12 สถานี



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

โครงการนี้เป็นกรออกแบระบบการทำนายสภาพอากาศด้วยเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ บริเวณประเทศไทย โดยการศึกษาชั้นบรรยากาศนี้มีค่าพารามิเตอร์สำคัญ ๆ ได้แก่ ปริมาณอิเล็กตรอนสุทธิ (Total Electron Content, TEC) ค่าความถี่วิกฤต (Critical frequency, foF2) และการเกิดปรากฏการณ์พลาสมาบับเบิล โดยในส่วนของการทำงานค่า TEC ได้ผลสรุปว่าแบบจำลองของ LSTM ที่ใช้ในการทำนายค่า TEC มีการทำนายที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดทั้งในเวลาที่เป็นช่วงปกติ และผิดปกติของดวงอาทิตย์เมื่อเปรียบเทียบกับแบบจำลองของ Neural Network และ IRI-2016 ดังนั้นการทำนายค่า TEC ในโครงการนี้จะใช้แบบจำลอง LSTM ในการทำนายค่า TEC รายวัน และในส่วนของระบบตรวจจับพลาสมาบับเบิล ได้มีการตรวจจับโดยใช้เรดาร์ย่านความถี่สูงในการตรวจจับโดยแบ่งรูปแบบการตรวจจับเป็น 3 รูปแบบประกอบด้วย 1.การตรวจจับในรูปแบบของ RTI 2.การตรวจจับในรูปแบบของ Keogram 3.การตรวจจับในรูปแบบของ Fan Shape และสุดท้ายคือแผนที่ Outage frequency ซึ่งแสดงถึงค่ากระจายตัวของค่าความถี่วิกฤต (foF2) ณ บริเวณประเทศไทย โดยผลลัพธ์ที่กล่าวมาข้างต้นจะทำการจัดเก็บลงบนเซิร์ฟเวอร์ และแสดงผลผ่านเว็บไซต์

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ส่วนของระบบการตรวจจับ plasma bubble ควรมีการทดสอบกับเรดาร์ย่านความถี่สูง ณ สถานีชุมพร เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการตรวจจับ plasma bubble ณ บริเวณประเทศไทย

5.2.2 ส่วนของแผนที่ Outage frequency ควรพัฒนาโดยการใช้ค่าความถี่วิกฤต (foF2) ที่เป็นค่าจริงเนื่องจากปัจจุบันค่าความถี่วิกฤตยังใช้ค่าที่ทำนายมาจาก IRI2016 โมเดล

5.2.3 ส่วนของการทำงานค่ากลาง TEC ควรพัฒนาการทำนายในช่วงเวลาที่ผิดปกติของดวงอาทิตย์ให้มีความถูกต้องมากขึ้น

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] B. B. Rana, N. P. Chapagain, B. Adhikari, D. Pandit, K. Pudasainee, S. Chapagain, D. Chhatkuli, "Study of Total Electron Content-TEC and electron density profile during geomagnetic storms," JNPS, Vol. 5, No. 1, pp. 59-66, 2019.
- [2] P. Supnithi, A. Bumrungrkit, "Preliminary results of EPB impact on GBAS performance," 2019 34th International Technical Conference on Circuits/Systems, Computers and Communications (ITC-CSCC), pp. 1-3, 2019.
- [3] A. Bumrungrkit, "191203-VHF radar analysis" lecture in study class, 2019.
- [4] P. Misra and P. Enge, "Global positioning system: signals, measurements, and performance," Ganga-Jamuna Press, 2012.
- [5] White Paper, "Using GNSS raw measurements on android devices," European GNSS Agency, 2017.
- [6] A. Belehaki, N. Jakowski, and B. W. Reinisch, "Plasmaspheric electron content derived from GPS TEC and digisonde ionograms," Advances in Space Research, Vol. 33, No. 6, pp. 833-837, 2004.
- [7] "International GNSS Service," [Online].
Available: <http://www.igs.org/>
- [8] K Rawer, D Bilitza, "International Reference Ionosphere: IRI-90," Advances in space research, 1990.
- [9] N. Wang, Y. Yuan, Z. Li, et al. "Impact of ionospheric correction on single-frequency GNSS positioning," Proceedings of CSNC 2013, pp. 471-486, 2013.
- [10] Prof. Dr. Pornchai Supnithi, "Aero Communication and Satellite System (Coordinate and Satellite Orbis)," 2020.
- [11] M. Pietrella and M. Pezzopane, "Maximum Usable Frequency and Skip Distance maps over Italy," Advances in Space Research, Vol. 66, No. 2, pp. 243-258 2020.
- [12] L.A McKinnell and A.W.VPoole "The development of a neural network based short term foF2 forecast program," Physics and Chemistry of the Earth, Part C: Solar, Terrestrial & Planetary Science, Vol. 25 No. 4, 2000.
- [13] F. dos Santos Prol, "Tomographic Imaging of Ionospheric Plasma Bubbles Based on GNSS and Radio Occultation Measurements," Remote Sens, Vol. 10, No. 10, pp. 1529, 2018.

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ขึ้นด้านการค้า
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.

- [14] R. Athieno, P. T. Jayachandran, and D. R. Themens “A neural network-based foF2 model for a single station in the polar cap,” *Radio Science*, Vol. 52, No. 6, pp. 784-796, 2017.
- [15] N. Bergeot, J. Legrand, R. Burston, and C. Bruyninx, “Correlation between solar activity and Earth's ionospheric electron content during the 23rd solar cycle,” *Space Physics*, Vol. 123, No.6, pp. 5223-5231, 2018.
- [16] Y. Hua, Z. Zhao, R. Li, X. Chen, Z. Liu, and H. Zhang, “Deep Learning with Long Short-Term Memory for Time Series Prediction,” *IEEE Communications Magazine*, Vol. 57, No. 6, pp. 114-119, 2019.
- [17] C. Cesaroni, L. Spogli, A. Aragon-Angel, M. Fiocca, V. Dear, G. De Franceschi, and V. Romano, “Neural network-based model for global Total Electron Content forecasting,” C. Cesaroni et al.: *J. Space Weather Space Clim.*, Vol. 10, No. 1, 2020.
- [18] W. Li, D. Zhao, C. He, A. Hu, and K. Zhang, “Advanced Machine Learning Optimized by The Genetic Algorithm in Ionospheric Models Using Long-Term Multi-Instrument Observations,” *Remote Sens*, Vol. 12, No.5, pp.866, 2020.
- [19] J. Chum, K. Podolská, J. Ruzs, J. Baše and N. Tedoradze, “Statistical investigation of gravity wave characteristics in the ionosphere,” *Earth, Planets and Space*, Vol.73, No.1, 2021
- [20] W. Li, D. Zhao, C. He, Y. Shen, A. Hu, K. Zhang, “Application of a multi-layer artificial neural network in a 3-D global electron density model using the long-term observations of cosmic, Fengyun-3C and Digisonde” ,*Space weather*, Vol. 19, 2021.

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.

1. โปรแกรมที่ใช้ในงาน

<https://github.com/earrth/projectTelecom-4T.git>

2. เอกสารที่ทำการตีพิมพ์

Construction of LSTM model for total electron content (TEC) prediction in Thailand

1st Pathorn Chimsuwan
School of Engineering
King Mongkut's Institute of Technology
Ladkrabang
Thailand, Bangkok 10520
email: 60010783@kmitl.ac.th

2nd Pornchai Supnithi
School of Engineering
King Mongkut's Institute of Technology
Ladkrabang

Thailand, Bangkok 0520
email: pornchai.su@kmitl.ac.th

3rd Watid Phakphisut
School of Engineering

King Mongkut's Institute of Technology
Ladkrabang

Thailand, Bangkok 10520
email: watid.ph@kmitl.ac.th

4th Lin Min Min Myint
School of Engineering

King Mongkut's Institute of Technology
Ladkrabang

Thailand, Bangkok 10520
email: linminmin.my@kmitl.ac.th

Abstract—Total electron content (TEC) is an important parameter often used to explain the ionosphere characteristics and disturbances. Severe local disturbance often originates in the equatorial region then expand to low- and mid-latitude regions. Vertical TEC (VTEC as well as slant TEC (STEC) modeling's and predictions attract attention from researchers worldwide since they are essential for characterization and warning to users. Therefore, in this work, we design a local VTEC prediction model based on the Long-Short Term Memory (LSTM) Neural Network by using the GPS data from 12 stations in Thailand. The results show that the root mean square error (RMSE) of LSTM loopback 24 together with the 120 hidden layers from all stations in 2008-2016 is the best model. The RMSE of the proposed model from the actual VTEC reach about 3.26 TECu, less than that from the IRI 2016 model at 6.5 TECu. In addition, the R-square values of the proposed model and the IRI 2016 model reach 78.33% and 63.7892%, respectively, during storm and quiet periods in 2020. The designed LSTM model is a promising method to predict VTEC in this region.

Keywords— Long-Short Term Memory (LSTM), Vertical Total Electron Content (VTEC), IRI-model

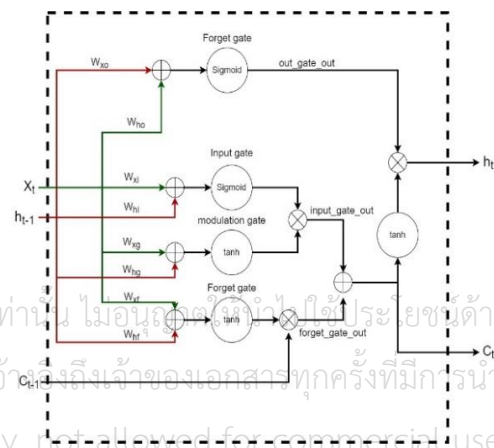
Introduction

Ionosphere is the ionized medium of the satellite signal propagation path to receivers. The local and global ionospheric disturbances are known to affect HF critical frequency, VHF radar, and navigation systems for aviation, smart agriculture as well as autonomous driving [1]. To characterize the ionosphere as well as measure the ionospheric delay, total electron content (TEC) is often computed. This disturbance is well known to reduce the accuracy of system, such as satellite positioning, navigation. Therefore, TEC prediction is important and essential for performance improvement as mentioned above. Previous works have proposed prediction models such as the basis function neural networks [2-3] to predict the trends of TEC. Although they predict the trends of TEC relatively well the drawback is in prediction of the actual TEC during the local

disturbed periods as often found in equatorial and low-latitude regions.

Furthermore, long-short term memory (LSTM) technique has recently been designed to forecast single-point TEC [4]. The neural network has been extremely successful to predict multipoint TEC by using long term data in training. [5] Neural networks still cannot characterize abnormal equatorial ionospheric conditions [6-7]. Hence, the objective of this paper is to design a VTEC prediction based on LSTM model with time stamp or loopback algorithm [8]. It trains the long-term data and is shown to improve predictions during storm periods [8]. The main parameters of the predicted application consist of sunspot number, Dst-index, and F10.7 [9] that is solar activity. We perform LSTM to predict related multipoint VTEC and make comparison the performances with global IRI 2016 model.

The outline of this paper is as follow. Section 2 describes the principal theory of LSTM as well as the dataset used to train model. Section 3 shows the results from training and compares them with VTEC from IRI 2016 and VTEC from GPS signal at quiet and storm periods In Section 4, the conclusion of this work is made.



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

Fig. 1 Structures of LSTM cell.

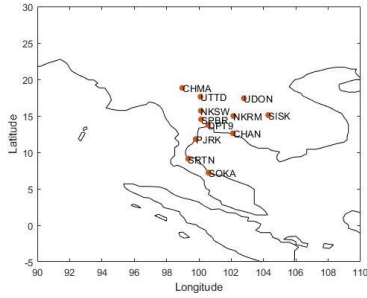


Fig. 2 GNSS stations (under consideration) over Thailand region.

Long short-term memory Method and Dataset

Long short-term memory (LSTM)

LSTM is a popular method in the field of deep learning, which is more effective for the sequential data prediction which large number of simple processing called neurons, units, cells, or node. An advantage of LSTM over other neural network approach lies in the prediction of current data are dependent on long past data. There must be one input, one output and at least one LSTM cell. In LSTM, there are 4 types of gates: input gate, modulation gate, forget gate and output gate. In Fig. 1, we use an infrastructure called feed forward with a back propagation error by using gradient descent [4]. An LSTM layer maps the input sequence $\mathbf{x}_i = (x_1, x_2, x_3, \dots, x_i)$ to output sequence $\mathbf{h}_i = (h_1, h_2, h_3, \dots, h_i)$. To indicate the optimal LSTM model, we use the root-mean-square error (RMSE) and R-square which are defined as

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (TEC_{pred,i} - TEC_{meas,i})^2} \quad (1)$$

and

$$R_{squared}(\%) = \left(1 - \frac{\sum_i (y_i - \bar{y})^2}{\sum_i (y_i - \bar{y})^2}\right) * 100 \quad (2)$$

where N and i are the number of data points, $TEC_{pred,i}$ is the predicted Vertical TEC (VTEC) by LSTM model, $TEC_{meas,i}$ is the VTEC estimated from the actual GPS data combinations, y_i is the $TEC_{meas,i}$, \hat{y}_i is the $TEC_{pred,i}$ and \bar{y} is the mean value of TEC_{pred} .

Datasets

In this paper, the TEC from multiple stations in Thailand as shown in Fig 2. The datasets are divided into 3 types: training validating and testing whereby the TEC data from 2008 to 2016 are for the training and validating, and the data in 2020 are for testing.

The considered input space that impacts TEC include hour number (HR, diurnal variation), day number (DN, seasonal variation), latitude (lat, latitude of station), longitude (lon, longitude of station), sunspot number averaged on 27 days (RZ-12), Dst index averaged on 27 days and F10.7 values averaged on 27 days. To make the data continuous for HR and DN, the principle of cosine and sine components [2] are used, i.e.,

$$\begin{aligned} DNS &= \sin\left(\frac{2\pi DN}{365.25}\right), & DNC &= \cos\left(\frac{2\pi DN}{365.25}\right) \\ HRS &= \sin\left(\frac{2\pi HR}{365.25}\right), & HRC &= \cos\left(\frac{2\pi HR}{365.25}\right) \end{aligned}, \quad (3)$$

where DNS, DNC, HRS, HRC are the sine and cosine components of DN and HR, respectively. In the LSTM model, the target (output) is VTEC. The prediction models are tested with three conditions: loop back 1 is the data input sequence in 1 hour (\mathbf{x}_i) to predict output sequence in 1 hour (\mathbf{h}_i), loop back 12 is the data input sequence in 12 hour ($x_{i-11}, x_{i-10}, \dots, x_i$) to predict output sequence (\mathbf{h}_i), and loopback 24 is the data input sequence in 24 hour ($x_{i-24}, x_{i-23}, \dots, x_i$) to predict output sequence in (\mathbf{h}_i) as shown in Fig. 3.

Results and discussions

In this section, we divide results into three parts. First, loopback comparison performance is made to select the best model to predict multi point VTEC. Second, comparison performance between the best model and the IRI model [2]. Finally, we show hourly comparison between storm and quiet periods based on the Dst index.

(a) Loopback parameter selection

We compare the performance of LSTM models with loopback values of 1, 12 and 24, respectively, representing the number of past data (hours) used in the training to select the best prediction model. From Fig. 4, we find that the loopback of 24 and 120 hidden nodes gives is the best model which yields the RMSE of 2.49 TECu from training process.

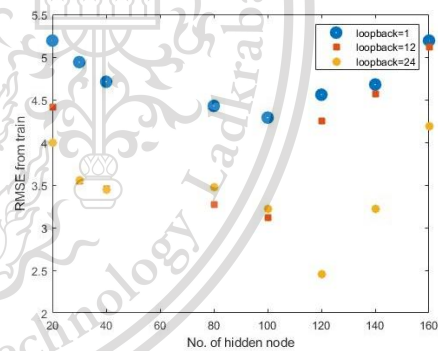


Fig. 4. RMSE of loopback 1, 12, 24 together with the 20 to 160 hidden layers from all stations in 2008-2016

(b) Performance comparison of between LSTM prediction and IRI model prediction.

We select the LSTM model from the previous training and compare the seasonal variation between the LSTM model and the IRI model (the upper boundary height is set to be 2,000 km). The result that prediction of TEC in year 2020 measures the performance by checking mean of RMSE and R-square. The overall evaluation results for the LSTM model and IRI-model at each station are in Table 1. For example, The RMSE of LSTM model at CHAN station is 3.2591 TECu, but the RMSE of the IRI-2016 model is 11.2024 TECu. The R-square is 74.5144 % that is lower than IRI 2016 at 61.7782 %, as well. By comparison, the LSTM model gives RMSE of 3.2591 to 5.4150 TECu, R-

square of 51.2234% to 78.3333%. Moreover, the bar charts in Fig. 5 compare the RMSE and R-square between the LSTM model and the IRI-2016 model. It is clear that the LSTM model outperforms the IRI-2016 model.

(c) *Hourly comparison*

We select 7-day data from three stations (SOKA, DPT9, LPBR) at quiet and storm periods and compare the corresponding RMSE between the proposed LSTM model and the IRI-2016 model. Figure 6 (a) shows the hour comparison of VTEC prediction by the LSTM model and

the IRI-2016 model during 1st–8th October 2020 (quiet period). For DPT9 station, both models follow the similar trends, but the RMSE of the LSTM model is 2.1121 TECu at DPT9, while that of the IRI 2016 model is 3.1521 TECu. Figure 6 (b) shows the hourly comparison of VTEC predicted from the LSTM model and the IRI-2016 model during 9th–16th April 2020 (storm period). It can be observed that the RMSE values of LSTM model and the IRI-2016 model are 4.4599 TECu and, 6.2521 TECu, respectively.

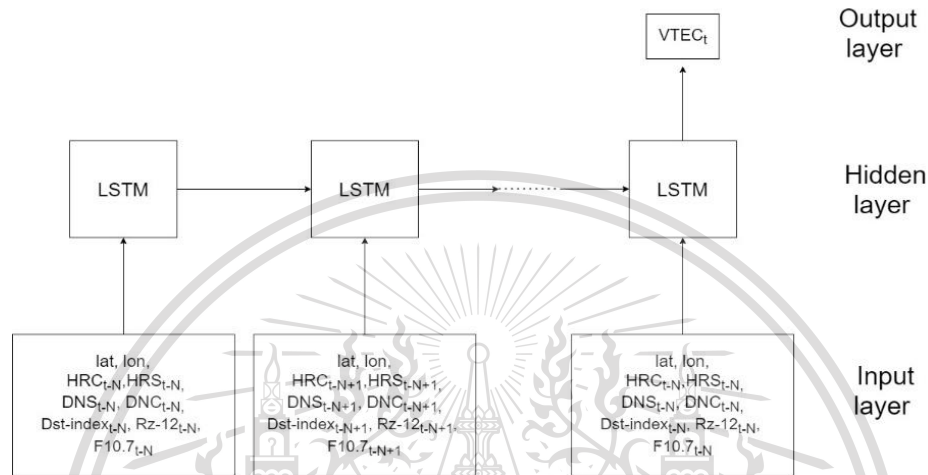


Fig. 3. Network Architecture at loopback N

Table 1

Predicting performance comparison between LSTM model and IRI 2016 by using data in year 2020

Station	LSTM model		IRI 2016	
	RMSE (TECu)	R-square (%)	RMSE (TECu)	R-square (%)
UTTD	4.3591	73.1155	7.3852	53.2314
UDON	5.4150	73.1329	9.2394	53.3351
SRTN	4.2112	72.2299	6.9559	61.6142
SPBR	4.5217	74.3123	7.2361	63.5523
SOKA	4.3312	78.3333	6.5115	63.7892
SISK	4.0059	75.4545	8.3526	61.8877
PJRK	5.2299	75.1122	8.4182	58.1423
NKSW	5.2243	70.7821	8.2024	58.1326
NKRM	5.9923	78.5932	10.2024	58.9823
DPT9	4.2213	51.2213	6.2024	62.2578
CHMA	4.7219	77.2173	9.2024	61.1114
CHAN	3.2591	74.5144	11.2024	61.7782

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.

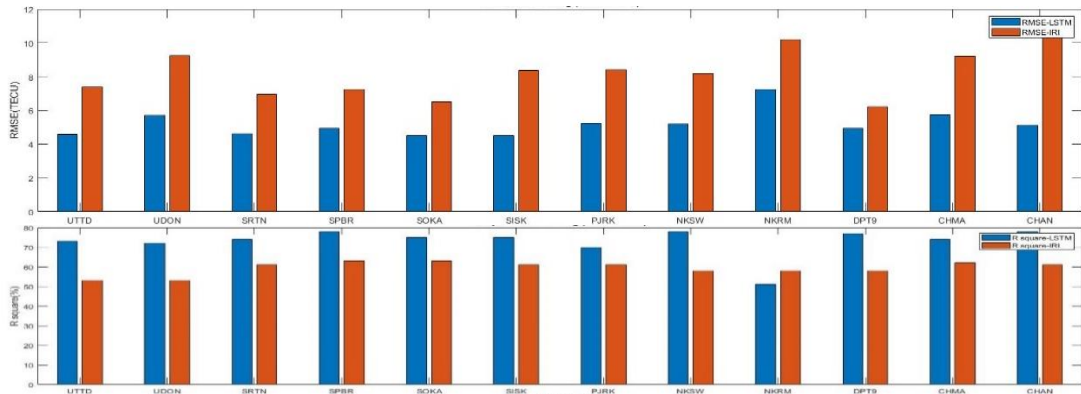


Fig. 5. Bar graph RMSE (upper) and R-square (lower) of predicted values and measured values from LSTM model and IRI 2016 model.

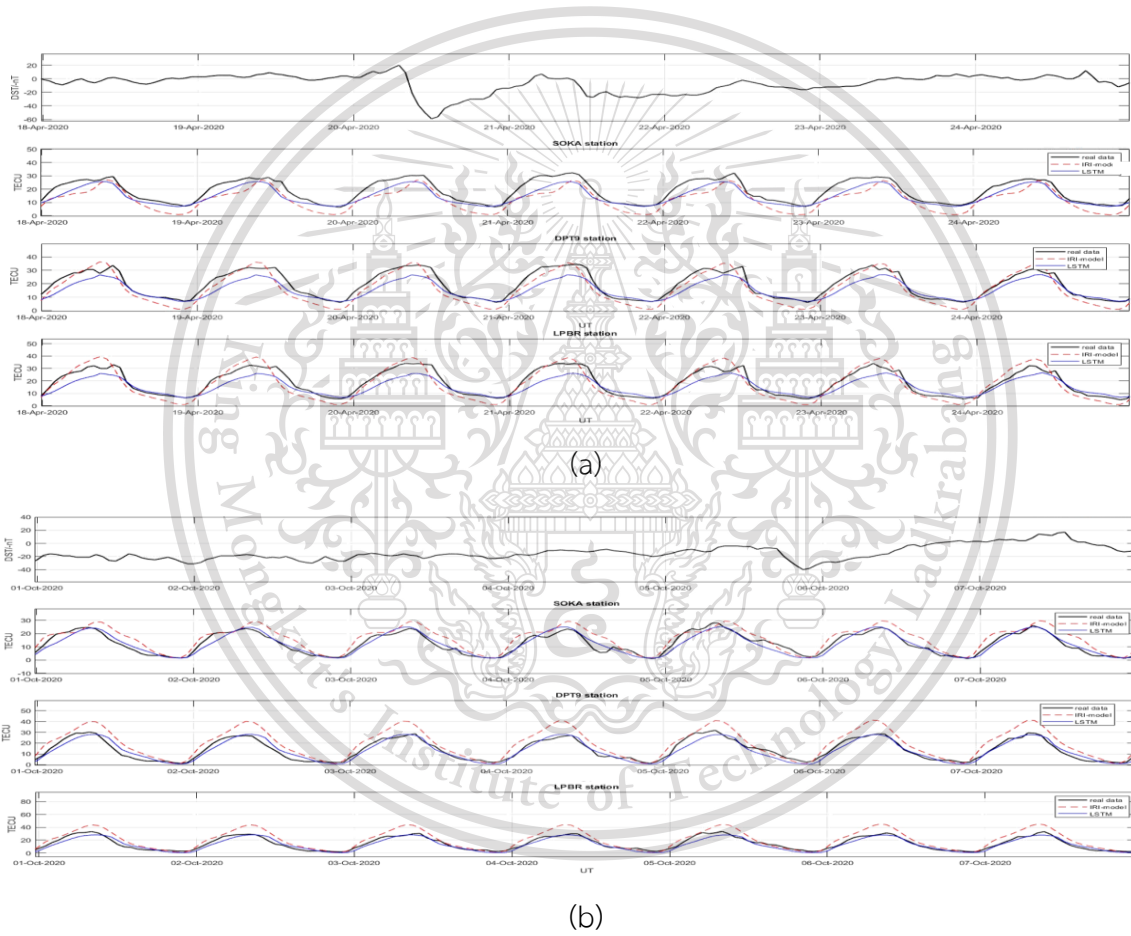


Fig. 6. Comparison of TEC between the LSTM model and the IRI-2016 model during (a) quiet period and (b) storm period.

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.

Conclusion

In this work, we design an LSTM model for multipoint VTEC prediction during quiet and disturbed periods. The input parameters of the LSTM model include latitude, longitude, day number, hour number and solar parameters (Rz-12, Dst-index, F10.7).

Both the proposed LSTM model and the IRI-2016 model follow similar trends, but the LSTM models yield lower RMSE and higher R-square. The proposed model can provide good prediction for both daytime and nighttime.

To improve models in the future we will decrease RMSE values from LSTM model during storm period and provide automatic prediction daily.

References

- [1] K.Watthanasangmechai, P. Supnithi, S. Lerkvanranyu, T.Nagatsuma and T. Maruyama, "TEC prediction with network for equatorial latitude station in Thailand," *Earth Planets Space*, vol. 64, pp. 473-483, 2012.
- [2] D. Bilitza, *International Reference Ionosphere 2000*, *Radio Science*, vol. 36, no.2, pp. 261-275, March/April 2001.
- [3] D. Buresova, B. Nava, I. Galkin, M. Angling, Stanimir M. Stankov, and P. Coisson, "Data ingestion and assimilation in ionospheric models", *Annals of Geophysics*, vol. 52, no.3/4, June/August 2009.
- [4] W. Sun , L. Xu, X. Huang, W. Zhang, T. Yuan, and Z. Chen, "Forecasting of ionospheric vertical total electron content (TEC) using LSTM networks," 2017 *International Conference on Machine Learning and Cybernetics (ICMLC)*, 9-12 July 2017.
- [5] R. SongXuemin, Z. Chen, Z. Liu, J. He, "Predicting TEC in China based on the neural networks optimized by genetic algorithm", vol. 62, Issue 4, 15 August 2018, pp. 745-759.
- [6] W. Li, D. Zhao, C. He, A. Hu, and K. Zhang, "Advanced Machine Learning Optimized by The Genetic Algorithm in Ionospheric Models Using Long-Term Multi-Instrument Observations" *Remote Sens.* 2020, 12, 866;
- [7] C. Cesaroni, L. Spogli, A. Aragon-Angel, M. Fiocca, V. Dear, G. De Franceschi, and V. Romano, "Neural network based model for global Total Electron Content forecasting", C. Cesaroni et al.: *J. Space Weather Space Clim.* 2020, 10, 11
- [8] Y. Hua, Z. Zhao, R. Li, X. Chen, Z. Liu, and H. Zhang, "Deep Learning with Long Short-Term Memory for Time Series Prediction", *Neural and Evolutionary Computing (cs.NE); Machine Learning (cs.LG)*, 24 Oct 2018.
- [9] N. Bergeot, Juliette Legrand, Robert Burston, and Carine Bruyninx, "Correlation between solar activity and Earth's ionospheric electron content during the 23rd solar cycle," *IEEE Transl. J. Magn. Japan*, vol. 2, pp. 740-741, August 1987 [Digests 9th Annual Conf. Magnetism Japan, p. 301, 1982.

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.