



การสร้างเงื่อนไขเริ่มต้นในการพยากรณ์อากาศ

สุนิสา สายอุปราช

งานวิจัยได้รับทุนสนับสนุนจากงบประมาณเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2562
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร



The generate of initial conditions for weather predictions

Sunisa Saiuparad

This Research in Funded by Faculty of Science and Technology
Rajamangala University of Technology Phra Nakhon
Year 2019

ชื่อเรื่อง	การสร้างเงื่อนไขเริ่มต้นในการพยากรณ์อากาศ
ผู้วิจัย	นางสาวสุนิสา สายอุปราช
ปีที่ทำวิจัย	พ.ศ. 2562

บทคัดย่อ

การพยากรณ์อากาศมีความจำเป็นมากเพื่อคาดเดาสถานการณ์ของสภาพอากาศที่จะเกิดขึ้นในอนาคต สิ่งที่สำคัญในการพยากรณ์คือแบบจำลองที่ใช้ในการพยากรณ์อากาศ และตัวแปรที่ใช้ในการพยากรณ์ ซึ่งแบบจำลองที่ใช้ในการพยากรณ์นั้นต้องมีความแม่นยำและมีประสิทธิภาพ นอกจากนั้นแล้วตัวแปรที่ใช้ในการพยากรณ์ต้องครอบคลุมและมีความเหมาะสมสามารถเป็นตัวแทนในการพยากรณ์ได้ โดยการสร้างและกำหนดตัวแปรในการพยากรณ์ถือว่ามีความสำคัญเป็นอย่างยิ่ง นั่นคือเงื่อนไขเริ่มต้นในการพยากรณ์ต้องมีความเหมาะสมและน่าเชื่อถือได้ วิธีในการสร้างเงื่อนไขเริ่มต้นในการพยากรณ์มีหลายวิธี ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมในการสร้างตัวแปรของการพยากรณ์ โดยวิธีในการสร้างเงื่อนไขในการพยากรณ์ที่ดีนั้นต้องได้ผลของการพยากรณ์ที่ถูกต้องแม่นยำ

งานวิจัยนี้ได้ทำการสร้างค่าเงื่อนไขเริ่มต้นในการพยากรณ์มรสุมฤดูหนาวด้วยวิธี Kalman Filtering ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้ในการทำนายสถานะของระบบได้หลากหลาย และสามารถทำการสร้างค่าของตัวแปรที่ใช้ในการพยากรณ์ให้มีความใกล้เคียงกันได้หลากหลายสามารถนำไปเป็นตัวแปรเริ่มต้นในการพยากรณ์ได้เป็นอย่างดี ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ทำการพยากรณ์มรสุมฤดูหนาวโดยใช้แบบจำลองน้ำตื้น (Shallow Water Model) และสร้างตัวแปรเริ่มต้นเพื่อใช้ในการพยากรณ์ด้วยวิธี Kalman Filtering และตรวจสอบความถูกต้องของค่าเงื่อนไขเริ่มต้นของตัวแปรโดยใช้ค่าสถิติ Root Mean Square Error (RMSE) ซึ่งผลที่ได้สามารถสรุปได้ว่า วิธี Kalman Filtering สามารถสร้างเงื่อนไขเริ่มต้นในการพยากรณ์มรสุมฤดูหนาวได้

คำสำคัญ : การพยากรณ์/ สภาพอากาศ

Title	The generate of initial conditions for weather predictions
Researcher	Miss Sunisa Saiuparad
Year	2019

Abstract

Weather forecasts are very necessary to predict the future weather conditions. The important thing in forecasting is the model and variables. The model used in the forecasting must be accurate and effective. In addition, the variables used in forecasting must be comprehensive and appropriate to be able to represent the forecast. The initial conditions for forecasting must be appropriate and reliable. There are many methods to generate the initial conditions in forecasting. To generate the initial conditions for winter monsoon prediction with Kalman Filtering method, which is a method, used to predict the status of various systems and able to create values of variables used in forecasting to have a variety of similarities, can be used as a starting variable in forecasting very well. In this research the winter monsoon prediction by the Shallow Water Model and validating the initial conditions by Root Mean Square Error (RMSE). The result of weather prediction in the winter monsoon can be used the Kalman Filtering method for generate the initial conditions.

Keywords: weather / predictions

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยจากงานวิจัย เรื่อง การสร้างเงื่อนไขเริ่มต้นในการพยากรณ์อากาศ ขอขอบพระคุณอธิการบดี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร และคณบดีคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ที่ให้การสนับสนุนทุนวิจัยและอำนวยความสะดวกในการดำเนินการวิจัยในครั้งนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี และขอขอบพระคุณ ดร.ดุสิต สุขวัฒน์ ที่ให้คำแนะนำและเป็นที่ปรึกษาของงานวิจัยในครั้งนี้ นอกจากนั้นขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่งานวิจัยและพัฒนา ผู้ประสานงานวิจัย และหัวหน้างานการเงิน ที่ให้คำแนะนำในขั้นตอนการดำเนินการรายงานความก้าวหน้าในการทำวิจัยและการเบิกจ่ายงบประมาณของการทำวิจัย

ทำยนี้ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และครูอาจารย์ ของผู้วิจัยทุกท่าน ที่คอยให้กำลังใจ ให้ความช่วยเหลือและสนับสนุนจนกระทั่งงานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

สุนิสา สายอุปราช

กันยายน 2562

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย	(ก)
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	(ข)
กิตติกรรมประกาศ	(ค)
สารบัญ	(ง)
สารบัญตาราง	(ฉ)
สารบัญรูปภาพ	(ช)
รายการสัญลักษณ์	(ซ)
คำศัพท์เฉพาะทางและตัวย่อ	(ณ)
1. บทนำ	1
1.1 ความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	1
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	1
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	1
2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	2
2.1 แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	2
2.1.1 The Kalman Filtering	2
2.1.2 ซี่กำลังไลยาปูนอฟ (Lyapunov Exponent: LE)	3
2.1.3 เลขชี้กำลังไลยาปูนอฟเวลาจำกัด (Finite Time Lyapunov Exponent: FTLE)	3
2.2 การทดสอบความแม่นยำในการพยากรณ์	4
2.2.1 ค่าผิดพลาดเฉลี่ยสมบูรณ์ (Mean Absolute Error: MAE)	4
2.2.2 รากกำลังสองเฉลี่ยผิดพลาด (Root Mean Square Error: RMSE)	4
2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3. ระเบียบวิธีการวิจัย	6
3.1 แบบจำลองน้ำตื้น (The Shallow Water Model)	6
3.2 ข้อมูล	6
3.2.1 ข้อมูลที่ใช้ในการประมวลผล	6
3.2.2 ตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง บริเวณที่ใช้ในการทดลอง (The domain)	7
3.2.3 บริเวณที่ใช้ในการทดลอง (The domain)	7
3.3 กระบวนการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูล	8
4. ผลของการทดลอง	9
4.1 การสร้างเงื่อนไขเริ่มต้นในการพยากรณ์มรสุมฤดูหนาว	9
4.2 ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของค่าเงื่อนไขเริ่มต้น โดย The Root Mean Square Error (RMSE)	9
4.3 ผลการพยากรณ์มรสุมฤดูหนาว	10
4.4 ผลของการวัดความถูกต้องของการพยากรณ์มรสุมฤดูหนาว	12
5. สรุปผล และข้อเสนอแนะของการทดลอง	13
5.1 สรุปผลการทดลอง	13
5.2 ข้อเสนอแนะ	13
บรรณานุกรม	14
ประวัติคณะผู้วิจัย	15

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
3.1	ข้อมูลที่ใช้ในการทดลอง	7
4.1	ค่าเงื่อนไขเริ่มต้น จากวิธี Kalman filtering	10
4.2	ค่าของตัวแบบวัดความถูกต้องของการพยากรณ์มรสุมฤดูหนาว	12

สารบัญรูปภาพ

รูปที่		หน้า
2.1	กระบวนการ Kalman Filtering	2
3.1	บริเวณในการศึกษาและพยากรณ์	8
4.1	ค่าเงื่อนไขเริ่มต้นที่สร้างจาก วิธี The Kalman filter	10
4.2	at 12 Dec 2049 at 0000 UTC	11
4.3	at 14 Dec 2049 at 0000 UTC	11
4.4	at 16 Dec 2049 at 0000 UTC	11
4.5	at 18 Dec 2049 at 0000 UTC	12
4.6	12 Dec 2049 at 0000 UTC by Kalman Filter	11
4.7	48-hr forecasts of Kalman Filter	11
4.8	96-hr forecasts of Kalman Filter	11
4.9	144-hr forecasts of Kalman Filter	12

รายการสัญลักษณ์

สัญลักษณ์

T	อุณหภูมิ
$x(u)$	ความเร็วลมในแนวแกน
$y(v)$	ความเร็วลมในแนวแกน
ξ	ความกดอากาศเมื่อเทียบกับระดับน้ำทะเล
$\hat{x}_i$	ค่าพยากรณ์
x_i	ค่าจริง

คำศัพท์เฉพาะทางและตัวย่อ

LE	Lyapunov Exponent
FTLE	Finite Time Lyapunov Exponent
MSE	Mean Square Error
RMSE	Root Mean Square Error
BCCR-BCM2.0	Bjerknes Centre for Climate Research Bergen Climate Model Version 2.0

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความสำคัญของปัญหา

การพยากรณ์อากาศมีความจำเป็นมากเพื่อคาดเดาสถานการณ์ของสภาพอากาศที่จะเกิดขึ้นในอนาคต สิ่งที่สำคัญในการพยากรณ์คือแบบจำลองที่ใช้ในการพยากรณ์อากาศ และตัวแปรที่ใช้ในการพยากรณ์ ซึ่งแบบจำลองที่ใช้ในการพยากรณ์นั้นต้องมีความแม่นยำและมีประสิทธิภาพ นอกจากนั้นแล้วตัวแปรที่ใช้ในการพยากรณ์ต้องครอบคลุมและมีความเหมาะสมสามารถเป็นตัวแทนในการพยากรณ์ได้ โดยการสร้างและกำหนดตัวแปรในการพยากรณ์ถือว่ามีความสำคัญเป็นอย่างยิ่ง นั่นคือเงื่อนไขเริ่มต้นในการพยากรณ์ต้องมีความเหมาะสมและน่าเชื่อถือได้ วิธีในการสร้างเงื่อนไขเริ่มต้นในการพยากรณ์มีหลายวิธี ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมในการสร้างตัวแปรของการพยากรณ์ โดยวิธีในการสร้างเงื่อนไขในการพยากรณ์ที่ค่านั้นต้องได้ผลของการพยากรณ์ที่ถูกต้องแม่นยำ

งานวิจัยนี้ได้ทำการสร้างค่าเงื่อนไขเริ่มต้นในการพยากรณ์มรสุมฤดูหนาวด้วยวิธี Kalman Filtering ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้ในการทำนายสถานะของระบบได้หลากหลาย และสามารถทำการสร้างค่าของตัวแปรที่ใช้ในการพยากรณ์ให้มีความใกล้เคียงกันได้หลากหลายสามารถนำไปเป็นตัวแปรเริ่มต้นในการพยากรณ์ได้เป็นอย่างดี ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ทำการพยากรณ์มรสุมฤดูหนาวโดยใช้แบบจำลองน้ำตื้น (Shallow Water Model) และสร้างตัวแปรเริ่มต้นเพื่อใช้ในการพยากรณ์ด้วยวิธี Kalman Filtering และตรวจสอบความถูกต้องของค่าเงื่อนไขเริ่มต้นของตัวแปรโดยใช้ค่าสถิติ Root Mean Square Error (RMSE)

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อพัฒนาวิธีในการสร้างเงื่อนไขเริ่มต้น (Initial condition) ของการพยากรณ์อากาศ

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. ใช้แบบจำลองน้ำตื้นในการพยากรณ์มรสุมฤดูหนาวบริเวณเอเชียตะวันออกเฉียงใต้
2. ตัวแปรที่ใช้ในการวิจัยคือ ความเร็วลมในแนวแกน x (u), ความเร็วลมในแนวแกน y (v)

และ Geopotential height (z)

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เพื่อพยากรณ์มรสุมฤดูหนาวให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น
2. เพื่อสร้างเงื่อนไขเริ่มต้นในการพยากรณ์ที่มีความถูกต้องสามารถนำมาเป็นค่าเริ่มต้นในการพยากรณ์ที่ดีได้

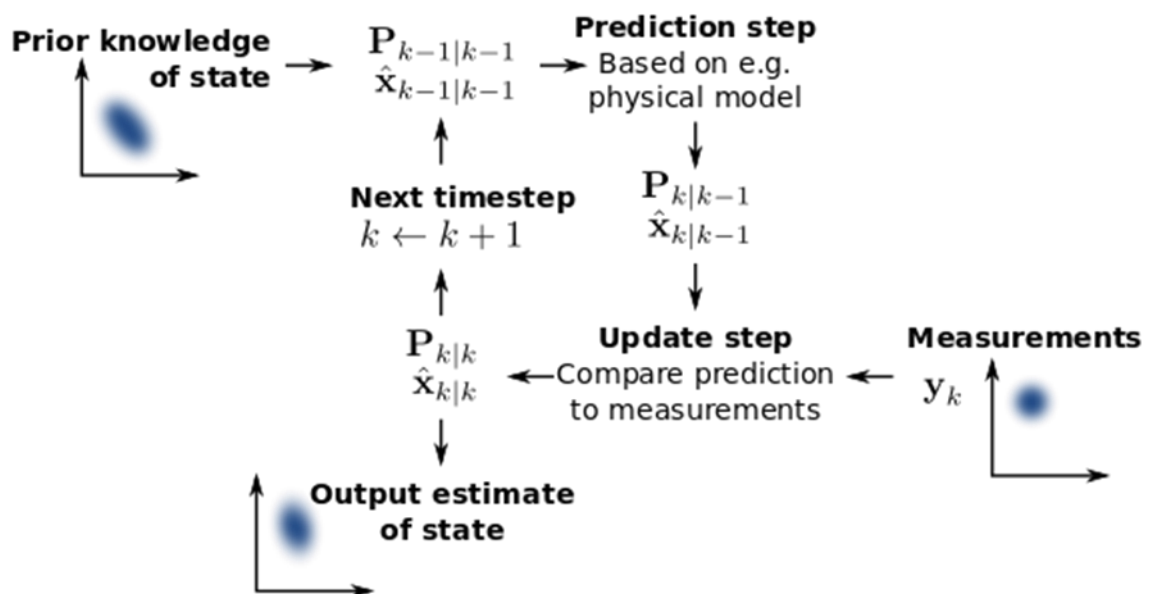
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การวิจัยในครั้งนี้เป็นการสร้างเงื่อนไขเริ่มต้นในการพยากรณ์การเกิดของมรสุมฤดูหนาว โดยใช้วิธีการ The Kalman Filtering ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้ในการทำนายสถานะของระบบได้หลากหลาย เมื่อทำการสร้างเงื่อนไขเริ่มต้นของการพยากรณ์ที่สมบูรณ์แล้วจึงนำมาดำเนินการประมวลผลด้วยแบบจำลองน้ำตื้น (The shallow water model) เพื่อพยากรณ์การเกิดมรสุมฤดูหนาวต่อไป

2.1.1 The Kalman Filtering

The Kalman Filtering [1] คือ การประมาณค่าของสมการกำลังสองเชิงเส้น (linear quadratic estimation หรือ LQE) เป็นขั้นตอนวิธีแบบเวียนบังเกิดในการประมาณตัวแปรสถานะของระบบพลวัต โดยการประมาณตัวแปรสถานะของระบบพลวัต โดยอาจจะประยุกต์ใช้ในกรณีที่ต้องการประมาณตัวแปรสถานะที่ถูกสัญญาณรบกวนหรือเกิดจากข้อจำกัดในการตรวจวัดตัวแปรสถานะนั้นๆ หรือในบางกรณีก็ใช้ร่วมกับข้อมูลของตัวแปรสถานะที่ได้รับมาจากเซ็นเซอร์ซึ่งทำให้ข้อมูลของตัวแปรสถานะมีความแม่นยำมากขึ้นกว่าการเลือกใช้ข้อมูลจากเซ็นเซอร์เพียงอย่างเดียว ตัวกรอง Kalman Filtering สามารถประมาณสถานะของระบบและความคาดเคลื่อนของค่าประมาณได้



รูปที่ 2.1 กระบวนการ Kalman Filtering

2.1.2 เลขชี้กำลังไลยาปูนอฟ (Lyapunov Exponent: LE)

เลขชี้กำลังไลยาปูนอฟ (LE) [2-4] คือปริมาณทางคณิตศาสตร์ที่ใช้วัดความแตกต่างของเส้นโคจรเริ่มต้นกับเส้นโคจรที่อ่อนไหวต่อค่าเริ่มต้นและใช้กำหนดความเสถียรในแต่ละลักษณะของสถานะ เลขชี้กำลังไลยาปูนอฟในระบบพลวัต $f: R^n \rightarrow R^n$ ภายใต้เส้นโคจร $\mathbf{x}(t) = f(\mathbf{x}_0, t)$ และเงื่อนไขเริ่มต้น $\mathbf{x}(0) = \mathbf{x}_0$ ใช้วัดการลู่เข้าหรือลู่ออกของสองเส้นโคจรในพื้นที่ ถ้าค่าของเลขชี้กำลังไลยาปูนอฟเป็นบวกแสดงว่าค่าเฉลี่ยเลขชี้กำลังลู่ออกหรือระบบเกิดความยุ่งเหยิง (chaos) แต่ถ้าเลขชี้กำลังไลยาปูนอฟเป็นลบแสดงว่าค่าเฉลี่ยเลขชี้กำลังลู่เข้า. ให้ $\delta \mathbf{x}_i(t)$ คือส่วนเบี่ยงเบนของค่าการก่อกวนเริ่มต้น (perturbed run) ที่เบี่ยงเบนไปจากค่าเริ่มต้น (control run) พิจารณาสองเส้นโคจรระหว่างค่าเริ่มต้น (control run) และค่าที่ได้จากการก่อกวน (perturbed run) ในสนามที่เวลา t และเวลา $t + \Delta t$, x_i , $i=1,2,3,\dots,N$, จะได้ $\|\delta(x_i(t))\|$ และ $\|\delta(x_i(t + \Delta t))\|$, ตามลำดับ ดังนั้นเลขชี้กำลังไลยาปูนอฟกำหนดคืออัตราการเพิ่มขึ้นเฉลี่ยของระยะเริ่มต้น (the initial distance)

$$\lambda = \frac{1}{\Delta t} \ln \frac{\|\delta(x_i(t + \Delta t))\|}{\|\delta(x_i(t))\|}, i=1,2,\dots,N \quad (2.1)$$

เมื่อ $\|\dots\|$ คือระยะระหว่างสองเส้นโคจร
 $\delta(x_i(t))$ คือระยะระหว่างสองเส้นโคจรที่เวลา t
 $\delta(x_i(t + \Delta t))$ คือระยะระหว่างสองเส้นโคจรที่เวลา $t + \Delta t$,
 และ Δt คือช่วงเวลาของการพยากรณ์

2.1.3 เลขชี้กำลังไลยาปูนอฟเวลาจำกัด (Finite Time Lyapunov Exponent: FTLE)

คือ [5] ตัวเลขทางคณิตศาสตร์ที่ใช้วัดความอ่อนไหวระหว่างเส้นโคจรในแต่ละช่วงเวลา t ที่ได้จากการก่อกวนเงื่อนไขเริ่มต้น (perturbations of the initial conditions) กับเงื่อนไขเริ่มต้นซึ่งกำหนดให้ $\delta \mathbf{x}_i(t)$ คือส่วนเบี่ยงเบนของค่าการก่อกวนเริ่มต้นจากค่าเริ่มต้นโดยเลขชี้กำลังไลยาปูนอฟเวลาจำกัด λ กำหนดเป็น

$$\lambda(\mathbf{x}(t), \delta \mathbf{x}(t), \Delta t) = \frac{1}{\Delta t} \log \frac{\|\delta(x_i(t + \Delta t))\|}{\|\delta(x_i(t))\|}, i=1,2,\dots,N \quad (2.2)$$

เมื่อ $\lambda(\mathbf{x}(t), \delta \mathbf{x}(t), \Delta t)$ ขึ้นอยู่กับค่าเริ่มต้นในสถานะ $\mathbf{x}(t)$, ค่าเริ่มต้นคาดเคลื่อน $\delta \mathbf{x}(t)$ และช่วงเวลา Δt . ดังนั้นเลขชี้กำลังไลยาปูนอฟเวลาจำกัดใช้เป็นตัววัดการลู่เข้าและลู่ออกระหว่างสองเส้นโคจรในสนาม สามารถใช้ตรวจสอบระบบที่อ่อนไหวต่อเงื่อนไขค่าเริ่มต้น ซึ่งถ้าเลขชี้กำลังไลยา

พุนอฟเวลาจำกัด เป็นค่าบวกแสดงว่าเส้นโคจรลู่ออกจากกันและถ้าเลขชี้กำลังไลยาพุนอฟเวลาจำกัด เป็นค่าลบแสดงว่าเส้นโคจรลู่เข้าหากัน

2.2 การทดสอบความแม่นยำในการพยากรณ์

การประเมินประสิทธิภาพในการพยากรณ์ของแบบจำลองและความถูกต้องของการพยากรณ์สามารถใช้ตัวแบบทางสถิติ เช่น mean absolute error (MAE) และ root mean square error (RMSE)

2.2.1 ค่าผิดพลาดเฉลี่ยสมบูรณ์ (Mean Absolute Error: MAE)

ค่าผิดพลาดเฉลี่ยสมบูรณ์ คือ [6] ค่าเฉลี่ยของความแตกต่างสมบูรณ์ระหว่างค่าพยากรณ์และค่าจริง หากมีค่าน้อย แสดงว่าแบบจำลองสามารถประมาณค่าประมาณได้ใกล้เคียงกับค่าจริง โดย MAE มีสูตรในการคำนวณดังนี้ (Ian, 2003),

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |\hat{x}_i - x_i| \quad (2.3)$$

เมื่อ n คือ จำนวนตัวแปร
 $\hat{x}_i$ คือ ค่าพยากรณ์
 x_i คือ ค่าจริง

2.2.2 รากกำลังสองเฉลี่ยผิดพลาด (Root Mean Square Error: RMSE)

รากกำลังสองเฉลี่ยผิดพลาด คือ [6] การวัดค่าความแตกต่างระหว่างค่าจริงและค่าที่ประมาณจากแบบจำลองยกกำลังสอง ถ้า RMSE มีค่าน้อย แสดงว่าแบบจำลองสามารถประมาณค่าประมาณได้ใกล้เคียงกับค่าจริง แต่ถ้ามีค่าเท่ากับศูนย์ หมายความว่าไม่เกิดความคลาดเคลื่อนในแบบจำลองนี้ RMSE คำนวณได้ดังนี้ (Ian, 2003)

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\hat{x}_i - x_i)^2} \quad (2.4)$$

เมื่อ n คือ จำนวนตัวแปร
 $\hat{x}_i$ คือ ค่าพยากรณ์
 x_i คือ ค่าจริง

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

วรายุ จริยาวัฒน์รัตน์ (2555) [7] สร้างระบบตรวจจับและติดตามคนในบริเวณพื้นที่ที่มีเส้นทางการเดินแน่นชัด เช่น บริเวณหน้าลิฟต์ โถงทางเดิน เป็นต้น และสร้างระบบทำนายการเกิดการบังของคน โดยรับข้อมูลเข้าเป็นสถานะของคน (ตำแหน่ง ทิศทาง ความเร็ว) เส้นทางการเดินของคน และช่วงเวลาที่ต้องการผลการทำนาย จากนั้นให้ผลลัพธ์เป็นตำแหน่งและ เวลาที่จะเกิดการบัง โดยใช้วิธี Kalman filtering ในการกรอง และทำนายสถานะของระบบเชิงเส้น (Linear Systems) หรือระบบที่มีการเปลี่ยนแปลงที่ขึ้นอยู่กับเวลา โดยมีสมมุติฐานว่า สถานะของระบบที่ต้องการประมาณค่านั้นจะมีการเปลี่ยนแปลงไปตามเวลา และสถานะของระบบ ณ เวลาปัจจุบัน จะขึ้นอยู่กับสถานะของระบบ ณ เวลาก่อนหน้านี้เท่านั้น

Simon J. and Jeffrey K. (1997) [1] ใช้วิธี kalman filter ในการประยุกต์ใช้ในระบบเชิงเส้นเพื่อทำนายสถานะของระบบใหม่ที่ไม่เป็นเชิงเส้น และทดสอบการทำงานของระบบพบว่าระบบมีความเสถียรมากขึ้น

Andrew C. Harvey (1990) [2] ใช้วิธี kalman filter ในการพยากรณ์ ฤดูกาลและส่วนประกอบของวัฏจักรเพื่อสร้างแบบจำลองในช่วงเวลาที่ต้องการว่ามีลักษณะอย่างไร

บทที่ 3 ระเบียบวิธีการวิจัย

การวิจัยในครั้งนี้เป็นการพยากรณ์มรสุมฤดูหนาว (The winter monsoon) บริเวณเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ซึ่งมีประเทศไทยรวมอยู่ด้วย โดยใช้แบบจำลองน้ำตื้น (The Shallow water model) และทำการสร้างเงื่อนไขเริ่มต้นในการพยากรณ์มรสุมฤดูหนาวด้วยวิธี the Kalman filtering โดยการสร้างเงื่อนไขเริ่มต้นของตัวแปรที่ใช้ในการพยากรณ์ให้มีค่าใกล้เคียงกันเพื่อให้การประมวลผลการพยากรณ์มีความถูกต้องมากที่สุดด้วยวิธี และใช้ Root Mean Square Error (RMSE) เป็นสถิติในการวิเคราะห์ความเป็นไปได้ของเงื่อนไขเริ่มต้นที่จะใช้ในการประมวลผลการพยากรณ์ของแบบจำลองน้ำตื้นและทำการวัดความถูกต้องของการพยากรณ์โดยใช้วิธีการวัดการพยากรณ์ที่ได้มาตรฐาน คือ เลขชี้กำลังไลยาปูนอฟ (Lyapunov exponent) และเลขชี้กำลังไลยาปูนอฟเวลาจำกัด (Finite Time Lyapunov exponent: FTLE)

3.1 แบบจำลองน้ำตื้น (The Shallow Water Model)

สมการน้ำตื้น [8] เกิดจาก momentum equations และ continuity equation ดังสมการต่อไปนี้

$$\frac{\partial U}{\partial t} - fV = -gH \frac{\partial \xi}{\partial x} + \tau_x - \tau_{xb} \quad (3.1)$$

$$\frac{\partial V}{\partial t} - fU = -gH \frac{\partial \xi}{\partial y} + \tau_y - \tau_{yb} \quad (3.2)$$

$$\frac{\partial \xi}{\partial t} = - \left(\frac{\partial U}{\partial x} + \frac{\partial V}{\partial y} \right) \quad (3.3)$$

เมื่อ U คือ ความเร็วลมในแนวแกน x (u)

V คือ ความเร็วลมในแนวแกน y (v)

ξ คือ ความกดอากาศเมื่อเทียบกับระดับน้ำทะเล (Geopotential height)

3.2 ข้อมูล

3.2.1 ข้อมูลที่ใช้ในการประมวลผล

ข้อมูลที่ใช้ในการวิจัย คือข้อมูลในช่วงที่เกิดมรสุมฤดูหนาว ในปี ค.ศ. 2015-2056 จาก The Bjerknes Centre for Climate Research (BCCR), University of Bergen, Norway. The global climate model is Bergen Climate Model (BCM) Version 2.0 (BCCR-BCM2.0) from the World Climate

Research Programme's (WCRP's) Coupled Model Intercomparison Project phase 3 (CMIP3) multi-model data set for the Fourth Assessment Report (AR4) of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC, 2009) โดยแบบจำลอง BCCR-BCM2.0 มีความละเอียด 2.81° ลองจิจูด $\times$ 2.77° แลตจิจูด, ใช้วิธีเชิงตัวเลขแบบ semi-lagrangian และ semi-implicit time integration โดยลักษณะสภาพอากาศในการทำนายเป็นแบบ A2 scenario ซึ่งได้จากแบบจำลอง BCCR-BCM2.0 ใช้เป็นข้อมูลป้อนเข้าสำหรับแบบจำลองน้ำตื้น

3.2.2 ตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง

1. ความเร็วลมในแนวแกน x (u)
2. ความเร็วลมในแนวแกน y (v)
3. ความกดอากาศเมื่อเทียบกับระดับน้ำทะเล (Geopotential height ζ)

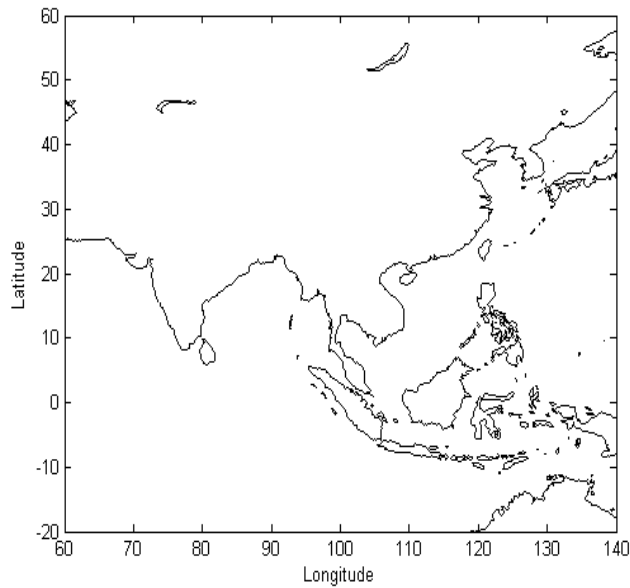
ตัวแปรที่ใช้ในงานวิจัยดังแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ข้อมูลที่ใช้ในการทดลอง

เงื่อนไขเริ่มต้น	ตัวแปร
02 ธันวาคม 2056 0000 UTC	(u), pcmdi.ipcc4.bccr_bcm2_0.sresa2.run1.daily.ua_A2_2056.nc
	(v), pcmdi.ipcc4.bccr_bcm2_0.sresa2.run1.daily.va_A2_2056.nc
	(ζ), pcmdi.ipcc4.bccr_bcm2_0.sresa2.run1.daily.zg_A2_2056.nc

3.2.3 บริเวณที่ใช้ในการทดลอง (The domain)

บริเวณที่ใช้ในการทดลองประมวลผลด้วยแบบจำลองน้ำตื้น คือ 180° ตะวันตก ถึง 180° ตะวันออก และ 40° ใต้ ถึง 80° เหนือ และบริเวณที่ศึกษา คือ ลองจิจูด 60° ตะวันออก ถึง 140° ตะวันออก และ แลตจิจูด 20° ใต้ ถึง 60° เหนือ แสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 บริเวณในการศึกษาและพยากรณ์

3.3 กระบวนการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูล

การวิจัยในครั้งนี้เป็นการสร้างเงื่อนไขเริ่มต้นในการพยากรณ์มรสุมฤดูหนาว ด้วยแบบจำลองน้ำตื้น (The Shallow Water model) ให้มีความถูกต้องและมีประสิทธิภาพ โดยการสร้างเงื่อนไขเริ่มต้นของตัวแปรที่ใช้ในการพยากรณ์ให้มีค่าใกล้เคียงกันเพื่อให้การประมวลผลการพยากรณ์ให้มีความถูกต้องมากที่สุดด้วยวิธี Kalman filtering และใช้ Root Mean Square Error (RMSE) เป็นสถิติในการวิเคราะห์ความเป็นไปได้ของเงื่อนไขเริ่มต้นที่จะใช้ในการประมวลผลการพยากรณ์ของแบบจำลองน้ำตื้น และทำการวัดความถูกต้องของการพยากรณ์โดยใช้วิธีการวัดการพยากรณ์ที่ได้มาตรฐาน คือ เลขชี้กำลังไลยาปูนอฟ (Lyapunov exponent) และเลขชี้กำลังไลยาปูนอฟเวลาจำกัด (Finite Time Lyapunov exponent: FTLE)

ในการพยากรณ์มรสุมฤดูหนาว ใช้ตัวแปรในการพยากรณ์ ได้แก่

1. ความเร็วลมในแนวแกน x (u)
2. ความเร็วลมในแนวแกน y (v)
3. ความกดอากาศเมื่อเทียบกับระดับน้ำทะเล (Geopotential height (ξ))
4. อุณหภูมิ (T)

และทำการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการพยากรณ์ด้วยการจัดทำแผนภาพช่วงเวลาในการพยากรณ์ทุก 24 ชั่วโมง

บทที่ 4 ผลของการทดลอง

4.1 การสร้างเงื่อนไขเริ่มต้นในการพยากรณ์มรสุมฤดูหนาว

การวิจัยในครั้งนี้ใช้วิธี Kalman filtering ในการสร้างเงื่อนไขเริ่มต้นในการพยากรณ์มรสุมฤดูหนาว ด้วยแบบจำลองน้ำขึ้น

วิธี Kalman filter [9] สามารถประมาณค่าสถานะของระบบโดยใช้สมการอนุพันธ์เชิงเส้น ดังต่อไปนี้

$$x_k = A_{(k-1)}x_{(k-1)} + B_{(k-1)}u_{(k-1)} + w_{(k-1)} \quad (4.1)$$

เมื่อ $A_{(k-1)}$ คือ ความสัมพันธ์ระหว่างสถานะของระบบ อธิบายด้วยจุด $x_{(k-1)}$ ที่ เวลา $k-1$ และ x_k ที่เวลา k นอกจากนั้น $B_{(k-1)}$ มีความสัมพันธ์กับ $u_{(k-1)}$ ที่ $w_{(k-1)}$ และ u, v, ξ แทนตัวแปรในระบบ

กำหนดสถานะ $z \in R^m$ of the discrete-time ดังสมการ

$$z_t = A_{(t-1)}z_{(t-1)} + B_{(t-1)}u_{(t-1)} + w_{(t-1)} \quad (4.2)$$

การวัดระยะห่างในเวกเตอร์ $z_{(t+1)}$ ที่ เวลา $t+1$ สำหรับการพยากรณ์ด้วยแบบจำลอง

$$z_{t+1} = O_t z_t + w_t \quad (4.3)$$

เมื่อ O_t คือ the observation matrix

w_t คือ the process noise.

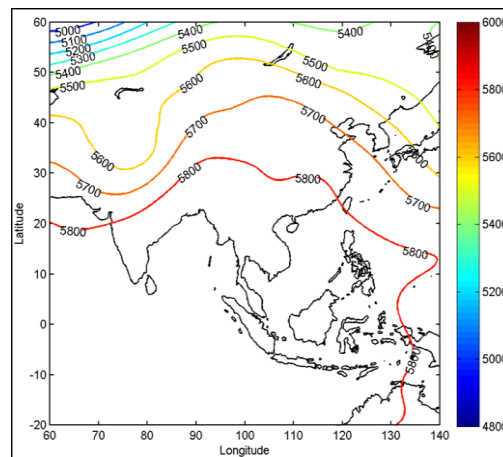
4.2 ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของค่าเงื่อนไขเริ่มต้น โดย The Root Mean Square Error (RMSE)

The RMSE เป็นสถิติในการวิเคราะห์ความเป็นไปได้ของเงื่อนไขเริ่มต้นที่จะใช้ในการประมวลผล การพยากรณ์ที่สร้างจากวิธี Kalman filtering ซึ่งเปรียบเทียบค่าเงื่อนไขเริ่มต้นที่ได้ กับ ค่าเงื่อนไข เริ่มต้นในการพยากรณ์มรสุมฤดูหนาวของแบบจำลองภูมิอากาศโลก (BCCR-BCM2.0 Model) ค่าของ RMSE ที่คำนวณได้แสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ค่าเงื่อนไขเริ่มต้น จากวิธี Kalman filtering

ค่าเงื่อนไขเริ่มต้น จากวิธี Kalman filtering	RMSE (เมตร)
Initial Condition 01	203
Initial Condition 02	245
Initial Condition 03	224
Initial Condition 04	226

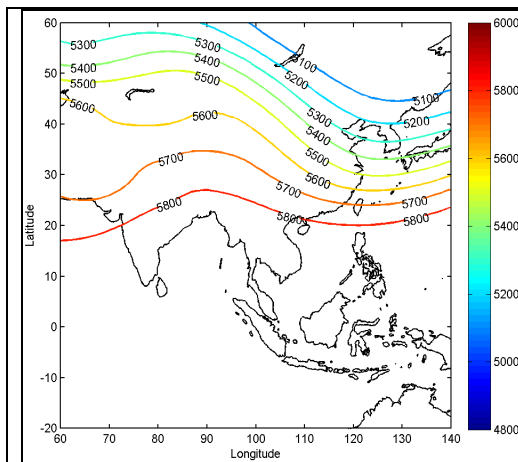
จากตารางพบว่า ค่าของ RMSE มีค่า น้อยกว่า 275 เมตร ซึ่งเป็นค่าโดยประมาณที่สามารถบอกได้ว่า ค่าเงื่อนไขเริ่มต้นที่สร้างขึ้นมีประสิทธิภาพสามารถนำมาประมวลผลการพยากรณ์มรสุมฤดูหนาวได้อย่างมีเหมาะสม และค่าเงื่อนไขเริ่มต้นที่สร้างจากวิธี Kalman filtering สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.1



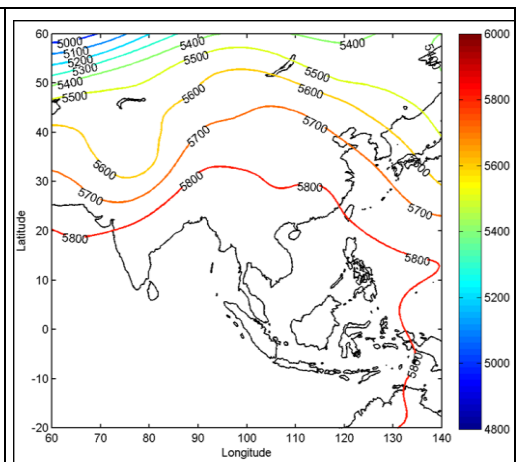
รูปที่ 4.1 ค่าเงื่อนไขเริ่มต้นที่สร้างจาก วิธี The Kalman filter

4.3 ผลการพยากรณ์มรสุมฤดูหนาว

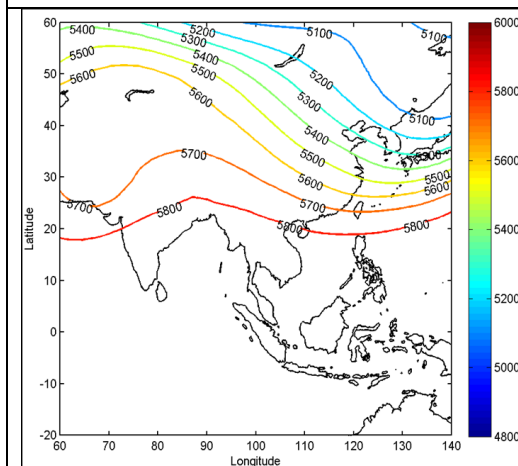
งานวิจัยนี้ทำการประมวลผลการพยากรณ์มรสุมฤดูหนาวโดยใช้แบบจำลองน้ำตื้น (The Shallow Water Model) ซึ่งตัวแปรที่ใช้ในการประมวลผลคือ ความเร็วลมในแนวแกน x (u), ความเร็วลมในแนวแกน y (v), ความกดอากาศเมื่อเทียบกับระดับน้ำทะเล (Geopotential height (ξ)) และอุณหภูมิ (T) และเริ่มต้นประมวลผลการพยากรณ์โดยใช้ข้อมูลเริ่มต้นของวันที่ 2 ธันวาคม ค.ศ.2056 จากแบบจำลองภูมิอากาศโลก (BCCR-BCM2.0 Model) มาเป็นค่าเงื่อนไขเริ่มต้นในการพยากรณ์ และทำการประมวลผลการพยากรณ์ เป็นระยะเวลา 7 วัน ซึ่งผลของการพยากรณ์ แสดงในรูปที่ 4.2-4.5 นอกจากนั้นแล้วยังประมวลผลการพยากรณ์มรสุมฤดูหนาวด้วยค่าเงื่อนไขเริ่มต้นที่สร้างจากวิธี Kalman filtering โดยใช้ ค่าเงื่อนไขเริ่มต้น **Initial Condition 01** ในการประมวลผลการพยากรณ์มรสุมฤดูหนาว แสดงในรูปที่ 4.6 -4.9



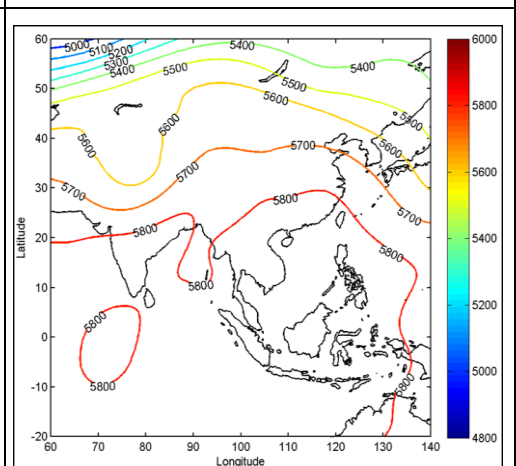
รูปที่ 4.2 at 12 Dec 2049 at 0000 UTC



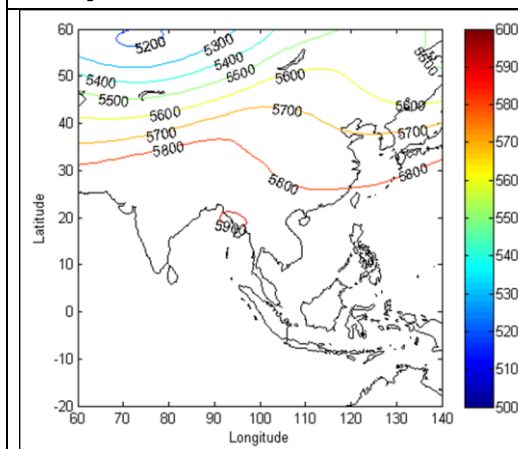
รูปที่ 4.6 12 Dec 2049 at 0000 UTC by Kalman Filter



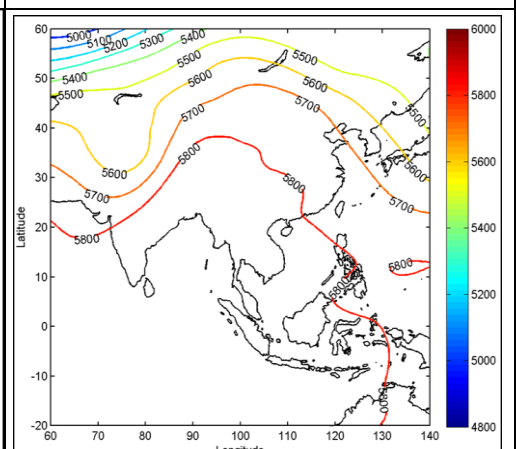
รูปที่ 4.3 at 14 Dec 2049 at 0000 UTC



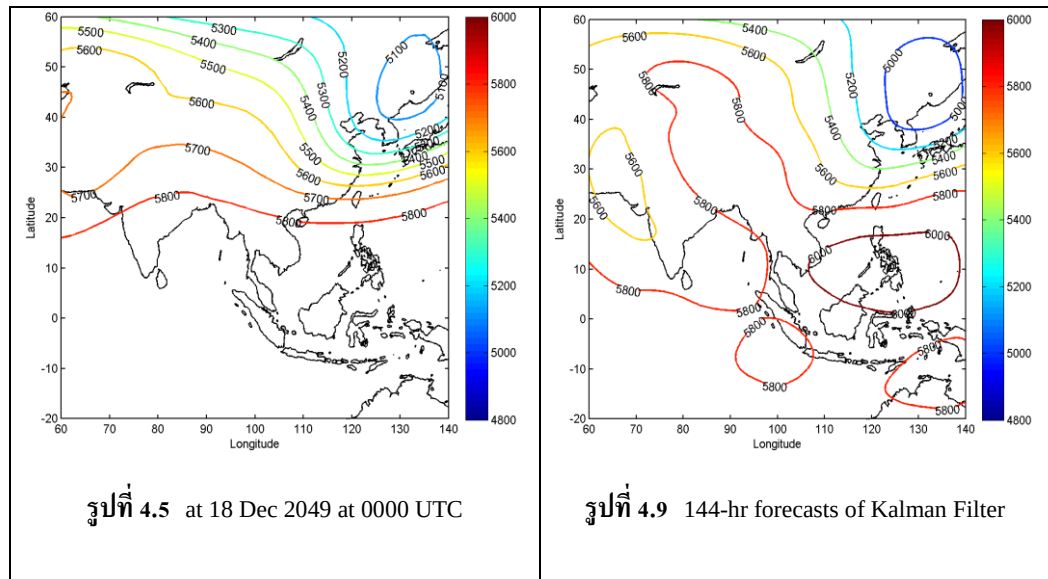
รูปที่ 4.7 48-hr forecasts of Kalman Filter



รูปที่ 4.4 at 16 Dec 2049 at 0000 UTC



รูปที่ 4.8 96-hr forecasts of Kalman Filter



จากรูปที่ 4.2-4.5 เป็นการประมวลผลการพยากรณ์มรสุมฤดูหนาวโดยใช้ค่าเงื่อนไขเริ่มต้นที่ได้จากแบบจำลองภูมิอากาศโลก (BCCR-BCM2.0 Model) และ รูปที่ 4.6-4.9 เป็นการประมวลผลการพยากรณ์มรสุมฤดูหนาวด้วยค่าเงื่อนไขเริ่มต้นที่สร้างจากวิธี Kalman filtering ซึ่งพบว่าค่าของการพยากรณ์มีทิศทางเดียวกันโดยวิเคราะห์จากค่าของ Geopotential height (ξ)

4.4 ผลของการวัดความถูกต้องของการพยากรณ์มรสุมฤดูหนาว

ตัวแบบวัดการพยากรณ์ที่ใช้เพื่อวัดความถูกต้องในการพยากรณ์ของแบบจำลองน้ำตื้น คือ เลขชี้กำลังไลยาปูนอฟ (LE) และเลขชี้กำลังไลยาปูนอฟเวลาจำกัด (FTLE) โดยคำนวณจากค่าระหว่างแบบจำลองที่ควบคุมโดยไม่เปลี่ยนค่าเงื่อนไขเริ่มต้นกับแบบจำลองที่มีการเปลี่ยนแปลงเงื่อนไขเริ่มต้นในการพยากรณ์ โดยค่าของตัวแบบวัดความถูกต้องของการพยากรณ์มรสุมฤดูหนาว แสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ค่าของตัวแบบวัดความถูกต้องของการพยากรณ์มรสุมฤดูหนาว

เวลาพยากรณ์ (วัน)	ตัวแบบวัดการพยากรณ์	
	LE	FTLE
1	-2.3400	-2.4581
2	-1.7562	-1.9854
3	-2.8012	-2.9801
4	1.4871	2.1112
5	1.8425	1.3251
6	2.2501	3.2235
7	2.5681	3.2589

จากตารางที่ 4.2 พบว่าตัวแบบวัดความถูกต้องในการพยากรณ์เลขชี้กำลังไวยาพุนอฟและเลขชี้กำลังไวยาพุนอฟเวลาจำกัด มีค่าเป็นบวกสำหรับเวลาในการพยากรณ์ที่ 4 วัน แสดงว่าเกิดการลู่ออกของเส้นทางการเคลื่อนที่ของค่า Geopotential height (ξ) ดังนั้นแสดงให้เห็นว่าแบบจำลองน้ำตื้นสามารถพยากรณ์มรสุมฤดูหนาวได้ถูกต้องเป็นเวลาเฉลี่ย 4 วัน

บทที่ 5 สรุปผล และข้อเสนอแนะของการทดลอง

5.1 สรุปผลการทดลอง

การพยากรณ์มรสุมฤดูหนาวด้วยแบบจำลองน้ำตื้นถือว่ามีความสำคัญเนื่องจากสามารถนำมาเป็นข้อมูลในการวิเคราะห์ และบริหารจัดการน้ำ และการเกษตรกรรม ได้เป็นอย่างดี ซึ่งการพยากรณ์ที่มีประสิทธิภาพต้องประกอบไปด้วยปัจจัยที่สำคัญ เช่น แบบจำลองที่ใช้ในการพยากรณ์ต้องมีประสิทธิภาพ และเงื่อนไขเริ่มต้นในการพยากรณ์ต้องถูกต้อง โดยงานวิจัยนี้เป็นการสร้างเงื่อนไขเริ่มต้นในการพยากรณ์ที่เหมาะสมและมีความถูกต้องที่จะสามารถใช้ในการเป็นข้อมูลพื้นฐานเบื้องต้นของการพยากรณ์ได้เป็นอย่างดี และนำข้อมูลเงื่อนไขเริ่มต้นที่ได้จากแบบจำลองที่มาตรฐานคือ แบบจำลอง BCCR-BCM2.0 มาเป็นข้อมูลในการเปรียบเทียบ ผลของการสร้างเงื่อนไขเริ่มต้น และวิธีที่ใช้ในการสร้างเงื่อนไขเริ่มต้นของการพยากรณ์ที่ใช้คือ วิธี the Kalman filtering และวัดประสิทธิภาพของเงื่อนไขเริ่มต้นโดยใช้วิธี RMSE นอกจากนี้ตัวแบบวัดความถูกต้องของการพยากรณ์คือ เลขชี้กำลังไลยาปูนอฟ (LE) และเลขชี้กำลังไลยาปูนอฟเวลาจำกัด (FTLE) โดยคำนวณจากค่าระหว่างแบบจำลอง BCCR-BCM2.0 ที่ควบคุมโดยไม่เปลี่ยนค่าเงื่อนไขเริ่มต้นกับแบบจำลองน้ำตื้นที่มีการเปลี่ยนแปลงเงื่อนไขเริ่มต้นในการพยากรณ์ด้วยวิธี the Kalman filtering จากผลการพยากรณ์มรสุมฤดูหนาวพบว่าค่าเงื่อนไขเริ่มต้นที่สร้างขึ้นด้วยวิธี the Kalman filtering สามารถนำมาเป็นค่าเงื่อนไขเริ่มต้นในการพยากรณ์ได้จริง โดยมีความแม่นยำ สามารถพยากรณ์มรสุมฤดูหนาวได้ใกล้เคียงกับแบบจำลอง BCCR-BCM2.0 เป็นระยะเวลา 4 วัน

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรพยากรณ์โดยใช้แบบจำลองอื่นๆ เพื่อทำการเปรียบเทียบผลของการพยากรณ์ที่เกิดขึ้น
2. ควรทำการหาเงื่อนไขเริ่มต้นด้วยวิธีที่หลากหลายและนำมาเปรียบเทียบผลการพยากรณ์ที่เหมาะสม

บรรณานุกรม

- [1] Simon J. Julier and Jeffrey K. Uhlmann, A New Extension of the Kalman Filter to Nonlinear Systems, (1997), 1-12.
- [2] E. Aurell, G Boffetta, A. Crisanti, G. Paladin and A. Vulpiani, Predictability in the large: an extension of the concept of Lyapunov exponent J. Phys. A: Math. Gen, 30 (1997) 1–26.
- [3] J. B. Thomas and R. Sebastian, Computing Lyapunov exponents on a Stiefel manifold, Physica D 156 (2001), 219-238.
- [4] McCue, L. and Troesch, A., Use of Lyapunov Exponents to Predict Chaotic Vessel Motions, book google.com, (2004) 156-171.
- [5] S. Yoden and M. Nomura, Finite-Time Lyapunov Stability Analysis and Its Application to Atmospheric Predictability, Journal of the Atmospheric Sciences 50(11) (1993), 1531-1543.
- [6] T.chai, R.R.Draxler: Root mean square error (RMSE) or mean absolute error (MAE) Arguments against avoiding RMSE in the literature, Geosci. Model Dev, (2014), Vol. 7, p.1247-1250.
- [7] วราวุธจิรายวัฒน์รัตน์, ระบบตรวจจับและติดตามคนที่เพิ่มการทำนายการเกิดขึ้นของการบัง, วิทยานิพนธ์, 2555
- [8] J. R. Holton: Introduction to Dynamic Meteorology, 4th ed., Elsevier Inc., UK., (2004), p. 188-219.
- [9] G.Welch, G.Bishop: An Introduction to the Kalman Filter, (1997), p. 2-3.

ประวัติคณะผู้วิจัย

ประวัติผู้วิจัยคนที่ 1

1. ชื่อ - นามสกุล (ภาษาไทย) ดร.สุนิสา สายอุปราช
ชื่อ - นามสกุล (ภาษาอังกฤษ) Dr.Sunisa Saiuparad
2. เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน 3 7202 00341 42 0
3. ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์
4. หน่วยงานและสถานที่อยู่ติดต่อได้สะดวก พร้อมหมายเลขโทรศัพท์ โทรสาร และไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (e-mail)
สาขาวิชาคณิตศาสตร์และสถิติ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
เลขที่ 1381 ถ.ประชาราษฎร์สาย 1 แขวงบางซื่อ เขตบางซื่อ กรุงเทพฯ 10800
โทรศัพท์: 02-8363000 ต่อ 4159
โทรสาร: 02-8363000 ต่อ 4159
E-mail: sunisa.sa@rmutp.ac.th
5. ประวัติการศึกษา
 - 2554 ปริญญาคุฎิบัณฑิต (ปร.ค.) สาขาวิชาคณิตศาสตร์ประยุกต์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
 - 2550 ครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต (กอ.ม.) สาขาวิชาเทคโนโลยีและสื่อสารการศึกษา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
 - 2548 วิทยาศาสตร์บัณฑิต (วท.บ.) สาขาวิชาคณิตศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
6. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา) ระบุสาขาวิชาการ
สาขาวิชา Mathematical Model
สาขาวิชา Meteorological
7. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ โดยระบุสถานภาพในการทำการวิจัยว่าเป็นผู้อำนวยการแผนงานวิจัยหัวหน้าโครงการวิจัย หรือผู้ร่วมวิจัยในแต่ละผลงานวิจัย
 - 7.1 ผู้อำนวยการแผนงานวิจัย : -
 - 7.2 หัวหน้าโครงการวิจัย : -

7.3 งานวิจัยที่ทำเสร็จแล้ว :

- สภาวะฝนหนักและฝนแล้งภายใต้ภาวะโลกร้อน
- รูปแบบของฝนอันเนื่องมาจากพายุหมุนเขตร้อน
- การพัฒนาวิธีการวัดการพยากรณ์มรสุมฤดูหนาวในประเทศไทย
- การพยากรณ์ความกดอากาศและทิศทางลมด้วยแบบจำลองภูมิอากาศโลก
- การสร้างเงื่อนไขเริ่มต้นในการพยากรณ์อากาศ

7.4 งานวิจัยที่กำลังทำ:

- การพยากรณ์ปริมาณน้ำฝนรายเดือนบริเวณประเทศไทยภายใต้ภาวะโลกร้อนโดย

ใช้โครงข่ายประสาทเทียม