

ห้องสมุดคณะเทคโนโลยีสารสนเทศ สจธ.

การพยากรณ์ด้วยตัวแบบฟัซซี่ NARMA
Forecasting By Using Fuzzy-NARMA Model

โดย

พัชรินทร์ ไทยจำเริญรัตน์

รหัส 44067405



H002164

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.ดร.อาริต ธรรมโน

วัน เดือน ปี..... 03. 01. 2550

เลขทะเบียน..... 02164

เลขเรียกหนังสือ..... กศพ. พธว 234 2546

"ห้องสมุดคณะเทคโนโลยีสารสนเทศ สจธ."

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของวิชาโครงการพัฒนาระบบงาน
หลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ
ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2546
คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อหัวข้อ	การพยากรณ์ด้วยตัวแบบฟัซซี NARMA
นักศึกษา	นางสาว พัชรินทร์ ไทยจำเริญรัตน์
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร. อาริต ธรรมโน
ระดับการศึกษา	วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชา เทคโนโลยีสารสนเทศ
แขนงวิชา	วิทยาการสารสนเทศ
ปีการศึกษา	2546

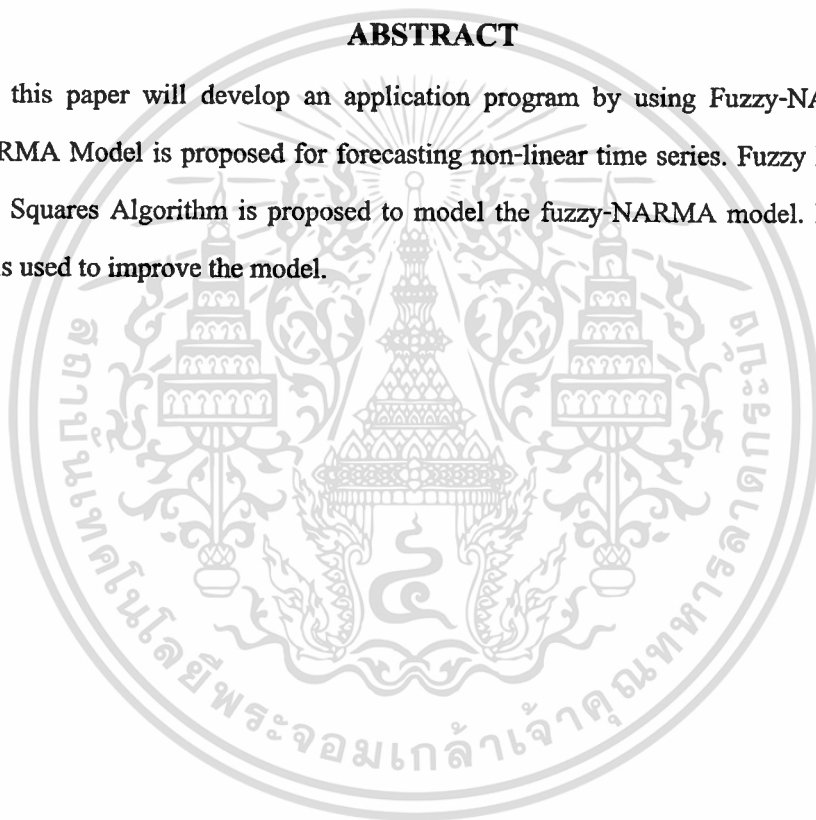
บทคัดย่อ

การพัฒนาระบบสารสนเทศนี้เป็นการพัฒนา Application ที่จะนำไปใช้ในการพยากรณ์อนุกรมเวลาไม่เชิงเส้น ด้วยตัวแบบฟัซซี NARMA โดยการพยากรณ์อนุกรมเวลาไม่เชิงเส้นด้วยตัวแบบฟัซซี NARMA นี้จะใช้ ระบบฟัซซีแบบที่มีกระบวนการฟัซซีฟายเออร์ และดีฟัซซีฟายเออร์ (Fuzzy Logic System with Fuzzifier and Defuzzifier) โดยใช้คุณสมบัติของ ฟัซซีเบสิสฟังก์ชัน (Fuzzy Basis Function) รวมกับ การใช้วิธีกำลังสองน้อยที่สุด มาสร้างเป็นตัวแบบฟัซซี NARMA (Fuzzy-Nonlinear Autoregressive Moving Average Model) และจะเพิ่มเติมส่วนของการนำค่าลาดเคลื่อนเข้าไปฝึกหัดในระบบ (Error Feedback Technique) เพื่อให้ค่าที่พยากรณ์ได้มีความถูกต้องมากที่สุด

Title Forecasting By Using Fuzzy-NARMA Model
Student Ms. Patcharin Thaichamroenrun
Advisor Dr.Arit Thammano
Level of Study Master of Science in Information Technology
Major Information Science
Academic 2003

ABSTRACT

In this paper will develop an application program by using Fuzzy-NARMA Model. Fuzzy-NARMA Model is proposed for forecasting non-linear time series. Fuzzy Basis Function with Least Squares Algorithm is proposed to model the fuzzy-NARMA model. Error feedback technique is used to improve the model.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพัฒนาระบบงานเรื่อง การพยากรณ์ด้วยตัวแบบฟัซซี่ NARMA (Forecasting By Using Fuzzy-NARMA Model) สำเร็จลงได้ด้วยคำแนะนำและความช่วยเหลือจาก ผศ.ดร.อาริต ธรรมโน ซึ่งเป็นที่ปรึกษาโครงการ ที่ได้กรุณาสละเวลาและให้คำปรึกษา แนะนำ และแก้ไข ตลอดจนกำลังใจจากครอบครัวที่มีมาให้ตลอดมา ผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งในความกรุณาของท่านเป็นอย่างยิ่ง และ ขอกราบขอบพระคุณไว้ ณ โอกาสนี้ด้วย

สุดท้ายนี้ ขอขอบพระคุณกรมส่งเสริมการส่งออกที่เอื้อเฟื้อในด้านข้อมูลที่นำมาใช้ในโครงการนี้ และขอขอบคุณ เพื่อนๆ ที่ให้คำแนะนำในการทำโครงการพัฒนาระบบงานนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

นางสาวพัชรินทร์ ไทยจำเริญรัตน์

12 กุมภาพันธ์ 2547

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VI
สารบัญภาพ	VII
บทที่	
1. บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขตของการศึกษา	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 ทฤษฎีพีชชีและระบบพีชชี	3
2.2 เทคนิคการพยากรณ์	10
2.3 ตัวแบบอนุกรมเวลา	11
3. ขั้นตอนการพยากรณ์โดยใช้ตัวแบบพีชชี NARMA	14
3.1 การเตรียมข้อมูล	14
3.2 การกำหนดระบบพีชชีและฟังก์ชันการเป็นสมาชิก	14
3.3 การกำหนดค่าต่างๆของระบบ	15
3.4 การกำหนดตัวแบบและทดสอบความเหมาะสมของตัวแบบ	16
3.5 ในรอบที่ k ค่าคลาดเคลื่อน $\{e^{(k-1)}(t)\}$ จะถูกนำกลับเข้าไปใช้เพื่อฝึก หัด	16
3.6 ทดสอบความเหมาะสมของตัวแบบ	17
3.7 ตัวอย่างการพยากรณ์โดยใช้ตัวแบบพีชชี NARMA	19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
4. 4.1 การเตรียมข้อมูล	29
4.2. ส่วนการทำงานของ Application	30
4.3 ส่วนการแสดงผลลัพธ์	35
5. สรุปผลการดำเนินงาน	37
5.1 สรุปผลการดำเนินงาน	37
5.2 สรุปผลการทดลอง	37
5.3 ข้อจำกัดของ โครงการ	37
5.4 ข้อเสนอแนะ	38

บรรณานุกรม

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่	
3.1 แสดงการ ปรับค่าให้มีค่าอยู่ในช่วง -6 ถึง 6	19
3.2 แสดงการแปลงข้อมูลที่ปรับค่าแล้วให้เป็นค่าฟัซซี	20
3.3 แสดงค่าที่พยากรณ์ได้และค่าความคลาดเคลื่อน	23
3.4 นำค่าความคลาดเคลื่อนกลับเข้ามาฝึกหัด และ ทำการแปลงค่าเป็นค่า Fuzzifier	25
3.5 แสดงค่าที่พยากรณ์ได้และค่าความคลาดเคลื่อน	27
4.1 ข้อมูลตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง	29
4.2 ข้อมูลที่ถูกปรับค่าให้มีค่าอยู่ในช่วง -6 ถึง 6	30

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	เปรียบเทียบค่าระดับของฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของเซตแบบปกติและฟังก์ชันของเซตความสูงและความเตี้ย	3
2.2	แสดงฟังก์ชันการเป็นสมาชิกแบบต่างๆ	4
2.3	ฟังก์ชันเซต A	5
2.4	ฟังก์ชันเซต B	5
2.5	ฟังก์ชันเซต A AND B	5
2.6	ฟังก์ชันเซต A OR B	6
2.7	NOT ฟังก์ชันเซต A	6
2.8	แสดงโครงสร้างการทำงานของระบบฟuzzyที่มีตัวฟuzzyฟายเออร์ และ ดี ฟuzzyฟายเออร์	6
3.1	ฟังก์ชันการเป็นสมาชิกแบบเกาส์ที่มี 3 ฟังก์ชัน	14
3.2	ขั้นตอนการกำหนดตัวแบบฟuzzy NARMA	18
4.1	หน้าจอ PrepareData	32
4.2	หน้าจอ ตัวแบบฟuzzy NAR	32
4.3	หน้าจอ ตัวแบบฟuzzy NARMA	33
4.4	หน้าจอเมื่อทำการ Train Data เสร็จแล้ว	34
4.5	หน้าจอแสดงค่าการ Train Data ของตัวแบบฟuzzy NAR	35
4.6	หน้าจอแสดงค่าการ Train Data ของตัวแบบฟuzzy NARMA	35
4.7	หน้าจอแสดงค่าการ Test Data ของตัวแบบฟuzzy NAR	36
4.8	หน้าจอแสดงค่าการ Test Data ของตัวแบบฟuzzy NARMA	36

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของปัญหา

โดยส่วนใหญ่แล้วการพยากรณ์อนุกรมเวลาจะตั้งสมมุติฐานที่ว่าอนุกรมเวลามีลักษณะเชิงเส้น แต่ในความจริงแล้วอนุกรมเวลาส่วนใหญ่ มีลักษณะไม่เชิงเส้น หากใช้การพยากรณ์ที่มีตัวแบบลักษณะเชิงเส้นมาทำการพยากรณ์ ก็อาจจะทำให้มีความคลาดเคลื่อนสูง จึงได้มีการนำการพยากรณ์ที่มีตัวแบบลักษณะไม่เชิงเส้น มาใช้ในการพยากรณ์อนุกรมเวลาที่มีลักษณะไม่เชิงเส้น เพื่อให้การพยากรณ์ทำได้ถูกต้องและแม่นยำกว่า

ดังนั้นการพัฒนาระบบสารสนเทศนี้จึงได้ทำการศึกษาและทำการพัฒนา Application ในการพยากรณ์อนุกรมเวลาไม่เชิงเส้นที่มีลักษณะเป็นแบบ NARMA (Nonlinear Autoregressive Moving Average Model) โดยได้นำระบบฟัซซีแบบที่มีกระบวนการ ฟัซซีฟายเออร์ และ ดีฟัซซีฟายเออร์ (Fuzzy Logic System With Fuzzifier And Defuzzifier) ซึ่งใช้คุณสมบัติของ ฟัซซีเบซิสฟังก์ชัน (Fuzzy Basis Function) มากำหนดตัวแบบของระบบเป็นแบบ NARMA และเพิ่มเติมส่วนของการป้อนค่าคลาดเคลื่อนเข้ามาในระบบ และใช้วิธีกำลังสองน้อยที่สุด (Least Squares Algorithm) ในการฝึกหัดและพยากรณ์ข้อมูลอนุกรมเวลา

1.2 วัตถุประสงค์

การพัฒนาระบบสารสนเทศนี้มีวัตถุประสงค์คือ

1.2.1 เพื่อศึกษาเทคนิคการพยากรณ์อนุกรมเวลาไม่เชิงเส้นที่มีลักษณะเป็นแบบ NARMA ซึ่งใช้คุณสมบัติของ ฟัซซีเบซิสฟังก์ชัน มากำหนดตัวแบบของระบบเป็นแบบ NARMA

1.2.2 เพื่อพัฒนา Application สำหรับใช้ในการพยากรณ์อนุกรมเวลาไม่เชิงเส้นที่มีลักษณะเป็นแบบฟัซซี NARMA

1.2.3 เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในการพยากรณ์ทางธุรกิจ โดยในการพัฒนาระบบสารสนเทศนี้จะประยุกต์ใช้ในการพยากรณ์การส่งออกเพชรของประเทศไทย

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

การศึกษารพัฒนาระบบสารสนเทศนี้กำหนดขอบเขตในการศึกษาเป็นการพัฒนาตัวแบบพีชชี NARMA เพื่อนำไปใช้ในการพยากรณ์อนุกรมเวลาไม่เชิงเส้น โดยจะทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของของผลการทำนายกับค่าความจริงของข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบ โดยข้อมูลที่น่ามาใช้ในการทดสอบกับแบบจำลองนี้เป็นข้อมูลที่ย้อนหลังในอดีตเกี่ยวกับข้อมูลการส่งออกเพชรของประเทศไทย โดยมีขอบเขตหลักๆ ที่จะศึกษาดังต่อไปนี้

1.3.1 ระบบพีชชี

1.3.2 เทคนิคการพยากรณ์

1.3.3 ตัวแบบพีชชี NARMA

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

จากการศึกษา จะทำให้ทราบถึงกระบวนการ การพยากรณ์ที่มีลักษณะเป็นแบบอนุกรมเวลาไม่เชิงเส้นด้วยตัวแบบพีชชี NARMA โดยจะนำมาประยุกต์ใช้งานในด้านการทำนายข้อมูลทางธุรกิจเพื่อนำแนวโน้มข้อมูลที่ทำนายได้ไปใช้ในการพัฒนาระบบธุรกิจให้มีประสิทธิภาพได้ดียิ่งขึ้น

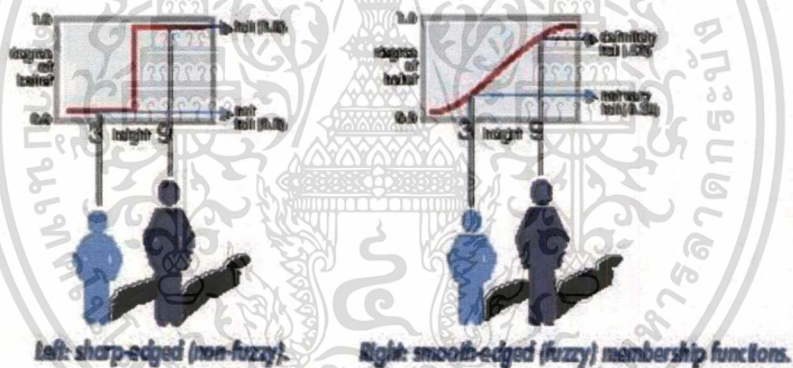
บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีฟัซซีและระบบฟัซซี

2.1.1 ฟัซซีเซต (Fuzzy set)

ฟัซซีเซต (Fuzzy set) ถูกนำเสนอขึ้นเป็นครั้งแรกโดย Zadah, L.A. โดยมีลักษณะแตกต่างจากเซตแบบปกติ (crisp set) คือเซตแบบปกติจะมีค่าระดับความเป็นสมาชิก (degree of membership function) เพียงสองค่าคือ จริงหรือเท็จ กล่าวคือเป็น 0 หรือ 1 ซึ่งค่าแบบนี้จะไม่ละเอียด และไม่มีความยืดหยุ่นพอสำหรับการนำไปใช้งานในบางกรณี ส่วนฟัซซีเซต ค่าระดับความเป็นสมาชิก จะมีค่าที่มีความกำกวมแฝงอยู่ ดังนั้นค่าระดับความเป็นสมาชิกจะมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 ดังรูปที่ 1



รูปที่ 2.1 เปรียบเทียบค่าระดับของฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของเซตแบบปกติและฟัซซีของเซตความสูงและความเตี้ย

จากรูปที่ 1 แสดงค่าระดับของฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของเซต “เตี้ย” และ “สูง” ซึ่งจะพิจารณาความสูงในช่วง 3 ฟุต ถึง 9 ฟุต โดยรูปทางซ้ายมือจะเป็นลักษณะของเซตปกติ ซึ่งจะเห็นได้ว่า คนที่มีความสูงไม่เกิน 6 ฟุต จะอยู่ในเซตของ “เตี้ย” และคนที่มีความสูงเกิน 6 ฟุต จะอยู่ในเซตของ “สูง” ซึ่งพิจารณาแล้วว่าการตีความเช่นนี้จะไม่ดีพอสำหรับในกรณีนี้ แต่จากรูปทางขวามือ ซึ่งเป็นลักษณะแบบฟัซซีเซต จะเห็นได้ว่าคนที่สูง 6 ฟุตจะเป็นคนที่อยู่ในเซตระดับปานกลาง คือไม่เตี้ยไม่สูง และคนที่สูง 8 ฟุต จะเป็นคนที่อยู่ในเซตระดับปานกลางถึงสูง หรืออาจกล่าวเป็นภาษาพูดได้ว่า “ค่อนข้างสูง” และคนที่สูง 4 ฟุต จะเป็นคนที่อยู่ในเซตระดับปานกลางถึงเตี้ย หรืออาจกล่าวเป็นภาษาพูดได้ว่า “ค่อนข้างเตี้ย” เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นเราสามารถนิยามฟัซซีเซตได้ดังนี้ ถ้าให้ U เป็นเซตเอกภพสัมพัทธ์ (universal set) ใดๆ แล้วเราจะกล่าวได้ว่า A เป็นฟัซซีเซตใน U ก็ต่อเมื่อ

$$A = \{ (x, \mu_A(x)) \mid x \in U \} \quad \text{----- (1)}$$

โดยที่ μ_A คือฟังก์ชันการเป็นสมาชิก ส่วนค่าระดับความเป็นสมาชิกของ x ใน A จะมีค่าอยู่ในช่วงปิด 0 ถึง 1 กล่าวคือ $\mu_A : U \rightarrow [0,1]$ นั่นเอง

2.1.2 ฟัซซีลอจิก (Fuzzy logic)

ส่วนฟัซซีลอจิก (Fuzzy logic) เป็นตรรกศาสตร์ที่อยู่บนพื้นฐานของฟัซซีเซต กล่าวคือ ค่าความจริงอาจมีมากกว่าสองค่าได้ ดังนั้นฟัซซีลอจิกจึงเป็นตรรกศาสตร์แบบผสม (multivalued logic) ในขณะที่ตรรกศาสตร์แบบปกติซึ่งอยู่บนพื้นฐานของเซตแบบปกติ จะเป็นตรรกศาสตร์แบบสองค่า (two-valued logic) ดังนั้นลักษณะที่สำคัญของฟัซซีลอจิก คือ

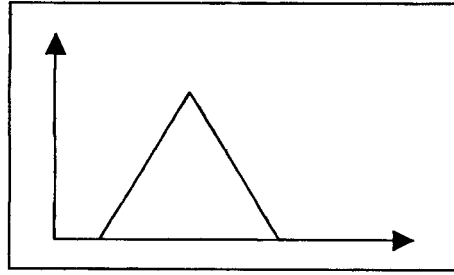
1. ฟัซซีลอจิกแตกต่างจากตรรกศาสตร์แบบปกติตรงที่ฟัซซีลอจิกจะไม่เป็นไปตามกฎของความไม่ขัดแย้ง (law of noncontradiction) คือฟัซซีลอจิกจะยอมให้ค่าความจริงมีค่าเป็นค่าระดับความเป็นสมาชิกที่มากกว่าศูนย์ได้ ในหลายๆ เซตพร้อมๆ กัน

2. ค่าระดับความเป็นสมาชิกในแต่ละเซต ไม่จำเป็นต้องรวมกันแล้วได้เท่ากับ 1

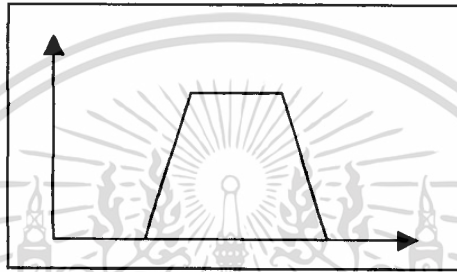
2.1.3 ฟังก์ชันการเป็นสมาชิก (Membership Function)

ฟังก์ชันการเป็นสมาชิกใช้เพื่อแสดงขอบเขตของค่าระดับความเป็นสมาชิกในแต่ละฟัซซีเซต ฟังก์ชันการเป็นสมาชิกที่ใช้ในฟัซซีลอจิกมีอยู่ด้วยกันหลายแบบ แสดงดังรูปที่ 2 เช่น

1. ฟังก์ชันการเป็นสมาชิกแบบสามเหลี่ยม (Triangular membership function)
2. ฟังก์ชันการเป็นสมาชิกแบบสี่เหลี่ยมคางหมู (Trapezoidal membership function)
3. ฟังก์ชันการเป็นสมาชิกแบบเกาส์ (Gaussian membership function)
4. ฟังก์ชันการเป็นสมาชิกแบบซิงเกิลตัน (Singleton membership function)



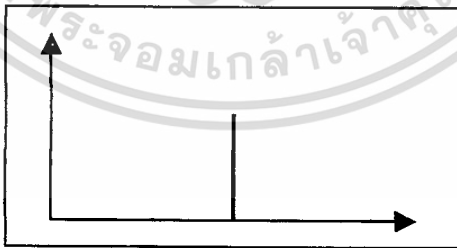
ก.



ข.



ค.



ง.

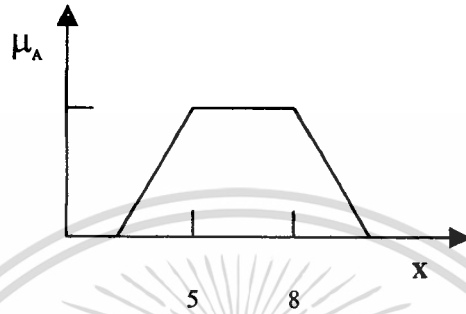
รูปที่ 2.2 แสดงฟังก์ชันการเป็นสมาชิกแบบต่างๆ

- (ก.) ฟังก์ชันการเป็นสมาชิกแบบสามเหลี่ยม
- (ข.) ฟังก์ชันการเป็นสมาชิกแบบสี่เหลี่ยมคางหมู
- (ค.) ฟังก์ชันการเป็นสมาชิกแบบเกาส์
- (ง.) ฟังก์ชันการเป็นสมาชิกซิงเกิลตัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.4 การกระทำกันของฟัซซีเซต (Operation of fuzzy sets)

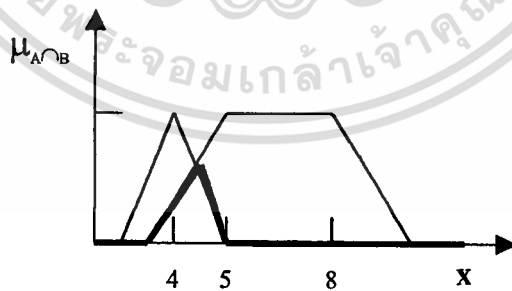
เมื่อสมมติให้ A และ B เป็นฟัซซีเซตใน U ที่มีค่าฟังก์ชันการเป็นสมาชิกเท่ากับ μ_A และ μ_B ตามลำดับ การกระทำกันของฟัซซีเซต มีดังนี้



รูปที่ 2.3 ฟัซซีเซต A

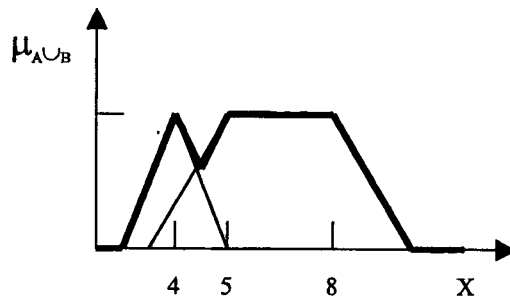


รูปที่ 2.4 ฟัซซีเซต B

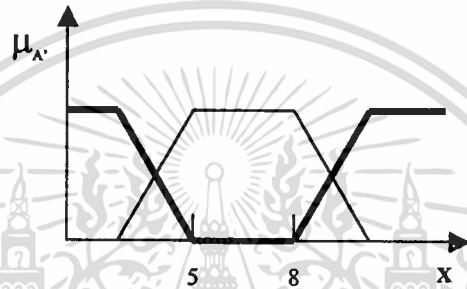


รูปที่ 2.5 ฟัซซีเซต A AND B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



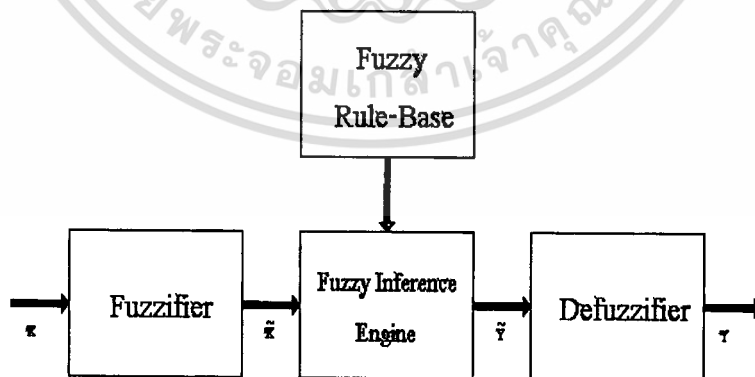
รูปที่ 2.6 ฟัซซีเซต A OR B



รูปที่ 2.7 NOT ฟัซซีเซต A

2.1.5 ระบบฟัซซี (Fuzzy System)

ระบบฟัซซี คือระบบที่ใช้หลักการของฟัซซีเซตและ ฟัซซีลอจิก โดยระบบฟัซซีที่นิยมใช้คือ ระบบฟัซซีลอจิกที่มีตัวฟัซซีฟายเออร์ และ ดีฟัซซีฟายเออร์ โดยมีโครงสร้างดังรูปที่ 8



รูปที่ 2.8 แสดงโครงสร้างการทำงานของระบบฟัซซีที่มีตัวฟัซซีฟายเออร์และดีฟัซซีฟายเออร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลักการการทำงานของระบบฟัซซีที่มีตัวฟัซซีฟายเออร์ และ ดีฟัซซีฟายเออร์ เป็นดังนี้ เมื่ออินพุต X ซึ่งเป็นค่าแบบปกติเข้ามาในระบบ จะถูกทำการฟัซซีฟาย (Fuzzification) เพื่อแปลงให้เป็นค่าแบบฟัซซี (Fuzzy Value) \tilde{X} ด้วยตัวฟัซซีฟายเออร์ (Fuzzifier) แล้วนำค่าที่ได้นี้ไปอนุมานหาค่าเอาต์พุต \tilde{Y} โดยให้กลไกการอนุมานฟัซซี (Fuzzy Inference Engine) ร่วมกับกฎเงื่อนไขพื้นฐาน ฟัซซี (Fuzzy Rule-Base) แต่เนื่องจากค่าเอาต์พุตที่ได้นี้เป็นค่าแบบฟัซซีจึงนำไปทำการดีฟัซซีฟาย (Defuzzification) เพื่อแปลงกลับไปเป็นค่าแบบปกติด้วยตัวดีฟัซซีฟายเออร์ (Defuzzifier) จากนั้นนำค่า เอาต์พุต Y ที่ได้ไปใช้งานต่อไป

2.1.5.1 ส่วนประกอบที่สำคัญของระบบฟัซซีที่มีตัวฟัซซีฟายเออร์ และตัวดีฟัซซีฟายเออร์

ส่วนประกอบที่สำคัญของระบบฟัซซีที่มีตัวฟัซซีฟายเออร์ และตัวดีฟัซซีฟายเออร์ มีดังนี้

1. ตัวฟัซซีฟายเออร์ (Fuzzifier) มีหน้าที่ในการแปลงค่าข้อมูลแบบปกติให้เป็นค่าแบบฟัซซี
2. กฎเงื่อนไขพื้นฐานฟัซซี (Fuzzy Rule-Base) เป็นกฎที่ได้มาจากความรู้ของผู้ชำนาญ หรือ จากข้อมูลเชิงตัวเลข (Numerical Data) ซึ่งอยู่ในรูปของเซตของกฎเงื่อนไขพื้นฐาน ถ้า-แล้ว (a set of If-Then Rules)
3. กลไกการอนุมานฟัซซี (Fuzzy Inference Engine) เป็นกลไกที่ใช้หลักการของฟัซซีลอจิกในการอนุมานหาค่าเอาต์พุตที่เป็นค่าแบบฟัซซี จากอินพุตที่เป็นค่าแบบ ฟัซซีโดยใช้กฎเงื่อนไขพื้นฐานกลับเข้ามาช่วยในการอนุมาน
4. ตัวดีฟัซซีฟายเออร์ (Defuzzifier) มีหน้าที่ในการแปลงค่าผลลัพธ์ที่มีค่าแบบฟัซซีให้เป็นค่าแบบปกติ เพื่อที่จะนำไปใช้งานต่อไปได้

2.1.6 ฟัซซีเบสิสฟังก์ชัน (Fuzzy Basis Function)

ถ้ากฎฟัซซี (Fuzzy Rule Base) ประกอบด้วยหลายๆ กฎฟัซซี ถ้า-แล้ว (Fuzzy If-Then Rule) ดังต่อไปนี้

กฎข้อที่ j : If X_1 is F_1^j and ... and X_n is F_n^j Then Y is G^j

เมื่อ $j = 1, 2, 3, \dots, M$ และ F_n^j , G^j เป็นฟัซซีเซตของ อินพุตและเอาต์พุตของกฎฟัซซีข้อที่ j ตามลำดับ ระบบฟัซซีซึ่งประกอบด้วย Singleton Fuzzifier, Algebraic Product Inference และ Center Average Defuzzifier สามารถเขียนอยู่ในรูปของสมการเชิงคณิตศาสตร์ได้ดังสมการที่ 2

$$Y(\bar{x}) = \frac{\sum_{j=1}^M \bar{y}^j \left(\prod_{i=1}^n \mu_{F_i^j}(x_i) \right)}{\sum_{j=1}^M \left(\prod_{i=1}^n \mu_{F_i^j}(x_i) \right)} \quad \text{----- (2)}$$

เมื่อ $\mu_{F_i^j}$ และ μ_{G^j} เป็นฟังก์ชันการเป็นสมาชิก (Membership Function) ของ F_i^j และ G^j ตามลำดับ โดยที่ $\mu_{F_i^j}$ เป็นฟังก์ชันการเป็นสมาชิกแบบเกาส์ (Gaussian Membership Function)

$$\mu_{F_i^j} = a_i^j \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{x_i - \bar{x}_i^j}{\sigma_i^j} \right)^2 \right] \quad \text{----- (3)}$$

เมื่อ a_i^j , \bar{x}_i^j และ σ_i^j เป็นพารามิเตอร์จำนวนจริง ซึ่ง $0 < a_i^j \leq 1$ และ \bar{y}^j เป็นจุดที่ μ_{G^j} มีค่ามากที่สุด ซึ่งถูกกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 1 (ค่าความเป็นสมาชิกมีค่ามากที่สุดเป็น 1)

ฟังก์ชันเบซิสฟังก์ชันหรือ FBF ถูกนิยามดังสมการที่ (4)

$$P_j(\bar{x}) = \frac{\prod_{i=1}^n \mu_{F_i^j}(x_i)}{\sum_{j=1}^L \left(\prod_{i=1}^n \mu_{F_i^j}(x_i) \right)}, j=1,2,3,\dots,M \quad \text{----- (4)}$$

ระบบฟังก์ชันในสมการที่ (1) จะสมมูลกับ FBF Expansions

$$Y(\bar{x}) = \sum_{j=1}^M \theta_j P_j(\bar{x}) \quad \text{----- (5)}$$

เราใช้วิธีกำลังสองน้อยที่สุด (Least Squares Algorithm) เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ของ FBF Expansions ดัง สมการที่ (5) สามารถเขียนใหม่ได้โดย

$$Y(\bar{x}) = \sum_{j=1}^M \theta_j P_j(\bar{x}) + e(t) \quad \text{----- (6)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อกำหนดค่าลำดับ อินพุท-เอาต์พุท และกำหนดสัญลักษณ์เมตริกซ์ สมการที่ (6) สามารถเขียนใหม่ได้ดังนี้

$$Y = P\Theta + E \quad \text{----- (7)}$$

โดยที่

$$Y = \begin{bmatrix} Y^1 \\ \vdots \\ Y^N \end{bmatrix}, P = \begin{bmatrix} P_1^1 & \dots & P_M^1 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ P_1^N & \dots & P_M^N \end{bmatrix}, E = \begin{bmatrix} e(1) \\ \vdots \\ e(N) \end{bmatrix}$$

และ Θ จะต้องสัมพันธ์กับสมการที่ (8)

$$(P^T P)\Theta = P^T Y \quad \text{----- (8)}$$

อินเวอร์ส (Inverse) หรือสู โคอินเวอร์ส (Pseudo Inverse) ของ $P^T P$ จะคำนวณเพื่อหาค่า Θ ที่เหมาะสม

คุณสมบัติที่สำคัญของ FBF Expansions ก็คือ FBF Expansions มีความสามารถในการประมาณค่าฟังก์ชันที่มีลักษณะต่อเนื่อง ซึ่งเป็นเหตุผลหนึ่งซึ่งเราสามารถนำ FBF Expansions มาสร้างตัวแบบระบบพลวัต (Dynamic System) ซึ่งถูกบรรยายโดยใช้ฟังก์ชันที่มีลักษณะต่อเนื่อง

ดังนั้นในสัมมนาวันนี้จึงทำการศึกษา การนำ FBF Expansions มาใช้ กำหนดลักษณะตัวแบบพีชชี NARMA เพื่อนำไปพยากรณ์อนุกรมเวลาไม่เชิงเส้น

2.2 เทคนิคการพยากรณ์ (Forecasting Techniques)

เมื่อพิจารณา เทคนิคการพยากรณ์ ในด้านสถิติ จะแบ่งการพยากรณ์ออกได้เป็น 2 ประเภทดังนี้

2.2.1 การพยากรณ์เชิงคุณภาพ (Qualitative Forecasting)

เป็นการพยากรณ์ที่ใช้ความรู้ ความสามารถ รวมถึงประสบการณ์ของผู้พยากรณ์ โดยไม่ใช้ตัวแบบ (Model) ทางคณิตศาสตร์

2.2.2 การพยากรณ์เชิงปริมาณ (Quantitative Forecasting)

เป็นการพยากรณ์ที่ใช้ข้อมูลเชิงปริมาณ (ตัวเลข) ในอดีตมาพยากรณ์ค่าในอนาคต สำหรับการพยากรณ์เชิงปริมาณสามารถแบ่งตัวแบบ ที่ใช้ในการพยากรณ์ได้เป็น 2 ประเภท ดังนี้

2.2.2.1 Explanatory Model เป็นตัวแบบที่ใช้การพยากรณ์โดยการอธิบาย การชี้แจง ซึ่งจะ เป็นการสมมติตัวแปรต่างๆ ที่มีผลต่อการพยากรณ์ค่าของตัวแปรในอนาคต โดยใช้รูปแบบความสัมพันธ์ของตัวแปรที่ต้องการพยากรณ์กับตัวแปรอื่นๆที่ทราบค่า

2.2.2.2 Time Series Model เป็นตัวแบบที่ใช้เวลาเป็นตัวกำหนด ซึ่งจะเป็นการพยากรณ์ค่าของตัวแปรในอนาคต โดยศึกษาจากรูปแบบการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรนั้นที่เปลี่ยนไปตามเวลาในอดีตโดยไม่ได้พิจารณาถึงตัวแปรอื่นๆซึ่งมีความสัมพันธ์กับ ตัวแปรที่ต้องการพยากรณ์เลย โดยที่อนุกรมเวลาจะมีส่วนประกอบของข้อมูลออกเป็น 4 ส่วนดังนี้

1. แนวโน้ม (Trend : T) เป็นการเคลื่อนไหวของอนุกรมเวลาในระยะยาวซึ่งอาจจะเป็นแนวโน้มขึ้นหรือลง แนวโน้มจะสะท้อนให้เห็นถึงความเจริญและความเสื่อมของเหตุการณ์ต่างๆ เช่น จำนวนประชากรที่เปลี่ยนแปลงไป หรือ อัตราเงินเฟ้อ เป็นต้น

2. อิทธิพลของฤดูกาล (Seasonal Effect : S) เป็นการเคลื่อนไหวของอนุกรมเวลาที่เกิดขึ้นซ้ำแล้ว ซ้ำอีกในช่วงเวลาหนึ่ง ส่วนใหญ่จะเป็นหนึ่งปี โดย อนุกรมเวลาที่ใช้ในการพิจารณาอิทธิพลของฤดูกาลมักจะเป็นอนุกรมเวลารายเดือน หรือรายไตรมาสที่มีการเก็บรวบรวมไว้อย่างน้อย 2 ปีขึ้นไป

3. อิทธิพลวัฏจักร (Cyclical Effect : C) อนุกรมเวลาที่เก็บรวบรวมในระยะเวลายาวหลายปี การเคลื่อนไหวอาจจะแสดงอิทธิพลของวัฏจักรที่มีลักษณะทำนองเดียวกันกับอิทธิพลของฤดูกาล โดยวัฏจักรหนึ่งจะครอบคลุมระยะเวลาหลายปี แต่แต่ละช่วงเวลาก็จะมีการเคลื่อนไหวไม่แตกต่างกันมากนัก วัฏจักรที่พบบ่อย เช่น วัฏจักรธุรกิจ เป็นต้น

4. เหตุการณ์ที่ผิดปกติ (Irregular Effect : I) เป็นการเคลื่อนไหวของอนุกรมเวลาเฉพาะส่วนที่ไม่มีแบบแผนที่แน่นอน เหตุการณ์ผิดปกติส่วนใหญ่จะเป็นเหตุการณ์ที่ไม่ได้คาดคิดมาก่อน หรือไม่เกิดบ่อยครั้ง เช่น น้ำท่วม พายุ เป็นต้น

2.3 ตัวแบบอนุกรมเวลา

ในการพัฒนาระบบสารสนเทศนี้จะเป็นการศึกษาตัวแบบอนุกรมเวลาที่มีลักษณะเป็นแบบไม่เชิงเส้น ซึ่งกำหนดว่าค่าพยากรณ์ในอนาคตเป็นค่าที่ได้จากค่าสังเกต หรือค่าพยากรณ์ก่อนหน้า และค่าความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ก่อนหน้า

ตัวแบบ NAR (p) แสดงได้สมการดังนี้

$$Y_t = f(Y_{t-1}, \dots, Y_{t-p}) \quad \text{----- (9)}$$

เมื่อ
 Y_t เป็นค่าสังเกตของอนุกรมเวลา ณ เวลา t
 p เป็น order ของค่าสังเกต
 $f(\cdot)$ เป็นฟังก์ชันไม่เชิงเส้น

ตัวแบบ NARMA (p,q) แสดงได้สมการดังนี้

$$Y_t = f(Y_{t-1}, \dots, Y_{t-p}, e_{t-1}, \dots, e_{t-q}) \quad \text{----- (10)}$$

เมื่อ
 Y_t เป็นค่าสังเกตของอนุกรมเวลา ณ เวลา t
 e_t เป็นค่าความคลาดเคลื่อน (โดยที่กำหนดให้ white noise คือค่าความคลาดเคลื่อนถูกกำหนดให้มีความเป็นอิสระต่อกัน)
 p เป็น order ของค่าสังเกต
 q เป็น order ของค่าความคลาดเคลื่อน
 $f(\cdot)$ เป็นฟังก์ชันไม่เชิงเส้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 การวัดค่าความถูกต้องของการพยากรณ์

ความถูกต้องของการพยากรณ์เป็นสิ่งที่ผู้ใช้ค่าพยากรณ์ต้องการ ความถูกต้องจะมีมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับค่าความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ ซึ่งเป็นผลต่างของค่าจริงและค่าพยากรณ์

$$\{et\} = \{Yt\} - \{\hat{Y}t\} \quad \text{----- (11)}$$

การพิจารณาค่าความคลาดเคลื่อนจะพิจารณาในสองทางได้แก่

2.4.1 จากกราฟของความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์กับเวลา ค่าความคลาดเคลื่อนที่ได้เป็นค่าประมาณของค่าความคลาดเคลื่อนในประชากร ซึ่งในขั้นตอนของการออกแบบ ข้อสมมติของตัวแบบจะกำหนดว่าค่าความคลาดเคลื่อนมีความเป็นอิสระต่อกัน

2.4.1.1 การทดสอบสหสัมพันธ์แบบออโต (Autocorrelation Testing) การทดสอบโดยใช้ฟังก์ชันสหสัมพันธ์ (Correlation Function) เป็นการพิจารณาว่าอนุกรมเวลา $\{et\}$ มีลักษณะการเคลื่อนไหวที่เป็นอิสระต่อกันหรือไม่ นั่นคือเป็นการตรวจสอบข้อจำกัดของตัวแบบที่กำหนดว่า $\{et\}$ จะต้องมีการแจกแจงที่เป็นอิสระกัน หากพบว่า $\{et\}$ มีลักษณะการเคลื่อนไหวที่เป็นอิสระกันจริง จะสรุปว่าตัวแบบนั้นเหมาะสมกับอนุกรมเวลาซึ่งจะทำโดยการทดสอบสมมติฐาน

$$H_0 : \rho_k(et) = 0$$

$$H_1 : \rho_k(et) \neq 0$$

สำหรับ $k=1,2,\dots$

การปฏิเสธ H_0 ที่ระดับความเชื่อมั่น (Confidence intervals) 95% หรือระดับนัยสำคัญ 0.05 จะทำเมื่อ $|r_k(e_t)| \geq 1.96/\sqrt{n}$ เมื่อ n เป็นขนาดของอนุกรมเวลา $\{et\}$

โดยที่ r_k เป็นค่าประมาณของ ρ_k ซึ่ง

$$r_k = \sum_{i=1}^k (e_i * e_{N-k+1}) \quad \text{----- (12)}$$

เมื่อ

$$k = 1,2,3,\dots,N$$

N คือ จำนวนข้อมูลทั้งหมด

2.4.2 ค่าสถิติที่ใช้วัดความถูกต้องของการพยากรณ์

ค่าวัดความถูกต้องของการพยากรณ์ที่ใช้กันมากได้แก่

2.4.2.1 SSE (Sum Square Error) เป็นค่าวัดความถูกต้องของการพยากรณ์ที่วัดจากค่าความคลาดเคลื่อนในแต่ละครั้งยกกำลังสอง

$$SSE = \left(\sum_{t=1}^n e_t^2 \right) \quad \text{----- (13)}$$

2.4.2.2 MSE (Mean Square Error) เป็นค่าวัดความถูกต้องของการพยากรณ์ที่วัดจากค่าความคลาดเคลื่อน ค่า MSE จะวัดต่อความคลาดเคลื่อน ที่มีขนาดใหญ่ เพราะได้จากการนำค่าความคลาดเคลื่อน แต่ละค่ามายกกำลังสอง

$$MSE = \left(\sum_{t=1}^n e_t^2 \right) / n \quad \text{----- (14)}$$

2.4.2.3 RMSE (Root Mean Square Error) เป็นค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย

$$RMSE = \sqrt{\left(\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n e_t^2 \right)} \quad \text{----- (15)}$$

เนื่องจากค่าวัดความถูกต้องของการพยากรณ์มีหลายค่า ในทางปฏิบัติจะพิจารณาหลายค่า ร่วมกันและพิจารณาจากกราฟของความคลาดเคลื่อน ควบคู่กันไปด้วย

บทที่ 3

ขั้นตอนการพยากรณ์โดยใช้ตัวแบบพีชชี NARMA

3.1 การเตรียมข้อมูล

ข้อมูลที่ใช้สำหรับการกำหนดตัวแบบจะถูกแบ่งเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ข้อมูลส่วนแรกถูกนำไปใช้เพื่อกำหนดรูปแบบ โดยฝึกหัดด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด ข้อมูลอีกส่วนหนึ่งจะถูกทำไปใช้ในการตรวจสอบความเหมาะสมของตัวแบบ

ข้อมูลอนุกรมเวลาจะถูกปรับค่าข้อมูลให้มีค่าอยู่ระหว่าง -6 ถึง 6 เพื่อความสะดวกในการประมวลผล ใช้สมการเชิงคณิตศาสตร์

$$Y_i = \frac{6(X_i - C)}{\max(X) - C} \quad \text{----- (16)}$$

เมื่อ

X_i เป็นข้อมูลที่จะปรับค่า

Y_i เป็นข้อมูลผลลัพธ์หลังจากการปรับค่าของ X_i

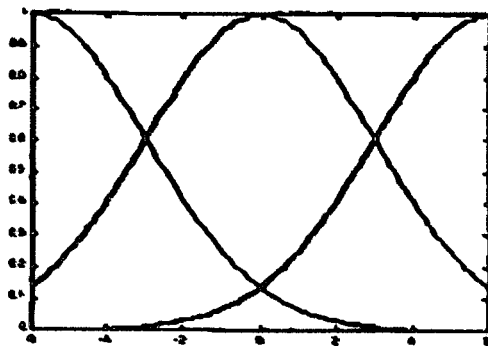
$$C = \frac{\max(X) + \min(X)}{2}$$

$\max(X)$ เป็นค่าสูงสุดของค่า X

$\min(X)$ เป็นค่าต่ำสุดของค่า X

3.2 การกำหนดระบบพีชชีและฟังก์ชันการเป็นสมาชิก

ในการพัฒนาระบบสารสนเทศนี้ใช้ฟังก์ชันสมาชิกแบบเกาส์ ทั้งส่วนของข้อมูลอนุกรมเวลา และในส่วนค่าคลาดเคลื่อน จำนวนของฟังก์ชันสมาชิกจะมีจำนวนตั้งแต่ 3 ขึ้นไป



รูปที่ 3.1 ฟังก์ชันการเป็นสมาชิกแบบเกาส์ที่มี 3 ฟังก์ชัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การกำหนดค่าต่างๆของระบบ

ค่าของระบบที่ต้องกำหนดได้แก่ order ของค่าสังเกต (p), order ของค่าคลาดเคลื่อน(q) และจำนวนสูงสุดของการวนลูปของโปรแกรม (maxK) ในกรณีที่ตัวแบบฝึกหัดไปจนถึงรอบของ maxK แล้วแต่ตัวแบบยังไม่เหมาะสม จะต้องมีกำหนดค่า p และ q ใหม่ จำนวนรอบ maxK ที่เหมาะสม คือประมาณ 2-4 รอบ

3.3.1 การกำหนดตัวแบบและทดสอบความเหมาะสมของตัวแบบ จะทำการศึกษาการนำ FBF มากำหนดตัวแบบ NARMA (p,q) และ พยากรณ์อนุกรมเวลาซึ่งมีลักษณะดังสมการที่ (17)

$$Y_t = f(Y_{t-1}, \dots, Y_{t-p}, e_{t-1}, \dots, e_{t-q}) \quad \text{----- (17)}$$

เมื่อ

Y_t เป็นค่าสังเกตของอนุกรมเวลา ณ เวลา t

e_t เป็นค่าความคลาดเคลื่อน

p เป็น order ของค่าสังเกต

q เป็น order ของค่าความคลาดเคลื่อน

$f(\cdot)$ เป็นฟังก์ชันไม่เชิงเส้น

จุดประสงค์หลักของการกำหนดตัวแบบก็คือพยายามใช้คุณสมบัติของ FBF Expansions ที่เหมาะสมมาแทนที่ $f(\cdot)$ สำหรับอนุกรมเวลานั้นๆ

ข้อมูลที่ใช้สำหรับการกำหนดตัวแบบจะถูกแบ่งเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ข้อมูลส่วนแรกถูกนำไปใช้เพื่อฝึกหัดด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด ข้อมูลอีกส่วนจะถูกนำไปใช้ในการตรวจสอบความเหมาะสมของตัวแบบ

3.4 การกำหนดตัวแบบและทดสอบความเหมาะสมของตัวแบบ

โดย

$$\hat{y}(t) = f_{\text{NAR}}(y_{t-1}, \dots, y_{t-p}) \quad \text{----- (18)}$$

เมื่อ

$f_{\text{NAR}}(\cdot)$ เป็นฟังก์ชันที่เกิดจากตัวแบบพีชคณิต NAR

ห้องสมุดคณะเทคโนโลยีสารสนเทศ สจล.

FBF จะถูกคำนวณจากฟังก์ชันที่กำหนดตามหัวข้อที่ 3.2 ซึ่งมีลักษณะดังสมการที่ 3 ค่าพารามิเตอร์ของ FBF Expansions หาได้จากการใช้วิธีกำลังสองน้อยที่สุด ค่าเริ่มต้นตัวแบบถูกใช้เพื่อสร้างลำดับค่าคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ $\{e_t^{(0)}\}$ โดยที่

$$e_t^{(k)} = y_t - \hat{y}_t^{(k)}, k=0,1,2,3,\dots \quad \text{----- (19)}$$

3.5 ในรอบที่ k ค่าคลาดเคลื่อน $\{e^{(k-1)}(t)\}$ จะถูกนำกลับเข้าไปใช้เพื่อฝึกหัด

โดย

$$\hat{y}_t^{(k)} = f_{\text{NARMA}}(y_{t-1} \dots y_{t-p}, e_{t-1}^{(k-1)} \dots e_{t-q}^{(k-1)}) \quad \text{----- (20)}$$

เมื่อ

$f_{\text{NARMA}}(\cdot)$ เป็นฟังก์ชันที่เกิดจากตัวแบบพีชคณิต NARMA

FBF จะถูกคำนวณจากฟังก์ชันการเป็นสมาชิกที่กำหนด ค่าพารามิเตอร์ FBF Expansions หาได้จากการใช้วิธีกำลังสองน้อยที่สุด โดยจำนวนพารามิเตอร์จะมีจำนวนเท่ากับ $n_{MF_y}^p * n_{MF_e}^q$ และให้ลำดับค่าคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ $\{e_t^{(k)}\}$

$\{e(t)\}$ จะถูกกำหนดค่าขอบเขตของความคลาดเคลื่อน (Bound Error) ด้วยค่าที่เหมาะสม ค่าที่เหมาะสมหาได้จากค่าคลาดเคลื่อนหรือ white noise ที่เกิดขึ้นจริง แต่ในทางปฏิบัตินั้นไม่สามารถหาค่าคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นจริงได้ อีกทางเลือกคือหาค่าขอบเขตความคลาดเคลื่อนจากค่าคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ $\{e^{(k-1)}(t)\}$

3.6 ทดสอบความเหมาะสมของตัวแบบ

ในขั้นตอนนี้จะนำข้อมูลส่วนที่ 2 มาใช้ในการทดสอบความเหมาะสมของรูปแบบ โดยที่

$$\hat{y}_t^{(k)} = f_{\text{NARMA}}(y_{t-1} \dots y_{t-p}, e_{t-1}^{(k-1)} \dots e_{t-q}^{(k-1)}) \quad \text{----- (20)}$$

ตัวแบบถูกทดสอบความเหมาะสมด้วยวิธีการทดสอบสหสัมพันธ์แบบออโต (Auto-Correlation Testing)

ขั้นตอนจะหยุดหากตัวแบบเหมาะสม หากตัวแบบยังไม่เหมาะสมจะต้องเริ่มทำตามตั้งแต่ขั้นตอนที่ (3.1) ขั้นตอนการกำหนดตัวแบบและการพยากรณ์ทั้งหมดสามารถแสดงเป็น โพลีชาร์ตได้ดังรูปที่ 9

3.7 ตัวอย่างการพยากรณ์โดยใช้ตัวแบบพีชชี NARMA

3.7.1 เตรียมข้อมูล

สมมติให้ข้อมูลที่ยังไม่ได้ปรับค่ามีค่าดังนี้ 3461, 3659, 3126, 3706, 6220, 4659, 6674, 6854, 7910, 11857, 8070, 12211, 12273, 6403, 12472, 10388, 13842, 46027, 12447, 13604, 12709, 19032, 62534, 15316, 18594, 19782, 20923 มาทำการปรับข้อมูลอนุกรมเวลาโดยให้มีค่าอยู่ระหว่าง -6 ถึง 6 โดยใช้สมการดังนี้

$$Y_i = \frac{6(X_i - C)}{\max(X) - C}$$

$$\max(x) = 62534 \quad \min(x) = 3126$$

$$C = \frac{\max(x) + \min(x)}{2} = \frac{62534 + 3126}{2} = 32830$$

ตารางที่ 3.1 แสดงการ ปรับค่าให้มีค่าอยู่ในช่วง -6 ถึง 6

X_i	Y_i
$X_1 = 3,461$	$Y_1 = -5.932$
$X_2 = 3,659$	$Y_2 = -5.892$
$X_3 = 3,126$	$Y_3 = -6.000$
$X_4 = 3,706$	$Y_4 = -5.883$
$X_5 = 6,220$	$Y_5 = -5.375$
$X_6 = 4,659$	$Y_6 = -5.690$
$X_7 = 6,674$	$Y_7 = -5.283$
$X_8 = 6,854$	$Y_8 = -5.247$
$X_9 = 7,910$	$Y_9 = -5.034$
$X_{10} = 11,857$	$Y_{10} = -4.236$
$X_{11} = 8,070$	$Y_{11} = -5.001$
$X_{12} = 12,211$	$Y_{12} = -4.165$
$X_{13} = 12,273$	$Y_{13} = -4.152$
$X_{14} = 6,403$	$Y_{14} = -5.338$
$X_{15} = 12,472$	$Y_{15} = -4.112$
$X_{16} = 10,388$	$Y_{16} = -4.533$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Xi	Yi
X17 = 13,842	Y17 = -3.835
X18 = 46,027	Y18 = 2.666
X19 = 12,447	Y19 = -4.117
X20 = 13,604	Y20 = -3.884
X21 = 12,709	Y21 = -4.064
X22 = 19,032	Y22 = -2.787
X23 = 62,534	Y23 = 6.000
X24 = 15,316	Y24 = -3.538
X25 = 18,594	Y25 = -2.876
X26 = 19,782	Y26 = -2.636
X27 = 20,923	Y27 = -2.405

3.7.2 การกำหนดระบบฟัซซีและฟังก์ชันการเป็นสมาชิก

กำหนดฟังก์ชันการเป็นสมาชิก X_t เป็นฟังก์ชันการเป็นสมาชิกแบบเคาส์และมีจำนวนสมาชิก (n_{MFY}) = 3 ฟังก์ชัน ได้แก่เซต N,P,Z โดยมี center อยู่ที่ -6,0,6 และ $\sigma = 3$ ข้อมูลต้องถูกดำเนินการให้เป็นฟัซซีด้วยกระบวนการ Fuzzifier ตามสมการ

$$\mu_{F_i^j} = a_i^j \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{x_i - x_i^j}{\sigma_i^j} \right)^2 \right]$$

ตารางที่ 3.2 แสดงการแปลงข้อมูลที่ปรับค่าแล้วให้เป็นค่าฟัซซี

Xi	$\mu_N(X_i)$	$\mu_Z(X_i)$	$\mu_P(X_i)$
X1 = -4.796	$\mu_N(X1) = 1.000$	$\mu_Z(X1) = 0.142$	$\mu_P(X1) = 0.00037$
X2 = -4.760	$\mu_N(X2) = 0.999$	$\mu_Z(X2) = 0.145$	$\mu_P(X2) = 0.00039$
X3 = -4.857	$\mu_N(X3) = 1.000$	$\mu_Z(X3) = 0.135$	$\mu_P(X3) = 0.00034$
X4 = -4.751	$\mu_N(X4) = 0.999$	$\mu_Z(X4) = 0.146$	$\mu_P(X4) = 0.00039$
X5 = -4.292	$\mu_N(X5) = 0.979$	$\mu_Z(X5) = 0.201$	$\mu_P(X5) = 0.00076$
X6 = -4.577	$\mu_N(X6) = 0.995$	$\mu_Z(X6) = 0.165$	$\mu_P(X6) = 0.00050$
X7 = -4.209	$\mu_N(X7) = 0.972$	$\mu_Z(X7) = 0.212$	$\mu_P(X7) = 0.00085$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

X_i	$\mu_N(X_i)$	$\mu_Z(X_i)$	$\mu_p(X_i)$
X8 = -4.176	$\mu_N(X8) = 0.969$	$\mu_Z(X8) = 0.217$	$\mu_p(X8) = 0.00089$
X9 = -3.983	$\mu_N(X9) = 0.949$	$\mu_Z(X9) = 0.245$	$\mu_p(X9) = 0.00116$
X10 = -3.262	$\mu_N(X10) = 0.841$	$\mu_Z(X10) = 0.369$	$\mu_p(X10) = 0.00296$
X11 = -3.954	$\mu_N(X11) = 0.946$	$\mu_Z(X11) = 0.249$	$\mu_p(X11) = 0.00120$
X12 = -3.197	$\mu_N(X12) = 0.829$	$\mu_Z(X12) = 0.381$	$\mu_p(X12) = 0.00321$
X13 = -3.186	$\mu_N(X13) = 0.827$	$\mu_Z(X13) = 0.384$	$\mu_p(X13) = 0.00326$
X14 = -4.258	$\mu_N(X14) = 0.976$	$\mu_Z(X14) = 0.205$	$\mu_p(X14) = 0.00079$
X15 = -3.149	$\mu_N(X15) = 0.820$	$\mu_Z(X15) = 0.391$	$\mu_p(X15) = 0.00341$
X16 = -3.530	$\mu_N(X16) = 0.887$	$\mu_Z(X16) = 0.319$	$\mu_p(X16) = 0.00210$
X17 = -2.899	$\mu_N(X17) = 0.771$	$\mu_Z(X17) = 0.442$	$\mu_p(X17) = 0.00463$
X18 = 2.983	$\mu_N(X18) = 0.015$	$\mu_Z(X18) = 0.674$	$\mu_p(X18) = 0.53921$
X19 = -3.154	$\mu_N(X19) = 0.821$	$\mu_Z(X19) = 0.390$	$\mu_p(X19) = 0.00339$
X20 = -2.942	$\mu_N(X20) = 0.780$	$\mu_Z(X20) = 0.433$	$\mu_p(X20) = 0.00440$
X21 = -3.106	$\mu_N(X21) = 0.812$	$\mu_Z(X21) = 0.399$	$\mu_p(X21) = 0.00360$
X22 = -1.950	$\mu_N(X22) = 0.564$	$\mu_Z(X22) = 0.650$	$\mu_p(X22) = 0.01371$
X23 = 6.000	$\mu_N(X23) = 0.000$	$\mu_Z(X23) = 0.135$	$\mu_p(X23) = 1.00000$
X24 = -2.630	$\mu_N(X24) = 0.714$	$\mu_Z(X24) = 0.499$	$\mu_p(X24) = 0.00639$
X25 = -2.030	$\mu_N(X25) = 0.581$	$\mu_Z(X25) = 0.632$	$\mu_p(X25) = 0.01257$
X26 = -1.813	$\mu_N(X26) = 0.533$	$\mu_Z(X26) = 0.680$	$\mu_p(X26) = 0.01588$
X27 = -1.605	$\mu_N(X27) = 0.488$	$\mu_Z(X27) = 0.725$	$\mu_p(X27) = 0.01975$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7.3 กำหนดค่าต่างๆของระบบ

$$p=2 \quad q=1 \quad \text{mak}(k)=2$$

3.7.4 การกำหนดตัวแบบและทดสอบความเหมาะสมของตัวแบบ

3.7.4.1 ข้อมูลอนุกรมเวลาถูกฝึกหัดดังต่อไปนี้

เมื่อ $t = p+1, p+2, \dots, n_{\text{train}}$

$$\text{Psudo_FBF}(t) = \begin{bmatrix} \mu_N(X_{t-2}) & \mu_N(X_{t-1}) & \mu_N(X_{t-2}) & \mu_Z(X_{t-1}) & \mu_N(X_{t-2}) & \mu_P(X_{t-1}) \\ \mu_Z(X_{t-2}) & \mu_N(X_{t-1}) & \mu_Z(X_{t-2}) & \mu_Z(X_{t-1}) & \mu_Z(X_{t-2}) & \mu_P(X_{t-1}) \\ \mu_P(X_{t-2}) & \mu_N(X_{t-1}) & \mu_P(X_{t-2}) & \mu_Z(X_{t-1}) & \mu_P(X_{t-2}) & \mu_P(X_{t-1}) \end{bmatrix}$$

$$\text{Psudo_FBF}(3) = \begin{bmatrix} \mu_N(X_1) & \mu_N(X_2) & \mu_N(X_1) & \mu_Z(X_2) & \mu_N(X_1) & \mu_P(X_2) \\ \mu_Z(X_1) & \mu_N(X_2) & \mu_Z(X_1) & \mu_Z(X_2) & \mu_Z(X_1) & \mu_P(X_2) \\ \mu_P(X_1) & \mu_N(X_2) & \mu_P(X_1) & \mu_Z(X_2) & \mu_P(X_1) & \mu_P(X_2) \end{bmatrix}$$

$$\text{Psudo_FBF}(3) = [0.999 \quad 0.145 \quad 0.0004 \quad 0.141 \quad 0.0205 \quad 0.00005 \quad 0.0004 \quad 0.00005 \quad 0]$$

$$\text{Sum Psudo_FBF}(3) = 1.307$$

$$\frac{\text{Psudo_FBF}(3)}{\text{Sum Psudo_FBF}(3)} = [0.764 \quad 0.111 \quad 0.0003 \quad 0.108 \quad 0.016 \quad 0.00004 \quad 0.0003 \quad 0.00004 \quad 0]$$

$$\text{Psudo_FBF}(4) = \begin{bmatrix} \mu_N(X_2) & \mu_N(X_3) & \mu_N(X_2) & \mu_Z(X_3) & \mu_N(X_2) & \mu_P(X_3) \\ \mu_Z(X_2) & \mu_N(X_3) & \mu_Z(X_2) & \mu_Z(X_3) & \mu_Z(X_2) & \mu_P(X_3) \\ \mu_P(X_2) & \mu_N(X_3) & \mu_P(X_2) & \mu_Z(X_3) & \mu_P(X_2) & \mu_P(X_3) \end{bmatrix}$$

$$\text{Psudo_FBF}(4) = [0.999 \quad 0.135 \quad 0.0003 \quad 0.145 \quad 0.019 \quad 0.00005 \quad 0.0004 \quad 0.00005 \quad 0]$$

$$\text{Sum Psudo_FBF}(4) = 1.300$$

$$\frac{\text{Psudo_FBF}(4)}{\text{Sum Psudo_FBF}(4)} = [0.765 \quad 0.104 \quad 0.0003 \quad 0.111 \quad 0.015 \quad 0.00004 \quad 0.0003 \quad 0.00004 \quad 0]$$

$$\text{Psudo_FBF}(5) = \begin{bmatrix} \mu_N(X3) & \mu_N(X4) & \mu_N(X3) & \mu_Z(X4) & \mu_N(X3) & \mu_P(X4) \\ \mu_Z(X3) & \mu_N(X4) & \mu_Z(X3) & \mu_Z(X4) & \mu_Z(X3) & \mu_P(X4) \\ \mu_P(X3) & \mu_N(X4) & \mu_P(X3) & \mu_Z(X4) & \mu_P(X3) & \mu_P(X4) \end{bmatrix}$$

$$\text{Psudo_FBF}(5) = [0.999 \quad 0.146 \quad 0.0004 \quad 0.135 \quad 0.020 \quad 0.00005 \quad 0.00034 \quad 0.00005 \quad 0]$$

$$\text{Sum Psudo_FBF}(5) = 1.301$$

$$\frac{\text{Psudo_FBF}(5)}{\text{Sum Psudo_FBF}(5)} = [0.767 \quad 0.112 \quad 0.0003 \quad 0.104 \quad 0.015 \quad 0.00004 \quad 0.00026 \quad 0.00004 \quad 0]$$

$$p = \left[\frac{\text{Psudo_FBF}(3)}{\text{Sum Psudo_FBF}(3)} \quad \frac{\text{Psudo_FBF}(4)}{\text{Sum Psudo_FBF}(4)} \quad \frac{\text{Psudo_FBF}(5)}{\text{Sum Psudo_FBF}(5)} \quad \dots \quad \frac{\text{Psudo_FBF}(28)}{\text{Sum Psudo_FBF}(28)} \right]^T$$

เมื่อได้ FBF แล้วทำการคำนวณหาพารามิเตอร์ Θ จากสมการ

$$(P^T P) \Theta = P^T Y$$

หลังจากได้ค่าพารามิเตอร์ Θ

นำพารามิเตอร์ Θ ที่ได้ไปใช้ในการพยากรณ์ข้อมูล Y_t โดยใช้สมการ

$$Y_t = P \Theta$$

จากนั้นนำค่าที่พยากรณ์ได้มาคำนวณหาค่าความคลาดเคลื่อนจากสมการ

$$e_t^{(k)} = y_t - \hat{y}_t^{(k)} \quad , k=1,2,3,\dots$$

ตารางที่ 3.3 แสดงค่าที่พยากรณ์ได้และค่าความคลาดเคลื่อน

$y_t^{(1)}$	x_t	$e_t^{(1)} = x_t - y_t^{(1)}$	$e_t^{(1)}$
$y_3^{(1)} = 3584$	$x_3 = 3126$	$e_3^{(1)} = -458$	$e_3^{(1)} = -0.442$
$y_4^{(1)} = 3672$	$x_4 = 3706$	$e_4^{(1)} = 34$	$e_4^{(1)} = -0.379$
$y_5^{(1)} = 3368$	$x_5 = 6220$	$e_5^{(1)} = 2851$	$e_5^{(1)} = -0.018$
$y_6^{(1)} = 3998$	$x_6 = 4659$	$e_6^{(1)} = 661$	$e_6^{(1)} = -0.299$
$y_7^{(1)} = 5760$	$x_7 = 6674$	$e_7^{(1)} = 913$	$e_7^{(1)} = -0.266$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$y_t^{(1)}$	x_t	$e_t^{(1)} = x_t - y_t^{(1)}$	$e_t^{(1)}$
$y_8^{(1)} = 4705$	$x_8 = 6854$	$e_8^{(1)} = 2149$	$e_8^{(1)} = -0.108$
$y_9^{(1)} = 6320$	$x_9 = 7910$	$e_9^{(1)} = 1590$	$e_9^{(1)} = -0.180$
$y_{10}^{(1)} = 6563$	$x_{10} = 11857$	$e_{10}^{(1)} = 5294$	$e_{10}^{(1)} = 0.294$
$y_{11}^{(1)} = 7845$	$x_{11} = 8070$	$e_{11}^{(1)} = 225$	$e_{11}^{(1)} = -0.354$
$y_{12}^{(1)} = 11824$	$x_{12} = 12211$	$e_{12}^{(1)} = 387$	$e_{12}^{(1)} = -0.334$
$y_{13}^{(1)} = 8018$	$x_{13} = 12273$	$e_{13}^{(1)} = 4255$	$e_{13}^{(1)} = 0.161$
$y_{14}^{(1)} = 12240$	$x_{14} = 6403$	$e_{14}^{(1)} = -5838$	$e_{14}^{(1)} = -1.129$
$y_{15}^{(1)} = 12367$	$x_{15} = 12472$	$e_{15}^{(1)} = 105$	$e_{15}^{(1)} = -0.370$
$y_{16}^{(1)} = 6700$	$x_{16} = 10388$	$e_{16}^{(1)} = 3688$	$e_{16}^{(1)} = 0.088$
$y_{17}^{(1)} = 12540$	$x_{17} = 13842$	$e_{17}^{(1)} = 1301$	$e_{17}^{(1)} = -0.217$
$y_{18}^{(1)} = 10322$	$x_{18} = 46027$	$e_{18}^{(1)} = 35705$	$e_{18}^{(1)} = 4.181$
$y_{19}^{(1)} = 13846$	$x_{19} = 12447$	$e_{19}^{(1)} = -1399$	$e_{19}^{(1)} = -0.562$
$y_{20}^{(1)} = 46027$	$x_{20} = 13604$	$e_{20}^{(1)} = -32423$	$e_{20}^{(1)} = -4.528$
$y_{21}^{(1)} = 12470$	$x_{21} = 12709$	$e_{21}^{(1)} = 238$	$e_{21}^{(1)} = -0.353$
$y_{22}^{(1)} = 13852$	$x_{22} = 19032$	$e_{22}^{(1)} = 5180$	$e_{22}^{(1)} = 0.279$
$y_{23}^{(1)} = 12602$	$x_{23} = 62534$	$e_{23}^{(1)} = 49932$	$e_{23}^{(1)} = 6.000$
$y_{24}^{(1)} = 19032$	$x_{24} = 15316$	$e_{24}^{(1)} = -3716$	$e_{24}^{(1)} = -0.858$
$y_{25}^{(1)} = 62534$	$x_{25} = 18594$	$e_{25}^{(1)} = -43940$	$e_{25}^{(1)} = -6.000$
$y_{26}^{(1)} = 15249$	$x_{26} = 19782$	$e_{26}^{(1)} = 4533$	$e_{26}^{(1)} = 0.197$
$y_{27}^{(1)} = 18622$	$x_{27} = 20923$	$e_{27}^{(1)} = 2301$	$e_{27}^{(1)} = -0.089$
$y_{28}^{(1)} = 19775$			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.4 นำค่าความคลาดเคลื่อนกลับเข้ามาฝึกหัด และ ทำการแปลงค่าเป็นค่า Fuzzifier

$e_i^{(1)}$	$\mu_N(e_i^{(1)})$	$\mu_Z(e_i^{(1)})$	$\mu_P(e_i^{(1)})$
$e_3^{(1)} = -0.442$	$\mu_N(e_3^{(1)})=0.17975$	$\mu_Z(e_3^{(1)})=0.98921$	$\mu_P(e_3^{(1)})=0.09971$
$e_4^{(1)} = -0.379$	$\mu_N(e_4^{(1)})=0.17285$	$\mu_Z(e_4^{(1)})=0.99205$	$\mu_P(e_4^{(1)})=0.10428$
$e_5^{(1)} = -0.018$	$\mu_N(e_5^{(1)})=0.13697$	$\mu_Z(e_5^{(1)})=0.99998$	$\mu_P(e_5^{(1)})=0.13372$
$e_6^{(1)} = -0.299$	$\mu_N(e_6^{(1)})=0.16437$	$\mu_Z(e_6^{(1)})=0.99505$	$\mu_P(e_6^{(1)})=0.11033$
$e_7^{(1)} = -0.266$	$\mu_N(e_7^{(1)})=0.16096$	$\mu_Z(e_7^{(1)})=0.99608$	$\mu_P(e_7^{(1)})=0.11290$
$e_8^{(1)} = -0.108$	$\mu_N(e_8^{(1)})=0.14534$	$\mu_Z(e_8^{(1)})=0.99935$	$\mu_P(e_8^{(1)})=0.12585$
$e_9^{(1)} = -0.180$	$\mu_N(e_9^{(1)})=0.15232$	$\mu_Z(e_9^{(1)})=0.99820$	$\mu_P(e_9^{(1)})=0.11982$
$e_{10}^{(1)} = 0.294$	$\mu_N(e_{10}^{(1)})=0.11071$	$\mu_Z(e_{10}^{(1)})=0.99521$	$\mu_P(e_{10}^{(1)})=0.16385$
$e_{11}^{(1)} = -0.354$	$\mu_N(e_{11}^{(1)})=0.17017$	$\mu_Z(e_{11}^{(1)})=0.99306$	$\mu_P(e_{11}^{(1)})=0.10614$
$e_{12}^{(1)} = -0.334$	$\mu_N(e_{12}^{(1)})=0.16804$	$\mu_Z(e_{12}^{(1)})=0.99382$	$\mu_P(e_{12}^{(1)})=0.10765$
$e_{13}^{(1)} = 0.161$	$\mu_N(e_{13}^{(1)})=0.12139$	$\mu_Z(e_{13}^{(1)})=0.99856$	$\mu_P(e_{13}^{(1)})=0.15045$
$e_{14}^{(1)} = -1.129$	$\mu_N(e_{14}^{(1)})=0.26763$	$\mu_Z(e_{14}^{(1)})=0.93164$	$\mu_P(e_{14}^{(1)})=0.05940$
$e_{15}^{(1)} = -0.370$	$\mu_N(e_{15}^{(1)})=0.17188$	$\mu_Z(e_{15}^{(1)})=0.99242$	$\mu_P(e_{15}^{(1)})=0.10495$
$e_{16}^{(1)} = 0.088$	$\mu_N(e_{16}^{(1)})=0.12757$	$\mu_Z(e_{16}^{(1)})=0.99957$	$\mu_P(e_{16}^{(1)})=0.14345$
$e_{17}^{(1)} = -0.217$	$\mu_N(e_{17}^{(1)})=0.15599$	$\mu_Z(e_{17}^{(1)})=0.99739$	$\mu_P(e_{17}^{(1)})=0.11680$
$e_{18}^{(1)} = 4.181$	$\mu_N(e_{18}^{(1)})=0.00316$	$\mu_Z(e_{18}^{(1)})=0.37865$	$\mu_P(e_{18}^{(1)})=0.83209$
$e_{19}^{(1)} = -0.562$	$\mu_N(e_{19}^{(1)})=0.19342$	$\mu_Z(e_{19}^{(1)})=0.98261$	$\mu_P(e_{19}^{(1)})=0.09143$
$e_{20}^{(1)} = -4.528$	$\mu_N(e_{20}^{(1)})=0.88659$	$\mu_Z(e_{20}^{(1)})=0.32013$	$\mu_P(e_{20}^{(1)})=0.00212$
$e_{21}^{(1)} = -0.353$	$\mu_N(e_{21}^{(1)})=0.17006$	$\mu_Z(e_{21}^{(1)})=0.99310$	$\mu_P(e_{21}^{(1)})=0.10622$
$e_{22}^{(1)} = 0.279$	$\mu_N(e_{22}^{(1)})=0.11188$	$\mu_Z(e_{22}^{(1)})=0.99568$	$\mu_P(e_{22}^{(1)})=0.16230$
$e_{23}^{(1)} = 6.000$	$\mu_N(e_{23}^{(1)})=0.00034$	$\mu_Z(e_{23}^{(1)})=0.13534$	$\mu_P(e_{23}^{(1)})=1.00000$
$e_{24}^{(1)} = -0.858$	$\mu_N(e_{24}^{(1)})=0.23018$	$\mu_Z(e_{24}^{(1)})=0.95993$	$\mu_P(e_{24}^{(1)})=0.07332$
$e_{25}^{(1)} = -6.000$	$\mu_N(e_{25}^{(1)})=1.00000$	$\mu_Z(e_{25}^{(1)})=0.13534$	$\mu_P(e_{25}^{(1)})=0.00034$
$e_{26}^{(1)} = 0.197$	$\mu_N(e_{26}^{(1)})=0.11842$	$\mu_Z(e_{26}^{(1)})=0.99785$	$\mu_P(e_{26}^{(1)})=0.15400$
$e_{27}^{(1)} = -0.089$	$\mu_N(e_{27}^{(1)})=0.14354$	$\mu_Z(e_{27}^{(1)})=0.99956$	$\mu_P(e_{27}^{(1)})=0.12748$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อนำค่าความคลาดเคลื่อนมาพิจารณาด้วยค่า Psudo_FBF(t) จะคำนวณได้ดังนี้

$$\text{Psudo_FBF}(t) = [\mu_N(X_{t-2}) \mu_N(X_{t-1}) \mu_N(e_{t-1}^{(1)}) \quad \mu_N(X_{t-2}) \mu_N(X_{t-1}) \mu_N(e_{t-1}^{(1)}) \quad \dots \\ \mu_P(X_{t-2}) \mu_P(X_{t-1}) \mu_P(e_{t-1}^{(1)}) \quad \mu_P(X_{t-2}) \mu_P(X_{t-1}) \mu_P(e_{t-1}^{(1)})]$$

$$\text{Psudo_FBF}(3) = [0.1796 \quad 0.9882 \quad 0.0996 \quad 0.0261 \quad 0.1434 \quad 0.0145 \quad 0.0001 \quad 0.0004 \quad 0 \\ 0.0255 \quad 0.1403 \quad 0.0141 \quad 0.0037 \quad 0.0204 \quad 0.0021 \quad 0 \quad 0.0001 \quad 0 \\ 0.0001 \quad 0.0004 \quad 0 \quad 0 \quad 0.0001 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0]$$

$$\text{Sum Psudo_FBF}(3) = 1.6585$$

$$\frac{\text{Psudo_FBF}(3)}{\text{Sum Psudo_FBF}(3)} = [0.1083 \quad 0.5958 \quad 0.0601 \quad 0.0157 \quad 0.0865 \quad 0.0087 \quad 0 \quad 0.0002 \quad 0 \\ 0.0154 \quad 0.0846 \quad 0.0085 \quad 0.0022 \quad 0.0123 \quad 0.0012 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \\ 0 \quad 0.0002 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0]$$

$$\text{Psudo_FBF}(4) = [0.1727 \quad 0.9911 \quad 0.1042 \quad 0.0233 \quad 0.1338 \quad 0.0141 \quad 0.0001 \quad 0.0003 \quad 0 \\ 0.0251 \quad 0.1438 \quad 0.0151 \quad 0.0034 \quad 0.0194 \quad 0.0020 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \\ 0.0001 \quad 0.0004 \quad 0 \quad 0 \quad 0.0001 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0]$$

$$\text{Sum Psudo_FBF}(4) = 1.6490$$

$$\frac{\text{Psudo_FBF}(4)}{\text{Sum Psudo_FBF}(4)} = [0.1047 \quad 0.6010 \quad 0.0632 \quad 0.0141 \quad 0.0811 \quad 0.0085 \quad 0 \quad 0.0002 \quad 0 \\ 0.0152 \quad 0.0872 \quad 0.0092 \quad 0.0021 \quad 0.0118 \quad 0.0012 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \\ 0 \quad 0.0002 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0]$$

$$\text{Psudo_FBF}(5) = [0.1368 \quad 0.9990 \quad 0.1336 \quad 0.0200 \quad 0.1460 \quad 0.0195 \quad 0.0001 \quad 0.0004 \quad 0.0001 \\ 0.0185 \quad 0.1349 \quad 0.0180 \quad 0.0027 \quad 0.0197 \quad 0.0026 \quad 0 \quad 0.0001 \quad 0 \\ 0 \quad 0.0003 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0]$$

$$\text{Sum Psudo_FBF}(5) = 1.6524$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{\text{Psudo_FBF}(5)}{\text{Sum Psudo_FBF}(5)} = \begin{bmatrix} 0.0828 & 0.6046 & 0.0808 & 0.0121 & 0.0884 & 0.0118 & 0 & 0.0002 & 0 \\ 0.0112 & 0.0816 & 0.0109 & 0.0016 & 0.0119 & 0.0016 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.0002 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$p = \left[\frac{\text{Psudo_FBF}(3)}{\text{Sum Psudo_FBF}(3)} \quad \frac{\text{Psudo_FBF}(4)}{\text{Sum Psudo_FBF}(4)} \quad \frac{\text{Psudo_FBF}(5)}{\text{Sum Psudo_FBF}(5)} \quad \dots \quad \frac{\text{Psudo_FBF}(28)}{\text{Sum Psudo_FBF}(28)} \right]^T$$

เมื่อได้ FBF แล้วทำการคำนวณหาพารามิเตอร์ Θ จากสมการ

$$(P^T P) \Theta = P^T Y$$

หลังจากได้ค่าพารามิเตอร์ Θ

นำพารามิเตอร์ Θ ที่ได้ไปใช้ในการพยากรณ์ข้อมูล Y_t โดยใช้สมการ

$$Y_t = P \Theta$$

จากนั้นนำค่าที่พยากรณ์ได้มาคำนวณหาค่าความคลาดเคลื่อนจากสมการ

$$e_t^{(k)} = y_t - \hat{y}_t^{(k)} \quad , k=1,2,3,\dots$$

ตารางที่ 3.5 แสดงค่าที่พยากรณ์ได้และค่าความคลาดเคลื่อน

$y_t^{(2)}$	x_t	$e_t^{(2)} = x_t - y_t^{(2)}$	$e_t^{(2)}$
$y_3^{(2)} = 3382$	$x_3 = 3126$	$e_3^{(2)} = -256$	$e_3^{(2)} = -0.456$
$y_4^{(2)} = 3587$	$x_4 = 3706$	$e_4^{(2)} = 119$	$e_4^{(2)} = -0.408$
$y_5^{(2)} = 3126$	$x_5 = 6220$	$e_5^{(2)} = 3094$	$e_5^{(2)} = -0.020$
$y_6^{(2)} = 3601$	$x_6 = 4659$	$e_6^{(2)} = 1058$	$e_6^{(2)} = -0.285$
$y_7^{(2)} = 6143$	$x_7 = 6674$	$e_7^{(2)} = 531$	$e_7^{(2)} = -0.354$
$y_8^{(2)} = 4562$	$x_8 = 6854$	$e_8^{(2)} = 2292$	$e_8^{(2)} = -0.125$
$y_9^{(2)} = 6574$	$x_9 = 7910$	$e_9^{(2)} = 1336$	$e_9^{(2)} = -0.249$
$y_{10}^{(2)} = 6764$	$x_{10} = 11857$	$e_{10}^{(2)} = 5093$	$e_{10}^{(2)} = 0.240$
$y_{11}^{(2)} = 7700$	$x_{11} = 8070$	$e_{11}^{(2)} = 370$	$e_{11}^{(2)} = -0.375$
$y_{12}^{(2)} = 11739$	$x_{12} = 12211$	$e_{12}^{(2)} = 472$	$e_{12}^{(2)} = -0.362$
$y_{13}^{(2)} = 7916$	$x_{13} = 12273$	$e_{13}^{(2)} = 4357$	$e_{13}^{(2)} = 0.144$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$y_t^{(2)}$	x_t	$e_t^{(2)} = x_t - y_t^{(2)}$	$e_t^{(2)}$
$y_{14}^{(2)} = 11909$	$x_{14} = 6403$	$e_{14}^{(2)} = -5507$	$e_{14}^{(2)} = -1.140$
$y_{15}^{(2)} = 12181$	$x_{15} = 12472$	$e_{15}^{(2)} = 291$	$e_{15}^{(2)} = -0.385$
$y_{16}^{(2)} = 6245$	$x_{16} = 10388$	$e_{16}^{(2)} = 4143$	$e_{16}^{(2)} = 0.117$
$y_{17}^{(2)} = 12339$	$x_{17} = 13842$	$e_{17}^{(2)} = 1503$	$e_{17}^{(2)} = -0.227$
$y_{18}^{(2)} = 10523$	$x_{18} = 46027$	$e_{18}^{(2)} = 35504$	$e_{18}^{(2)} = 4.201$
$y_{19}^{(2)} = 11114$	$x_{19} = 12447$	$e_{19}^{(2)} = 1333$	$e_{19}^{(2)} = -0.249$
$y_{20}^{(2)} = 46893$	$x_{20} = 13604$	$e_{20}^{(2)} = -33289$	$e_{20}^{(2)} = -4.759$
$y_{21}^{(2)} = 12227$	$x_{21} = 12709$	$e_{21}^{(2)} = 482$	$e_{21}^{(2)} = -0.360$
$y_{22}^{(2)} = 13476$	$x_{22} = 19032$	$e_{22}^{(2)} = 5556$	$e_{22}^{(2)} = 0.301$
$y_{23}^{(2)} = 13221$	$x_{23} = 62534$	$e_{23}^{(2)} = 49313$	$e_{23}^{(2)} = 6.000$
$y_{24}^{(2)} = 19938$	$x_{24} = 15316$	$e_{24}^{(2)} = -4622$	$e_{24}^{(2)} = -1.025$
$y_{25}^{(2)} = 61411$	$x_{25} = 18594$	$e_{25}^{(2)} = -42817$	$e_{25}^{(2)} = -6.000$
$y_{26}^{(2)} = 15084$	$x_{26} = 19782$	$e_{26}^{(2)} = 4697$	$e_{26}^{(2)} = 0.189$
$y_{27}^{(2)} = 18343$	$x_{27} = 20923$	$e_{27}^{(2)} = 2580$	$e_{27}^{(2)} = -0.087$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลอง

การทดลอง การพัฒนา Application สำหรับการพยากรณ์อนุกรมเวลาไม่เชิงเส้นที่มีลักษณะเป็นแบบพีชชี NARMA นี้ได้แบ่งขั้นตอนการทดลองออกเป็น 3 ส่วนหลักๆดังนี้

1. ส่วนการเตรียมข้อมูล
2. ส่วนการทำงานของ Application
3. ส่วนการแสดงผลลัพธ์

4.1 ส่วนการเตรียมข้อมูล

ในการทดลองนี้ได้นำข้อมูล การส่งออกเพชรของประเทศไทย ในระยะเวลา 12 ปี นับตั้งแต่เดือน มกราคม พ.ศ. 2534 ถึงเดือน มกราคม พ.ศ. 2546 โดยเป็นข้อมูลที่ทำกรบันทึกไว้เป็นรายเดือน ดังแสดงข้อมูลในตารางที่ 4.1 โดยนำข้อมูลที่มีอยู่มาทำการปรับค่าให้อยู่ในช่วง -6 ถึง 6 โดยใช้สมการที่ (19) โดยข้อมูลที่ถูกปรับค่าแล้วจะถูกแสดงไว้ในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.1 ข้อมูลตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง

ID	Year	Month	Quantity
1	1991	January	13461
2	1991	February	13659
3	1991	March	13126
4	1991	April	13706

*

*

*

143	2002	November	122131
144	2002	December	91310

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 ข้อมูลที่ถูกปรับค่าให้มีค่าอยู่ในช่วง -6 ถึง 6

ID	Normalized Data
1	-5.734567688436069
2	-5.72712144336811
3	-5.747166133374283
4	-5.725353900346927

143	-1.6477825796726284
144	-2.806877121286671

4.2 ส่วนการทำงานของ Application

เมื่อเริ่มต้น Application จะปรากฏหน้าจอดังรูปที่ 4.1 โดยจะแบ่งการทำงานออกเป็นส่วนๆ คือ ส่วนของ การเตรียมข้อมูล(PrepareData) ส่วนของการทดสอบ(Test)ตัวแบบพีชชี NAR และ ส่วนของการทดสอบ (Test) ตัวแบบพีชชี NARMA ซึ่งแต่ละส่วนจะมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.2.1 เมนูการ PrepareData โดยในส่วนนี้จะทำการรวมส่วนของการฝึกสอนข้อมูล(Train) ของตัวแบบพีชชี NAR และ NARMA เข้าไว้ด้วย และ ยังมีส่วนของการตั้งค่า พารามิเตอร์ต่างๆ เพื่อใช้ในการคำนวณ ซึ่งมีส่วนต่างๆดังนี้

4.2.1.1 Parameter ประกอบไปด้วย

- Order p เป็นการกำหนด จำนวน Order ของข้อมูล ซึ่งจะนำมาใช้ในการคำนวณหาค่าตัวแบบพีชชี NAR และ ตัวแบบพีชชี NARMA โดยโปรแกรมจะกำหนดให้สามารถเลือกได้ 3 ค่าคือค่า ตั้งแต่ 1 ถึง 3
- Order q เป็นการกำหนด จำนวน Order ของค่าความคลาดเคลื่อน ซึ่ง จะนำมาใช้ในการคำนวณหาค่าตัวแบบพีชชี NARMA โดยโปรแกรม จะกำหนดให้สามารถเลือกได้ 2 ค่าคือค่า 1 และ 2

- MaxK เป็นการกำหนด จำนวนรอบของการคำนวณค่าตัวแบบ ฟิชชี NARMA โดยโปรแกรมจะกำหนดให้สามารถเลือกได้ 3 ค่าคือ ค่าตั้งแต่ 2 ถึง 4
- Number for Train(%) เป็นการเลือกจำนวนข้อมูลที่ใช้ในการ Train เพื่อเป็นตัวกำหนดว่าจะต้องใช้ข้อมูลจำนวนกี่เปอร์เซ็นต์ของจำนวน ข้อมูลทั้งหมดในการ Train

4.2.1.2 ส่วนของปุ่มการทำงาน

- ปุ่ม Train Data เป็นปุ่มที่ทำให้โปรแกรมทำงานในส่วนของการ Train ตัวแบบฟิชชี NAR และ NARMA
- ปุ่ม Clear Data เป็นปุ่มที่ทำการ เคลียร์ข้อมูลบนหน้าจอทั้งหมด
- ปุ่ม Save Pattern เป็นปุ่มที่ทำให้โปรแกรมทำการบันทึกรายละเอียด ของตัวแบบที่ได้จากการ Train
- ปุ่ม Load Pattern เป็นปุ่มที่ทำให้โปรแกรมแสดงรายละเอียดของตัว แบบที่ผ่านการ Train มาแล้ว

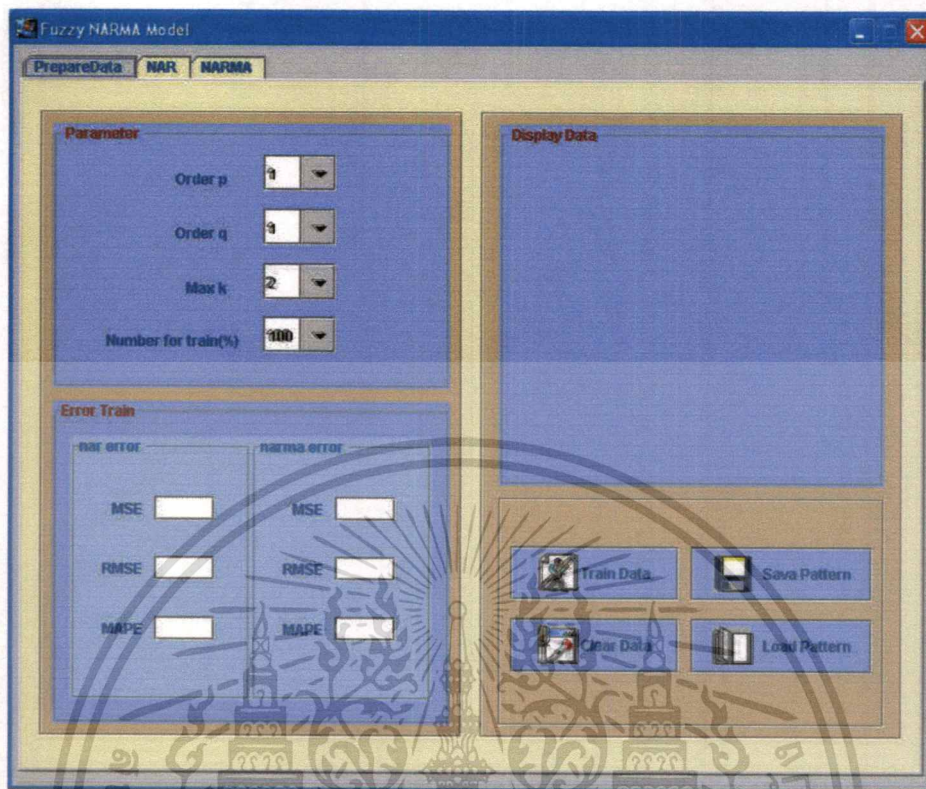
4.2.1.3 Error Train เป็นส่วนที่แสดงค่าความผิดพลาดต่างๆของตัวแบบ

4.2.1.4 Display Data เป็นส่วนแสดงค่าTarget และ ค่าPredict ที่เกิดจากตัวแบบ

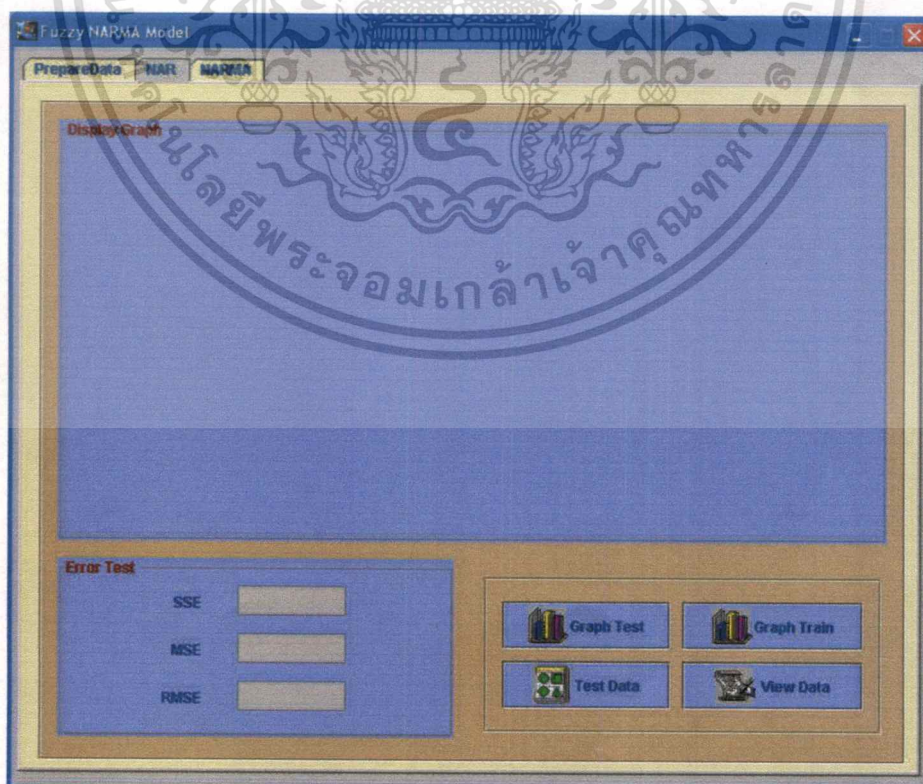
ฟิชชี NAR และ NARMA

4.2.2 เมนูตัวแบบฟิชชี NAR ในส่วนนี้เป็นการแสดงผลลัพธ์ของการ Train ของตัวแบบ ฟิชชี NAR ด้วยกราฟเส้นตรงและทำการเปรียบเทียบกับค่า Target มีส่วนการ Test ตัวแบบฟิชชี NAR และทำการแสดงค่าพลาดต่างๆของการ Test ตัวแบบฟิชชี NAR แสดงดังรูปที่ 4.2

4.2.3 เมนูตัวแบบฟิชชี NARMA ในส่วนนี้เป็นการแสดงผลลัพธ์ของการ Train ของตัว แบบฟิชชี NARMA ด้วยกราฟเส้นตรงและทำการเปรียบเทียบกับค่า Target มีส่วนการ Test ตัวแบบ ฟิชชี NARMA และทำการแสดงค่าพลาดต่างๆของการ Test ตัวแบบฟิชชี NARMA แสดงดัง รูปที่ 4.3

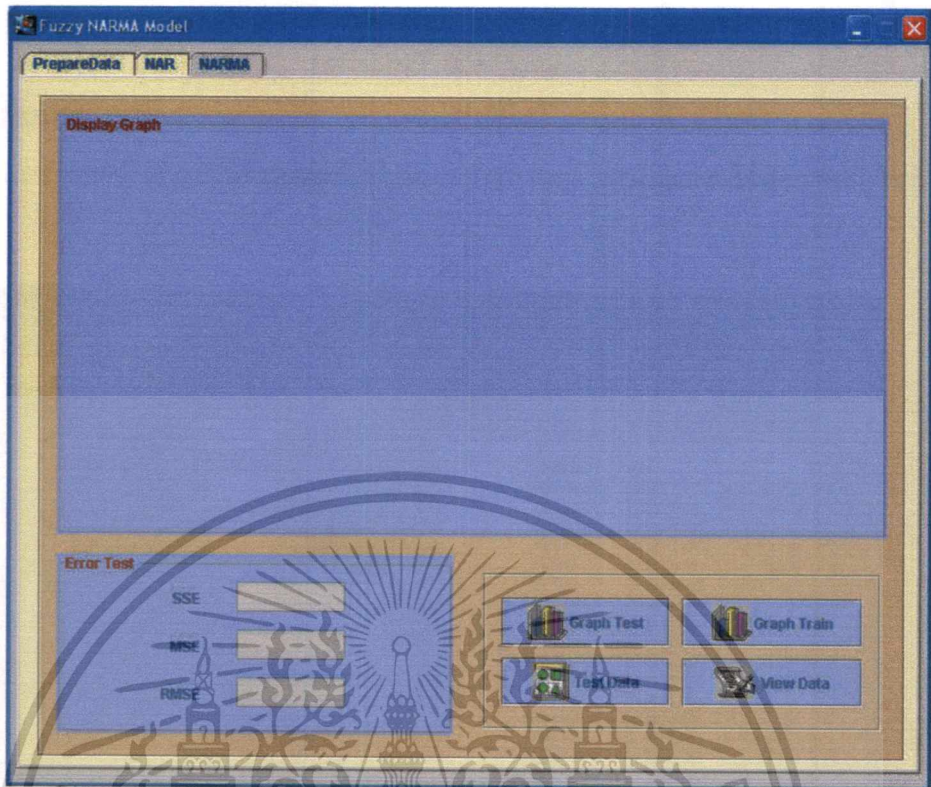


รูปที่ 4.1 หน้าจอ PrepareData



รูปที่ 4.2 หน้าจอ ตัวแบบฟัซซี่ NAR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้เฉพาะภายในเท่านั้น ห้ามเผยแพร่ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 หน้าจอ ตัวแบบฟัซซี่ NARMA

4.2.4 ขั้นตอนการทำงานของ Application เพื่อให้เห็นภาพรวมของโปรแกรม สามารถแสดงเป็นขั้นตอนการทำงานโดยรวมดังนี้

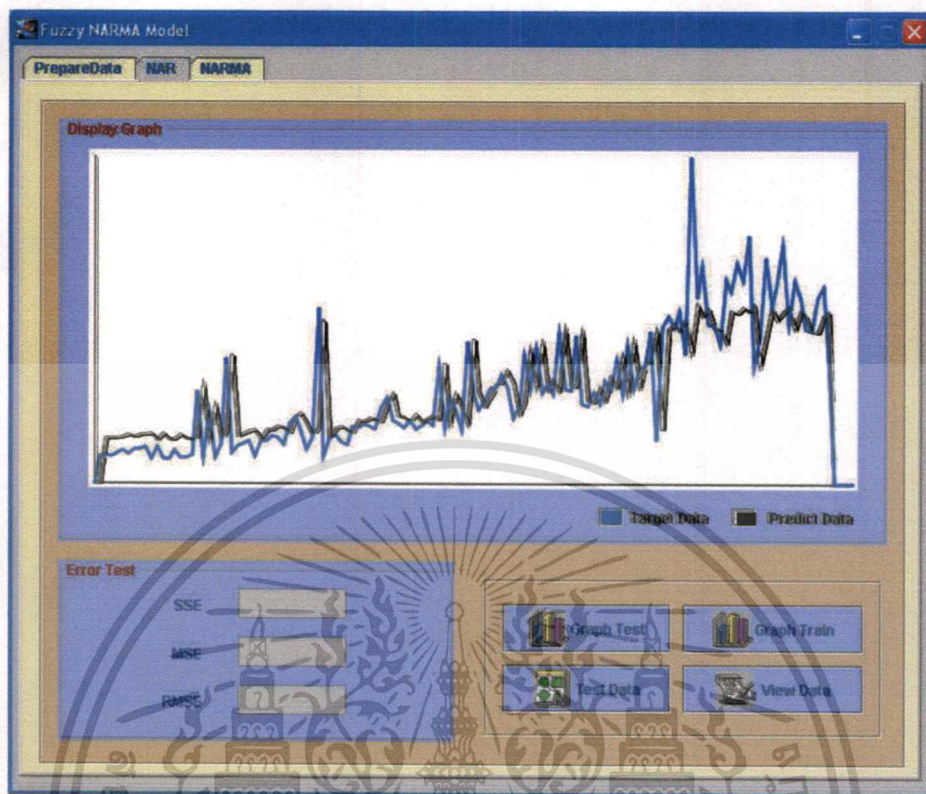
4.2.4.1 กำหนดค่า Order p, Order q, MaxK และ Number for Train(%)

4.2.4.2 เมื่อทำการกำหนดค่าต่างๆเสร็จแล้ว กดปุ่ม Train Data แล้วจะได้ตัวแบบฟัซซี่ที่ได้จากการ Train ค่าตัวแบบที่ได้จากการ Train จะถูกแสดงบนหน้าจอ Display Data

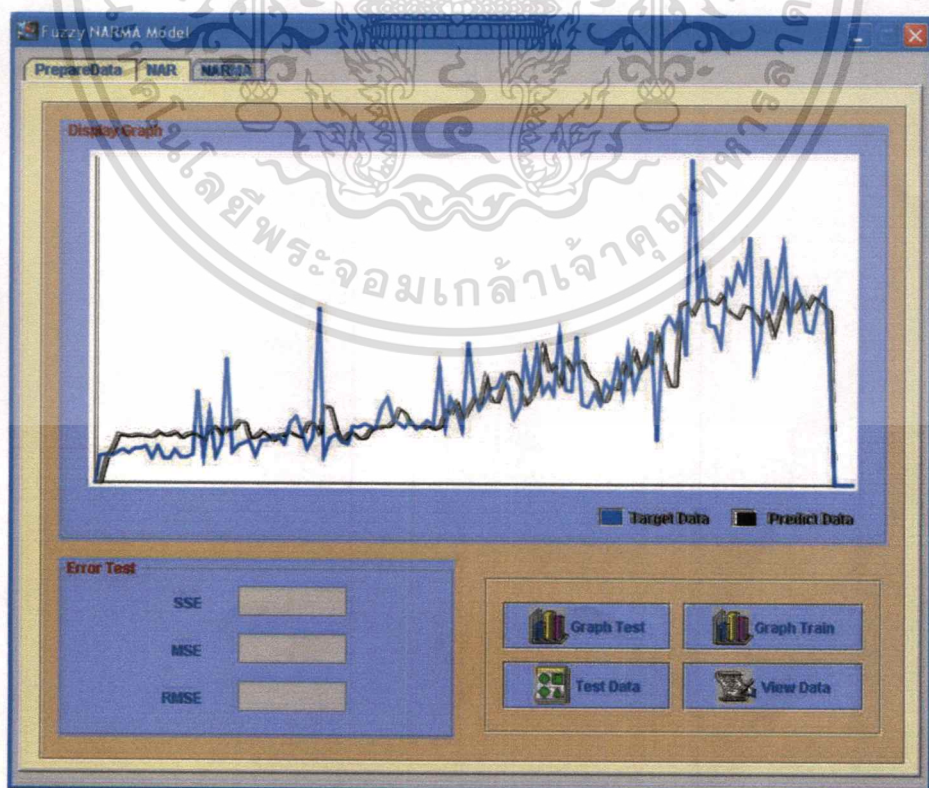
4.2.4.3 เมื่อต้องการทำการ Test ตัวแบบฟัซซี่ NAR และ ดูผลลัพธ์ที่แสดงเป็นแบบกราฟของการ Train ตัวแบบฟัซซี่ NAR ให้ทำการคลิกไปที่ เมนู NAR กราฟแสดงผลลัพธ์ของตัวแบบฟัซซี่ NAR จะถูกแสดงบนหน้าจอ Display Graph ส่วนการ Test เมื่อกดปุ่ม Test Data แล้ว ถ้าต้องการให้แสดงค่า ให้ทำการกดปุ่ม View Data ค่าที่ได้จากการ Test จะทำการแสดงขึ้นมา

4.2.4.4 เมื่อต้องการทำการ Test ตัวแบบฟัซซี่ NARMA และ ดูผลลัพธ์ที่แสดงเป็นแบบกราฟของการ Train ตัวแบบฟัซซี่ NARMA ให้ทำการคลิกไปที่ เมนู NARMA กราฟแสดงผลลัพธ์ของตัวแบบฟัซซี่ NARMA จะถูกแสดงบนหน้าจอ Display Graph ส่วนการ Test เมื่อกดปุ่ม Test Data แล้ว ถ้าต้องการให้แสดงค่า ให้ทำการกดปุ่ม View Data ค่าที่ได้จากการ Test จะทำการแสดงขึ้นมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

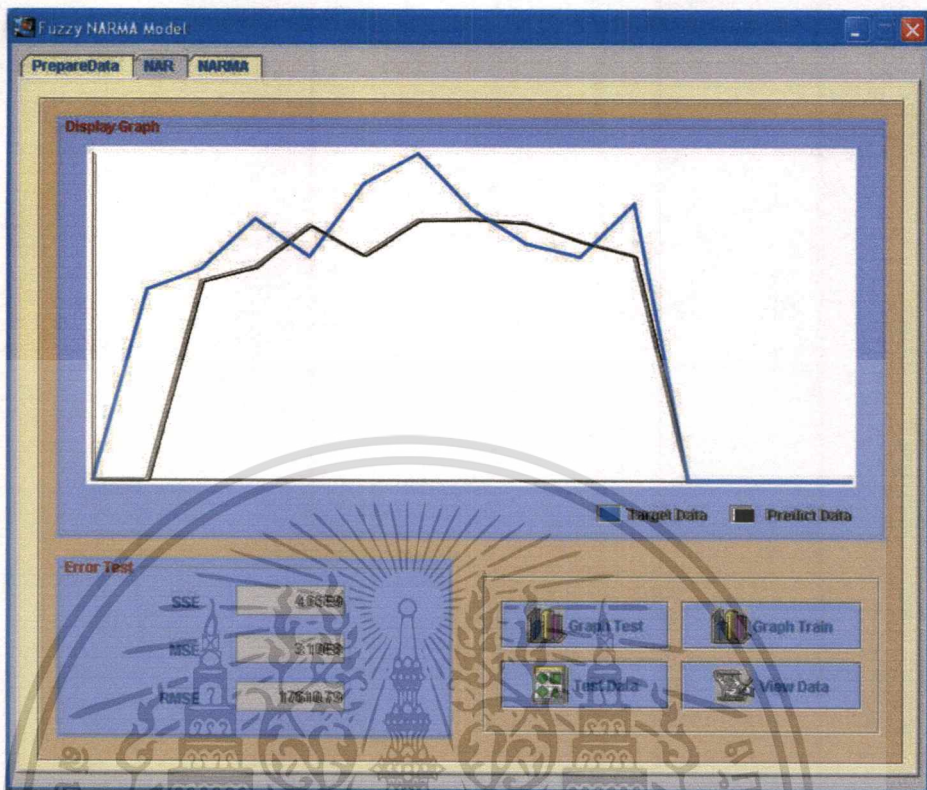


รูปที่ 4.5 หน้าจอแสดงค่าการ Train Data ของตัวแบบฟัซซี่ NAR

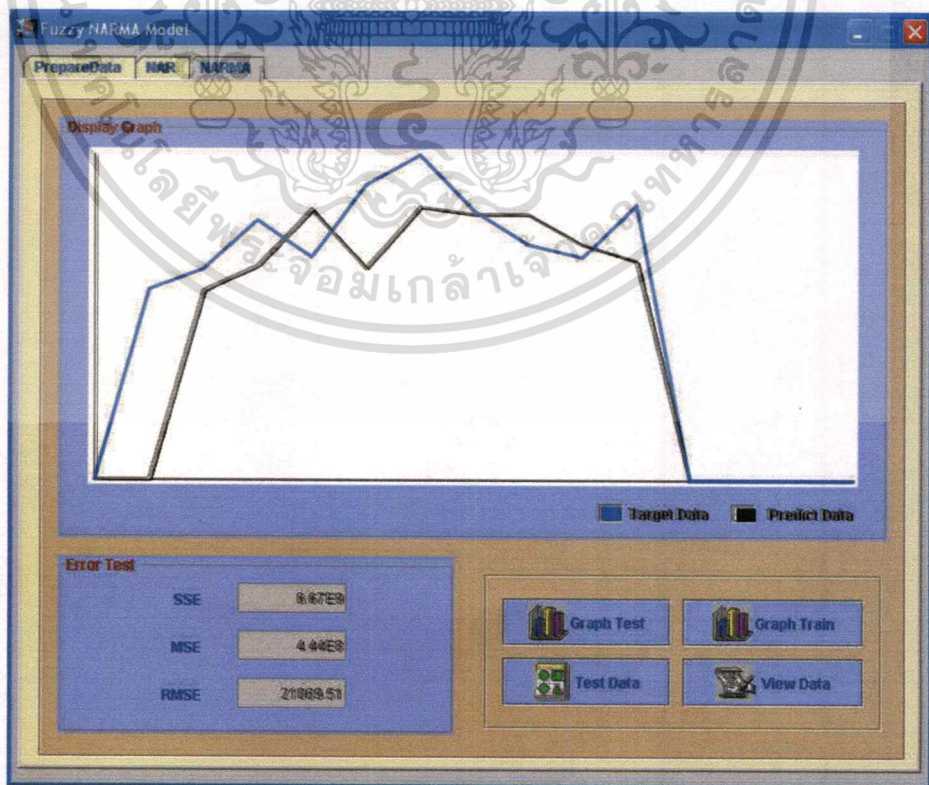


รูปที่ 4.6 หน้าจอแสดงค่าการ Train Data ของตัวแบบฟัซซี่ NARMA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น การนำเอกสารนี้ไปใช้ในการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 หน้าจอแสดงค่าการ Test Data ของตัวแบบฟัซซี่ NAR



รูปที่ 4.8 หน้าจอแสดงค่าการ Test Data ของตัวแบบฟัซซี่ NARMA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ซึ่งดำเนินการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาการพยากรณ์อนุกรมเวลาไม่เชิงเส้นที่มีลักษณะเป็นแบบพีชชี NARMA ในโครงการนี้ สามารถสรุปผลการดำเนินงานและสรุปผลการทดลอง รวมถึงข้อเสนอแนะ ดังต่อไปนี้

5.1 สรุปผลการดำเนินงาน

จากการศึกษาในโครงการนี้ นำตัวแบบพีชชี NARMA มาใช้ในการพยากรณ์อนุกรมเวลาไม่เชิงเส้น โดยที่ตัวแบบพีชชี NARMA จะใช้พีชชีแบบพีชชีเบซิสฟังก์ชัน และใช้วิธีกำลังสองน้อยที่สุดในการฝึกหัด และในการฝึกหัดของตัวแบบใช้ค่าสังเกตและค่าคลาดเคลื่อนของระบบ นำกลับเข้าไปฝึกหัดเพื่อให้ได้ตัวแบบที่ดีที่สุด ข้อมูลอนุกรมเวลาจะถูกแบ่งออกเป็นสองส่วน คือ ส่วนแรกใช้ในการฝึกหัดตัวแบบ ส่วนที่สองใช้ในการทดสอบตัวแบบ

5.2 สรุปผลการทดลอง

5.2.1 ผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลองขึ้นอยู่กับ การเลือกค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ป้อนให้กับโปรแกรมเพื่อทำการประมวลผล เช่น จำนวน Order p, Order q, จำนวนรอบของ MakK และจำนวนข้อมูลที่ใช้ในการ Train

5.2.2 ค่าที่ได้จากตัวแบบ พีชชี NAR เมื่อทำการนำค่าความคลาดเคลื่อนกลับเข้ามาฝึกหัด จะทำให้ได้ตัวแบบพีชชี NARMA ซึ่งจะทำให้การพยากรณ์อนุกรมเวลาแบบไม่เชิงเส้นเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพขึ้น

5.3 ข้อจำกัดของโครงการ

5.3.1 ในขั้นตอนของระบบ พีชชี จำนวนฟังก์ชันการเป็นสมาชิก ของโครงการนี้ กำหนดให้มีจำนวนฟังก์ชันการเป็นสมาชิกมีค่าเท่ากับ 3 ซึ่งจะไม่สามารถเลือกจำนวนของฟังก์ชันการเป็นสมาชิกได้

5.3.2 ในกรณีที่เลือก ค่า Order p มีค่าเท่ากับ 3 และ Order q มีค่าเท่ากับ 1 หรือ ค่า Order p มีค่าเท่ากับ 2 และ Order q มีค่าเท่ากับ 2 หรือ ค่า Order p มีค่าเท่ากับ 3 และ Order q มีค่าเท่ากับ 2 จะทำให้ Matrix ที่จะนำไปหา Invert Matrix นั้นเป็น Singular Matrix จึงทำให้ไม่สามารถหาค่า Invert Matrix ได้ ทำให้ไม่สามารถหาค่า \ominus จึงทำให้หาค่า ตัวแบบพีชชี NARMA ไม่ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่หรือใช้เพื่อการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4 ข้อเสนอแนะ

เพื่อปรับปรุง Application ในอนาคตนี้ ควรที่จะเพิ่มขั้นตอน ต่างๆดังนี้

5.4.1 ทำการเพิ่มขั้นตอน การกำหนดพารามิเตอร์ของพีชชี โดยเพิ่มการกำหนดจำนวนของ ฟังก์ชันการเป็นสมาชิก ให้มีค่าได้ตั้งแต่ 3 ขึ้นไป เพื่อให้การคำนวณของตัวแบบ เป็น ไปอย่างมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

5.4.2 ในส่วนของการทำ Invert Matrix เพื่อให้ค่าของ Invert Matrix ที่ไม่เป็นแบบ Singular Matrix นั้นอาจจะใช้ วิธีการ Pseudo Invert มาใช้ในการทำ Invert Matrix เพื่อให้ Matrix ที่จะทำการ Invert Matrix ไม่เป็น Singular Matrix



บรรณานุกรม

กิตติ ภัคดีวัฒนกุล. 2546. คัมภีร์ Java เล่ม 1,2. กรุงเทพฯ: เคทีพี คอมพ์ แอนด์ คอนซัลท์.

โชคชัย วิวัฒนากันตัง. 2545. “การพยากรณ์อนุกรมเวลาไม่เชิงเส้นด้วยตัวแบบพีชชี NARMA.”

วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ บัณฑิตวิทยาลัย,
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

วีระศักดิ์ ชิงถาวร. 2545. **Java Programming Volume 1,2**. กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดดูเกชั่น.

L.X.Wang, “Fuzzy Basis Function, Universal Approximation, and Orthogonal Least-Squares Learning”, *IEEE Trans. Neural Networks*, vol. 3, no. 5 , pp. 807-814, 1992.



ประวัติผู้เขียน

ชื่อผู้เขียน น.ส. พัชรินทร์ ไทยจำเริญรัตน์
วันเดือนปีเกิด 1 มกราคม พ.ศ. 2523
สถานที่เกิด จังหวัด กรุงเทพฯ ฯ
ประวัติการศึกษา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า)
สถานที่สำเร็จการศึกษา มหาวิทยาลัย ศรีนครินทรวิโรฒ
ปีการศึกษาที่สำเร็จ 2544



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้