

บทที่ 4

การทดสอบด้วยโครงข่ายประสาทเทียม

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ทำการวิเคราะห์หาความเพียงพอของค่าวัดในระบบไฟฟ้า (Network Observability, NO) ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของการทำ State Estimation (SE) ของระบบการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.) และระบบการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.) โดยได้นำวิธีการวิเคราะห์หา NO แบบการลดทอนจาโคเบียนเมตริกซ์ของค่าวัด (Measurement Jacobian Matrix Reduction, MJMR) เป็นตัวหลักและนำมาเปรียบเทียบกับวิธีการวิเคราะห์หา NO โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network, ANNs) ชนิดที่มีการแพร่ค่าย้อนกลับ (Back – Propagation, BP) และชนิด Generalized Regression (GRNN) โดยใช้ Neural Network Toolbox ของโปรแกรม MATLAB เวอร์ชัน 6.5 ทำการฝึกสอน ซึ่งรายละเอียดต่าง ๆ จะได้นำกล่าวถึงต่อไป

4.1 การเตรียมข้อมูลสำหรับโครงข่ายประสาทเทียม

ขั้นตอนการเตรียมข้อมูลเพื่อนำมาทดสอบกับ ANNs ได้ข้อมูลสำหรับนำมาฝึกสอน (Training Pattern) โดยใช้การวิเคราะห์หา NO โดยวิธีการ MJMR หาค่าสำหรับระบบไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.) และระบบไฟฟ้าของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.)

4.1.1 การแสดงการวิเคราะห์หา Network Observability โดยการลดทอนจาโคเบียนเมตริกซ์ของค่าวัด [12]

วิธีนี้ได้ถูกพัฒนาโดย Slutsker & Scudder [13] มันวิเคราะห์ NO โดยใช้การ Transpose ชุด Jacobian Matrix ของค่าวัด " H^T " วิธีการไม่ได้แสดงถึงคุณสมบัติที่เกี่ยวกับการรวมเข้าด้วยกัน (Combinatorial) มันง่ายที่จะเข้าใจและถูกพบว่ารวดเร็วและเหมาะสมสำหรับสภาวะ Real Time

ในเมตริกซ์ H^T , หลัก (Column) ตรงกับสมการของค่าวัดและแถว (Row) ตรงกับตัวแปรต่าง ๆ ที่สัมพันธ์กับสมการเหล่านั้น ซึ่งตัวแปรเหล่านี้มีความเกี่ยวข้องกับบัสของวงจรข่าย (Network)

การลดทอนของ H^T ทำโดยผ่านการกำจัดกลุ่มที่ Observable นั่นคือ แถวตัวแปรของ Island และหลักสมการค่าวัดของ Island ไม่มีการคำนวณที่แท้จริงของส่วนประกอบ H^T ที่จำเป็น

คุณลักษณะทั้ง 2 ได้ให้ลักษณะแต่ละขั้นตอนของการลดทอนดังนี้

1. สมการที่มากเกินไปจะเป็นจะถูกกำจัดออกโดยอัตโนมัติ
2. ทุก ๆ ครั้งที่ Observable Island ของวงจรข่ายถูกระบุ มันจะถูกกำจัดจาก Symbolic Jacobian Matrix จากนั้นจะถูกจับกลุ่มเข้ากับ Island ที่ถูกระบุก่อนหน้านี้

วิธี MJMR ประกอบด้วย 3 ขั้นตอนที่สำคัญคือ

ขั้นตอนที่ 1 : Symbolic Matrix ของ H^T ถูกสร้างขึ้น

ขั้นตอนที่ 2 : เมทริกซ์ H^T ถูกลดทอนโดยผ่านการกำจัดค่าวัด Flow ที่ Branch

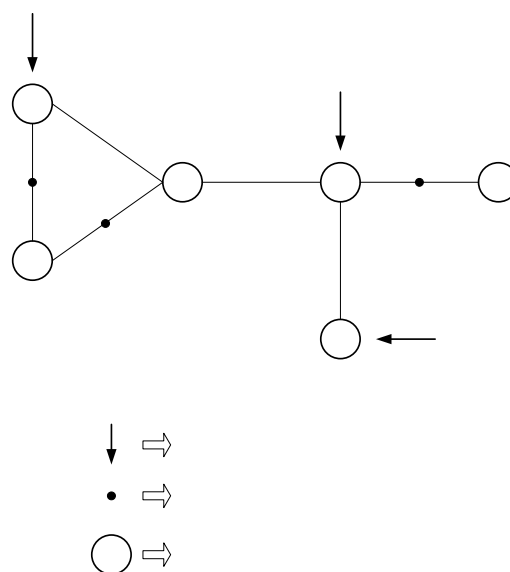
ขั้นตอนที่ 3 : การลดทอนของเมทริกซ์ H^T ยังดำเนินต่อไปซึ่งเกี่ยวข้องกับสมการของค่าวัด

Injection ซึ่งจะกำจัดค่าวัด Injection ที่มีแค่ 2 ตัวแปรก่อนเป็นลำดับแรก

ในกระบวนการลดทอน (ขั้นตอนที่ 2 และ ขั้นตอนที่ 3) Observable island แต่ละ Island จะถูกแทนโดยบัสอ้างอิง ขนาดของ Island, (นั่นคือ จำนวนของบัสที่เป็นของ Observable Island) จะถูกอ้างอิงในฐานะของจำนวนประกอบ (Valency) ของบัสอ้างอิง

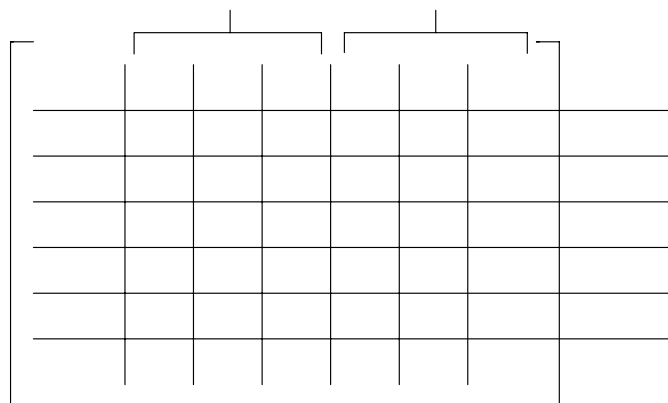
ที่จุดเริ่มต้น, จำนวนประกอบของบัสในวงจรข่ายทั้งหมดจะถูกกำหนดให้เท่ากับ 1 ในแต่ละขั้นตอนของการลดทอนค่าวัดที่ถูกเลือก ค่าวัดนี้ถูกวิเคราะห์และชุดของค่าวัดที่เกี่ยวข้องด้วยนั้นพบว่าอยู่ใน Observable Island เดียวกัน หนึ่งบัสที่มาจากชุดของบสนี้จะถูกอ้างอิงเพื่อแทน Observable Island ที่ถูกบ่งชี้โดยบัสเหล่านี้ และจำนวนตัวประกอบของมันถูกทำให้เพิ่มขึ้นโดยจำนวนตัวประกอบของบัสอื่น ๆ เหล่านี้ หลังจากนั้นบัสอื่น ๆ จะถูกกำจัดและจำนวนตัวประกอบจะเท่ากับ 0 ซึ่งเป็นการบ่งชี้ว่าบัสเหล่านี้ถูกกำจัดแล้วผ่านทาง จำนวนตัวประกอบของมัน, บัสอ้างอิงกลายมาเท่ากับบัสของ Island ที่แสดงถึง ถ้าบัสที่ถูกกำจัดมีจำนวนตัวประกอบมากกว่า 1 นั้นหมายถึงว่ามันเป็นบัสอ้างอิงของกลุ่ม Observable ที่ถูกกำจัดไปก่อนหน้านี้ กลุ่มนั้นต้องถูกเพิ่มเข้าไปในกลุ่ม Observable ซึ่งเกี่ยวข้องกับบัสอ้างอิง ในปัจจุบัน หลังการกำจัดของบัสที่เป็นได้ทั้งหมดแล้ว ทุก ๆ บัสที่มีจำนวนตัวประกอบไม่เท่ากับ 0 จะแทนหนึ่ง Island เทคนิคนี้ถูกแสดงโดยตัวอย่างดังต่อไปนี้

ตัวอย่าง ให้ระบบกำลังไฟฟ้าแบบ 6 บัส กับชุดค่าวัดแสดงในรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 แสดงระบบกำลังไฟฟ้าแบบ 6 บัส [24]

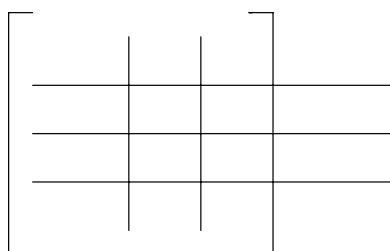
การประยุกต์ใช้วิธีการของการวิเคราะห์ Observability ที่ได้อธิบายมีขั้นตอนต่าง ๆ ดังนี้
ขั้นตอนที่ 1 : สร้าง Symbolic Matrix H^T



Injection Measurement

ขั้นตอนที่ 2 :

กระบวนการลดทอนเริ่มจากค่าวัด Flow ลำดับแรกค่าวัด Flow จากบัสที่ 2 ไปบัสที่ 1 ถูกเลือก และให้บัสที่ 2 เป็นบัสอ้างอิงเพราะมันปรากฏในชุดค่าวัดมากกว่าในบัสที่ 1 ซึ่งบัสที่ 1 ถูกทำให้ออก Observability Island ที่แทนโดยบัสที่ 2 แถวที่ตรงกับบัสที่ 1 และหลักที่ตรงกับสมการ 1-2 ถูกกำจัดจาก H^T (การกำจัดบัสที่ 1, ค่าวัดที่บัสที่ 1 ถูกระบุว่าเป็นค่าวัดที่มากเกินไป และถูกกำจัดออกโดยอัตโนมัติ) จำนวนตัวประกอบของบัสที่ 2 เพิ่มขึ้นโดยบัสที่ 1 และจำนวนตัวประกอบของบัสที่ 1 ถูกกำหนดให้เท่ากับ 0 ในลักษณะการกระทำที่เหมือนกับค่าวัด Flow จากบัสที่ 2 ไปบัสที่ 3 และจากบัสที่ 4 ไปบัสที่ 5 ถูกกำจัดโดยการเลือกบัสที่ 3 และบัสที่ 4 เป็นบัสอ้างอิงตามลำดับ (บัสที่ 3 ถูกใช้อ้างอิงเพื่อกำจัดค่าวัดจากบัสที่ 2 ไปบัสที่ 3 เพราะปัจจุบันไม่มีค่าวัดจากบัสที่ 1 ไปบัสที่ 2, บัสที่ 3 ปรากฏในชุดค่าวัดมากกว่าในบัสที่ 2) H^T ใหม่กลายเป็น :



จำนวนตัวประกอบของบัสที่ 3 และบัสที่ 4 เป็น 3 และ 2 ตามลำดับ, จำนวนตัวประกอบของบัสที่ 1, บัสที่ 2 และ บัสที่ 5 (ที่กำจัดไปแล้ว) เท่ากับ 0 และจำนวนตัวประกอบของบัสที่ 6 เท่ากับ 1 กลุ่มของ Observable ที่เกี่ยวข้องกับบัสที่ 3 ประกอบด้วยบัสที่ 1 และบัสที่ 2 และที่เกี่ยวกับบัสที่ 4 นั้น ประกอบด้วยบัสที่ 5

4

X

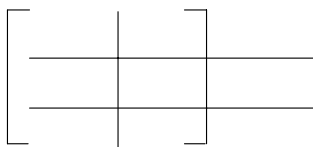
X

X

X

ขั้นตอนที่ 3 :

สิ่งที่กล่าวถึง Flow ถูกกำจัดทั้งหมด, กระบวนการลดทอนดำเนินต่อไปผ่านค่าวัด Injection ที่บัส ดังนั้นค่าวัด Injection ที่บัส 6 ถูกกำจัดโดยการเลือกบัสที่ 4 เป็นบัสอ้างอิง และกำจัดหลักที่ตรงกับค่าวัด Injection และแถวที่ตรงกับบัสที่ 6 ตอนนี้จำนวนตัวประกอบของบัสที่ 4 เท่ากับ 3 และจำนวนตัวประกอบ ของบัสที่ 6 เท่ากับ 0 ซึ่ง H^T ใหม่กลายเป็น :



สิ่งที่ตามมา, ค่าวัด Injection ที่บัสที่ 4 ถูกกำจัดโดยการเลือกบัสอ้างอิงที่บัสที่ 3 ดังนั้น หลักที่ตรงกับค่าวัด Injection นี้และแถวที่ตรงกับบัสที่ 4 ถูกกำจัดออกจาก H^T

เพราะไม่มีสมการที่พบได้อีก จึงไม่มีการลดทอน H^T ที่เป็นอย่างอื่นต่อไป การวิเคราะห์ Observability เสร็จสมบูรณ์และมีหนึ่งบัสที่มีจำนวนตัวประกอบไม่เป็นศูนย์ (ซึ่งก็คือบัสที่ 3) แสดงถึงหนึ่ง Observability Island จำนวนตัวประกอบของบัสที่ 3 เป็น 6 ซึ่งตรงกับ 6 บัสของระบบ ดังนั้นระบบ 6 บัสถูกวิเคราะห์ว่าเป็น Observable

Buses

4.1.2 การทำโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับ Topological Observability [14] T

สำหรับการทดสอบหา Topological Observability ในปัญหานี้ คือ กำหนดให้ค่าวัดบนบัส และไลน์เป็นอินพุต (Input) และผลลัพธ์สถานะ Observability หรือ Unobservability เป็นเอาต์พุต (Output) แต่ละเซลล์ประสาทในชั้นข้อมูลด้านเข้า (Input Layer) ของ ANNs จะถูกกำหนดด้วยปริมาณอินพุตของชุดค่าวัดที่สมบูรณ์สำหรับระบบ จะประกอบด้วยค่าวัด Injection ที่แต่ละบัสและค่าวัด Flow แต่ละไลน์ วงจรข่ายที่สอดคล้องกับชุดค่าวัดนี้จะมีเซลล์ประสาทเป็นจำนวนเท่ากับจำนวนบัสและไลน์ทั้งหมดในระบบ สำหรับการเลือกรูปแบบของอินพุตคือ 1 หรือ 0 ถูกกำหนดให้เป็นอินพุตที่แสดงเป็น Availability หรือ Unavailability ของค่าวัด Injection หรือค่าวัด Flow นั้น ๆ ส่วนเอาต์พุตของ ANNs คือ สถานะ Observability หรือ Unobservability ดังนั้น จะมีแค่หนึ่งเซลล์ประสาทในชั้นข้อมูลด้านออก (Output Layer) ของ ANNs สำหรับปัญหานี้ ถ้าระบบเป็น Observable ดังนั้นเอาต์พุตกำหนดให้เป็น 2 แต่ถ้าระบบเป็น Unobservable จะกำหนดให้เป็น 1

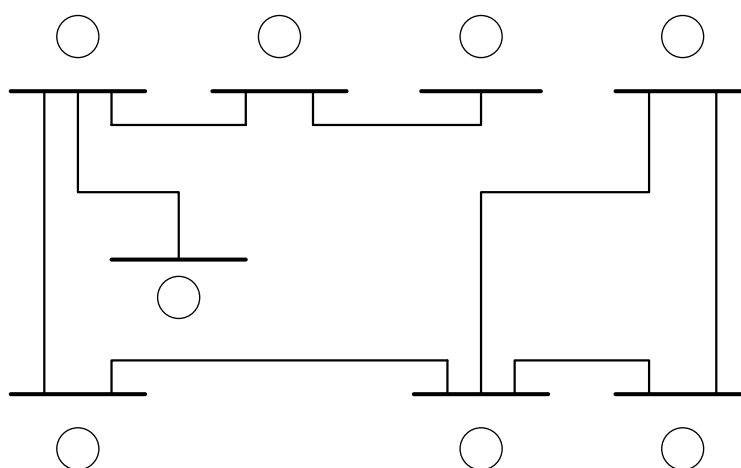
3

4

4.1.3 ระบบไฟฟ้านำมาทดสอบ

ระบบไฟฟ้าที่นำมาใช้ทดสอบเพื่อทำการหา NO ได้ใช้ระบบไฟฟ้าแบบ 8 บัส 115 kV เขต 2 ภาคกลางของ กฟภ. และระบบไฟฟ้าแบบ 14 บัส 230 kV เขตนครหลวงของ กฟภ. โดยรายละเอียดของระบบไฟฟ้าทั้ง 2 แบบมีดังนี้

4.1.3.1 ระบบไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (ระบบ 8 บัส 115 kV เขต 2 ภาคกลาง) [15]



รูปที่ 4.2 แสดงระบบไฟฟ้ากำลังแบบ 8 บัส 115 kV ของ กฟภ. [15]

บ่อวิน 1

บ่อวิน 2

2

ระบบไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคที่เลือกมาทำการทดสอบมีทั้งหมด 8 สถานี ได้แก่

1. สถานีไฟฟ้าบ่อวิน 1 (Bowin 1 : BWI)
2. สถานีไฟฟ้าบ่อวิน 2 (Bowin 2 : BWN)
3. สถานีไฟฟ้าปลวกแดง 2 (Pluak Dang 2 : PLV)
4. สถานีไฟฟ้าแหลมฉบัง 1 (Leam Cha Bang 1 : LCA)
5. สถานีไฟฟ้าปลวกแดง 1 (Pluak Dang 1 : PLU)
6. สถานีไฟฟ้าบึง (Bung : BNG)
7. สถานีไฟฟ้าอ่าวไผ่ 2 (Ao Phai 2 : APB)
8. สถานีไฟฟ้าแหลมฉบัง 2 (Leam Cha Bang 2 : LCB)

ANNs ถูกฝึกสอน (Training) สำหรับ Topological Observability ของระบบไฟฟ้ากำลังระบบ 115 kV ที่มี 8 บัส ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.) สำหรับระบบแบบ 8 บัส มี 16 อินพุตแทนค่าวัด Bus Injection จำนวน 8 ค่า และ ค่าวัด Line Flow จำนวน 8 ค่า (Availability หรือ Unavailability) และมีหนึ่งเอาต์พุตแทนสถานะ Observability หรือ Unobservability ดังตารางที่ 4.1

ปลวกแดง

6

บึง

ตารางที่ 4.1 แสดงชุดข้อมูลฝึกสอน (Training Patterns) จำนวน 52 ชุด (Availability) ของระบบไฟฟ้ากำลังแบบ 115 kV ที่มี 8 บัส (กฟภ.) ที่ใช้ในการฝึกสอนโดย ANNs

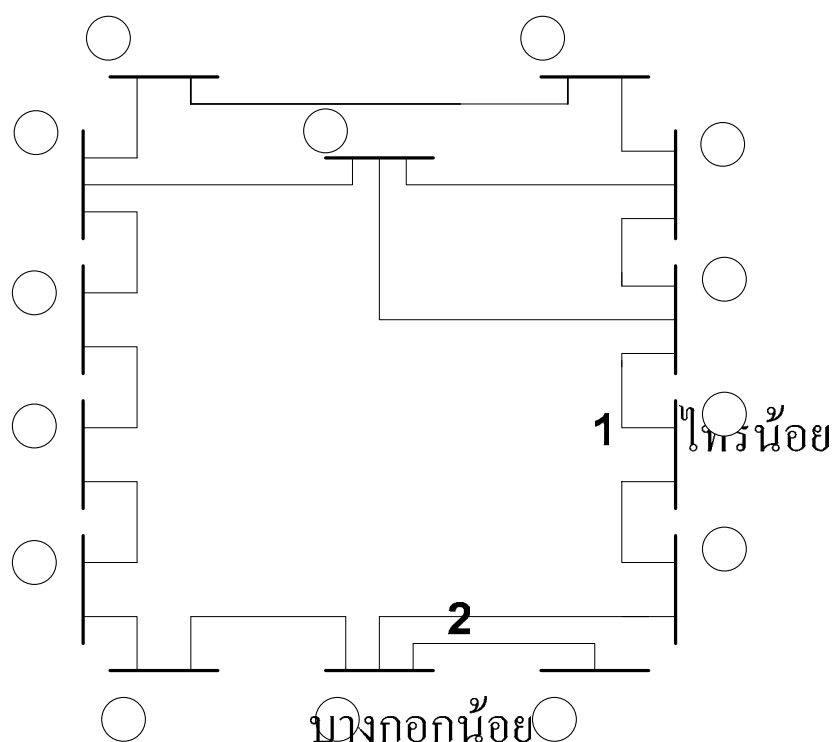
ข้อมูลชุดที่	ค่าวัด Injection (Input) (บัส)	ค่าวัด Flow (Input) (บัส – บัส)	วิธี MJMR (Output)
1	1, 2, 4, 5, 8	1-2, 2-3, 4-7, 6-7	2
2	1, 3, 4, 7	1-5, 1-6, 6-7, 7-8	2
3	2, 5, 6	2-3, 1-5, 4-8, 7-8	2
4	3, 5, 8	1-6, 4-7,	2
5	4, 7	1-2, 2-3, 4-8	1
6	4, 8	1-5, 1-6, 4-7	1
7	1, 2, 3	2-3, 1-5, 7-8	1
8	2, 4, 5, 7	1-2, 1-6, 4-8, 6-7,	1
9	2, 4, 6, 8	2-3, 6-7	1
10	1, 3, 5, 7,	2-3, 4-7, 7-8	2
11	1, 2, 5, 6,	1-5, 1-6, 4-8,	1
12	1, 2, 4, 7, 8	1-2, 6-7	1
13	2, 3, 6, 7	2-3, 1-5, 1-6,	2
14	1, 2, 3, 5, 6, 7	4-8	2
15	4	1-2, 1-5, 4-7, 4-8	1
16	3, 6, 7, 8	1-2, 2-3, 1-6, 4-7, 7-8	1
17	1	1-2, 4-7, 6-7, 7-8	1
18	5, 6, 7, 8	1-6, 4-8	1
19	1, 2, 3, 5, 7, 8	2-3,	2
20	2, 4, 7, 8	1-2, 1-5, 1-6, 4-7, 7-8	1
21	3, 4, 5, 7, 8	2-3, 4-8, 6-7	2
22	1, 2, 4, 5, 7, 8	1-5, 4-7, 4-8	2
23	2, 5, 6, 8	1-2, 1-5, 1-6,	1
24	1, 2, 3, 4, 5, 7, 8	1-2, 6-7	2
25	1, 3, 4, 5, 6	4-7, 7-8	2
26	2, 7	1-2, 1-5, 4-8, 6-7, 7-8	2
27	1, 2	1-2, 2-3, 1-6	1
28	3, 4, 5, 7	4-7, 4-8, 6-7	1
29	1, 3, 5, 8	1-2, 1-6, 7-8	2
30	1, 2, 3, 6, 7, 8	1-6, 4-7, 6-7, 7-8	2
31	2	1-2, 2-3, 1-5, 4-8	1

ตารางที่ 4.1 (ต่อ)

ข้อมูลชุดที่	ค่าวัด Injection (Input) (บัส)	ค่าวัด Flow (Input) (บัส – บัส)	วิธี MJMR (Output)
32	1, 2, 3, 4, 6, 8	1-5, 1-6,	2
33	2, 3, 5, 6, 7	1-2, 1-6, 4-8, 6-7	2
34	2, 3, 5	2-3, 1-5, 4-7, 6-7, 7-8	1
35	1, 2, 3, 4, 5, 7	1-2, 2-3, 4-8,	2
36	4, 5	1-5, 4-7, 7-8	1
37	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8	1-2, 1-6,	2
38	3, 6	1-2, 2-3, 4-8, 6-7	1
39	1, 4, 8	1-2, 1-5, 4-7, 7-8	1
40	1, 3, 5, 7, 8	1-6	2
41	2	1-2, 2-3, 1-6, 6-7, 7-8	1
42	2, 3, 4, 6, 7	1-2, 1-5, 4-7, 4-8	2
43	1, 2, 5, 7, 8	2-3, 1-6, 6-7, 7-8	2
44	5	1-2, 2-3, 1-5, 1-6, 4-7, 7-8	1
45	2, 3, 4, 5, 6, 7	4-8, 6-7	2
46	1, 8	1-2, 2-3, 4-7, 4-8	1
47	2, 5, 8	1-5, 1-6, 7-8	2
48	3, 6	1-2, 2-3, 6-7, 7-8	1
49	1, 2, 3, 4, 5	1-2, 1-5, 6-7	2
50	2, 3, 6, 7, 8	2-3, 1-6, 4-7, 4-8	1
51	1, 5	1-2, 2-3, 1-5, 4-7, 6-7, 7-8	1
52	2, 4, 6	1-6, 4-8	1

หมายเหตุ : Input ที่แสดงหมายถึงค่าวัดที่เป็น Availability แต่ละค่าวัดของ Injection ที่แต่ละบัสและค่า
วัด Flow แต่ละไลน์ (Output ที่แสดงหมายเลข 2 หมายถึง Observability และหมายเลข 1 หมายถึง
Unobservability)

4.1.3.2 ระบบไฟฟ้าของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (ระบบ 14 บัส 230 kV เขต นครหลวง) [16]



14 พระ

รูปที่ 4.3 แสดงระบบไฟฟ้ากำลังแบบ 14 บัส 230 kV ของ กฟผ. [16]

ระบบไฟฟ้าของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยในเขตนครหลวงมีทั้งหมด 14 สถานี ได้แก่

1. สถานีไฟฟ้าไทรน้อย (SAI NOI : SNQ)
2. สถานีไฟฟ้าบางกอกน้อย (BANGKOK NOI : BN)
3. สถานีไฟฟ้าธนบุรีใต้ (SOUTH THONBURI : STB)
4. สถานีไฟฟ้าพระนครใต้ (SOUTH BANGKOK : SB)
5. สถานีไฟฟ้าเทพารักษ์ (THEPHARAK : TPR)
6. สถานีไฟฟ้าบางพลี (BANG PLEE : BP)
7. สถานีไฟฟ้าอ่อนนุช (ON NUCH : ON)
8. สถานีไฟฟ้าหนองจอก (NONG CHOK : NCO)
9. สถานีไฟฟ้าบางกะปิ (BANG KAPI : BK)
10. สถานีไฟฟ้ารัชดาภิเษก (RATCHADAPHISEK : RPS)
11. สถานีไฟฟ้าลาดพร้าว (LAT PHRAO : LPR)
12. สถานีไฟฟ้าเชิงวัฒนา (CHAENG WATTANA : CHW)

6 บางพลี

7 อ่อน

13. สถานีไฟฟ้ารังสิต (RANGSIT : RS)

14. สถานีไฟฟ้าพระนครเหนือ (NORTH BANGKOK : NB)

ANNs ถูกฝึกสอน (Training) สำหรับ Topological Observability ของระบบไฟฟ้ากำลังระบบ 230 kV ที่มี 14 บัส ของ กฟผ. สำหรับระบบแบบ 14 บัส มี 30 อินพุตแทนค่าวัด Bus Injection จำนวน 14 ค่า และ ค่าวัด Line Flow จำนวน 16 ค่า (Availability หรือ Unavailability) และมีหนึ่งเอาต์พุตแทนสถานะ Observability หรือ Unobservability ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 แสดงชุดข้อมูลฝึกสอน (Training Patterns) จำนวน 72 ชุด (Availability) ของระบบไฟฟ้ากำลังแบบ 230 kV ที่มี 14 บัส (กฟผ.) ที่ใช้ในการฝึกสอนโดย ANNs

ข้อมูลชุดที่	ค่าวัด Injection (Input) (บัส)	ค่าวัด Flow (Input) (บัส – บัส)	วิธี MJMR (Output)
1	1, 3, 4, 5, 9, 11, 12, 14	1-2, 1-13, 3-4, 4-5, 6-7, 7-8 , 10-11, 12-13, 12-14	2
2	4, 5, 7, 13, 14	1-13, 3-4, 6-7, 7-9, 11-12, 12-14	1
3	1, 2, 3, 5, 6, 8, 13, 14	1-2, 1-13, 2-3, 5-6, 7-8, 11-12, 11-14, 12-14	1
4	2, 4, 7, 9, 10, 11, 14	2-3, 2-14, 4-5, 6-7, 7-9, 9-10, 10-11, 12-13	1
5	1, 3, 5, 7, 9, 10, 11, 13	1-2, 1-13, 3-4, 7-8, 10-11, 11-12, 11-14	2
6	2, 5, 6, 8, 10, 11, 12, 14	1-13, 2-14, 5-6, 6-7, 7-9, 10-11, 12-13, 12-14	1
7	3, 4, 6, 9, 10, 12	1-2, 2-14, 5-6, 7-8, 7-9, 11-12, 11-14	1
8	1, 2, 3, 5, 6, 7, 9, 10, 11, 13, 14	1-13, 2-3, 3-4, 5-6, 7-9, 9-10, 11-14, 12-13	1
9	2, 3, 5, 6, 8, 9, 11, 12, 13, 14	1-2, 2-3, 2-14, 4-5, 7-9, 10-11, 12-13, 12-14	2
10	5, 7, 8, 11, 12, 13	2-14, 5-6, 6-7, 7-8, 7-9, 11-12, 11-14, 12-14	1
11	1, 3, 4, 6, 7, 8, 9, 11, 13, 14	1-2, 1-13, 3-4, 4-5, 7-8, 7-9, 11-12, 11-14	2
12	2, 3, 4, 5, 6, 8, 9, 10, 12, 13, 14	2-14, 6-7, 9-10, 10-11, 12-14	2

ตารางที่ 4.2 (ต่อ)

ข้อมูลชุดที่	ค่าวัด Injection (Input) (บัส)	ค่าวัด Flow (Input) (บัส – บัส)	วิธี MJMR (Output)
13	1, 2, 3, 4, 6, 8, 9, 10, 11, 13, 14	1-2, 2-3, 2-14, 5-6, 6-7, 7-8, 7-9, 11-14, 12-14	2
14	1, 2, 4, 5, 6, 8, 9, 10, 11, 12	1-2, 3-4, 4-5, 5-6, 6-7, 10-11, 12-13, 12-14	2
15	1, 3, 4, 5, 8, 9, 13	1-2, 1-13, 2-3, 2-14, 5-6, 6-7, 9-10, 11-14, 12-13	1
16	4, 6, 10, 11, 14	1-2, 2-3, 3-4, 5-6, 9-10, 10-11, 11-14	1
17	2, 3, 4, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 14	1-2, 1-13, 2-14, 4-5, 7-8, 10-11, 11-14, 12-13	2
18	5, 6, 7, 10, 13, 14	1-13, 2-14, 3-4, 6-7, 11-12, 11-14	1
19	1, 2, 3, 4, 9, 11, 12, 13, 14	1-2, 2-3, 2-14, 7-8, 7-9, 11-12, 11-14, 12-14	1
20	1, 3, 5, 7, 9, 11, 13	1-2, 2-3, 3-4, 4-5, 7-9, 10-11, 11-12, 12-14	1
21	1, 3, 4, 7, 8, 9, 11, 12, 13, 14	1-2, 1-13, 2-14, 3-4, 5-6, 6-7, 7-9, 12-13, 12-14	2
22	3, 4, 7, 8, 11, 12, 13, 14	1-13, 2-3, 3-4, 5-6, 7-8, 7-9, 9-10, 11-12, 11-14, 12-14	1
23	1, 2, 3, 4, 6, 7, 9, 10, 12, 13, 14	1-13, 2-3, 4-5, 6-7, 7-8, 9-10, 11-12, 12-13, 12-14	2
24	1, 5, 9, 13, 14,	1-2, 1-13, 2-3, 4-5, 5-6, 6-7, 7-9, 10-11, 11-12, 12-13, 12-14	1
25	1, 2, 4, 5, 7, 10, 11, 12, 13, 14	1-2, 2-3, 2-14, 3-4, 6-7, 9-10, 11-12, 11-14	1
26	1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 9, 10, 11, 13, 14	2-3, 4-5, 5-6, 7-9, 9-10, 11-12	2
27	1, 2, 3, 4, 5, 10, 11, 12, 13, 14	1-2, 2-14, 3-4, 6-7, 9-10, 10-11, 11-14	1
28	1, 2, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 14	1-13, 2-3, 2-14, 3-4, 7-8, 7-9, 9-10, 10-11	2

ตารางที่ 4.2 (ต่อ)

ข้อมูลชุดที่	ค่าวัด Injection (Input) (บัส)	ค่าวัด Flow (Input) (บัส – บัส)	วิธี MJMR (Output)
29	1, 2, 4, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 14	2-14, 5-6, 7-8, 7-9, 11-12, 12-13, 12-14	2
30	1, 2, 3, 6, 7, 8, 12, 13, 14	1-13, 2-3, 3-4, 6-7, 7-9, 11-12, 12-14	1
31	3, 4, 5, 6, 7, 10, 11, 12, 13, 14	1-2, 2-3, 3-4, 4-5, 7-9, 9-10, 10-11, 11-12, 12-13	1
32	3, 8, 11, 13, 14	1-2, 1-13, 2-3, 3-4, 4-5, 5-6, 7-8, 7-9, 9-10, 11-12, 11-14, 12-14	1
33	2, 7, 8, 9, 10, 12, 13, 14	2-3, 2-14, 3-4, 5-6, 7-8, 7-9, 9-10, 10-11, 11-14, 12-13, 12-14	1
34	1, 2, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 11, 12, 13, 14	1-2, 1-13, 2-14, 3-4, 5-6, 6-7, 7-8, 10-11, 11-12, 12-14	2
35	2, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 10, 11, 12	1-13, 2-14, 3-4, 6-7, 7-8, 7-9, 9-10, 12-13, 12-14	2
36	1, 2, 3, 4, 5, 6, 9, 10, 11, 12, 13, 14	2-3, 2-14, 3-4, 4-5, 5-6, 7-9, 9-10, 10-11, 11-12, 11-14	1
37	1, 2, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 11, 12, 14	1-2, 1-13, 2-14, 3-4, 4-5, 7-8, 10-11, 11-12, 11-14	1
38	1, 2, 3, 4, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 14	2-14, 5-6, 7-8, 9-10, 11-14, 12-13	2
39	1, 3, 4, 6, 7, 8, 9, 11, 12, 14	1-2, 2-3, 2-14, 7-9, 11-12, 11-14, 12-13	1
40	2, 3, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14	1-13, 2-3, 4-5, 5-6, 6-7, 10-11, 11-12, 12-14	2
41	1, 2, 3, 4, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 14	2-14, 3-4, 5-6, 7-8, 9-10, 11-12, 11-14, 12-14	2
42	2, 3, 4, 6, 8, 11, 12, 13, 14	1-2, 2-3, 3-4, 4-5, 5-6, 7-8, 9-10, 10-11, 11-14, 12-14	2
43	3, 9, 11, 12, 14	1-2, 2-3, 3-4, 4-5, 5-6, 6-7, 7-9, 10-11, 11-12, 11-14, 12-14	1
44	1, 2, 5, 6, 8, 9, 10, 12, 13, 14	1-13, 2-3, 3-4, 4-5, 5-6, 6-7, 7-8, 9-10, 10-11, 11-14, 12-13	1

ตารางที่ 4.2 (ต่อ)

ข้อมูลชุดที่	ค่าวัด Injection (Input) (บัส)	ค่าวัด Flow (Input) (บัส – บัส)	วิธี MJMR (Output)
45	1, 2, 3, 4, 5, 7, 8, 10, 11, 12, 13, 14	1-2, 1-13, 2-3, 3-4, 4-5, 6-7, 9-10, 10-11, 11-12, 11-14, 12-14	2
46	2, 3, 4, 6, 7, 8, 9, 11, 12, 14	1-13, 2-3, 3-4, 4-5, 5-6, 7-8, 7-9, 11-14, 12-13	2
47	1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 14	1-2, 2-3, 2-14, 5-6, 6-7, 7-9, 9-10, 10-11, 11-12, 11-14	1
48	2, 4, 6, 7, 8, 11, 12, 13, 14	1-2, 2-3, 2-14, 4-5, 5-6, 7-8, 7-9, 10-11, 11-12, 12-13, 12-14	2
49	1, 2, 3, 5, 6, 7, 9, 10, 11, 13, 14	1-2, 2-3, 2-14, 3-4, 4-5, 5-6, 6-7, 7-8, 9-10, 10-11	2
50	1, 3, 4, 5, 6, 11, 13	1-2, 1-13, 3-4, 5-6, 7-8, 7-9, 9-10, 11-12, 11-14, 12-13	1
51	1, 2, 3, 5, 6, 8, 10, 11, 12, 14	1-13, 2-3, 3-4, 4-5, 5-6, 7-9, 9-10, 11-12, 11-14, 12-14	2
52	1, 3, 4, 5, 7, 8, 9, 11, 13, 14	1-2, 1-13, 2-3, 3-4, 4-5, 6-7, 7-8, 7-9, 9-10, 11-12, 11-14, 12-13, 12-14	1
53	2, 3, 4, 7, 8, 9, 10, 11, 12	1-13, 2-3, 2-14, 4-5, 5-6, 6-7, 7-8, 9-10, 10-11, 11-12, 11-14, 12-13, 12-14	2
54	3, 4, 7, 9, 10, 11, 13, 14	1-2, 1-13, 2-14, 3-4, 4-5, 6-7, 7-8, 7-9, 10-11, 11-12, 11-14, 12-14	2
55	1, 4, 6, 10, 11, 12, 13	1-2, 2-3, 2-14, 5-6, 7-8, 10-11, 12-13	1
56	2, 3, 4, 5, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14	1-2, 2-3, 2-14, 3-4, 4-5, 6-7, 7-9, 9-10, 10-11, 12-13, 12-14	2
57	3, 6, 9, 10, 11, 14	1-13, 2-3, 4-5, 6-7, 7-8, 7-9, 10-11, 11-12, 12-13, 12-14	1
58	2, 5, 8, 9, 11, 12, 13	1-2, 1-13, 3-4, 6-7, 7-8, 9-10, 10-11, 11-12, 12-13, 12-14	1
59	1, 2, 4, 5, 7, 8, 9, 10, 12, 13, 14	1-2, 2-3, 4-5, 5-6, 7-8, 9-10, 11-12, 11-14, 12-14	2

ตารางที่ 4.2 (ต่อ)

ข้อมูลชุดที่	ค่าวัด Injection (Input) (บัส)	ค่าวัด Flow (Input) (บัส – บัส)	วิธี MJMR (Output)
60	4, 6, 9, 10, 12, 13	1-13, 2-3, 4-5, 9-10, 11-14, 12-13	1
61	2, 4, 6, 8, 9, 10, 11, 12, 14	1-2, 1-13, 2-14, 3-4, 5-6, 6-7, 9-10, 10-11, 11-14	1
62	1, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 14	1-2, 1-13, 2-14, 4-5, 6-7, 7-9, 10-11, 11-14, 12-14	2
63	1, 2, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 11, 12, 13, 14	2-3, 3-4, 4-5, 7-8, 7-9, 9-10, 10-11, 11-12, 12-13, 12-14	2
64	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 14	1-2, 1-13, 2-3, 2-14, 3-4, 5-6, 7-8, 7-9, 11-12, 11-14, 12-13, 12-14	2
65	4, 8, 12	1-2, 4-5, 7-8, 7-9, 11-12, 12-13	1
66	3, 4, 6, 9, 11, 14	1-13, 3-4, 7-8, 10-11	1
67	1, 2, 4, 5, 6, 9, 10, 11, 12, 13, 14	1-2, 2-3, 3-4, 5-6, 7-9, 9-10, 11-14, 12-13	1
68	1, 2, 5, 6, 7, 8, 10, 11, 12, 14	1-2, 2-3, 3-4, 4-5, 5-6, 7-8, 7-9, 9-10, 11-12, 12-13	2
69	5, 11, 12	1-13, 2-14, 4-5, 9-10	1
70	2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 11, 12, 13, 14	2-3, 3-4, 4-5, 5-6, 6-7, 7-8, 10- 11, 11-14	2
71	1, 2, 4, 5, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14	1-2, 1-13, 2-3, 4-5, 5-6, 7-8, 9- 10, 12-14	2
72	4, 5, 11, 12	1-13, 2-3, 6-7, 7-8, 11-12, 11-14, 12-14	1

หมายเหตุ : Input ที่แสดงหมายถึงค่าวัดที่เป็น Availability แต่ละค่าวัดของ Injection ที่แต่ละบัสและค่า
วัด Flow แต่ละไลน์ (Output ที่แสดงหมายเลข 2 หมายถึง Observability และหมายเลข 1 หมายถึง
Unobservability)

4.2 การทดสอบด้วยโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ค่าย้อนกลับ (Back – Propagation Neural Networks)

ในการทดสอบหา NO ของระบบไฟฟ้า โดยการใช้โครงข่ายประสาทเทียมแบบ BP นั้นจะทำการทดสอบโดยการใช้โครงข่ายประสาทเทียมแบบ BP ที่มีชั้นซ่อน (Hidden Layer) 2 ชั้น โดยจะ

ขอกล่าวถึงค่าเริ่มต้นต่าง ๆ ที่ใช้เป็นเงื่อนไขสำหรับโครงข่ายประสาทเทียมแบบ BP ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

4.2.1 ค่าเริ่มต้นที่ใช้เป็นค่าถ่วงน้ำหนัก (Weight) และค่าไบแอส (Bias)

ในการเลือกค่าเริ่มต้นที่จะใช้เป็น Weight และ Bias ในโครงข่ายประสาทเทียมแบบ BP นี้ โดยทั่วไปจะมี 2 วิธี คือ กำหนดค่าเริ่มต้นของ Weight และ Bias ด้วยตนเอง หรือ อีกวิธีการคือให้โปรแกรมทำการเลือก Weight และ Bias โดยวิธีการสุ่มเลือก โดยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ใช้วิธีการสุ่มเลือก Weight และ Bias เนื่องจากจะทำให้การฝึกสอนในแต่ละรอบนั้นมีทิศทางการลู่เข้าสู่คำตอบที่แตกต่างกันออกไป

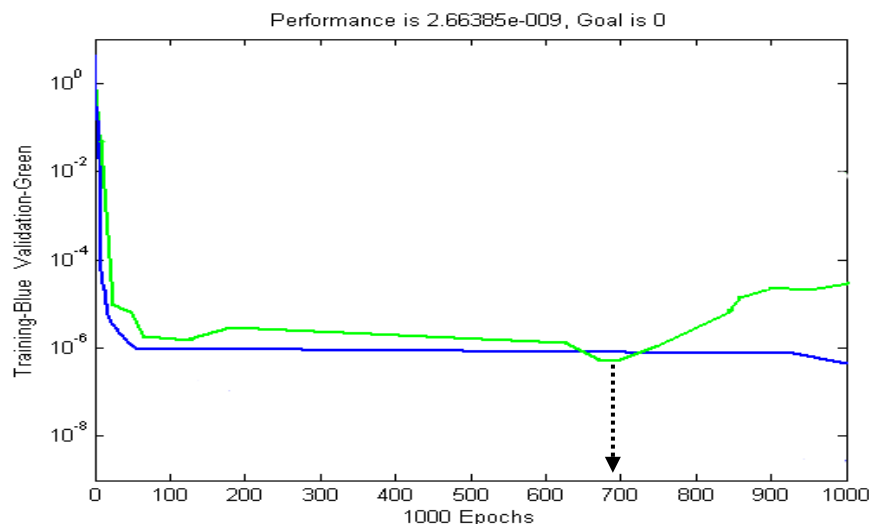
4.2.2 ลำดับขั้นตอนการปรับ Weight และ Bias

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ทำการการปรับ Weight และ Bias ด้วยวิธี Lavenberg-Marquardt Algorithm ซึ่งใน Neural Network Toolbox User's Guide [10] ได้ระบุไว้ว่าวิธีการปรับ Weight และ Bias ด้วย Lavenberg-Marquardt Algorithm นั้นมีประสิทธิภาพและความรวดเร็วในการฝึกสอนสูงที่สุด ดังนั้นในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงได้นำเอาขั้นตอนการปรับ Weight และ Bias ด้วยวิธีการนี้มาใช้

โดยในการทดสอบนี้ได้กำหนดให้มีการปรับ Weight และ Bias เป็นจำนวน 1,000 ครั้ง (Epoch) โดยได้กำหนดให้ทำการปรับ Weight และ Bias ด้วยจำนวนนี้ในทุกการทดสอบเพื่อที่จะได้สามารถเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการฝึกสอนได้ ในการปรับ Weight และ Bias ในแต่ละรอบนั้นจะทำการคำนวณหาค่าผิดพลาดของคำตอบของข้อมูลของชุดฝึกสอนและข้อมูลของชุดทดสอบแต่ละชุด เพื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของค่าผิดพลาดยกกำลังสอง (Mean Square Error : MSE) ของชุดข้อมูลทดสอบในรอบการคำนวณปัจจุบันกับค่า MSE ของข้อมูลทดสอบที่ได้จากการคำนวณในรอบก่อนหน้า และทำการบันทึก Weight และ Bias ในรอบที่ทำให้ค่า MSE ของข้อมูลชุดทดสอบมีค่าต่ำที่สุด

4.2.3 จำนวนครั้งและจำนวนรอบของการปรับค่าถ่วงน้ำหนัก (Weight) และค่าไบแอส (Bias)

การฝึกสอน ANNs แต่ละรอบจะกำหนดให้มีการปรับ Weight และ Bias เป็นจำนวน 1,000 ครั้ง (ในที่นี้จะเรียกว่า Epoch) เพื่อใช้เป็นเกณฑ์ในการเปรียบเทียบระยะเวลาในการฝึกสอน ANNs ในแต่ละเงื่อนไข แล้วเลือก Weight และ Bias ที่ทำให้ค่าเปอร์เซ็นต์ผิดพลาดเฉลี่ยสัมบูรณ์ (Mean Absolute Percentage Error, MAPE) ของชุดข้อมูลทดสอบ (เป็นชุดข้อมูล Validation ในการฝึกสอน) หรือ Validation Performance ที่มีค่าต่ำที่สุดใน 1,000 Epoch ซึ่งเป็นตำแหน่งที่ถูกสุ่มไปใช้งาน ดังแสดงในรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 แสดงการเลือก Weight และ Bias ในแต่ละรอบของการฝึกสอน

สำหรับจำนวนรอบของการฝึกสอน ANNs ในแต่ละโครงสร้างของโครงข่ายนั้น จะกำหนดไว้ที่ 20 รอบต่อโครงสร้าง เพื่อใช้เป็นเกณฑ์ในการเปรียบเทียบเวลาในการฝึกสอน ANNs ในแต่ละเงื่อนไข และเลือกรอบการฝึกสอนที่มีค่าเปอร์เซ็นต์ผิดพลาดเฉลี่ยสัมบูรณ์ (MAPE) ของชุดข้อมูลทดสอบต่ำที่สุดใน 20 รอบไปใช้งาน

4.2.4 จำนวนโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียม

ANNs ที่ใช้ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นชนิดที่ป้อนไปข้างหน้า (Feed – Forward Neural Networks) และจะประกอบไปด้วยเซลล์ประสาทเป็นชั้นๆ โดยเซลล์ประสาทจะมี 3 ประเภท คือชั้นข้อมูลด้านเข้ามีจำนวน 1 ชั้น ชั้นซ่อน (Hidden Layer) มีจำนวนตั้งแต่ 1-2 ชั้น ชั้นข้อมูลด้านออก มีจำนวน 1 ชั้น จุดที่จะมีผลต่อ ANNs อีกจุดหนึ่งก็คือจำนวนเซลล์ประสาทในชั้นซ่อน ซึ่งจำนวนเซลล์ประสาทรุ่นนั้นจะมีผลต่อเวลาที่ใช้ในการฝึกสอน นั่นคือถ้าจำนวนเซลล์ประสาทมากเวลาที่ใช้ในการฝึกสอนก็มากตามไปด้วย แต่จำนวนเซลล์ประสาทรุ่นนั้นไม่ได้เป็นสิ่งที่ทำให้ ANNs มีประสิทธิภาพ นั่นคือจำนวนเซลล์ประสาทในชั้นซ่อนที่มากไม่ได้เป็นตัวที่จะบอกว่า ANNs จะมีประสิทธิภาพดี ในบางปัญหามีจำนวนเซลล์ประสาทในชั้นซ่อนที่น้อยก็อาจจะมีประสิทธิภาพที่ดีกว่า ANNs ที่มีจำนวนเซลล์ประสาทในชั้นซ่อนที่มาก

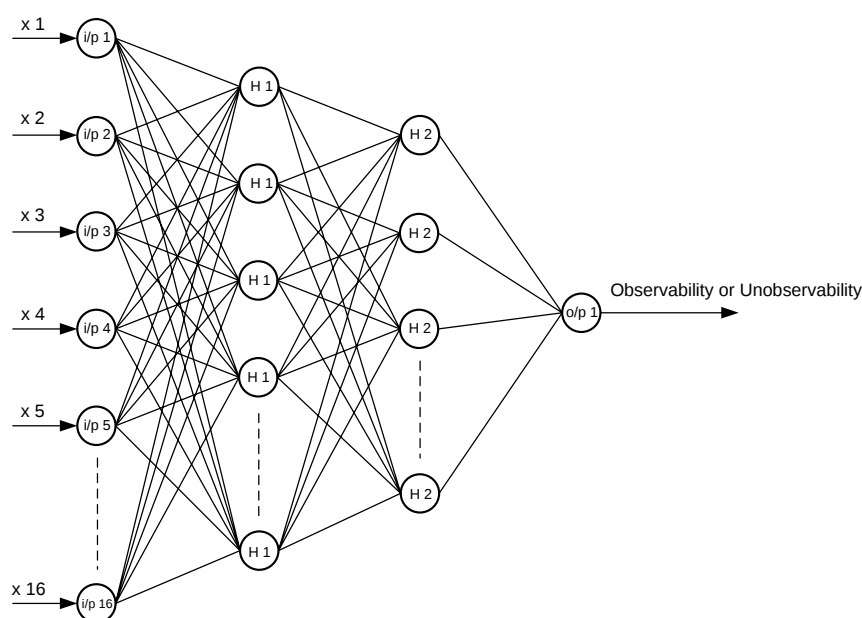
ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ทำการทดสอบโครงข่ายประสาทเทียมแบบ BP ที่มีชั้นซ่อน 2 ชั้น โดยในการทดสอบโครงข่ายประสาทเทียมแบบ BP ที่มีชั้นซ่อน 2 ชั้นนั้นจะแบ่งการกำหนดจำนวนเซลล์ประสาทเป็น 2 แบบคือ

4.2.4.1 กำหนดให้ชั้นซ่อนที่ 1 มากกว่าจำนวนเซลล์ประสาทของชั้นซ่อนที่ 2 อยู่จำนวน 1 เซลล์

ทำการฝึกสอน ANNs ที่มีจำนวนเซลล์ประสาทชั้นซ่อนที่ 1 จำนวน 2 เซลล์ และจำนวนเซลล์ประสาทในชั้นซ่อนที่ 2 จำนวน 1 เซลล์ ไปจนถึงโครงสร้างที่มีจำนวนเซลล์ประสาทในชั้นซ่อนที่ 1 จำนวน 10 เซลล์ และจำนวนเซลล์ประสาทในชั้นซ่อนที่ 2 มีจำนวน 9 เซลล์

4.2.4.2 กำหนดให้ชั้นซ่อนที่ 1 มากกว่าจำนวนเซลล์ประสาทของชั้นซ่อนที่ 2 อยู่จำนวน 2 เซลล์

ทำการฝึกสอน ANNs ที่มีจำนวนเซลล์ประสาทชั้นซ่อนที่ 1 จำนวน 3 เซลล์ และจำนวนเซลล์ประสาทในชั้นซ่อนที่ 2 จำนวน 1 เซลล์ ไปจนถึงโครงสร้างที่มีจำนวนเซลล์ประสาทในชั้นซ่อนที่ 1 จำนวน 10 เซลล์ และจำนวนเซลล์ประสาทในชั้นซ่อนที่ 2 มีจำนวน 8 เซลล์

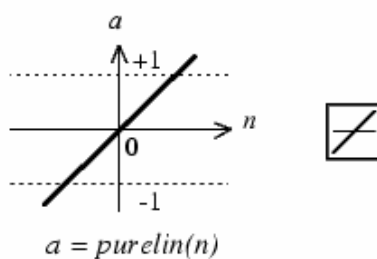


รูปที่ 4.5 แสดงโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมแบบ 4 Layer

4.2.5 ชนิดของฟังก์ชันถ่ายโอน (Transfer Function)

ฟังก์ชันถ่ายโอน (Transfer Function) เป็นองค์ประกอบหนึ่งที่มีผลต่อการเรียนรู้ของ ANNs ฟังก์ชันถ่ายโอนที่ใช้ในการฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียมชนิด Feed – Forward มีอยู่หลายชนิด เช่น ลิเนียร์ (Linear), แทนเจนต์ซิกมอยด์ (Tan-sigmoid transfer function) และ ลอกซ์ซิกมอยด์ (Log-sigmoid transfer function) ซึ่งแสดงในสมการที่ 4.1 (รูปที่ 4.6), สมการที่ 4.2 (รูปที่ 4.7), สมการที่ 4.3 (รูปที่ 4.8) ตามลำดับ โดยวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะเลือกใช้ฟังก์ชันถ่ายโอนแบบแทนเจนต์ซิกมอยด์และลอกซ์ซิกมอยด์สำหรับชั้นซ่อนที่ 1 และชั้นซ่อนที่ 2 ส่วนฟังก์ชันถ่ายโอนแบบ

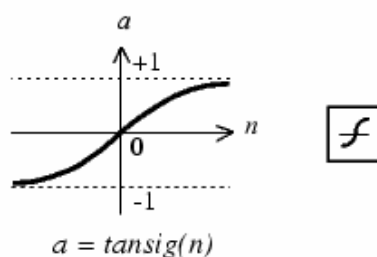
ลิเนียร์ (Linear) จะใช้สำหรับชั้นข้อมูลด้านออกในส่วนความชันของฟังก์ชันถ่ายโอนในการศึกษาี้
ทำการฝึกสอน ANNs ด้วยฟังก์ชันถ่ายโอนในชั้นซ่อนที่มีความชันเท่ากับ 1.00 ซึ่งเป็นค่าพื้นฐาน
ของ Neural Network Toolbox



Linear Transfer Function

รูปที่ 4.6 แสดง Linear Transfer Function

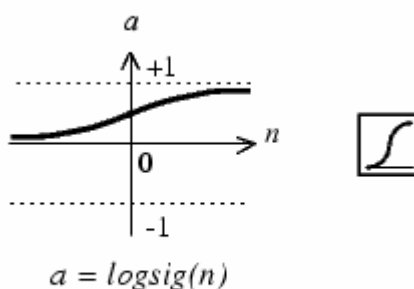
สมการฟังก์ชันกระตุ้น คือ $a(n) = n$ (4.1)



Tan-Sigmoid Transfer Function

รูปที่ 4.7 แสดง Tangent Sigmoid Transfer Function

สมการฟังก์ชันกระตุ้น คือ $a(n) = \frac{1 - e^{(-kn)}}{1 + e^{(-kn)}}$ (4.2)



Log-Sigmoid Transfer Function

รูปที่ 4.8 แสดง Log Sigmoid Transfer Function

สมการฟังก์ชันกระตุ้น คือ
$$a(n) = \frac{1}{1 + e^{-kn}} \quad (4.3)$$

โดยที่ k คือค่าคงที่ที่แสดงถึงความชันของฟังก์ชันถ่ายโอน

4.2.6 เงื่อนไขที่เป็นพื้นฐานของ Neural Network Toolbox

ในการฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียมชนิด Feed – Forward ด้วย Levenberg – Maquard Algorithm (trainlm) โดยใช้ Neural Network Toolbox จะมีเงื่อนไขพื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับการสิ้นสุดของการฝึกสอนดังนี้

1. ค่า Performance Gradient ซึ่งเป็นพารามิเตอร์หนึ่งที่ใช้ในการพิจารณาถึงการสิ้นสุดการฝึกสอน โดยในการปรับ Weight และ Bias แต่ละรอบนั้นค่า Performance Gradient จะเปลี่ยนแปลงไปขึ้นอยู่กับค่าผิดพลาด (e) ที่เกิดขึ้นใน Epoch นั้นๆ โดยการฝึกสอนจะสิ้นสุดลงเมื่อ Performance Gradient มีค่าน้อยกว่า $1e^{-10}$

2. ค่า μ เป็นค่าคงที่ที่ใช้เร่งการปรับ Weight และ Bias ให้ผู้เข้าหาคำตอบ ในการปรับ Weight และ Bias ในแต่ละรอบนั้นหากค่า Performance Gradient มีค่าเพิ่มขึ้น จะมีการปรับค่า μ ให้เพิ่มขึ้นจนกระทั่ง Performance Gradient มีแนวโน้มที่จะลดลงจากนั้นค่า μ จะถูกปรับลดลงเรื่อยๆ และมีการปรับเพิ่มขึ้นอีกครั้งเมื่อค่า Performance Gradient มีค่าเพิ่มขึ้น โดยค่า μ เริ่มต้นจะมีค่าเท่ากับ 0.001 การปรับค่า μ เพิ่มขึ้นนั้นจะทำได้โดยการคูณด้วย Increased Factor ซึ่งมีค่าเท่ากับ 10 และการปรับค่า μ ลดลงนั้นทำได้โดยการคูณด้วย Decreased Factor ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.1 และการฝึกสอนจะสิ้นสุดลงเมื่อ μ มีค่ามากกว่า $1e^{10}$

4.2.7 ค่าเปอร์เซ็นต์เฉลี่ยผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE)

การเปรียบเทียบว่า ANNs แบบใดที่ให้ผลลัพธ์ออกมามีที่สุคนั้นเราจะทำการเปรียบเทียบโดยดูจากค่า MAPE ของชุดทดสอบ ถ้าโครงข่ายใดที่ให้ค่า MAPE ของชุดทดสอบมีค่าต่ำสุดแสดงว่า ANNs แบบนั้นมีประสิทธิภาพดีที่สุด สำหรับการหาค่า MAPE นั้นเราสามารถหาได้จากสมการดังนี้

$$MAPE = \sum_{i=1}^n \frac{1}{n} \times \left| \frac{OBS_{ANNi} - OBS_{JMi}}{OBS_{JMi}} \right| \times 100\% \quad (4.4)$$

OBS_{ANN} คือ คำตอบของ NO ที่ได้จากวิธี ANNs

OBS_{JB} คือ คำตอบของ NO ที่ได้จากวิธี MJMR

n คือ จำนวนข้อมูลที่ทดสอบ

จากที่กล่าวในข้างต้นเงื่อนไขการฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียมชนิด BP ทั้งหมดสามารถนำมาสรุปได้ตามตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 สรุปเงื่อนไขการฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียมชนิดแพร่ค่าย้อนกลับ (BP)

เงื่อนไขที่ควบคุม	ค่าที่กำหนด	ผลต่อการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียม
การเลือกค่าเริ่มต้นของ Weight , Bias	เลือกแบบสุ่ม (Random)	ประสิทธิภาพของ ANNs อาจจะแตกต่างกัน โดยขึ้นอยู่กับค่าเริ่มต้นของ Weight , Bias ที่สุ่มได้
ลำดับขั้นตอนการปรับ Weight , Bias	Levenberg – Maquardt Algorithm	ประสิทธิภาพและความรวดเร็วในการฝึกสอนสูงที่สุด
จำนวนครั้งในการปรับ Weight , Bias ในการฝึกสอนแต่ละรอบ	1,000 ครั้ง	ใช้เปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการฝึกสอน
จำนวนรอบในการฝึกสอน	20 รอบ	ใช้เปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการฝึกสอน
โครงสร้างของ ANNs	แบบที่ 1. มีจำนวน 9 โครงสร้าง เริ่มตั้งแต่ 2 - 1 จนถึง 10 - 9 แบบที่ 2. มีจำนวน 8 โครงสร้าง เริ่มตั้งแต่ 3 - 1 จนถึง 10 - 8	ใช้เปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการฝึกสอน
จำนวนนิวรอนในชั้นซ่อน	แบบที่ 1. ในชั้นซ่อนที่ 1 มีนิวรอนมากกว่าในชั้นซ่อนที่ 2 เป็นจำนวน 1 นิวรอน แบบที่ 2. ในชั้นซ่อนที่ 1 มีนิวรอนมากกว่าในชั้นซ่อนที่ 2 เป็นจำนวน 2 นิวรอน	ใช้เปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการฝึกสอน
ความชันฟังก์ชันถ่ายโอน	$k = 1.00$	ไม่มีการปรับความชันของฟังก์ชันถ่ายโอน

ตารางที่ 4.3 (ต่อ)

เงื่อนไขที่ควบคุม	ค่าที่กำหนด	ผลต่อการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียม
ชนิดฟังก์ชันถ่ายโอน	แบบที่ 1. ใช้ Tan – sigmoid ในชั้นซ่อนทั้ง 2 ชั้น สำหรับ โครงสร้างทั้ง 2 แบบ และ Linear ในชั้นข้อมูลเอาต์พุต แบบที่ 2. ใช้ Log – sigmoid ในชั้นซ่อนทั้ง 2 ชั้น สำหรับ โครงสร้างทั้ง 2 แบบ และ Linear ในชั้นข้อมูลเอาต์พุต	มีการปรับชนิดของฟังก์ชันถ่ายโอน
จำนวนข้อมูลฝึกสอนและทดสอบ	ระบบ 8 บิต (กฟอ.) ใช้ชุดฝึกสอนจำนวน 52 ชุด และชุดทดสอบจำนวน 8 ชุด ระบบ 14 บิต (กฟผ.) ใช้ชุดฝึกสอนจำนวน 72 ชุด และชุดทดสอบจำนวน 8 ชุด	ใช้เปรียบเทียบความเหมาะสม ขนาดของระบบกับจำนวนชุดฝึกสอนที่ใช้ในการฝึกสอน

4.2.8 ขั้นตอนการฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียมชนิดแพร่ค่าย้อนกลับ (Back- Propagation :

BP)

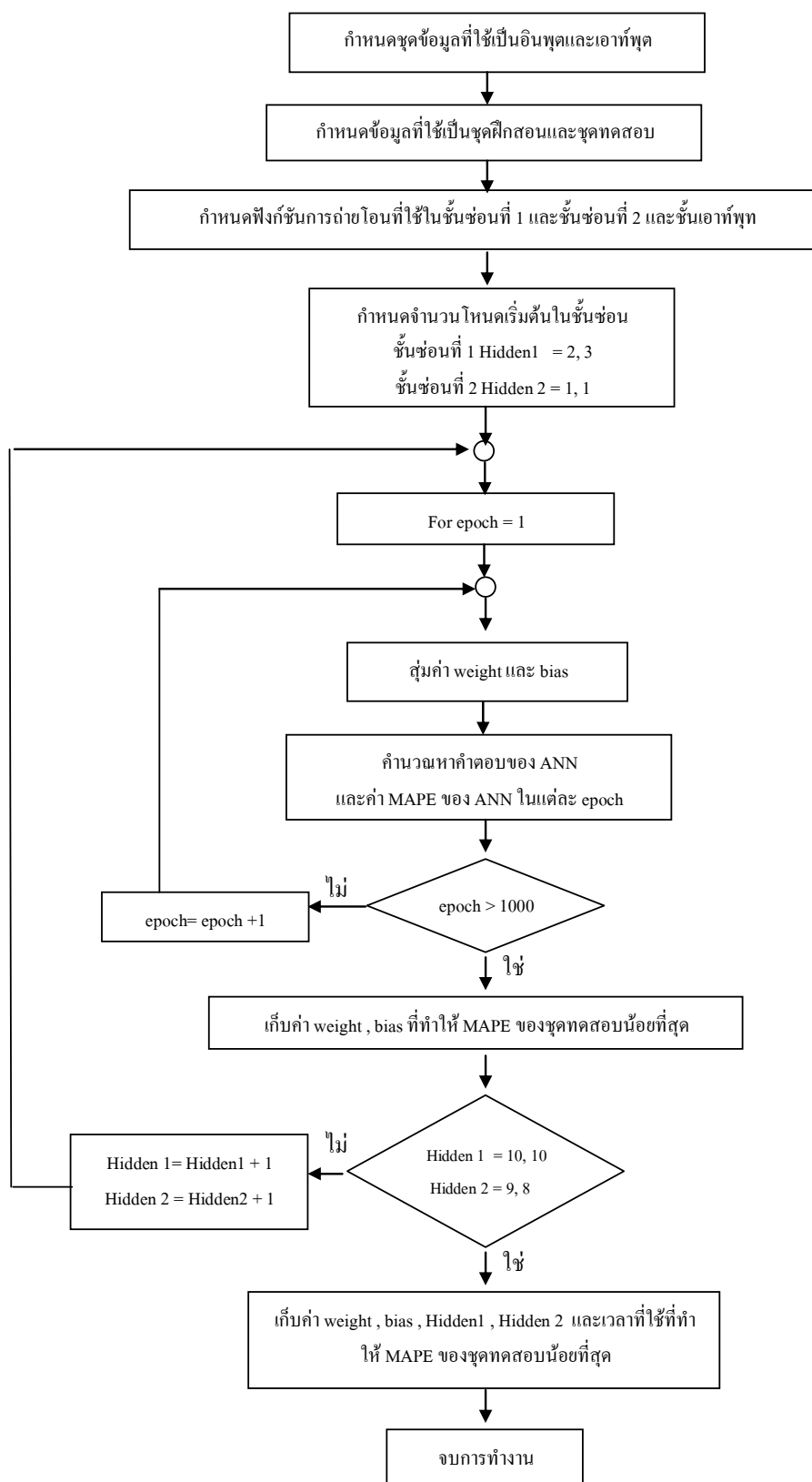
ขั้นตอนการทดสอบด้วยโครงข่ายประสาทเทียมแบบ BP ที่มีชั้นซ่อน 2 ชั้น มีขั้นตอนดังนี้

1. กำหนดข้อมูลที่ใช้เป็นอินพุตและเอาต์พุตให้กับ ANNs
2. กำหนดชุดข้อมูลที่จะใช้เป็นชุดฝึกสอนและชุดทดสอบ
3. เลือกฟังก์ชันการถ่ายโอนที่จะใช้ในชั้นซ่อนชั้นที่ 1 และชั้นซ่อนชั้นที่ 2 และชั้นเอาต์พุต

4. **แบบที่ 1.** กำหนดจำนวนโหนดในชั้นซ่อนที่ 1 ให้เริ่มต้นด้วยจำนวน 2 โหนด และจำนวนโหนดในชั้นซ่อนที่ 2 จำนวน 1 โหนด (จำนวนโหนดในชั้นซ่อนที่ 1 จะมากกว่าจำนวนโหนดในชั้นซ่อนที่ 2 จำนวน 1 โหนด) ทำการรันโปรแกรมจนกระทั่ง ANNs มีจำนวนโหนดในชั้นซ่อนที่ 1 มีจำนวน 10 โหนด และจำนวนโหนดในชั้นซ่อนที่ 2 มี 9 โหนด

แบบที่ 2. กำหนดจำนวนโหนดในชั้นซ่อนที่ 1 ให้เริ่มต้นด้วยจำนวน 3 โหนด และจำนวนโหนดในชั้นซ่อนที่ 2 จำนวน 1 โหนด (จำนวนโหนดในชั้นซ่อนที่ 1 จะมากกว่าจำนวนโหนดในชั้นซ่อนที่ 2 จำนวน 2 โหนด) ทำการรันโปรแกรมจนกระทั่ง ANNs มีจำนวนโหนดในชั้นซ่อนที่ 1 มีจำนวน 10 โหนด และจำนวนโหนดในชั้นซ่อนที่ 2 มี 8 โหนด

5. กำหนดจำนวนรอบของการฝึกสอน โดยให้แต่ละโครงสร้างทำการฝึกสอนจำนวน 20 รอบต่อโครงสร้าง และแต่ละรอบทำการปรับ Weight และ Bias ทั้งหมด 1,000 ครั้ง (epoch)
 6. จากนั้นทำการรันโปรแกรมแล้วเก็บบันทึก
 - ค่าเปอร์เซ็นต์ผิดพลาดสัมบูรณ์ของชุดฝึกสอนและชุดทดสอบ โดยบันทึกทั้งค่าต่ำสุด , ค่าเฉลี่ย และค่าสูงสุด ที่ได้ในแต่ละรอบ
 - เวลาที่ใช้ในการฝึกสอนในแต่ละโครงสร้าง
 - ค่า Weight และค่า Bias
 - จำนวนโหนดในชั้นซ่อนที่ 1 และชั้นซ่อนที่ 2 ของโครงสร้างที่ให้ค่า MAPE ของชุดทดสอบต่ำที่สุด
 - ผลลัพธ์ที่ได้ของชุดทดสอบ
 7. เปลี่ยนฟังก์ชันการถ่วงโอนที่ใช้ในชั้นซ่อนที่ 1 และชั้นซ่อนที่ 2 และชั้นเอาต์พุตของ ANNs แล้วทำซ้ำข้อ 4 ถึงข้อ 6
 8. ทำการเปลี่ยนฟังก์ชันการถ่วงโอนให้ครบทุกแบบ
- ขั้นตอนการทดสอบด้วยโครงข่ายประสาทเทียมแบบ BP นั้นสามารถเขียนเป็นแผนภาพได้ดังรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 แสดงแผนภาพการทดสอบด้วยโครงข่ายประสาทเทียมแบบ BP ที่มีชั้นซ่อน 2 ชั้น

4.3 การทดสอบด้วยโครงข่ายประสาทเทียมแบบ Generalized Regression (GRNN)

ในการทดสอบหา NO ของค่าวัดในระบบไฟฟ้า โดยการใช้โครงข่ายประสาทเทียมแบบ GRNN นั้นจะทำการทดสอบโดยการใช้โครงข่ายประสาทเทียมแบบ GRNN ที่ใช้ฟังก์ชันถ่ายโอนแบบ Radial Basis Function เป็นสมการในชั้นซ่อนซึ่งสามารถแบ่งออกเป็นฟังก์ชันพื้นฐานต่าง ๆ ได้ดังนี้

1. Gaussian Functions
2. Thin Plat Spline Function
3. Multi-Quadric Functions
4. Inverse Multi-Quadric Functions

ฟังก์ชันพื้นฐานของชั้นซ่อนหรือชั้นฐานรัศมี (Radial Basis Layer) นั้นสามารถแก้ไขสมการในชั้นซ่อนได้โดยแก้ไขที่สมการในบรรทัดสุดท้ายของ MATLAB6.5\toolbox\nnet\nnet\radbas.m ส่วนในชั้นเอาต์พุตหรือชั้นเชิงเส้นพิเศษ (Special Linear Layer) นั้นใช้ฟังก์ชันการถ่ายโอนแบบ Linear และจุดที่ต่างจากโครงข่ายประสาทเทียมแบบ BP นั่นก็คือจำนวนโหนดในชั้นซ่อนที่เราไม่สามารถกำหนดได้ แต่จำนวนโหนดในชั้นซ่อนของโครงข่ายประสาทเทียมแบบ GRNN นั้นจะมีจำนวนโหนดเท่ากับจำนวนชุดฝึกสอนของข้อมูล

การทดสอบด้วยโครงข่ายประสาทเทียมแบบ GRNN นั้นเราจะทำการปรับค่าการกระจาย (Spread) เพื่อดูว่าที่ค่าการกระจายที่ดีที่สุดที่ทำให้ค่า MAPE ของชุดทดสอบมีค่าต่ำสุดนั้นมีค่าการกระจายที่เท่าไร ซึ่งค่าการกระจายนี้จะป้อนค่าที่นำไปใช้ในการปรับเปลี่ยน Bias ในชั้นซ่อนด้วย (ชั้นเอาต์พุตไม่มี Bias) โดยจะทำการปรับ Bias จากสมการ

$$bias = \frac{0.8326}{spread} \quad (4.5)$$

ในการหาค่าการกระจายนี้เราจะหาค่าการกระจายจาก

$$spread = \frac{n}{\text{ค่าที่กำหนด}} \quad (4.6)$$

โดยที่ค่า n คือค่าที่เราตั้งไว้เพื่อให้ ANNs ทำการปรับเปลี่ยนค่าการกระจายในแต่ละรอบ โดยวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้กำหนดไว้ 100 ครั้ง ส่วน ค่าที่กำหนด คือเป็นตัวหารที่เราจะคอยปรับเปลี่ยนไปในการรันโปรแกรมแต่ละครั้ง

4.3.1 การใช้สมการ Gaussian Functions เป็นสมการในชั้นซ่อน

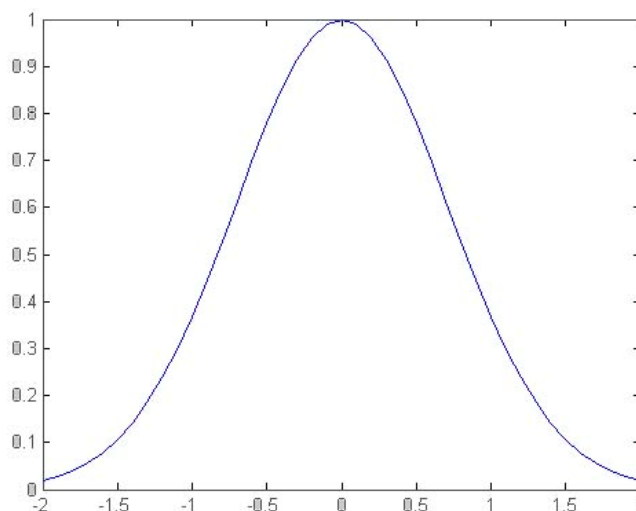
ในการทดสอบด้วยโครงข่ายประสาทเทียมแบบ GRNN นั้น ได้ทำการลองปรับขนาดความกว้างและความแคบของกราฟ Gaussian Functions ที่ใช้ในชั้นซ่อนของโครงข่ายด้วย เพื่อดูว่าการปรับความกว้างและแคบของกราฟนั้นจะช่วยให้ประสิทธิภาพของ ANNs นั้นมีประสิทธิภาพดีขึ้นหรือไม่ เนื่องจากการปรับความกว้างและแคบของกราฟนั้นจะส่งผลให้สมการการหา Bias ในสมการที่ 4.5 นั้นเปลี่ยนไปด้วย สำหรับสมการ Gaussian Functions แสดงได้ดังนี้

$$a(n) = e^{-n^2} \quad (4.7)$$

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ได้ทำการปรับความกว้างและแคบของกราฟนั้นจะทำโดยการเพิ่มค่าคงที่เข้าไปในสมการปกติ โดยรายละเอียดต่าง ๆ มีดังนี้

4.3.1.1 การใช้สมการ $a(n) = e^{-n^2}$ เป็นสมการในชั้นซ่อน

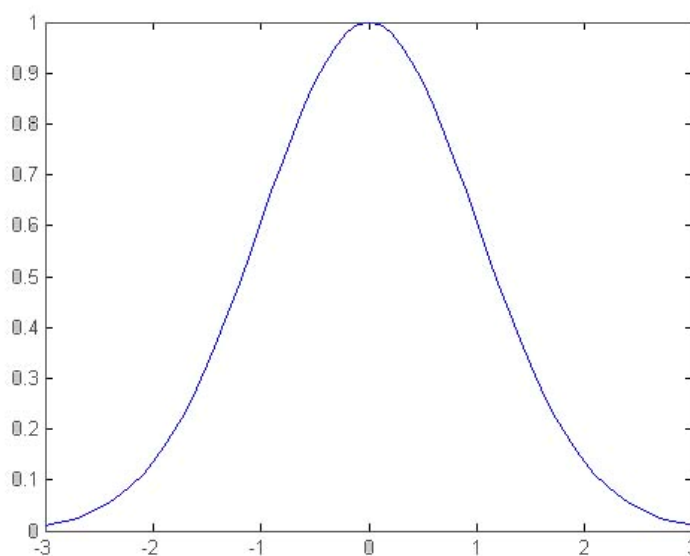
สมการ $a(n) = e^{-n^2}$ ถือเป็นสมการในรูปแบบปกติที่ยังไม่ได้ทำการปรับความกว้างและแคบของกราฟ ซึ่งจะได้อุปรภาพดังรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.10 แสดงกราฟ Gaussian Functions ของสมการ $a(n) = e^{-n^2}$

4.3.1.2 การใช้สมการ $a(n) = e^{-0.5n^2}$ เป็นสมการในชั้นซ้อน

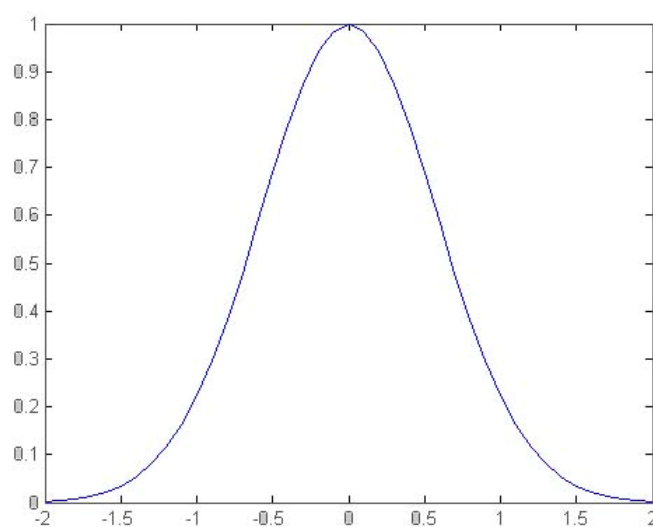
ในการใช้สมการ $a(n) = e^{-0.5n^2}$ นี้จะทำให้กราฟมีขนาดกว้างขึ้นจากกราฟปกติจากรูปที่ 4.10 ซึ่งจะได้รูปกราฟดังรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 แสดงกราฟ Gaussian Functions ของสมการ $a(n) = e^{-0.5n^2}$

4.3.1.3 การใช้สมการ $a(n) = e^{-1.5n^2}$ เป็นสมการในชั้นซ้อน

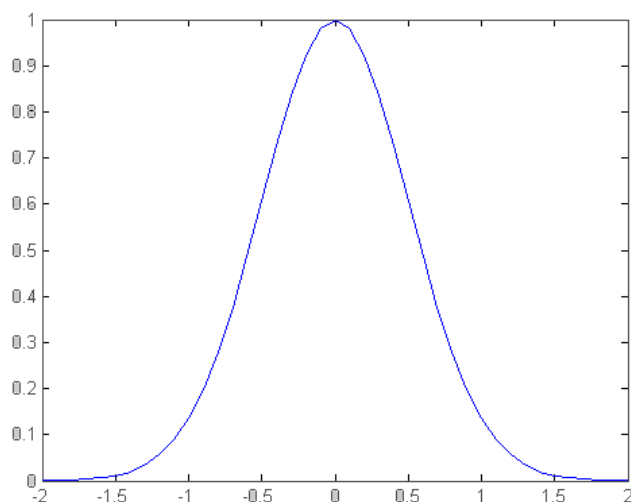
การใช้สมการ $a(n) = e^{-1.5n^2}$ มีขนาดแคบลงจากรูปกราฟปกติในรูปที่ 4.10 ซึ่งจะได้รูปกราฟดังรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 แสดงกราฟ Gaussian Functions ของสมการ $a(n) = e^{-1.5n^2}$

4.3.1.4 การใช้สมการ $a(n)=e^{-2n^2}$ เป็นสมการในชั้นซ่อน

การใช้สมการ $a(n)=e^{-2n^2}$ จะทำให้รูปกราฟมีขนาดแคบลงกว่ารูปกราฟปกติในรูปที่ 4.10 และ แคบลงกว่ากราฟในรูปที่ 4.12 ซึ่งรูปกราฟที่ได้จากสมการ $a(n)=e^{-2n^2}$ เป็นดังรูปที่ 4.13

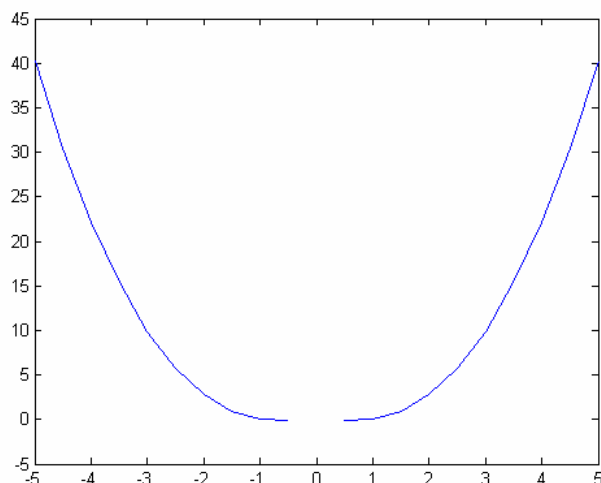


รูปที่ 4.13 แสดงกราฟ Gaussian Functions ของสมการ $a(n)=e^{-2n^2}$

4.3.2 การใช้สมการ Thin Plat Spline Function เป็นสมการในชั้นซ่อน

การทดสอบโดยใช้สมการ Thin Plat Spline Function เป็นสมการในชั้นซ่อนนั้น ได้ทำการกำหนดค่า n ไว้ 100 ครั้งสำหรับการปรับเปลี่ยนค่าการกระจายในแต่ละรอบ ส่วนค่าที่กำหนดในสมการที่ 4.6 เป็นตัวหารที่เราจะคอยปรับเปลี่ยนไปในการรันโปรแกรมแต่ละครั้งในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้กำหนดค่าไว้ตั้งแต่ 0.01 ไปจนถึง 150 จำนวนทั้งหมด 8 ค่า (0.01, 0.1, 1, 5, 10, 50, 100 และ 150) สำหรับสมการ Thin Plat Spline Function แสดงได้ดังนี้

$$a(n)=n^2\log(n) \quad (4.8)$$



รูปที่ 4.14 แสดงกราฟ Thin Plat Spline Function ของสมการ $a(n)=n^2\log(n)$

4.3.3 การใช้สมการ Multi-Quadric Functions เป็นสมการในชั้นซ้อน

การทดสอบโดยใช้สมการ Multi-Quadric Functions เป็นสมการในชั้นซ้อนนั้น ได้ทำการกำหนดค่า n ไว้ 100 ครั้งสำหรับการปรับเปลี่ยนค่าการกระจายในแต่ละรอบ ส่วนค่าที่กำหนดในสมการที่ 4.6 เป็นตัวหารที่เราจะคอยปรับเปลี่ยนไปในการรันโปรแกรมแต่ละครั้งในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้กำหนดค่าไว้ตั้งแต่ 0.01 ไปจนถึง 150 จำนวน 8 ค่า (0.01, 0.1, 1, 5, 10, 50, 100 และ 150) สำหรับสมการ Multi-Quadric Functions แสดงได้ดังนี้

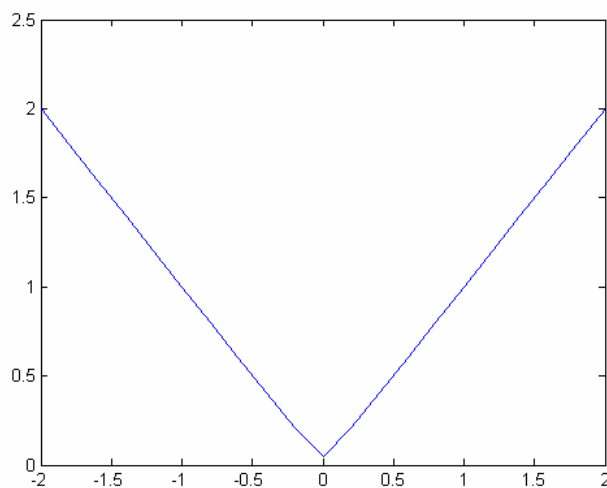
$$a(n) = (n^2 + \alpha^2)^{\frac{1}{2}} \quad (4.9)$$

โดย α เป็นค่า Real constant และกำหนดให้ $\alpha > 0$

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะกำหนดให้ค่า α เป็น 6 ค่า (0.05, 0.5, 5, 10, 50 และ 100) โดยรายละเอียดต่าง ๆ มีดังนี้

4.3.3.1 สมการ $a(n) = (n^2 + 0.05^2)^{\frac{1}{2}} ; \alpha = 0.05$

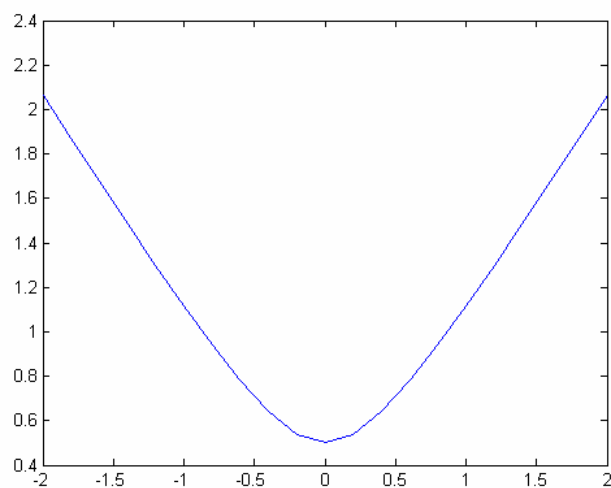
ซึ่งจะได้รูปกราฟดังรูปที่ 4.15



รูปที่ 4.15 แสดงกราฟ Multi-Quadric Functions ของสมการ $a(n) = (n^2 + 0.05^2)^{\frac{1}{2}} ; \alpha = 0.05$

4.3.3.2 สมการ $a(n) = (n^2 + 0.5^2)^{\frac{1}{2}} ; \alpha = 0.5$

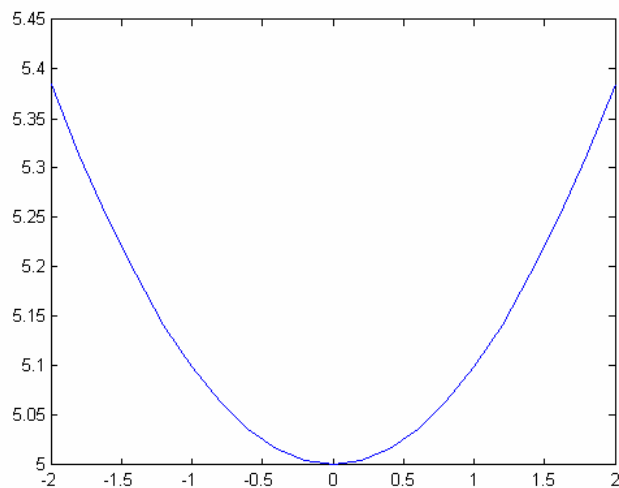
ซึ่งจะได้รูปกราฟดังรูปที่ 4.16



รูปที่ 4.16 แสดงกราฟ Multi-Quadric Functions ของสมการ $a(n) = (n^2 + 0.5^2)^{\frac{1}{2}} ; \alpha = 0.5$

4.3.3.3 สมการ $a(n) = (n^2 + 5^2)^{\frac{1}{2}}; \alpha = 5$

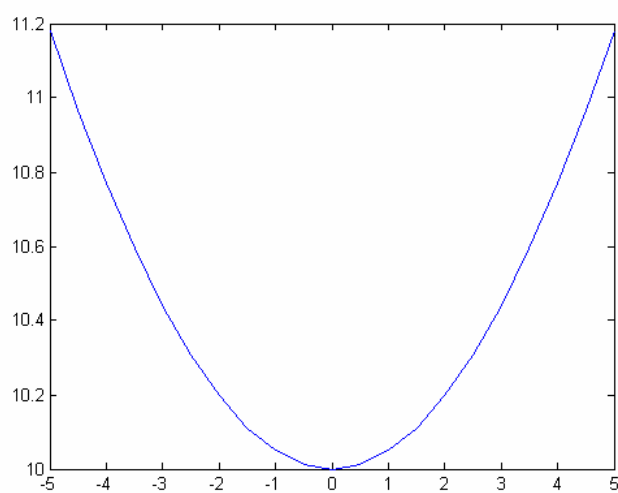
ซึ่งจะได้รูปกราฟดังรูปที่ 4.17



รูปที่ 4.17 แสดงกราฟ Multi-Quadric Functions ของสมการ $a(n) = (n^2 + 5^2)^{\frac{1}{2}}; \alpha = 5$

4.3.3.4 สมการ $a(n) = (n^2 + 10^2)^{\frac{1}{2}}; \alpha = 10$

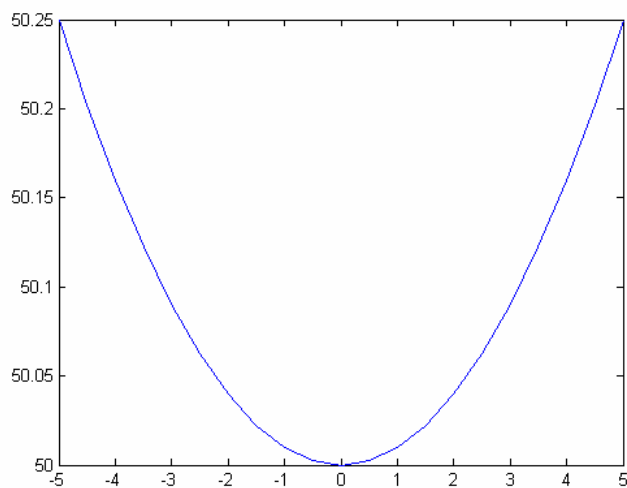
ซึ่งจะได้รูปกราฟดังรูปที่ 4.18



รูปที่ 4.18 แสดงกราฟ Multi-Quadric Functions ของสมการ $a(n) = (n^2 + 10^2)^{\frac{1}{2}}; \alpha = 10$

4.3.3.5 สมการ $a(n) = (n^2 + 50^2)^{\frac{1}{2}}; \alpha = 50$

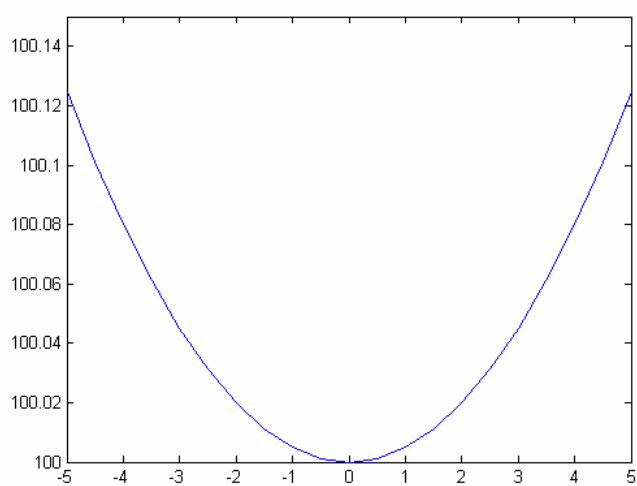
ซึ่งจะได้รูปกราฟดังรูปที่ 4.19



รูปที่ 4.19 แสดงกราฟ Multi-Quadric Functions ของสมการ $a(n) = (n^2 + 50^2)^{\frac{1}{2}}; \alpha = 50$

4.3.3.6 สมการ $a(n) = (n^2 + 100^2)^{\frac{1}{2}}; \alpha = 100$

ซึ่งจะได้รูปกราฟดังรูปที่ 4.20



รูปที่ 4.20 แสดงกราฟ Multi-Quadric Functions ของสมการ $a(n) = (n^2 + 100^2)^{\frac{1}{2}}; \alpha = 100$

4.3.4 การใช้สมการ Inverse Multi-Quadric Functions เป็นสมการในชั้นซ้อน

การทดสอบโดยใช้สมการ Inverse Multi-Quadric Functions เป็นสมการในชั้นซ้อนนั้น ได้ทำการกำหนดค่า n ไว้ 100 ครั้งสำหรับการปรับเปลี่ยนค่าการกระจายในแต่ละรอบ ส่วนค่าที่กำหนดในสมการที่ 4.6 เป็นตัวหารที่เราจะคอยปรับเปลี่ยนไปในการรันโปรแกรมแต่ละครั้งในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้กำหนดค่าไว้ตั้งแต่ 0.01 ไปจนถึง 150 จำนวน 8 ค่า (0.01, 0.1, 1, 5, 10, 50, 100 และ 150) สำหรับสมการ Inverse Multi-Quadric Functions แสดงได้ดังนี้

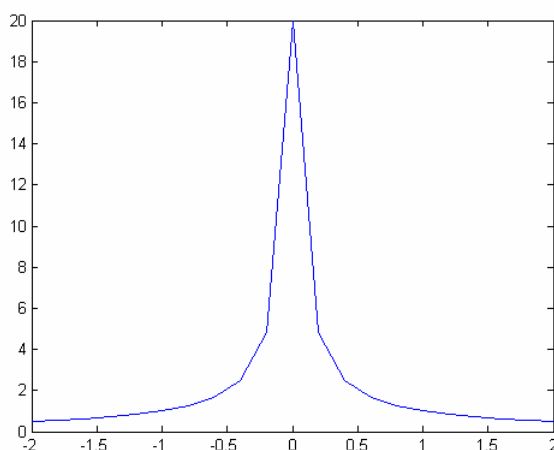
$$a(n) = (n^2 + \alpha^2)^{-\frac{1}{2}} \quad (4.10)$$

โดย α เป็นค่า Real constant และกำหนดให้ $\alpha > 0$

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะกำหนดให้ค่า α เป็น 6 ค่า (0.05, 0.5, 5, 10, 50 และ 100) โดยรายละเอียดต่าง ๆ มีดังนี้

4.3.4.1 สมการ $a(n) = (n^2 + 0.05^2)^{-\frac{1}{2}} ; \alpha = 0.05$

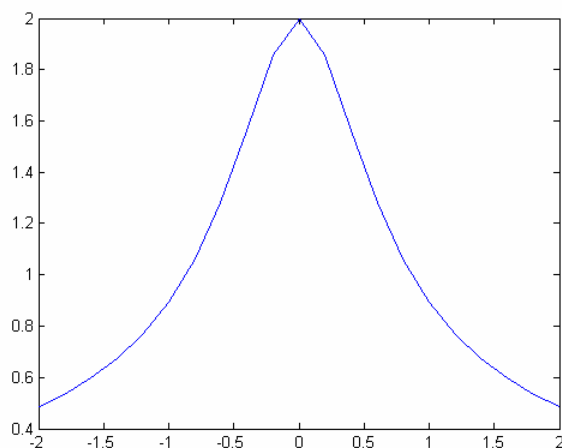
ซึ่งจะได้รูปกราฟดังรูปที่ 4.21



รูปที่ 4.21 กราฟ Inverse Multi-Quadric Functions ของสมการ $a(n) = (n^2 + 0.05^2)^{-\frac{1}{2}} ; \alpha = 0.05$

4.3.4.2 สมการ $a(n) = (n^2 + 0.5^2)^{-\frac{1}{2}} ; \alpha = 0.5$

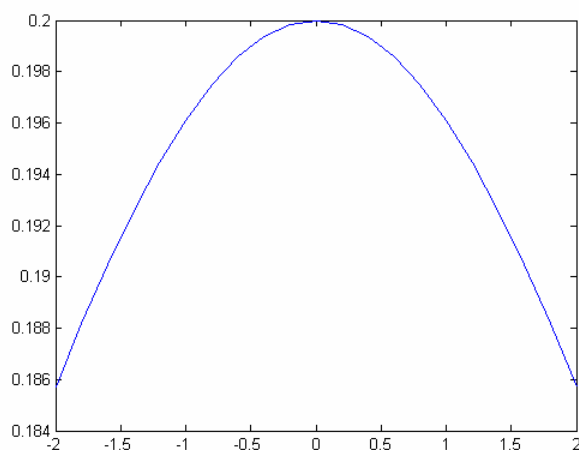
ซึ่งจะได้รูปกราฟดังรูปที่ 4.22



รูปที่ 4.22 กราฟ Inverse Multi-Quadric Functions ของสมการ $a(n) = (n^2 + 0.5^2)^{-\frac{1}{2}} ; \alpha = 0.5$

4.3.4.3 สมการ $a(n) = (n^2 + 5^2)^{-\frac{1}{2}} ; \alpha = 5$

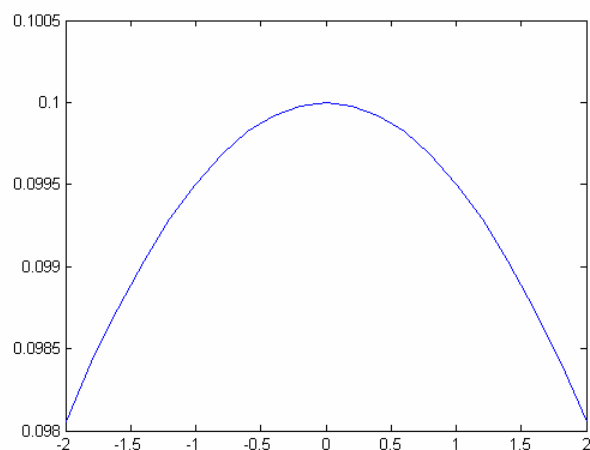
ซึ่งจะได้รูปกราฟดังรูปที่ 4.23



รูปที่ 4.23 แสดงกราฟ Inverse Multi-Quadric Functions ของสมการ $a(n) = (n^2 + 5^2)^{-\frac{1}{2}} ; \alpha = 5$

4.3.4.4 สมการ $a(n) = (n^2 + 10^2)^{-\frac{1}{2}} ; \alpha = 10$

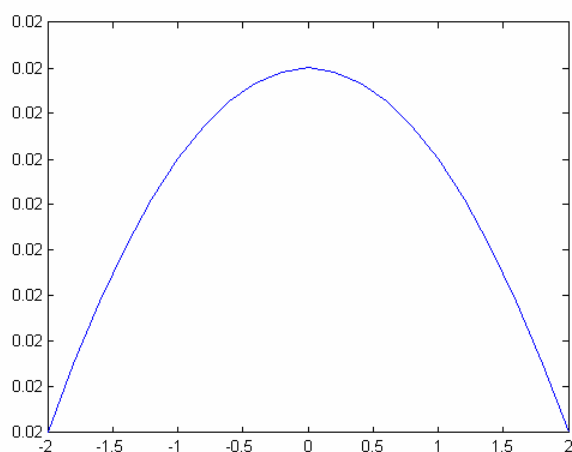
ซึ่งจะได้รูปกราฟดังรูปที่ 4.24



รูปที่ 4.24 แสดงกราฟ Inverse Multi-Quadric Functions ของสมการ $a(n) = (n^2 + 10^2)^{-\frac{1}{2}} ; \alpha = 10$

4.3.4.5 สมการ $a(n) = (n^2 + 50^2)^{-\frac{1}{2}} ; \alpha = 50$

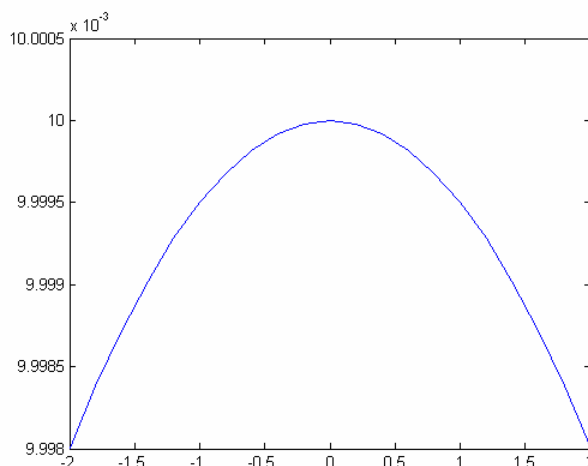
ซึ่งจะได้รูปกราฟดังรูปที่ 4.25



รูปที่ 4.25 แสดงกราฟ Inverse Multi-Quadric Functions ของสมการ $a(n) = (n^2 + 50^2)^{-\frac{1}{2}} ; \alpha = 50$

4.3.4.6 สมการ $a(n) = (n^2 + 100^2)^{-\frac{1}{2}}$; $\alpha = 100$

ซึ่งจะได้รูปกราฟดังรูปที่ 4.26



รูปที่ 4.26 กราฟ Inverse Multi-Quadric Functions ของสมการ $a(n) = (n^2 + 100^2)^{-\frac{1}{2}}$; $\alpha = 100$

จากที่กล่าวในข้างต้นเงื่อนไขการฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียมชนิด GRNN สามารถสรุปได้ตามตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 สรุปเงื่อนไขการฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียมชนิด GRNN

เงื่อนไขที่ควบคุม	ค่าที่กำหนด	ผลต่อการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียม
การเลือกค่าเริ่มต้นของ Weight	เลือกแบบสุ่ม (Random)	ประสิทธิภาพของ ANNs อาจจะแตกต่างกัน โดยขึ้นอยู่กับค่าเริ่มต้นของ Weight ที่สุ่มได้
ลำดับขั้นตอนการปรับ Bias	Bias = $0.8236/\text{spread}$ สำหรับสมการ $a(n) = e^{-n^2}$	ประสิทธิภาพของ ANNs อาจจะแตกต่างกัน โดยขึ้นอยู่กับค่า Bias
$\text{Spread} = n / \text{ค่าที่กำหนด}$	เลือกค่าที่กำหนดตั้งแต่ 0.01 ไปจนถึง 150 จำนวนทั้งหมด 8 ค่า (0.01, 0.1, 1, 5, 10, 50, 100 และ 150)	ใช้เปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการฝึกสอนสำหรับทุก ๆ สมการฟังก์ชันพื้นฐาน

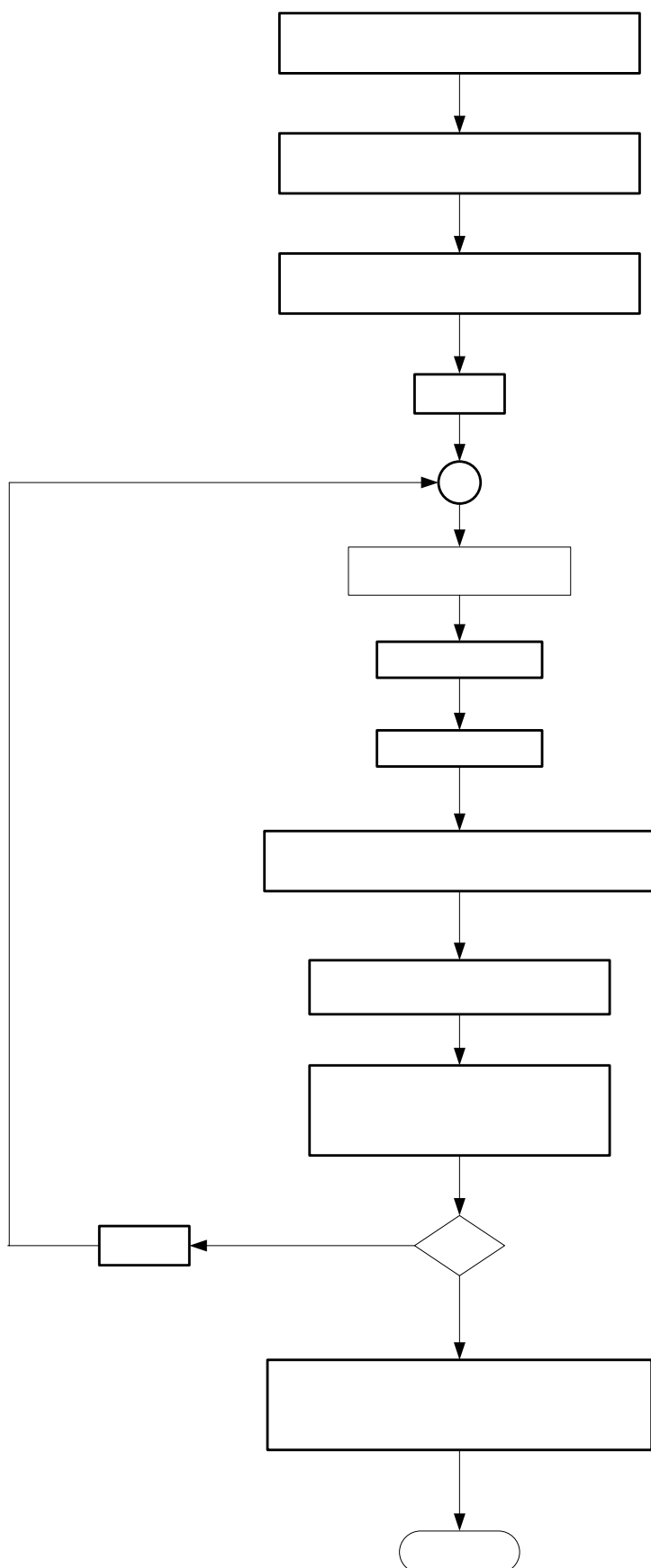
ตารางที่ 4.4 (ต่อ)

เงื่อนไขที่ควบคุม	ค่าที่กำหนด	ผลต่อการเรียนรู้ของ โครงข่ายประสาทเทียม
จำนวนข้อมูลฝึกสอนและ ทดสอบ	<u>ระบบ 8 บิต (กฟภ.)</u> ใช้ชุดฝึกสอนจำนวน 52 ชุด และชุดทดสอบจำนวน 8 ชุด <u>ระบบ 14 บิต (กฟผ.)</u> ใช้ชุดฝึกสอนจำนวน 72 ชุด และชุดทดสอบจำนวน 8 ชุด	ประสิทธิภาพของ ANNs อาจจะแตกต่างกัน อาจขึ้นอยู่กับ ชุดข้อมูลฝึกสอน
สมการฟังก์ชันพื้นฐานของ Radial Basis Function	1. Gaussian Functions 2. Thin Plat Spline Function 3. Multi-Quadric Functions 4. Inverse Multi-Quadric Functions	ใช้เปรียบเทียบประสิทธิภาพ
สมการ Gaussian Functions	1. $a(n) = e^{-n^2}$ 2. $a(n) = e^{-0.5n^2}$ 3. $a(n) = e^{-1.5n^2}$ 4. $a(n) = e^{-2n^2}$	ใช้เปรียบเทียบประสิทธิภาพ
สมการ Thin Plat Spline Function	$a(n) = n^2 \log(n)$	ใช้เปรียบเทียบประสิทธิภาพ
สมการ Multi-Quadric Functions	$a(n) = (n^2 + \alpha^2)^{\frac{1}{2}}$ เลือกใช้ค่า $\alpha = 0.05, 0.5, 5, 10,$ 50 และ 100	ใช้เปรียบเทียบประสิทธิภาพ
สมการ Inverse Multi-Quadric Functions	$a(n) = (n^2 + \alpha^2)^{-\frac{1}{2}}$ เลือกใช้ค่า $\alpha = 0.05, 0.5, 5, 10,$ 50 และ 100	ใช้เปรียบเทียบประสิทธิภาพ

4.3.5 ขั้นตอนการฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียมชนิด GRNN

ขั้นตอนการทดสอบด้วยโครงข่ายประสาทเทียมชนิด GRNN

1. กำหนดข้อมูลที่ใช้เป็นอินพุตและเอาต์พุตให้กับ ANNs
 2. กำหนดชุดข้อมูลที่จะใช้เป็นชุดฝึกสอนและชุดทดสอบ
 3. เลือกสมการฟังก์ชันถ่ายโอนพื้นฐานของ Radial Basis Function แต่ละชนิด
 - Gaussian Functions
 - Thin Plat Spline Function
 - Multi-Quadric Functions
 - Inverse Multi-Quadric Functions
 4. ปรับเปลี่ยนเงื่อนไขต่าง ๆ ของสมการฟังก์ชันพื้นฐานของ Radial Basis Function แต่ละชนิดตามตารางที่ 4.4
 5. ปรับเปลี่ยน Weight และเพิ่มค่ากระจายค่าคงที่ (Spread) เงื่อนไขต่าง ๆ ตามตารางที่ 4.4
 6. จากนั้นทำการรันโปรแกรมแล้วเก็บบันทึก
 - ค่าเปอร์เซ็นต์ผิดพลาดสัมบูรณ์ของชุดฝึกสอนและชุดทดสอบ โดยบันทึกทั้งค่าต่ำสุด , ค่าเฉลี่ย และค่าสูงสุด ที่ได้ในแต่ละรอบ
 - เวลาที่ใช้ในการฝึกสอนในแต่ละโครงสร้าง
 - ค่า Weight, ค่า Bias และค่ากระจายคงที่ Spread
 - ผลลัพธ์ที่ได้ของชุดทดสอบ
 7. เปลี่ยนสมการฟังก์ชันพื้นฐานของ Radial Basis Function ของ ANNs แล้วทำซ้ำข้อ 3 ถึงข้อ 6
 8. ทำการเปลี่ยนฟังก์ชันการถ่ายโอนให้ครบทุกแบบ
- ขั้นตอนการทดสอบด้วยโครงข่ายประสาทเทียมชนิด GRNN นั้นสามารถเขียนเป็นแผนภาพได้ ดังรูปที่ 4.27



รูปที่ 4.27 แผนภาพการทดสอบด้วยโครงข่ายประสาทเทียมชนิด GRNN (Generalized Regression Neural Network)