บทที่ 3

การตรวจพบและวินิจฉัยความผิดพร่องหลายแห่งพร้อมกันในกระบวนการโดยใช้ข่ายงานประสาทแบบลำดับชั้นหลายขั้นตอน

(Multi-Stage Hierarchical Artificial Neural Network, MSHANN)

ความผิดพร่องที่เกิดขึ้นในระบบหนึ่งๆ ซึ่งมีได้หลายแห่งจากหลายสาเหตุนั้น เมื่อระบบมีความผิดพร่องเกิดขึ้น อาจเกิดขึ้นเพียงแห่งเดียวหรือเกิดขึ้นได้หลายแห่งพร้อมๆ กัน ดังนั้นเพื่อให้ระบบมีความปลอดภัยและน่าเชื่อถือ ระบบตรวจพบและวินิจฉัยความผิดพร่องจะต้องสามารถตรวจพบและวินิจฉัยความผิดพร่องได้ถูกต้องทุกแห่ง นอกจากนี้ความเร็วในการตรวจพบความผิดพร่องก็เป็นสิ่งสำคัญ โดยเฉพาะอย่างยิ่งระบบที่มีช่วงเวลาเข้าที่ยาวนาน การตรวจพบและวินิจฉัยความผิดพร่องที่เกิดขึ้นได้ตั้งแต่ในช่วงภาวะชั่วครู่จะทำให้รู้สาเหตุของความผิดพร่องที่เกิดขึ้นในระบบได้รวดเร็ว และทำให้สามารถแก้ไขความผิดพร่องได้ทันก่อนที่ระบบจะเสียหายรุนแรง

ในบทนี้จะกล่าวถึงโครงสร้างของข่ายงานประสาทต่างๆ กัน ได้แก่ ข่ายงานประสาทเดี่ยว, ข่ายงานประสาทแบบลำดับชั้นซึ่งช่วยเพิ่มความสามารถในการวินิจฉัยความผิดพร่องที่เกิดขึ้นหลายแห่งพร้อมกัน, ข่ายงานประสาทสองขั้นตอนสำหรับการสอนด้วยข้อมูลทางพลวัต และข่ายงานประสาทแบบลำดับชั้นหลายขั้นตอนซึ่งใช้ในการตรวจพบและวินิจฉัยความผิดพร่องหลายแห่งพร้อมกันภายในช่วงภาวะชั่วครู่ของระบบ ซึ่งเป็นข่ายงานที่ใช้สำหรับงานวิจัยนี้

3.1 โครงสร้างของข่ายงานประสาท [26]

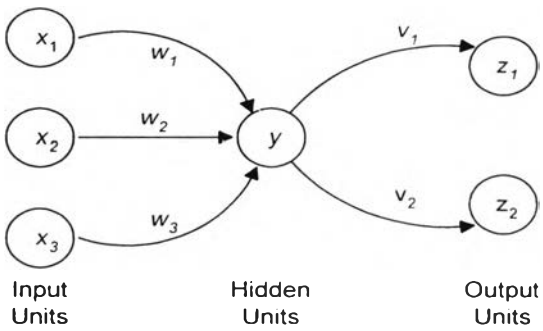
ข่ายงานประสาท คือ ระบบการจัดการข้อมูลอย่างหนึ่งที่ได้ถูกพัฒนาให้มีแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ตามลักษณะการจดจำของมนุษย์ หรือปมประสาทของมนุษย์ โดยมีสมมติฐานดังนี้

1 การประมวลผลข้อมูลจะเกิดขึ้นที่โหนดแต่ละโหนด

2 สัญญาณจะส่งผ่านระหว่างโหนดโดยผ่านกิ่งที่เชื่อมต่อกัน

3 แต่ละกิ่งที่เชื่อมต่อกันจะมีค่าน้ำหนัก(weight) กำกับไว้ ทำหน้าที่คูณสัญญาณที่ส่งผ่าน

4 แต่ละโหนดจะมีฟังก์ชันไวงาน(Activation function) จัดการกับผลรวมของสัญญาณที่เข้ามาและค่าไบแอสที่โหนดนั้น เพื่อกำหนดค่าสัญญาณออก



รูปที่ 3.1 ข่ายงานประสาท

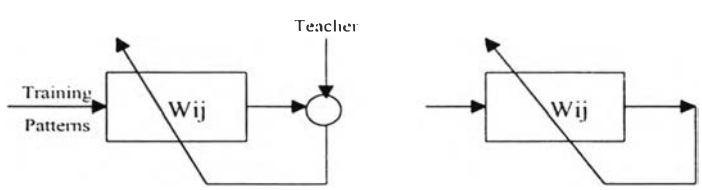
3.1.1 วิธีการสอนข่ายงานประสาทเพื่อปรับค่าน้ำหนัก

สามารถแบ่งได้เป็น 2 รูปแบบดังนี้

1) การสอนแบบดูแล(Supervised training) เป็นวิธีการสอนที่อาศัยข้อมูล 2 ส่วนคือ รูปแบบของสัญญาณเข้าที่ต้องการสอน(Training Pattern) กับสัญญาณออกที่ต้องการ(Target output) โดยนำค่าความแตกต่างระหว่างสัญญาณออกที่ข่ายงานประสาทคำนวณได้กับสัญญาณออกที่ต้องการ ไปปรับค่าน้ำหนักของข่ายงานประสาทเพื่อให้สัญญาณออกของข่ายงานประสาทมีค่าใกล้เคียงหรือเหมือนกับสัญญาณออกที่ต้องการ ดังรูปที่ 3.2(ก)

2) การสอนแบบไม่ดูแล(Unsupervised training) เป็นวิธีการสอนที่อาศัยข้อมูลของสัญญาณเข้าและสัญญาณออกจากข่ายงานประสาทเพียงอย่างเดียว โดยไม่จำเป็นต้องมีสัญญาณออกที่ต้องการ การเรียนรู้แบบนี้มักจะใช้ในการจำแนกกลุ่มของ สัญญาณเข้าที่เหมือนกันไว้ด้วยกัน ดังรูปที่ 3.2(ข)

สำหรับวิธีการสอนข่ายงานประสาทที่ใช้ในวิทยานิพนธ์นี้คือ การสอนแบบดูแล



(ก) (ข)

รูปที่ 3.2 (ก) การปรับค่าน้ำหนักด้วยการสอนแบบดูแล
(ข) การปรับค่าน้ำหนักด้วยการสอนแบบไม่ดูแล

3.1.2 **ฟังก์ชันไวงาน**(Activation function)

ฟังก์ชันไวงานที่เลือกใช้ในระบบตรวจพบและวินิจฉัยความผิดพร่องมี 2 รูปแบบ คือ

1 **ฟังก์ชันไบนารีซิกมอยด์**(Binary sigmoid function) **มีขอบเขตอยู่ในช่วง** [0,1]

$$f(x) = \frac{1}{1 + \exp(-\sigma x)}$$
$$f'(x) = \sigma f(x)[1 - f(x)] \qquad (3.1)$$

2 **ฟังก์ชันไบโพลาร์ซิกมอยด์**(Bipolar sigmoid function) **มีขอบเขตอยู่ในช่วง** [-1,1]

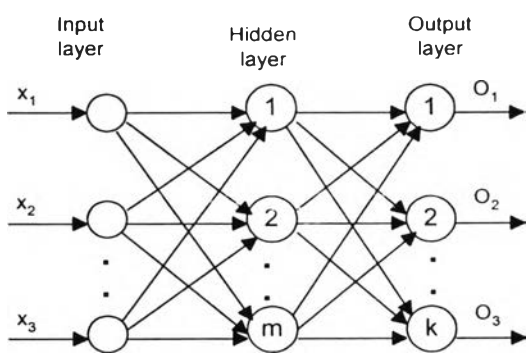
$$g(x) = \frac{2}{1 + \exp(-\sigma x)} - 1 = \frac{1 - \exp(-\sigma x)}{1 + \exp(-\sigma x)}$$
$$g'(x) = \frac{\sigma}{2}[1 + g(x)][1 - g(x)] \qquad (3.2)$$

3.1.3 **ขั้นตอนวิธีการแพร่กระจายกลับ**(Backpropagation Algorithm)

ขั้นตอนวิธีการแพร่กระจายกลับ เป็นวิธีการปรับค่าน้ำหนักของข่ายงานประสาทอย่างหนึ่งที่ใช้กฎการเรียนรู้ ซึ่งเป็นวิธีการหาค่าต่ำสุดของผลรวมของกำลังสองของค่าผิดพลาดระหว่างสัญญาณออกที่ถูกคำนวณโดยข่ายงานประสาทกับค่าสัญญาณออกที่ต้องการ โดยใช้วิธีการลดระดับเกรเดียนท์(Gradient descent method) ในการหาค่าต่ำสุดนั้น

3.1.4 **ข่ายงานประสาทเดี่ยว**(Single Artificial Neural Network, SANN)

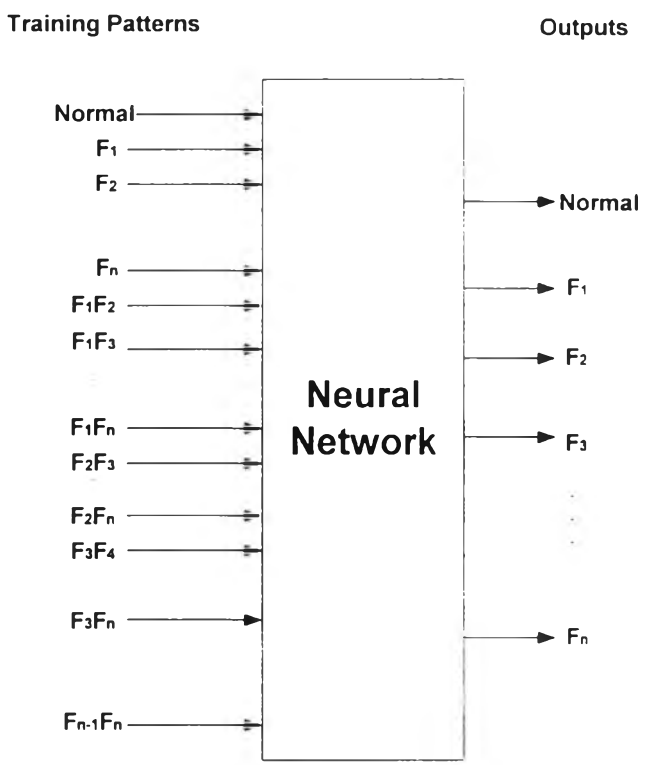
รูปที่ 3.3 แสดงข่ายงานประสาทแบบป้อนไปข้างหน้า 2 ชั้น ที่ใช้ในระบบตรวจพบและวินิจฉัยความผิดพร่อง โดยสัญญาณเข้าจะถูกส่งผ่านไปในทิศทางเดียว จากชั้นอินพุตไปยังชั้นซ่อน(Hidden layer) และออกไปยังชั้นเอาท์พุต



รูปที่ 3.3 การเชื่อมโยงแบบข่ายงานประสาทแบบป้อนไปข้างหน้า

SANN มีความสามารถในการวินิจฉัยความผิดพร่องเดี่ยวได้ดี แต่มีข้อจำกัดในการสอนให้ SANN สามารถวินิจฉัยความผิดพร่องหลายแห่งที่เกิดขึ้นพร้อมกัน เนื่องจากต้องใช้รูปแบบของข้อมูลที่แตกต่างกันทั้งหมดเป็นจำนวนมากในการสอนข่ายงานระบบประสาทเพียงข่ายงานเดียวให้สามารถวินิจฉัยความผิดพร่องได้ทุกแห่ง ดังรูปที่ 3.4

สมมติให้จำนวนความผิดพร่องเดี่ยวมี n กรณี ดังนั้นจำนวนกรณีของความผิดพร่องพร้อมกัน 2 แห่งทั้งหมดที่เป็นไปได้จะเท่ากับ $n_d = (n-1) + \ldots + 2 + 1 = n(n-1)/2$ กรณี และได้จำนวนข้อมูลทั้งหมดที่ใช้สอนข่ายงานประสาทเพียงตัวเดียวเท่ากับ $1 + [n(n+1)/2]$ ดังนั้นถ้าชนิดของความผิดพร่องมาก (ค่า n มาก) จะทำให้จำนวนข้อมูลที่ใช้สอนข่ายงานระบบประสาทมีมาก ซึ่งจะทำให้ประสิทธิภาพในการวินิจฉัยความผิดพร่องของข่ายงานระบบประสาทลดลง



รูปที่ 3.4 ข่ายงานประสาทเดี่ยว (SANN)

3.2 ข่ายงานประสาทแบบลำดับชั้น (Hierarchical Artificial Neural Networks, HANN) [22]

HANN มีความสามารถในการแบ่งรูปแบบข้อมูลในเซตใหญ่ออกเป็นเซตย่อยๆ ซึ่งจะทำให้การสอนข่ายงานประสาททำได้ง่ายและมีประสิทธิภาพในการวินิจฉัยความผิดพร่องดียิ่งขึ้น

HANN แบ่งการทำงานเป็น 2 ลำดับชั้นที่ทำหน้าที่ต่างกัน ดังในรูปที่ 3.5 แสดงโครงสร้างของ HANN ที่ประกอบด้วยข่ายงานประสาทในลำดับชั้นแรก (Net 0) ได้รับสัญญาณทุกตัวที่วัดได้เป็นสัญญาณเข้า และทำหน้าที่วินิจฉัยสภาวะของระบบในขั้นแรกว่ามีความผิดพร่องเกิดขึ้นหรือไม่ โดยข่ายงานประสาทถูกสอนด้วยข้อมูลในสภาวะปกติและกรณีที่เกิดความผิดพร่องเดี่ยว จำนวนของสัญญาณออกในลำดับชั้นนี้จะเท่ากับ n+1

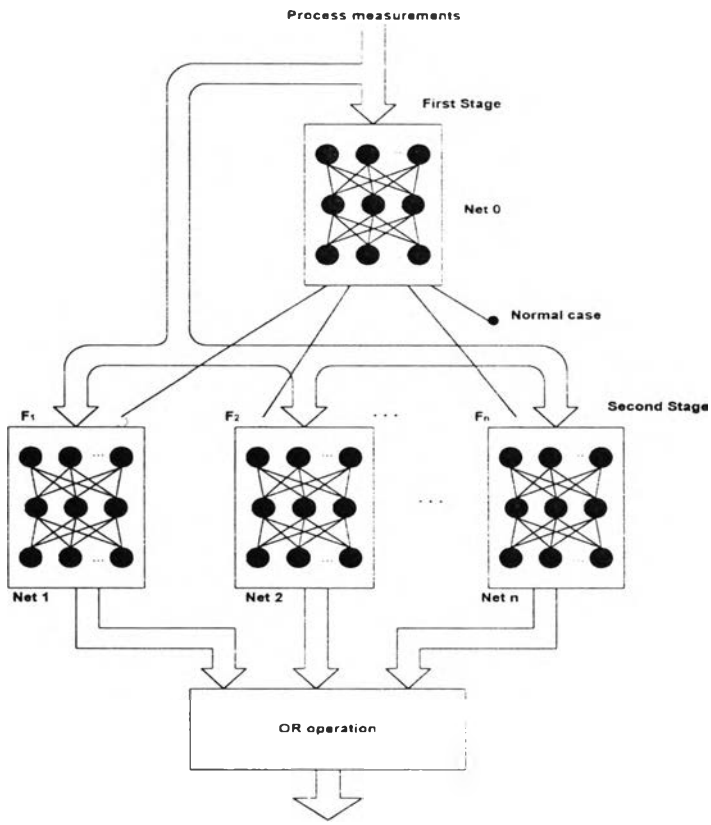
HANN ในลำดับชั้นที่สอง จะประกอบด้วยข่ายงานประสาทที่แสดงความผิดพร่องที่ต่างกันทั้งหมด n ข่ายงาน และได้รับสัญญาณที่วัดได้เป็นสัญญาณเข้าเช่นกันแต่ข่ายงานประสาทแต่ละข่ายงานจะถูกสอนด้วยข้อมูลทั้งหมด n รูปแบบ(กรณีที่เกิดความผิดพร่องเดี่ยวและกรณีเกิดความผิดพร่องพร้อมกัน 2 แห่ง เฉพาะที่เกี่ยวข้องกับความผิดพร่องเดี่ยวของข่ายงานนั้น) จำนวนของสัญญาณออกจากแต่ละข่ายงานนี้เท่ากับ n สำหรับลักษณะของข้อมูลที่ทำการสอนแต่ละข่ายงานแสดงดังตารางที่ 3.1 เมื่อเปรียบเทียบจำนวนข้อมูลที่ใช้สอนกับกรณีของ SANN จะพบว่า HANN ใช้จำนวนข้อมูลในการสอนข่ายงานประสาทแต่ละข่ายงานไม่เกิน n+1 รูปแบบ จึงทำให้มีประสิทธิภาพในการวินิจฉัยดีกว่า SANN

HANN ใน 2 ลำดับชั้นจะทำงานพร้อมกัน โดยที่ HANN ในลำดับชั้นที่ 1 จะทำการวินิจฉัยความผิดพร่องในขั้นแรกแล้วส่งสัญญาณต่อไปยัง HANN ในลำดับชั้นที่ 2 โดยเป็นการสวิตช์ให้เฉพาะข่ายงานที่เกี่ยวข้องกับความผิดพร่องชนิดนั้นแสดงสัญญาณเตือนความผิดพร่องที่เกิดขึ้น และส่งไปยังการดำเนินการออร์(OR Operation) เพื่อทำการตัดสินใจขั้นสุดท้ายจึงจะเป็นสัญญาณเตือนความผิดพร่องที่ถูกต้องออกมาจาก HANN โดยการสอนข่ายงานประสาทในลำดับชั้นที่ 1 และลำดับชั้นที่ 2 สามารถทำได้อย่างเป็นอิสระต่อกัน ยกตัวอย่างเช่น เกิดความผิดพร่อง F_1F_3 พร้อมกันสองแห่ง HANN ในลำดับชั้นแรก(Net_0) ให้สัญญาณออกคือ F_1 และ F_3 ดังนั้นจะสวิตช์ให้ Net_1 และ Net_3 ทำงาน สัญญาณออกที่ได้จาก Net_1 คือ F_1F_3 และสัญญาณออกที่ได้จาก Net_3 คือ F_3F_1 เมื่อผ่านการดำเนินการออร์ จะได้สัญญาณเตือนความผิดพร่องที่ออกจาก HANN คือ F_1F_3

แต่ในกรณีที่เกิดความผิดพร่อง F_1F_3 พร้อมกันสองแห่ง แต่ Net_0 ให้สัญญาณออกคือ F_1 เพียงแห่งเดียวหรือ F_3 เพียงแห่งเดียว ข่ายงานประสาทเพียงข่ายงานเดียวนั้นยังคงสามารถสร้างสัญญาณเตือนได้ถูกต้องทั้งสองแห่ง ตัวอย่างเช่น Net_0 ให้สัญญาณออกคือ F_1 เพียงแห่งเดียวและสวิตช์ให้ Net_1 ทำงานขณะที่ Net_2 ถึง Net_8 จะไม่ทำงาน, Net_1 ยังคงสามารถสร้างสัญญาณเตือนได้ถูกต้อง นั่นคือให้สัญญาณออกเป็น F_1F_3 และเมื่อผ่านการดำเนินการออร์ จะได้สัญญาณเตือนความผิดพร่องที่ออกจาก HANN คือ F_1F_3

ตารางที่ 3.1 รูปแบบของความผิดพร่องที่ใช้สอนแต่ละข่ายงานใน HANN

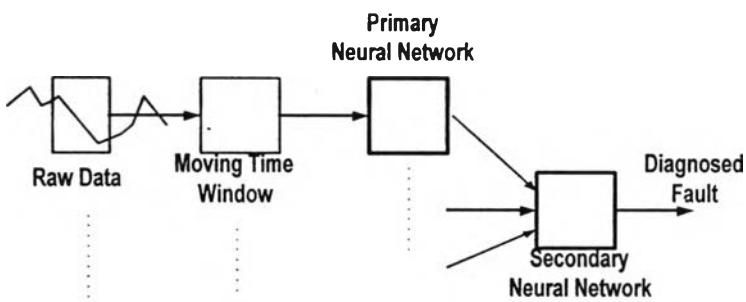
ข่ายงาน	รูปแบบของความผิดพร่อง				
Net_0	Normal	F_1	...	F_{n-1}	F_n
Net_1	F_1	F_1F_2	...	F_1F_{n-1}	F_1F_n
Net_2	F_2F_1	F_2	...	F_2F_{n-1}	F_2F_n
	⋮	⋮		⋮	⋮
Net_(n-1)	$F_{n-1}F_1$	$F_{n-1}F_2$	...	F_{n-1}	$F_{n-1}F_n$
Net_n	F_nF_1	F_nF_2	...	F_nF_{n-1}	F_n



รูปที่ 3.5 โครงสร้างของข่ายงานประสาทแบบลำดับขั้น (HANN)

3.3 ระบบตรวจพบและวินิจฉัยความผิดพร่องในช่วงภาวะชั่วครู่ของระบบ [24]

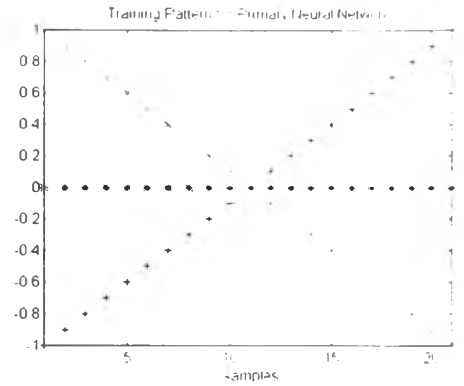
ข่ายงานประสาทสองขั้นตอน(Two-Stage Neural Network) เป็นข่ายงานประสาทอีกโครงสร้างหนึ่งที่มีความสามารถในการเรียนรู้ข้อมูลในช่วงพลวัตของสัญญาณ จึงสามารถตรวจพบและวินิจฉัยความผิดพร่องได้ในช่วงภาวะชั่วครู่ของระบบ โครงสร้างของข่ายงานประกอบด้วยการทำงาน 2 ขั้นตอน โดยในขั้นที่หนึ่งของข่ายงานจะรับข้อมูลผ่านหน้าต่างเคลื่อนที่เพื่อตรวจพบแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงทางพลวัตของแต่ละสัญญาณที่วัดมาได้ และส่งต่อไปยังขั้นที่สองของข่ายงาน ซึ่งจะทำหน้าที่วินิจฉัยความผิดพร่องของระบบ โดยโครงสร้างของระบบแสดงดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 โครงสร้างของข่ายงานประสาทสองขั้นตอน

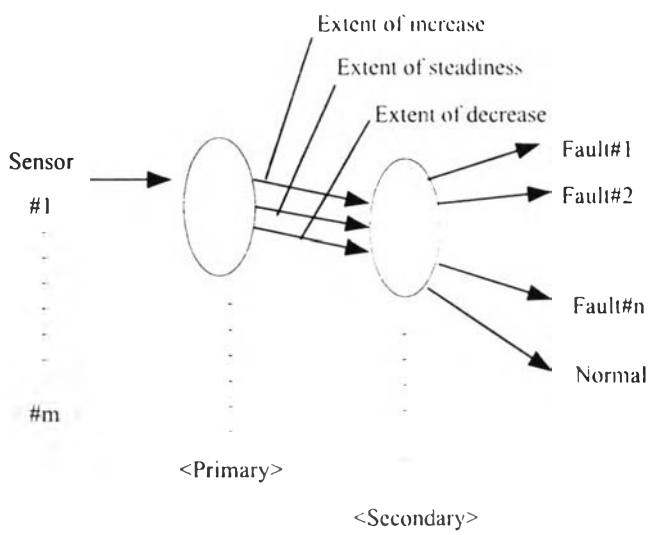
ข่ายงานขั้นแรก คือข่ายงานประสาทปฐมภูมิ(Primary Neural Network) จะรับข้อมูลจากสัญญาณที่วัดได้ในระบบ โดยผ่านหน้าต่างเคลื่อนที่ซึ่งใช้ในการติดตามและตรวจพบข้อมูลในภาวะชั่วครู่ขณะที่เกิดความผิดพร่อง หน้าต่างจะเคลื่อนที่ไปข้างหน้าเมื่อเวลาผ่านไปทุก ๆ dt ซึ่งเป็นอัตราการสุ่ม ช่วงกว้างทางเวลาของหน้าต่างเท่ากับ L*dt โดยที่ L เป็นจำนวนเต็มและจะเรียกว่าความยาวของหน้าต่าง หน้าต่างเคลื่อนที่แต่ละอันจะดัดกลุ่มของข้อมูลในภาวะชั่วครู่ออกเป็นชิ้นส่วนหลายชิ้นที่ซ้อนทับกัน ความยาวของหน้าต่าง L สามารถปรับได้ตามลักษณะการนำไปประยุกต์ใช้ ความสูงตามแนวตั้งของหน้าต่างจะสามารถกำหนดได้ตามช่วงกว้างของข้อมูลและปริมาณของการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณวัดซึ่งเกิดจากความผิดพร่อง เมื่อหน้าต่างได้รับข้อมูลตัวอย่างแล้ว จะนอร์มอลไลซ์ขนาดของข้อมูลให้อยู่ในช่วงตั้งแต่ -1 ถึง 1 ส่งต่อไปยังข่ายงานประสาทปฐมภูมิ เพื่อจำแนกแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลออกเป็น 3 ลักษณะ ได้แก่ การเพิ่มขึ้น(แสดงด้วยเวกเตอร์ $[1\ 0\ 0]^T$) การลดลง(แสดงด้วยเวกเตอร์ $[0\ 0\ 1]^T$) และการคงตัว(แสดงด้วยเวกเตอร์ $[0\ 1\ 0]^T$) ข่ายงานประสาทปฐมภูมินี้จะเลือกใช้ข่ายงานประสาทแบบป้อนไปข้างหน้า การสอนจะกระทำโดยการเสนอรูปแบบของการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณเข้าใน 3 ลักษณะดังรูปที่ 3.7

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.7 การเปลี่ยนแปลงของสัญญาณเข้า 3 รูปแบบ ที่ใช้ในการสอนข่ายงานประสาทปฐมภูมิ

ข่ายงานประสาทในขั้นที่สอง คือข่ายงานประสาททุติยภูมิ(Secondary Neural Network) จะรับข้อมูลที่ออกจากข่ายงานประสาทปฐมภูมิ และสร้างสัญญาณเตือนความผิดพร่องหรือสัญญาณที่แสดงว่าระบบอยู่ในสภาวะปกติ ในรูปที่ 3.8 แสดงข่ายงานประสาทสองขั้นตอน โดยสมมติให้จำนวนของตัวตรวจรู้ที่ใช้ในการตรวจพบมี m ตัว นั่นคือมีสัญญาณที่วัดได้ในระบบ m สัญญาณ และจำนวนชนิดความผิดพร่องที่พิจารณามี n ชนิด จะได้ว่าข่ายงานประสาททุติยภูมิจะมีจำนวนโหนดเท่ากับ 3m ในชั้นอินพุต มีจำนวนโหนดเท่ากับ n+1 ในชั้นเอาท์พุต และจำนวนโหนดในชั้นซ่อนสามารถปรับได้

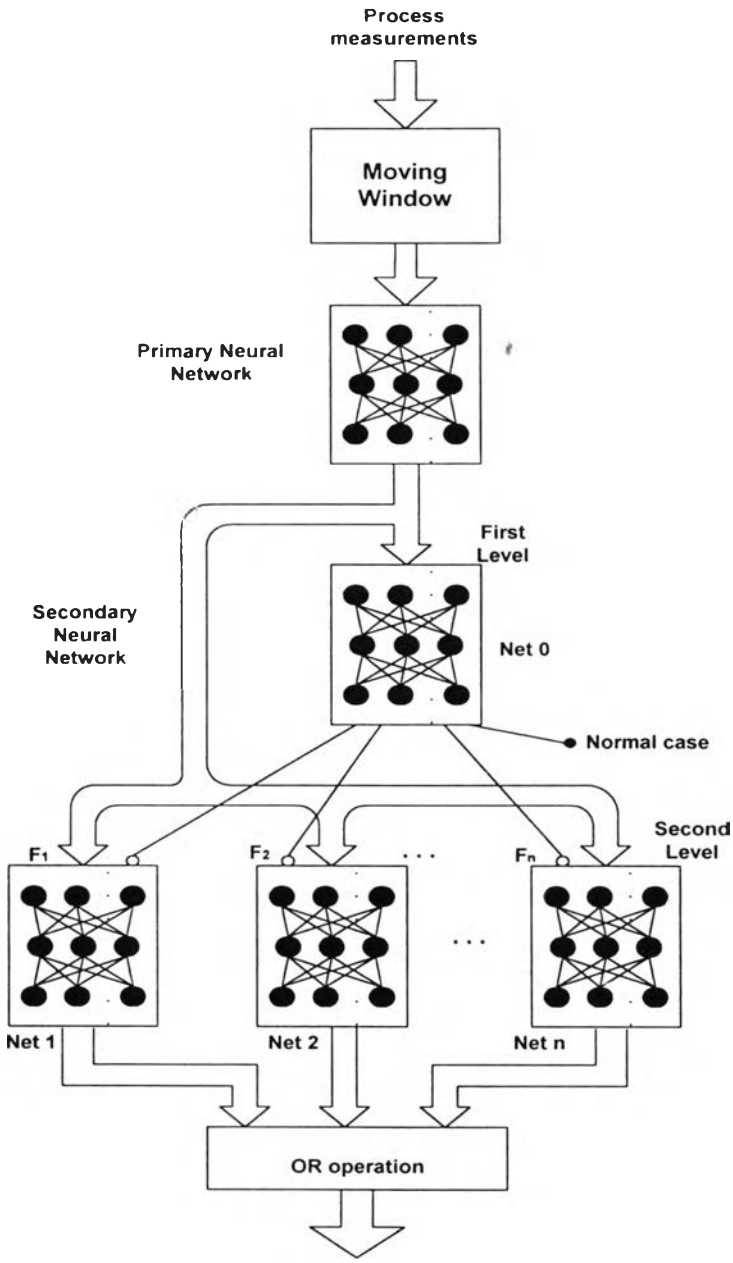


รูปที่ 3.8 แผนภาพอธิบายหลักการทำงานของข่ายงานประสาทสองขั้นตอน

3.4 ข่ายงานประสาทแบบลำดับชั้นหลายขั้นตอน (Multi-Stage Hierarchical Artificial Neural Networks, MSHANN)

เพื่อให้การตรวจพบและวินิจฉัยความผิดพร่องของระบบทำได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพสูงในการวินิจฉัยความผิดพร่องที่มีมากกรณี และสามารถตรวจพบความผิดพร่องได้ตั้งแต่ในช่วงภาวะชั่วครู่ของระบบ งานวิทยานิพนธ์นี้จึงเสนอข่ายงานประสาทแบบลำดับชั้นหลายขั้นตอน ซึ่งเป็นการรวมข่ายงานประสาทสองโครงสร้างที่กล่าวในหัวข้อ 3.2 และ 3.3 โดยขั้นตอนที่หนึ่งประกอบด้วย หน้าต่างเคลื่อนที่และข่ายงานประสาทปฐมภูมิทำหน้าที่จำแนกการเปลี่ยนแปลงทางพลวัตของสัญญาณในช่วงภาวะชั่วครู่ ส่งเป็นข้อมูลต่อให้กับข่ายงานประสาททุติยภูมิในขั้นตอนที่สอง ซึ่งเป็นโครงสร้างแบบลำดับชั้น(HANN) เพื่อวินิจฉัยลักษณะการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณที่วัดได้จากระบบและสร้างสัญญาณเตือนความผิดพร่องเดี่ยวและความผิดพร่องที่เกิดขึ้นพร้อมกัน 2 แห่งต่อไป รูปที่ 3.9 แสดงโครงสร้างของข่ายงานประสาทแบบลำดับชั้นหลายขั้นตอน

ในงานวิทยานิพนธ์นี้ได้ทดสอบและพัฒนาการประยุกต์ใช้ข่ายงานประสาทแบบลำดับชั้นหลายขั้นตอนในการตรวจพบและวินิจฉัยความผิดพร่องสำหรับระบบที่มีช่วงเวลาเข้าที่ยาวนาน ได้แก่ระบบถังปฏิกรณ์เคมีชนิดต่อเนื่อง และระบบหอกลั่นแยกสารผสมสองชนิด ซึ่งจะนำเสนอต่อไปในบทที่ 4 และบทที่ 5 ตามลำดับ



รูปที่ 3.9 โครงสร้างของข่ายงานประสาทแบบลำดับชั้นหลายขั้นตอน