

---

สมรรถนะของข่ายงานระบบประสาทแบบ Multi-Layer Perceptron และ Radial Basis Function  
สำหรับแผนภูมิควบคุมคุณภาพหลายตัวแปร  
Performance of Neural Networks, Multi-Layer Perceptron and Radial Basis Function,  
for Multivariate Quality Control Charts

จตุภัทร เมฆพ่ายัพ และ กิดาการ สายธนู\*  
ภาควิชาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา  
Jatupat Mekparayup and Kidakan Saithanu\*

Department of Mathematics, Faculty of Science, Burapha University.

---

### บทคัดย่อ

บทความวิชาการนี้ต้องการแสดงให้เห็นถึงการประยุกต์ใช้ข่ายงานระบบประสาทที่มีสถาปัตยกรรมหรือโครงสร้างของข่ายงานระบบประสาทอย่างง่ายแบบ Multi-Layer Perceptron (MLP) และโครงสร้างของข่ายงานระบบประสาทขั้นสูงแบบ Radial Basis Function (RBF) สำหรับการควบคุมกระบวนการเชิงสถิติของการควบคุมคุณภาพหลายตัวแปร โดยโครงสร้างของข่ายงานระบบประสาททั้งสองแบบมีความแข็งแกร่งต่อข้อสมมุติที่ว่าคุณลักษณะเชิงคุณภาพต้องมีการแจกแจงปกติหลายตัวแปรและยังให้การตรวจค้นพบการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยสำหรับคุณลักษณะเชิงคุณภาพได้ดีไม่ว่าการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยสำหรับคุณลักษณะเชิงคุณภาพจะมีขนาดเล็กหรือมีขนาดใหญ่ อีกทั้งยังแสดงให้เห็นว่าการใช้ข่ายงานระบบประสาทที่มีโครงสร้างขั้นสูงแบบ RBF นั้นมีสมรรถนะในการตรวจค้นพบกระบวนการผลิตได้ดีในส่วนที่โครงสร้างอย่างง่ายแบบ MLP มีสมรรถนะด้อยกว่าแผนภูมิควบคุมไคกำลังสองและแผนภูมิควบคุม MEWMA ซึ่งเป็นแผนภูมิควบคุมแบบดั้งเดิม

**คำสำคัญ :** แผนภูมิควบคุมคุณภาพหลายตัวแปร ข่ายงานระบบประสาทแบบ Multi-Layer Perceptron (MLP) ข่ายงานระบบประสาทแบบ Radial Basis Function (RBF) จำนวนผลิตภัณฑ์โดยเฉลี่ย

### Abstract

This article is purposed to show how to apply Neural Networks, Multi-Layer Perceptron (MLP) which is a simple architecture and Radial Basis Function (RBF) which is an advanced neural network architecture, for Statistical Process Control (SPC) of Multivariate Quality Control. Both types of Neural Network Architecture provides the robustness to normality assumption for quality characteristics and good performance in detecting both small shift and large shift. Furthermore, RBF provides the better performance in detecting in case of MLP cannot outperform the traditional Control Charts, Chi-square Control Chart and Multivariate Exponentially Weighted Moving Average Control Chart.

**Keywords :** Multivariate Quality Control Charts, Multi-Layer perceptron Neural Network (MLP), Radial Basis Function Neural Network (RBF) Average Run Length (ARL)

---

\*Corresponding author. E-mail: ksaithan@buu.ac.th

การควบคุมกระบวนการเชิงสถิติ (Statistical Process Control : SPC) เป็นกระบวนการควบคุมคุณภาพของกระบวนการผลิตให้เป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนดไว้ โดยสามารถควบคุมคุณลักษณะเชิงคุณภาพ (Quality characteristics) ได้ทั้งตัวแปรเชิงปริมาณ (Quantity variable) และตัวแปรเชิงคุณภาพ (Quality variable) ซึ่งปัจจุบันการควบคุมกระบวนการเชิงสถิติได้เข้ามามีบทบาทสำคัญกับงานด้านอุตสาหกรรมเป็นอย่างมาก เนื่องจากกระบวนการผลิตที่อยู่ในการควบคุมนั้นจะให้ผลิตภัณฑ์ (Product) ที่มีคุณภาพตรงตามมาตรฐานที่กำหนดไว้และผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพก็เป็นปัจจัยสำคัญปัจจัยหนึ่งที่ช่วยสร้างข้อได้เปรียบทางธุรกิจที่มีการแข่งขันค่อนข้างสูงในขณะนี้

แผนภูมิควบคุม (Control charts) ที่ใช้ในการควบคุมคุณภาพของกระบวนการผลิตนั้นมีทั้งแผนภูมิควบคุมสำหรับหนึ่งตัวแปร (Control charts for univariate) และแผนภูมิควบคุมสำหรับหลายตัวแปร (Control charts for multivariate) ในที่นี้จะขอกล่าวถึงแผนภูมิควบคุมสำหรับหลายตัวแปร แผนภูมิควบคุมสำหรับหลายตัวแปรที่เป็นที่นิยมใช้กันมาแต่ดั้งเดิม อาทิเช่น แผนภูมิควบคุมไคกำลังสอง (Chi-square Control Chart) และแผนภูมิควบคุม MEWMA (Multivariate Exponentially Weighted Moving Average Control Chart) แต่เมื่อไม่นานมานี้ นักวิจัยได้จำลองการทำงานของระบบประสาท (Neural systems) เพื่อประยุกต์ใช้กับการควบคุมกระบวนการเชิงสถิติหรือที่เป็นที่รู้จักกันในชื่อ “ข่ายงานระบบประสาท (Neural networks หรือ Neural nets)” และสถาปัตยกรรม (Architecture) หรือโครงสร้างของข่ายงานระบบประสาทนั้นมีหลายแบบที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ควบคุมกระบวนการเชิงสถิติสำหรับคุณลักษณะเชิงคุณภาพหลายตัวแปรได้ บทความวิชาการนี้จะกล่าวถึงโครงสร้างของข่ายงานระบบประสาทแบบ Multi-Layer Perceptron (MLP) และโครงสร้างของข่ายงานระบบประสาทแบบ Radial Basis Function (RBF) โดยจะมุ่งเน้นศึกษาถึงสมรรถนะ (Performance) ของโครงสร้างของข่ายงานระบบประสาททั้งสองแบบว่าเหมาะสมสำหรับการควบคุมกระบวนการผลิตเชิงสถิติหรือไม่ โดยวัดได้จากค่าของจำนวนผลิตภัณฑ์โดยเฉลี่ยที่ทำการตรวจค้นพบได้ก่อนที่จะมีจำนวนผลิตภัณฑ์ของข้อมูลตัวอย่างตกอยู่นอกขีดจำกัดควบคุม (Average Run Length : ARL)

#### ข่ายงานระบบประสาท (Neural Networks)

ข่ายงานระบบประสาทเป็นแบบจำลอง (Model) ทางคณิตศาสตร์ที่นักวิจัยนิยมใช้ประมวลผลข้อมูล โดยมีพื้นฐาน

มาจากการเลียนแบบการทำงานของระบบประสาทของมนุษย์ สำหรับการวิจัยเชิงสถิติจะประยุกต์ใช้ข่ายงานระบบประสาทสำหรับการควบคุมกระบวนการเชิงสถิติทั้งแบบหนึ่งตัวแปรและแบบหลายตัวแปร Hwang และ Hubele (1993a, 1993b) และ Cheng (1997) เป็นผู้ริเริ่มในการนำข่ายงานระบบประสาทมาประยุกต์ใช้กับการควบคุมกระบวนการเชิงสถิติ สำหรับโครงสร้างหรือสถาปัตยกรรมข่ายงานระบบประสาทรุ่น Lippmann (1987) เสนอไว้ทั้งหมด 6 แบบ ดังนี้ (1) Hopfield (2) Hamming (3) Carpenter/Grossberg Classifier (4) Perceptron (5) MLP และ (6) Kohonen Self-Organizing Feature Maps ต่อมา Hwang และ Hubele (1993a, 1993b) และ Zorriassatine และ Tannock (1998) เสนอโครงสร้างของข่ายงานระบบประสาทซึ่งเป็นที่รู้จักไว้ 6 แบบ ดังนี้ (1) Multi-Layer perceptron (MLP), (2) Radial Basis Function (RBF), (3) Learning Vector Quantization (LVQ), (4) Adaptive Resonance Theory (ART), (5) Auto-Associative NNs และ (6) Kohonen Self-Organizing Maps (SOM) ดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น บทความวิชาการนี้จะศึกษาเฉพาะโครงสร้างของข่ายงานระบบประสาทแบบ MLP และ RBF

#### โครงสร้างของข่ายงานระบบประสาทแบบ Multi-Layer Perceptron (MLP) และ Radial Basis Function (RBF)

โครงสร้างของข่ายงานระบบประสาทแบบ MLP นั้นเป็นโครงสร้างของข่ายงานระบบประสาทอย่างง่ายจึงเป็นโครงสร้างที่ไม่ยุ่งยากและซับซ้อนต่อผู้ใช้จึงมีผู้วิจัยให้ความสนใจศึกษากันมากทั้งแผนภูมิควบคุมสำหรับหนึ่งตัวแปรและหลายตัวแปร สำหรับโครงสร้างของข่ายงานระบบประสาทแบบ MLP สำหรับแผนภูมิควบคุมหนึ่งตัวแปรมีผู้สนใจศึกษา อาทิเช่น Pugh (1989, 1991), Guo และ Dooley (1992), Smith (1994) และ Stutzle (1995) ส่วนโครงสร้างของข่ายงานระบบประสาทแบบ MLP สำหรับแผนภูมิควบคุมหลายตัวแปร จตุภัทร (2552) ได้เสนอการทำงานของ MLP เอาไว้อย่างชัดเจน และยังมีผู้สนใจศึกษาอีกมาก อาทิเช่น Zorriassatine และ Tannock (1998), กิดากการ และ ปรียารัตน์ (2551) เป็นต้น

สำหรับโครงสร้างของข่ายงานระบบประสาทแบบ RBF นั้นเป็นโครงสร้างของข่ายงานระบบประสาทขั้นสูงจึงเป็นโครงสร้างที่ยุ่งยากและซับซ้อนซึ่งเหมาะสำหรับผู้ใช้งานหรือผู้ปฏิบัติการที่มีความรู้หรือความชำนาญเกี่ยวกับข่ายงานระบบประสาท จึงทำให้ยังไม่เป็นที่แพร่หลายมากนักถ้าเทียบกับโครงสร้างของข่ายงานระบบประสาทแบบ MLP แต่ก็ยังมีนักวิจัยให้ความสนใจศึกษา อาทิเช่น จตุภัทร และ กิดากการ (2552)

การศึกษาข่ายงานระบบประสาทแบบ MLP และ RBF จะพิจารณาตามหัวข้อดังต่อไปนี้ (1) สถาปัตยกรรม (Architecture) หรือโครงสร้าง (2) ชนิดของการเชื่อมต่อ (Type of connection) (3) ฟังก์ชันการกระตุ้น (Activation function) หรือฟังก์ชันการส่งต่อ (Transfer function) (4) ฟังก์ชันการส่งผ่าน (Combination function) และ (5) ขั้นตอนวิธี (Algorithm)

### 1. สถาปัตยกรรม (Archetecture) หรือโครงสร้าง

การพิจารณาสถาปัตยกรรมหรือโครงสร้างของข่ายงานระบบประสาทนั้นจะแยกพิจารณาตามหัวข้อดังนี้

#### 1.1 จำนวนชั้น (Number of layers)

จำนวนชั้นของโครงสร้างของข่ายงานระบบประสาทได้แก่ (1) ชั้นอินพุต (Input layer) จำนวน 1 ชั้น (2) ชั้นซ่อน (Hidden layer) ต้องมีอย่างน้อย 1 ชั้นซ่อน และ (3) ชั้นเอาต์พุต (Output layer) จำนวน 1 ชั้น

#### 1.2 จำนวนชั้นซ่อน (Number of hidden layers)

Guo และ Dooley (1992) กล่าวว่าหากกำหนดจำนวนชั้นซ่อนที่เหมาะสมสำหรับโครงสร้างของข่ายงานระบบประสาทนั้นไม่มีกฎเกณฑ์แน่นอน แต่ระบุไว้ว่าต้องมีชั้นซ่อนอย่างน้อย 1 ชั้นเสมอ

สำหรับโครงสร้างของข่ายงานระบบประสาทแบบ MLP จะมีจำนวนชั้นซ่อนอย่างน้อย 1 ชั้น แต่สำหรับโครงสร้างของข่ายงานระบบประสาทแบบ RBF จะมีจำนวนชั้นซ่อนเพียง 1 ชั้นเท่านั้น

#### 1.3 จำนวนโหนด (Number of nodes)

ในแต่ละชั้นจะประกอบด้วยโหนด (Node) สำหรับโหนดในชั้นอินพุตจะเรียกว่า “โหนดชั้นอินพุต (Input layer node)” ส่วนโหนดในชั้นซ่อนจะเรียกว่า “โหนดชั้นซ่อน (Hidden layer node)” และโหนดที่อยู่ในชั้นเอาต์พุตจะเรียกว่า “โหนดชั้นเอาต์พุต (Output layer node)”

1.3.1 จำนวนโหนดชั้นอินพุต จะมีจำนวนโหนดเท่ากับจำนวนตัวแปรอินพุต (Input variable)

1.3.2 จำนวนโหนดชั้นซ่อน Guo และ Dooley (1992) กล่าวว่าไม่มีกฎเกณฑ์แน่นอนสำหรับการกำหนดจำนวนโหนดชั้นซ่อนซึ่งให้ผลสอดคล้องกับผลการวิจัยของ Hwarng และ Hubele (1993b) และ Cheng (1997)

1.3.3 จำนวนโหนดชั้นเอาต์พุต ขึ้นอยู่กับรูปแบบ (Pattern) ของตัวแปรเอาต์พุต (Output variable) ที่ต้องการจะศึกษาซึ่งจะต้องสัมพันธ์กับชนิดของโครงสร้างของข่ายงานระบบประสาท

### 2. ชนิดของการเชื่อมต่อ (Type of connection)

การเชื่อมต่อระหว่างโหนด แบ่งเป็น 3 ช่วง ได้แก่

2.1 การเชื่อมต่อระหว่างโหนดชั้นอินพุตและโหนดชั้นซ่อน ดังภาพที่ 1 (ก)

2.2 การเชื่อมต่อระหว่างโหนดชั้นซ่อนและโหนดชั้นซ่อน (สำหรับกรณีที่มีชั้นซ่อนมากกว่า 1 ชั้นซ่อน) ดังภาพที่ 1 (ข)

2.3 การเชื่อมต่อระหว่างโหนดชั้นซ่อนและโหนดชั้นเอาต์พุต ดังภาพที่ 1 (ค)

#### ชนิดของการเชื่อมต่อ แบ่งเป็น 2 ประเภท ได้แก่

1. การเชื่อมต่อแบบโยงไปข้างหน้า (Feed-forward connection) ดังภาพที่ 2 (ก) และ 2 (ข) ซึ่งแบ่งเป็น 2 ประเภทย่อย ได้แก่

1.1 การเชื่อมต่อแบบโยงไปข้างหน้าแบบทั่วถึง (Fully-connected feed-forward connection)

1.2 การเชื่อมต่อแบบโยงไปข้างหน้าบางส่วน (Partial-connected feed-forward connection)

2. การเชื่อมต่อแบบโยงย้อนกลับ (Feedback connection หรือ Recurrent) ดังภาพที่ 2 (ค) เอาต์พุตจากโหนดจะถูกส่งกลับเข้ามายังโหนดเดิมเพื่อใช้เป็นข้อมูลอินพุต โดยกระบวนการจะดำเนินไปเรื่อยๆ จนกว่าจะได้ข้อมูลเอาต์พุต ซึ่งแบ่งเป็น 2 ประเภทย่อย ได้แก่

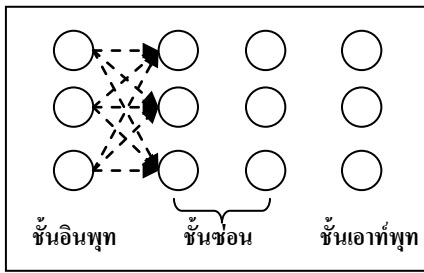
2.1 การเชื่อมต่อแบบโยงย้อนกลับแบบทั่วถึง (Fully-connected feedback connection)

2.2 การเชื่อมต่อแบบโยงย้อนกลับบางส่วน (Partial-connected feedback connection)

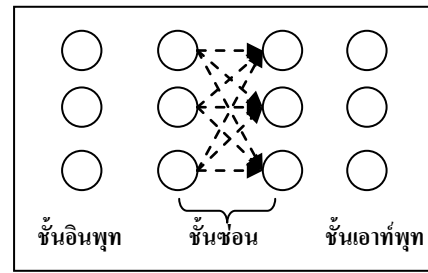
Pugh (1991) และ Chang และ Aw (1996) เสนอว่าควรจะใช้การเชื่อมต่อจากโหนดอินพุตไปยังทุกๆ โหนดของแต่ละชั้นเป็นแบบโยงไปข้างหน้าแบบทั่วถึง ซึ่งจะทำให้ข่ายงานระบบประสาทมีการลู่เข้า (Convergence)

### 3. ฟังก์ชันการกระตุ้น (Activation function) หรือฟังก์ชันการส่งต่อ (Transfer function)

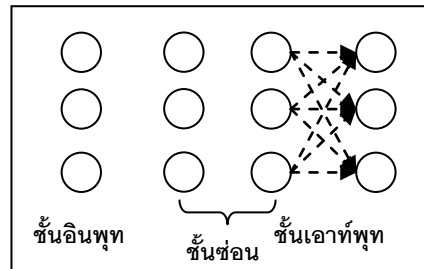
Zorriassatine และ Tannock (1998) ได้แบ่งฟังก์ชันการกระตุ้นหรือฟังก์ชันการส่งต่อเป็น 4 ประเภทได้แก่ (1) ฟังก์ชันเชิงเส้น (Linear function) (2) ฟังก์ชันไม่เชิงเส้น (Non-linear function) (3) ฟังก์ชันสมมาตร (Symmetrical function) และ (4) ฟังก์ชันไม่สมมาตร (Non-symmetrical function) ตัวอย่างของฟังก์ชันการกระตุ้น อาทิเช่น Hard limit, Symmetric hard limit, Sigmoid, Positive linear, Radial basis, Saturating linear, Symmetric saturating linear, Softmax, Hyperbolic tangent, Triangular basis เป็นต้น จากการวิจัย



(ก) ระหว่างโหนดชั้นอินพุตและโหนดชั้นซ่อน

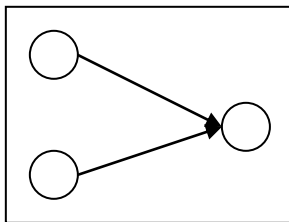


(ข) ระหว่างโหนดชั้นซ่อนและโหนดชั้นซ่อน

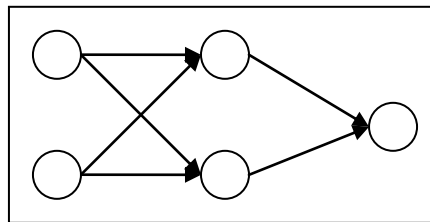


(ค) ระหว่างโหนดชั้นซ่อนและโหนดชั้นเอาต์พุต

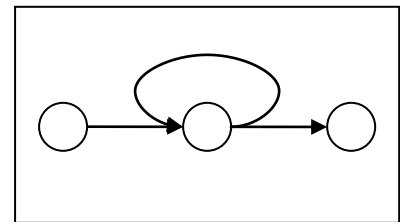
ภาพที่ 1 การเชื่อมต่อระหว่างโหนด



(ก) Single Layer Feed-forward



(ข) Multi-Layer Feed-forward

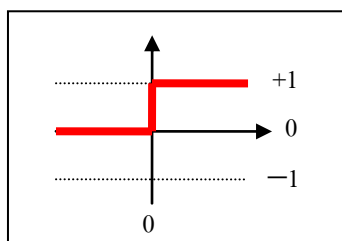


(ค) Multi-Layer Feedback or  
Recurrent

ภาพที่ 2 ชนิดของการเชื่อมต่อ

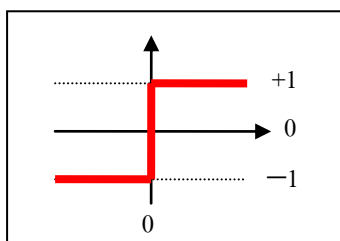
ที่ผ่านมาพบว่าการสร้างแผนภูมิควบคุมโดยใช้ข่ายงานระบบประสาทนั้นส่วนใหญ่จะใช้ฟังก์ชันการกระตุ้นไม่เชิงเส้น ส่วนข้อมูลเอาต์พุต (Output data) ที่ได้นั้นขึ้นอยู่กับการเลือกใช้ฟังก์ชันการกระตุ้น อาทิเช่น ถ้าเลือกใช้ฟังก์ชัน Sigmoid เป็นฟังก์ชันการกระตุ้น ค่าเอาต์พุตที่ได้จะมีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 0 ถึง 1 ดังภาพที่ 3 (ค) หรือถ้าเลือกใช้ฟังก์ชันไฮเพอร์โบลิคแทนเจนต์ (Hyperbolic tangent) เป็นฟังก์ชันการกระตุ้น ค่าเอาต์พุตที่ได้จะมีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง -1 ถึง 1 ดังภาพที่ 3 (จ) หรือถ้าเลือกใช้ฟังก์ชัน Radial Basis เป็นฟังก์ชันการกระตุ้น ค่าเอาต์พุตที่ได้จะมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 ดังภาพที่ 3 (ฉ) เป็นต้น

Cheng (1997) แสดงให้เห็นว่าเมื่อใช้ฟังก์ชันไฮเพอร์โบลิคแทนเจนต์เป็นฟังก์ชันการกระตุ้นสำหรับโครงสร้างของข่ายงานระบบประสาทแบบ MLP จะมีคุณสมบัติของความไม่แปรเปลี่ยนของทิศทาง (Directional invariance) นั่นคือไม่ว่าค่าเฉลี่ยของคุณลักษณะเชิงคุณภาพ  $\bar{x}_i$  ;  $i = 1, 2, \dots, p$  ใดๆ เปลี่ยนแปลง หรือค่าเฉลี่ยของคุณลักษณะเชิงคุณภาพทั้ง  $p$  คุณลักษณะเปลี่ยนแปลงพร้อมกันจะไม่ทำให้ ARL เปลี่ยนแปลง แต่เมื่อใช้ฟังก์ชันการกระตุ้น Sigmoid กับโครงสร้างของข่ายงานระบบประสาทแบบ MLP Saithanu (2007) แสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่าโครงสร้างของข่ายงานระบบประสาทแบบ MLP จะ



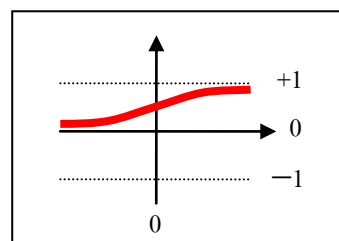
(ก) ฟังก์ชันการกระตุ้น

Hard limit



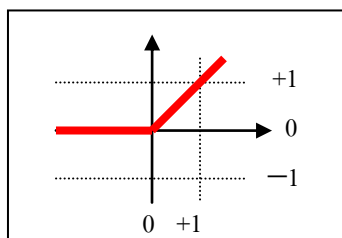
(ข) ฟังก์ชันการกระตุ้น

Symmetric hard limit



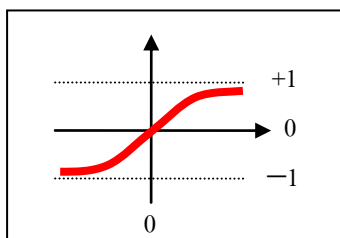
(ค) ฟังก์ชันการกระตุ้น

Sigmoid



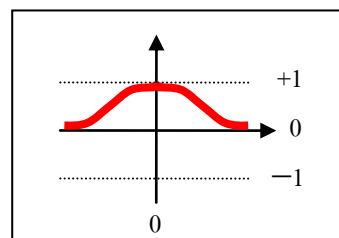
(ง) ฟังก์ชันการกระตุ้น

Positive linear



(จ) ฟังก์ชันการกระตุ้น

ไฮเพอร์โบลิกแทนเจนต์



(ฉ) ฟังก์ชันการกระตุ้น

Radial Basis

ภาพที่ 3 ฟังก์ชันการกระตุ้นหรือฟังก์ชันการส่งต่อ

ไม่มีคุณสมบัติดังกล่าว สำหรับโครงสร้างของข่ายงานระบบประสาทแบบ RBF นั้นจะใช้ฟังก์ชันการกระตุ้น Softmax

#### 4. ฟังก์ชันการส่งผ่าน (Combination function)

ฟังก์ชันการกระตุ้นมีอาร์กิวเมนต์ (Argument) ที่เรียกว่า “ฟังก์ชันการส่งผ่าน” ฟังก์ชันการส่งผ่านที่ใช้ในโครงสร้างของข่ายงานระบบประสาทแบบ MLP นั้นจะใช้การส่งผ่านแบบเชิงเส้น (Linear combination) โดยมีฟังก์ชันการกระตุ้นหรือฟังก์ชันการส่งต่อแบบ Sigmoid หรือไฮเพอร์โบลิกแทนเจนต์ แต่ข่ายงานระบบประสาทแบบ RBF จะใช้การส่งผ่านแบบไม่สมมาตรชนิด Radial Basis โดยมีฟังก์ชันการกระตุ้นหรือฟังก์ชันการส่งต่อแบบ Softmax

#### 5. ขั้นตอนวิธี (Algorithm)

ขั้นตอนวิธีที่ใช้สำหรับโครงสร้างของข่ายงานระบบประสาทมีหลายขั้นตอนวิธี อาทิเช่น (1) ขั้นตอนวิธีแบบ Backpropagation เป็นขั้นตอนวิธีแบบมีหลักการเรียนรู้แบบมีผู้สอน (Supervised learning rule) เนื่องจากทราบทั้งข้อมูลอินพุตและข้อมูลเอาต์พุต ซึ่ง Pugh (1989, 1991), Guo และ Dooley (1992), Smith (1994) และ Stutzle (1995) เสนอว่าข่ายงานระบบประสาทแบบ MLP ควรใช้ขั้นตอนวิธีแบบ Backpropagation (2) ขั้นตอนวิธีแบบ Genetic และ (3) ขั้นตอนวิธีแบบ Levenberg-Marquardt เป็น

ขั้นตอนวิธีที่ใช้ได้ทั้งโครงสร้างของข่ายงานระบบประสาทแบบ MLP และ RBF เนื่องจากจะทำให้ข่ายงานระบบประสาทมีการลู่เข้าเสมอ

#### การเปรียบเทียบสมรรถนะในการตรวจค้นพบการเปลี่ยนแปลงของกระบวนการผลิต

กิตติการ และ ปรียารัตน์ (2551) เสนอโครงสร้างของข่ายงานระบบประสาทแบบ MLP ไว้ 4 แบบได้แก่ MLP2(3) MLP2(5) MLP6(3) และ MLP6(5) ต่อมาจตุภัทร และกิตติการ (2552) เสนอโครงสร้างของข่ายงานระบบประสาทแบบ RBF ไว้ 4 แบบเช่นกัน ได้แก่ RBF2(3) RBF2(5) RBF6(3) และ RBF6(5) ทั้ง 2 งานวิจัยข้างต้นนี้มุ่งเน้นศึกษาสมรรถนะในการตรวจค้นพบการเปลี่ยนแปลงของกระบวนการผลิตโดยพิจารณาจาก

1. ค่า ARL เมื่อกระบวนการผลิตออกนอกการควบคุม เมื่อกำหนดเมทริกซ์ความแปรปรวนร่วม (Covariance matrix) ระหว่างคุณลักษณะเชิงคุณภาพ ทั้งที่มีค่าน้อยและมีค่ามากซึ่งเขียนแทนด้วยสัญลักษณ์  $\Sigma$

2. ความไว (sensitive) ของการตรวจค้นพบการเปลี่ยนแปลงกระบวนการผลิต (Detecting process shift) เมื่อค่าเฉลี่ยของคุณลักษณะเชิงคุณภาพมีการเปลี่ยนแปลง Montgomery (2005) เสนอว่าควรพิจารณาจากขนาดการเปลี่ยนแปลง

(Shift size) ที่เรียกว่า “พารามิเตอร์ไม่ศูนย์กลาง (Noncentrality parameter)” ซึ่งเขียนแทนด้วยสัญลักษณ์  $\delta$  งานวิจัยของกิตาการ และ ปรียารัตน์ (2551) และจตุภัทร และกิตาการ (2552) แสดงให้เห็นสมรรถนะของโครงสร้างข่ายงานระบบประสาทแบบ MLP และ RBF โดยพิจารณาขนาดการเปลี่ยนแปลง  $\delta$  ดังนี้ (1) ถ้า  $\delta = 0$  หมายความว่า กระบวนการผลิตอยู่ในการควบคุม (2) ถ้า  $\delta = 1$  หมายความว่า กระบวนการผลิตออกนอกการควบคุม โดยมีการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยสำหรับคุณลักษณะเชิงคุณภาพด้วยขนาดเล็ก (small shift) และ (3) ถ้า  $\delta = 3$  หมายความว่า กระบวนการผลิตออกนอกการควบคุม โดยมีการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยสำหรับคุณลักษณะเชิงคุณภาพด้วยขนาดใหญ่ (large shift)

เมื่อกำหนดเมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมระหว่างคุณลักษณะเชิงคุณภาพให้มีค่าน้อยและมาก และกำหนดขนาดการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยสำหรับคุณลักษณะเชิงคุณภาพให้มีขนาดเล็ก ( $\delta = 1$ ) และขนาดใหญ่ ( $\delta = 3$ ) โดยพิจารณาค่า ARL เมื่อกระบวนการผลิตออกนอกการควบคุม จากงานวิจัยของจตุภัทร และ กิตาการ (2552) ได้ข้อสรุปดังนี้

1. สำหรับโครงสร้างของข่ายงานระบบประสาทที่ประกอบไปด้วยจำนวนโหนดชั้นอินพุต 2 โหนดและจำนวนโหนดชั้นฮิดเดน 3 โหนด (ดังภาพที่ 4)

พบว่าโครงสร้างของข่ายงานระบบประสาทแบบ RBF มีสมรรถนะในการตรวจค้นพบการเปลี่ยนแปลงของกระบวนการผลิตดีกว่าโครงสร้างของข่ายงานระบบประสาทแบบ MLP ทุกกรณี

2. สำหรับโครงสร้างของข่ายงานระบบประสาทที่ประกอบไปด้วยจำนวนโหนดชั้นอินพุต 2 โหนดและจำนวนโหนดชั้นฮิดเดน 5 โหนด (ดังภาพที่ 5)

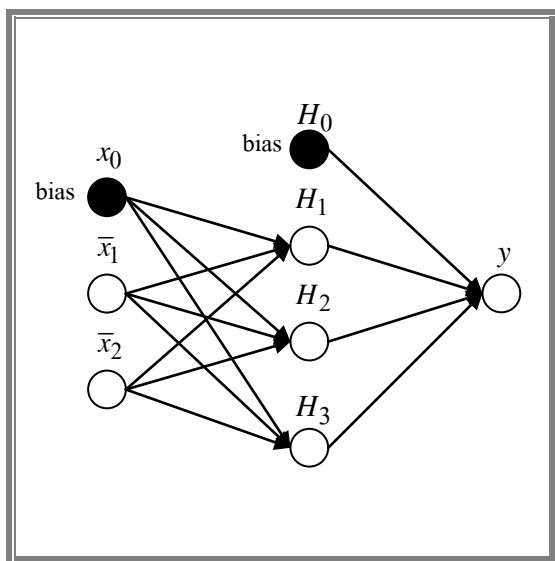
พบว่าโครงสร้างของข่ายงานระบบประสาทแบบ MLP มีสมรรถนะในการตรวจค้นพบการเปลี่ยนแปลงของกระบวนการผลิตดีกว่าโครงสร้างของข่ายงานระบบประสาทแบบ RBF ทุกกรณี

3. สำหรับโครงสร้างของข่ายงานระบบประสาทที่ประกอบไปด้วยจำนวนโหนดชั้นอินพุต 6 โหนดและจำนวนโหนดชั้นฮิดเดน 3 โหนด (ดังภาพที่ 6)

พบว่าโครงสร้างของข่ายงานระบบประสาทแบบ MLP มีสมรรถนะในการตรวจค้นพบการเปลี่ยนแปลงของกระบวนการผลิตดีกว่าโครงสร้างของข่ายงานระบบประสาทแบบ RBF ทุกกรณี

4. สำหรับโครงสร้างของข่ายงานระบบประสาทที่ประกอบไปด้วยจำนวนโหนดชั้นอินพุต 6 โหนดและจำนวนโหนดชั้นฮิดเดน 5 โหนด (ดังภาพที่ 7)

พบว่าโครงสร้างของข่ายงานระบบประสาทแบบ MLP มีสมรรถนะในการตรวจค้นพบการเปลี่ยนแปลงของกระบวนการผลิตดีกว่าโครงสร้างของข่ายงานระบบประสาทแบบ RBF เกือบทุกกรณี ยกเว้นเพียงกรณีเดียวคือกรณีที่เมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมมีค่าน้อยและการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยสำหรับคุณลักษณะเชิงคุณภาพมีขนาดเล็ก สำหรับกรณีนี้โครงสร้างของข่ายงานระบบประสาทแบบ RBF จะมีสมรรถนะในการตรวจค้นพบการเปลี่ยนแปลงของกระบวนการผลิตดีกว่า



(ก) ฟังก์ชันการกระตุ้นของโครงสร้างข่ายงานระบบประสาทแบบ MLP2(3)

$$H_1 = 1/[1 + \exp(-\{w_{01} + w_{11}\bar{x}_1 + w_{21}\bar{x}_2\})]$$

$$H_2 = 1/[1 + \exp(-\{w_{02} + w_{12}\bar{x}_1 + w_{22}\bar{x}_2\})]$$

$$H_3 = 1/[1 + \exp(-\{w_{03} + w_{13}\bar{x}_1 + w_{23}\bar{x}_2\})]$$

(ข) ฟังก์ชันการกระตุ้นของโครงสร้างข่ายงานระบบประสาทแบบ RBF2(3)

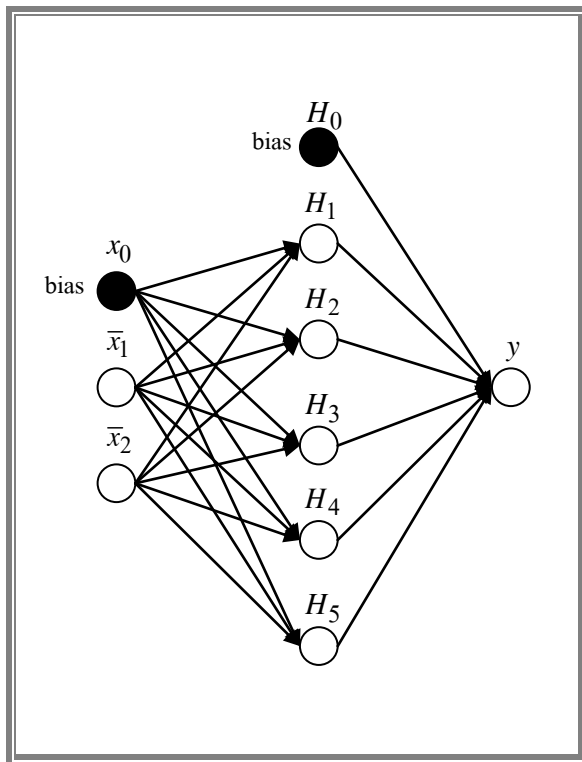
$$H_1 = \exp(-w_{01}^2[(\bar{x}_1 - w_{11})^2 + (\bar{x}_2 - w_{21})^2])$$

$$H_2 = \exp(-w_{02}^2[(\bar{x}_1 - w_{12})^2 + (\bar{x}_2 - w_{22})^2])$$

$$H_3 = \exp(-w_{03}^2[(\bar{x}_1 - w_{13})^2 + (\bar{x}_2 - w_{23})^2])$$

ภาพที่ 4 โครงสร้างของข่ายงานระบบประสาทที่มีจำนวนชั้นอินพุต 2 โหนดและมีจำนวนชั้นฮิดเดน 3 โหนดที่มีฟังก์ชันการส่งผ่านเป็น





(ก) ฟังก์ชันการกระตุ้นของโครงสร้างข่ายงานระบบประสาทแบบ MLP2(5)

$$H_1 = 1/[1 + \exp(-\{w_{01} + w_{11}\bar{x}_1 + w_{21}\bar{x}_2\})]$$

$$H_2 = 1/[1 + \exp(-\{w_{02} + w_{12}\bar{x}_1 + w_{22}\bar{x}_2\})]$$

$$H_3 = 1/[1 + \exp(-\{w_{03} + w_{13}\bar{x}_1 + w_{23}\bar{x}_2\})]$$

$$H_4 = 1/[1 + \exp(-\{w_{04} + w_{14}\bar{x}_1 + w_{24}\bar{x}_2\})]$$

$$H_5 = 1/[1 + \exp(-\{w_{05} + w_{15}\bar{x}_1 + w_{25}\bar{x}_2\})]$$

(ข) ฟังก์ชันการกระตุ้นของโครงสร้างข่ายงานระบบประสาทแบบ RBF2(5)

$$H_1 = \exp(-w_{01}^2[(\bar{x}_1 - w_{11})^2 + (\bar{x}_2 - w_{21})^2])$$

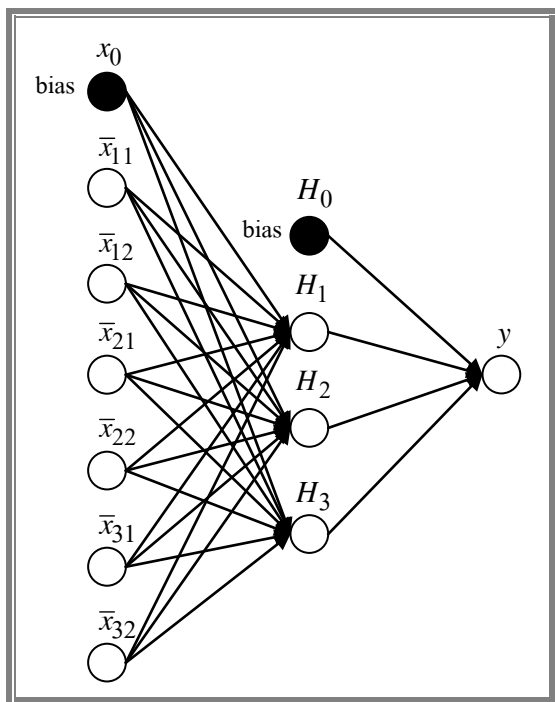
$$H_2 = \exp(-w_{02}^2[(\bar{x}_1 - w_{12})^2 + (\bar{x}_2 - w_{22})^2])$$

$$H_3 = \exp(-w_{03}^2[(\bar{x}_1 - w_{13})^2 + (\bar{x}_2 - w_{23})^2])$$

$$H_4 = \exp(-w_{04}^2[(\bar{x}_1 - w_{14})^2 + (\bar{x}_2 - w_{24})^2])$$

$$H_5 = \exp(-w_{05}^2[(\bar{x}_1 - w_{15})^2 + (\bar{x}_2 - w_{25})^2])$$

ภาพที่ 5 โครงสร้างของข่ายงานระบบประสาทที่มีจำนวนชั้นอินพุต 2 โหนดและมีจำนวนชั้นฮอน 5 โหนดที่มีฟังก์ชันการส่งผ่านเป็น



(ก) ฟังก์ชันการกระตุ้นของโครงสร้างข่ายงานระบบประสาทแบบ MLP6(3)

$$H_1 = 1/[1 + \exp(-\{w_{01} + w_{11}\bar{x}_1 + w_{21}\bar{x}_2 + \dots + w_{61}\bar{x}_6\})]$$

$$H_2 = 1/[1 + \exp(-\{w_{02} + w_{12}\bar{x}_1 + w_{22}\bar{x}_2 + \dots + w_{62}\bar{x}_6\})]$$

$$H_3 = 1/[1 + \exp(-\{w_{03} + w_{13}\bar{x}_1 + w_{23}\bar{x}_2 + \dots + w_{63}\bar{x}_6\})]$$

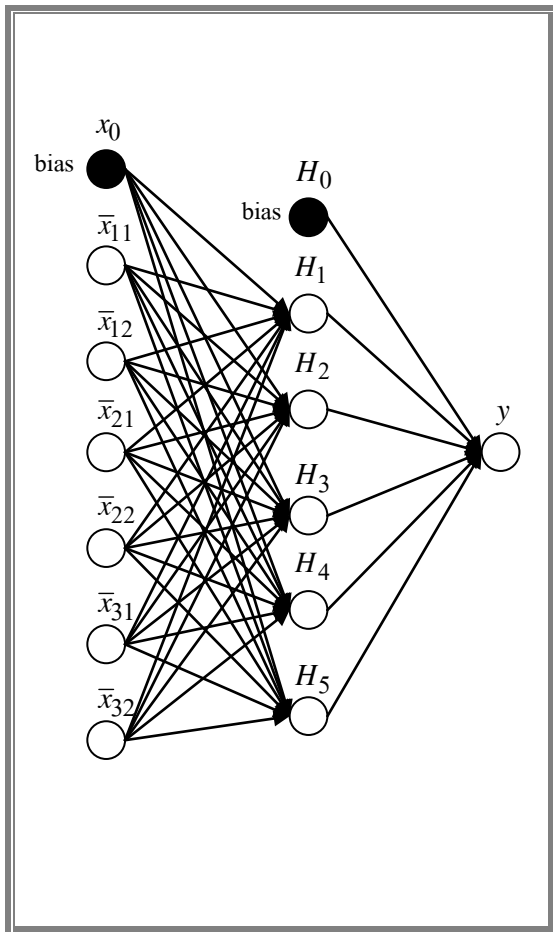
(ข) ฟังก์ชันการกระตุ้นของโครงสร้างข่ายงานระบบประสาทแบบ RBF6(3)

$$H_1 = \exp(-w_{01}^2[(\bar{x}_1 - w_{11})^2 + (\bar{x}_2 - w_{21})^2 + \dots + (\bar{x}_6 - w_{61})^2])$$

$$H_2 = \exp(-w_{02}^2[(\bar{x}_1 - w_{12})^2 + (\bar{x}_2 - w_{22})^2 + \dots + (\bar{x}_6 - w_{62})^2])$$

$$H_3 = \exp(-w_{03}^2[(\bar{x}_1 - w_{13})^2 + (\bar{x}_2 - w_{23})^2 + \dots + (\bar{x}_6 - w_{63})^2])$$

ภาพที่ 6 โครงสร้างของข่ายงานระบบประสาทที่มีจำนวนชั้นอินพุต 6 โหนดและมีจำนวนชั้นฮอน 3 โหนดที่มีฟังก์ชันการส่งผ่านเป็น



(ก) ฟังก์ชันการกระตุ้นของโครงสร้างข่ายงานระบบประสาทแบบ MLP6(5)

$$H_1 = 1/[1 + \exp(-\{w_{01} + w_{11}\bar{x}_1 + w_{21}\bar{x}_2 + \dots + w_{61}\bar{x}_6\})]$$

$$H_2 = 1/[1 + \exp(-\{w_{02} + w_{12}\bar{x}_1 + w_{22}\bar{x}_2 + \dots + w_{62}\bar{x}_6\})]$$

$$H_3 = 1/[1 + \exp(-\{w_{03} + w_{13}\bar{x}_1 + w_{23}\bar{x}_2 + \dots + w_{63}\bar{x}_6\})]$$

$$H_4 = 1/[1 + \exp(-\{w_{04} + w_{14}\bar{x}_1 + w_{24}\bar{x}_2 + \dots + w_{64}\bar{x}_6\})]$$

$$H_5 = 1/[1 + \exp(-\{w_{05} + w_{15}\bar{x}_1 + w_{25}\bar{x}_2 + \dots + w_{65}\bar{x}_6\})]$$

(ข) ฟังก์ชันการกระตุ้นของโครงสร้างข่ายงานระบบประสาทแบบ RBF6(5)

$$H_1 = \exp(-w_{01}^2[(\bar{x}_1 - w_{11})^2 + (\bar{x}_2 - w_{21})^2 + \dots + (\bar{x}_6 - w_{61})^2])$$

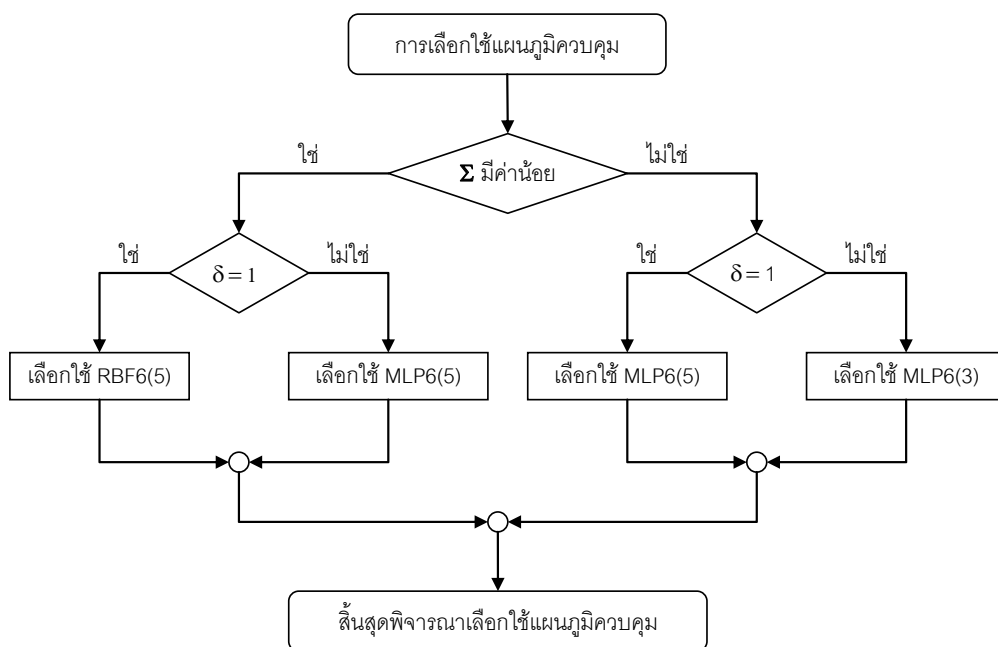
$$H_2 = \exp(-w_{02}^2[(\bar{x}_1 - w_{12})^2 + (\bar{x}_2 - w_{22})^2 + \dots + (\bar{x}_6 - w_{62})^2])$$

$$H_3 = \exp(-w_{03}^2[(\bar{x}_1 - w_{13})^2 + (\bar{x}_2 - w_{23})^2 + \dots + (\bar{x}_6 - w_{63})^2])$$

$$H_4 = \exp(-w_{04}^2[(\bar{x}_1 - w_{14})^2 + (\bar{x}_2 - w_{24})^2 + \dots + (\bar{x}_6 - w_{64})^2])$$

$$H_5 = \exp(-w_{05}^2[(\bar{x}_1 - w_{15})^2 + (\bar{x}_2 - w_{25})^2 + \dots + (\bar{x}_6 - w_{65})^2])$$

ภาพที่ 7 โครงสร้างของข่ายงานระบบประสาทที่มีจำนวนชั้นอินพุต 6 โหนดและมีจำนวนชั้นฮิดเดน 5 โหนดที่มีฟังก์ชันการส่งผ่านเป็น



ภาพที่ 8 การเลือกใช้แผนภูมิควมคุม



**ตารางที่ 1** การเปรียบเทียบโครงสร้างของข่ายงานระบบประสาทแบบ MLP และ RBF

องค์ประกอบ	โครงสร้างของข่ายงานระบบประสาท	
	MLP	RBF
1. สถาปัตยกรรมหรือโครงสร้าง		
1.1 จำนวนชั้น		
(1) จำนวนชั้นอินพุต	1 ชั้น	1 ชั้น
(2) จำนวนชั้นซ่อน	อย่างน้อย 1 ชั้น	1 ชั้น
(3) จำนวนชั้นเอาต์พุต	1 ชั้น	1 ชั้น
1.2 จำนวนโหนด		
(1) จำนวนโหนดชั้นอินพุต	เท่ากับจำนวนตัวแปรอินพุต (2 โหนด และ 6 โหนด)	
(2) จำนวนโหนดชั้นซ่อน	3 โหนด และ 5 โหนด	
(3) จำนวนโหนดชั้นเอาต์พุต	ขึ้นอยู่กับรูปแบบของตัวแปรเอาต์พุต (1 โหนด)	
3. ชนิดของการเชื่อมต่อ	แบบโยงไปข้างหน้าแบบทั่วถึง	
4. ฟังก์ชันการกระตุ้นหรือฟังก์ชันการการส่งต่อ	ฟังก์ชันแบบ Sigmoid หรือฟังก์ชันไฮเพอร์โบลิกแทนเจนต์	ฟังก์ชันแบบ Softmax
5. ฟังก์ชันการส่งผ่าน	การส่งผ่านเชิงเส้น	การส่งผ่านแบบไม่สมมาตรชนิด Radial Basis
6. ขั้นตอนวิธี	Levenberg-Marquardt	Levenberg-Marquardt

## สรุป

การสร้างโครงสร้างของข่ายงานระบบประสาทแบบ MLP และ RBF สำหรับประยุกต์ใช้ควบคุมกระบวนการเชิงสถิติสำหรับคุณลักษณะเชิงคุณภาพหลายตัวแปรนั้น อาจพอสรุปได้ดังตารางที่ 1

การเลือกใช้โครงสร้างของข่ายงานระบบประสาทแบบ MLP และ RBF สำหรับการตรวจค้นพบการเปลี่ยนแปลงของกระบวนการผลิตตามปัจจัยของเมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมระหว่างคุณลักษณะเชิงคุณภาพและขนาดการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยสำหรับคุณลักษณะเชิงคุณภาพ อาจพอสรุปได้ดังภาพที่ 8

ถ้าใช้ข่ายงานระบบประสาทสำหรับแผนภูมิควบคุมคุณภาพหลายตัวแปรแล้วจะมีสมรรถนะที่ดีกว่าแผนภูมิควบคุมแบบดั้งเดิม นั่นคือแผนภูมิควบคุมโคกำลังและแผนภูมิควบคุม MEWMA ในทุกกรณี โดย RBF(5) มีสมรรถนะดีกว่าแผนภูมิควบคุม MEWMA สำหรับกรณีที่  $\Sigma$  มีค่าน้อยและ  $\delta = 1$  ซึ่ง MLP มีสมรรถนะที่ดีกว่าดังแสดงใน จตุภัทร และ กิดากการ (2552) และจตุภัทร (2552)

## ข้อเสนอแนะ

ควรประยุกต์ใช้ข่ายงานระบบประสาทสำหรับแผนภูมิควบคุมคุณภาพหลายตัวแปรสำหรับกรณีที่ค่าเฉลี่ยของกระบวนการมีการเปลี่ยนแปลงเป็นลักษณะอื่น อาทิเช่น เป็นแบบรูป (pattern) เป็นแนวโน้ม (trend) หรืออาจประยุกต์ใช้กับปัญหาการจำแนก (classification problem) เป็นต้น

## เอกสารอ้างอิง

- กิดากการ สายธนู และ ปรียารัตน์ นาคสุวรรณ. (2551). การหาค่าประมาณของขีดจำกัดควบคุมของวิธีข่ายงานระบบประสาทสำหรับการควบคุมคุณภาพแบบหลายตัวแปร. *วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา ฉบับที่ 2 ปีที่ 13 กรกฎาคม 2551 - ธันวาคม 2551*, 57-65.
- จตุภัทร เมฆพ่ายพ (2552). แผนภูมิควบคุมคุณภาพหลายตัวแปรด้วยข่ายงานระบบประสาทสำหรับการควบคุมกระบวนการเชิงสถิติ. *วารสารวิทยาศาสตร์ มข. ฉบับที่ 4 ปีที่ 37 กรกฎาคม 2552 - ธันวาคม 2552*, 386-397.

- จตุภัทร เมฆพ่ายัพ และ กิตาการ สายธนู (2552). การประยุกต์ใช้  
 ช่วยงานระบบประสาทสำหรับแผนภูมิควบคุมคุณภาพแบบ  
 หลายตัวแปร. *วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา ฉบับที่ 2 ปีที่ 14*  
*กรกฎาคม 2552 - ธันวาคม 2552*. 99-110.
- Chang, S. I. & Aw, C. A. (1996). A Neural Fuzzy Control Chart  
 for Detecting and Classifying Process Mean Shifts. *International Journal of Production Research*, 34,  
 2265-2278.
- Cheng, C. S. (1997). A Neural Network Approach for the  
 Analysis of Control Chart Patterns. *International Journal of Production Research*, 35, 667-697.
- Guo, Y., & Dooley, K. J. (1992). Identification of Change  
 Structure in Statistical Process Control. *International Journal of Production Research*, 30,  
 1655-1669.
- Hwang, H. B. & Hubele, N. F. (1993). Back-propagation  
 Pattern Recognizers for  $\bar{x}$  Control Charts: Method-  
 ology and Performance. *Computers Industrial Engineering*, 24, pp. 219-235.
- Hwang, H. B. & Hubele, N. F. (1993). Bar  $\bar{X}$  control chart  
 pattern identification through efficient off-line  
 neural network training. *IIE Transactions*, 25, 27-38.
- Limppmann, P. R. (1987). An Introduction to Computing  
 with Neural Nets. *IEEE ASSP Magazine*, 4, pp. 4-22.
- Montgomery, Douglas C. (2005). *Introduction to Statistical Quality Control*, 5<sup>th</sup> Edition. New York: John Wiley & Sons.
- Pugh, G. A. (1989). Synthetic Neural Networks for Process  
 Control. *Computers and Industrial Engineering*. 17,  
 24-26.
- Pugh, G. A. (1991). A Comparison of Neural Networks to  
 SPC Charts. *Computers and Industrial Engineering*,  
 21, 253-255.
- Saithanu, K. (2007). Neural Networks: Construction and  
 Evaluation, in *Encyclopedia of Statistics in Quality and Reliability*. 1234-1239. John Wiley & Sons Ltd,  
 Chichester, UK: John Wiley & Sons Ltd.
- Smith, A. E. (1994).  $\bar{X}$  and R Control Chart Interpretation  
 Using Neural Computing. *International Journal of Production Research*, 32, 309-320.
- Stutzle, T. (1995). A Neural Network Approach to Quality  
 Control Charts from Natural to Artificial Neural  
 Computation. In *Proceeding of the International Workshop on Artificial Neural Networks*, Malaga-  
 Torremolinos, Spain, (pp.1135-1141).
- Zorriassatine, F., & Tannock, J. D. T. (1998). A Review of  
 Neural Networks for Statistical Process Control. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 9, 209-224.