

การพัฒนาระบบประเมินบุคลากรโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม

The Development of Personnel Assessment System by Artificial Neural Network

กริช สมกันธา (Krit Somkantha)* วิลพร กุลตั้งวัฒนา (Wilaiporn Kultangwattana)*
และ วรวิทย์ กุลตั้งวัฒนา (Worrawit Kultangwattana)**

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอการพัฒนาระบบประเมินบุคลากรโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม งานวิจัยได้ประยุกต์เทคโนโลยีทางปัญญาประดิษฐ์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของระบบประเมินบุคลากรในมหาวิทยาลัย ในระบบประเมินบุคลากรได้มีการใช้ 5 คุณลักษณะเด่นที่ถูกสกัดมาจากข้อมูลของผลการปฏิบัติงานในแต่ละเทอมของบุคลากร นั่นคือคุณภาพงานวิจัย ศิลปวัฒนธรรม ความรับผิดชอบ และพฤติกรรม ซึ่งคุณลักษณะเด่นทั้งหมดจะถูกนำไปใช้เป็นอินพุตของโครงข่ายประสาทเทียมเพื่อใช้ในการประเมินผลบุคลากร ในการทดสอบได้ใช้วิธีการตรวจสอบแบบไขว้เพื่อใช้ในการทดสอบประสิทธิภาพของวิธีการ อีกทั้งยังเปรียบเทียบกับวิธีการที่นำเสนอกับวิธีการของเบย์สและเคเนียร์เนเบอร์ จากผลการทดสอบพบว่าวิธีการที่นำเสนอสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากกว่าวิธีการที่นำมาเปรียบเทียบ วิธีการที่นำเสนอสามารถประเมินผลการประเมินได้อย่างมีประสิทธิภาพ ผลการทดสอบด้วยวิธีที่นำเสนอใกล้เคียงกับผู้ประเมินแต่สามารถประเมินผลได้เร็วกว่าผู้ประเมินมาก วิธีการที่นำเสนอสามารถเป็นวิธีการที่เหมาะสมสำหรับพัฒนาประสิทธิภาพของระบบการประเมินผลพนักงานให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น และสามารถที่จะนำไปประยุกต์ใช้งานในปัญหาของระบบประเมินอื่นๆ

Abstract

This research suggests the development of personnel assessment system using Artificial Neural Network (ANN). The artificial intelligence technology was applied to increase the efficiency of personnel assessment system in the university. In this system, five features were extracted from important data of personnel operating results in each terms, i.e., quality, research, culture, responsibility, and behavior. All features are taken as input into the ANN to assess the results of personnel. The cross validation was used to test the efficiency of the techniques. The proposed method was compared with the Bayes method and the K-nearest neighbor method. From the experimental results, it was found that the proposed method had better efficiency than the compared methods. Our method can assess the result of personnel very efficiency. The experimental results from proposed method are very close to the assessor and it can assess the personnel faster than the assessor. It is believed that the proposed method can be a suitable approach for developing the efficiency of personnel assessment system for good performance. The proposed method can further be applied to any assessment problems.

คำสำคัญ: โครงข่ายประสาทเทียม ระบบประเมิน การสกัดคุณลักษณะเด่น

Keyword: Automated ICD Coding , ICD Knowledge Base, ICD Experience Base.

* คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี

** คณะศิลปศาสตร์และวิทยาการจัดการ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตเฉลิมพระเกียรติ

1. บทนำ

ในปัจจุบันประสิทธิภาพของคอมพิวเตอร์ในการประมวลผลด้านปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence) ได้มีการศึกษาวิจัยกันอย่างแพร่หลายเพื่อที่จะนำวิธีการต่างๆ มาช่วยมนุษย์ให้คอมพิวเตอร์สามารถทำงานแทนมนุษย์หรือแม้กระทั่งช่วยเหลือในด้านต่างๆ เบื้องต้น [1], [2], [3], [4] แต่อย่างไรก็ตามก็ยังมีข้อจำกัด จึงมีนักวิจัยได้คิดค้นวิธีการต่างๆ เข้ามาช่วยเพื่อให้สามารถทำงานเพื่อแก้ข้อจำกัดเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ ในงานวิจัยด้านปัญญาประดิษฐ์เป็นงานวิจัยที่ซับซ้อน ซึ่งเปรียบเสมือนการสร้างสมองของคนแต่เปลี่ยนเป็นการสร้างสมองให้คอมพิวเตอร์ให้สามารถทำงานแทนมนุษย์อย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้นในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยจึงได้สนใจค้นคว้าหาวิธีการพัฒนาวิธีการที่สามารถช่วยเหลือและทำงานแทนมนุษย์ในประเมินผลการปฏิบัติงานของอาจารย์ในมหาวิทยาลัย

ในการประเมินผลการปฏิบัติการของบุคลากรโดยปกติจะทำการประเมินบุคลากร 2 ครั้งต่อปี โดยผู้บริหารระดับสูงเป็นผู้ประเมินบุคลากร โดยดูจากรายงานที่ได้จากผู้ถูกประเมิน ดูความเหมาะสม ดูจากการสังเกตต่างๆ จากนั้นทำการวิเคราะห์และทำการประเมิน โดยถ้าผู้ถูกประเมินได้คะแนนสูงจะได้รับขั้นการปรับเงินเดือนสูงสุด ซึ่งในแต่ละครั้งในการประเมินบุคลากรจะสิ้นเปลืองเวลาในการประเมิน ยิ่งถ้าต้องการประเมินแบบละเอียดและถูกต้องสูงจำเป็นต้องใช้เวลาในการวิเคราะห์ยาวนาน ในแต่ละครั้งในการประเมินจะมีผู้ถูกประเมินจำนวนมาก ทำให้ผู้บริหารอาจจะเกิดการสับสนและเกิดความผิดพลาดขึ้นได้ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงนำเสนอวิธีการพัฒนาระบบประเมินบุคลากรโดยใช้เทคโนโลยีทางปัญญาประดิษฐ์ ซึ่งจะเป็นเครื่องมือที่ช่วยเหลือผู้ประเมินในการตัดสินใจแทนผู้ประเมิน จากที่ผู้ประเมินที่มีประสบการณ์ได้ทำการประเมินมาเป็นเวลาหลายปีจะมีรูปแบบในการตัดสินใจของตนเอง ดังนั้นเพื่อช่วยเหลือผู้ประเมินจึงมีการสร้างระบบการตัดสินใจโดยจำลองการตัดสินใจของผู้ประเมินขึ้นมา ซึ่งส่งผลทำให้มีเครื่องมือที่ช่วยในการประเมินด้วยความสะดวกและรวดเร็ว ในงานวิจัยนี้จะเป็นประโยชน์ในการประเมินบุคลากรเพื่อใช้ในองค์กรต่างๆ เพื่อให้สามารถทำการประเมินบุคลากรในแต่ละองค์กรได้อย่างรวดเร็ว มีประสิทธิภาพและมีความยุติธรรมสูง

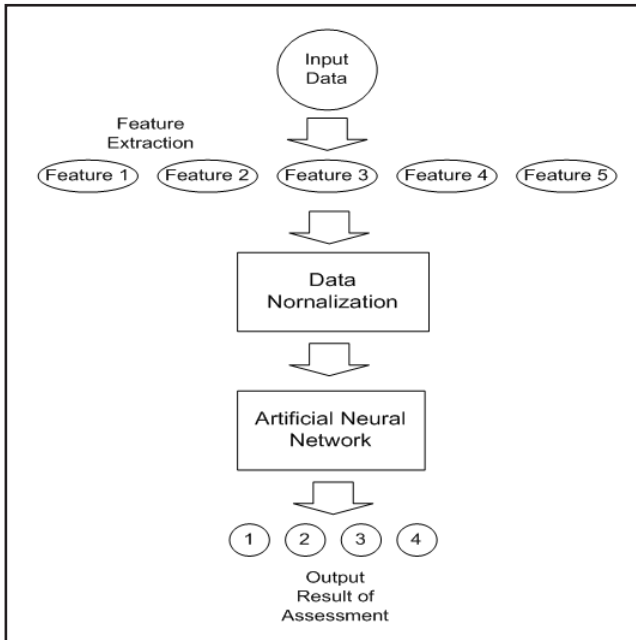
งานวิจัยที่นำเสนอจะเป็นการสร้างระบบปัญญาประดิษฐ์ในการประเมินบุคลากรในมหาวิทยาลัย ซึ่งจะเป็นการสร้างระบบที่สามารถประเมินบุคลากรแทนผู้ประเมิน เพื่อช่วยเหลือผู้ประเมินและเพื่อสร้างระบบที่มีความเร็วสูงในการตัดสินใจและเที่ยงตรงในการประเมินบุคลากร ในงานวิจัยได้ใช้วิธีการโครงข่ายประสาทเทียม [10], [11] ซึ่งเป็นกระบวนการทางคณิตศาสตร์ที่จำลองมาจากการทำงานของระบบสมองของมนุษย์ ซึ่งส่งผลให้ได้ผลลัพธ์คล้ายคลึงกับการคิดและตัดสินใจมนุษย์ เพื่อนำมาใช้ประโยชน์ในการตัดสินใจ การทำนาย การจำแนก และอื่นๆ วิธีการของโครงข่ายประสาทเทียมสามารถปรับการเรียนรู้ด้วยตนเองให้สามารถทำงานในสภาพที่เปลี่ยนแปลงได้ทำให้มีประสิทธิภาพในการทำงานมากกว่าวิธีการทางสถิติทั่วไป

ในงานวิจัยขั้นตอนแรกจะดำเนินการหาลักษณะเด่นของข้อมูล จากแบบประเมินของข้าราชการพลเรือนในสถาบันอุดมศึกษา ลักษณะเด่นที่หนึ่งคือคะแนนรวมของงานด้านคุณภาพบัณฑิต ลักษณะเด่นที่สองคือคะแนนรวมของงานด้านการวิจัย งานสร้างสรรค์หรือตำรา ลักษณะเด่นที่สามคือคะแนนรวมของงานด้านบริการทำนุบำรุงศิลปวัฒนธรรม ลักษณะเด่นที่สี่คือคะแนนรวมของงานที่ผู้รับการประเมินตกลงกับผู้บังคับบัญชา หรืองานด้านการสนับสนุน สถาบัน สำนัก คณะ หรือมหาวิทยาลัย และลักษณะเด่นที่ห้าคือคะแนนรวมของการประเมินพฤติกรรม จากนั้นคุณลักษณะเด่นทั้งห้าจะถูกนำไปปรับข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบที่เหมาะสม (Data Normalization) หลังจากนั้นข้อมูลทั้งหมดจะถูกนำไปใช้เป็นอินพุตของระบบการประเมิน โดยจะจำแนกกลุ่มออกเป็น 4 กลุ่ม คือกลุ่มดีมาก (Excellent) กลุ่มดี (Good) กลุ่มพอใช้ (Average) และกลุ่มอ่อน (Weak) โดยถ้าระบบจำแนกอยู่ในกลุ่มดีมากแสดงว่ามีผลการปฏิบัติงานที่ดี ซึ่งเหมาะสมที่จะได้รับการปรับเงินเดือนเป็นเปอร์เซ็นต์สูงสุด และถ้าระบบจำแนกอยู่ในกลุ่มอ่อนแสดงว่าจะได้รับการปรับเงินเดือนเป็นเปอร์เซ็นต์ต่ำสุด

ประโยชน์ของงานวิจัยทำให้ได้เครื่องมือที่ช่วยเหลือผู้บริหารในการประเมินผลการปฏิบัติงานของบุคลากร โดยจะเป็นการประเมินโดยอัตโนมัติ สามารถตัดสินใจแทนได้อย่างถูกต้อง รวดเร็วและมีประสิทธิภาพ เปรียบเสมือนเป็นการสร้างบุคลากรผู้ประเมินขึ้นมาโดยจะมีความคิดในการตัดสินใจใกล้เคียงกับผู้ประเมินที่เป็นต้นแบบ

2. ทฤษฎีและวิธีการของงานวิจัย

รูปแบบของงานวิจัยในการประเมินผลการปฏิบัติงานของอาจารย์ในมหาวิทยาลัยโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม แสดงดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 แผนภาพแสดงระบบประเมินผลบุคลากร

จากแผนภาพระบบประเมินผลการปฏิบัติงานบุคลากร เริ่มต้นด้วยการหาคุณลักษณะเด่นจำนวน 5 ลักษณะเด่น จากนั้นทำการปรับรูปแบบของข้อมูลให้มีความเหมาะสมก่อนที่จะส่งไปในส่วนของการประเมินผลการปฏิบัติงานโดยโครงข่ายประสาทเทียม โดยจะสามารถประเมินหรือแบ่งกลุ่มของข้อมูลได้ 4 กลุ่ม ซึ่งเป็นผลของการตัดสินใจของระบบ

2.1 ฐานข้อมูลบุคลากร

คือข้อมูลรายงานผลของการปฏิบัติงานของผู้ถูกประเมินแต่ละคน โดยข้อมูลคะแนนได้มาจากแบบประเมินผลสัมฤทธิ์ของข้าราชการพลเรือนในสถาบันอุดมศึกษา ซึ่งได้แก่

- การประเมินด้านคุณภาพบัณฑิต (Quality)
- การประเมินด้านการวิจัย งานสร้างสรรค์หรือตำรา (Research)
- การประเมินด้านบริการทำนุบำรุงศิลปวัฒนธรรม (Culture)
- การประเมินด้านที่ผู้รับการประเมินตกลงกับผู้บังคับบัญชา หรืองานด้านการสนับสนุน สถาบัน สำนัก คณะ หรือมหาวิทยาลัย (Responsible)
- การประเมินด้านพฤติกรรม (Behavior)

- ผลลัพธ์ที่ได้รับการประเมินจากผู้ประเมิน

2.2 การหาคุณลักษณะเด่นของข้อมูล (Features)

ในการหาคุณลักษณะเด่นเพื่อใช้เป็นข้อมูลอินพุตที่สำคัญในการประเมินผลได้มาจากข้อมูลคะแนนของผลการปฏิบัติงานของบุคลากรที่ได้ทำการประเมินผลมาแล้ว โดยในงานวิจัยนี้จะทำการหาคุณลักษณะเด่นจำนวน 5 คุณลักษณะ ได้แก่

ลักษณะเด่น 1 (Feature 1: F_1)

ได้มาจากคะแนนรวมของงานด้านคุณภาพบัณฑิต ดังเช่นคะแนนในการจัดการเรียนการสอน คะแนนเป็นอาจารย์นิเทศหรือเป็นที่ปรึกษาโครงการ คะแนนเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาห่มุเรียนหรือเป็นที่ปรึกษากิจการรรม ดังสมการที่ 1

$$F_1 = \frac{\sum_{i=1}^n (Quality_i) \times 100}{\sum_{i=1}^n (Full_Quality_i)} \quad (1)$$

$Quality$ คือคะแนนงานด้านคุณภาพบัณฑิต

n คือกลุ่มของคะแนนย่อยในส่วนของการงานด้านคุณภาพบัณฑิต

$Full_Quality$ คือคะแนนเต็มของงานด้านคุณภาพบัณฑิต

ลักษณะเด่น 2 (Feature 2: F_2)

ได้มาจากคะแนนของงานด้านการวิจัย งานสร้างสรรค์หรือตำรา ดังเช่นคะแนนผลงานวิจัยหรืองานสร้างสรรค์ คะแนนตำราทางวิชาการ ดังสมการที่ 2

$$F_2 = \frac{Research \times 100}{Full_Research} \quad (2)$$

$Research$ คือคะแนนงานด้านงานวิจัย งานสร้างสรรค์หรือตำรา

$Full_Research$ คือคะแนนเต็มของงานด้านงานวิจัย งานสร้างสรรค์หรือตำรา

ลักษณะเด่น 3 (Feature 3: F_3)

ได้มาจากคะแนนของงานด้านบริการ ทำนุบำรุงศิลปวัฒนธรรม ดังเช่นคะแนนการเป็นที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ภายนอกหรือเป็นกรรมการวิชาการ หรือกรรมการวิชาชีพ คะแนนให้บริการวิชาการหรือวิชาชีพ คะแนนอนุรักษ์ ส่งเสริมและเผยแพร่ศิลปวัฒนธรรม ดังสมการที่ 3

$$F_3 = \frac{\sum_{i=1}^n (Culture_i) \times 100}{\sum_{i=1}^n (Full_Culture_i)} \quad (3)$$

Culture คือคะแนนงานด้านบริการ ทำนุบำรุงศิลปวัฒนธรรม

n คือกลุ่มของคะแนนย่อยในส่วนของงานด้านบริการ ทำนุบำรุงศิลปวัฒนธรรม

Full_Culture คือคะแนนเต็มของงานด้านบริการ ทำนุบำรุงศิลปวัฒนธรรม

ลักษณะเด่น 4 (Feature 4: F_4)

ได้มาจากคะแนนของงานด้านที่ผู้รับการประเมินตกลงกับผู้บังคับบัญชา หรืองานด้านการสนับสนุน สถาบัน สำนัก คณะ หรือมหาวิทยาลัย ดังเช่น คะแนนของงานที่ผู้รับการประเมินตกลงกับผู้บังคับบัญชา คะแนนงานสนับสนุนกิจกรรมของคณะ สถาบัน สำนัก หรือมหาวิทยาลัย และคะแนนการเป็นประธานหรือกรรมการสาขาวิชา หรือคณะกรรมการคณะ สำนัก สถาบัน ดังสมการที่ 4

$$F_4 = \frac{\sum_{i=1}^n (Responsible_i) \times 100}{\sum_{i=1}^n (Full_Responsible_i)} \quad (4)$$

Responsible คือคะแนนงานด้านที่ผู้รับการประเมินตกลงกับผู้บังคับบัญชา หรืองานด้านการสนับสนุน สถาบัน สำนัก คณะ หรือมหาวิทยาลัย

n คือกลุ่มของคะแนนย่อย

Full_Responsible คือคะแนนเต็มของงานด้านที่ผู้รับการประเมินตกลงกับผู้บังคับบัญชา หรืองานด้านการสนับสนุน สถาบัน สำนัก คณะ หรือมหาวิทยาลัย

ลักษณะเด่น 5 (Feature 5: F_5)

ได้มาจากคะแนนการประเมินด้านพฤติกรรม ดังเช่นการมุ่งผลสัมฤทธิ์ การบริการที่ดี การยึดมั่นในความถูกต้องชอบธรรมและจริยธรรม การทำงานเป็นทีม ความมั่นใจในตนเอง และการสร้างสัมพันธภาพ ดังสมการที่ 5

$$F_5 = \frac{\sum_{i=1}^n (Behavior_i) \times 100}{\sum_{i=1}^n (Full_Behavior_i)} \quad (5)$$

Behavior คือคะแนนงานด้านพฤติกรรม

n คือกลุ่มของคะแนนย่อยในส่วนของงานด้านพฤติกรรม

Full_Behavior คือคะแนนเต็มของงานด้านพฤติกรรม ข้อมูล $F1$ ถึง $F5$ คือคุณลักษณะเด่นที่สำคัญในการ

ประเมินผลการปฏิบัติงานของบุคลากร เมื่อได้ข้อมูลบุคลากรของแต่ละบุคคลและสังกัดลักษณะเด่นออกมาจะถูกนำไปทำการปรับเปลี่ยนข้อมูลให้เหมาะสมโดยจะทำการลบข้อมูลที่อยู่ไกลออกจากกลุ่มค่าเฉลี่ย (Outlier Removal) ประมาณ 2% ของข้อมูลบุคลากรทั้งหมด เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ดี ที่เหมาะสมสำหรับนำไปใช้ในการฝึกระบบ ในส่วนของผลลัพธ์จะจำแนกกลุ่มออกเป็น 4 กลุ่ม คือกลุ่มดีมาก (Excellent) กลุ่มดี (Good) กลุ่มพอใช้ (Average) และกลุ่มอ่อน (Weak)

2.3 วิธีการประเมินผลบุคลากร

ในการประเมินผลบุคลากรในงานวิจัยได้ทดสอบกับวิธีการของเบย์ส วิธีการเคเนียร์เชเนเบอร์ และวิธีการโครงข่ายประสาทเทียมดังนี้

2.3.1 วิธีการเบย์ส (Bayes Classification)

วิธีการของเบย์ส [5], [6] เป็นวิธีการจำแนกกลุ่มของข้อมูลโดยใช้ค่าความน่าจะเป็น โดยจะนำเอาข้อมูลที่ได้จากการสังกัดลักษณะเด่นมาทำการฝึก (Train) เพื่อใช้ในการจำแนกกลุ่มของข้อมูล ในงานวิจัยเริ่มขั้นตอนแรกจากวิธีการของเบย์สคือ การหาค่าเฉลี่ย (Mean) ของแต่ละกลุ่ม ซึ่งจากงานวิจัยจะมีจำนวนกลุ่มจำนวน 4 กลุ่ม จากสมการที่ 6

$$\bar{\mu} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \bar{x}_k \quad (6)$$

$\bar{x}$ คือค่าพีเจอร์เวกเตอร์ของข้อมูล

n คือจำนวนข้อมูลในแต่ละกลุ่มที่นำมาใช้ในการฝึก

ขั้นตอนที่สองจะทำการคำนวณหาค่าเมทริกซ์ความแปรปรวน (Covariance Matrices) จากสมการที่ 7

$$\varepsilon_i = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n (\bar{x}_k - \bar{\mu}_i)^T (\bar{x}_k - \bar{\mu}_i) \quad (7)$$

$\bar{x}$ คือค่าพีเจอร์เวกเตอร์ของข้อมูล

$\bar{\mu}_i$ คือค่าพีเจอร์เวกเตอร์ข้อมูลเฉลี่ยของกลุ่ม i

n คือจำนวนข้อมูลในแต่ละกลุ่มที่นำมาใช้ในการฝึก

ขั้นตอนที่สามให้หาค่าความน่าจะเป็นของข้อมูลทดสอบแต่ละตัวว่ามีความน่าจะเป็นที่จะอยู่กลุ่มไหน (ความน่าจะเป็นของข้อมูล $\bar{x}$ อยู่ในกลุ่มไหน) โดยคำนวณค่าความน่าจะเป็นดังสมการที่ 8

$$f(\bar{x} / w_i) = \frac{1}{(2\pi)^{L/2} |\varepsilon_i|^{1/2}} \exp\left(-\frac{1}{2} (\bar{x} - \bar{\mu}_i)^T \varepsilon_i^{-1} (\bar{x} - \bar{\mu}_i)\right) \quad (8)$$

$\bar{x}$ คือค่าพีเจอร์เวกเตอร์ของข้อมูล
 $\bar{u}_i$ คือค่าพีเจอร์เวกเตอร์ข้อมูลเฉลี่ยของกลุ่ม i
 L คือจำนวนพีเจอร์เวกเตอร์หรือจำนวนคุณลักษณะเด่นที่ใช้ ซึ่งจากงานวิจัยนี้ $L = 5$
 $\mathcal{E}_i$ คือ ค่าเมตริกซ์ความแปรปรวนของกลุ่ม i
 ขั้นตอนที่สี่ เมื่อทำการคำนวณค่าความน่าจะเป็นของข้อมูลที่ทดสอบในแต่ละกลุ่มแล้วให้ทำการจำแนกกลุ่ม (Class) โดย
 ถ้า $f(\bar{x}/w_1) > f(\bar{x}/w_2)$ และ $f(\bar{x}/w_1) > f(\bar{x}/w_3)$ และ $f(\bar{x}/w_1) > f(\bar{x}/w_4)$ แสดงว่าเป็น Class 1
 ถ้า $f(\bar{x}/w_2) > f(\bar{x}/w_1)$ และ $f(\bar{x}/w_2) > f(\bar{x}/w_3)$ และ $f(\bar{x}/w_2) > f(\bar{x}/w_4)$ แสดงว่าเป็น Class 2
 ถ้า $f(\bar{x}/w_3) > f(\bar{x}/w_1)$ และ $f(\bar{x}/w_3) > f(\bar{x}/w_2)$ และ $f(\bar{x}/w_3) > f(\bar{x}/w_4)$ แสดงว่าเป็น Class 3
 ถ้า $f(\bar{x}/w_4) > f(\bar{x}/w_1)$ และ $f(\bar{x}/w_4) > f(\bar{x}/w_2)$ และ $f(\bar{x}/w_4) > f(\bar{x}/w_3)$ แสดงว่าเป็น Class 4
 โดย w_1 คือ Class 1 (Excellence), w_2 คือ Class 2 (Good), w_3 คือ Class 3 (Average) และ w_4 คือ Class 4 (Weak)

2.3.2 วิธีการเคเนียร์เนสเตอร์ (K-Nearest Neighbor)
 วิธีการ K-NN [7], [8] เป็นวิธีการจำแนกกลุ่มของข้อมูลวิธีการหนึ่งโดยอาศัยการพิจารณาเพื่อนบ้านที่ใกล้เคียง หลักการคือจะเปรียบเทียบการขยายกรอบหรือขอบเขตของข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบ (Test Data) เพื่อหาจุดที่ใกล้เคียงที่ได้เท่ากับจำนวน K (K-NN) ที่ต้องการ ในงานวิจัยนี้จะใช้ $K = 15$ ในการทดสอบประสิทธิภาพ เนื่องจากเป็นผลลัพธ์ที่ดีที่สุดจากการทดสอบทั้งหมด ตั้งแต่ $K = 1$ ถึง $K = 30$

ขั้นตอนแรกทำการวัดระยะห่างของข้อมูลโดยวิธีการวัดระยะห่างยูคลิดีเนียน (Euclidean Distant) ดังสมการที่ 9

$$D_E = \sqrt{(F1_{Te} - F1_{Tr})^2 + (F2_{Te} - F2_{Tr})^2 + (F3_{Te} - F3_{Tr})^2 + (F4_{Te} - F4_{Tr})^2 + (F5_{Te} - F5_{Tr})^2} \quad (9)$$

D_E คือระยะห่างระหว่างข้อมูลทดสอบและข้อมูลฝึกที่ได้จากวิธีการวัดระยะห่างยูคลิดีเนียน

F คือพีเจอร์ทั้งหมดตั้งแต่ตัวที่ 1 ถึง 5

T_e คือข้อมูลทดสอบ (Test Data)

T_r คือข้อมูลฝึก (Train Data)

ขั้นตอนที่สองจะทำการเรียงลำดับของข้อมูลจากระยะทางที่น้อยสุดไปมากที่สุดโดยใช้การเรียงลำดับแบบเร็ว (Quick

Sort) [9] เพื่อใช้เป็นข้อมูลที่สำคัญในการตัดสินใจโดยวิธีการของ K-NN

ขั้นตอนที่สามจะเป็นการขยายกรอบหรือขอบเขตของข้อมูลซึ่งในที่นี้จะเป็นการเอาข้อมูลตามจำนวน K-NN มาพิจารณา (ข้อมูลที่เรียงจากน้อยไปมาก) เพื่อดูว่าข้อมูลที่ทดสอบน่าจะถูกประเมินว่าจะอยู่กลุ่มใดโดยดูจากค่าความน่าจะเป็นที่ได้จากสมการที่ 10

$$P(w_i/\bar{x}) = \frac{k_i}{k_n} \quad (10)$$

$P(w_i/\bar{x})$ คือค่าความน่าจะเป็นของข้อมูลที่ทดสอบว่าจะอยู่ในกลุ่มใด

k_i คือจำนวนข้อมูลของกลุ่ม i ที่อยู่ในขอบเขต

k_n คือจำนวนข้อมูลที่ต้องการจะนำมาใช้ในการพิจารณาเพื่อทำนาย (K-NN)

w_i คือกลุ่มของข้อมูลทั้ง 4 กลุ่ม

ขั้นตอนที่สี่ เมื่อทำการคำนวณค่าความน่าจะเป็นของข้อมูลที่ทดสอบในแต่ละกลุ่มแล้วให้ทำการจำแนกกลุ่มโดย

ถ้า $P(w_1/\bar{x}) > P(w_2/\bar{x})$ และ $P(w_1/\bar{x}) > P(w_3/\bar{x})$ และ $P(w_1/\bar{x}) > P(w_4/\bar{x})$ แสดงว่าเป็น Class 1

ถ้า $P(w_2/\bar{x}) > P(w_1/\bar{x})$ และ $P(w_2/\bar{x}) > P(w_3/\bar{x})$ และ $P(w_2/\bar{x}) > P(w_4/\bar{x})$ แสดงว่าเป็น Class 2

ถ้า $P(w_3/\bar{x}) > P(w_1/\bar{x})$ และ $P(w_3/\bar{x}) > P(w_2/\bar{x})$ และ $P(w_3/\bar{x}) > P(w_4/\bar{x})$ แสดงว่าเป็น Class 3

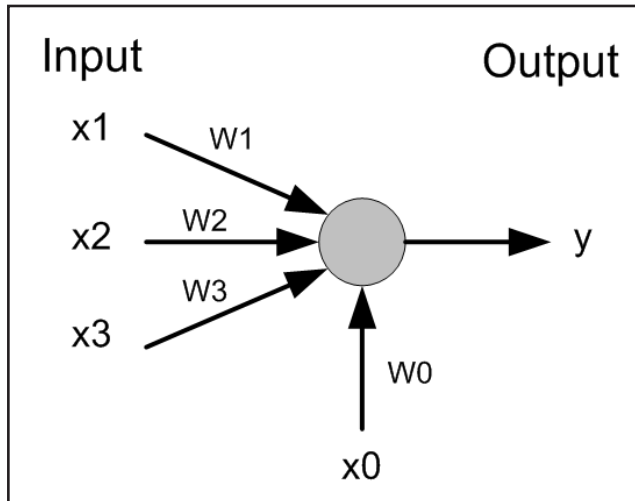
ถ้า $P(w_4/\bar{x}) > P(w_1/\bar{x})$ และ $P(w_4/\bar{x}) > P(w_2/\bar{x})$ และ $P(w_4/\bar{x}) > P(w_3/\bar{x})$ แสดงว่าเป็น Class 4

โดย w_1 คือ Class 1 (Excellence), w_2 คือ Class 2 (Good), w_3 คือ Class 3 (Average) และ w_4 คือ Class 4 (Weak)

2.3.3 วิธีโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network)

โครงข่ายประสาทเทียม [10], [11] เป็นกระบวนการทางคณิตศาสตร์ที่จำลองมาจากการทำงานของระบบสมองของมนุษย์เพื่อนำมาใช้ประโยชน์ในการตัดสินใจ การทำนาย การจำแนก และอื่นๆ รูปแบบของโครงข่ายประสาทเทียมพื้นฐานจะประกอบด้วยเซลล์ประสาท (Neuron) เพียง 1 เซลล์ ซึ่งเราเรียกว่าสถาปัตยกรรมเพอร์เซปตรอน [12] (Perceptron Architecture) โดยที่อินพุตต่างๆ จะถูกส่งผ่านกลุ่มใยประสาทนำเข้า (Dendrites) เข้าสู่เซลล์ประสาท เพื่อทำการประมวลผลและส่งผลลัพธ์ออกมาทางแกนประสาท (Axon) โดยการ

ประมวลผลจะใช้ผลรวมของผลคูณ (Sum of Product) ของข้อมูลอินพุตและค่าน้ำหนัก (Weight) ที่โยประสาทนำเข้า ตัวอย่างของรูปแบบสถาปัตยกรรมเพอร์เซปตรอน แสดงดังภาพที่ 2 โดยข้อมูล x_1 ถึง x_3 คือข้อมูลอินพุต w_1 ถึง w_3 คือค่าน้ำหนัก และ y คือเอาต์พุตที่ได้จากการประมวลผลของเซลล์ประสาท



ภาพที่ 2 โครงข่ายเพอร์เซปตรอน

โครงข่ายเพอร์เซปตรอนเป็นพื้นฐานและเป็นต้นแบบของโครงข่ายประสาทเทียมชนิดอื่นๆ ในงานวิจัยนี้ได้ใช้สถาปัตยกรรมเพอร์เซปตรอนแบบหลายชั้น [13], [14] (Multi-Layer Perceptron: MLP) และใช้ขั้นตอนการเรียนรู้แบบแพร่ย้อนกลับ [15], [16] (Back Propagation Learning Algorithm) ซึ่งวิธีการนี้สามารถแก้ปัญหาที่มีความซับซ้อนได้อย่างมีประสิทธิภาพ

สถาปัตยกรรมเพอร์เซปตรอนแบบหลายชั้นจะประกอบไปด้วยชั้นอินพุต (Input Layer) ชั้นซ่อน (Hidden Layer) และชั้นเอาต์พุต (Output Layer) แสดงดังภาพที่ 3

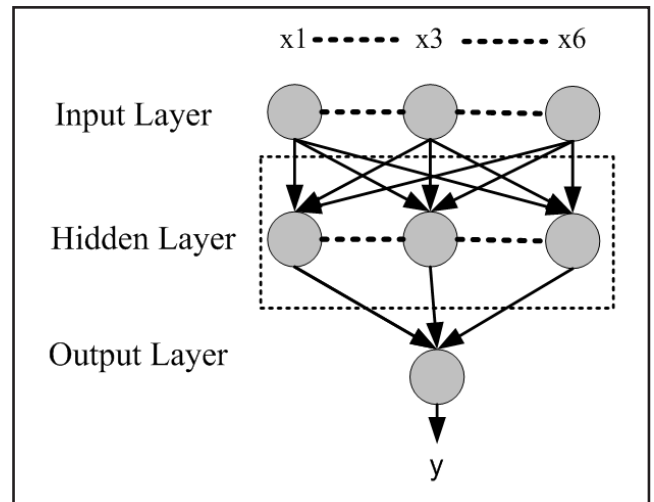
ข้อมูลที่เข้ามาจะถูกส่งไปคำนวณในชั้นซ่อนเพื่อหาผลรวมของผลคูณของข้อมูลเข้าและค่าน้ำหนัก แสดงดังสมการที่ 11

$$y = \sum_{i=0}^n x_i \cdot w_i \quad (11)$$

y คือค่าผลรวมของผลคูณข้อมูลเข้า (x_i) และน้ำหนัก (w_i)
 i คือจำนวนข้อมูลเข้าหรือจำนวนค่าน้ำหนัก

นำผลลัพธ์ที่ได้ไปคำนวณในฟังก์ชันการแปลงถ่ายทอดข้อมูล (Sigmoid Function) ดังสมการที่ 12

o คือค่าผลลัพธ์ของชั้นซ่อน



ภาพที่ 3 โครงข่ายเพอร์เซปตรอนแบบหลายชั้น โครงข่ายเพอร์เซปตรอน

$$o = g(y) \frac{1}{1 + e^{-y}} \quad (12)$$

y คือค่าผลรวมของผลคูณข้อมูลเข้า (x_i) และน้ำหนัก (w_i) จากผลลัพธ์ของชั้นซ่อนก็จะถูกส่งไปยังชั้นเอาต์พุต ซึ่งในส่วนของชั้นเอาต์พุตจะมีการเปรียบเทียบกับค่าผลลัพธ์ที่ประมวลผลได้และผลลัพธ์เป้าหมาย ซึ่งถ้าได้ผลลัพธ์ที่ยอมรับได้ก็จะหยุดการปรับค่าน้ำหนัก แต่ถ้ายังไม่อยู่ในช่วงของผลลัพธ์ที่ยอมรับได้ ก็จะเข้าสู่กระบวนการเรียนรู้แบบแพร่ย้อนกลับ ซึ่งจะเป็นกระบวนการปรับค่าน้ำหนักจนกว่าจะได้ค่าที่เหมาะสม โดยสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 13 และ 14

$$\delta_k = O_k(1 - O_k)(T_k - O_k) \quad (13)$$

$$\delta_l = O_l(1 - O_l) \left(\sum_{k \in O} w_{kl} \delta_k \right) \quad (14)$$

δ_k คือค่าความผิดพลาดที่คำนวณจากชั้นผลลัพธ์

δ_l คือค่าความผิดพลาดที่คำนวณจากชั้นซ่อน

T_k คือค่าผลลัพธ์เป้าหมาย

O_k คือค่าผลลัพธ์ที่ประมวลผลได้จากชั้นผลลัพธ์

O_l คือค่าผลลัพธ์ที่ประมวลผลได้จากชั้นซ่อน

w คือค่าน้ำหนัก

k และ l คือดัชนีของโหนดชั้นผลลัพธ์และชั้นซ่อน

ในกรณีค่าผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลและผลลัพธ์เป้าหมาย ยังมีความแตกต่างกันสูง จะกระทำการปรับค่าน้ำหนักเพื่อหาค่าน้ำหนักที่เหมาะสมกับงาน การปรับค่าน้ำหนักแสดงดังสมการที่ 15 และ 16

$$w_i^{new} = w_i^{old} + \Delta w_i \quad (15)$$

$$\Delta w_i = \delta_i x_i \quad (16)$$

w_i^{new} คือค่าน้ำหนักใหม่ที่ได้จากการคำนวณ

w_i^{old} คือค่าน้ำหนักเก่า

Δw_i คืออัตราการเปลี่ยนแปลง

α คืออัตราการเรียนรู้ (Learning Rate)

δ_i คือค่าความผิดพลาดของผลลัพธ์

x_i คือค่าข้อมูลชั้นนำเข้า

i คือจำนวนข้อมูลเข้าหรือจำนวนค่าน้ำหนัก

การทำงานของสถาปัตยกรรมเพอร์เซปตรอนแบบหลายชั้น และใช้การเรียนรู้แบบแพร่ย้อนกลับ จะกระทำฝึกสอน (Train) โดยการปรับค่าน้ำหนักไปจนกระทั่งได้ค่าความผิดพลาดที่น้อยที่สุดหรือได้ค่าความผิดพลาดที่ยอมรับได้ เมื่อได้ค่าน้ำหนักที่เหมาะสมแล้วก็จะนำไปใช้ทดสอบ (Test) และนำผลลัพธ์ที่ได้ทำการทดสอบไปคำนวณด้วยฟังก์ชันการแปลงถ่ายทอดข้อมูล (Threshold Function) เพื่อให้ได้คำตอบที่เป็นจริงหรือเท็จ ใช่หรือไม่ใช่ หรือ “0” หรือ “1” ดังสมการที่ 17

$$f(x) = \begin{cases} 1 & \text{if } x > T \\ 0 & \text{if } x \leq T \\ \text{Random} & \text{if } x = T \end{cases} \quad (17)$$

ค่าผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลจะเป็น 1 ในกรณีที่ค่าผลลัพธ์ x มีค่ามากกว่าค่า Threshold เปรียบเสมือนการตัดสินใจว่าใช่ ค่าผลลัพธ์จะเป็น 0 ในกรณีที่ค่าผลลัพธ์ x มีค่าน้อยกว่า Threshold เปรียบเสมือนการตัดสินใจว่าไม่ใช่ และถ้าค่าผลลัพธ์ที่ได้เท่ากับค่า Threshold ให้ทำการสุ่มการตัดสินใจว่าจะเป็น “0” หรือ “1”

3. ผลการทดสอบประสิทธิภาพของงานวิจัย

ในงานวิจัยทำการทดสอบประสิทธิภาพของวิธีการประเมินบุคลากร โดยจะใช้ข้อมูลจากผู้ประเมิน 2 คน ซึ่งเป็นผู้เชี่ยวชาญในการประเมินและให้เป็นข้อมูลความจริง (Ground Truth) เพื่อใช้อ้างอิงในการฝึกระบบประเมินบุคลากร ข้อมูลทดสอบของผู้เชี่ยวชาญคนที่ 1 จำนวน 160 ชุดข้อมูล และข้อมูลทดสอบของผู้เชี่ยวชาญคนที่ 2 จำนวน 160 ชุดข้อมูล

การทดสอบในส่วนแรกจะทำการทดสอบกับข้อมูลที่จะเป็นข้อมูลสำหรับการฝึกของระบบประเมินบุคลากร โดยจะทำการทดสอบกับวิธีการโครงข่ายประสาทเทียม วิธีการของเบย์ส์ และวิธีการของเคเนย์เรชันเบอร์ และจะใช้ 25% Cross Validation [17], [18] ซึ่งเป็นการวัดประสิทธิภาพของกลุ่มที่ละ 25% จากนั้นความถูกต้องของวิธีการจะถูกคำนวณโดยใช้ตารางสรุปผลรวมของความถูกต้อง (Confusion Matrices หรือ Actual Table) ความถูกต้องของผลการทดสอบสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 18

$$Correct = \frac{Correct \text{ Actual Table} \times 100}{Number \text{ of Test Data}} \quad (18)$$

Correct คือค่าความถูกต้องของการทำนาย

Correct Actual Table คือจำนวนความถูกต้องจากตารางความจริงตามแนว Correct ทแยง

Number of Test Data คือจำนวนของข้อมูลทดสอบ

วิธีการของโครงข่ายประสาทเทียมในงานวิจัยได้กำหนดชั้นอินพุตจำนวน 5 โหนด ชั้นซ่อน 5 โหนด และ 1 โหนดในชั้นเอาต์พุต ผลการทดสอบที่ทำการทดสอบกับวิธีการทั้ง 3 วิธี สรุปได้ดังตารางที่ 1 และตารางที่ 2

ตารางที่ 1 ตารางสรุปผลการทดสอบประสิทธิภาพโดยเปรียบเทียบกับคนที่ 1

Person1	Bayes	K-NN	ANN
Test1	60.00%	85.00%	90.00%
Test2	72.50%	95.00%	100%
Test3	65.00%	80.00%	95.00%
Test4	70.00%	85.00%	90.00%
Average	66.88%	86.50%	93.75%

ตารางที่ 2 ตารางสรุปผลการทดสอบประสิทธิภาพโดยเปรียบเทียบกับคนที่ 2

Person1	Bayes	K-NN	ANN
Test1	62.50%	82.50%	92.50%
Test2	67.50%	78.00%	95.00%
Test3	67.50%	80.00%	92.50%
Test4	62.50%	75.00%	90.00%
Average	65.00%	78.88%	92.50%

จากการทดสอบผลลัพธ์ดังตารางที่ 1 และ ตารางที่ 2 แสดงให้เห็นว่าวิธีการตัดสินใจทุกวิธีสามารถตัดสินใจได้ดีทุกวิธี โดยเฉพาะวิธีการของโครงข่ายประสาทเทียม เนื่องจากวิธีการนี้จะปรับค่าต่างๆ ในการตัดสินใจให้ใกล้เคียงกับต้นแบบนั่นเอง ซึ่งโดยปกติแล้ววิธีการเรียนรู้แบบมีผู้สอนจะมีประสิทธิภาพกว่าวิธีการเรียนรู้แบบไม่มีผู้สอน ส่วนวิธีการของเคเนียร์เชนเบอร์ได้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าวิธีการของเบย์ส

ในการทดสอบถัดไปเป็นการทดสอบที่เอาข้อมูลทั้งหมดที่มีอยู่จำนวน 160 ตัว ของแต่ละผู้ประเมิน เป็นข้อมูลฝึกและนำข้อมูลใหม่ของบุคลากรผู้ที่จะถูกประเมินจำนวน 50 คน เป็นข้อมูลสำหรับการทดสอบ โดยจะทำการแยกข้อมูลฝึกของผู้ประเมินในแต่ละคน เปรียบเสมือนเป็นการทดสอบผลลัพธ์ที่ได้จากวิธีการที่นำเสนอเปรียบเทียบกับผู้ประเมินแต่ละคน ซึ่งสามารถสรุปผลการทดสอบได้ดังในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ตารางสรุปค่าเฉลี่ยผลการทดสอบประสิทธิภาพของชุดข้อมูลใหม่ จำนวน

Result	Bayes	K-NN	ANN
Person1	74%	80%	96%
Person2	70%	78%	94%

จากการทดสอบผลลัพธ์ดังตารางที่ 3 โดยใช้ข้อมูลใหม่จำนวน 50 ชุด เป็นข้อมูลทดสอบ พบว่าวิธีการที่นำเสนอยังสามารถประเมินผลบุคลากรได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งใกล้เคียงกับผู้ที่เป็นต้นแบบในการประเมิน เนื่องจากวิธีการของโครงข่ายประสาทเทียมจะปรับการตัดสินใจจนได้ใกล้เคียงกับต้นแบบนั่นเอง ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าข้อมูลที่เป็นต้นแบบสำหรับการฝึกโครงข่ายประสาทเทียมมีเพียงพอที่จะสามารถนำเป็นต้นแบบที่จำลองการทำงานของผู้ประเมินอย่างมีประสิทธิภาพ

ในการทดสอบถัดไปจะเป็นการทดสอบประสิทธิภาพของทั้ง 5 ฟีเจอร์ เปรียบเทียบกับการรวมข้อมูลทั้งหมดให้เป็น 1 ฟีเจอร์ โดยจะนำเอาข้อมูลที่เป็นผลรวมคะแนนทั้งหมดมารวมกันเป็น 1 ฟีเจอร์ (เปรียบเสมือนผลรวมของคะแนนแล้วตัดสินใจ) จากนั้นให้ทำการทดสอบเปรียบเทียบกับ 5 ฟีเจอร์ การทดสอบจะทดสอบกับวิธีการทั้งหมดที่นำเสนอ โดยจะใช้

ตารางที่ 4 ตารางสรุปค่าเฉลี่ยผลการทดสอบประสิทธิภาพของชุดข้อมูลใหม่ จำนวน

Result	Person1			Person2		
	Bayes	K-NN	ANN	Bayes	K-NN	ANN
1 Feature	50%	66%	82%	66%	70%	80%
5 Feature	74%	80%	96%	70%	78%	80%

ข้อมูลใหม่ของบุคลากรผู้ประเมินจำนวน 50 คน ทดสอบเพื่อหาประสิทธิภาพ ซึ่งสรุปผลการทดสอบได้ดังตารางที่ 4

จากการทดสอบดังตารางที่ 4 พบว่าทั้ง 5 ฟีเจอร์ มีความเหมาะสมกับการนำไปใช้มากกว่าใช้ผลรวมเพียง 1 ฟีเจอร์ ซึ่งการใช้ 5 ฟีเจอร์ เปรียบเสมือนการตัดสินใจในหลายมิติ ซึ่งจะส่งผลให้มีประสิทธิภาพที่ดีกว่าการประเมินโดยใช้เพียง 1 ฟีเจอร์

ในการทดสอบลำดับสุดท้ายจะเป็นการทดสอบเพื่อดูประสิทธิภาพของวิธีการที่นำเสนอโดยดูจากค่าความคลาดเคลื่อนในการประเมินระหว่างผู้ประเมินจำนวน 2 คน ในการประเมินบุคลากรข้อมูลเดิมที่รู้ผลการประเมินจำนวน 50 คน (ใช้วิธีการสุ่มจากข้อมูลเดิม) ซึ่งเป็นข้อมูลชุดเดียวกันซึ่งสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ตารางสรุปค่าความคลาดเคลื่อนของผู้ประเมิน

Result	Correct
Person1	98%
Person2	94%
Average	96%

จากการทดสอบความคลาดเคลื่อนของผู้ประเมินแสดงให้เห็นว่ามีค่าความผิดพลาดของความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของผู้ประเมินประมาณ 4% ซึ่งใกล้เคียงกับระบบประเมินผลบุคลากรโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม ซึ่งแสดงว่าวิธีการที่นำเสนอสามารถทำงานใกล้เคียงกับผู้ประเมินแต่มีความสะดวกและรวดเร็วกว่ามาก ถ้าผู้ประเมินประเมินด้วยความเร่งรีบ การประเมินในแต่ละครั้งก็จะทำให้ได้ค่าความผิดพลาดสูง ดังนั้นหากใช้ระบบประเมินผลบุคลากรโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมจะเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการประเมินผลบุคลากรได้อย่างมีประสิทธิภาพ

4. สรุปผลการวิจัย

ในการพัฒนาระบบประเมินบุคลากรโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม เริ่มจากการคำนวณหาคุณลักษณะเด่นที่ได้จากข้อมูลการประเมิน จากนั้นนำเอาลักษณะเด่นทั้งหมดไปเข้าสู่กระบวนการของโครงข่ายประสาทเทียมเพื่อฝึกโครงข่ายประสาทเทียมในการประเมินบุคลากรให้สามารถตัดสินใจได้ใกล้เคียงกับผู้ประเมิน จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าวิธีการที่นำเสนอ สามารถตัดสินใจได้เป็นผลที่ดี ซึ่งมีความถูกต้องในการประเมินประมาณ 93% ดังนั้นในงานวิจัยนี้สามารถที่จะนำไปประยุกต์ใช้ในการประเมินบุคลากรของแต่ละหน่วยงานได้อย่างเหมาะสม ซึ่งจะเป็นเครื่องมือที่เหมาะสมในการช่วยเหลือผู้ประเมินได้เป็นอย่างดี ทำให้สามารถทำงานได้อย่างถูกต้องและรวดเร็วยิ่งขึ้น เปรียบเสมือนเป็นการสร้างสมองจำลองในการตัดสินใจของผู้ประเมิน อีกทั้งงานวิจัยนี้สามารถนำแนวคิดและระบบไปประยุกต์ใช้งานอื่นๆ ในการตัดสินใจปัญหาด้านอื่นที่มีปัญหาใกล้เคียงได้อย่างเหมาะสม

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] T.M. Mitchell. "Machine Learning, McGraw-Hill." 1997.
- [2] T.E. Nordlander, "Artificial Intelligence: A Modern Approach, Prentice Hall." 2003.
- [3] K. Somguntar, and P. Puangsuwan. "The Development an Automatic Examination Items Generator System by Genetic Algorithm." *The 3rd International Conference on Education and Information System Technologies and Applications: EISTA05*, 2005.
- [4] K. Somguntar. W. Kultangwattana, T. Hassago, and J. Rodchompoo. "Online Student Forecast System by Using K-Nearest Neighbor." *The 3rd International Conference on Knowledge and Smart Technologies*, 2011.
- [5] S. Theodoridis, and K. Koutroumbas. "Pattern Recognition." Academic Press, 1999.
- [6] S. Aeberhard, D. Coomans, and O. Devel. "Comparative Analysis of Statistical pattern Recognition Methods in High Dimensional Setting." *Pattern Recognition*, Vol. 27, pp. 1065-1077, 1994.
- [7] B.V. Dasarasthy. "Nearest Neighbor Pattern Classification Techniques." *IEEE Computer Society Press*, 1991.
- [8] G. Shakhnarovich, T. Darrel, and P. Indyk. "Nearest-Neighbor Methods in Learning and Vision." MIT Press, 2006.
- [9] R. Sedgewick. "Implementing quicksort programs." *Communications of the ACM*, Vol. 21, No.10, pp. 847-857, 1978.
- [10] C. Bishop. "Neural Networks for Pattern Recognition." Oxford, New York, 1995.
- [11] C.K. Chui, X. Li, and H.N. Mhaskar. "Neural networks for localized approximation." Center for Approximation Theory Report, 1993.
- [12] W.T. Miller, R.S. Sutton, and P.J. Werbos. "Neural Network for Control." The MIT Press, 1990.
- [13] A. Pinkus. "Approximation theory of the MLP model in Neural Networks." *Acta Numerica*, pp. 143-195.
- [14] K.A. Osman. "Monitoring of Resistance Spot-Welding Using Multi-Layer Perceptron." *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 12, pp. 67-73, 1994.
- [15] T.L. Fine. "Feedforward Neural Network Methodology." New York: Springer-Verlag, 1999.
- [16] D.C. Plaut, S.J. Nowlan, and G.E. Hinton. "Experiments on learning by back propagation." Carnegie-Mellon University, Department of Computer Science Technical Report, 1986.
- [17] R. Kohavi. "A Study of Cross-Validation and Boot-strap for Accuracy Estimation and Model Selection." *Proceedings of the 14th International Joint Conference on Artificial Intelligence*, pp. 1137-1143, 1995.
- [18] P.A. Devijver, and J. Kittler. "Pattern Recognition: A Statistical Approach." London: Prentice-Hall, 1982.