

การประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทเทียมในการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไป
สำหรับการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์แบบพหุมิติ

Artificial Neural Network Applications in Selecting the Next Item for
Multidimensional Computer-Adaptive Testing

ชัยมงคล ปินะสา^{1*} สำราญ มีแจ่ม² และ นันทิพย์ องอาจวานิชย์²

Chaimongkhon Pinasa^{1*}, Samran Mejang² and Namthip Ongardwanich²

(Received: December 11, 2023; Revised: January 25, 2024; Accepted: January 29, 2024)

บทคัดย่อ

การคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม (artificial neural network) มีขั้นตอนที่สำคัญ 5 ขั้นตอน คือ 1. การรวบรวมข้อมูล (dataset) 2. การเตรียมข้อมูล (data preparation) มี 2 วิธี คือ 2.1 การจัดรูปแบบข้อมูล (formatting) แล้วทำการแปลงข้อมูล (data transformation) และ 2.2 การทำความสะอาดข้อมูล (data cleaning) 3. สร้างโมเดล (modeling) ด้วย algorithms neural net ทำเหมืองข้อมูล (data mining) โดยแบ่งข้อมูล dataset เป็น 2 ส่วน คือ กลุ่มเรียนรู้ (train set) 80 %, กลุ่มทดสอบ (test set) 20 % ปรับค่าพารามิเตอร์ neural network ให้มีประสิทธิภาพดีที่สุด คือ training cycle, learning rate, momentum 4. ทดสอบประสิทธิภาพของโมเดลด้วยวิธีการ 10-Fold cross-validation และประเมินประสิทธิภาพของโมเดล (Evaluation) ด้วยค่าความถูกต้อง (accuracy) ค่าความแม่นยำ (precision) ค่าความระลึก (recall) และค่าความถ่วงดุล (F-measure) และ 5. ขั้นการนำแบบโมเดลไปใช้งานจริง (deployment) โดยพัฒนาในรูปแบบเว็บแอปพลิเคชัน MCAT ใช้ภาษา PHP เขียนสคริปต์ (scripting) คำสั่งต่าง ๆ ใช้ prediction API (Application Programming Interface) มาเชื่อมต่อ algorithms neural net กับ application MCAT ในขั้น item selection algorithm และใช้ฐานข้อมูล MySQL สำหรับจัดเก็บข้อมูลแต่ละ attribute บน cloud hosting

คำสำคัญ การคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไป ปัญหาประดิษฐ์ โครงข่ายประสาทเทียม การทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์แบบพหุมิติ

¹ นิสิตปริญญาเอก สาขาวิชานวัตกรรมทางการวัดผลการเรียนรู้ คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

² รองศาสตราจารย์ สาขาวิจัยและประเมินผลการศึกษา คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

¹ Doctoral degree student in Innovation in Learning Measurement Program, Faculty of Education, Naresuan University

² Associate Professor, Educational Research and Evaluation Program, Faculty of Education, Naresuan University

* Corresponding Author E-mail: chaimongkhonp63@nu.ac.th

Abstract

Selection for the next item using an artificial neural network has five important steps: 1. Dataset; 2. Data Preparation, comprising 2 methods—2.1 Formatting, followed by Data Transformation, and 2.2 Data Cleaning; 3. Modeling with Algorithms—Neural Net, Data mining by dividing the dataset into two parts: Train set—80%; Test set—20%. Adjust the parameter of the Neural Network to obtain the highest efficiency in the Training Cycle, Learning rate, and Momentum; 4 Test the performance of the model with the 10-fold cross-validation method and evaluate the performance of the model (Evaluation) with accuracy, precision, recall, and f-measure; and 5. Deployment Stage by developing the model in the form of a web application MCAT, using PHP language, scripting various commands, using the Prediction API (Application Programming Interface) to connect the algorithms Neural Net with the MCAT application in the item selection algorithm stage, and using a MySQL database for storing each attribute on cloud hosting.

Keywords: selecting the next item, artificial Intelligence, artificial neural network, multidimensional computerized adaptive testing

บทนำ

การทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์แบบพหุมิติ (Multidimensional Computerized Adaptive Testing: MCAT) เป็นวิธีการทดสอบที่มีการขยายแนวคิดมาจากการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์แบบเอกมิติ(Unidimensional Computerized Adaptive Testing: UCAT) ซึ่งเป็นวิธีการเฉพาะที่ใช้ในการประเมินความสามารถและคุณลักษณะแฝงอื่นๆ ในการเลือกข้อสอบให้เหมาะกับระดับความสามารถของผู้เข้าสอบ (Reckase, 2010) เป็นการลดจำนวนข้อสอบให้ผู้สอบตอบข้อสอบและเพิ่มความแม่นยำของการวัดเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการทดสอบแบบดั้งเดิมที่มีจำนวนข้อสอบคงที่ในแบบทดสอบ (Fixed Item Test: FIT) และเป็นการขยายแนวคิดจากโมเดลการตอบสนองข้อสอบแบบพหุมิติ (Multidimensional Item Response Theory Model : MIRT) (Kanjawasee, 2012) เนื่องจากการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์แบบพหุมิตินี้มีอัตราการใช้ข้อสอบที่แม่นยำกว่าเมื่อใช้ข้อสอบเท่ากัน สามารถลดจำนวนข้อสอบลงได้มากกว่าการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์แบบเอกมิติ 30-50% และมีประสิทธิภาพสูงกว่าถึง 1.3 เท่าและสามารถลดจำนวนข้อสอบลงได้มากกว่าการทดสอบแบบดั้งเดิมที่กำหนดจำนวนข้อสอบไว้ 70% โดยไม่สูญเสียความแม่นยำการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์แบบพหุมิติจึงมีประสิทธิภาพการทดสอบสูงกว่าการทดสอบแบบปรับเหมาะคอมพิวเตอร์แบบเอกมิติ (Frey & Seitz, 2009)

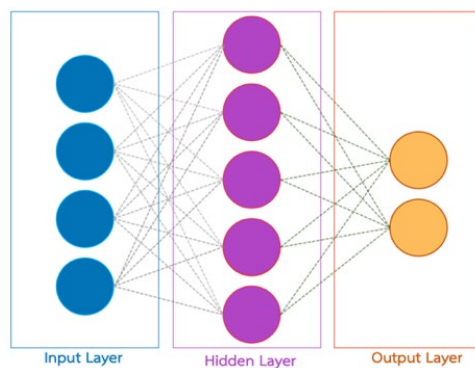
จากจุดเด่นของการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์แบบพหุมิติ สามารถคัดเลือกข้อสอบที่เหมาะสมกับความสามารถของผู้สอบมีประสิทธิภาพสูง มีความแม่นยำในการประมาณค่าความสามารถของ

ผู้สอบโดยใช้ข้อสอบและเวลาทดสอบที่ลดลงครึ่งหนึ่งของการทดสอบแบบดั้งเดิม จึงเป็นที่นิยมนำมาใช้ในการทดสอบ เนื่องการวัดผลทางการศึกษาและจิตวิทยาในปัจจุบันมีความท้าทายและซับซ้อนมากขึ้น เชื่อว่าข้อสอบที่สร้างขึ้นมามีวัดมิติความสามารถที่ซับซ้อนมากกว่าหนึ่งมิติ และลักษณะแฟงที่ถูกวัดเพิ่มขึ้นหรือการตอบสนองของรายการเป็นแบบหมวดหมู่มากกว่าแบบไบนารี (binary) (McDonald, 2000 ; Mujtaba & Mahapatra, 2020) อย่างไรก็ตามการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์แบบพหุมิตียังมีข้อจำกัดต่าง ๆ ในการทดสอบ (Chanthasaeng, 2020) เช่น การจำกัดจำนวนข้อสอบในคลังข้อสอบ จำกัดจำนวนข้อสอบในการยุติการทดสอบ วิธีการคัดเลือกข้อสอบที่เหมาะสม จำนวนมิติที่ใช้ในการทดสอบ รวมถึงการนำการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์แบบพหุมิตินำมาทดสอบใช้ในสถานการณ์จริง เพื่อช่วยผ่อนคลายข้อตกลงเบื้องต้นและลดข้อจำกัดต่าง ๆ ข้างต้น

ผู้นำเสนอใช้วิธีทางปัญญาประดิษฐ์ (artificial intelligence item classification) ในการจัดหมวดหมู่ข้อสอบให้อยู่ในรูปแบบต่างๆ ที่เหมาะสมที่สุด โดยใช้อัลกอริธึม neural network มาประยุกต์ใช้ในการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไป ช่วยให้ระบบมีความยืดหยุ่นและมีประสิทธิภาพ ระบบโครงข่ายประสาทเทียมนี้จึงเหมาะกับการประมวลผลแบบทันทีทันใด เนื่องจากการคำนวณที่ใช้สถาปัตยกรรมแบบคู่ขนาน ทำให้ได้คำตอบที่รวดเร็ว ยังมีรูปแบบการเรียนรู้ (pattern) ที่เหมาะสม เมื่อตัวอย่างสำหรับเรียนรู้มาก ระบบโครงข่ายประสาทเทียมนี้ก็จะยังมีความถูกต้องในการตัดสินใจมากขึ้น ระบบโครงข่ายประสาทเทียมจะมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นถ้ามีการนำเทคโนโลยีทางการคำนวณตรรกศาสตร์และทางวิศวกรรมคอมพิวเตอร์และปัญญาประดิษฐ์มารวมกันกับการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์แบบพหุมิติ (multidimensional computerized adaptive testing) ทำให้ได้องค์ความรู้ใหม่ในด้านนี้ชัดเจนมากขึ้นเรื่อย ๆ และทันต่อความก้าวหน้าทางวิทยาการ สามารถพัฒนาการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์แบบพหุมิติให้สมบูรณ์

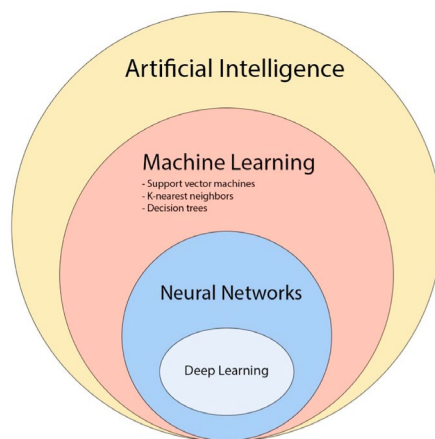
ทำความเข้าใจกับปัญญาประดิษฐ์ประเภทโครงข่ายประสาทเทียม (neural network)

ปัญญาประดิษฐ์ (artificial intelligence) คือแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ทำให้โปรแกรมสามารถเกิดการเรียนรู้จากข้อมูลที่ได้ทำการฝึกฝนไป ส่งผลให้โปรแกรมสามารถคาดการณ์หรือคาดเดาผลลัพธ์ที่มีความแปรปรวนสูงได้อย่างแม่นยำ การนำปัญญาประดิษฐ์ระดับการเรียนรู้เชิงลึก (deep learning) มาใช้งานโดยเป็นปัญญาประดิษฐ์ที่มีระดับการเรียนรู้แบบ supervised learning ซึ่งเป็นการเรียนรู้ที่ต้องมีชุดข้อมูลมาฝึกฝน ลักษณะการเรียนรู้ที่มีผลลัพธ์ที่คาดหวัง (desired output) เป็นตัวกำหนดที่ชัดเจนโดยผลลัพธ์ที่นำมาใช้ในงานวิจัยได้ คือ การให้ปัญญาประดิษฐ์มีความสามารถในการแยกแยะหรือทำการจัดกลุ่มได้ (classified machine learning) โดยการทำงานของโครงข่ายประสาทเทียม ทำงานเลียนแบบกับเซลล์ประสาทในสมองมนุษย์ ประกอบไปด้วยเซลล์ประสาทและเส้นประสาทเรียกโดยรวมว่า Artificial Neural Network (ANN) โดยการทำงานของ ANN ประกอบไปด้วย 3 ชั้นหลัก ๆ คือ ชั้นนำข้อมูลเข้า (input layer) ชั้นประมวลผลข้อมูล (hidden layer) และ ชั้นนำข้อมูลออก (output layer) โดยสามารถแสดงได้ดังภาพ 1



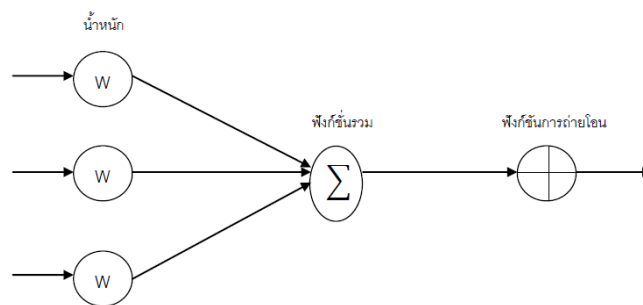
ภาพ 1 องค์ประกอบหลักของ Artificial Neural Network (ANN)

โครงข่ายประสาทเทียม (artificial neural network) เป็นศาสตร์แขนงหนึ่งของทางด้านปัญญาประดิษฐ์ (artificial intelligence) คือ แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่พัฒนาขึ้นเพื่อจำลองการทำงานของโครงข่ายประสาทในสมองมนุษย์ มีคุณลักษณะคล้ายกับการส่งผ่านสัญญาณประสาทในสมองของมนุษย์ กล่าวคือ มีความสามารถในการรวบรวมความรู้ (knowledge) โดยผ่านกระบวนการเรียนรู้ (learning process) และความรู้เหล่านี้จะจัดเก็บอยู่ในโครงข่ายในรูปค่าน้ำหนัก (weight) ซึ่งสามารถปรับเปลี่ยนค่าได้เมื่อมีการเรียนรู้สิ่งใหม่ๆ เข้าไป ค่าน้ำหนักเปรียบเสมือนความรู้ที่รวบรวมไว้เพื่อใช้ในการแก้ปัญหาเฉพาะอย่างของมนุษย์ (Prakorppon, 2009)



ภาพ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างปัญญาประดิษฐ์ การเรียนรู้ของเครื่อง โครงข่ายประสาทเทียม และการเรียนรู้เชิงลึก (Koçak et al., 2019)

การประมวลผลต่าง ๆ เกิดขึ้นในหน่วยประมวลผลย่อยเรียกว่า โหนด (node) ซึ่งโหนดเป็นการจำลองลักษณะการทำงานมาจากเซลล์การส่ง สัญญาณ (signal) ระหว่างโหนดที่เชื่อมต่อกัน (connection) จำลองมาจากการเชื่อมต่อของเดนไดรต์และแอกซอนในระบบประสาทของมนุษย์ภายในโหนดจะมีฟังก์ชันกำหนดสัญญาณส่งออกที่เรียกว่าฟังก์ชันกระตุ้น (activation function) หรือฟังก์ชันการเปลี่ยนแปลง ซึ่งทำหน้าที่เสมือนกระบวนการทำงานในเซลล์ (Prakorppon, 2009) ดังภาพ 3



ภาพ 3 โครงสร้างการทำงานของโครงข่ายประสาทเทียม

โครงข่ายประสาทเทียมมีเซลล์ประสาทเทียม หรือโหนด (node) จำนวนมากเชื่อมต่อกัน ซึ่งการเชื่อมต่อแบ่งออกเป็นกลุ่มย่อย เรียกว่า ชั้น (layer) ชั้นแรก เป็นชั้นนำข้อมูลเข้า เรียกว่า ชั้นรับข้อมูลป้อนเข้า (input layer) ส่วนชั้นสุดท้ายเรียกว่า ชั้นส่งข้อมูลออก (output layer) และชั้นที่อยู่ระหว่างชั้นรับข้อมูลป้อนเข้าและชั้นส่งข้อมูลออก เรียกว่า ชั้นแฝง (hidden layer) โดยทั่วไป ชั้นแฝงอาจมีมากกว่า 1 ชั้น ก็ได้โครงข่ายประสาทเทียม ประกอบด้วยองค์ประกอบ 5 องค์ประกอบ (Sotiwan, 2015; Chongwatpol, 2018) ดังนี้

- 1) ข้อมูลป้อนเข้า (input) เป็นข้อมูลตัวเลข หากเป็นข้อมูลเชิงคุณภาพต้องแปลงให้อยู่ในรูปแบบที่โครงข่ายประสาทเทียมยอมรับได้
- 2) ข้อมูลส่งออก (output) คือผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นจากกระบวนการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียม
- 3) ค่าน้ำหนัก (weights) คือสิ่งที่ได้จากการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียม ค่านี้อาจถูกเก็บเป็นทักษะเพื่อใช้ในการจดจำข้อมูลอื่นๆ ที่อยู่ในรูปแบบเดียวกัน
- 4) ฟังก์ชันรวม (combination function) เป็นการรวมผลของข้อมูลป้อนเข้า (input) โดยขึ้นกับค่าน้ำหนัก (weights) ของข้อมูลป้อนเข้า (input) แต่ละตัว
- 5) ฟังก์ชันการถ่ายโอน (transfer function) เป็นการคำนวณการจำลองการทำงานของโครงข่ายประสาทเทียม โดยคำนวณค่าข้อมูลส่งออก (output) ที่ได้จากฟังก์ชันรวม (combination function) ก่อนหน้านั้น

ฟังก์ชันกระตุ้น (activation function) เป็นส่วนที่ทำหน้าที่แปลงผลรวมของข้อมูลป้อนเข้าให้เป็นผลลัพธ์ในชั้นส่งออก ซึ่งสามารถแบ่งได้ 2 ประเภท (Jain et al., 1996) ดังนี้

1. ฟังก์ชันการแปลงเชิงเส้น เป็นฟังก์ชันที่สามารถเรียนรู้เพียงความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างชั้นข้อมูลป้อนเข้าและชั้นข้อมูลส่งออก ดังนั้นจะไม่สามารถหาคำตอบได้สำหรับบางกรณีที่ไม่ใช่เส้นตรง ค่าผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณจะมีค่าเท่ากับค่าที่ได้จากฟังก์ชันการแปลงเสมอ เหมาะสำหรับผลลัพธ์ที่ไม่มีการกำหนดขอบเขตค่าเป้าหมาย เช่น ฟังก์ชันสเต็ป (step function) ฟังก์ชันเครื่องหมาย (step function) ฟังก์ชันการแปลงฮาร์ดลิมิต (Hard limit activation function)

2. ฟังก์ชันการแปลงไม่ใช่เชิงเส้น ประกอบด้วยฟังก์ชันการแปลง 2 ชนิด คือ

2.1 ฟังก์ชันซิกมอยด์ (Sigmoid function) ฟังก์ชันการแปลงซิกมอยด์จะบีบช่วงข้อมูลป้อนเข้าที่ไม่จำกัดให้เป็นช่วงของข้อมูลส่งออกที่จำกัด โดยที่ช่วงของข้อมูลส่งออกจะอยู่ในช่วง 0 ถึง 1 ฟังก์ชันการแปลงซิกมอยด์แสดงลักษณะของข้อเท็จจริงที่มีความซับซ้อนเข้าใกล้ศูนย์เมื่อข้อมูลป้อนเข้ามีจำนวนมาก

2.2 ฟังก์ชันไฮเพอร์โบลิกแทนเจนต์ (Hyperbolic tangent function) มีลักษณะเช่นเดียวกับฟังก์ชันการแปลงซิกมอยด์ แตกต่างกันเพียงช่วงของข้อมูลส่งออกจะอยู่ในช่วง -1 ถึง + 1

ประโยชน์จากการประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทเทียม มีจำนวน 4 ประการ ดังนี้

1. เกิดข้อผิดพลาดได้ยาก (fault tolerance) มีความทนจากการที่สามารถออกแบบให้มีจำนวนโหนดที่มากมายได้ หากระบบประกอบด้วยโครงข่ายที่ใช้ในการประมวลผลมากมายหลายโครงข่าย ความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากเพียง หนึ่งในหรือสองโครงข่าย ก็จะไม่ทำให้เน็ตเวิร์คหยุดทำงานไป

2. ความสามารถในการหาเหตุผล (generalization) เมื่อระบบโครงข่ายประสาทเทียมได้รับข้อมูลนำเข้าที่ไม่ครบถ้วน หรือไม่เพียงพอต่อการหาข้อสรุป หรือได้รับข้อเท็จจริงที่ไม่เคยได้รับมาก่อน ระบบจะสามารถลำดับการเชื่อมโยงข้อเท็จจริงจนสามารถให้ข้อสรุปและเหตุผลได้

3. ความสามารถในการปรับเปลี่ยน (adaptability) โครงข่ายประสาทเทียมสามารถเรียนรู้สภาพแวดล้อมใหม่ได้ ดังนั้นเมื่อมีเหตุการณ์ใหม่ๆ เข้าสู่ระบบก็จะสามารถปรับเปลี่ยนหรือปรับปรุงองค์ความรู้ให้ทันสมัยตามเหตุการณ์ใหม่นั้น

4. ความสามารถในการพยากรณ์ (forecasting capability) โครงข่ายประสาทเทียมสามารถนำข้อมูลทางสถิติเดิมที่มีอยู่ในระบบ มาใช้คาดการณ์หรือพยากรณ์ข้อมูลในอนาคตได้

แบบจำลองโมเดลสามารถเรียนรู้ตัวแปรป้อนเข้า (input) ได้ดีไม่ว่าตัวแปรนั้นจะเป็นตัวแปรอันตรภาค (interval variables) ตัวแปรนามบัญญัติ (nominal variables) หรือตัวแปรแบบทวิลักษณ์ หรือตัวแปรฐานสอง (binary variables) โดยที่ตัวแปรป้อนเข้า (input) ไม่มีการกระจายตัวแบบ normal สำหรับตัวแปรอันตรภาค (interval variables) และความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรป้อนเข้า (input) และตัวแปรเป้าหมายไม่เป็นเชิงเส้นตรง (Chongwatpol, 2018)

วิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม

1. การออกแบบโมเดลโครงข่ายประสาทเทียม

1.1 การออกแบบโมเดลโครงข่ายประสาท ผู้นำเสนอได้พัฒนาขึ้นเอง โดยใช้การทดลองฝึกเรียนรู้ในรูปแบบการนำเข้าข้อมูลและการส่งออกข้อมูล ใช้โครงข่ายประสาทเทียมแบบเพอร์เซพตรอนหลายชั้น (multi-layer perceptron) การเรียนรู้แบบมีผู้สอน (supervised learning) แบบการแพร่ย้อนกลับ (back propagation learning) เนื่องจากมีความสามารถในการเรียนรู้ความสัมพันธ์ไม่เป็นเชิงเส้นได้ดี (Teiri et al., 2020) ฟังก์ชันที่เหมาะสมในการแปลงที่ไม่ใช่เชิงเส้น คือ ฟังก์ชันซิกมอยด์ (Sigmoid function) (ระหว่าง 0 ถึง 1) เพื่อใช้เป็นฟังก์ชันกระตุ้น (activation function)

1.2 ขั้นตอนการออกแบบโมเดลโครงข่ายประสาทเทียมในการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปด้วย และหาค่าความถูกต้องหรือค่าความแม่นยำ จะแบ่งเป็น 5 ขั้นตอนหลัก ได้แก่

1.2.1 ขั้นการรวบรวมข้อมูล (dataset) ($n=500$) เป็นการนำเอาฐานข้อมูลการทดสอบของนักศึกษาที่ได้จากการทดสอบ เช่น เพศ อายุ ชั้นปี สาขาวิชา GPA คะแนนความสามารถ มิติข้อสอบ ฯลฯ อาจใช้ในลักษณะของคลังข้อมูล (data warehouses) ในการออกแบบโครงสร้างพื้นฐานของระบบฐานข้อมูล (data warehouse) จะใช้ dimensional model ในการออกแบบโครงสร้างพื้นฐานของระบบฐานข้อมูล จะทำในลักษณะของลูกบาศก์ (cube) โดยจะเป็นรูปลูกบาศก์ที่มีมุมมองหลากหลาย ประกอบด้วยส่วนประกอบสำคัญ 2 ส่วนคือ dimension table (ตารางแกนมิติ) กับ measure (ค่าที่ต้องการวัด) dimensional model เป็นการทำให้ฐานข้อมูลดูง่ายขึ้นต่อการทำความเข้าใจโดยมองภาพฐานข้อมูลเป็นลูกบาศก์ ซึ่งจะมีมิติก็ได้ และใช้การเก็บบนคลาวด์ (Cloud) ในการรวบรวมข้อมูล เพื่อใช้เตรียมทำ data preparation ในขั้นต่อไป

1.2.2 ขั้นการเตรียมข้อมูล (data preparation)

1) การจัดรูปแบบข้อมูล (formatting) ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนที่ทำการแปลงข้อมูล (data transformation) ที่ได้ทำการเก็บรวบรวมมา ให้กลายเป็นข้อมูลที่สามารถนำไปวิเคราะห์ในขั้นตอนถัดไปได้ ในการแปลงข้อมูลนี้อาจจะต้องมีการทำข้อมูลให้ถูกต้อง เช่น การแปลงข้อมูลให้อยู่ในช่วง (scale) เดียวกัน โดยจะทำการแปลงข้อมูลจากตัวอักษร (text) เป็น ตัวเลข (numeric) เช่น แอททริบิวต์ และ values ทั้งหมด รวมทั้งจัดกลุ่มแอททริบิวต์ของชุดข้อมูล ผู้เขียนขอยกตัวอย่างโดยกำหนดจำนวนโนนดของชั้นข้อมูลป้อนเข้า (input layer) จำนวน 10 โหนด (node) หรือกำหนดแอททริบิวต์ จำนวน 10 attribute ดังนี้

X1 แทน เพศ	X6 แทน ข้อสอบข้อที่ 1
X2 แทน ชั้นปี	X7 แทน ข้อสอบข้อที่ 2
X3 แทน สาขาวิชา	X8 แทน ข้อสอบข้อที่ 3
X4 แทน GPA	X9 แทน ข้อสอบข้อที่ 4
X5 แทน ค่าความสามารถของผู้สอบ (θ)	X10 แทน ข้อสอบข้อที่ 5

เช่น X6-X10 กำหนดให้ 1=ก, 2=ข, 3=ค, 4=ง, 5=จ หรือ 1=ตอบถูก, 0=ตอบผิด หรือ ค่าพารามิเตอร์ threshold ของมิติข้อสอบในโมเดลปกติสะสมแบบพหุมิติ (multidimensional normal ogive model) ที่วิเคราะห์จากโปรแกรม Noharm 4.0 มาเป็นข้อมูลนำเข้า (input layer)

2) การทำความสะอาดข้อมูล (data cleaning) เนื่องจากคะแนนหรือข้อมูลบางส่วนไม่สามารถใช้ในการคำนวณได้และข้อมูลที่ใช้จะต้องเป็นข้อมูลที่ไม่มีการสูญหายหรือ missing value

1.2.3 ขั้นสร้างโมเดล (modeling) การกำหนดคุณลักษณะ (attribute) และการสร้างแบบจำลองโมเดลด้วยอัลกอริทึม neural network ดังนี้

1) นำชุดข้อมูลที่ได้ (X1-X10) จากขั้นตอนการจัดรูปแบบข้อมูล (formatting) มาสร้างโมเดลโครงข่ายประสาทเทียม ใช้เทคนิคการการจำแนกประเภทข้อมูล (classification) โดยกำหนด 3 ส่วน ดังนี้

ส่วนที่ 1 กำหนดจำนวนโหนดของชั้นข้อมูลป้อนเข้า (Input layer) จำนวน 10 โหนด (node) หรือจำนวน 10 attribute

ส่วนที่ 2 จำนวนโหนดของชั้นซ่อน (hidden layer) จำนวน 30 โหนด (node) การกำหนดจำนวนโหนดในชั้นซ่อน (Hidden Layer) ยังไม่มีเกณฑ์ที่แน่นอน โดยทั่วไปจำนวนโหนดในชั้นซ่อน (hidden layer) จะได้จากการทดลอง โดยกำหนดจำนวนโหนดในชั้นซ่อน (hidden layer) จะใช้กฎของบามเฮาสเลอร์ (Baum-Hausser rule) ซึ่งได้เสนอไว้ในปี ค.ศ.1998 (Sinsomboonthong, 2017)

ส่วนที่ 3 จำนวนโหนดของชั้นข้อมูลส่งออก (output layer) มี 2 โหนด (node) ซึ่งแสดงผลการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปมีผลลัพธ์จำนวนสองค่า คือ 1 แทน ตอบถูก (correct answer) และ 0 แทน ตอบผิด (wrong answer)

2) การสร้างโมเดล neural network ใช้เทคนิค classification และการทดสอบประสิทธิภาพของโมเดลที่นิยมใช้อยู่ 3 แบบ (Rungratanaubon, 2023) คือ self-consistency test, split test และ cross-validation test ในบทความนี้ ยกตัวอย่างการทดสอบประสิทธิภาพของโมเดลแบบ cross-validation test

3) การจำแนกประเภทข้อมูล (classification) ด้วยชุดข้อมูลฝึกการเรียนรู้แบบมีผู้สอน (supervised learning) ดังนี้

3.1 ทำเหมืองข้อมูล (data mining) สร้างโมเดลการคัดเลือกข้อสอบ ด้วยโปรแกรม RapidMiner Studio Educational แบ่งข้อมูล dataset เป็น 2 ส่วน ได้แก่ ข้อมูลการฝึกเรียนรู้ (train) และ ข้อมูลทดสอบ (test) โดยใช้อัตราส่วน 80% และ 20% (train set 80 %, test set 20 %) โดยใช้คำสั่ง Split Validation การเลือกสมาชิกเข้ากลุ่มคำสั่ง automatic เป็นวิธีที่ได้รับความนิยมสูงในโปรแกรม RapidMiner Studio Educational

3.2 การวิเคราะห์ใช้วิธี neural network และปรับค่าพารามิเตอร์เพื่อให้โมเดลการคัดเลือกข้อสอบให้มีประสิทธิภาพดีที่สุด ค่าพารามิเตอร์ที่ปรับ ดังนี้

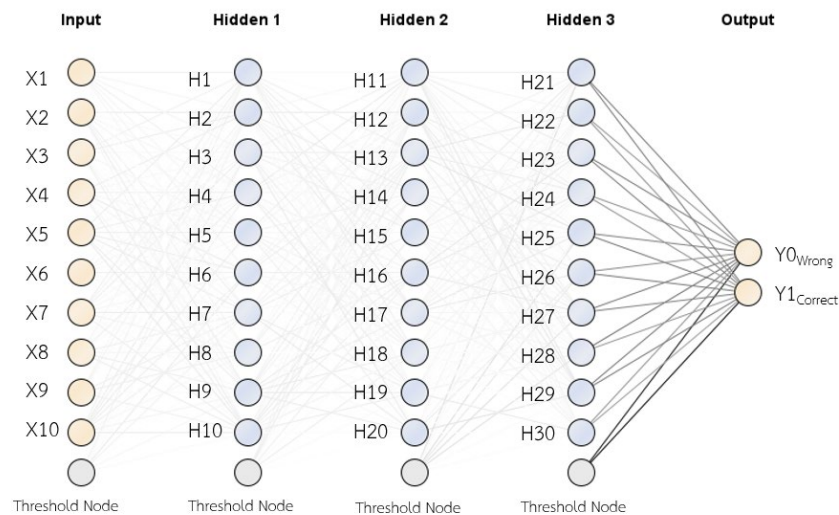
training cycle หมายถึง จำนวนรอบในการเรียนรู้

learning rate หมายถึง ปริมาณที่ต้องเปลี่ยนน้ำหนักในแต่ละ step ว่ามากน้อยเพียงใด

momentum หมายถึง การเพิ่มสัดส่วนของน้ำหนักในครั้งก่อนหน้าเพื่อ update ค่าปัจจุบันเพื่อป้องกันค่าสูงสุดในบริเวณใดๆ (ไม่ใช่ค่าสูงสุดจริงๆ) และความต่อเนื่องของการหาค่าที่ดีที่สุด

การปรับค่าพารามิเตอร์ของ neural network ในการทดลองให้เลือกค่าโดยพิจารณาจากค่า R^2 และความถูกต้องจากผลการ Train เพื่อไม่ให้เกิด overfitting ซึ่งจะมีการตั้งค่าต่าง ๆ เช่น กำหนด training cycle = 200, hidden layer sizes = 30, กำหนด learning rate = 0.4 สำหรับอัตรา การ train ที่รีบ หรือช้าเกินไป และกำหนด momentum = 0.3 เพื่อไม่ให้เกิดการเร่งการ train และ learning rate มากเกินไป

3.3 การแบ่งข้อมูลเพื่อใช้ในการทดสอบประสิทธิภาพของโมเดลโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไป เป็นการวิเคราะห์ความเที่ยงตรงของโมเดล (K-fold cross-validation) เป็นวิธีที่นิยมใช้ในการทดสอบประสิทธิภาพของโมเดลเนื่องจากผลที่ได้มีความน่าเชื่อถือ (Chongwatpol, 2018; Rungratanaubon, 2023) และวัดประสิทธิภาพด้วยวิธี cross-validation แบ่งข้อมูลออกเป็น 10-fold cross-validation ซึ่งจะแบ่งข้อมูลออกเป็น 10 ชุดเท่าๆ กันแล้วให้ใช้ 1 กลุ่มมาเป็นกลุ่มทดสอบ (test set) 20% ส่วนที่เหลือ 9 ชุด นำมาใช้เป็นกลุ่มเรียนรู้ (training set) 80% แล้วทำการวนทำเป็นจำนวน 10 รอบ โดยเปลี่ยนกลุ่มทดสอบไปเรื่อย ๆ จนครบจำนวนที่แบ่งไว้ หลังจากนั้นข้อมูลหนึ่งส่วนจะใช้เป็นตัวทดสอบประสิทธิภาพของโมเดล แล้วทำการรันโมเดลออกมา จะปรากฏ ดังภาพ 4



ภาพ 4 ตัวอย่างโมเดลโครงข่ายประสาทเทียม สำหรับการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไป

1.3.4 ขั้นตอนประเมินประสิทธิภาพของโมเดล (evaluation) การนำโมเดลไปใช้งานจริงได้นั้น จำเป็นจะต้องทราบประสิทธิภาพของโมเดลโครงข่ายประสาทเทียมก่อน โดยทั่วไปแล้วจะมีตัววัดที่นิยมใช้กันในงานวิจัยและการทำงานต่างๆ อยู่ 4 ค่า (Rungratanaubon, 2023) คือ

1. ค่าความแม่นยำ (precision) คือค่าที่ดูสิ่งที่ทำนายออกมาแล้วทายถูกได้กี่เปอร์เซ็นต์
2. ค่าความระลึก (recall) คือจำนวนที่ทำนายถูกกี่ตัว เป็นการวัดความถูกต้องของโมเดล
3. ค่าความถ่วงดุล (F-measure) คือค่าเฉลี่ยของค่าความแม่นยำและค่าความระลึก
4. ค่าความถูกต้อง (accuracy) คือจำนวนข้อมูลที่ทำนายถูกทุกคลาส เป็นการวัดค่าความ

เที่ยงตรง หรือค่าความถูกต้องของโมเดล โดยพิจารณารวมทุกคลาส

1.3.5 ขั้นตอนการนำแบบโมเดลไปใช้งานจริง (deployment) เมื่อได้โมเดล algorithms neural network ที่มีประสิทธิภาพแล้ว นำมาเขียนสมการการคำนวณ output และการตัดสินใจ (decision-making) โดยนำการใช้ฟังก์ชัน sigmoid เพื่อแปลงค่าผลลัพธ์ในแต่ละโหนดของ neural network ให้อยู่ในช่วงระหว่าง 0 ถึง 1 ซึ่งสามารถใช้ในการตัดสินใจว่า output layer นั้น ๆ ควรจะถูกจัดอยู่ใน class ไหน

เช่น output layer มีสอง class คือ "ผิด (wrong)" และ "ถูก (correct)" โดยใช้ฟังก์ชัน Sigmoid เช่นกัน
สมการสำหรับการคำนวณใน output layer จะเป็นดังนี้

$$\text{Class 'wrong'} = \text{sigmoid}\left(\sum_{i=1}^{10} \text{Node}_i \cdot \text{input}_{a_i} + \text{outputParameter}_i + \text{outputBias}\right)$$

$$\text{Class 'correct'} = \text{sigmoid}\left(\sum_{i=1}^{10} \text{Node}_i \cdot \text{input}_{a_i} + \text{outputParameter}_i + \text{outputBias}\right)$$

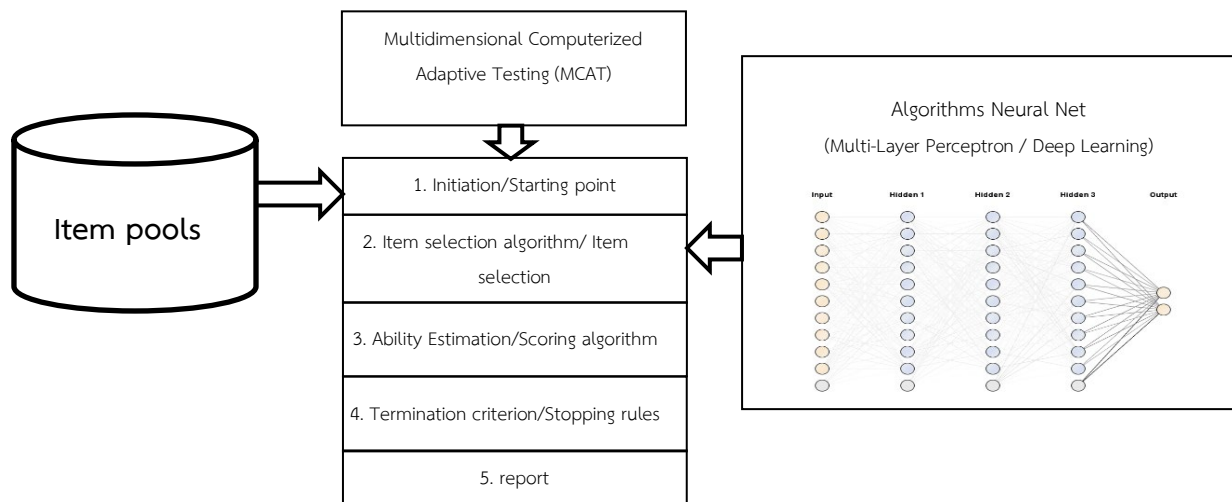
สมการคำนวณของตัดสินใจ (decision making) คัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้ threshold :
โดยนำ Output Layer Class_{'correct', 'wrong'} มาเปรียบเทียบกับ Threshold ได้สมการได้ดังนี้

Decision=Class 'correct' $\geq$ Threshold ; กรณีตอบถูก

Decision=Class 'wrong' $\leq$ Threshold ; กรณีตอบผิด

การคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปด้วยวิธีการใช้โครงข่ายประสาทเทียม (ANN) จะทำการคัดเลือกข้อสอบที่มีการประมาณค่าพารามิเตอร์ความยาก (threshold) ของข้อสอบ ที่ใกล้เคียงกับค่าประมาณความสามารถ (θ) ขณะนั้นที่สุด (Chanthasaeng, 2020; Withipanya, 2021) ข้อสอบข้อไหนที่มีค่าพารามิเตอร์ความยาก (threshold) ของข้อสอบ ใกล้เคียงกับการประมาณค่าของโหนด output มากที่สุดข้อสอบข้อนั้นจะถูกเลือกเป็นข้อสอบข้อถัดไป อยู่ 2 กรณี 1) กรณีตอบถูก (correct) ค่า threshold ข้อถัดไป ต้องสูงกว่าหรือใกล้เคียงค่า threshold ข้อก่อนหน้า (next question after answering correctly) 2) กรณีตอบผิด (wrong) ค่า threshold ข้อถัดไป ต้องน้อยกว่าหรือใกล้เคียงค่า threshold ข้อก่อนหน้า (next question after answering incorrectly)

นำสมการของ algorithms neural net ที่พัฒนาขึ้นมาเขียนโปรแกรมให้อยู่ในรูปแบบ web application โดยเลือกใช้ภาษา PHP (Application PHP script language) และใช้ฐานข้อมูล MySQL สำหรับจัดเก็บข้อมูลคลังข้อสอบ (item bank) เนื่องจากเป็นระบบจัดการฐานข้อมูล (Database Management System: DBMS) ที่มีประสิทธิภาพสูง รองรับฐานข้อมูลขนาดใหญ่ การเขียน PHP script language โดยกำหนดเงื่อนไขต่าง ๆ จากสมการ output layer และสมการการตัดสินใจ (decision making) และการนำ algorithms neural net ไปใช้กับเว็บแอปพลิเคชันสำหรับการทดสอบแบบปรับเหมาะแบบพหุมิติ ซึ่งจะต้องให้ความสำคัญในส่วน prediction API (Application Programming Interface) เป็นหลักในการเชื่อมต่อของ algorithms neural net กับ Multidimensional Computerized Adaptive Testing (MCAT) ในบทความนี้ผู้เขียนได้นำเสนอเฉพาะขั้น item selection algorithm ในขั้นตอนการทดสอบแบบปรับเหมาะแบบพหุมิติเท่านั้น



ภาพ 5 กรอบแนวคิดการประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทเทียมในการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไป

จากการศึกษาเอกสารและงานวิจัยทั้งในประเทศ และต่างประเทศ มีการนำศาสตร์ทางด้านปัญญาประดิษฐ์ (artificial intelligence) มาประยุกต์ใช้ในการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปสำหรับการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ จำแนกกลุ่มตามลักษณะของกระบวนการออกแบบเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ 1 ใช้ปัญญาประดิษฐ์ระดับการเรียนรู้ของเครื่อง (machine learning) ได้แก่ Bayesian networks และ Genetic Algorithms (Phankokkruad & Woraratpanya, 2012) การคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้ทฤษฎีการตัดสินใจในสภาวะการณ์ความเสี่ยง (Sukhanonsawat, 2013) หรือวิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้วิธีอณานิคมมด (Thanapattanadol, 2018) การคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้เกณฑ์ของเฮอริวคซ์และการควบคุมการใช้ข้อสอบสำหรับการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์ (Premthongsuk, 2017) และกลุ่มที่ 2 ใช้ปัญญาประดิษฐ์ระดับการเรียนรู้เชิงลึก (deep learning artificial intelligence) เช่น การเรียนรู้เชิงลึกสำหรับระบบการเรียนรู้แบบปรับเปลี่ยนได้ (Li et al., 2020) การเรียนรู้เชิงลึกสำหรับระบบการเรียนรู้แบบปรับเปลี่ยนได้ (Tsutsumi et al., 2021) การให้ตอบสั้นอัตโนมัติโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมเชิงลึกและทฤษฎีการตอบสนองตามรายการ (Uto & Uchida, 2020) และการพัฒนาวิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมและมีการควบคุมการใช้ข้อสอบสำหรับการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์โดยใช้วิธีการจำลองข้อมูล (Withipanya, 2021) ได้เปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไประหว่างวิธีการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไป (ANN) วิธีการสุ่ม (R) และวิธีการใช้ค่าสารสนเทศสูงสุด (MI) ผลการวิจัย พบว่า การนำโครงข่ายประสาทเทียม (ANN) มาใช้ในการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปสำหรับการทดสอบแบบปรับเหมาะด้วยคอมพิวเตอร์โดยใช้วิธีการจำลองข้อมูล ใช้จำนวนข้อสอบน้อยกว่าวิธีการสุ่ม (R) และวิธีการใช้ค่าสารสนเทศสูงสุด (MI) อย่างไรก็ตาม ยังมีความท้าทายหลายประการในอนาคตสำหรับการใช้ AI ในทดสอบ MCAT ดังนั้นการใช้ AI จึงจำเป็นต้องศึกษาวิธีการใช้เทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ (AI) มาใช้ในโลกแห่งความเป็นจริง (real-world study) (Mujtaba & Mahapatra, 2020)

แนะนำโปรแกรมสำเร็จรูปที่ใช้ในการวิเคราะห์โครงข่ายประสาทเทียม

โปรแกรม RapidMiner Studio¹ เป็นซอฟต์แวร์เวอร์ชันฟรี (free version) ที่สามารถดาวน์โหลด (download) มาใช้งานได้ โดยไม่เสียค่าใช้จ่าย เป็นซอฟต์แวร์ที่ช่วยให้ทำการวิเคราะห์ข้อมูลด้วย data mining ได้ง่าย ช่วยในการคำนวณวิเคราะห์ประมวลผลโดยมีโอเพอร์เรเตอร์ต่างๆ สามารถนำมาใช้ในขั้นตอนต่างๆ ตั้งแต่การเตรียมข้อมูล จนถึงขั้นตอนการสร้างแบบจำลองให้เป็นไปตามที่ผู้ใช้งานต้องการ และสามารถเลือกใช้ Rapid miner studio ที่เป็นประเภทสำหรับการศึกษา (RapidMiner Studio Educational 10.1) จุดเด่นของโปรแกรมนี้นี้ คือ 1) สามารถเชื่อมต่อกับทุกแหล่งข้อมูล (connect to any data source) โปรแกรมสามารถทำงานกับข้อมูลไม่ว่าจะอยู่ที่ใด สร้างการเชื่อมต่อไปยังฐานข้อมูลคลังข้อมูลขององค์กร (data warehouses) ข้อมูลที่มีการจัดเก็บบนคลาวด์และโซเชี่ยลมีเดียได้ 2) สามารถประมวลผลแบบอัตโนมัติ (automated in-database processing) สามารถเตรียมข้อมูลและประมวลผลได้ในฐานข้อมูล สร้างการสืบค้นและการดึงข้อมูลโดยไม่ต้องเขียน SQL ที่ซับซ้อน และรองรับ MySQL, PostgreSQL และ Google Big Query 3) มีความสามารถแสดงผลข้อมูลแบบ data visualization & exploration 4) สามารถเตรียมข้อมูลได้อย่างง่าย (data Prep & Blending) 5) ทำงานแบบ visual & automated machine learning & deep learning คือสามารถสร้างโมเดล machine learning & deep Learning ที่มีประสิทธิภาพได้อย่างรวดเร็ว และมีกระบวนการตรวจสอบโมเดล (model validation) คือทำความเข้าใจประสิทธิภาพของโมเดลก่อนที่จะนำไปใช้งานจริง 6) ทำงานร่วมกับโปรแกรม R และ Python ได้

สรุป

การนำศาสตร์ทางด้านปัญญาประดิษฐ์ (AI) มาเป็นส่วนหนึ่งของกระบวนการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไป โดยประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทเทียม (ANN) ผสมผสานกับการทดสอบแบบปรับเหมาะแบบพหุมิติด้วยคอมพิวเตอร์ (MCAT) ทำให้เพิ่มประสิทธิภาพของการทดสอบวัดความสามารถของผู้สอบแต่ละคนได้แม่นยำ รวดเร็ว มีประสิทธิภาพสูงขึ้น ลดจำนวนข้อสอบลง และรายงานผลการประเมินการสอบแบบเรียลไทม์ ในขั้นการประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทเทียมในการคัดเลือกข้อสอบข้อถัดไปต้องวัดประสิทธิภาพของโมเดล (evaluation) ก่อนนำโมเดลไปใช้งานจริงได้นั้น จำเป็นจะต้องทราบประสิทธิภาพของโมเดลโครงข่ายประสาทเทียม โดยทั่วไปแล้วจะมีตัววัดที่นิยมใช้กันในงานวิจัยและการทำงานต่าง ๆ อยู่ 4 ค่า คือ 1. ค่าความแม่นยำ (precision) 2. ค่าความระลึก (recall) 3. ค่าความถ่วงดุล (F-measure) และ 4. ค่าความถูกต้อง (accuracy) แล้วนำแบบโมเดลไปใช้งานจริง (deployment) ต้องให้ความสำคัญในส่วน Prediction API (Application Programming Interface) ของโมเดลที่สร้างขึ้นมาเพื่อเป็นเว็บเซอร์วิส (web service) ในการเชื่อมต่อและรองรับการส่งข้อมูลจาก Web Application และการพัฒนา web application โดยเลือกใช้ภาษา PHP (Application PHP script language) และใช้ฐานข้อมูล MySQL สำหรับจัดเก็บข้อมูลแต่ละ attribute บน Cloud hosting

¹ โปรแกรม Rapid miner studio สามารถดาวน์โหลดและติดตั้งได้จาก <https://my.rapidminer.com/>

ดังนั้นเมื่อนำ AI มาช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของระบบ MCAT ให้สามารถปรับเปลี่ยน (adaptability) หรือปรับปรุงวิธีการคัดเลือกข้อสอบให้ทันสมัยตามเหตุการณ์ใหม่ และสามารถพยากรณ์ (forecasting capability) ข้อมูลในอนาคตได้ ออกแบบการทดสอบมาเฉพาะให้เหมาะสมกับการศึกษาในยุคดิจิทัล จึงเป็นความท้าทายของการทดสอบในสถานการณ์จริงในยุคดิจิทัล และทันต่อความก้าวหน้าทางวิทยาการ รวมทั้งได้พัฒนาองค์ความรู้ใหม่ๆ ในด้านนวัตกรรมการทดสอบและประเมินผลให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

References

- Frey, A., & Seitz, N. N. (2009). Multidimensional adaptive testing in educational and psychological measurement: Current state and future challenges. *Studies in Educational Evaluation*, 35(2), 89-94.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.stueduc.2009.10.007>
- Jain, A. K., Jianchang, M., & Mohiuddin, K. M. (1996). Artificial neural networks: a tutorial. *Computer*, 29(3), 31-44. <https://doi.org/10.1109/2.485891>
- Koçak, B., Durmaz, E. Ş., Ateş, E., & Kılıçkesmez, Ö. (2019). Radiomics with artificial intelligence: a practical guide for beginners. *Diagnostic and interventional radiology (Ankara, Turkey)*, 25(6), 485-495. <https://doi.org/10.5152/dir.2019.19321>
- Li, X., Xu, H., Zhang, J., & Chang, H. H. (2020). Deep Reinforcement Learning for Adaptive Learning Systems. *Journal of Educational and Behavioral Statistics*, 48, 220 - 243.
- Lord, F.M., Novick, M.R., & Birnbaum, A. (1968). *Statistical theories of mental test scores*. Addison-Wesley.
- McDonald, R. P. (2000). A Basis for Multidimensional Item Response Theory. *Applied Psychological Measurement*, 24(2), 99-114.
<https://doi.org/10.1177/01466210022031552>
- Mujtaba, D., & Mahapatra, N. (2020). Artificial Intelligence in Computerized Adaptive Testing. *2020 international Conference on Computational Science and Computational Intelligence (CSCI)*. 649-654. <https://doi.org/10.1109/CSCI51800.2020.00116>
- Phankokkruad, M., & Woraratpanya, K. (2012). Item classification algorithm for computer adaptive testing based on web services. *International Journal of Engineering Research and Applications*, 2(1), 835-847.
- Prakorppon, T. (2009). Artificial neural networks. *HCU Journal*, 24(1), 73-87.
- Reckase, M. D. (2010). Designing item pools to optimize the functioning of a computerized adaptive test. *Psychological Test and Assessment Modeling*, 52(2), 127-141.

- Teiri, H., Hajizadeh, Y., Samaei, M. R., Pourzamani, H., & Mohammadi, F. (2020). Modelling the phytoremediation of formaldehyde from indoor air by *Chamaedorea Elegans* using artificial intelligence, genetic algorithm and response surface methodology. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 8(4), 103985.
<https://doi.org/10.1016/j.jece.2020.103985>
- Tsutsumi, E., Kinoshita, R., & Ueno, M. (2021). Deep Item Response Theory as a Novel Test Theory Based on Deep Learning. *Electronics*, 10(9), 1020.
<https://www.mdpi.com/2079-9292/10/9/1020>
- Uto, M., & Uchida, Y. (2020). Automated short-answer grading using deep neural networks and item response theory. In Bittencourt, I., Cukurova, M., Muldner, K., Luckin, R., & Millán, E (Eds.), *Artificial intelligence in education. AIED 2020*. Lecture notes in computer science (Vol. 12164). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-52240-7_61

Translate Thai References

- Chanthasaeng, S. (2020). Application of multidimensional computerized adaptive testing. *CUAST Journal*, 9(3), 137–148. (in Thai)
- Chongwatpol, J. (2018). *Business data analytics for strategic decisions*. Chulalongkorn University Press. (in Thai)
- Kanjanawasee, S. (2012). *Modern test theory* (4th ed.). Chulalongkorn University Press. (in Thai)
- Premthongsuk, P. (2017). *Development of the next item selection procedure using Hurwicz criterion with the item exposure control for computerized adaptive testing* [Doctoral dissertation]. Burapha University. (in Thai)
- Rungratanaubon, C. (2023). *Data Mining Techniques*. Naresuan University Press. (in Thai)
- Sinsomboonthong, S. (2017). *Data mining 1: discovering knowledge in data* (2nd ed). Chamchuri Products Press. (in Thai)
- Sotiwan, T. (2015). Statistical analysis using neural networks in social science research. *SSRU Graduate Studies Journal Suan Sunandha Rajabhat University*, 8(1). 84-91. (in Thai)
- Sukhanonsawat, S. (2013). *Development of the Next Item Selection Procedure Using Decision Theory in Computerized Adaptive Testing* [Doctoral dissertation]. Burapha University. (in Thai)

- Thanapattanadol, R. (2018). *Development of the Next Item Selection Procedure Using Ant Colony Optimization for Computerized Adaptive Testing* [Doctoral dissertation]. Burapha University. (in Thai)
- Withipanya, B. (2021). Development of The Next Item Selection Procedure Using Artificial Neural Network with The Item Exposure Control for Computerized Adaptive Testing Using Simulated Data. *Journal of Faculty of Education Pibulsongkram Rajabhat University*, 8(1) (January–June 2021), 37-48. (in Thai)