บทที่ 1

บทนำ

การตรวจพบ(Detection) และวินิจฉัย(Diagnosis) ความผิดพร่องในระบบซึ่งมักเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์หรือการเปลี่ยนแปลงทางพลวัตแบบไม่เป็นเชิงเส้นภายในระบบนั้น มีความสำคัญเพิ่มขึ้นอย่างมากในปัญหาทางวิศวกรรม เนื่องจากทำให้ระบบมีความน่าเชื่อถือ เพิ่มความปลอดภัย ช่วยหลีกเลี่ยงปัญหาการปิดโรงงานเพื่อซ่อมแซมซึ่งจะทำให้กระบวนการผลิตหยุดชะงัก ลดค่าใช้จ่ายให้น้อยลง ช่วยลดเวลาในการหาสาเหตุของความผิดพร่องโดยเฉพาะอย่างยิ่งการตรวจพบและวินิจฉัยความผิดพร่องได้ตั้งแต่ในช่วงภาวะชั่วครู่ของระบบที่มีช่วงเวลาเข้าที่ยาวนานจะมีความสำคัญมาก ทำให้รู้สาเหตุของความผิดพร่องที่เกิดขึ้นในระบบได้รวดเร็วกว่าการวินิจฉัยได้เมื่อระบบเกิดความผิดพร่องแล้วเข้าสู่ช่วงสถานะอยู่ตัวแล้ว

ข่ายงานประสาท คือ ระบบการจัดการข้อมูลอย่างหนึ่งที่ได้ถูกพัฒนาให้มีแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ตามลักษณะการจดจำของมนุษย์ หรือปมประสาทของมนุษย์ ข่ายงานประสาทมีคุณสมบัติที่น่าสนใจในการนำมาประยุกต์ใช้กับการตรวจพบและวินิจฉัยความผิดพร่อง นั่นคือ ความสามารถในการเรียนรู้ด้วยตนเองเมื่อได้รับการสอน ทำให้สามารถประมาณฟังก์ชันไม่เป็นเชิงเส้นใดๆ โดยมีค่าน้ำหนัก (Weight), ค่าไบแอส(Bias) และโครงสร้าง(Architecture) ที่เหมาะสม มีความสามารถในการเข้าใจลักษณะของสัญญาณได้โดยอัตโนมัติ สามารถทำได้ในทางปฏิบัติเนื่องจากไม่จำเป็นต้องรู้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบโดยที่มีความถูกต้องแม่นยำในการวินิจฉัยความผิดพร่อง และมีข้อได้เปรียบกว่าวิธีที่อาศัยแบบจำลอง(Model-based method) ในด้านความคงทน(Robustness) ต่อการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ในระบบและสัญญาณรบกวน จึงทำให้เกิดงานวิจัยต่างๆ ที่ประยุกต์ใช้ข่ายงานประสาทเป็นตัวตรวจพบและวินิจฉัยความผิดพร่องของระบบ ซึ่งในขั้นแรก ข่ายงานประสาทจะถูกสอนให้รู้จำลักษณะของความผิดพร่องในแบบต่างๆ จากนั้นข่ายงานประสาทจะเรียนรู้และสร้างสัญญาณออกที่จะบอกถึงการเกิดความผิดพร่องในระบบได้ อย่างไรก็ตาม การประยุกต์ใช้ข่ายงานประสาทนั้น ยังมีข้อจำกัดคือ ไม่มีหลักเกณฑ์ที่แน่นอนในการเลือกจำนวนโหนดของข่ายงาน และจำเป็นต้องมีความรู้เกี่ยวกับระบบมากพอสมควร เนื่องจากต้องเลือกข้อมูลที่เหมาะสมเพื่อนำมาสอนข่ายงาน และการใช้ข่ายงานประสาทเพียงวิธีเดียวในการวินิจฉัยความผิดพร่องที่ทำให้เกิดรูปแบบของสัญญาณในระบบซ้ำกัน ไม่เพียงพอที่จะทำให้ระบบตรวจพบสร้างสัญญาณเตือนที่ถูกต้องได้ ดังนั้นจึงมีงานวิจัยที่อาศัยความสามารถของระบบผู้เชี่ยวชาญ (Expert System) หรือฐานความรู้(Knowledge-based) มาช่วยให้ระบบตรวจพบและวินิจฉัยความผิดพร่อง สร้างสัญญาณเตือนความผิดพร่องได้ถูกต้องยิ่งขึ้น

ในบทนี้จะกล่าวครอบคลุมถึง ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา วัตถุประสงค์ของงานวิทยานิพนธ์ ขอบเขตของงานวิทยานิพนธ์ ขั้นตอนการดำเนินงานและประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ระบบตรวจพบและวินิจฉัยความผิดพร่องด้วยวิธีอาศัยแบบจำลอง ถูกนำเสนอในงานวิจัยของ Frank และ Köppen-Seliger [1] ซึ่งใช้ตัวกรองหรือตัวสังเกต เพื่อสร้างสัญญาณตกค้าง(Residual signal) ที่เป็นผลต่างของสัญญาณที่ออกจากระบบจริงและสัญญาณที่ออกจากแบบจำลองที่ใช้แทนสภาวะปกติของระบบ เมื่อเกิดความผิดพร่องจะทำให้ได้ค่าสัญญาณตกค้างที่แสดงถึงความผิดพร่องแต่ละชนิดเปลี่ยนแปลงไปไม่เท่ากับศูนย์ และตัวกรองแต่ละตัวจะถูกออกแบบให้ไวต่อความผิดพร่องแต่ละชนิดและไม่ไวต่อความผิดพร่องชนิดอื่น โดยได้จำลองกับระบบสามถังซึ่งมีความผิดพร่อง 3 แห่ง(ได้แก่ การรั่วของแต่ละถัง)

นอกจากนี้ วิธีการตรวจพบและวินิจฉัยความผิดพร่องโดยอาศัยแบบจำลอง ด้วยการวินิจฉัยจากสัญญาณตกค้างที่เกิดขึ้น ได้มีผู้วิจัยนำความสามารถในการรู้จำรูปแบบและความสามารถในการสร้างสัญญาณของข่ายงานประสาทมาประยุกต์ใช้ โดยสัญญาณตกค้างจะได้จากผลต่างของสัญญาณออกที่ได้จากระบบกับสัญญาณออกจากข่ายงานประสาทที่ทำหน้าที่แทนแบบจำลองของระบบในสภาวะปกติ ดังในงานวิจัยของ Patton, Chen และ Siew [2] ซึ่งนำเสนอการตรวจพบและวินิจฉัยความผิดพร่องในกระบวนการไม่เป็นเชิงเส้น โดยแบ่งเป็น 2 ขั้นตอนคือ ขั้นแรกจะสร้างสัญญาณตกค้าง ซึ่งเปรียบเทียบระหว่างค่าจริงกับค่าที่ได้จากการทำนายของข่ายงานประสาท ที่ทำหน้าที่เป็นตัวทำนายของระบบในสภาวะปกติ และในขั้นที่ 2 ข่ายงานประสาทจะถูกสอนให้วินิจฉัยลักษณะของสัญญาณตกค้าง เพื่อหาสาเหตุของความผิดพร่องที่เกิดขึ้น จากผลการจำลองกับระบบสามถัง(Three-Tank system) พบว่าข่ายงานประสาทสามารถวินิจฉัยความผิดพร่องเดี่ยว 3 แห่งเนื่องจากการรั่วของถังแต่ละถังได้ถูกต้องในช่วงสถานะอยู่ตัวของระบบ

Marcu, Mirea และ Klósz [3] นำเสนอการแก้ปัญหาการวินิจฉัยความผิดพร่อง 6 แห่ง(การรั่วของถังและการตันของท่อ)ในระบบสามถัง โดยการใช้ข่ายงานประสาทเป็นตัวทำนายโครงสร้างการเคลื่อนที่แบบไม่เป็นเชิงเส้นของระบบเพื่อสร้างสัญญาณตกค้าง และเป็นตัววินิจฉัยรูปแบบของสัญญาณตกค้างที่ได้ด้วยวิธีรู้จำแบบ เพื่อบอกสาเหตุของความผิดพร่องเดี่ยวที่เกิดขึ้นได้ถูกต้องเมื่อระบบเข้าสู่สถานะอยู่ตัวแล้ว

ระบบตรวจพบและวินิจฉัยความผิดพร่องด้วยวิธีอาศัยแบบจำลอง โดยประยุกต์ใช้ข่ายงานประสาทอีกวิธีหนึ่ง คือ การใช้ตัวประมาณออนไลน์(On-line approximator) ดังในงานวิจัยของ

Polycarpou และ Helmicki [4] นำเสนอโครงสร้างของตัวประมาณออนไลน์ เพื่อใช้ประมาณระบบส่วนที่เปลี่ยนไปจากสภาวะปกติ โดยใช้ข่ายงานประสาทเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของตัวประมาณออนไลน์ ซึ่งมีความสามารถในการตรวจพบความผิดพร่อง อีกทั้งยังปรับแก้ภาวะความผิดพร่องได้ ในส่วนของตัวประมาณได้พิจารณาเสถียรภาพของวิธีการเรียนรู้โดยอาศัยทฤษฎีของเลียปูนอฟ จากผลการจำลองกับระบบไม่เป็นเชิงเส้นที่มีอันดับ 2 พบว่าตัวประมาณออนไลน์สามารถวินิจฉัยความผิดพร่องและสร้างกฎการควบคุมใหม่เพื่อลดความผิดพลาดในการตามรอยอันเนื่องมาจากความผิดพร่องได้ถูกต้อง

De La Fuente และ Vega [5] นำเสนอการตรวจพบและวินิจฉัยความผิดพร่องโดยอาศัยการประมาณค่าพารามิเตอร์แบบออนไลน์ ด้วยข่ายงานประสาทและสัญญาณความถี่ของระบบ และพิจารณาให้พารามิเตอร์ในแบบจำลองเปลี่ยนแปลงไปเมื่อความผิดพร่องเกิดขึ้น ดังนั้นจะใช้ข่ายงานประสาทในการตรวจพบและตามรอยค่าต่างๆของพารามิเตอร์โดยให้มีความคงทนต่อสัญญาณรบกวนที่ความถี่ต่ำๆ เนื่องจากข่ายงานประสาทสามารถแยกแยะรูปแบบของสัญญาณที่เกิดเนื่องจากความผิดพร่องกับสัญญาณที่เปลี่ยนไปเนื่องจากความไม่แน่นอนในระบบ ได้แก่ สัญญาณรบกวนเนื่องจากโหลดและความผิดพลาดของแบบจำลอง ทำให้ไม่เกิดความผิดพลาดในการสร้างสัญญาณเตือน ระบบที่ใช้ศึกษาคือระบบบำบัดน้ำเสีย (Wastewater treatment plant) ที่มีความผิดพร่อง 5 แห่ง

Vemuri, Polycarpou และ Diakourtis [6] นำเสนอการตรวจพบ วินิจฉัยความผิดพร่องและการปรับปรุงแก้ไขส่วนควบคุมในแขนหุ่นยนต์แบบแขนเกร็ง(rigid-link robotic manipulators) โดยอาศัยข่ายงานประสาททำหน้าที่เป็นตัวประมาณพฤติกรรมระบบในสภาวะที่ผิดปกติของระบบ โดยที่ตัวประมาณนี้จะให้แบบจำลองที่เป็นลักษณะสมบัติของความผิดพร่อง ซึ่งจะถูกใช้สำหรับการตรวจพบและวินิจฉัยชนิดของความผิดพร่องได้ ผลการจำลองระบบแสดงให้เห็นถึงความสามารถของข่ายงานประสาทที่ทำหน้าที่เป็นตัวประมาณออนไลน์ในการวินิจฉัยความผิดพร่องและแก้ไขความผิดพร่องที่เกิดขึ้นนั้นโดยผ่านการปรับโครงสร้างของระบบควบคุม ข้อจำกัดของวิธีนี้คือ แบบจำลองที่ใช้ต้องไม่มีความไม่แน่นอน, เมื่อเกิดความผิดพร่องขึ้น ตัวแปรสถานะต้องอยู่ในขอบเขต และต้องรู้การเปลี่ยนแปลงทางพลวัตของระบบเมื่อเกิดความผิดพร่องขึ้น

อย่างไรก็ตาม จากงานวิจัยโดยส่วนใหญ่พบว่า วิธีอาศัยแบบจำลองมีข้อจำกัดคือ ความไม่แน่นอนของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้หรือข่ายงานประสาทไม่สามารถแทนแบบจำลองของระบบในสภาวะปกติได้ถูกต้อง จะทำให้เกิดความผิดพลาดในการสร้างสัญญาณเตือนความผิดพร่องของระบบ

เพื่อหลีกเลี่ยงข้อจำกัดของวิธีอาศัยแบบจำลอง จึงมีผู้วิจัยนำเสนอระบบตรวจพบและวินิจฉัยความผิดพร่องด้วยวิธีไม่อาศัยแบบจำลองในหลายวิธี ได้แก่ วิธีอาศัยฐานความรู้หรือระบบผู้เชี่ยวชาญ การประยุกต์ใช้ข่ายงานประสาท หรือการประยุกต์ใช้ข่ายงานประสาทฟัซซี

Goode และ Chow [7, 8] นำเสนอข่ายงานประสาทฟัซซี(Hybrid neural/fuzzy system) ซึ่งเป็นการรวมข่ายงานประสาทซึ่งเป็นวิธีที่ไม่แพง มีความน่าเชื่อถือและไม่ต้องใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์กับตรรกศาสตร์ฟัซซีที่สามารถใช้ความรู้และประสบการณ์ของวิศวกรเพิ่มเติมเข้าไปในการหาคำตอบของปัญหามาใช้แก้ปัญหาการตรวจพบความผิดพร่องในมอเตอร์เหนี่ยวนำที่มีความผิดพร่องใน 2 ส่วนหลักคือ แบริง(Bearing) และฉนวนหุ้มขดลวดสเตเตอร์(Stator winding insulation)

Theilliol และคณะ [9] นำเสนอการตรวจพบและวินิจฉัยความผิดพร่องโดยอาศัยพื้นฐานความรู้ การวิเคราะห์ และประสบการณ์ของผู้ชำนาญระบบ เพื่อสนับสนุนวิธีรู้จำรูปแบบ ในการแทนลักษณะของความผิดพร่องทุกชนิดจากสัญญาณตกค้าง ร่วมกับการใช้ระบบผู้เชี่ยวชาญฟัซซีเพื่อเป็นเครื่องมือในการวินิจฉัย ทำให้การวินิจฉัยความผิดพร่องมีความคงทนต่อความไม่แน่นอนในแบบจำลอง และทำให้ความผิดพลาดของสัญญาณเตือนมีน้อยลง อีกทั้งความผิดพลาดในกรณีที่เกิดความผิดพร่องแต่ไม่สร้างสัญญาณเตือนก็น้อยลงด้วยเช่นกัน

Elnemr และ Elewa [10] นำเสนอการตรวจพบความผิดพร่องด้วยระบบผู้เชี่ยวชาญ กับหอกลั่นซึ่งเป็นระบบที่มีสเกลใหญ่และซับซ้อน ดังนั้นจึงทำให้มีความผิดพร่องเกิดขึ้นได้หลายแห่งจากหลายสาเหตุ โดยเมื่อมีความผิดพร่องเกิดขึ้นในหอกลั่นจะมีความผิดพลาดเกิดขึ้นในความดันและองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ทั้งส่วนบนและส่วนล่างของหอกลั่น ซึ่งค่าความผิดพลาดเหล่านี้จะถูกนำไปใช้โดยระบบผู้เชี่ยวชาญเพื่อเป็นฐานความรู้ในการตรวจพบความผิดพร่อง จากผลการจำลองระบบพบว่า สามารถวินิจฉัยความผิดพร่องเดี่ยว 12 แห่ง(ได้แก่ การเปลี่ยนแปลงของอัตราการป้อนสารกลางหอ, ความเข้มข้นของสารที่ป้อนกลางหอ, อัตราการไหลของสารผลิตภัณฑ์บนยอดหอและฐานหอ, กระบวนการให้ความร้อนในหม้อต้มซ้ำและการแลกเปลี่ยนความร้อนในเครื่องควบแน่น) ได้ถูกต้องเมื่อระบบเข้าสู่ช่วงสถานะอยู่ตัว

ระบบตรวจพบและวินิจฉัยความผิดพร่องอีกวิธีหนึ่งที่ไม่อาศัยแบบจำลอง และเป็นที่สนใจกันอย่างมาก คือ วิธีรู้จำรูปแบบ(Pattern Recognition) ของสัญญาณที่วัดได้จากระบบโดยการประยุกต์ใช้กับข่ายงานประสาท ดังในงานวิจัยของ

Köppen-Seliger และ Frank [11] นำเสนอการใช้ข่ายงานประสาทเพื่อทำการวินิจฉัยความผิดพร่องใน 2 รูปแบบที่เป็นไปได้คือ

1) ใช้ข่ายงานประสาทแทนแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อสร้างสัญญาณตกค้าง และใช้ข่ายงานประสาทในการวินิจฉัยสัญญาณตกค้างที่ได้เพื่อหาสาเหตุของความผิดพร่อง
2) ใช้ข่ายงานประสาทเป็นตัวตรวจพบ และวินิจฉัยความผิดพร่องที่เกิดขึ้นจากค่าที่วัดได้โดยไม่ต้องสร้างสัญญาณตกค้าง ก่อนในขั้นแรก

โดยจำลองระบบกับตัวขับเร้าทางอุตสาหกรรม พบว่าทั้ง 2 วิธีสามารถวินิจฉัยความผิดพร่อง 2 แห่ง เนื่องจากตัวตรวจรู้(Sensor) และสวิตช์ได้ถูกต้อง เมื่อระบบเข้าสู่สถานะอยู่ตัวแล้ว

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Hoskins, Kaliyur และ Himmelblau [12] นำเสนอการตรวจพบและวินิจฉัยความผิดพร่องเดี่ยวที่เกิดขึ้นระหว่าง 0-100% ในพลานต์ทางเคมี(Absorber section of the Syschem plant simulator) โดยใช้ข่ายงานประสาทที่ถูกสอนด้วยสัญญาณที่ได้จากอุปกรณ์วัดในพลานต์ เมื่อเกิดความผิดพร่องในระบบเนื่องจากอัตราการไหลที่มากเกินไป 3 แห่ง ข้อดีคือ ใช้เวลาคำนวณน้อยและวินิจฉัยได้ถูกต้องถึงแม้ว่าจะมีสัญญาณรบกวนในตัวตรวจรู้จากพลานต์

Swarup และ Chandrasekharaiah [13] นำเสนอการประยุกต์ใช้ข่ายงานประสาทเป็นตัวตรวจพบและวินิจฉัยความผิดพร่องของระบบโดยอาศัยวิธีการแยกแยะรูปแบบ(Pattern Classification) โดยสอนข่ายงานประสาทแบบออฟไลน์ด้วยชุดข้อมูลในสภาวะที่เกิดความผิดพร่องชนิดต่างๆ กัน จากนั้นจึงนำข่ายงานประสาทที่ถูกสอนเสร็จสมบูรณ์แล้วมาใช้งานออนไลน์เข้ากับระบบ เพื่อวินิจฉัยความผิดพร่องแบบเวลาจริง(Real time) ระบบที่ใช้ศึกษาคือ ระบบไฟฟ้ากำลังที่มีความผิดพร่องเดี่ยวที่พิจารณา 53 แห่ง โดยสัญญาณเข้าของข่ายงานประสาทคือ สถานะของวงจรหน่วงเวลา(Relay) 11 วงจร และวงจรตัดไฟฟ้า (Circuit breaker) 16 วงจร จากผลการจำลองระบบพบว่าข่ายงานประสาทสามารถตรวจพบความผิดพร่องเดี่ยวและความผิดพร่องหลายแห่งพร้อมกันได้ถูกต้อง

Sorsa, Koivo และ Koivisto [14] ได้กล่าวถึงเทคนิคการตรวจพบและวินิจฉัยความผิดพร่องด้วยวิธีการรู้จำรูปแบบและข่ายงานประสาท โดยชี้ให้เห็นข้อเด่นข่ายงานประสาท ได้แก่ความสามารถในการเข้าใจลักษณะของสัญญาณได้โดยอัตโนมัติ สามารถทำได้ในทางปฏิบัติเนื่องจากไม่จำเป็นต้องรู้ตัวแปรของระบบและมีความถูกต้องแม่นยำในการวินิจฉัยความผิดพร่องได้ดีกว่า และจำลองระบบกับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบปลอกหุ้มถังปฏิกรณ์เคมีชนิดต่อเนื่องที่มีสัญญาณที่วัดได้ 14 แห่งและมีความผิดพร่อง 10 แห่ง(ได้แก่ การตันของท่อ, อัตราการไหลและความเข้มข้นของสารที่เปลี่ยนแปลงไป, การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและการชำรุดของปั๊มและเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน) โดยใช้จำนวนรอบในการสอน 3000 รอบ พบว่าข่ายงานประสาทสามารถตรวจพบและวินิจฉัยความผิดพร่องได้อย่างถูกต้องเมื่อระบบเข้าสู่สถานะอยู่ตัวแล้ว

Bernieri และคณะ [15] นำเสนอการตรวจพบและวินิจฉัยความผิดพร่องที่เกิดขึ้นในมอเตอร์เหนี่ยวนำที่มีความผิดพร่อง 28 แห่งเนื่องจากการลัดวงจร การกระตุกของสายและการชำรุดของอุปกรณ์ โดยประยุกต์ใช้กับข่ายงานประสาทและใช้ขั้นตอนวิธีการแพร่กระจายกลับในการเรียนรู้ชุดข้อมูล ในชั้นอินพุตจะได้รับสัญญาณที่ออกจากเครื่องมือวัด 12 แห่ง และที่ชั้นเอาท์พุตจะให้ข้อมูลสำหรับการตรวจพบและแยกแยะความผิดพร่องของระบบ ส่งต่อไปยังตัวเปรียบเทียบกับค่ากำหนด(Threshold) เพื่อตัดสินใจว่าเกิดความผิดพร่องชนิดใดขึ้นในระบบ

Vora, Tambe และ Kulkarni [16] นำเสนอระบบตรวจพบและวินิจฉัยความผิดพร่องเดี่ยวด้วยข่ายงานประสาท 2 ชั้น โดยใช้ขั้นตอนวิธีการแพร่กระจายเคาน์เตอร์ (Counterpropagation algorithm) ในการหาค่าน้ำหนัก โดยวิธีนี้มีข้อได้เปรียบกว่าขั้นตอนวิธีการแพร่กระจายกลับ เนื่องจากจำนวนครั้งในการคำนวณน้อยกว่า และไม่ต้องหาค่าอนุพันธ์ของฟังก์ชันถ่ายโอนมาใช้ในการปรับค่าน้ำหนักเหมือนขั้นตอนวิธีการแพร่กระจายกลับ มีข้อกำหนดในการเลือกจำนวนโหนดและจำนวนชั้นซ่อนที่แน่นอน และมีขั้นตอนวิธีในการสอนที่ง่ายต่อการนำไปใช้กับระบบจริง แต่วิธีนี้ก็มีข้อจำกัดคือ ไม่เหมาะกับการวินิจฉัยความผิดพร่องที่มีรูปแบบของความผิดพร่องที่เกิดขึ้นพร้อมกันได้หลายแห่งเป็นจำนวนมากๆ เพราะทำให้จำนวนโหนดในชั้นโคโฮเนน(Kohonen layer) มีจำนวนมาก จากผลการจำลองกับระบบถังปฏิกรณ์เคมีซนิดต่อเนื่องซึ่งมีความผิดพร่อง 7 แห่ง(ได้แก่ การเปลี่ยนแปลงของอัตราการไหลเข้าของสาร, อุณหภูมิ, ความเข้มข้นของสาร, และสัมประสิทธิ์การแลกเปลี่ยนความร้อน) เมื่อสอนข่ายงานด้วยข้อมูลที่ช่วงสถานะอยู่ตัว พบว่าสามารถตรวจพบความผิดพร่องเดี่ยวได้ถูกต้องและบอกขนาดของความผิดพร่องได้ตั้งแต่ 6% ขึ้นไป

Zein-Sabatto, Omitowoju และ Wen-Ruey Hwang [17] นำเสนอการประยุกต์ใช้ข่ายงานประสาท 2 ชั้น ประกอบด้วย 2 ส่วน คือส่วนแรกทำการตรวจพบความผิดพร่องจากสัญญาณออกของพลานต์เพื่อส่งไปยังส่วนที่ 2 ซึ่งจะนำผลการตรวจพบความผิดพร่องนี้มาคำนวณค่าอัตราขยายที่เหมาะสมส่งต่อให้กับตัวควบคุมแบบ PID เพื่อปรับสัญญาณควบคุมระบบให้มีเสถียรภาพ ผลการทดลองกับระบบเชิงเส้นที่มีฟังก์ชันถ่ายโอนอันดับสอง และพิจารณาความผิดพร่องเดี่ยวที่เกิดขึ้นเนื่องจากพารามิเตอร์ของฟังก์ชันถ่ายโอนเปลี่ยนแปลงไป พบว่าการใช้ตัวควบคุมแบบ PID ที่มีข่ายงานประสาทอยู่ด้วยนั้น สามารถควบคุมระบบให้มีเสถียรภาพได้ดีกว่าการใช้ตัวควบคุมแบบ PID อย่างเดียว

ในงานวิจัยข้างต้นนั้น จะประยุกต์ใช้กับข่ายงานประสาทเดี่ยว ซึ่งมีข้อจำกัดในแง่ของจำนวนข้อมูลที่ใช้สอนข่ายงาน โดยเฉพาะอย่างยิ่งหากจำนวนชนิดของความผิดพร่องมีมาก จะทำให้การสอนข่ายงานประสาทเพียงข่ายงานเดียวเพื่อให้แยกแยะชนิดของความผิดพร่องได้ทั้งหมดทำได้ยาก ซึ่งจะเห็นได้ว่าในงานวิจัยโดยส่วนใหญ่จะพิจารณาความสามารถในการวินิจฉัยความผิดพร่องเดี่ยวได้เท่านั้น

ดังนั้น เพื่อให้การสอนข่ายงานประสาททำได้ง่ายและมีประสิทธิภาพในการวินิจฉัยความผิดพร่องเดี่ยวและความผิดพร่องหลายแห่งพร้อมกัน จึงมีผู้นำเสนอโครงสร้างของข่ายงานประสาทแบบลำดับชั้น (Hierarchical Artificial Neural Network, HANN) ที่สามารถแบ่งรูปแบบของข้อมูลทั้งหมดที่มีขนาดใหญ่ให้เป็นเซตข้อมูลย่อยๆ ได้ ดังในงานวิจัยของ

Watanabe, Matsuura, Abe, Kubota และ Himmelblau [18] นำเสนอการวินิจฉัยความผิดพร่องเริ่มก่อ(Incipient Fault Diagnosis) โดยใช้ HANN โดยในขั้นแรกจะทำหน้าที่วินิจฉัยสาเหตุของความผิดพร่อง และส่งต่อไปยังขั้นที่สอง ทำหน้าที่ประมาณขนาดของความผิดพร่องแต่ละชนิด โดยแบ่งเป็นระดับ

ความรุนแรงต่างๆ กัน 5 ระดับ ระบบตัวอย่างที่ใช้เป็นกระบวนการทางเคมีที่สามารถวัดค่า ได้ 3 ตัวและจากผลการจำลองระบบพบว่าข่ายงานประสาทสามารถตรวจพบและวินิจฉัยความผิดพร่องเดี่ยวทั้ง 5 แห่ง ได้ถูกต้องตามระดับความรุนแรงที่เกิดขึ้น เมื่อระบบเข้าสู่สถานะอยู่ตัวแล้ว

Watanabe และ Hirota [19] นำเสนอ HANN ในการวินิจฉัยความผิดพร่องเริ่มก่อพร้อมกันหลายแห่ง เพื่อแก้ปัญหาการสอนข่ายงานประสาท ในกรณีที่จำนวนรูปแบบของข้อมูลที่ใช้สอนมีมาก ทำให้ชั้นเอาท์พุตมีขนาดใหญ่และสอนยาก และเมื่อต้องการเพิ่มข้อมูลเพียงรูปแบบเดียว จะต้องสอนข่ายงานประสาทใหม่ทั้งหมดจึงทำให้เสียเวลา และ HANN ยังสามารถวินิจฉัยความผิดพร่องหลายแห่งพร้อมกันได้ ถึงแม้จะสอนด้วยข้อมูลเฉพาะที่เป็นความผิดพร่องเดี่ยว

Demmou และ Bernauer [20] นำเสนอการตรวจพบและวินิจฉัยความผิดพร่องโดยประยุกต์เข้ากับ HANN ซึ่งมีข่ายงานประสาททั้งหมด 7 ข่ายงานและใช้ขั้นตอนวิธีการแพร่กระจายกลับเพื่อเรียนรู้ลักษณะของระบบในสภาวะปกติและสภาวะผิดปกติ โดยทดสอบกับระบบสายพานในโรงงานและสถานีเครื่องจักรกลที่มีความผิดพร่องทั้งหมด 26 แห่ง จากผลการจำลองระบบพบว่า ข่ายงานประสาทสามารถวินิจฉัยความผิดพร่องในสถานะอยู่ตัวได้ทุกกรณี

Mageed, Sakr และ Bahgat [21] นำเสนอ HANN ที่มีความสามารถเพิ่มขึ้นจากการประยุกต์ใช้ข่ายงานประสาททั่วๆ ไป นั่นคือนอกจากจะสามารถตรวจพบและวินิจฉัยความผิดพร่องได้ ยังสามารถบอกขนาดของความผิดพร่องได้ด้วย โดยแบ่งการทำงานของ HANN เป็น 2 ลำดับชั้นคือ ลำดับชั้นที่ 1 ทำหน้าที่ตรวจพบและวินิจฉัยความผิดพร่องที่เกิดขึ้น และลำดับชั้นที่ 2 ทำหน้าที่บอกขนาดของความผิดพร่องตั้งแต่ 0% ถึง 100%, ระบบที่ทำการศึกษาคือ เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบปลอกหุ้มถังปฏิกรณ์เคมีที่มีความผิดพร่องเดี่ยว 6 แห่ง(ได้แก่ การตันของท่อ, การรั่วของถัง, การเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นของสารและอุณหภูมิ, และการชำรุดของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน) จากผลการจำลองระบบพบว่า ข่ายงานประสาทสามารถวินิจฉัยและบอกระดับความผิดพร่องเดี่ยวได้ถูกต้องในช่วงสถานะอยู่ตัวของระบบ

Watanabe, Hirota และ Hou [22] นำเสนอโครงสร้าง HANN ซึ่งเป็นการพัฒนาข่ายงานประสาทให้มีประสิทธิภาพในการวินิจฉัยความผิดพร่องได้มากขึ้น สามารถแบ่งข้อมูลจำนวนมากในเซตเดียวเป็นเซตย่อยๆ จึงลดจำนวนข้อมูลที่ใช้ในการสอนข่ายงานประสาท ทำให้การสอนข่ายงานทำได้ง่ายขึ้น จากผลการจำลองกับระบบปฏิกรณ์เคมีที่มีความผิดพร่องเดี่ยว 7 แห่ง(ได้แก่ การลดลงของพารามิเตอร์ในระบบ, การลดลงของความเข้มข้นของสารและอุณหภูมิ) พบว่าข่ายงานประสาทที่ถูกสอนด้วยชุดข้อมูลที่สถานะอยู่ตัวของระบบ สามารถตรวจพบและวินิจฉัยความผิดพร่องได้ทั้งความผิดพร่องเดี่ยวและวินิจฉัยความผิดพร่องที่เกิดขึ้นหลายแห่งพร้อมกันได้เป็นส่วนใหญ่เมื่อระบบเข้าสู่ช่วงสถานะอยู่ตัวแล้ว

การสอนข่ายงานประสาทด้วยชุดข้อมูลสถิต ทำให้การตรวจพบและวินิจฉัยความผิดพร่องจะทำได้ถูกต้องก็ต่อเมื่อระบบที่เกิดการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากความผิดพร่องได้เข้าสู่สถานะอยู่ตัวแล้ว จะเหมาะสมกับระบบที่มีช่วงเวลาเข้าที่น้อยๆ แต่ไม่เหมาะสำหรับระบบที่มีช่วงเวลาเข้าที่ยาวนาน เนื่องจากจะทำให้ตรวจพบความผิดพร่องได้ช้า ดังนั้นจึงมีผู้นำเสนอวิธีสอนข่ายงานประสาทด้วยชุดข้อมูลพลวัต เพื่อให้ข่ายงานประสาทสามารถวินิจฉัยความผิดพร่องได้ตั้งแต่ในภาวะชั่วครู่ของระบบ ดังในงานวิจัยของ

Li, Olson และ Chester [23] นำเสนอวิธีการวินิจฉัยความผิดพร่องแบบพลวัตโดยใช้ข่ายงานประสาท ข้อมูลที่ใช้สอนข่ายงานเป็นข้อมูลที่วัดได้จากระบบ และถูกแบ่งด้วยหน้าต่างเคลื่อนที่(Moving window) ซึ่งจะตัดข้อมูลพลวัตเป็นส่วนย่อยๆ ที่ซ้อนทับกัน โดยจำนวนข้อมูลที่ได้จากการเคลื่อนที่ในแต่ละครั้งจะถูกกำหนดด้วย อัตราการสุ่มตัวอย่างและความยาวของหน้าต่าง จากผลการจำลองกับระบบหอกลั่นแยกสารผสมสองชนิด พบว่าสามารถตรวจพบความผิดพร่อง 5 แห่ง(ได้แก่ การเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นของสารที่ป้อนเข้ากลางหอ, เอนทาลปีที่ป้อนเข้าหอ(Feed enthalpy) และการแลกเปลี่ยนความร้อน) ได้ถูกต้องและรวดเร็วกว่าข่ายงานประสาทสถิต(Static neural network) ที่ใช้ข้อมูลในช่วงสถานะอยู่ตัวในการสอน เนื่องจากความผิดพร่องสามารถถูกวินิจฉัยได้ตั้งแต่ช่วงภาวะชั่วครู่ของระบบ

Maki และ Loparo [24] นำเสนอข่ายงานประสาท 2 ขั้นตอน(Two-Stage Neural Network) เป็นโครงสร้างพื้นฐานของระบบตรวจพบ โดยในขั้นที่หนึ่งของข่ายงานจะใช้หน้าต่างเคลื่อนที่ตรวจพบแนวโน้มทางพลวัตของตัวแปรแต่ละตัวที่วัดมาได้ และส่งต่อไปยังข่ายงานขั้นที่สอง ซึ่งจะทำหน้าที่ตรวจพบและวินิจฉัยความผิดพร่องของระบบ โดยที่สามารถทำการสอนข่ายงานประสาทในแต่ละขั้นตอนได้อย่างอิสระต่อกัน และสามารถตรวจพบและวินิจฉัยความผิดพร่องได้ถูกต้องตั้งแต่ระบบอยู่ในช่วงภาวะชั่วครู่ ซึ่งเร็วกว่าการวินิจฉัยความผิดพร่องได้เมื่อระบบเข้าสู่ช่วงสถานะอยู่ตัวไปแล้ว จากผลการจำลองระบบพบว่าข่ายงานประสาท 2 ขั้นตอน สามารถตรวจพบและวินิจฉัยความผิดพร่องเดี่ยวของถังปฏิกรณ์เคมีชนิดต่อเนื่อง (ความผิดพร่องเนื่องจากตัวตรวจรู้, ตัวขับเร้า, การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและความเข้มข้นของสาร) ได้ถูกต้องในช่วงภาวะชั่วครู่

Calado และ Sa da Costa [25] นำเสนอข่ายงานประสาทฟัซซีแบบลำดับชั้น(Hierarchical Fuzzy Neural Network) ในการตรวจพบและวินิจฉัยความผิดพร่องเดี่ยวและความผิดพร่องหลายแห่งพร้อมกันของระบบหอกลั่นแยกสารผสม 2 ชนิด ซึ่งมีความผิดพร่องเดี่ยว 7 แห่ง(ได้แก่ การอุดตันที่ท่อ 5 แห่งและการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นและลดลงของอัตราการป้อนสารกลางหอ) โดยในแต่ละลำดับชั้นจะมีชั้นการแปลงฟัซซี(Fuzzification layer) ทำหน้าที่จัดการกับการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรแต่ละตัวในระบบให้เป็น 3 เซตคือ เพิ่มขึ้น ลดลง หรือคงที่ และส่งต่อให้กับข่ายงานประสาทเพื่อวินิจฉัยความผิดพร่องที่เกิดขึ้น พบว่าวิธีนี้ทำให้วินิจฉัยความผิดพร่องเดี่ยวและความผิดพร่องพร้อมกันหลายแห่งบางกรณีได้ถูกต้องและทำการสอนได้ง่าย

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิทยานิพนธ์

1. เพื่อศึกษาการนำข่ายงานประสาทมาใช้ในการตรวจพบและวินิจฉัยความผิดพร่องที่เกิดขึ้นในระบบ ทั้งในกรณีที่เกิดความผิดพร่องเดี่ยวและความผิดพร่องหลายแห่งพร้อมกัน
2. เพื่อศึกษาวิธีสอนข่ายงานประสาทด้วยชุดข้อมูลที่มีการเปลี่ยนแปลงทางพลวัต เพื่อให้สามารถตรวจพบและวินิจฉัยความผิดพร่องที่เกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็วตั้งแต่ระบบยังอยู่ในช่วงภาวะชั่วครู่
3. เพื่อประยุกต์ใช้ข่ายงานประสาท ในการตรวจพบและวินิจฉัยความผิดพร่องกับระบบที่มีช่วงเวลาเข้าที่ยาวนาน ได้แก่ ถังปฏิกรณ์เคมีชนิดต่อเนื่อง(CSTR, Continuous Stirred Tank Reactor) และหอกลั่นแยกสารผสม 2 ชนิด(Binary Distillation Column)
4. เพื่อประยุกต์ใช้ข่ายงานประสาทในการตรวจพบ วินิจฉัย บอกระดับขนาดความผิดพร่องเดี่ยว และแก้ไขความผิดพร่องเดี่ยวบางแห่งที่เกิดขึ้นโดยอัตโนมัติตั้งแต่ระบบยังอยู่ในภาวะชั่วครู่ โดยทดลองกับหอกลั่นแยกสารผสม 2 ชนิด

1.3 ขอบเขตของงานวิทยานิพนธ์

ศึกษาหาโครงสร้างของข่ายงานประสาท และวิธีการที่เหมาะสมในการตรวจพบและวินิจฉัยความผิดพร่องที่เกิดขึ้นทั้งในกรณีที่เกิดความผิดพร่องเดี่ยวและความผิดพร่องหลายแห่งพร้อมกันในระบบ โดยตรวจพบได้อย่างรวดเร็วตั้งแต่ระบบยังอยู่ในช่วงภาวะชั่วครู่ ซึ่งระบบที่ใช้ศึกษาได้แก่ ถังปฏิกรณ์เคมีชนิดต่อเนื่องและหอกลั่นแยกสารผสม 2 ชนิด และศึกษาการประยุกต์ใช้ข่ายงานประสาทในการตรวจพบ วินิจฉัย บอกระดับขนาดความผิดพร่องเดี่ยว และแก้ไขความผิดพร่องเดี่ยวบางแห่งที่เกิดขึ้นโดยอัตโนมัติตั้งแต่ระบบยังอยู่ในภาวะชั่วครู่ โดยทดลองกับหอกลั่นแยกสารผสม 2 ชนิด

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. ศึกษาข่ายงานประสาทที่มีโครงสร้างแบบ HANN ในการตรวจพบและวินิจฉัยความผิดพร่องเดี่ยวและความผิดพร่องหลายแห่งพร้อมกันในระบบ
2. ศึกษาวิธีตรวจพบและวินิจฉัยความผิดพร่องในช่วงภาวะชั่วครู่ของระบบ การสร้างหน้าต่างเคลื่อนที่และการสอนข่ายงานประสาทด้วยชุดข้อมูลที่มีการเปลี่ยนแปลงทางพลวัต
3. ศึกษาระบบถังปฏิกรณ์เคมีชนิดต่อเนื่องและหอกลั่น เพื่อพิจารณาชนิดของความผิดพร่องที่เกิดขึ้นและลักษณะการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรต่างๆ ในกรณีที่ระบบอยู่ในสภาวะปกติและกรณีที่ระบบเกิดความผิดพร่องที่เลือกใช้ในการทดลอง

4. ทดลองสอนข่ายงานประสาทด้วยชุดข้อมูลที่ได้จากผลการจำลองระบบถังปฏิกรณ์เคมีชนิดต่อเนื่องและหอกลั่นด้วยคอมพิวเตอร์ในสภาวะปกติและสภาวะที่เกิดความผิดพร่องชนิดต่างๆ กัน ทดสอบและปรับปรุงวิธีการในการตรวจพบและวินิจฉัยความผิดพร่องของระบบ ด้วยข่ายงานประสาท
5. ทดลองสอนข่ายงานประสาทอีกชุดหนึ่ง โดยเพิ่มความสามารถในการบอกระดับขนาดของความผิดพร่องเดี่ยวที่เกิดขึ้นในระบบหอกลั่นแยกสารผสม 2 ชนิด
6. ทดลองสร้างระบบแก้ไขความผิดพร่องเดี่ยวบางชนิด หลังจากมีสัญญาณเตือนความผิดพร่อง โดยผ่านการปรับอัตราขยายแบบสัดส่วนและอินทิกรัลของตัวควบคุม PI ก่อนส่งเป็นสัญญาณเข้าระบบ
7. สรุปและวิเคราะห์ผล

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ผลการศึกษาวิจัยสามารถนำไปประยุกต์สร้างระบบตรวจพบและวินิจฉัยความผิดพร่องในระบบที่มีช่วงเวลาเข้าที่ยาวนาน