บทที่ 1

บทนำ

ในการออกแบบตัวควบคุมแบบดั้งเดิม (Conventional Controller) เพื่อดำเนินการกระบวนการต่าง ๆ โดยอัตโนมัติ โดยทั่วไปมักจะสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Model) ซึ่งแสดงพฤติกรรมทางกายภาพที่เกิดขึ้นในแต่ละส่วนของกระบวนการ และมักจะสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่อยู่ในรูปเชิงเส้นและไม่คำนึงถึงผลของสัญญาณรบกวนอีกด้วย เพื่อให้การออกแบบตัวควบคุมทำได้ง่าย แต่การดำเนินการควบคุมกระบวนการในทางปฏิบัติบางกระบวนการมีความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณเข้าและสัญญาณออกที่ซับซ้อนจนไม่สามารถหาแบบจำลองเชิงเส้นเพื่ออธิบายพฤติกรรมของระบบอย่างแม่นยำได้ นอกจากนี้ในการออกแบบระบบควบคุมยังมิได้พิจารณาถึงสัญญาณรบกวนภายนอกที่เกิดขึ้นกับกระบวนการอีกด้วย ทฤษฎีการควบคุมสมัยใหม่ที่เกิดขึ้นภายหลัง เช่นการควบคุมที่มีการปรับตัวเองได้ (Adaptive control) การสร้างตัวควบคุมที่สามารถทนต่อการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ของระบบได้ (Robust control) นอกจากนี้ยังมีการศึกษาเกี่ยวกับการลดผลสัญญาณรบกวนโดยสร้างตัวประมาณตัวแปรสถานะที่สามารถลดผลสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นกับระบบได้เช่นตัวกรองคาลมาน ซึ่งเทคโนโลยีเหล่านี้ทำให้ตัวควบคุมมีประสิทธิภาพดีขึ้น และสามารถควบคุมระบบที่มีความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณเข้าและออกที่ซับซ้อนได้ แต่ทั้งนี้การออกแบบตัวควบคุมยังคงต้องใช้การคำนวณที่ยุ่งยากและใช้คณิตศาสตร์ขั้นสูง แต่ทว่าการควบคุมกระบวนการในปัจจุบันเจ้าหน้าที่ปฏิบัติการสามารถควบคุมระบบได้โดยไม่จำเป็นต้องรู้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ จึงได้เกิดแนวความคิดในการสร้างระบบควบคุมที่จำลองการทำงานของเจ้าหน้าที่ปฏิบัติการคืออาศัยกฎเกณฑ์ที่ไม่ชัดเจน(Fuzzy Rule-based) และการใช้เหตุผลโดยประมาณ (Approximate Resoning) ซึ่งเป็นการควบคุมแบบตรรกศาสตร์ฟัซซี (Fuzzy Logic Controller : FLC) ซึ่งมีรากฐานมาจากทฤษฎีเซตฟัซซี เสนอโดย Zadeh, L.A. ในปี ค.ศ. 1965 การประยุกต์ใช้งานตัวควบคุมฟัซซีครั้งแรกโดย Mamdani, E.H. ในปี ค.ศ. 1975 เป็นการควบคุมเครื่องจักรไอน้ำในห้องปฏิบัติการ นำมาใช้ในอุตสาหกรรมครั้งแรกโดยใช้ควบคุมเตาเผาซีเมนต์ของบริษัท (Smidth, F.L., 1982) หลังจากนั้นได้มีการพัฒนาใช้กับระบบควบคุมต่าง ๆ อีกมากมายเช่น อุตสาหกรรมเหล็ก (Takekoshi et al., 1989) การควบคุมปฏิกรณ์นิวเคลียร์ (Bernard, 1998) อุตสาหกรรมกระดาษ (Ohtani, 1990) เป็นต้น

เนื่องจากข้อมูลที่ใช้ในการออกแบบตัวควบคุมตรรกศาสตร์ฟัซซีได้จากเจ้าหน้าที่ปฏิบัติการจึงทำให้เกิดข้อเสียจุดใหญ่ของตัวควบคุมตรรกศาสตร์ฟัซซีคือ ความเชื่อถือได้ของประสบการณ์ของเจ้า

หน้าที่ปฏิบัติการ ซึ่งอาจเกิดจากการให้ข้อมูลไม่เพียงพอ การตีความหมายผิดจากข้อมูลที่มีความคลุมเครือ เพื่อแก้ปัญหาเหล่านี้ จึงได้มีการพัฒนาตัวควบคุมตรรกศาสตร์ฟัซซีชนิดที่สามารถปรับตัวเองได้ (Adaptive (Learning / Self-organizing) Fuzzy System) ขึ้นครั้งแรกในปี 1979 โดย Procyk & Mamdani ต่อมาในระยะหลังได้มีการพัฒนาตัวควบคุมตรรกศาสตร์ฟัซซีชนิดที่สามารถปรับตัวเองได้โดยใช้หลักการในการปรับตัวเองแบบต่าง ๆ

ในวิทยานิพนธ์นี้ได้ศึกษาและออกแบบตัวควบคุมตรรกศาสตร์ฟัซซีชนิดที่สามารถปรับตัวเองได้ และทดสอบ โดยการควบคุมเพนดูลัมผกผัน (Inverted Pendulum) เปรียบเทียบกับตัวชดเชยชนิดล่ำหน้าที่มีการหาค่าพารามิเตอร์แบบเหมาะสมที่สุดรวมทั้งมีตัวกรองคาลมานเพื่อลดผลของสัญญาณรบกวนอีกด้วย ซึ่งการทดสอบจะเปรียบเทียบในประเด็นของการลดผลสัญญาณรบกวน

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เนื่องจากตัวควบคุมตรรกศาสตร์ฟัซซีมีข้อเสียดังกล่าวข้างต้น จึงได้เริ่มมีการสร้างตัวควบคุมที่สามารถปรับตัวเองขึ้น การนำข่ายงานระบบประสาท (Neural Network) ซึ่งเป็นระบบที่ใช้ในการเรียนรู้มาใช้ในการปรับตัวควบคุมเป็นวิธีแรกที่ได้รับความนิยมมาก Handelman, Lane & Gelfand [1990] นำข่ายงานระบบประสาทมาใช้ในการปรับตัวควบคุมที่ใช้พื้นฐานความรู้จากเจ้าหน้าที่ปฏิบัติการ (Knowledge base system) ทดลองกับระบบหุ่นยนต์ C.C. Lee[1991] ควบคุม Inverted Pendulum โดยใช้ตัวควบคุมฟัซซีชนิดที่ใช้นิวรอลเนตเวอร์กในการปรับตัวเอง ทดลองเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ของระบบและเปรียบเทียบกับ Barto's System ซึ่งใช้ตัวควบคุมแบบข่ายงานระบบประสาทเพียงอย่างเดียว ปรากฏว่าได้ผลดีกว่าคือสามารถตั้งก้านไม้ให้อยู่ในแนวตั้งตรงได้เร็วกว่าและมีการแกว่งน้อย

Seong-Gon Kong & Kosko, Bart [1992] เปรียบเทียบตัวควบคุมตรรกศาสตร์ฟัซซีกับตัวควบคุมนิวรอลเนตเวอร์ก โดยใช้ควบคุม Truck-and-Trailer ทดสอบการทนต่อสภาพการเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์ของระบบ (Robustness) ของข่ายงานระบบประสาท โดยสุ่มเลือกข้อมูลในการเรียนรู้บางชุดออก ซึ่งทำให้ต้องใช้เวลาในการเรียนรู้มากขึ้น ส่วนตัวควบคุมตรรกศาสตร์ฟัซซีทดสอบโดยการคัดกฎบางกฎออก ซึ่งระบบยังคงทำงานได้ดีจนกระทั่งกฎถูกคัดออกมากกว่า 50 %

Jyh-Shing R. Jang [1992] เสนอวิธีการออกแบบตัวควบคุมที่เรียกว่า Temporal back-propagation (TBP) เพื่อใช้ในการสร้างตัวควบคุมตรรกศาสตร์ฟัซซีชนิดที่มีการปรับตัวเอง โดยใช้ Inverted Pendulum เป็นระบบทดสอบซึ่งได้ผลดี แต่วิธีการนี้เป็นการเรียนรู้แบบที่ต้องให้คำแนะนำตลอดเวลา (Supervise Learning) จึงจำเป็นต้องใช้ข้อมูลในการเรียนรู้ที่ถูกต้องอยู่ตลอดเวลา ซึ่งในทางปฏิบัติจริงอาจไม่สามารถหาข้อมูลเหล่านี้ได้ ต่อมา Berenji, H.R. & Khedkar, P.[1992] เสนอวิธีการเรียนรู้และปรับตัวควบคุมตรรกศาสตร์ฟัซซีแบบที่ไม่จำเป็นต้องมีการแนะนำตลอดเวลาหรือต้องการคำแนะนำทันทีทัน

ใดในแต่ละขั้นตอน (Reinforcement Learning) ทดสอบกับ Inverted Pendulum ศึกษาอัตราการเรียนรู้ (Speed of learning) ซึ่งการให้ค่าเริ่มต้นเป็นค่าเดียวกันในการเรียนรู้แต่ละครั้งจะใช้อัตราการเรียนรู้ลดลง และศึกษาการทนต่อสภาพการเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์ของกระบวนการ (Robustness) ซึ่งเมื่อกระบวนการมีการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์สามารถใช้การเรียนรู้อีกเพียง 2-4 ครั้ง ก็สามารถควบคุมระบบได้ดีเหมือนเดิม

Fei, Jian & Isik, Can [1992] ศึกษาระบบหุ่นยนต์โดยใช้ตัวควบคุมแบบตรรกศาสตร์ฟัซซีพบว่าเป็นตัวควบคุมชนิดที่สามารถทนกับการเปลี่ยนพารามิเตอร์ของระบบเพียงเล็กน้อยได้ แต่เมื่อพารามิเตอร์ของระบบมีการเปลี่ยนแปลงมากตัวควบคุมทำงานได้ผลไม่ดีเท่าที่ควร หลังจากนั้นนำวิธีการปรับปรุงตัวเอง (ทำการปรับเฉพาะการแปลความหมายของตัวแปรภาษา(Linguistic variable) ไม่มีการปรับกฎ) เข้ามาใช้ระบบสามารถทำงานได้ดีเหมือนเดิม ซึ่งหมายความว่าการปรับการแปลความหมายของตัวแปรภาษามีความสำคัญมากในการปรับตัวควบคุม ซึ่งได้ผลเหมือนกับงานของ Lotfi, A. & Tsoi, A. C.

เนื่องจากการใช้ข่ายงานระบบประสาทเรียนรู้การปรับปรุงตัวควบคุมตรรกศาสตร์ฟัซซี เป็นการปรับพารามิเตอร์ของระบบที่ไม่เชิงเส้นให้เหมาะสมที่สุด (Nonlinear Parameter Optimization) ซึ่งความไม่เชิงเส้นนี้ทำให้การหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมใช้เวลาในการเรียนรู้นาน และอาจไม่ได้ค่าต่ำสุดในวงกว้าง (Global Minimum) คือพบจุดที่มีค่าต่ำสุดเฉพาะที่ก่อน(Local Minimum) Li-Xin Wang & Mendel, Jerry M. [1992] เสนอวิธีการเขียนระบบฟัซซีให้อยู่ในรูปของผลบวกของฟังก์ชันมูลฐานฟัซซี (Fuzzy Basis Function) หลังจากนั้นทำการปรับพารามิเตอร์ซึ่งเป็นการปรับพารามิเตอร์แบบเชิงเส้น

วิธีการปรับปรุงตัวควบคุมฟัซซีดังกล่าวข้างต้นส่วนใหญ่ต้องใช้การคำนวณในแต่ละขั้นตอน(State) มากทำให้ไม่สามารถใช้ในทางปฏิบัติจริง(Real Time) ได้ Li-Xin Wang & Mendel, Jerry M. [1992] ได้พัฒนาวิธีการสร้างตัวควบคุมฟัซซีที่ใช้การคำนวณเพื่อปรับตัวควบคุมน้อย (จำนวนการคำนวณในการปรับปรุง 1 ครั้งต่อคู่อินพุตเอาต์พุต) ผลตอบที่ได้อาจไม่ค่อยดีนัก แต่สามารถใช้ได้ในทางปฏิบัติ

จากการศึกษาข้างต้นการปรับปรุงวิธีการใช้ตัวควบคุมฟัซซีชนิดที่ใช้ข่ายงานระบบประสาทในการปรับตัวเองนั้นต้องใช้การคำนวณมากซึ่งอาจไม่สามารถใช้กับระบบจริงได้ (Real Time) Halgamuge, S. K. & Glesner, M.[1994] จึงเสนอการปรับปรุงวิธีการใช้ข่ายงานระบบประสาทในการปรับตัวควบคุมฟัซซี คือจะทำการคัดกฎที่ไม่จำเป็นออกและใช้การปรับการตีความหมายของตัวแปรภาษา(Membership Function) ให้เหมาะสมที่สุด เหมาะสำหรับระบบที่มีจำนวนอินพุตมาก

Gardner, D., Ashenayi, K., Timmerman, M. & Sujeet Shenoi[1994] นำตัวควบคุมฟัซซีชนิดปรับตัวเองระหว่างการทำงาน(On-line Adaptive Fuzzy Controller) มาใช้งานจริงกับระบบหลายชนิดในห้องปฏิบัติการ โดยใช้ Intel 8031 เป็นตัวควบคุมสามารถเรียนรู้ระบบด้วยอัตรา 200 ครั้งต่อนาที ซึ่งมีความไวพอที่จะควบคุมระบบทั่วไป

Genetic Algorithm เป็นวิธีการที่ได้รับการพัฒนาขึ้นในระยะหลัง แต่ยังไม่เป็นที่นิยมเนื่องจากการคำนวณในแต่ละขั้นตอน (State) ใช้เวลามากจึงทำให้ไม่สามารถใช้กับระบบจริงได้ Herrera, F. Lozano, M. & Verdegay, J. L.[1993] เสนอวิธีการปรับตัวควบคุมฟัซซีโดยใช้ genetic algorithm ทดสอบกับ Inverted Pendulum ซึ่งได้ผลดีกว่าตัวควบคุมฟัซซีธรรมดา Leitch, D. & Probert, P.[1994] ใช้ Genetic algorithm ในการปรับตัวควบคุมฟัซซี โดยทดสอบกับระบบ Target tracking Inverted Pendulum Corridor tracker และ Multi point turn ซึ่งได้ผลการควบคุมเป็นที่น่าพอใจ

เนื่องจากตัวควบคุมตรรกศาสตร์ฟัซซีเป็นตัวควบคุมที่สามารถทนต่อการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ของระบบ Isomursu, Pekka & Rauma, Tapio [1994] ทดสอบความสามารถในการลดผลของสัญญาณรบกวนของตัวควบคุมตรรกศาสตร์ฟัซซีชนิดที่มีการปรับตัวเอง ซึ่งให้ผลดีกว่าเมื่อเทียบกับตัวควบคุมแบบ PI โดยใช้การควบคุมอุณหภูมิของไอน้ำอิ่มตัวเป็นระบบทดสอบ Pacini, P.J. & Kosko, B.[1992] เปรียบเทียบระหว่างตัวควบคุมตรรกศาสตร์ฟัซซีกับตัวกรองคาลมาน โดยทดสอบกับ Target Tracking ตัวควบคุมทั้งสองตัวให้ผลตอบดีเมื่อมีสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นกับระบบ เมื่อระบบมีสัญญาณรบกวนที่ไม่ได้เกิดขึ้นกับระบบเช่นความผิดพลาดเนื่องจากการวัดตัวควบคุมฟัซซีให้ผลตอบที่ดีกว่า และทดสอบการทนต่อการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ของตัวควบคุมตรรกศาสตร์ฟัซซีโดยการคัดกฎออก ซึ่งสามารถคัดออกได้ถึง 50 % ส่วนตัวกรองคาลมานคุณสมบัติของตัวควบคุมลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อความแปรปรวนของสัญญาณรบกวนมากขึ้น

เนื่องจากตัวควบคุมตรรกศาสตร์ฟัซซีมีคุณสมบัติที่สามารถทนต่อการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ของระบบ (Robustness) และการปรับตัวเองของตัวควบคุมฟัซซีอาจจะสามารถเรียนรู้และลดผลของสัญญาณรบกวนที่มีต่อระบบได้ จากข้อสันนิษฐานดังกล่าวในวิทยานิพนธ์นี้จะทำการศึกษาผลของตัวควบคุมฟัซซีชนิดปรับตัวเองที่มีต่อสัญญาณรบกวน โดยใช้ตัวกรองคาลมานเป็นตัวเปรียบเทียบ

จุดประสงค์ของวิทยานิพนธ์

เพื่อศึกษาความสามารถในการลดผลสัญญาณรบกวนของตัวควบคุมฟัซซีชนิดปรับตัวเอง (Adaptive Fuzzy Controller) โดยเปรียบเทียบกับตัวชดเชยชนิดล้ำหน้าที่มีการหาค่าพารามิเตอร์แบบเหมาะสมที่สุดและมีตัวกรองคาลมานช่วยลดผลของสัญญาณรบกวน โดยใช้การควบคุมก้านที่อยู่บนรถให้ตั้งตรง (Inverted Pendulum)

ขอบเขตของวิทยานิพนธ์

พัฒนาโปรแกรมประยุกต์ซึ่งทำงานบนไมโครคอมพิวเตอร์ เพื่อสร้างตัวควบคุมและทดสอบกับระบบจำลองที่มีการจำลองจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ชนิดที่ไม่เป็นเชิงเส้นของการควบคุมก้านที่อยู่บนรถให้ตั้งตรง โดยสร้างตัวควบคุม 3 ชนิดเพื่อเปรียบเทียบผลดังนี้

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1. ตัวควบคุมฟัซซีชนิดที่มีการปรับตัวโดยใช้ข่ายงานระบบประสาท (Adaptive Fuzzy Controller using Back-propagation) [Jyh-Shing R. Jang, 1992]
2. ตัวควบคุมฟัซซีชนิดที่มีการปรับตัวโดยใช้วิธีกำลังสองน้อยสุดเชิงตั้งฉาก (Orthogonal Least Square)
3. ตัวชดเชยชนิดล้ำหน้าที่ใช้การหาค่าพารามิเตอร์แบบเหมาะสมที่สุดพร้อมทั้งมีตัวประมาณตัวแปรสถานะคาลมาน

เปรียบเทียบความสามารถในการลดผลของสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นกับระบบและความผิดพลาดเนื่องจากการวัดซึ่งมีการแจกแจงแบบเกาส์เซียนทั้งแบบที่เป็นอิสระทางเวลาหรือที่เรียกว่าสัญญาณรบกวนขาวแบบเกาส์ (Gaussian white noise) และแบบที่ไม่เป็นอิสระทางเวลาคือสัญญาณรบกวนที่เวลาต่าง ๆ มีความสัมพันธ์กันหรือที่เรียกว่าสัญญาณรบกวนสีแบบเกาส์ (Gaussian colored noise) นอกจากนี้ยังเปรียบเทียบความยากง่ายในการออกแบบระบบควบคุม ผลจากการศึกษานี้จะช่วยทำให้เข้าใจการควบคุมแบบฟัซซีชนิดที่มีการปรับตัวเอง และการใช้ตัวควบคุมที่มีตัวกรองคาลมานเป็นตัวลดผลสัญญาณรบกวนอันจะเป็นประโยชน์ในการเลือกใช้ตัวควบคุมให้เหมาะสมกับระบบและความต้องการ

โครงสร้างของวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์นี้ประกอบด้วยเนื้อหาจำนวน 5 บท ในบทแรกกล่าวถึงความสำคัญของการศึกษานี้ รวมถึงเป้าหมายของการวิจัยครั้งนี้

บทที่ 2 กล่าวถึงพื้นฐานที่จำเป็นสำหรับการศึกษาการควบคุมฟัซซี ซึ่งประกอบไปด้วยทฤษฎีฟัซซีพื้นฐาน และทฤษฎีการออกแบบตัวควบคุมฟัซซีชนิดที่ปรับตัวเองได้ ทั้งแบบที่ใช้ข่ายงานระบบประสาทและวิธีกำลังสองน้อยสุดเชิงตั้งฉากในการปรับตัวเอง

บทที่ 3 กล่าวถึงการสร้างแบบจำลองของระบบและออกแบบตัวชดเชยชนิดล้ำหน้ารวมทั้งการออกแบบตัวกรองคาลมาน และในส่วนท้ายของบทจะทำการทดสอบตัวควบคุมและตัวกรองคาลมานในการลดผลของสัญญาณรบกวนแบบต่าง ๆ ดังกล่าวข้างต้น

จากทฤษฎีฟัซซีและการออกแบบตัวควบคุมฟัซซีชนิดที่ปรับตัวเองที่แสดงในตอนต้นบทที่ 4 จะกล่าวถึงการทดสอบตัวควบคุมฟัซซีชนิดที่มีการปรับตัวโดยใช้ข่ายงานระบบประสาทในการปรับตัวควบคุม โดยศึกษาถึงความสามารถในการลดผลสัญญาณรบกวนแบบต่าง ๆ

จากการทดสอบความสามารถในการลดผลสัญญาณรบกวนของตัวควบคุมทั้งสองชนิดในบทที่ 3 และ 4 จะสรุปและเปรียบเทียบตัวควบคุมแบบต่าง รวมทั้งข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยในขั้นต่อไป ซึ่งแสดงไว้ในบทที่ 5