บทที่ 1

บทนำ

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันนี้ได้มีความพยายามหาทางนำแขนกลแบบอ่อนตัวมาใช้งานกันมากขึ้น ทั้งนี้เพราะแขนกลแบบแข็งเกร็ง ที่ใช้กันโดยทั่วไปมีข้อเสียคือ มีน้ำหนักมากทำให้การเคลื่อนที่ช้าและต้องใช้พลังงานมากในการขับเคลื่อน ดังนั้นจึงต้องใช้ตัวขับเร้า (actuator) ที่มีความสามารถสูง นอกจากนี้แขนกลแบบแข็งเกร็งยังมีอัตราส่วนระหว่างมวลที่รับได้กับมวลของแขนกลต่ำ (low payload ratio) เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าว จึงมีความพยายามนำแขนกลแบบอ่อนตัวมาใช้แทน ซึ่งมีข้อดีคือ มีน้ำหนักเบา เคลื่อนที่เร็ว และใช้พลังงานในการขับเคลื่อนน้อย อย่างไรก็ตามแขนกลแบบอ่อนตัวก็มีข้อเสียคือ เนื่องจากความอ่อนตัวของแขนกลทำให้เกิดการแกว่งที่ตำแหน่งปลายเมื่อแขนกลมีการเคลื่อนที่ และไม่สามารถใช้การออกแบบตัวควบคุมที่ใช้ได้ดีกับแขนกลแบบแข็งเกร็งมาใช้กับแขนกลแบบอ่อนตัวโดยที่ละเลยความอ่อนตัวได้ ดังนั้นจึงต้องใช้ตัวควบคุมที่มีความสามารถสูงกว่าเดิม ด้วยเหตุผลที่กล่าวมา งานวิจัยนี้จึงสนใจที่จะศึกษาและพัฒนาการควบคุมแขนกลแบบอ่อนตัว

แขนกลแบบอ่อนตัว

แขนกลแบบอ่อนตัวสามารถแสดงด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในรูปของสมการเชิงอนุพันธ์ย่อยและเงื่อนไขขอบเขต ซึ่งถ้ามองในปริภูมิสถานะแล้วจะเป็นระบบมิติเป็นอนันต์ (infinite-dimensional system) การออกแบบตัวควบคุมจึงเป็นเรื่องที่ยากเพราะต้องใช้ความรู้และความเข้าใจในคณิตศาสตร์ที่ลึกซึ้งในการวิเคราะห์ ดังนั้นส่วนใหญ่มักจะทำการประมาณให้อยู่ในรูปของระบบมิติจำกัด (finite-dimensional system) ก่อนแล้วจึงออกแบบตัวควบคุมกับระบบที่ประมาณแล้ว วิธีนี้ใช้ความรู้และความเข้าใจในคณิตศาสตร์ไม่มากนัก อย่างไรก็ตามขนาดของระบบที่ได้จากการประมาณมีผลต่อการออกแบบตัวควบคุมด้วย ดังนั้นจึงต้องใช้การประมาณที่ละเอียดเพียงพอ เพื่อที่จะได้ออกแบบตัวควบคุมที่ถูกต้อง

วิธีการหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่มีมิติจำกัดของระบบแขนกลโดยทั่วไปมี 2 วิธี (Ge,Lee and Zhu, 1997) วิธีแรกคือ วิธีการสมมติโมด (Assumed Modes Method หรือ AMM) เป็นวิธีที่ต้องใช้ความเข้าใจพื้นฐานในด้านทฤษฎีการสั่น (vibration theory) และตัวแปรสถานะที่ได้จากวิธีนี้ไม่มีความ

หมายทางกายภาพ แต่วิธีนี้มีข้อดีคือ สามารถแสดงองค์ประกอบความถี่ธรรมชาติของระบบได้ วิธีที่สอง คือ ระเบียบวิธีชิ้นประกอบอันตะ (Finite Element Method หรือ FEM) วิธีนี้มีข้อดีคือ ตัวแปรสถานะทุกตัวมีความหมายในทางกายภาพ แต่มีข้อเสียคือไม่สามารถแสดงองค์ประกอบความถี่ธรรมชาติได้

การควบคุมแขนกลแบบอ่อนตัว

จากที่กล่าวไว้ในตอนต้นว่างานวิจัยส่วนใหญ่จะใช้วิธีการออกแบบตัวควบคุมกับระบบที่ประมาณให้มีมิติจำกัดซึ่งมีงานวิจัยที่น่าสนใจคือ Cannon and Schmitz (1984) และ Sakawa, Matsuno and Fukushima (1985) ได้ทำการออกแบบตัวควบคุมสำหรับระบบแขนกลแบบอ่อนตัวและได้ทำการทดลองกับระบบจริง วิธีการควบคุมที่ใช้คือ LQR (Linear Quadratic Regulator) โดยที่ Cannon and Schmitz (1984) ได้สร้างตัวสังเกตสถานะ (state observer) โดยใช้สัญญาณออกของระบบคือ มุมของมอเตอร์และตำแหน่งปลาย แต่ Sakawa, Matsuno and Fukushima (1985) สร้างตัวสังเกตสถานะจากสัญญาณออกคือ มุมของมอเตอร์และสัญญาณจากตัวตรวจรู้ความเครียด (strain gauge) นอกจากนี้ในช่วงต้นยังมีงานวิจัยในแนวทางอื่นๆ คือ การใช้ตัวควบคุมแบบป้อนไปข้างหน้า (feedforward) และป้อนกลับ(feedback) กับระบบแขนกลแบบอ่อนตัว เช่น Wells, Schueller and Tlusty (1990) ทำการคิดแบบจำลองเป็น spring-damper system ส่วน Pota (1992) ใช้ FEM ในการหาแบบจำลองของระบบ และทั้งสองวิธีทำการออกแบบตัวควบคุมจากแบบจำลองที่ได้

งานวิจัยที่ศึกษาการใช้การควบคุมแบบปรับเองกับแขนกลแบบอ่อนตัว อาทิเช่น Nemir, Koivo and Kashyap (1988) ใช้แบบจำลองเป็น ARX และใช้การควบคุมแบบปรับจูนตัวเอง (self-tuning control) แต่ในงานวิจัยนี้ไม่ได้ใช้ประโยชน์ของการควบคุมแบบปรับจูนตัวเองอย่างเต็มที่เพราะไม่ได้ศึกษาในส่วนที่พารามิเตอร์มีการเปลี่ยนแปลง หลังจากงานวิจัยชิ้นนี้ก็มี Yang, Yang and Kudva (1992) ได้ใช้วิธีการเดียวกัน และได้ทำการศึกษาในส่วนที่มีการเปลี่ยนมวลที่ตำแหน่งปลายด้วย และ Feng and Palamiswami (1991) ใช้วิธีการกำหนดตำแหน่งขั้วแบบปรับตัวโดยอ้อม (indirect adaptive pole assignment) กับแขนกลแบบอ่อนตัวข้อต่อเดียวที่รู้แบบจำลองบางส่วน

งานวิจัยที่กล่าวมาทั้งหมดก่อนหน้านี้เป็นการใช้ตัวควบคุมแบบเชิงเส้นทั้งหมดและใช้กับการควบคุมแขนกลแบบอ่อนตัวข้อต่อเดียวซึ่งสามารถประมาณได้ด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เป็นเชิงเส้น แต่ในกรณีของแขนกลที่มีหลายข้อต่อไม่ว่าจะมีส่วนของข้อต่อที่อ่อนตัวเพียง 1 ข้อก็ตาม จัดว่าเป็นระบบไม่เชิงเส้น ดังนั้นเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพในการควบคุมที่ดีจึงต้องใช้วิธีการควบคุมแบบไม่เชิงเส้น งานวิจัยที่น่าสนใจเริ่มจาก Wang and Vidyasagar (1991) ได้ศึกษาเกี่ยวกับการทำให้เป็นเชิงเส้นด้วยการป้อนกลับ (feedback linearization หรือ FL) กับ ระบบแขนกลที่มีแขนกลแบบอ่อนตัว 1 ข้อต่อ ปรา

กฎว่าการทำให้เป็นเชิงเส้นด้วยการป้อนกลับไม่เหมาะสมที่จะใช้กับระบบดังกล่าว ทั้งนี้พบว่าถ้าเลือกสัญญาณออกที่เหมาะสม จะสามารถทำการทำให้เป็นเชิงเส้นระหว่างสัญญาณขาเข้ากับสัญญาณขาออกด้วยการป้อนกลับ (input-output feedback linearization) ได้ แต่ปัญหาที่เกิดขึ้นคือพลวัตภายใน (internal dynamic) ของระบบไม่มีเสถียรภาพเชิงเส้นกำกับ (asymptotically stable) ดังนั้นการทำให้เป็นเชิงเส้นระหว่างสัญญาณขาเข้ากับสัญญาณขาออกด้วยการป้อนกลับจึงไม่สามารถใช้ได้เช่นกัน

ต่อมาได้มีงานวิจัยของ Lewis and Vandegrift (1992) ที่แสดงถึงปัญหาของวิธีการทำให้เป็นเชิงเส้นด้วยการป้อนกลับและวิธีการแก้ไข ได้ศึกษาแขนกลแบบอ่อนตัวในกรณีทั่วไปคือมีหลายข้อต่อ และได้แสดงให้เห็นว่าสามารถใช้วิธีการทำให้เป็นเชิงเส้นด้วยการป้อนกลับเพื่อสร้างสัญญาณควบคุมที่ทำให้โมดแข็งเกร็งเคลื่อนที่ไปตามเส้นทางที่ต้องการได้ แต่ส่วนของโมดอ่อนตัวอาจจะไม่มีเสถียรภาพเชิงเส้นกำกับ และในบทความนี้ได้เสนอแนวทางในการแก้ไขโดยใช้วิธีการรบกวนแบบเอกฐาน (singular perturbation) ซึ่งมีหลักการคือ แยกระบบออกเป็นสองส่วนคือพลวัตช้า (slow dynamics) จะเป็นส่วนของโมดแข็งเกร็งและพลวัตเร็ว (fast dynamics) ซึ่งเป็นส่วนของโมดอ่อนตัว และทำการออกแบบตัวควบคุมสำหรับระบบทั้งสองส่วนโดยที่พลวัตช้าสามารถใช้วิธีการทำให้เป็นเชิงเส้นด้วยการป้อนกลับได้ เพราะมีเป็นส่วนของโมดแข็งเกร็งเท่านั้น และมีสมการอยู่ในรูปของแขนกลแบบแข็งเกร็ง และในส่วนของพลวัตเร็วเป็นสมการเชิงเส้นสามารถใช้วิธีการควบคุมแบบ LQR ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้ในบทความนี้ได้ งานวิจัยอื่นๆ ที่ใช้วิธีการรบกวนแบบเอกฐาน เช่น Bouaziz, Dochin, Piedbouef and Hurteau (1993) และ Aoustin and Chevallereau (1993) สำหรับวิธีการควบคุมแบบไม่เชิงเส้น อีกวิธีหนึ่งที่ใช้กันโดยทั่วไปคือ วิธีการควบคุมแบบไถล (sliding control) ซึ่งมีกล่าวถึงใน Nathan and Singh (1991), Qian and Ma (1991) และ Qian and Ma (1992)

ในส่วนของการทดลองกับระบบจริงโดยใช้วิธีต่างๆ ที่กล่าวมาข้างต้น มีกล่าวถึงใน Aoustin, Chevallerau, Glumiwau and Moog (1994) ซึ่งได้เปรียบวิธีการควบคุม 5 วิธีกับระบบแขนกลข้อต่อเดียวแบบอ่อนตัว ซึ่งใช้การควบคุมแบบ PD, FL, LQR, วิธีการรบกวนแบบเอกฐาน และ การควบคุมแบบไถล สรุปได้ว่า วิธีการรบกวนแบบเอกฐานสามารถที่จะตามรอย (track) เส้นทางที่ต้องการได้ดีที่สุด

การใช้วิธีการควบคุมแบบไม่เชิงเส้นที่มีการปรับตัว (adaptive nonlinear control) กับแขนกลแบบอ่อนตัวมีกล่าวถึงในบทความ Ham and Lee (1992) ซึ่งสร้างกฎการควบคุมและกฎการปรับพารามิเตอร์ของตัวควบคุมจากฟังก์ชันคล้ายเลียปูโนฟ (Lyapunov-like Function) วิธีนี้มีจุดที่น่าสนใจคือ ในการสร้างสัญญาณควบคุม จะใช้เฉพาะสัญญาณจากโมดแข็งเกร็งเท่านั้น อย่างไรก็ตามวิธีที่ใช้ในบทความนี้จะใช้ได้เมื่อเส้นทางที่ต้องการไม่มีการเปลี่ยนแปลงรวดเร็วเกินไป ไม่เช่นนั้นจะทำให้พลวัตในส่วนอ่อนตัวขาดเสถียรภาพ ใน Yang, Lian and Fu (1995) ได้ใช้วิธีการโครงสร้างแปรผันได้แบบปรับตัว

(adaptive variable structure) และในบทความนี้ได้พิสูจน์เสถียรภาพจากฟังก์ชันเลียปูโนฟและได้ทดลองจริงกับแขนกลแบบอ่อนตัวชนิด 2 ข้อต่อ ก่อนหน้านี้ Yang, Liu and Fu (1994) เสนอกฎการควบคุมแบบไม่เชิงเส้นและกฎการปรับพารามิเตอร์จากฟังก์ชันเลียปูโนฟซึ่งสามารถรับประกันเสถียรภาพของระบบวงปิดได้ แต่ในบทความนี้มีปัญหาอยู่ที่ว่ามีค่าของตัวแปรสถานะของระบบบางค่าที่ทำให้เทอมที่เป็นตัวหารของกฎการควบคุมเป็นศูนย์ ซึ่งในบทความเสนอวิธีการแก้ด้วยการเพิ่มจำนวนบวกค่าน้อยไปกับเทอมนั้น และเป็นผลทำให้ค่าผิดพลาดจะอยู่ในขอบเขตค่าหนึ่งแทนที่จะเข้าใกล้ศูนย์เมื่อเวลาเพิ่มขึ้น ต่อมาผู้วิจัยกลุ่มเดิมได้เสนอวิธีการแก้ไขในบทความ (Yang, Lian and Fu, 1997) โดยเพิ่มอัตราขยายแบบปรับตัว (adaptive gain) เข้าไป ซึ่งสามารถแก้ไขปัญหาดังกล่าวได้

วิธีการควบคุมแขนกลแบบอ่อนตัวยังมีอีกมากมายหลายวิธี อาทิเช่น Ge, Lee and Zhu (1997) ออกแบบตัวควบคุมป้อนกลับแบบไม่เชิงเส้น จากแบบจำลองไม่เชิงเส้นของแขนกลแบบอ่อนตัวข้อต่อเดียวที่ได้จากระเบียบวิธีชิ้นประกอบอันตะ และ Yim (1996) ใช้วิธีการควบคุมเชิงทำนายแบบไม่เชิงเส้น (nonlinear predictive control) เป็นต้น

การควบคุมแบบปรับตัวเองที่ใช้กับแขนกลทั้งแบบแข็งเกร็งและอ่อนตัว จะใช้ในกรณีที่ไม่รู้ค่าพารามิเตอร์ของระบบแน่นอน ซึ่งจะมีกฎการปรับพารามิเตอร์เพื่อประมาณค่าของพารามิเตอร์ที่ไม่ทราบค่า แต่สมการของระบบจะต้องจัดได้ในรูปแบบความเป็นเชิงเส้นในพารามิเตอร์ (linear parametrization form) ซึ่งก็คืออยู่ในรูปของเมทริกซ์การถดถอย (regressor matrix) คูณกับ เวกเตอร์ของพารามิเตอร์ที่ไม่ทราบค่า (unknown parameter vector) อย่างไรก็ตาม Chang and Chen (1997) ได้กล่าวถึงปัญหาของการใช้วิธีนี้คือการคำนวณเมทริกซ์การถดถอยเป็นงานที่ใช้เวลาการคำนวณมากและที่สำคัญจะต้องรู้โครงสร้างของแบบจำลองแบบพลวัตของแขนกลอย่างถูกต้อง ซึ่งในกรณีของแขนกลหลายข้อต่อแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มีความซับซ้อนมาก และนอกจากนี้ปัญหาอาจจะเกิดขึ้นในกรณีที่ไม่สามารถเขียนในรูปของเมทริกซ์การถดถอยคูณกับเวกเตอร์ของพารามิเตอร์ที่ไม่ทราบค่าได้ ปัญหาดังกล่าวเกิดขึ้นเนื่องจากการใช้แบบจำลองที่อาศัยพารามิเตอร์ (parametric model) ในการแสดงสมการของระบบ ดังนั้นเพื่อแก้ไขปัญหาในจุดนี้จึงมีการนำแบบจำลองที่ไม่อาศัยพารามิเตอร์ (non-parametric model) มาใช้ซึ่งวิธีที่นิยมใช้กันโดยทั่วไปคือ ข่ายงานระบบประสาท (neural networks)

ข่ายงานระบบประสาทสามารถใช้ในการประมาณฟังก์ชันได้ดี และนอกจากนี้ยังได้มีการใช้ข่ายงานระบบประสาทในงานทางด้านระบบควบคุมโดยเฉพาะการควบคุมแบบปรับตัวเอง ซึ่งมีกล่าวถึงใน Hunt, Sbarbaro, Zbikowski and Gawthrop (1992) และ Narendra (1996) ซึ่งเป็นบทความที่รวบรวมการใช้ข่ายงานระบบประสาทแนวทางต่างๆ ในงานทางด้านระบบควบคุม Sanner and Slotine (1992) ได้ใช้ข่ายงานระบบประสาทชนิดฟังก์ชันฐานหลักเชิงรัศมีชนิดเกาส์เซียน (gaussian radial basis

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

function) มาใช้ในการควบคุมแบบปรับตัวเองโดยตรง (direct adaptive control) และ Polycarpou and Ioannou (1994) ศึกษาการใช้ข่ายงานระบบประสาทหลายๆ รูปแบบในการหาเอกลักษณ์ (identification) และ การควบคุมระบบไม่เชิงเส้นและได้ใช้ทฤษฎีเสถียรภาพของเลียปูโนฟ (Lyapunov stability theory) ในการวิเคราะห์ และสังเคราะห์ วิธีการหาเอกลักษณ์และการควบคุม นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยเกี่ยวกับการใช้ข่ายงานระบบประสาทในการควบคุมแบบตามรอย โดยใช้กับ แขนกลแบบแข็งเกร็ง ซึ่งกล่าวถึงใน Lewis, Liu and Yesildirek (1995)

งานวิจัยที่ใช้ข่ายงานระบบประสาทในการควบคุมแขนกลแบบอ่อนตัวมีมากมายอาทิเช่น Cheng and Wen (1993) ทำการศึกษาการควบคุมแบบตามรอยโดยใช้กับแขนกลข้อต่อเดียวแบบอ่อนตัว และวิธีนี้ใช้ได้กับเฉพาะระบบเชิงเส้นไม่เปลี่ยนตามเวลา (linear time-invariant system) เท่านั้น Yesildirek, Vandegrift and Lewis (1994) ใช้ข่ายงานระบบประสาทในการควบคุมส่วนพลวัตช้าที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยการรบกวนแบบเอกฐาน นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยที่น่าสนใจคือ Donne and Ozguner (1994) และ Lin and Yih (1996) ทั้งสองบทความมีหลักการเดียวกันคือ ทำการหาแบบจำลองและออกแบบตัวควบคุมโดยคิดเฉพาะส่วนแข็งเกร็ง (rigid part) เท่านั้น ส่วนแบบจำลองในส่วนอ่อนตัวและตัวควบคุมในส่วนนี้ใช้ข่ายงานระบบประสาทเป็นตัวช่วยเสริม อย่างไรก็ตามในแนวทางนี้ต้องใช้ข่ายงานระบบประสาท 2 ชุด โดยใช้ 1 ชุดในการหาเอกลักษณ์ และ อีก 1 ชุดในการสร้างตัวควบคุม ซึ่งวิธีนี้จะต้องใช้เวลาในฝึกข่ายงานระบบประสาทเพื่อหาเอกลักษณ์ของระบบล่วงหน้าก่อน จึงสามารถใช้ได้ ซึ่งในขั้นตอนนี้ใช้เวลาค่อนข้างนาน

ที่กล่าวทั้งหมดในข้างต้น เป็นแนวทางและวิธีการควบคุมแขนกลแบบอ่อนตัวด้วยวิธีต่างๆ และได้ใช้เป็นแนวความคิดในการออกแบบตัวควบคุม จากที่ได้ทำการศึกษามาทั้งหมดได้กำหนดจุดมุ่งหมายในการออกแบบตัวควบคุมหรือลักษณะของตัวควบคุมที่ต้องการดังนี้

ลักษณะตัวควบคุมที่ต้องการ

1. เป็นตัวควบคุมแบบปรับตัว

ในกรณีที่ไม่ทราบค่าพารามิเตอร์ของระบบอย่างแน่นอน เนื่องมาจากการหาแบบจำลองที่ถูกต้องทำได้ยากหรือค่าพารามิเตอร์มีการเปลี่ยนแปลงได้ เช่น มวลที่ตำแหน่งปลาย จะใช้ตัวควบคุมแบบปรับตัวเพราะว่าตัวควบคุมสามารถปรับตัวให้เหมาะสมกับระบบจนได้ผลตอบสนองที่ต้องการได้

2. อยู่ในรูปของข่ายงานระบบประสาท

เนื่องจากความไม่เหมาะสมในการใช้วิธีการควบคุมแบบปรับตัวเองโดยทั่วไปซึ่งใช้ได้กับระบบที่สามารถเขียนให้อยู่ในรูปของเมทริกซ์การถดถอยคูณกับเวกเตอร์ของพารามิเตอร์ที่ไม่ทราบค่า เนื่อง

จากว่าต้องรู้โครงสร้างของแบบจำลองของระบบซึ่งเป็นการยากที่จะวิเคราะห์สมการของแขนกลแบบอ่อนตัว ดังนั้นจึงใช้ข่ายงานระบบประสาทในการประมาณแบบจำลองของระบบแทน เพราะไม่ต้องทราบโครงสร้างของแบบจำลองเพียงแต่ทราบสัญญาณเข้าและสัญญาณออกเท่านั้น

3. ลักษณะอื่นๆ

นอกจากนี้แล้ว ถ้าเป็นไปได้ ตัวควบคุมควรมีคุณสมบัติเพิ่มเติมดังนี้

การฝึกหัดข่ายงาน (training) ไม่ควรจะต้องฝึกหัดข่ายงานล่วงหน้าเพราะเป็นขั้นตอนที่ใช้เวลานาน ควรมีกฎการปรับพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สามารถปรับพารามิเตอร์ไปสู่ค่าที่เหมาะสมตั้งแต่เริ่มใช้งานได้เลย

การพิสูจน์เสถียรภาพ ควรมีการพิสูจน์เสถียรภาพของระบบที่ใช้ตัวควบคุมที่เสนอขึ้น เพราะโดยทั่วไปการควบคุมด้วยข่ายงานระบบประสาท จะไม่มีการพิสูจน์เสถียรภาพของระบบ

1.2 จุดประสงค์ในการทำวิทยานิพนธ์

เพื่อศึกษาและพัฒนาการควบคุมแขนกลแบบอ่อนตัวข้อต่อเดียว โดยใช้วิธีการควบคุมแบบปรับตัวที่มีโครงสร้างอยู่ในรูปของข่ายงานระบบประสาท

1.3 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์

1. ศึกษาและออกแบบตัวควบคุมแบบปรับตัวโดยใช้ข่ายงานระบบประสาท กับแขนกลแบบอ่อนตัวข้อต่อเดียว โดยอาศัยการจำลองแบบด้วยคอมพิวเตอร์ (Computer Simulation)
2. นำตัวควบคุมที่ออกแบบไว้มาใช้ในการควบคุมแขนกลแบบอ่อนตัวข้อต่อเดียวที่เป็นระบบจริง (Hardware Implementation)

1.4 ขั้นตอนในการดำเนินงาน

1. ศึกษาแขนกลแบบอ่อนตัวข้อต่อเดียวเพื่อหาแบบจำลองที่จะใช้ในการจำลองแบบด้วยคอมพิวเตอร์
2. ศึกษาวิธีการควบคุมแขนกลแบบอ่อนตัวที่ผ่านมา
3. ศึกษาการควบคุมแบบปรับตัว
4. ศึกษาข่ายงานระบบประสาทและวิธีการใช้ข่ายงานระบบประสาทในงานทางด้านระบบควบคุม
5. ทำการออกแบบตัวควบคุม และทดลองใช้โดยการจำลองแบบด้วยคอมพิวเตอร์
6. ทดลองใช้ตัวควบคุมที่ออกแบบไว้ กับชุดทดลองแขนกลแบบอ่อนตัวข้อต่อเดียว

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้วิธีการใหม่ที่มีประสิทธิภาพในการควบคุมแขนกลแบบอ่อนตัวข้อต่อเดียว
2. เป็นพื้นฐานในการออกแบบตัวควบคุมสำหรับแขนกลแบบอ่อนตัวที่มีหลายข้อต่อ
3. เป็นพื้นฐานในการพัฒนา เพื่อนำแขนกลแบบอ่อนตัวไปใช้ในทางอุตสาหกรรมได้

1.6 โครงสร้างของวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์นี้ประกอบด้วย เนื้อหาทั้งหมด 5 บท โดยบทต่างๆ มีเนื้อหาดังนี้

บทที่ 1 เป็นการกล่าวนำถึงที่มาและความสำคัญของปัญหา พร้อมทั้งได้กล่าวถึงงานวิจัยที่ผ่านมาซึ่งใช้เป็นแนวความคิดในการออกแบบและกำหนดลักษณะของตัวควบคุมที่ต้องการ จากนั้นเป็นส่วนของวัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์, ขอบเขตของวิทยานิพนธ์, ขั้นตอนในการดำเนินงาน และประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

บทที่ 2 กล่าวถึงความรู้พื้นฐานซึ่งประกอบด้วยลักษณะและโครงสร้างของข่ายงานระบบประสาท ส่วนต่อมาจะอธิบายถึงวิธีการควบคุมแบบปรับตัวทั้งวิธีที่ใช้โดยทั่วไปและวิธีที่ใช้ข่ายงานระบบประสาท

บทที่ 3 กล่าวถึงวิธีที่เสนอขึ้น โดยเริ่มจากอธิบายโครงสร้างของตัวควบคุมก่อนที่จะนำมาดัดแปลง จากนั้นจะกล่าวถึงวิธีการควบคุมด้วยข่ายงานระบบประสาทที่อาศัยแบบจำลองในส่วนแข็งเกร็งซึ่งเป็นวิธีการที่เสนอขึ้น

บทที่ 4 แสดงผลการทดลองใช้วิธีการควบคุมที่เสนอขึ้นกับชุดทดลองแขนกลแบบอ่อนตัวข้อต่อเดียว โดยในส่วนแรกเป็นการทดลองด้วยการจำลองแบบด้วยคอมพิวเตอร์และทำการวิเคราะห์ผลการทดลอง ในส่วนหลังเป็นการทดลองกับระบบจริง

บทที่ 5 เป็นบทสรุปและข้อเสนอแนะ โดยจะกล่าวถึงหลักการโดยรวมอย่างย่อ พร้อมทั้งข้อดีและข้อเสียของวิธีการควบคุมที่นำเสนอ และได้แสดงข้อเสนอแนะไว้ในตอนท้าย

ภาคผนวก แสดงรายละเอียดของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของแขนกลแบบอ่อนตัวข้อต่อเดียวที่ใช้ในการจำลองแบบด้วยคอมพิวเตอร์