อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

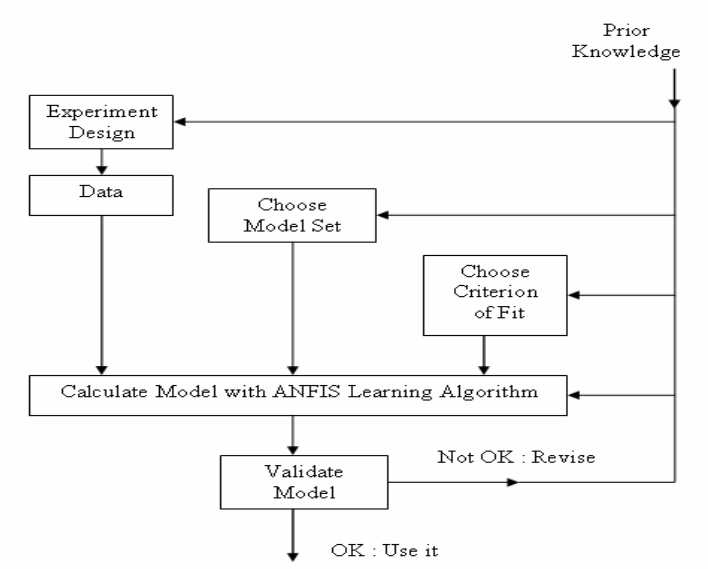
1. เครื่องคอมพิวเตอร์ 1 ชุด (Intel Celeron CPU 2.40 GHz, 480 MB of RAM)
2. โปรแกรม Matlab และ Simulink

วิธีการ

กระบวนการการหาแบบจำลองของระบบแขนหุ่นยนต์โดยใช้แบบจำลอง ANFIS จะกล่าวถึงภาพรวมของขั้นตอนต่าง ๆ ในการหาแบบจำลองของระบบแขนหุ่นยนต์ในหัวข้อที่ 1 กล่าวถึงกระบวนการออกแบบการทดลองสำหรับเก็บข้อมูลในหัวข้อที่ 2 ในหัวข้อที่ 3 จะกล่าวถึงตัวเลือกแบบจำลองต่าง ๆ ที่จะนำมาใช้เป็นตัวเลือกสำหรับหาแบบจำลองของระบบแขนหุ่นยนต์ ในหัวข้อที่ 5 จะกล่าวถึงกระบวนการการเรียนรู้ของแบบจำลอง ANFIS และในหัวข้อที่ 6 จะกล่าวถึงการตรวจสอบแบบจำลอง ANFIS ว่าสามารถนำมาใช้แทนระบบแขนหุ่นยนต์ได้หรือไม่

1. กระบวนการหาแบบจำลองของระบบแขนหุ่นยนต์โดยใช้แบบจำลอง ANFIS

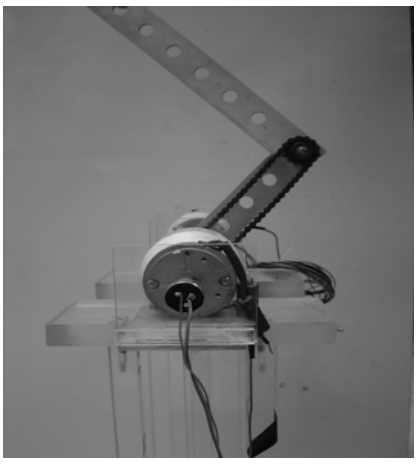
ขั้นตอนแสดงกระบวนการหาแบบจำลองของระบบแขนหุ่นยนต์โดยใช้แบบจำลอง ANFIS สามารถอธิบายด้วยแผนภาพที่ 17 โดยในส่วนของการออกแบบการทดลอง เราจะออกแบบการทดลองโดยมีจุดประสงค์เพื่อให้ได้ข้อมูลทั้งในส่วนอินพุตและเอาท์พุตที่สามารถอธิบายคุณสมบัติที่สำคัญของระบบได้ และในกระบวนการหาแบบจำลองของระบบเราจำเป็นต้องมีหลาย ๆ รูปแบบหรือหลาย ๆ โครงสร้าง เพื่อนำมาใช้เป็นตัวเลือกที่จะได้นำแบบจำลองของแต่ละรูปแบบมาเลือกแบบจำลองเหมาะสมที่สุด ดังนั้นเราจำเป็นต้องสร้างหลักเกณฑ์ในการเลือกซึ่งโดยทั่วไปจะพิจารณาตัวเลือกที่ให้ค่าความผิดพลาดจากกระบวนการเรียนรู้น้อยที่สุด นอกจากนี้หลังจากได้แบบจำลองที่ถูกเลือกจากตัวเลือกต่าง ๆ แล้ว เรายังจำเป็นต้องนำแบบจำลองนั้นมาทำการตรวจสอบอีกครั้งว่าสามารถนำไปใช้ได้จริงหรือไม่



ภาพที่ 17 แผนภาพแสดงกระบวนการหาแบบจำลองของระบบโดยใช้ ANFIS
ที่มา: Lennart Ljung (1999)

2. การออกแบบการทดลอง

ในส่วนนี้ จะทำการออกแบบการทดลองเพื่อทำการเก็บข้อมูล เพื่อนำข้อมูลที่ได้ไปใช้ในกระบวนการหาแบบจำลองระบบของระบบแขนหุ่นยนต์ โดยในงานวิทยานิพนธ์นี้จะใช้ระบบแขนหุ่นยนต์จากงานวิทยานิพนธ์ (อำนาจ, 2548) ดังภาพที่ 18



ภาพที่ 18 โครงสร้างแขนหุ่นยนต์
ที่มา: อำนาจ (2548)

ซึ่งระบบแขนหุ่นยนต์ดังกล่าว จะมีค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ แสดงในตารางที่ 1 ดังต่อนี้

ตารางที่ 1 ค่าพารามิเตอร์ของระบบแขนหุ่นยนต์

ตัวแปร (พารามิเตอร์)	ค่าตัวแปร
$z_1 = m_1 l_{c1}^{\ 2} + m_2 l_1^{\ 2} + I_1$	0.0308
$z_2 = m_2 l_{c2}^{\ 2} + I_2$	0.0106
$z_3 = m_2 l_1 l_{c2}$	0.0095
$z_4 = m_1 l_{c1} + m_2 l_1$	0.2087
$z_5 = m_2 l_{c2}$	0.063

จากนั้นจะนำค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของระบบแขนหุ่นยนต์มาเขียนในรูปสมการการเคลื่อนที่ของระบบแขนหุ่นยนต์ ในรูปแบบสมการ state-space ตามสมการที่ (81) ดังนี้

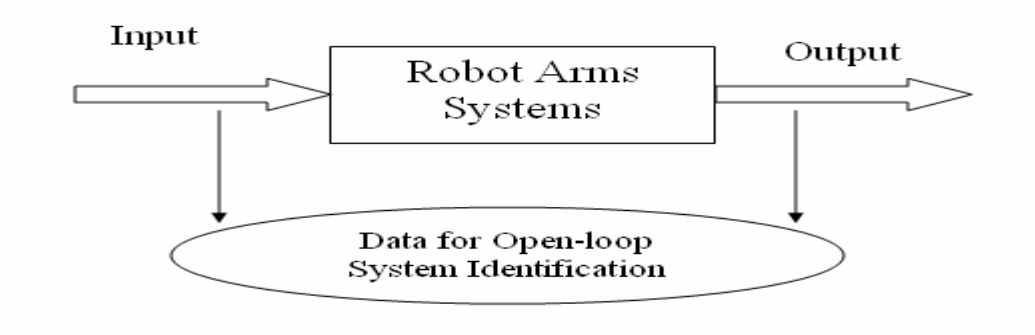
$$\dot{x} = \begin{bmatrix} x_3 \\ x_4 \\ -D^{-1}(\theta)(C(\theta,\dot{\theta})\dot{\theta} + G(\theta)) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ D^{-1}(\theta)[1 \quad 1]^T \end{bmatrix} u \tag{95}$$

โดย

$$\begin{aligned} D(\theta) &= \begin{bmatrix} z_1 + z_2 + 2z_3\cos(\theta_2) & z_2 + z_3\cos(\theta_2) \\ z_2 + z_3\cos(\theta_2) & z_2 \end{bmatrix} \\ C(\theta,\dot{\theta}) &= \begin{bmatrix} -z_3\sin(\theta_2)\dot{\theta}_2 & -z_3\sin(\theta_2)(\dot{\theta}_1 + \dot{\theta}_2) \\ z_3\sin(\theta_2)\dot{\theta}_1 & 0 \end{bmatrix} \\ G(\theta) &= \begin{bmatrix} z_4 g\cos(\theta_1) + z_5 g\cos(\theta_1 + \theta_2) \\ z_5 g\cos(\theta_1 + \theta_2) \end{bmatrix} \end{aligned} \tag{96}$$

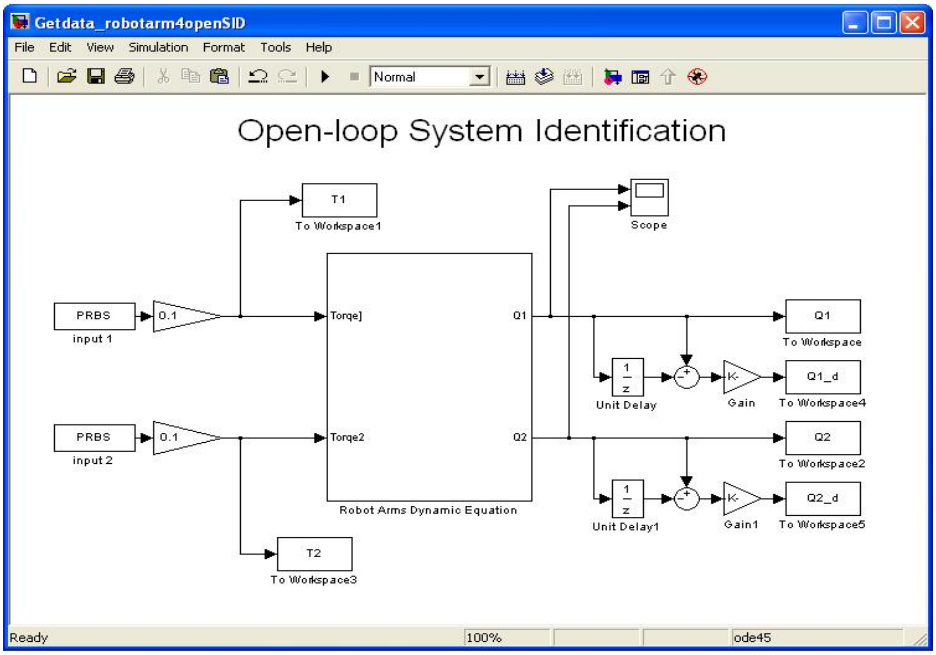
แล้วนำไปใช้ในโปรแกรม Simulink ของ Matlab เพื่อนำไปใช้ในการเก็บข้อมูลสำหรับการหาแบบจำลองของระบบแขนหุ่นยนต์ต่อไป โดยได้แบ่งการทดลองสำหรับการเก็บข้อมูลออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้

2.1 การหาแบบจำลองโดยใช้ Open-Loop System Identification กล่าวคือเราจะทำการเก็บข้อมูลทั้งในส่วนอินพุตและเอาท์พุตของระบบแขนหุ่นยนต์ที่มีการควบคุมแบบวงเปิด สามารถแสดงกระบวนการเก็บข้อมูลได้ในภาพที่ 19



ภาพที่ 19 แสดงกระบวนการเก็บข้อมูลสำหรับ Open-Loop System Identification

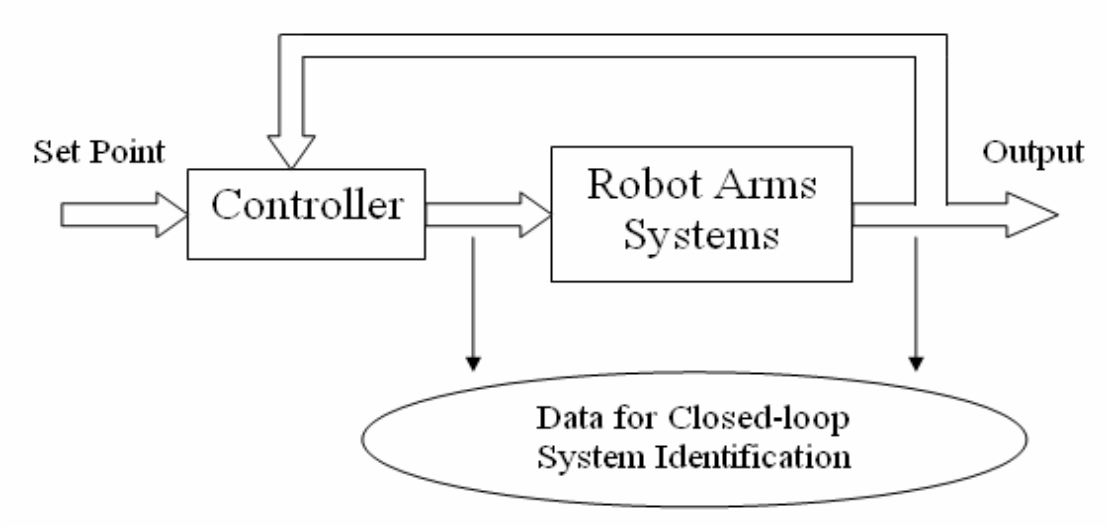
ในงานวิทยานิพนธ์นี้จะประยุกต์โดยแทนระบบแขนหุ่นยนต์ด้วยสมการการเคลื่อนที่ ในโปรแกรม Simulink ของ Matlab แล้วเก็บข้อมูลไว้ในตัวแปรต่าง ๆ ดังภาพที่ 20 โดยจะทำการเก็บข้อมูลทุก ๆ 0.05 วินาที



ภาพที่ 20 โปรแกรม Simulink สำหรับใช้เก็บข้อมูลของแขนหุ่นยนต์ เพื่อทำ Open-Loop System Identification

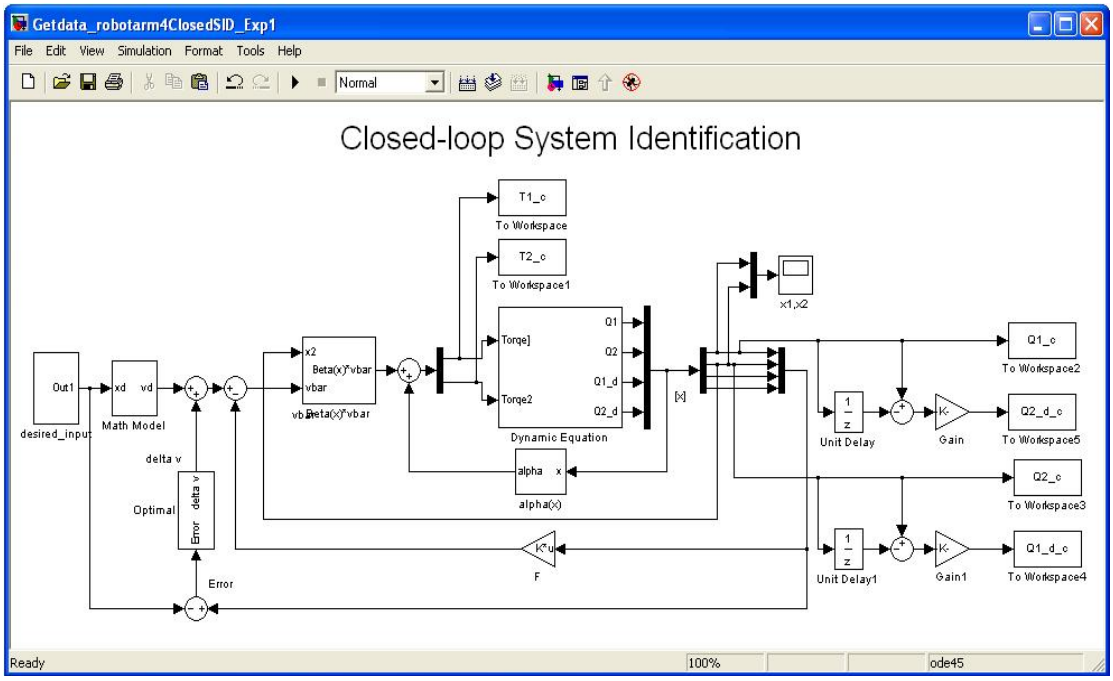
นอกจากนี้ทอร์กที่จะใช้เป็นสัญญาณอินพุตเพื่อป้อนให้กับแขนหุ่นยนต์ทั้งแขนที่ 1 และแขนที่ 2 จะกำหนดให้ใช้เป็นสัญญาณ psuedo random binary sequence (PRBS) เนื่องจากสัญญาณ PRBS จะมีคุณสมบัติเหมือนสัญญาณรบกวนขาว (white noise) กล่าวคือ สามารถกระตุ้นระบบได้ทุกย่านความถี่ ทำให้ข้อมูลเอาท์พุตที่ได้จะให้ผลตอบสนองในทุกย่านความถี่

2.2 การหาแบบจำลองโดยใช้ Closed-Loop System Identification เนื่องจากในความเป็นจริง ระบบต่าง ๆ จะอยู่ในรูปแบบการควบคุมแบบวงปิดอยู่แล้ว ทำให้การเก็บข้อมูลของระบบสามารถทำได้สะดวกกว่า โดยรูปแบบการเก็บข้อมูลสามารถแสดงดังภาพที่ 21

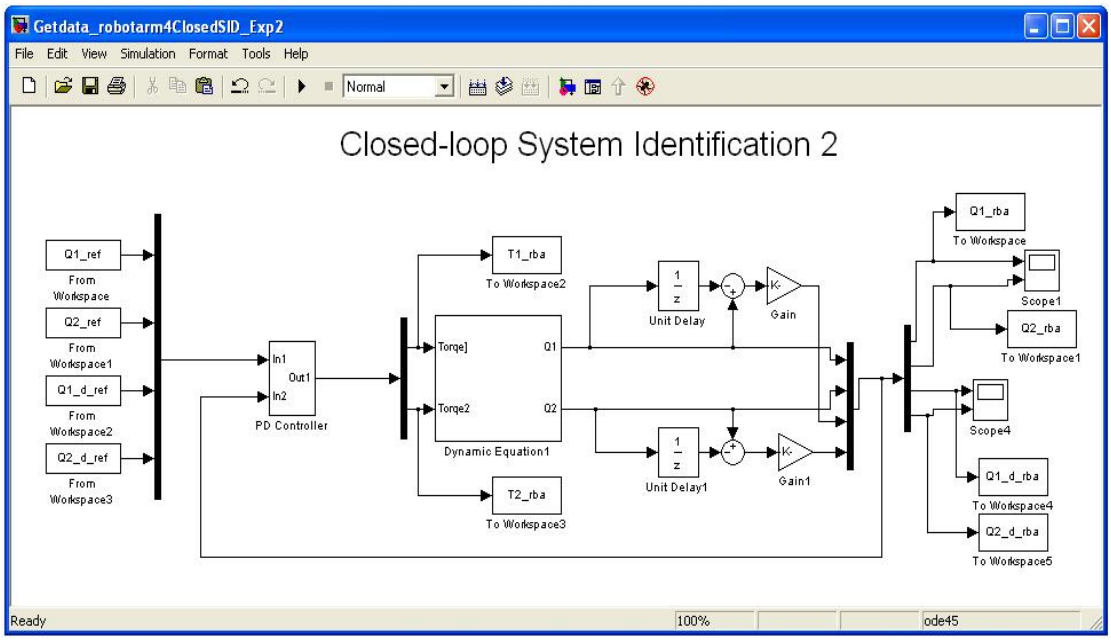


ภาพที่ 21 แสดงกระบวนการเก็บข้อมูลสำหรับ Closed-Loop System Identification

ดังนั้นในงานวิทยานิพนธ์นี้ จะทำการออกแบบระบบควบคุมแบบวงปิดโดยใช้ตัวควบคุม 2 แบบ คือ ตัวควบคุมแบบ feedback linearization และตัวควบคุมแบบ PD มาควบคุมสมการการเคลื่อนที่ของระบบแขนหุ่นยนต์ แล้วทำการเก็บข้อมูลสัญญาณอินพุตที่เข้าสู่ระบบแขนหุ่นยนต์ และสัญญาณเอาท์พุตที่ออกจากระบบแขนหุ่นยนต์ โดยใช้โปรแกรม Simulink ของ Matlab มาทำการทดลอง โดยระบบควบคุมแบบวงปิดที่ใช้ตัวควบคุมแบบ feedback linearization สามารถแสดงได้ดังแผนภาพที่ 22 และระบบควบคุมแบบวงปิดที่ใช้ตัวควบคุมแบบ PD สามารถแสดงได้ดังแผนภาพที่ 23 โดยจะทำการเก็บข้อมูลทุก ๆ 0.05 วินาที



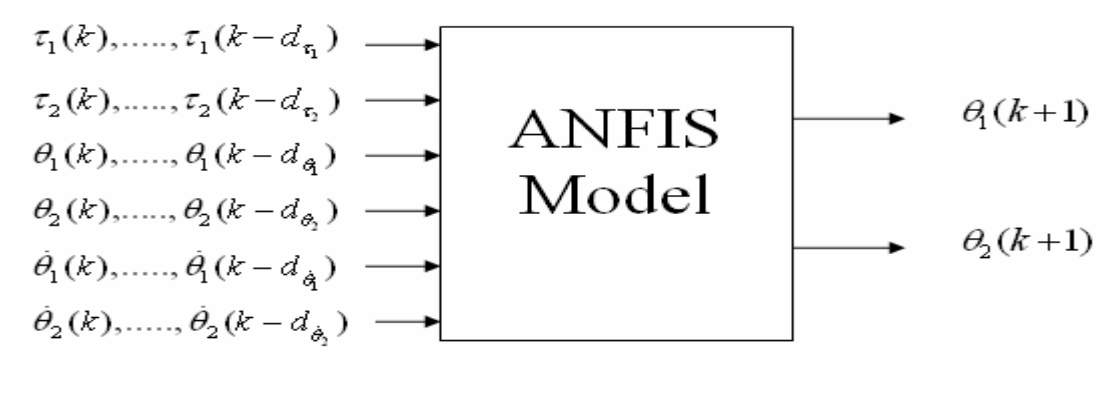
ภาพที่ 22 โปรแกรม Simulink สำหรับใช้เก็บข้อมูลของแขนหุ่นยนต์ เพื่อทำ Closed-Loop System Identification โดยใช้ตัวควบคุมแบบ Feedback Linearization



ภาพที่ 23 โปรแกรม Simulink สำหรับใช้เก็บข้อมูลของแขนหุ่นยนต์ เพื่อทำ Closed-Loop System Identification โดยใช้ตัวควบคุมแบบ PD

3. **ชุดของตัวเลือกของ ANFIS แบบต่าง ๆ ที่ใช้เป็นแบบจำลองของระบบแขนหุ่นยนต์**

ในหัวข้อนี้จะทำการกำหนดตัวเลือกของแบบจำลอง ANFIS แบบต่าง ๆ ที่จะนำมาใช้เป็นแบบจำลองของระบบแขนหุ่นยนต์ ซึ่งในแบบจำลองของ ANFIS แบบต่าง ๆ จะถูกกำหนดด้วยอินพุตที่จะป้อนให้กับ ANFIS ดังภาพที่ 24



ภาพที่ 24 แสดงแบบจำลอง ANFIS ที่มีอินพุตเป็นตัวแปรแบบต่าง ๆ

4. **กระบวนการคัดเลือกแบบจำลอง ANFIS จากตัวเลือกแบบต่าง ๆ**

ในวิทยานิพนธ์นี้ จะทำการคัดเลือกแบบจำลอง ANFIS จากตัวเลือกแบบต่าง ๆ โดยพิจารณาจากผลที่ได้หลังจากผ่านกระบวนการเรียนรู้ของ ANFIS โดยการนำข้อมูลอินพุตที่ใช้ในกระบวนการเรียนรู้มาป้อนให้กับแบบจำลอง ANFIS แบบต่าง ๆ แล้วนำเอาข้อมูลเอาท์พุตที่ได้มาจากแบบจำลองมาทำการเปรียบเทียบกับข้อมูลเอาท์พุตที่ใช้ในกระบวนการเรียนรู้ โดยสามารถวัดค่าเป็นค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยกำลังสองของค่าความผิดพลาด (RMSE : root mean square error) ระหว่างเอาท์พุตของแบบจำลอง ANFIS และเอาท์พุตที่ใช้ในกระบวนการเรียนรู้ โดยมีสมการดังนี้

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}(t_i - z_i)^2} \tag{97}$$

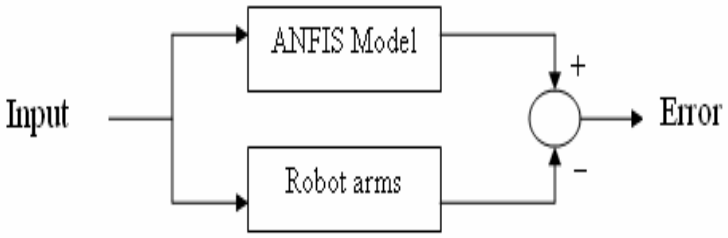
โดย t เป็นเอาท์พุตที่ใช้ในกระบวนการเรียนรู้ z เป็นเอาท์พุตที่ได้จากแบบจำลอง ANFIS และ N เป็นจำนวนชุดข้อมูลที่ใช้ในกระบวนการเรียนรู้ แล้วจะทำการคัดเลือกโดยพิจารณาแบบจำลอง ANFIS ที่ให้ค่า *RMSE* น้อยที่สุดหรือน้อยเพียงพอตามความเหมาะสม

5. **<u>กระบวนการเรียนรู้สำหรับแบบจำลอง ANFIS</u>**

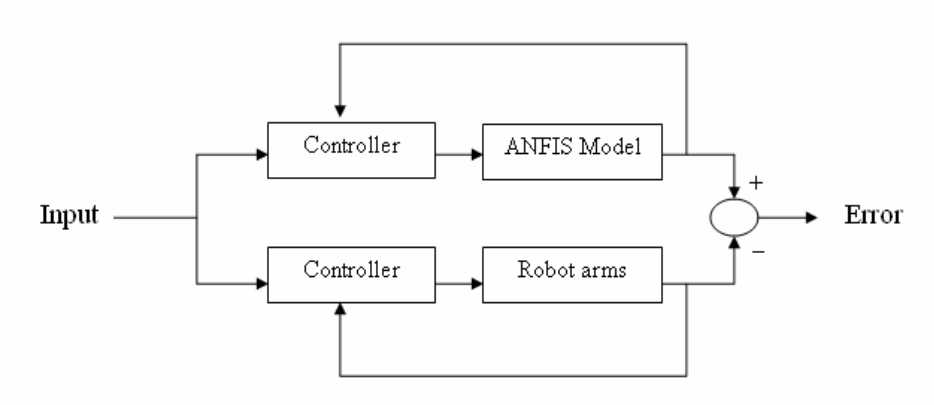
หลังจากได้ข้อมูลทั้งในส่วนอินพุตและเอาท์พุตของระบบแขนหุ่นยนต์ เราจะนำเอาข้อมูลดังกล่าวมาจัดรูปตามแบบจำลอง ANFIS แบบต่าง ๆ เพื่อใช้เป็นข้อมูลอินพุตและเอาท์พุตสำหรับใช้ในกระบวนการเรียนรู้ของ ANFIS สำหรับกระบวนการเรียนรู้จะใช้ชุดคำสั่งการเรียนรู้ของโปรแกรม Matlab โดยเราทำการเลือกกระบวนการเรียนรู้เป็นแบบ hybrid learning algorithm และเลือกจำนวนรอบมากที่สุดของกระบวนการเรียนรู้เท่ากับ 100 รอบ

6. **<u>กระบวนการตรวจสอบแบบจำลอง ANFIS</u>**

หลังจากนำแบบจำลอง ANFIS แบบต่าง ๆ มาผ่านกระบวนการเรียนรู้แล้ว ก็จะทำการคัดเลือกแบบจำลองที่คิดว่าให้ค่า RMSE น้อยเพียงพอ มาทำการตรวจสอบอีกครั้งว่า สามารถนำไปใช้แทนระบบแขนหุ่นยนต์ได้หรือไม่ โดยวิธีการตรวจสอบก็สามารถทำได้โดยการนำแบบจำลอง ANFIS ที่ได้มาทำการตรวจสอบทั้งการตรวจสอบแบบวงเปิด(open-loop verification) และแบบวงปิด(closed-loop verification) แล้วเปรียบเทียบความแตกต่างของเอาท์พุตที่ได้จากแบบจำลอง ANFIS และเอาท์พุตที่ได้จากระบบแขนหุ่นยนต์ แผนภาพแสดงกระบวนการตรวจสอบแบบจำลอง ANFIS โดยการตรวจสอบแบบวงเปิด สามารถแสดงได้ในภาพที่ 25 และแผนภาพแสดงกระบวนการตรวจสอบแบบจำลอง ANFIS โดยการตรวจสอบแบบวงปิด สามารถแสดงได้ในภาพที่ 26



<u>ภาพที่ 25</u> กระบวนการตรวจสอบแบบจำลอง ANFIS โดยใช้การตรวจสอบแบบวงเปิด



ภาพที่ 26 กระบวนการตรวจสอบแบบจำลอง ANFIS โดยใช้การตรวจสอบแบบวงปิด

สถานที่ทำการวิจัย

ห้อง 2308 ตึกวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ระยะเวลาการทำวิจัย

เริ่มทำวิจัยตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน พ.ศ.2547 และสิ้นสุดเดือนเมษายน พ.ศ.2549