

การประยุกต์ใช้ตัวสังเกตสิ่งรบกวนในการควบคุมแกนเคลื่อนที่ซึ่งมีความไม่แน่นอนสูง Application of Disturbance Observer for Control a High Uncertainty Moving Axis

เขมพัฒน์ ตันติวัฒนกุล^{1*}, ธนู จุยกาย¹, สุวัฒน์ กุลธนปรีดา¹

¹ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ บางซื่อ กรุงเทพฯ 10800

โทร 0-2913-2500 โทรสาร 0-2586-9541 *อีเมลล์ khem304@yahoo.com

Khemapat Tontiwattanukul^{1*}, Thanu Chouychai¹, Suwat Kuntanapreda¹

¹ Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology North Bangkok, Bangsue, Bangkok 10800, Thailand,

Tel: 0-2913-2500, Fax: 0-2586-9541, E-mail: khem304@yahoo.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการออกแบบและสร้างแกนเคลื่อนที่ขนาด 0.8 เมตร ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์เซอร์โวกระแสตรงโดยใช้สายพานไทม์มิ่งและไทม์มิ่งมู่เล่ในการส่งกำลัง, ใช้เอนโค้ดเดอร์ในการตรวจจับตำแหน่ง และความละเอียดสูงในการเคลื่อนที่คือ 70 ไมครอน จากการทดสอบแกนเคลื่อนที่พบว่าเมื่อทำการสร้างแบบจำลองขึ้นโดยใช้แบบจำลองของระบบเชิงเส้น แบบจำลองที่ได้ไม่สามารถทำนายพฤติกรรมของระบบได้ แสดงให้เห็นว่าแกนเคลื่อนที่ที่จัดสร้างขึ้นนั้นมีความไม่แน่นอนสูง (High Uncertainty) โดยความไม่แน่นอนนั้นจะหมายถึงการเกิดความเบี่ยงเบนของระบบ, ความไม่เป็นเชิงเส้นของระบบ และรวมถึงสิ่งรบกวนต่างๆเช่นแรงเสียดทาน เป็นต้น ผู้วิจัยจึงได้ทำการศึกษากำหนดการทำงานและประยุกต์ใช้ตัวสังเกตสิ่งรบกวนในการลดความผิดพลาดดังกล่าว จากการทดลองใช้งานตัวสังเกตสิ่งรบกวนพบว่าตัวสังเกตสิ่งรบกวนสามารถชดเชยความไม่แน่นอนของระบบและทำให้การตอบสนองของระบบมีความใกล้เคียงกับแบบจำลอง

Abstract

The moving axis dimension 0.8 meter was constructed as plant for this research. The timing pulley and timing belt was used for transmit the power, dc-servo motor was used as actuator and incremental encoder was used as sensor for this system. The precision for this position system is about 70 μm . The plant that was built have high uncertainty such as model error, non-linear effect and friction, that make linear model can not predict the behavior of the plant. The Disturbance Observer was studied and apply to the system for compensate the plant from uncertainty. Result, we found that the Disturbance Observer can compensate

the uncertainty of system, the response of the compensated system close to the model.

1. บทนำ

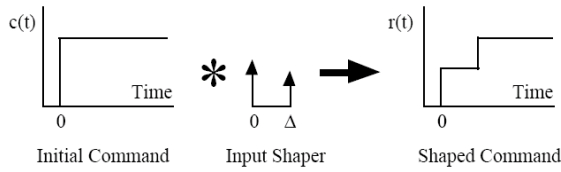
แกนเคลื่อนที่เป็นส่วนหนึ่งของระบบโต๊ะเคลื่อนที่หลายแกนซึ่งเป็นส่วนประกอบสำคัญในเครื่องจักรหลายชนิดเช่น เครื่อง CNC Milling, Laser Cutting และ XY Plotter เป็นต้น ส่วนประกอบสำคัญส่วนหนึ่งคือ ส่วนควบคุมการเคลื่อนที่ (Motion Control Unit) ซึ่งมีหน้าที่ในการประมวลผลและควบคุมให้การเคลื่อนที่ของแกนเคลื่อนที่เป็นไปอย่างราบรื่น

การเคลื่อนที่แบบจุดหนึ่งไปอีกจุดหนึ่ง (Point-to-Point) นั้นจะไม่สนใจทางเดินระหว่างจุดแต่สำหรับการเคลื่อนที่แบบเส้นทางต่อเนื่อง (Continuous Path) นั้นจะให้ความสำคัญกับจุดที่อยู่ระหว่างจุดเริ่มต้นและจุดสุดท้ายด้วย

เทคนิคการควบคุมการเคลื่อนที่พื้นฐานคือการควบคุมความเร็วและความเร่งให้เป็นไปตามรูปแบบที่เรียกว่า S-Curve โดย Shin-Sheng Chen และ An-Chen Lee [1] ได้นำเสนอวิธีการสร้าง S-Curve ด้วยการออกแบบตัวกรองดิจิทัล (Digital Filter) สำหรับสร้างรูปแบบของความเร็วที่เหมาะสมในการเคลื่อนที่

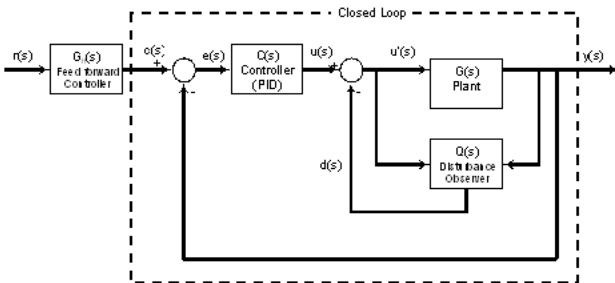
William E. Singhose [2] ได้เสนอวิธีการปรับรูปร่างสัญญาณป้อนเข้า (Input Shaper) โดยมีการทำงานคือเปลี่ยนรูปร่างสัญญาณป้อนเข้าจากสัญญาณขั้นหนึ่งหน่วยไปเป็นสัญญาณแบบขั้นบันได ดังแสดงในภาพที่ 1 รูปร่างของสัญญาณขั้นบันไดนั้นถูกคำนวณโดยความถี่ธรรมชาติและค่าความหน่วงของระบบ วิธีการ Input Shaper ถูกนำไปประยุกต์ใช้ในการควบคุมการเคลื่อนที่แบบ point-to-point สำหรับระบบแบบยืดหยุ่น (Flexible System) ของ S.P.Bhat และ D.K.Mui [3] วิธีการ Input Shaper มีข้อเด่นในการกำจัดการสั่นสะเทือนซึ่งเกิดจาก

ความถี่ธรรมชาติของระบบซึ่งมีผลในการเพิ่มไรซ์ไทม์ (Rise Time) ทำให้ระบบเข้าสู่สภาวะคงที่ได้เร็วขึ้น



ภาพที่ 1 การทำงานของวิธีการปรับรูปร่างสัญญาณป้อนเข้า

วิธีการควบคุมโดยพื้นฐานสำหรับการควบคุมแกนเคลื่อนที่นั้นคือการใช้ตัวควบคุม PID ซึ่งให้ผลได้ดีในระดับหนึ่ง หากต้องการให้ระบบควบคุมการเคลื่อนที่มีความคงทน (Robust) ต่อสิ่งรบกวนภายนอกซึ่งได้แก่แรงเสียดทานและความยืดหยุ่นของอุปกรณ์ส่งถ่ายกำลังเป็นต้น รวมถึงความผิดพลาดของแบบจำลองที่ใช้ในการออกแบบตัวควบคุม จึงมีการศึกษาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้กับระบบควบคุมการเคลื่อนที่ วิธีการหนึ่งที่ใช้คือการเพิ่มตัวควบคุมเข้าไปให้ทำงานร่วมกับตัวควบคุม PID นั่นคือตัวควบคุมป้อนไปข้างหน้า (Feedforward Controller) และ ตัวสังเกตสิ่งรบกวน (DOB: Disturbance Observer) ดังแสดงในภาพที่ 2



ภาพที่ 2 การทำงานของวิธีการปรับรูปร่างสัญญาณป้อนเข้า

M. Tomizuka [4] ได้นำเสนอตัวควบคุม Zero Phase Error Tracking Controller (ZPETC) จากภาพที่ 2 ตัวควบคุม ZPETC คือ G_{ff} การออกแบบตัวควบคุม ZPETC นั้นทำได้โดยการหาส่วนกลับฟังก์ชันถ่ายโอนส่วนวงปิด (Closed Loop) ซึ่งเป็นส่วนที่ตัวควบคุม PID ทำงาน การใช้งานตัวควบคุม ZPETC จะส่งผลให้การควบคุมเป็นการควบคุมติดตาม (Tracking Control) นั่นคือฟังก์ชันถ่ายโอนมีค่าเท่ากับหนึ่ง

T. Murakami และ K. Onishi [5,6] ได้นำเสนอแนวความคิดการใช้งานตัวสังเกตสิ่งรบกวน จากนั้นแนวความคิดนี้ได้ถูกพัฒนาต่อโดย T. Umino และ Y. Hori [7] ตัวกรองคิว (Q-Filter) ได้ถูกนำเสนอขึ้นเพื่อใช้เป็นตัวสังเกตสิ่งรบกวน (Disturbance Observer) สิ่งรบกวนที่

นำเสนอั้นจะรวมถึงแรงเสียดทาน, ความไม่แน่นอนของระบบ และปัจจัยอื่นๆที่ส่งผลให้ระบบแตกต่างจากแบบจำลอง

S. Endo [8] ประยุกต์ใช้ ZPETC ร่วมกับการใช้ Disturbance Observer ในการควบคุมวงปิดของตำแหน่ง H. S. Lee [9] ประยุกต์ใช้ ZPETC ร่วมกับ Disturbance Observer ในการควบคุมวงปิดของความเร็วรวมถึงศึกษาการใช้ตัวควบคุม ZPETC ร่วมกับการชดเชยแรงเสียดทานโดยการหาแบบจำลองของแรงเสียดทาน (Friction Compensator)

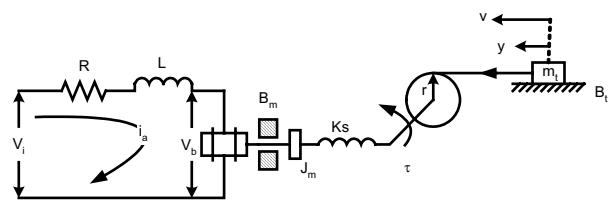
การใช้งานตัวควบคุม ZPETC นั้นจำเป็นที่จะต้องรู้ทางเดินของการเคลื่อนที่ล่วงหน้า Kaan Erkorkmaz และ Yusuf Altıntas [10,11,12] ได้เสนอการคำนวณสร้างทางเดินบนระนาบซึ่งมีความต่อเนื่องของความเร็วและความเร่งโดยใช้ฟังก์ชันสไปลน์อันดับที่ 5 (quintic spline interpolation) ซึ่งในการนำเสนอั้นจะเป็นการคำนวณในการทำงานแบบเวลาจริง (Real Time) และใช้วิธีการควบคุมร่วมกันระหว่าง ZPETC, Disturbance Observer และ Friction Compensator

เนื่องจากการออกแบบตัวควบคุม ZPETC นั้นใช้วิธีการหาส่วนกลับของฟังก์ชันถ่ายโอนวงปิด ดังนั้นเมื่อพลานท์ (Plant) เกิดการเปลี่ยนแปลงจะส่งผลต่อประสิทธิภาพในการควบคุม T. C. Tsao และ Tomizuka [13] จึงได้พัฒนาตัวควบคุม ZPETC ชนิดปรับตัวได้เอง (Adaptive ZPETC) เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าว

Jian Wang [14] ได้นำเสนอการใช้งานตัวควบคุมลื่นไถล (Sliding Controller) ร่วมกับตัวสังเกตสิ่งรบกวนในการควบคุมเครื่องกัดความเร็วสูง แทนการใช้งานตัวควบคุม ZPETC เพื่อแก้ไขปัญหาที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของ Plant

บทความนี้กล่าวถึงการประยุกต์ใช้ตัวสังเกตสิ่งรบกวนในการควบคุมระบบแกนเคลื่อนที่ที่ออกแบบและสร้างขึ้น เพื่อชดเชยปัจจัยรบกวนต่างๆทั้งทางกลและทางไฟฟ้า

2. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์



ภาพที่ 3 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของแกนเคลื่อนที่

ภาพที่ 3 แสดงแบบจำลองอย่างง่ายของแกนเคลื่อนที่ ซึ่งแบบจำลองนี้ไม่ได้มีการพิจารณาความไม่เชิงเส้นของแรงเสียดทาน, ความตึงหย่อนของสายพานขับและความไม่เป็นเชิงเส้นของชุดอิเล็กทรอนิกส์ขับเคลื่อน โดยปัจจัยที่กล่าวมานั้นจะถูกพิจารณาในเทอมของความไม่แน่นอน (Uncertainty) ดังนั้นสามารถเขียนสมการเชิงอนุพันธ์ได้ตาม

สมการที่ (1)-(4) และสามารถเขียนฟังก์ชันถ่ายโอนระหว่างความเร็วของฐานเคลื่อนที่กับความต่างศักย์ได้ดังสมการที่ (5)

$$\frac{di_a}{dt} = -\frac{R}{L}i_a - \frac{K_m}{L}\omega_m + \frac{1}{L}v_i \quad (1)$$

$$\frac{d\omega_m}{dt} = \frac{K_m}{J_m}i_a - \frac{B_m}{J_m}\omega_m - \frac{1}{J_m}\tau_s \quad (2)$$

$$\frac{d\tau_s}{dt} = K_s\omega_m - \frac{K_s}{p}v \quad (3)$$

$$\frac{dv}{dt} = \frac{1}{pm_t}\tau_s - \frac{B_t}{m_t}v \quad (4)$$

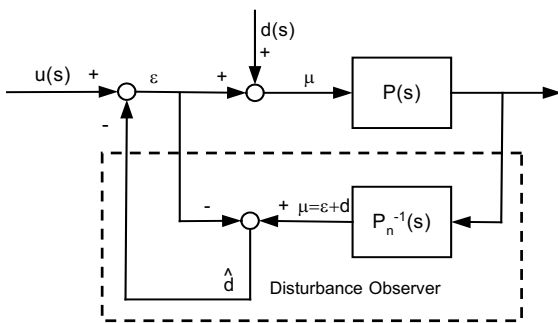
$$\frac{v(s)}{V_i(s)} = \frac{rK_m^2}{R(J_m+m_t r)s + R(B_m+B_t r) + K_m} \quad (5)$$

$$= \frac{1}{J_e s + B_e} \quad (6)$$

โดย J_e คือความเฉื่อยสมมูล
 B_e คือความหน่วงสมมูล

3. ตัวสังเกตสิ่งรบกวน (Disturbance Observer)

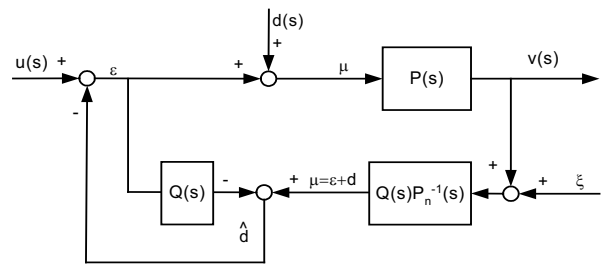
ในทางปฏิบัติการหาค่าพารามิเตอร์ของระบบให้แม่นยำนั้นทำได้ยาก เป็นผลให้เกิดความผิดพลาดกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการออกแบบระบบควบคุมและส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของตัวควบคุม ตัวสังเกตสิ่งรบกวนจึงถูกนำเสนอขึ้นเพื่อชดเชยความผิดพลาดของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ขอบเขตของสิ่งรบกวนที่นำเสนอขึ้นคือปัจจัยรบกวนต่างๆที่ไม่ได้รวมเข้าไปในการสร้างสมการเชิงอนุพันธ์ เช่น ความเสียดทานเป็นต้นและยังรวมถึงความเบี่ยงเบนของระบบซึ่งเกิดจากค่าพารามิเตอร์ของระบบที่คลาดเคลื่อนไปจากพลาณที่ประมาณ (Nominal Plant) ซึ่งเรียกพลาณที่ที่เกิดการคลาดเคลื่อนนี้ว่าพลาณเบี่ยงเบน (Perturbed Plant)



ภาพที่ 4 แนวความคิดของตัวสังเกตสิ่งรบกวน

จากการวิเคราะห์ภาพที่ 4 พบว่าส่วนประกอบของตัวสังเกตสิ่งรบกวนคือส่วนกลับของฟังก์ชันถ่ายโอนของระบบที่ต้องการชดเชย

สิ่งรบกวน แต่เนื่องจากระบบที่ต้องการควบคุมนั้นส่วนใหญ่จะมีจำนวนขั้วโรน้อยกว่าจำนวนขั้วโพล (Strictly Proper System) ซึ่งไม่สามารถนำส่วนกลับของฟังก์ชันถ่ายโอนมาใช้ในการคำนวณได้ ดังนั้นจึงมีการออกแบบตัวกรองคิว (Q-Filter) เพื่อทำหน้าที่เป็นส่วนเติมเต็มแก่ส่วนกลับของฟังก์ชันถ่ายโอนและให้ผลลัพธ์เป็นฟังก์ชันถ่ายโอนที่มีจำนวนขั้วโรน้อยกว่าหรือเท่ากับจำนวนขั้วโพล (Proper System) ดังแสดงในภาพที่ 5



ภาพที่ 5 แผนผังการควบคุมของตัวสังเกตสิ่งรบกวน

ตัวสังเกตสิ่งรบกวนเป็นรูปแบบหนึ่งของตัวควบคุมแบบ 2 องศาอิสระ การพิสูจน์รูปแบบการควบคุมและเสถียรภาพของตัวสังเกตสิ่งรบกวนนั้นสามารถศึกษาเพิ่มเติมได้จากบทความหมายเลข [16,17,18,19]

จากภาพที่ 5 สามารถสร้างฟังก์ชันถ่ายโอนระหว่างสัญญาณตอบสนองกับสัญญาณป้อนเข้า G_{uv} , ฟังก์ชันถ่ายโอนระหว่างสัญญาณตอบสนองกับสิ่งรบกวน G_{dv} , ฟังก์ชันถ่ายโอนระหว่างสัญญาณตอบสนองกับสัญญาณรบกวนจากเซนเซอร์ $G_{\xi v}$ และฟังก์ชันการตอบสนองได้ตามสมการที่ (7) ถึง (10)

$$G_{uv}(s) = \frac{P(s)P_n(s)}{P_n(s) + (P(s) - P_n(s))Q(s)} \quad (7)$$

$$G_{dv}(s) = \frac{P(s)P_n(s)(1-Q(s))}{P_n(s) + (P(s) - P_n(s))Q(s)} \quad (8)$$

$$G_{\xi v}(s) = \frac{P(s)Q(s)}{P_n(s) + (P(s) - P_n(s))Q(s)} \quad (9)$$

$$v(s) = G_{uv}(s)u(s) + G_{dv}(s)d(s) + G_{\xi v}(s)\xi(s) \quad (10)$$

ซึ่งพหุคูณของตัวกรองคิว $Q(s)$ จะถูกกำหนดด้วยเงื่อนไขดังต่อไปนี้คือ

- เมื่อ $Q(s) \approx 1$ ทำให้ $G_{uv}(s) \approx P_n(s)$, $G_{dv}(s) \approx 0$ และ $G_{\xi v}(s) \approx -1$
- เมื่อ $Q(s) \approx 0$ ทำให้ $G_{uv}(s) \approx P(s)$, $G_{dv}(s) \approx P(s)$ และ $G_{\xi v}(s) \approx 0$

จากพหุคูณทั้ง 2 ข้อสามารถสรุปได้ว่าตัวกรองคิวเป็นตัวกรอง IIR ชนิดผ่านต่ำ (IIR-Low Pass Filter) Umemo และ Hori ศึกษาและ

ทำการทดลองเพื่อหาตัวกรองชนิดผ่านต่ำโดยตัวกรองที่นำมาพิจารณานั้นได้แก่ตัวกรองแบบบัตเตอร์เวิร์ด (Butterworth Filter) และตัวกรองไบโนเมียลหรือตัวกรองเกาส์เซียน (Binomial Filter or Gaussian Filter) โดยตัวกรองที่นำมาพิจารณาทั้ง 2 ชนิดนี้มีคุณสมบัติคือไม่เกิดการสั่น (Ringing) ในช่วงความถี่ผ่านและหยุด และพบว่าตัวกรองแบบไบโนเมียลมีคุณสมบัติที่ดีกว่าในจำนวนเทอมของตัวกรองที่เท่ากัน

สมการทั่วไปของตัวกรองคิว Q(s) แสดงในสมการ (11) โดย N คืออันดับของ Q(s), τ คือค่าคงที่เวลาของตัวกรองสำหรับกำหนดความถี่คัทออฟ และ r คืออันดับสัมพัทธ์ของ Q(s) ซึ่งต้องมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับฟังก์ชันถ่ายโอน $P_n(s)$

$$Q_{NM}(s) = \frac{\sum_{k=0}^M a_{Nk} (\tau s)^k}{(\tau s + 1)^N}, \quad (M = 0, 1, \dots, N - 1) \quad (11)$$

โดย คือสัมประสิทธิ์ไบโนเมียล (Binomial Coefficient) ตามสมการ (12)

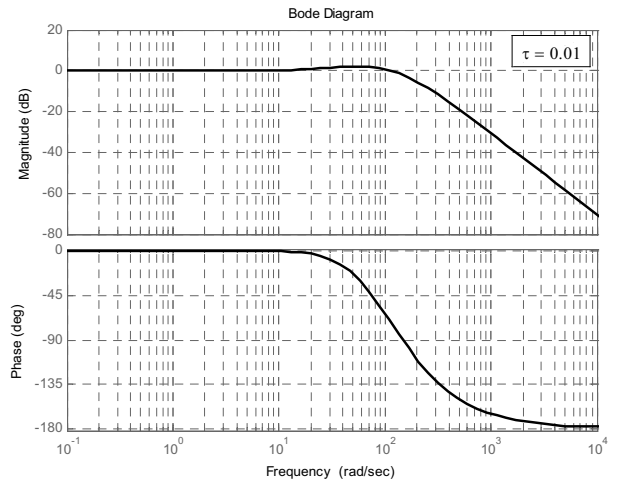
$$a_{Nk} = \frac{N!}{k!(N-k)!} \quad (12)$$

สำหรับการประยุกต์ใช้ตัวสังเกตสิ่งรบกวนในการควบคุมแกนเคลื่อนที่นั้น จะพบว่าอันดับของฟังก์ชันถ่ายโอนระหว่างความต่างศักย์กับตำแหน่งฐานโต๊ะเคลื่อนที่จะสูงกว่าฟังก์ชันถ่ายโอนระหว่างความต่างศักย์กับความเร็วฐานโต๊ะเคลื่อนที่ ซึ่งส่งผลให้ตัวกรองคิวในวงจรควบคุมตำแหน่งนั้นจะมีผลให้อันดับของตัวกรอง Q สูงกว่าการใช้งานในวงจรควบคุมความเร็ว เพื่อเป็นการลดอันดับการคำนวณการใช้งานตัวสังเกตสิ่งรบกวนในวงจรควบคุมความเร็วจึงเหมาะสมกว่าการใช้งานในวงจรควบคุมตำแหน่ง

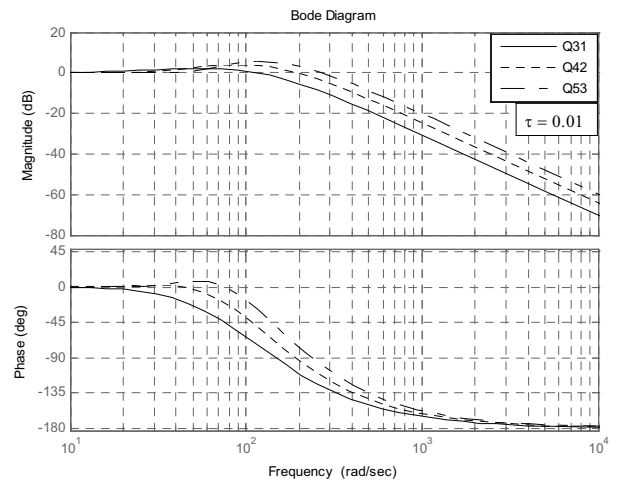
จากสมการ (11) และ (12) สามารถออกแบบตัวกรองคิวได้ตามสมการ (13) โดย $1/\tau$ คือความถี่คัทออฟ (Cut Off Frequency) มีหน่วยเป็นเรเดียนต่อวินาที

$$Q_{31}(s) = \frac{3(\tau s) + 1}{(\tau s)^3 + 3(\tau s)^2 + 3(\tau s) + 1} \quad (13)$$

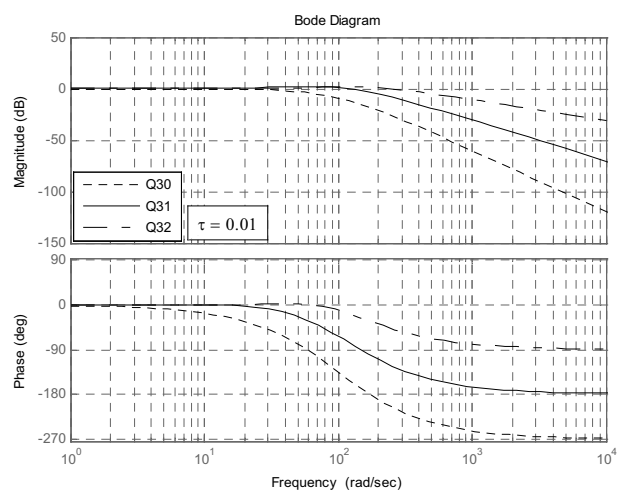
ภาพที่ 6 แสดงแผนภาพโบดสำหรับตัวสังเกตสิ่งรบกวน ซึ่งจะเห็นได้ว่าในช่วงความถี่ใช้งานค่านั้นจะมีค่าเกน (Gain) ประมาณ 1 และค่าเลื่อนมุม (Phase Shift) ประมาณ 0 นั่นคือตัวสังเกตสิ่งรบกวนนั้นจะไม่มีอิทธิพลต่อการตอบสนองของส่วนกลับของพลานท์ ดังนั้นในการออกแบบตัวสังเกตสิ่งรบกวน ความถี่คัทออฟของตัวสังเกตสิ่งรบกวนจึงต้องมากกว่าความถี่คัทออฟของพลานท์



ภาพที่ 6 แผนภาพโบดสำหรับตัวสังเกตสิ่งรบกวน



ภาพที่ 7 แผนภาพโบดเปรียบเทียบอันดับของตัวสังเกตสิ่งรบกวน



ภาพที่ 8 แผนภาพโบดเปรียบเทียบอันดับสัมพัทธ์ของตัวสังเกตสิ่งรบกวน

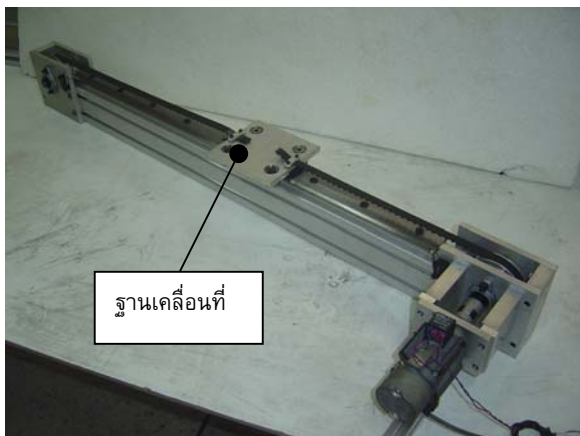
สำหรับการศึกษาเกี่ยวกับอันดับและอันดับสัมพัทธ์ของตัวกรองคือนั้นพบว่าอันดับของตัวกรองคือนั้นจะมีผลต่อความเรียบในช่วงทำงานคือหากมีอันดับที่สูงจะมีความเรียบในช่วงการทำงานสูงแต่ในขณะเดียวกันเมื่อเลยช่วงการทำงานจะพบว่าเกิดการสั่น (Ringing) สูงกว่าอันดับต่ำมากดังแสดงในภาพที่ 7

ภาพที่ 8 แสดงผลจากอันดับสัมพัทธ์ของตัวกรองคือค่าเกินจะมีค่าประมาณ 1 ในช่วงสั้นๆหากอันดับสัมพัทธ์มีน้อยและค่าเกินจะมีค่าประมาณ 1 ในช่วงการทำงานที่ยาวขึ้นหากอันดับสัมพัทธ์สูง

4. การหาค่าพารามิเตอร์ของระบบ

แกนการเคลื่อนที่ที่สร้างขึ้นแสดงในภาพที่ 9 ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้คือ ความยาว 0.8 เมตร ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์เซอร์โวกระแสตรง (DC-Servo Motor) ใช้ Incremental Encoder ความละเอียด 900 Pulse/Rev ในการบอกตำแหน่ง และใช้การสั่งงานแบบ PWM ความถี่ 2 กิโลเฮิรท์ในการควบคุมมอเตอร์ สำหรับชุดขับเคลื่อนทางไฟฟ้าออกแบบโดยใช้วงจร DC-Chopper พื้นฐานซึ่งไม่มีการชดเชยกระแสในขณะขับเคลื่อนหน่วยประมวลผลที่ใช้งานวิจัยนี้คือตัวประมวลผลสัญญาณดิจิทัล (Digital Signal Processor) ของบริษัทเทกซัส รุ่น TMS320F2812 ซึ่งมีความสามารถในการคำนวณและรับค่า Increment Encoder รวมถึงสามารถสร้างสัญญาณ PWM

ปัจจัยรบกวนต่างๆซึ่งทำให้เกิดความไม่แน่นอนต่อแกนเคลื่อนที่ ซึ่งได้ถูกตั้งเป็นสมมติฐานในงานวิจัยนี้ได้แก่ ความยืดหยุ่นของสายพาน, ความเสียดทานแบบไม่เชิงเส้น และความไม่เชิงเส้นของวงจรขับเคลื่อนทางไฟฟ้า โดยปัจจัยรบกวนดังกล่าวจะถูกชดเชยโดยการใช้ตัวสังเกตสิ่งรบกวน



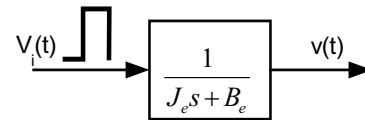
ภาพที่ 9 แกนเคลื่อนที่ที่จัดสร้างขึ้น

การหาแบบจำลองเชิงเส้นของแกนเคลื่อนที่ทำได้โดยการกำหนดความกว้างลูกคลื่นและทำการคำนวณค่าพารามิเตอร์ โดยใช้ฟังก์ชันถ่ายโอนตามสมการ (6) ภาพที่ 10 แสดงการควบคุมการเคลื่อนที่ของ

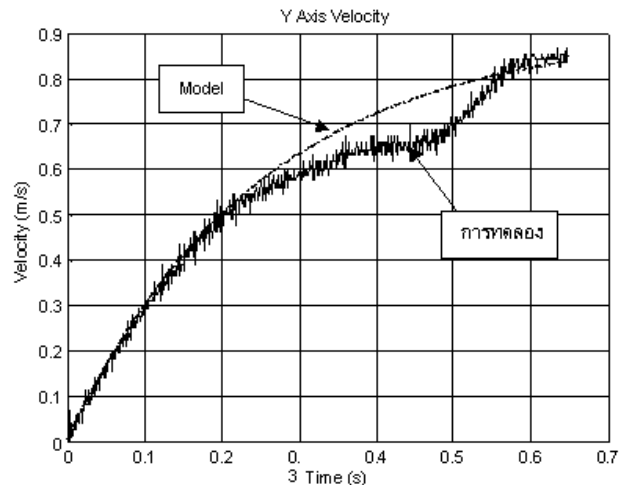
แกนเคลื่อนที่โดย $V_i(t)$ แสดงค่าความต่างศักย์ซึ่งประมาณด้วยเทคนิค PWM ตามสมการ (14) และ v แสดงความเร็วของฐานเคลื่อนที่

$$V_i = \frac{\%Duty\ Cycle}{100} \times Voltage\ Supply \quad (14)$$

ภาพที่ 11 แสดงกราฟเปรียบเทียบระหว่างผลการทดลองเมื่อกำหนดให้ลูกคลื่นมีความกว้าง 66 เปอร์เซ็นต์ กับผลจากการคำนวณด้วยแบบจำลองเชิงเส้น ซึ่งแบบจำลองที่ได้หาได้นั้นจะถูกกำหนดให้เป็นพลานท์ประมาณ (Nominal Plant) เพื่อใช้ในการออกแบบตัวสังเกตสิ่งรบกวนต่อไป



ภาพที่ 10 การควบคุมความเร็วฐานเคลื่อนที่



ภาพที่ 11 กราฟเปรียบเทียบระหว่างผลการทดลองกับการคำนวณด้วยแบบจำลอง

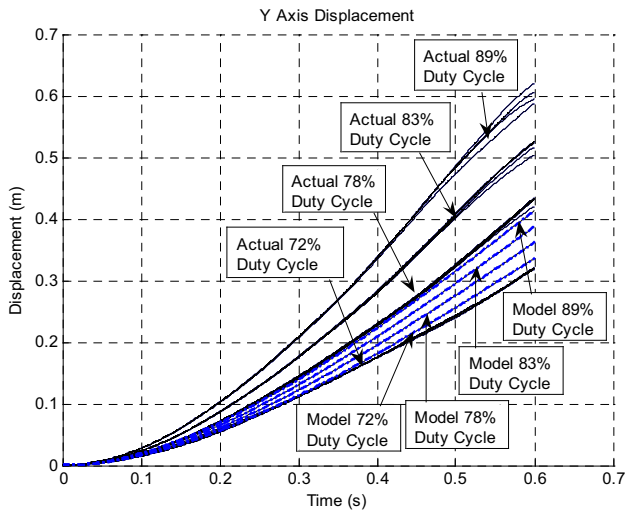
ภาพที่ 12 แสดงผลการทดลองเปลี่ยนแปลงค่าความกว้างลูกคลื่นเพื่อทดสอบแบบจำลองเชิงเส้นที่ได้ว่ามีความสามารถในการทำนายพฤติกรรมของแกนเคลื่อนที่ได้แม่นยำเพียงใด ซึ่งพบว่าไม่สามารถทำนายได้ใกล้เคียง

5. การออกแบบตัวสังเกตสิ่งรบกวน

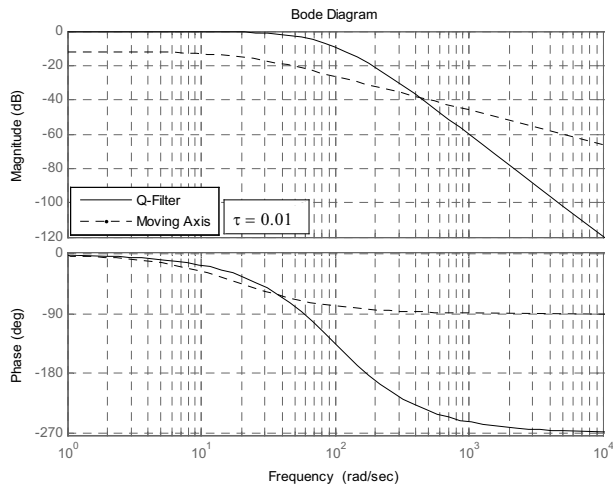
ในการออกแบบตัวสังเกตสิ่งรบกวนที่ใช้ในงานวิจัยนี้ จะใช้แผนภาพโพลในการออกแบบ โดยข้อกำหนดคือ ความถี่คัทออฟของตัวสังเกตสิ่ง-

รบกวนจะต้องสูงกว่าความถี่คัทออฟของแกนเคลื่อนที่ ซึ่งพบว่าความถี่คัทออฟที่เหมาะสมคือประมาณ 100 เรเดียนต่อวินาที ($\tau = 0.01$)

จากภาพที่ 13 จะเห็นได้ว่าตัวกรองคิกที่มีอันดับเท่ากับ 3, อันดับสัมพัทธ์เท่ากับ 2 (Q31) และค่า $\tau = 0.01$ มีความถี่คัทออฟสูงกว่าความถี่คัทออฟของแกนเคลื่อนที่



ภาพที่ 12 การตอบสนองของแกนเคลื่อนที่ที่เปรียบเทียบกับแบบจำลอง



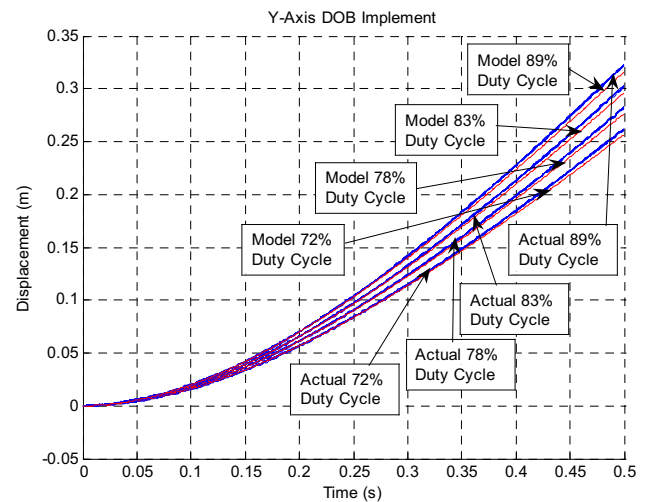
ภาพที่ 13 การใช้แผนภาพโบดในการออกแบบตัวกรองคิก

6. การทำการทดลองและผลการทดลอง

เนื่องจากการออกแบบตัวสังเกตรบกวนกระทำบนโดเมนเวลาต่อเนื่อง ดังนั้นการนำตัวสังเกตรบกวนไปใช้งานจึงต้องทำการประมาณค่าฟังก์ชันถ่ายโอนของตัวสังเกตรบกวนให้อยู่ในโดเมนเวลาไม่ต่อเนื่อง เพื่อให้สามารถสร้างสมการแตกต่าง (Different Equation) ได้ โดยในงานวิจัยนี้ใช้การแปลงไพล์เนียร์ตามสมการ (15) ในการประมาณ

$$s = \frac{2(1-z^{-1})}{T(1+z^{-1})} \quad (15)$$

ผลการใช้งานตัวสังเกตรบกวนแสดงในภาพที่ 14 โดยเมื่อเปรียบเทียบกับภาพที่ 11 จะเห็นได้ชัดเจนว่าเมื่อมีการใช้งานตัวสังเกตรบกวนร่วมในการควบคุม จะทำให้แบบจำลองเชิงเส้นสามารถทำนายพฤติกรรมของแกนเคลื่อนที่ได้ใกล้เคียงมากขึ้น



ภาพที่ 14 ผลใช้งานตัวสังเกตรบกวนเพื่อชดเชยความไม่แน่นอน

7. สรุป

ตัวสังเกตรบกวนสามารถชดเชยความไม่แน่นอนซึ่งเกิดจากความยืดหยุ่นของสายพาน, ความเสียดทานแบบไม่เชิงเส้น และความไม่เชิงเส้นของวงจรขับเคลื่อนทางไฟฟ้าได้

สำหรับตัวควบคุมซึ่งออกแบบด้วยการใช้ค่าพารามิเตอร์จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เช่นตัวควบคุม PID นั้น หากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่นำมาออกแบบไม่สามารถทำนายพฤติกรรมของพลานท์ได้ การควบคุมจะไม่สามารถทำได้ ดังนั้นการใช้ตัวสังเกตรบกวนจะช่วยให้ตัวควบคุมดังกล่าวทำงานได้เต็มประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

8. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณท่านอาจารย์ รองศาสตราจารย์ ดร.ธนุ ฉุยฉาย และท่านอาจารย์ รองศาสตราจารย์ ดร.สุวัฒน์ กุลธนปรีดา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ของข้าพเจ้าที่ได้ให้ความช่วยเหลือและคำแนะนำที่มีคุณค่าในการทำวิทยานิพนธ์นี้ให้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย และภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือที่ได้ให้ทุนอุดหนุนการทำวิทยานิพนธ์รวมถึงการอำนวยความสะดวกในการทำวิทยานิพนธ์ในด้านต่างๆแก่ข้าพเจ้า

9. เอกสารอ้างอิง

- [1] Chin-Sheng Chen, An-Chen Lee. "Design of acceleration-deceleration profiles in motion control based on digital FIR filters." International Journal of Machine Tool & Manufacture. Vol.38 (1998).
- [2] William E. Singhose. Command Generation For Flexible Systems. Ph.D Dissertation, Massachusetts Institute of Technology, 1997.
- [3] S. P. Bhat, D. K. Miu. "Precise Point-to-Point Positioning Control of Flexible Structures." ASME Journal of Dynamics Systems, Measurement and Control. Vol.112(4) (1990).
- [4] M.Tomizuka. "Zero Phase Error Tracking Algorithm for Digital Control." ASME Journal of Dynamics Systems, Measurement and Control. Vol.109 (1987).
- [5] T.Murakami, K. Ohnishi. "Observer-Based Motion Control : Application to Robust Control and Parameter Identification." Proceedings of the IEEE Industrial Electronics Society: Asia-Pacific Workshop on Advances in Motion Control. (15-16 July 1993) : p.1-6.
- [6] K.Ohnishi. "A New Servo Method in Mechatronics." Transactions of Japanese Society of Electrical Engineers. Vol.107-D (1987).
- [7] T.Umeno, Y.Hori. "Robust Speed Control of DC Servomotors using Modern Two Degrees-of-Freedom Controller Design." IEEE Transactions on Industrial Electronics. Vol.38 (1991).
- [8] S.Endo, H.Kobayashi, C.J. Kempf. "Robust Digital Tracking Controller Design For High-Speed Positioning Systems." Control Engineering Practice. Vol.4(4) (1996) : p.527-536.
- [9] H.S. Lee. Robust Digital Tracking Controllers for High-Speed/High-Accuracy Position Systems. Ph.D Dissertation, University of California at Berkeley, 1994.
- [10] Kaan Erkorkmaz, Yusuf Altintas. "High speed CNC system design. Part I: Jerk limited trajectory generation and quintic spline interpolation." International Journal of Machine Tools & Manufacture. Vol. 41 (2001).
- [11] Kaan Erkorkmaz, Yusuf Altintas. "High speed CNC system design. Part II: Modeling and Identification of Feed Drives." International Journal of Machine Tools & Manufacture. Vol. 41 (2001).
- [12] Kaan Erkorkmaz, Yusuf Altintas. "High speed CNC system design. Part III: High Speed Tracking and Contouring Control of Feed Drives." International Journal of Machine Tools & Manufacture. Vol. 41 (2001).
- [13] T. C. Tsao, M. Tomizuka. "Adaptive Zero Phase Error Tracking Algorithm for Digital Control." ASME Journal of Dynamic Systems, Measurement and Control. Vol.109(4) (1987).
- [14] Jian Wang. Robust Tracking Controller Design With Application to The Motion Control of An X-Y Feed Table For High-Speed Machining. Ph.D Dissertation, Katholieke Universiteit Leuven, 2004.
- [15] A.Packard. ME234 Class Note. Department of Mechanical Engineering, University of California at Berkeley, 1993.
- [16] J.C. Doyle, B.A. Francis, A.R. Tannenbaum. Feedback Control Theory. Singapore : Macmillan Publishing Co., 1992.
- [17] M. Vidyasagar. Control System Synthesis : A Factorization Approach. Cambridge : MIT Press, 1985.