

การจำลองชุดควบคุมแบบ PID ที่เหมาะสมที่สุดสำหรับตัวกระตุ้นแบบเพียโซ

Simulation of optimal PID controller of piezoelectric actuator

ชาพล ชลิตราพงศ์^{1*} จักร จันทลักขณา²^{1, 2} ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า พระนครเหนือ

1518 ถนน พิบูลสงคราม เขตบางซื่อ กรุงเทพฯ 10800

โทรศัพท์/โทรสาร 0-2913-2500

อีเมล ^{1*}zigolf@yahoo.com, ²chak@kmutnb.ac.th

บทคัดย่อ

ชุดกลไกการเคลื่อนที่นาโนจะใช้ตัวกระตุ้นเพียโซอิเล็กทริกในการทำหน้าที่ขับเคลื่อนตำแหน่ง โดยผลตอบสนองทางพลศาสตร์ของตัวกระตุ้นเพียโซอิเล็กทริกในชุดกลไกนาโนถูกควบคุมด้วยตัวควบคุม PID ที่มีการปรับตั้งตัวคูณไว้ให้ทำงานได้อย่างเหมาะสมไว้อยู่แล้วจากทางผู้ผลิต แต่เมื่อนำมาใช้ประยุกต์กับเครื่องทดสอบการอ่านเขียนในงานอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์พบว่า จะมีผลเนื่องจากทางพลศาสตร์ของโครงสร้างกลไกที่ออกแบบเพิ่มเติมและวางบนชุดกลไกนาโนนี้ ทำให้ผลตอบสนองการเคลื่อนที่ตำแหน่งเปลี่ยนไป จึงจำเป็นต้องปรับตั้งค่าตัวคูณ PID ซึ่งเดิมต้องใช้เวลานานในการปรับตั้งเนื่องจากมีหลายตัวแปรที่ต้องปรับตั้งไปพร้อม ๆ กันและใช้คนเป็นผู้ปรับตั้งตัวควบคุม บทความนี้นำเสนอการจำลองวิธีการปรับตั้งที่เหมาะสมที่สุด (Optimal control) โดยให้เป็นไปอย่างอัตโนมัติ (Auto-tuning) กับชุดกลไกการเคลื่อนที่ของเครื่องทดสอบการอ่านเขียนในงานอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ เทคนิค Iterative Feedback Tuning (IFT) นำมาใช้ปรับตั้งในการศึกษานี้ และผลจากการจำลองแสดงว่าค่าตัวคูณของตัวควบคุมเข้าสู่ค่าที่เหมาะสมที่ตามฟังก์ชันจุดประสงค์ที่กำหนด

Abstract

A piezoelectric actuator is used in the application of nano-positioning such that it can move nano-mechanism to desired position accurately. Usually, manufacturers of the nano-mechanism system have tuned the system to obtain the best dynamic performance of positioning movement. But In the application of HDD industry, it found that the addition of mechanism on nano-mechanism affects to the dynamic performance of position movement. It is necessary to adjust the PID parameters, which can be time-consuming due to several parameters. In this study, The optimal control with Auto-tuning for positioning to nano-mechanism of tester on HDD industry was presented. And technique of the Iterative Feedback Tuning (IFT)

also was associated with control to obtain the optimal gains with defined cost function.

1. ความเป็นมา

การเคลื่อนที่ของชุดทดสอบหัวอ่านเขียนฮาร์ดดิสก์จะถูกกระตุ้นในระดับนาโนสเกลด้วยชุดกลไกนาโน (nano-mechanism) ซึ่งใช้ตัวกระตุ้นแบบเพียโซอิเล็กทริก (piezoelectric) เป็นตัวขับเคลื่อนตำแหน่ง ผลตอบสนองทางพลศาสตร์ของตัวกระตุ้นแบบเพียโซอิเล็กทริกภายในชุดกลไกนาโนนี้ถูกควบคุมด้วยตัวควบคุมแบบ PID ที่มีการปรับตั้งค่าตัวคูณไว้ให้ทำงานได้อย่างเหมาะสมไว้อยู่แล้วจากทางผู้ผลิต แต่เมื่อนำชุดกลไกนาโนมาประยุกต์ใช้ในงานอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ โครงสร้างเพิ่มเติมจะถูกวางลงบนชุดกลไกนาโนทำให้ผลตอบสนองทางพลศาสตร์นั้นมีการเปลี่ยนไปไม่เหมาะสมเหมือนอย่างเดิม จึงควรมีการปรับตั้งตัวควบคุมอีกครั้งเพื่อให้ได้หรือเข้าใกล้ค่าตัวคูณที่เหมาะสมที่สุดที่ให้ผลตอบสนองเข้าสู่สถานะคงตัวเร็วที่สุด

แต่วิธีการปรับตั้งตัวควบคุมที่เหมาะสมที่สุดโดยทั่วไปนั้นต้องใช้ความรู้ความชำนาญหรือประสบการณ์ทางวิศวกรรมควบคุมของผู้ใช้ในการปรับตั้งให้ค่าที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งเป็นเรื่องยากและไม่สะดวกในการนำไปใช้จริงในอุตสาหกรรม การปรับตั้งแบบอัตโนมัติ(auto-tuning) [1] ซึ่งให้การปรับตั้งตัวควบคุมเป็นวิธีการที่ง่ายและสะดวกต่อผู้ปรับตั้ง จึงถูกนำมาประยุกต์ใช้ด้วยร่วมกับการปรับตั้งตัวควบคุมแบบเหมาะสมที่สุด

โดยทั่วไปการปรับตั้งตัวควบคุมที่เหมาะสมที่สุดที่นิยมใช้มากที่สุดคือวิธีของซีกเลอร์และนิโคลส์ [2] เพราะเป็นวิธีการปรับตั้งที่ง่าย ซึ่งต่อมาวิธีปรับตั้งหลายวิธีที่พัฒนามาจากวิธีของซีกเลอร์และนิโคลส์ เช่น Chien-Hrones-Reswick method, Cohen-Coon method [1] และ relay feedback tuning [3] เป็นต้น วิธีเหล่านี้มักจะใช้ได้ผลดีที่กับระบบที่มีการเปลี่ยนแปลงช้าอย่างระบบ industrial process control แต่มักจะใช้ไม่สะดวกนักกับระบบที่มีการเปลี่ยนแปลงเร็ว [4] อย่างเช่นระบบในชุดกลไกนาโน และวิธีเหล่านี้ไม่ได้ประกันว่าผลตอบสนองเข้าสู่ค่าที่เหมาะสมที่สุดหรือเข้าสู่ฟังก์ชันจุดประสงค์ (cost-function)

วิธี Optimization [5] เป็นวิธีการปรับตั้งที่อยู่ในคู่มือในการใช้งาน ตัวควบคุมซึ่งให้ผลดีและเป็นแนวในการปรับตั้งในงานอุตสาหกรรม แต่ก็ต้องอาศัยความชำนาญของผู้ปรับตั้งและไม่ได้ประกันว่าผลตอบสนองจะเข้าสู่ค่าที่น้อยที่สุดของฟังก์ชันจุดประสงค์

วิธี Iterative Feedback Tuning (IFT) [6], [7] เป็นวิธีปรับตั้งตัวควบคุมที่มีเป้าหมายหาค่าที่น้อยที่สุดของฟังก์ชันจุดประสงค์แบบ local ข้อดีของวิธีนี้คือไม่ต้องรู้ฟังก์ชันถ่ายโอนของระบบ ใช้แต่เพียงข้อมูลขาเข้าและขาออกเท่านั้นในการปรับตั้ง และมีความยืดหยุ่นในการใช้งานมาก วิธี IFT จึงถูกเลือกใช้ในการศึกษานี้

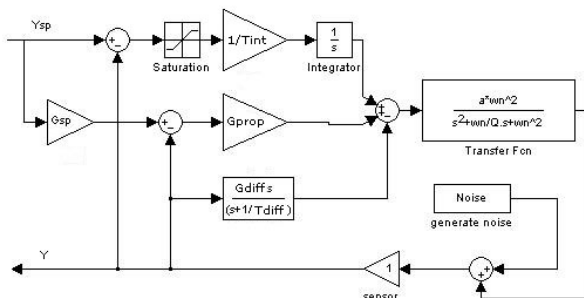
2. วัตถุประสงค์

1. เพื่อปรับตั้งค่าตัวควบคุมในตัวควบคุมที่ให้ผลตอบสนองที่เหมาะสมที่สุด
2. เพื่อทำการปรับตั้งค่าตัวควบคุมเป็นแบบอัตโนมัติ (auto-tuning) เพื่อลดความยุ่งยากและเพิ่มความสะดวกสำหรับใช้ในอุตสาหกรรม
3. เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาชุดปรับตั้งตัวควบคุมในตัวควบคุมจริงให้ใช้ได้ในสายการผลิต

3. วิธีการ

ในหัวนี้กล่าวถึงข้อกำหนดและวิธีแก้ปัญหาที่ถูกใช้ในการศึกษานี้

3.1 ตัวควบคุม (Controller)

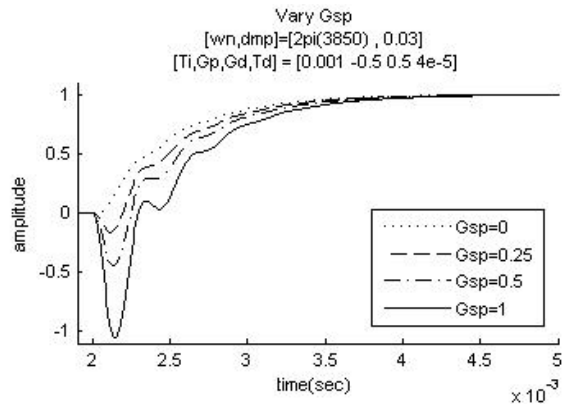


รูปที่ 3.1 ตัวควบคุมที่ใช้ในการพิจารณา

$$U = G_{prop}(G_{sp}Y_{sp} - Y) + \frac{1}{T_{int}s}(Y_{sp} - Y) - \frac{G_{diff}s}{(s+1/T_{diff})}Y \quad (1)$$

ตัวควบคุมที่ใช้มีโครงสร้างดังรูป 3.1 และเขียนในรูปสมการได้ตามสมการ (1) โดย U คือ สัญญาณควบคุม, Y_{sp} คือ สัญญาณขาเข้า, Y คือ สัญญาณขาออก, G_{prop} , G_{sp} , T_{int} , G_{diff} , T_{diff} คือ ค่าตัวแปรของตัวควบคุม

ค่า G_{sp} จะถูกตั้งให้มีค่าเท่ากับ 0 เนื่องจากจะทำให้ผลตอบสนองไม่มีการถอยกลับทำให้ผลตอบสนองเข้าสู่สถานะคงตัวเร็วที่สุดดังรูปที่ 3.2 ซึ่งเป็นผลจากการจำลองระบบดังสมการ (2) เมื่อให้ค่า $a = 1$ แล้วทำการควบคุมด้วยการเปลี่ยนค่า G_{sp} ต่างๆ

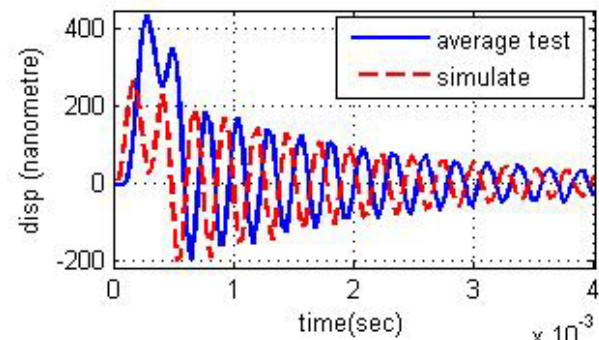


รูปที่ 3.2 ผลตอบสนองที่ค่า Gsp ต่างๆ

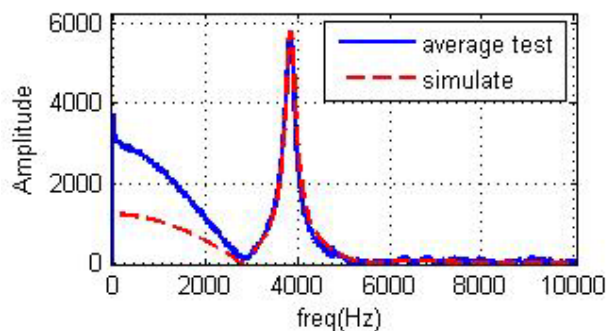
$$G(s) = \frac{a \times \omega_n^2}{s^2 + 2\xi\omega_n s + \omega_n^2} \quad (2)$$

3.2 Plant

Plant แทนระบบที่ถูกใช้ในบทความนี้จะได้จากการประมาณ plant ด้วยผลตอบสนองของชุดกลไกนาโน โดยกระตุ้นระบบด้วยสัญญาณพัลส์ช่วงสั้น (short pulse) ที่มีขนาดแอมพลิจูด 1000 nm และช่วงเวลากระตุ้น 0.36 msec ซึ่งผลตอบสนองได้แสดงในรูปที่ 3.3, 3.4



รูปที่ 3.3 Short Pulse response ของระบบก่อนควบคุมในโดเมนเวลา



รูปที่ 3.4 Short Pulse response ของระบบก่อนควบคุมในโดเมนความถี่

รูปที่ 3.3 และ 3.4 เส้น average test คือ ผลเฉลี่ยจากที่วัดจากชุดกลไกนาโนจริง เส้น simulate คือ ผลจากการจำลองของระบบที่ได้ถูกประมาณ plant จากเส้น average test จะประมาณ plant ว่าเป็นระบบ

แบบ 2^{nd} order ดังที่เขียนได้ในสมการ (2) ค่า a จะได้จากการคูณแก้ปรับขนาดให้ผลในช่วงความถี่ธรรมชาติ (ω_n) มีขนาดเท่ากับสัญญาณ average test ส่วนค่า ω_n ได้จากสังเกตค่าความถี่ธรรมชาติในรูปที่ 3.4 และค่าอัตราความหน่วง (ξ) ได้จากวิธีอัตราลดลงเชิงล็อกกัลที่ม [8] โดยใช้ยอดสูงสุดของผลตอบสนองของแต่ละคาบในโดเมนเวลาทั้งหมด 10 ค่าโดยเริ่มนับจากหน้าที่ที่ 1 msec แล้วนำมาจับคู่คำนวณหา ค่า ξ ในทุก ๆ คู่ที่เป็นไปได้ซึ่งจะได้ค่า ξ ทั้งหมด 45 ค่าแล้วนำมาเฉลี่ยกันจนได้ค่า ξ แทนระบบจริง ซึ่งจะได้ตามสมการ (3)

$$[a \ \omega_n \ \xi] = [0.13736 \ 2\pi(3850) \ 0.022989] \quad (3)$$

3.3 Iterative Feedback Tuning

ในบทความ [6] และ [7] วิธี Iterative Feedback Tuning หรือ IFT ถูกพัฒนาขึ้นสำหรับระบบเชิงเส้นที่ไม่เปลี่ยนตามเวลาที่ไม่ทราบค่าของระบบ และถูกควบคุมด้วยตัวควบคุมทั่วไปแบบ 2 degrees of freedom ตามสมการ (4)

$$u_t = C_r(\rho)r_t - C_y(\rho)y_t \quad (4)$$

เมื่อ u_t คือสัญญาณควบคุมที่ออกจากตัวควบคุม, $C_r(\rho)$ และ $C_y(\rho)$ คือตัวควบคุมทางด้านขาเข้าและขาออกตามลำดับ, r_t และ y_t คือสัญญาณขาเข้าของระบบและสัญญาณขาออกของระบบตามลำดับ, ρ คือเวกเตอร์ของตัวคูณทั้งหมดในตัวควบคุม โดยมีเป้าหมายหาค่าน้อยที่สุดของฟังก์ชันจุดประสงค์ (5)

$$J(\rho) = \frac{1}{2N} E \left\{ \sum_{t=1}^N w_y(t)(L_y(y_t(\rho) - r_t))^2 + \lambda \sum_{t=1}^N w_u(t)(L_u(u_t(\rho))^2 \right\} \quad (5)$$

เมื่อ N คือจำนวนของจุดข้อมูล, E คือสัญลักษณ์แสดงถึงค่าคาดหวัง, w_y และ w_u คือฟังก์ชันถ่วงน้ำหนักในโดเมนเวลา, L_y และ L_u คือตัวถ่วงน้ำหนักในโดเมนความถี่, λ คือตัวถ่วงน้ำหนักระหว่างเทอมของค่าผิดพลาดและเทอมของสัญญาณควบคุม

เพื่อให้่ายต่อการเข้าใจเบื้องต้น ค่า w_y , w_u , L_y และ L_u จะถูกตั้งให้มีค่าเท่ากับ 1 และเพื่อให้ได้ค่า ρ ที่ทำให้ผลตอบสนองเข้าสู่ค่าฟังก์ชันจุดประสงค์ที่น้อยที่สุดซึ่งก็คือ $\partial J / \partial \rho = 0$ ตามสมการ (6), (7), (8)

$$\frac{\partial J(\rho)}{\partial \rho} = \frac{1}{N} E \left\{ \sum_{t=1}^N (y_t(\rho) - r_t) \frac{\partial y_t(\rho)}{\partial \rho} + \lambda \sum_{t=1}^N u_t(\rho) \frac{\partial u_t(\rho)}{\partial \rho} \right\} \quad (6)$$

$$\frac{\partial y}{\partial \rho} = \frac{1}{C_r} \left\{ \left(\frac{\partial C_r}{\partial \rho} - \frac{\partial C_y}{\partial \rho} \right) T_0(\rho)r + \frac{\partial C_y}{\partial \rho} T_0(\rho)(r - y) \right\} \quad (7)$$

$$\frac{\partial u}{\partial \rho} = S_0(\rho) \left\{ \left(\frac{\partial C_r}{\partial \rho} - \frac{\partial C_y}{\partial \rho} \right) r + \frac{\partial C_y}{\partial \rho} (r - y) \right\} \quad (8)$$

เมื่อ $T_0(\rho)$ เป็นฟังก์ชันถ่ายโอนของระบบควบคุมวงปิด และ $S_0(\rho)$ เป็นฟังก์ชันความไว (sensitivity function) ของระบบ จากสมการ (7), (8) จะเห็นว่าไม่จำเป็นต้องใช้ข้อมูลของ plant ในการ

รวมบทความวิชาการ เล่มที่ 1 การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 22

คำนวณหา gradient $\partial J / \partial \rho$ ซึ่งค่า gradient นี้นำไปสู่การหาค่า ρ ได้ใหม่โดยกระบวนการทางวนซ้ำตามสมการ (9)

$$\rho_{i+1} = \rho_i - \gamma_i R_i^{-1} \frac{\partial J(\rho_i)}{\partial \rho} \quad (9)$$

เมื่อ R เป็น appropriate positive definite matrix ซึ่งมีทางเลือกค่า R ได้หลายทาง เช่น เมทริกซ์เอกลักษณ์ หรือ เมทริกซ์เสมือนของ Hessian matrix ของ J ก็ได้ แต่ Hessian matrix ของ J มักจะถูกใช้มากกว่า [9], [10], [11] ในขณะที่ γ_i คือความกว้างในการค้นหา [6],[9] ซึ่งค่า ρ_i จะมีค่าเป็นบวกเสมอ

สำหรับการจำลองระบบควบคุมในบทความนี้ ค่า ρ_i จะถูกกำหนดตามสมการที่ (10) และเพื่อให้ผลตอบสนองที่เข้าสู่สถานะคงตัวเร็วที่สุด ให้ง่ายต่อการคำนวณ และไม่คำนึงถึงสัญญาณควบคุม ฟังก์ชันจุดประสงค์จึงถูกดัดแปลงตามสมการ (11)

$$\rho = [T_{int} \ G_{prop} \ G_{diff} \ T_{diff}] \quad (10)$$

$$J(\rho) = \frac{1}{2N} E \left\{ \sum_{t=t_0}^N (y_t(\rho) - r_t)^2 \right\} \quad (11)$$

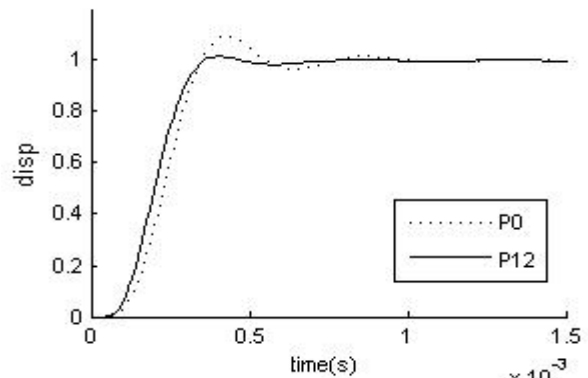
โดยเริ่มพิจารณาเมื่อ $t = t_0 > 0$ เพราะกรณีต้องการการลู่เข้าสู่สถานะคงตัวเร็วที่สุด ข้อมูลความผิดพลาดในช่วงเบื้องต้นอาจไม่สำคัญเท่ากับข้อมูลด้านท้ายจึงถูกไม่พิจารณาได้

4 ผลการวิจัย

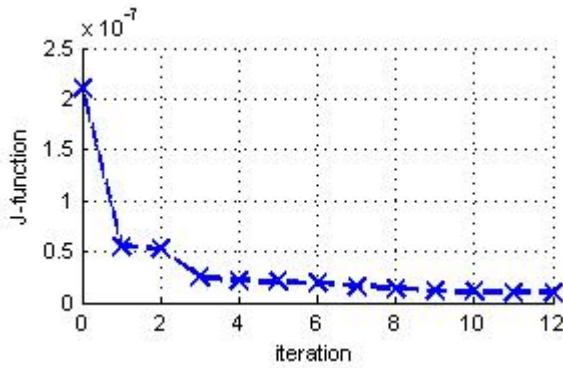
กำหนด plant ของชุดกลไกนาโนตามสมการ (2), (3) และเงื่อนไขตั้งต้นในการปรับตั้งตามสมการ (10), (11) และทดลอง 2 กรณี คือ กรณีไม่มีสัญญาณรบกวนและกรณีมีสัญญาณรบกวน ซึ่งระบบในกรณีหลังจะคล้ายกับระบบจริงในอุตสาหกรรมมากกว่ากรณีไม่มีสัญญาณรบกวน

4.1 ผลจากการปรับค่าเมื่อไม่มีสัญญาณรบกวน

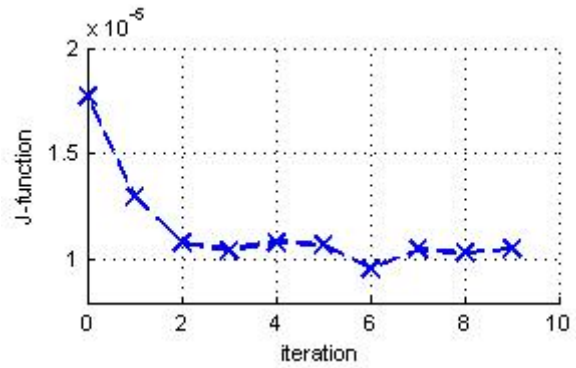
กำหนดให้ $T_0 = 0.4$ msec ตลอดเวลาการปรับตั้งตัวควบคุม ค่า γ_i ถูกเลือกภายใต้เงื่อนไข $\gamma_{i+1} < \gamma_i$ และ $\gamma_{i+1} < \gamma_i$ เพื่อไม่ให้ค่า γ_i หันห่างออกจากค่าที่น้อยที่สุด จากการจำลองเลือกให้ $\gamma_{i=1, 2, 3} = 1$, $\gamma_{i=4, \dots, 9} = 0.25$ และ $\gamma_{i=10, 11, 12, 13} = 0.0625$ ผลการปรับตั้งแสดงในรูปที่ 4.1.1 และ 4.1.2 และตารางที่ 1



รูปที่ 4.1.1 ผลตอบสนองหลังการปรับตั้งเมื่อไม่มีสัญญาณรบกวน



รูปที่ 4.1.2 ฟังก์ชันจุดประสงค์หลังการปรับตั้งเมื่อไม่มีสัญญาณรบกวน



รูปที่ 4.2.2 ฟังก์ชันจุดประสงค์หลังการปรับตั้งเมื่อมีสัญญาณรบกวน

ตารางที่ 1 ค่า ρ หลังการปรับตั้งเมื่อไม่มีสัญญาณรบกวน

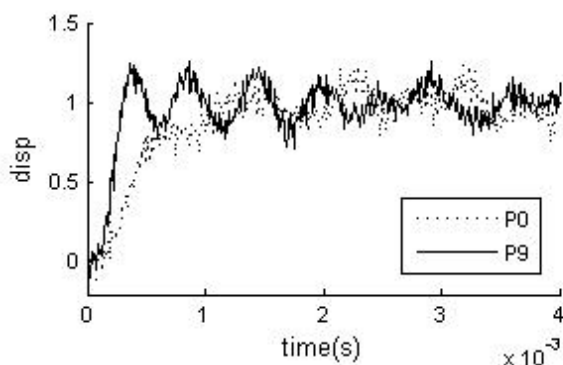
i	$\rho(1)$	$\rho(2)$	$\rho(3)$	$\rho(4)$
0	1.000E-04	-5.500	3.500	4.000E-05
1	9.873E-05	-5.274	4.585	3.082E-05
2	8.147E-05	-4.987	6.508	2.396E-05
3	6.842E-05	-4.648	8.797	2.020E-05
4	6.381E-05	-4.494	10.156	1.823E-05
5	5.925E-05	-4.322	11.876	1.623E-05
6	5.515E-05	-4.144	13.840	1.449E-05
7	5.154E-05	-3.967	15.931	1.312E-05
8	4.821E-05	-3.782	18.260	1.192E-05
9	4.521E-05	-3.596	20.676	1.096E-05
10	4.449E-05	-3.546	21.390	1.072E-05
11	4.374E-05	-3.492	22.273	1.042E-05
12	4.297E-05	-3.436	23.269	1.009E-05

ตารางที่ 2 ค่า ρ หลังการปรับตั้งเมื่อมีสัญญาณรบกวน

i	$\rho(1)$	$\rho(2)$	$\rho(3)$	$\rho(4)$
0	2.500E-04	-5.500	3.500	4.000E-05
1	9.706E-05	-5.494	3.496	3.937E-05
2	9.636E-05	-5.439	3.451	3.923E-05
3	8.966E-05	-5.553	3.526	4.164E-05
4	8.798E-05	-5.546	3.520	4.173E-05
5	8.730E-05	-5.514	3.491	4.172E-05
6	8.568E-05	-5.474	3.455	4.176E-05
7	8.516E-05	-5.465	3.448	4.164E-05
8	8.501E-05	-5.463	3.445	4.166E-05
9	8.469E-05	-5.451	3.436	4.149E-05

4.2 ผลจากการปรับค่าเมื่อใส่สัญญาณรบกวน

กำหนดให้ T_0 เริ่มต้นเท่ากับ 0.4 msec แล้วลดลง 0.05 msec เมื่อทำการปรับตั้งค่า ρ ครบทุกๆ 3 รอบ ส่วนค่า γ เริ่มต้นกำหนดเท่ากับ 1 และลดค่า γ ลงเป็น 0.25 เท่าของค่า γ เดิมในทุกครั้งที่ค่า T_0 เปลี่ยน สัญญาณ Gaussian White noise ที่มีค่า RMS ระหว่าง 0.05-0.07 จะถูกบวกเข้าสู่ระบบที่สัญญาณขาออก ผลการปรับตั้งแสดงในรูปที่ 4.2.1 และ 4.2.2 และตารางที่ 2



รูปที่ 4.2.1 ผลตอบสนองหลังการปรับตั้งเมื่อมีสัญญาณรบกวน

5. สรุป

จากผลการจำลอง วิธี Iterative Feedback Tuning สามารถปรับตั้งตัวควบคุม PID ตามสมการ (1) ที่ควบคุมระบบเชิงเส้นแบบไม่เปลี่ยนแปลงตามเวลาตามสมการ (2), (3) ตามเงื่อนไขของฟังก์ชันจุดประสงค์ (11) ได้ทั้งในกรณีไม่มีสัญญาณรบกวนและมีสัญญาณรบกวนได้ ซึ่งทำให้ผลตอบสนองเข้าสู่สถานะคงตัวเร็วขึ้นด้วย

สำหรับกรณีไม่มีสัญญาณรบกวน ฟังก์ชันจุดประสงค์จะลู่อเข้าที่ค่าประมาณ 1×10^{-7} ซึ่งลดลงจากก่อนการปรับตั้งอยู่ที่ 2×10^{-7} เมื่อพิจารณาว่า T_{settling} ที่ค่าความผิดพลาดสถานะคงตัว $\pm 2\%$ T_{settling} จะลู่อเข้าที่ 0.3 msec ซึ่งลดลงจาก T_{settling} เริ่มต้นลงได้ 0.38 msec หรือลดลง 56% จาก T_{settling} เริ่มต้น

กรณีมีสัญญาณรบกวน ฟังก์ชันจุดประสงค์จะลู่อเข้าที่ค่าประมาณ 1×10^{-5} ซึ่งลดลงจากก่อนการปรับตั้งอยู่ที่ 1.77×10^{-5} และผลตอบสนองมีช่วงเวลาขึ้น (Rise time) เร็วขึ้น

6. ข้อเสนอแนะ

plant ที่ถูกใช้แทนระบบในบทความนี้เป็นแบบจำลอง 2^{nd} order 1mode ของระบบเชิงเส้นที่ไม่เปลี่ยนแปลงตามเวลา ซึ่งต่างกับพฤติกรรมจริงของตัวกระตุ้นแบบเพียโซอิเล็กทริกในชุดกลไกนาโน การเปลี่ยน plant ที่ใช้จำลองให้เป็นแบบไม่เชิงเส้นหรือแบบ 2^{nd} order หลาย mode การันตีให้ผลการจำลองมีความเข้าใจพฤติกรรมจริงของระบบมากกว่า

ในการประยุกต์ Iterative Feedback Tuning ยังสามารถถูกปรับปรุงให้ดีขึ้นได้ด้วยการประยุกต์ time weighting และ frequency weighting เข้าในฟังก์ชันจุดประสงค์

เนื่องจากวิธี Iterative Feedback Tuning เป็นวิธีการปรับตั้งแบบ local minimization ตามฟังก์ชันจุดประสงค์ที่กำหนดซึ่งต้องการข้อมูลของค่าตัวคูณของตัวควบคุมเริ่มต้นและค่าจะเข้าสู่ตามทิศทาง gradient ที่ค่า p นั้นๆ ดังนั้นการเลือกข้อมูลเริ่มต้นที่ต่างกันก็สามารถทำให้ได้ค่า p สุดท้ายหลังการปรับตั้งมีค่าต่างกันได้และอาจจะทำให้ได้ผลตอบสนองเข้าสู่สถานะคงตัวที่ต่างกัน ข้อเสนอแนะอย่างหนึ่งคือใช้การหาค่า p เริ่มต้นโดยวิธี [5]

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณทาง NECTEC และบริษัท ซีเกท (ประเทศไทย) ที่สนับสนุนเงินทุนการวิจัยและอำนวยความสะดวกอุปกรณ์ในการทำงานวิจัยนี้ ขอขอบคุณ ผศ.ดร.จักร จันทลักขณา สำหรับคำปรึกษาอันเป็นประโยชน์อย่างสูง ขอขอบคุณคุณพ่อคุณแม่ที่ให้การสนับสนุนอย่างดีกับผู้เขียนมาตลอด

เอกสารอ้างอิง

1. Astrom, K.J., and Hagglund, T., "Advanced PID control," Instrumentation, System, and Automation Society, 2006.
2. Ziegler J. and Nichols N., "Optimum settings for automatic controllers", Trans. ASME, 1942, pp. 759-768.
3. Astrom, K.J., and Hagglund, T., "Automatic-tuning of simple regulators with specifications on phase and amplitude margins," Automatica, 20, pp. 645-651.
4. วิบูลย์ แสงวีระพันธุ์ศิริ, "การควบคุมระบบพลศาสตร์," สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, พิมพ์ครั้งที่ 2, 2548, หน้า 233
5. Queengate co, Ltd., "NPS3110, NPS3220, NPS3330 Operating manual," 3rd edition, 2000, pp. 68-69
6. Hjalmarsson, H., Gevers, M., Gunnarsson, S., and Lequin, O., "Iterative Feedback Tuning: Theory and applications," IEEE Control Systems Magazine, 18, 1998, pp. 26-41.
7. Lequin, O., Gevers, M., Mossberg M., and Bosmans, E., "Iterative Feedback Tuning of PID parameters: comparison with classical tuning rules," Control Engineering practice
8. Sun, C.T., "Vibration damping of structural element," Prentice-Hall PTR 1995, p47.
9. Hjalmarsson, Gunnarsson, S.H., and Gunnarsson, S., "A Convergent Iterative Restricted Complexity Control Design Scheme," in Proc. 33rd IEEE, CDC, 1994, pp. 1735-1740
10. Al Mamun, A., Ho, W.Y., Wang, W.E., and Lee, T.H., "Iterative Feedback Tuning (IFT) of Hard Disk Drive Head Positioning Servomechanism," in the 33rd Annual Conference

of IECON, 5-8 Nov 2007, pp. 769-774

11. Nakamoto, M., "Parameter Tuning of Multiple PID controllers by Using Iterative Feedback Tuning," SICE 2003 Annual Conference Vol.1, 2003, pp. 183-186