รายการอ้างอิง

Apkarian, J. 1995. A Comprehensive and Modular Laboratory for Control Systems Design and Implementation Canada: Quanser Consulting.

Aoustin, Y.; and Chevallereau, C. 1993. The Singular Perturbation Control of a Two-Flexible-Link Robot. Proc. IEEE Conf. Robot. Automat. 3 : 737-742.

Aoustin, Y.; Chevallereau, C.; Glumineau, A.; and Moog, C.H. 1994, December. Experimental Results for the End-Effector Control of a Single Flexible Robotic Arm. IEEE Trans. Cont. Sys. Tech. 2 No. 4 : 371-381.

Bouaziz, B.; Dochain, D.; Piedboeuf, J.C.; and Hurteau, R. 1993. Singular Perturbation Approach to Modeling and Control of Flexible Manipulators. 2nd IEEE Conf Cont. Applications : 391-396.

Cannon, R.H.; and Schmitz, E. 1984. Initial Experiments on the End-Point Control of a Flexible One-Link Robot. Int. Journal of Robotic Research 3 No. 3 : 62-75.

Chang, Y.C.; and Chen, B.S. 1997, January. A Nonlinear Adaptive H^{∞} Tracking Control Design in Robotic Systems via Neural Networks. IEEE Trans. Cont. Sys. Tech. 5 No. 1 : 13-29.

Cheng, W.; and Wen, J.T. 1993. A Neural Controller for the Tracking Control of Flexible Arms. IEEE Int. Conf. on Neural Networks 2 : 749-754.

Donne, J.D.; and Ozguner, U. 1994. Neural Control of a Flexible-Link Manipulator. IEEE Int. Conf. on Neural Networks 4 : 2327-2332.

Feng, G.; and Palaniswami, M. 1991. Adaptive Control of Partially Known Single-Link Flexible Manipulators. 91 ICAR. Fifth Int. Conf. on Advanced Robotics. Robots in Unstructured Environments 2 : 1784-1787.

Ge, S.S.; Lee, T.H.; and Zhu, G. 1997, March. A Nonlinear Feedback Controller for a Single-Link Flexible Manipulator Based on a Finite Element Model. Journal of Robotics Systems 14 No. 3 : 165-178.

รายการอ้างอิง (ต่อ)

Ge, S.S.; Lee, T.H.; and Zhu, G. 1997, October. Adaptive Neural Control of Flexible Link Robots based on Singular Perturbation. Proc. IEEE Conf. Cont. Appl. : 365-370.

Ham, W.; and Lee, J.J. 1992, July. Adaptive Nonlinear Control of One-Link Flexible Arm. Proc. of the 1993 IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems : 3-7.

Hunt, K.J.; Sbarbaro, D.; ZbiKowski, R.; and Gawthrop, P.J. 1992. Neural Networks for Control Systems-A Survey. Automatica 28 No. 6 : 1083-1112.

Lewis, F.L. 1996, June. Neural Network Control of Robot Manipulators. IEEE Expert : 64-75.

Lewis, F.L.; Liu, K.; and Yesildirek, A. 1995, May. Neural Net Robot Controller with Guaranteed Tracking Performance. IEEE Trans. Neural Networks 6 No. 3 : 703-715.

Lewis, F.L.; Yesildirek, A.; and Liu, K. 1995, May. Multilayer Neural Net Robot Controller with Guaranteed Tracking Performance. IEEE Trans. Neural Networks 7 No. 2 : 388-399.

Lewis, F.L.; and Vandegrift, M. 1992, May. Flexible Robot Arm Control by a Feedback Linearization/Singular Perturbation Approach. Proc. IEEE Conf. Robot. Automat. : 729-736.

Lin, L.C.; and Yih, T.W. 1996, August. Rigid Model-Based Neural Network Control of Flexible-Link Manipulators. IEEE Trans. on Robotics and Automation 12 No. 4 : 595-602.

Narendra, K.S. 1996, October. Neural Networks for Control: Theory and Practice. Proc. of the IEEE 84 No. 10 : 1385-1406.

Nathan, P.J.; and Singh, S.N. 1991. Sliding Mode Control and Elastic Mode Stabilization of a Robotic Arm with Flexible Links. ASME Trans. Dyn. Syst., Meas., Contr. 113 : 669-676.

Nemir, D.C.; Koivo, A.J.; and Kashyap, R.L. 1998 January-February. Pseudolinks and the self-tuning control of a nonrigid link mechanism. IEEE Trans. Systems, Man and Cybernetics 18 No. 1 : 40-48.

รายการอ้างอิง (ต่อ)

Polycarpou, M.; and Ioannou, P. 1991, September.(revised 1994, May). Identification and Control of Nonlinear Systems using Neural Networks Models : Design and Stability Analysis, Technical Report 91-09-01, USC Dept. EE-Systems.

Pota, H.R. 1992, February. A Prototype Flexible Robot Arm-An Interdisciplinary Undergraduate Project. IEEE Trans. on Educational 3 No. 1.

Qian, W.T.; and Ma, C.C.H. 1991, May 9-10. Weighted Sliding Mode control of a Flexible One-Link Arm. IEEE Pacific Rim Conf. Communication and Signal Processing : 162-165.

Qian, W.T.; and Ma, C.C.H. 1992, January. A New Controller Design for a Flexible One-Link Manipulator. IEEE Trans. Automatic Control 37 No. 1 : 132-137.

Sakawa, Y.; Matsuno, F.; and Fukushima, S. 1985. Modeling and Feedback Control of a Flexible Arm. Journal of Robotic System 2 No. 4 : 453-472.

Sanner, R.M; and Slotine, J.J.E. 1992, November. Gaussian Networks for Direct Adaptive Control. IEEE Trans. Neural Networks 3 No. 6 : 837-863.

Tomei, P.; Tomambe, A. 1988, September/October. Approximate Modeling of Robots Having Elastic Links. IEEE Trans. Systems. Man. and Cybernetics 18 No. 5 : 831-840.

Wang, D.; and Vidyasagar, M. 1991. Control of Class of Manipulators with a Single Flexible Link-Part I: Feedback Linearization. ASME Trans. Dyn. Syst., Meas., Contr. 113 : 655-661.

Wells, R.L.; Schueller, J.K.; and Tlusty, J. 1990, January. Feedforward and Feedback Control of a Flexible Robotic Arm. IEEE Control Systems Magazine 10 No. 1 : 9-15.

Yang, J.H.; Lian, F.L.; and Fu, L.C. 1995. Adaptive Control for Flexible Manipulators. IEEE Int. Conf. Robotics and Automation : 1223-1228.

Yang, J.H.; Lian, F.L.; and Fu, L.C. 1997, February. Nonlinear Adaptive Control for Flexible-Link Manipulators IEEE Trans. Robotics and Automation 13 No. 1 : 140-148.

รายการอ้างอิง (ต่อ)

Yang, J.H.; Liu, F.C.; and Fu, L.C. 1994. Nonlinear Control for Flexible Manipulators. Proc. 1994 IEEE Int. Conf. Robot. Automat. 1 : 327-332.

Yang, T.-C.; Yang, Y.C.S.; and Kudva, P. 1992, January-February. Load-Adaptive Control of a Single-Link Flexible Manipulator. IEEE Trans. Systems Man and Cybernetics 22 No. 1 : 85-91.

Yesildirek, A.; Vandegrift, M.W.; and Lewis, F.L. 1994, August. A Neural Network Controller for Flexible-Link Robots. Proc. 1994 IEEE Int. Symp. Intelligent Control : 63-68.

Yim, W. 1996, April. Modified Nonlinear Predictive Control of Elastic Manipulators. Proc. of the 1996 IEEE Int. Conf. Robotics and Automation : 2097-2102.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของแขนกลแบบอ่อนตัวข้อเดียว

ในส่วนของภาคผนวกเป็นการหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้ในการจำลองแบบด้วยคอมพิวเตอร์ เนื่องจากว่าแขนกลแบบอ่อนตัวมีแบบจำลองเป็นสมการอนุพันธ์ย่อย ซึ่งไม่เหมาะสมในการที่จะใช้ในการจำลองแบบด้วยคอมพิวเตอร์เพราะว่า เมื่อรวมเข้ากับสมการของตัวควบคุมแบบปรับตัวซึ่งเป็นสมการอนุพันธ์แบบไม่เชิงเส้น ก็จะเป็นสมการอนุพันธ์ย่อยแบบไม่เชิงเส้นซึ่งการหาคำตอบที่ถูกต้องทำได้ยาก ดังนั้นในส่วนต่อไปจะเป็นลักษณะของแบบจำลองที่ต้องการ และวิธีการหาแบบจำลอง ในส่วนสุดท้ายจะแสดงค่าของแบบจำลองที่งานวิจัยนี้ใช้ในการจำลองแบบด้วยคอมพิวเตอร์

ก.1 ลักษณะของแบบจำลองที่ต้องการ

ในที่นี้ได้กำหนดลักษณะของแบบจำลองที่ต้องการไว้ดังนี้

- เป็นระบบที่มีมิติจำกัด : แสดงได้ด้วยสมการอนุพันธ์ซึ่งสามารถใช้ในการจำลองแบบด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์โดยทั่วไปได้ เช่น MATLAB เป็นต้น
- สามารถเปลี่ยนค่าของพารามิเตอร์ได้ง่าย เช่น มวลที่ตำแหน่งปลาย และ ความยาวของแขนกล
- สามารถเลือกความละเอียดของแบบจำลองได้ : เพื่อศึกษาผลของพลวัตที่ไม่ได้จำลอง (unmodeled dynamic) ซึ่งใช้ในกรณีที่ทำการออกแบบตัวควบคุมกับแบบจำลองที่มีความละเอียดค่าหนึ่งและทดลองใช้ตัวควบคุมที่ออกแบบไว้กับแบบจำลองที่มีความละเอียดสูงกว่า

นอกจากนี้แล้ววิธีที่ใช้จะต้องเข้าใจง่ายและไม่จำเป็นต้องใช้ความรู้ทางด้านทฤษฎีการสั่นมาก ดังนั้นจึงเลือกการหาแบบจำลองด้วยระเบียบวิธีลากรอง/ชิ้นประกอบอันตะ (Lagrange/Finite Element Method) (Pota, 1992)

ก.2 ระเบียบวิธีลากรอง/ชิ้นประกอบอันตะ

หลักการ

วิธีนี้ใช้ระเบียบวิธีชิ้นประกอบอันตะในการแบ่งแขนกลออกเป็นหลายๆ ท่อน และหาค่าพลังงานศักย์และพลังงานจลน์ของระบบจากแขนกลท่อนต่างๆ จากนั้นจึงใช้เทคนิคลากรอง (Lagrange Technique) ในการหาสมการอนุพันธ์ของระบบ

แบบจำลองที่ได้

วิธีนี้จะได้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เป็นสมการอนุพันธ์เชิงเส้นอันดับ 2(n+1) โดยที่ n คือ จำนวนท่อนของแขนกลที่แบ่งในขั้นตอนระเบียบวิธีชิ้นประกอบอันตะ และแบบจำลองที่ได้เป็นแบบจำลองที่มีสัญญาณเข้าเป็นแรงบิดที่กระทำที่แกนหมุน (hub) และมีตัวแปรสถานะเป็นมุมของแกนหมุน, ระยะเบี่ยงเบนที่ตำแหน่งต่างๆ ของแขนกล และอนุพันธ์อันดับหนึ่งเทียบกับเวลาของสัญญาณเหล่านี้ ซึ่งมีสมการอยู่ในรูปแบบดังนี้

$$[M]\begin{bmatrix}\ddot{\theta}\\ \ddot{q}\end{bmatrix}+[K]\begin{bmatrix}\theta\\ q\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}1\\ 0_{n\times n}\end{bmatrix}\tau \qquad \text{(n-1)}$$

โดยที่

M คือ เมทริกซ์ขนาด $(n+1)\times(n+1)$

K คือ เมทริกซ์ขนาด $(n+1)\times(n+1)$

θ คือ มุมของแกนหมุน

$[q_i]$ คือ เวกเตอร์ขนาด $n\times 1$ แสดงระยะเบี่ยงเบนที่จุดต่างๆ ของแขนกล

ในส่วนรายละเอียดและที่มาของค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ดูเพิ่มเติมใน (Pota, 1992)

ก.3 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของชุดทดลองแขนกลแบบอ่อนตัวข้อต่อเดียว

ชุดทดลองแขนกลแบบอ่อนตัวข้อต่อเดียวประกอบด้วย 2 ส่วนคือ

1. มอเตอร์กระแสตรงแบบควบคุมกระแสอาร์เมเจอร์

มีแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แสดงในคู่มือการใช้ชุดทดลอง (Apkarian, 1995) ดังนี้

$$\tau=\frac{K_t}{R_a}V_{in}-\frac{K_tK_v}{R_a}\dot{\theta} \qquad \text{(n-2)}$$

โดยที่

K_t คือ ค่าคงตัวของแรงบิด

K_v คือ ค่าคงตัวของแรงเคลื่อนไฟฟ้ากลับหลัง

R_a คือ ความต้านทานอาร์เมเจอร์

V_{in} คือ แรงดันที่จ่ายให้กับมอเตอร์

2. แขนกลแบบอ่อนตัวข้อต่อเดียว

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์แสดงในสมการ (n-1)

เมื่อรวมสมการ (ก-1) และ (ก-2) จะได้แบบจำลองของชุดทดลองแขนกลแบบอ่อนตัวข้อเดียว ดังนี้

$$[M]\begin{bmatrix}\ddot{\theta}\\ \ddot{q}\end{bmatrix}+\begin{bmatrix}\frac{K_t K_v}{R_a}\dot{\theta}\\ 0\end{bmatrix}+[K]\begin{bmatrix}\theta\\ q\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}\frac{K_t}{R_a}V_{in}\\ 0_{n\times n}\end{bmatrix} \qquad \text{(ก-3)}$$

ในงานวิจัยนี้ได้ใช้แบบจำลองอันดับ 12 โดยแบ่งแขนกลเป็น 5 ท่อน และเมื่อแทนค่าพารามิเตอร์ของแขนกลข้อต่อเดียวและมอเตอร์กระแสตรงแบบควบคุมกระแสอาร์เมเจอร์ (Apkarian, 1995) จะได้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ตามรูปแบบ (ก-3) โดยมีค่าพารามิเตอร์เป็นดังนี้

$$M=\begin{bmatrix}0.0181 & 0.0010 & 0.0022 & 0.0030 & 0.0050 & 0.0245\\ 0.0010 & 0.0098 & 0.0015 & -0.0008 & 0.0003 & -0.0001\\ 0.0022 & 0.0015 & 0.0104 & 0.0012 & -0.006 & 0.0002\\ 0.0030 & -0.0008 & 0.0012 & 0.0106 & 0.0009 & -0.0007\\ 0.0050 & 0.0003 & -0.0006 & 0.0009 & 0.0112 & 0.0019\\ 0.0245 & -0.0001 & 0.0002 & -0.0007 & 0.0019 & 0.0534\end{bmatrix}$$

$$K=\begin{bmatrix}0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0\\ 0 & 4249.03 & -2685.56 & 1077.22 & -269.30 & 44.88\\ 0 & -2685.56 & 3306.46 & -2416.26 & 942.57 & -157.09\\ 0 & 1077.22 & -2416.26 & 3171.81 & -2146.95 & 583.49\\ 0 & -269.30 & 942.57 & -2146.95 & 2229.24 & -822.87\\ 0 & 44.88 & -157.09 & 583.49 & -822.87 & 362.81\end{bmatrix}$$

$$\frac{K_t K_v}{R_a}=0.1109$$

$$\frac{K_t}{R_a}=0.2065$$

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้วิจัย

นายจิระศักดิ์ จันทร์รัตนา เกิดวันที่ 25 มกราคม พ.ศ. 2518 ที่อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2538 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อ พ.ศ. 2539 โดยได้รับทุนอุดหนุนการศึกษาจากโครงการศิษย์ก้นกุฏิ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย