

The High Precision Positioning Control of the Piezo-actuated Positioning Stage

楊森任、林志哲

E-mail: 9314548@mail.dyu.edu.tw

ABSTRACT

In this paper, the ultra-high-precision positioning with piezoactuators is studied in positioning application. The hysteretic effect and creep effects of the Piezo-actuators degrade the positioning precision. To perform ultra-high-precision positioning, the hysteresis effect should be compensated by the controller. In this paper, the hysteresis nonlinearity of the PZT actuator is modeled in the feedforward loop by using the polynomial method and Bouc-Wen model. To improve the positioning precision of the PZT positioning stage, a PI feedback control scheme with the feedforward controller combined the hysteresis observer is proposed. The simulation and experiment results show that the tracking performance is greatly improved by the proposed method.

Keywords : PZT Actuator, Hysteresis, Observer, Feed-forward Control

Table of Contents

目錄	封面內頁	簽名頁	授權書	iii	中文摘要	v	英文摘要	vi	誌謝	vii	目錄	viii	圖目錄	xi	表目錄	xvi	第一章 緒論	1	1.1 前言	1	1.2 文獻回顧	1	1.3 研究動機與目的	3	第二章 壓電致動平台	5	2.1 壓電致動器	5	2.2 磁滯與蠕動現象	5	2.3 磁滯模型	6	2.3.1 非對稱形式之磁滯模型	7	2.3.2 對稱形式之磁滯模型	10	2.4 壓電致動平台動態含磁滯模型之建立	13	2.4.1 Bouc-Wen model	13	2.4.2 Preisach ' s Model	22	第三章 壓電致動平台之定位控制	24	3.1 反覆式學習控制	24	3.2 反向前饋補償	26	3.2.1 多項式法之前饋補償	27	3.2.2 應用磁滯觀測器之反向前饋補償	28	3.3 結合反向前饋控制與PI迴授控制	31	第四章 控制器之數值模擬與探討	33	4.1 反覆式學習控制	33	4.2 對稱型磁滯模式之模擬探討	36	4.2.1 對稱型磁滯模式之反向前饋控制補償	36	4.2.2 對稱型磁滯模式之反向前饋控制並結合PI回授控制補償	44	4.3 非對稱型磁滯模式之模擬探討	47	4.3.1 非對稱型磁滯模式之反向前饋控制補償	48	4.3.2 非對稱型磁滯模式之反向前饋控制並結合PI回授控制補償	56	第五章 實驗結果與討論	59	5.1 實驗設備	59	5.2 反覆式學習控制實驗	64	5.3 反向前饋控制實驗	67	5.3.1 以多項式為基礎之反向前饋控制實驗	67	5.3.2 應用磁滯觀測器之反向前饋控制實驗	70	5.4 反向前饋控制並結合PI回授控制實驗	72	第六章 結論與建議	84	6.1 結論	84	6.2 未來與展望	84	參考文獻	86	圖目錄		圖2.1 壓電之動平台之輸入與非線性輸出比較	6	圖2.2 磁滯曲線圖	7	圖2.3 多項式近似曲線	8	圖2.4 Preisach ' s Model之示意圖	9	圖2.5 類神經網路架構示意圖	10	圖2.6 單一元件之動態示意圖	11	圖2.7 n個元件之動態示意圖	11	圖2.8 壓電致動平台之動態示意圖	13	圖2.9 雷射位移計	14	圖2.10 時域響應法示意圖	15	圖2.11 平台動態之時域響應圖	16	圖2.12 模擬Bouc-Wen model磁滯曲線方塊圖	17	圖2.13 改變 結果	17	圖2.14 改變 結果	18	圖2.15 改變 結果	18	圖2.16 改變預壓結果	19	圖2.17 Bouc-Wen model近似磁滯	20	圖2.18 改變摩擦力對Bouc-Wen model近似磁滯的影響	21	圖2.19 改變剛性係數對Bouc-Wen model近似磁滯的影響	21	圖2.20 Preisach ' s Model切換系統示意圖	23	圖2.21 Preisach ' s Model近似磁滯	23	圖3.1 反覆式學習控制架構圖	25	圖3.2 無外擾之前饋架構方塊圖	26	圖3.3 前饋架構之方塊圖	26	圖3.4 反向磁滯控制律之設計	27	圖3.5 反向磁滯曲線	28	圖3.6 磁滯觀測器之simulink模擬方塊圖	30	圖3.7 應用磁滯觀測器之前饋架構方塊圖	30	圖3.8 結合反向前饋控制之PI迴授控制架構圖	32	圖4.1 連續10cycle之三角波追蹤	34	圖4.2 反覆式學習控制結果之均方根誤差圖	35	圖4.3 反覆式學習控制在第7次補償誤差圖	35	圖4.4 對稱型-以多項式模型為前饋控制之追蹤結果	37	圖4.5 對稱型-以多項式模型為前饋控制之誤差	37	圖4.6 對稱型-以多項式模型為前饋控制之結果	38	圖4.7 對稱型-以多項式模型之改變	39	圖4.8 對稱型-以多項式模型之改變	39	圖4.9 對稱型-以多項式模型之改變	40	圖4.10 對稱型-應用觀測器為前饋控制之追蹤結果	41	圖4.11 對稱型-應用觀測器為前饋控制之誤差	41	圖4.12 對稱型-應用觀測器為前饋控制之結果	42	圖4.13 對稱型-應用觀測器之改變	42	圖4.14 對稱型-應用觀測器之改變	43	圖4.15 對稱型-應用觀測器之改變	43	圖4.16 對稱型-反向前饋補償結合PI回授控制之追蹤結果	44	圖4.17 對稱型-反向前饋補償結合PI回授控制誤差	45	圖4.18 對稱型-反向前饋補償結合PI回授控制結果	45	圖4.19 對稱型-步階追蹤結果	46	圖4.20 對稱型-步階追蹤收斂	47	圖4.21 非對稱型-以多項式模型為前饋控制之追蹤結果	48	圖4.22 非對稱型-以多項式模型為前饋控制之誤差	49	圖4.23 非對稱型-以多項式模型為前饋控制之結果	49	圖4.24 非對稱型-以多項式模型之改變	50	圖4.25 非對稱型-以多項式模型之改變	51	圖4.26 非對稱型-以多項式模型之改變	51	圖4.27 非對稱型-應用觀測器為前饋控制之追蹤結果	52	圖4.28 非對稱型-應用觀測器為前饋控制之誤差	53	圖4.29 非對稱型-應用觀測器為前饋控制之結果	53	圖4.30 非對稱型-應用觀測器之改變	54	圖4.31 非對稱型-應用觀測器之改變	55	圖4.32 非對稱型-應用觀測器之改變	55	圖4.33 非對稱型-反向前饋補償結合PI回授控制之追蹤結果	56	圖4.34 非對稱型-反向前饋補償結合PI回授控制誤差	56	圖4.35 非對稱型-反向前饋補償結合PI回授控制結果	57	圖4.36 非對稱型-步階追蹤收斂	58	圖4.37 非對稱型-步階追蹤收斂	58	圖5.1 壓電致動平台	59	圖5.2 雷射干涉儀	60	圖5.3 LabView程式	61	圖5.4 電壓放大器	62	圖5.5 光學防振平台	62	圖5.6 線性光學編碼器	63	圖5.7 ILC第一次補償實驗結果	64	圖5.8 ILC第一次補償實驗誤差	65	圖5.9 ILC第六次補償實驗結果	65	圖5.10 ILC第六次補償	
----	------	-----	-----	-----	------	---	------	----	----	-----	----	------	-----	----	-----	-----	--------	---	--------	---	----------	---	-------------	---	------------	---	-----------	---	-------------	---	----------	---	------------------	---	-----------------	----	----------------------	----	----------------------	----	--------------------------	----	-----------------	----	-------------	----	------------	----	-----------------	----	----------------------	----	---------------------	----	-----------------	----	-------------	----	------------------	----	------------------------	----	---------------------------------	----	-------------------	----	-------------------------	----	----------------------------------	----	-------------	----	----------	----	---------------	----	--------------	----	------------------------	----	------------------------	----	-----------------------	----	-----------	----	--------	----	-----------	----	------	----	-----	--	------------------------	---	------------	---	--------------	---	-----------------------------	---	-----------------	----	-----------------	----	-----------------	----	-------------------	----	------------	----	----------------	----	------------------	----	-------------------------------	----	-------------	----	-------------	----	-------------	----	--------------	----	--------------------------	----	-----------------------------------	----	------------------------------------	----	---------------------------------	----	------------------------------	----	-----------------	----	------------------	----	---------------	----	-----------------	----	-------------	----	--------------------------	----	----------------------	----	-------------------------	----	----------------------	----	-----------------------	----	-----------------------	----	---------------------------	----	-------------------------	----	-------------------------	----	--------------------	----	--------------------	----	--------------------	----	---------------------------	----	-------------------------	----	-------------------------	----	--------------------	----	--------------------	----	--------------------	----	-------------------------------	----	----------------------------	----	----------------------------	----	------------------	----	------------------	----	-----------------------------	----	---------------------------	----	---------------------------	----	----------------------	----	----------------------	----	----------------------	----	----------------------------	----	--------------------------	----	--------------------------	----	---------------------	----	---------------------	----	---------------------	----	--------------------------------	----	-----------------------------	----	-----------------------------	----	-------------------	----	-------------------	----	-------------	----	------------	----	----------------	----	------------	----	-------------	----	--------------	----	-------------------	----	-------------------	----	-------------------	----	----------------	--

償實驗誤差 66 圖5.11反覆式學習控制實驗結果之均方根誤差圖 66 圖5.13多項式模型為基礎之反向前饋控制實驗結果 68
圖5.14多項式模型為基礎之反向前饋控制實驗誤差 68 圖5.15多項式模型為基礎之改變輸入訊號前饋控制實驗結果 69 圖5.16
多項式模型為基礎之改變輸入訊號前饋控制實驗誤差 69 圖5.17應用磁滯觀測器為基礎之反向前饋控制實驗結果 70 圖5.18
應用磁滯觀測器之反向前饋控制實驗誤差 71 圖5.19應用磁滯觀測器之改變輸入訊號反向前饋控制實驗結果 71 圖5.20應用
磁滯觀測器之改變輸入訊號反向前饋控制實驗誤差 72 圖5.22以線性編碼器之前饋控制路徑追蹤實驗 74 圖5.23以線性編碼
器之前饋控制實驗誤差 74 圖5.24以線性編碼器之前饋控制實驗結果 75 圖5.25反向前饋控制並結合PI回授控制之路徑追蹤
實驗 75 圖5.26反向前饋控制並結合PI回授控制之實驗誤差 76 圖5.27反向前饋控制並結合PI回授控制之實驗結果 76 圖5.28
以多項式模型之改變輸入訊號-反向前饋控制並結合PI回授控制之路徑追蹤實驗 77 圖5.29以多項式模型之改變輸入訊號-反
向前饋控制並結合PI回授控制之實驗誤差 78 圖5.30以多項式模型之改變輸入訊號-反向前饋控制並結合PI回授控制之實驗
結果 78 圖5.31應用觀測器之改變輸入訊號-反向前饋控制並結合PI回授控制之路徑追蹤實驗 79 圖5.32應用觀測器之改變輸
入訊號-反向前饋控制並結合PI回授控制之實驗誤差 79 圖5.33應用觀測器之改變輸入訊號-反向前饋控制並結合PI回授控制
之實驗結果 80 圖5.34 步階定位 81 圖5.35 步階定位誤差 81 圖5.36 步階定位 82 圖5.37 步階定位誤差 82 圖5.38 步階定位 83
圖5.39 步階定位誤差 83 表目錄 表2.1 Bouc-Wen model參數表 20 表4.1反覆式學習控制之均方根誤差表 34

REFERENCES

- [1]馮榮豐, “奈微米工程-精密製程與量測技術” 滄海書局,台中市,2002 [2] P. Ge, and M. Jouaneh, “Tracking Control of a Piezoceramic-Actuator”, IEEE Transactions on Control Systems Technology, -vol.4, pp.209-216, 1996 [3]R. B. Mrad, and H. Hu, “Dynamic Modeling of Hysteresis in -Piezoceramics”, Advanced Intelligent Mechatronics, 2001 -Proceedings.,2001 IEEE/ASME International Conference, Vol. 1,pp.510-515, 2001 [4]李傑仁, “具非對稱型磁滯系統控制及其於壓電驅動平台定位控制之應用”, 碩士論文,國立成功大學航空太空工程研究所,2003 [5]Y. K. Wen, “Methods of Random Vibration for Inelastic -Structures”, Journal of Applied Mechanics Review, vol.42, -No.2,pp.39-52, 1989 [6] B. M. Chen, T. H. Lee, C. C. Hang, and Y. Guo, “An H Almost -Disturbance Decoupling Robust Controller Design for a -Piezoceramic Bimorph Actuator with Hysteresis”, IEEE -Transaction on Control Systems Technology, Vol. 7, NO. 2,pp.160-173, 1999 [7]黃恆庭, “壓電致動器磁滯模型之觀測器”, 碩士論文,逢甲大學自動控制工程學系, 2001 [8] M. Goldfarb, and N. Celanovic, “Modeling Piezoelectric Stack -Actuators for Control of Micromanipulation”, IEEE Control -Systems Magazine, vol.17,pp. 69-79, 1997 [9] J.-H. Xu, “Neural Network Control of a Piezo Tool Positioner”, -Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering, -vol.1, pp.333-336, 1993 [10] S. S. Ku, U. Pinoson, S. Cetinkunt and S. Nakajim “Design, -Fabrication, and Real-time Neural Network Control of a -Three-degrees-of-freedom Nanopositioner”, IEEE/ASME -Transactions on Mechatronics, Vol. 5, NO. 3, pp.273-280, 2000 [11] J. M. T. A. Adriaens, W. L. d. Koning, and R. Banning, “Design -and Modeling of a Piezo-Actuated Positioning”, Proceeding of the -36th Conference on Decision and Control, San design,CaliforniaUSA, 1997 [12] H. J. M. T. A. Adriaens, W. L. d. Koning, and R. Banning, - “Modeling Piezoelectric Actuators”, IEEE/ASME Transactions on -Mechatronics, Vol. 5, NO. 4, pp.331-341, 2000 [13] D. Croft and S. Devasia, “Hysteresis and Vibration -Compensation for Piezoactuators”, Journal of Guidance, Control, -and Dynamics, vol.21,pp.710-717, 1998 [14] C. Newcomb, “Improving The Linearity of Piezoelectric -Ceramic Actuators”, Electr. Letters, vol.10,pp. 442-444, 1982 [15] J. M. Cruz-Hernandez, and V. Hayward, “On the Linear -Compensation of Hysteresis”, Decision and Control, Proceeding -of the 36th IEEE Conference on, vol.2, pp.1956-1957, 1997 [16]陳俊生, “發展以史密斯預測器為基礎之強性 H 控制器及其應用於壓電致動器磁滯補償之研究”, 碩士論文,國立中正大學機械工程研究所, 2001 [17] G. Ciccarella, M. D. Mora, and A. Germani, “A Luenberger-like -Observer for Nonlinear Systems”, Int.J. Control, vol.7 -No.3,pp.537-556, 1993 [18]沈金鍾, “PID 控制器理論調整與實現” 滄海書局,台中市2001