

vibration Control of MFC/Bicycle Handlebars Using Distributed-Parameter Model Approach

簡勤哲、羅正忠

E-mail: 9419530@mail.dyu.edu.tw

ABSTRACT

The purpose of this thesis is to make a study of the structure repress vibration technique as the bicycle handlebars, so repress the vibration needs to piezoelectric component differ from the traditional piezoelectric ceramics, of vibrates control structure is also than complicated, it ' s feature has to match the compound structure model and structure for force type, looking for the best position and control electric circuit, structure of MFC/bicycle handlebars for vibration control. Also by the compound material/piezoelectric structure vibration analysis and experiment measurement, control rule and control electric circuit design and manufacture verification, build up the bicycle handlebars optimization the vibration the control the function the design. The purpose of this research is the active vibration repress technique for the compound material bicycle handlebars, it studies the way to use the Macro Fiber Composite(MFC) actuator ,and deduce the mathematics model of the bicycle handlebars to design of Velocity feedback control with the advantages of simplicity and reliability and linear quadratic regulator with the advantages of efficiency and robustness are proposed utilizing in control of vibration of cylindrical strut. simulation and experiment identification with two kinds of control ruleses respectively, and inquires into it to control the efficiency respectively, then develop a kind of simple, stabilize and valid compound material bicycle handlebars vibration repress technique.

Keywords : MFC、LQR、Distributed Parameter Modal

Table of Contents

目錄封面內頁 簽名頁 授權書 iii 中文摘要 iv 英文摘要 v 誌謝 vi 目錄 vii 圖目錄 ix 表目錄 xiii 符號說明 xiv 第一章 簡介 1.1 前言 1 1.2 壓電性質 1 1.3 壓電致動器 3 1.4 國內外研究情形 3 1.5 本文目標 7 第二章 自行車把手變截面管件的動態分析 2.1 ANSYS 建立自行車把手桿件之有限元素模型 9 2.2 ANSYS 有限元素模型特性分析 11 2.2.1 ANSYS 模型應變分佈 13 2.3 驗證 ANSYS 模型之正確性 14 2.3.1 ANSYS 和實驗之比對 15 2.3.2 最大應變位置 19 2.3.3 最佳黏貼位置以 ANSYS 和實驗驗證 21 第三章 主動式控制系統的設計和分析 3.1 懸臂樑自由振動分析 23 3.2 MFC 壓電致動器之力的形式 30 3.3 模態降階 32 3.4 LQR 回饋控制 34 3.5 連續系統轉離散系統 35 3.6 速度回饋單模態模擬控制 37 3.7 LQR 最佳化多模態模擬控制 39 第四章 主動式控制效率的實驗評估 4.1 主動式控制法達到抑制的目的 42 4.1.1 主動式控制之類比控制效率 45 4.2 利用數位訊號建構主動式控制 49 4.2.1 主動式控制之數位控制效率 50 4.3 單模態之速度與位移回饋控制的寬頻效益 53 4.4 多模態控制架構圖 55 4.4.1 多模態控制 58 4.5 數學模型作單模態實驗驗證 69 第五章 結論與未來工作 5.1 目前研究結果 75 5.2 未來工作 76 參考文獻 77 圖目錄 圖1.1 正壓電效應圖 2 圖1.2 逆壓電效應圖 3 圖1.3 壓電陶瓷片應用於主動式控制的基本結構 4 圖1.4 MFC 壓電元件構造示意圖 8 圖2.1 自行車把手管件示意圖 9 圖2.2 自行車把手管件變截面結構內外徑示意圖 10 圖2.3 自行車把手管件的有限元素模型圖 10 圖2.4 元素建構圖 11 圖2.5 自行車把手管件在XY 平面的第一模態圖 12 圖2.6 自行車把手管件在XY 平面的第二模態圖 13 圖2.7 自行車把手管件在XY 平面的第三模態圖 13 圖2.8 把手管件懸臂樑結構XY 平面的第一個振型的strain energy 14 圖2.9 自行車把手管件的模態實驗架構圖 15 圖2.10 把手桿件等分成27 點 15 圖2.11 自行車把手管件在XY 平面的頻率響應圖 17 圖2.12 把手管件連接桿的XY 面旋轉運動的模態實驗量測圖 18 圖2.13 管件類似懸臂樑在XY 平面第一個模態實驗量測 18 圖2.14 自行車把手桿件第三個模態實驗量測 19 圖2.15 動態應變的實驗量測架構圖 20 圖2.16 動態應變實驗量測中應變規位置圖 21 圖2.17 MFC 壓電元件黏貼於圓管把手位置圖 21 圖2.18 顯示三個位置的應變訊號 22 圖3.1 樑受彎曲時，樑元素的自由體圖 23 圖3.2 懸臂樑前三個模態 29 圖3.3 懸臂樑前三個模態之應變分佈 29 圖3.4 力的形式 30 圖3.5 指叉式電極示意圖 31 圖3.6 二個模態改變Q 固定R 權重 34 圖3.7 二個模態改變R 固定Q 權重 35 圖3.8 二階系統速度回饋模擬 38 圖3.9 速度回饋單模態控制模擬 38 圖3.10 LQR 控制第一模態 40 圖3.11 LQR 控制第二模態 40 圖3.12 LQR 控制第一和第二模態 41 圖4.1 自行車把手圓管主動式控制的實驗架構 43 圖4.2 微分電路 44 圖4.3 控制抑振方塊圖 44 圖4.4 致動轉折處MFC 壓電元件頻率域的控制結果 46 圖4.5 致動固定端單片MFC 壓電元件頻率域的控制結果 46 圖4.6 致動固定端雙片MFC 壓電元件頻率域的控制結果 47 圖4.7 能量滿溢(spillove)的現象圖 48 圖4.8 凹槽濾波器(Notch Filter) 49 圖4.9 自行車把手圓管主動式控制的數位實驗架構 50 圖4.10 數位速度回饋固定端MFC 壓電元件的控制結果 51 圖4.11 數位速度回饋轉折處MFC 壓電元件的控制結果 52 圖4.12 速度訊號圖(90 度相位) 53 圖4.13 位移訊號圖(180 度相位) 54 圖4.14 致動器固定端MFC 壓電元件多模態頻率域控制結果 54 圖4.15 致動器固定端MFC 壓電元件多模態頻率域控制結果 55 圖4.16 掃頻(sinusoidal sweep)雷射位移計量測共振頻率 56 圖4.17 掃頻(sinusoidal sweep) MFC 量測共振頻率 56 圖4.18 多模態實驗架構圖 57 圖4.19 相位實驗架構圖 58 圖4.20 位移控制相位圖 60 圖4.21 速度控制(自行車把手桿件第二模態)相位

圖 60 圖4.22 速度控制(自行車把手桿件第三模態)相位圖 61 圖4.23 位移+速度控制(自行車把手桿件第二模態)相位圖 61
圖4.24 位移+速度控制(自行車把手桿件第三模態)相位圖 62 圖4.25 單模態控制(自車把手桿件第二模態) 63 圖4.26 單模態控
制(自車把手桿件第三模態) 63 圖4.27 多模態之位移控制 65 圖4.28 多模態之速度控制 65 圖4.29 多模態之位移+速度控制 67
圖4.30 最佳多模態之位移+速度控制 67 圖4.31 自行車把手圓管主動式控制的實驗架構 69 圖4.32 二個模態作LQR 控制(固
定R 改變Q) 70 圖4.33 二個模態作LQR 控制(固定Q 改變R) 71 圖4.34 二個模態作 LQR 控制(固定Q 改變R)時域變化 71
圖4.35 二個模態作LQR 控制(固定Q 改變R) 時域變化 72 圖4.36 二個模態作LQR 控制(固定Q 改變R) 時域變化 72 圖4.37 二
個模態作LQR 控制(固定Q 改變R) 時域變化 73 圖4.38 二個模態作LQR 控制(固定Q 改變R) 時域變化 73 表目錄 表2.1 實驗
值和ANSYS 差異 17 表3.1 頻率分析比較 28 表4.1 MFC 壓電致動器在相同控制電壓比較抑振效率 44 表4.2 類比/數位在相
同振幅比較控制電壓(MFC 在轉折處) 52 表4.3 類比/數位在相同振幅比較控制電壓(MFC 在固定端) 52 表4.4 不同控制法來
看單模態(第二模態)抑制效率 64 表4.5 不同控制法來看單模態(第三模態)抑制效率 64 表4.6 多模態控制比較抑制效率 66
表4.7 多模態控制比較抑制效率 68 表4.8 多模態最佳控制效率 68 表4.9 LQR 抑制控制 74

REFERENCES

- [1] M. J. Brennan, S. J. Elliott and R. J. Pinnington, " Strategies the Active Control of Flexural Vibration on a Beam, " *Journal of Sound and Vibration*, 186(4), pp.657-688, 1995.
- [2] Douglas J. Ortel and B. Balachandran, " Control of flexural wave transmission through struts, " *SPIE*, Vol.3668, 1999.
- [3] I. Pelinescu and B. Balachandran, " Active Control of Vibration Transmission Through Struts, " *SPIE*, VOL.3329, 1998.
- [4] I. Pelinescu and B. Balachandran, " Analytical Study of Active Control of Wave Transmission Through Cylindrical Struts, " *Smart Materials and Structures*, 10, pp.121-136, 2001.
- [5] S. J. Elliott and L. Billet, " Adaptive Control of Flexural Waves Propagating in a Beam, " *Journal of Sound and Vibration*, 163(2), pp.295-310, 1993.
- [6] J. L. Fanson and T. K. Caughey, " Positive Position Feedback Control for Large Space Structures, " *AIAA*, VOL.28, NO.4, 1990.
- [7] S. P. Singh, Harpreet Singh Pruthi and V. P. Agarwal, " Efficient Modal Control Strategies for Active Control of Vibrations, " *Journal of Sound and Vibration*, 262, pp.563-575, 2003.
- [8] Jerome F. Rivory and Coline H. Hansen, " Further Studies of the Dynamic Response of a Supported Beam Excited by a Pair of Out-of-Phase Piezoelectric Actuators, " *Journal of Intelligent Material System and Structures*, Vol.5, 1994.
- [9] Aghil Yousefi-Koma and George Vukovich, " Shape and Location Optimization of Piezoelectric Actuators in Active Control Systems, " *ASME*, VOL.52, 1996.
- [10] Thomas Bailey, James E. and Hubbard Jr., " Distributed Piezoelectric-Polymer Active Vibration Control of a Cantilever Beam, " *AIAA*, VOL.8, NO.5, 1985.
- [11] C. Mei, B. R. Mace and R. W. Jones, " Hybrid Wave/Mode Vibration Control, " *Journal of Sound and Vibration*, 247(5), pp.765-784, 2001.
- [12] Henry A. Sodano, " Macro-Fiber Composites for Sensing Actuation and Power Generation, " MS thesis, Virginia Polytechnic Institute and State University, 2004.
- [13] Williams, R. B., Schultz, M. R., Hyer, M. W., Inman, D. J. and Wilkie, W. K., " Nonlinear tensile and shear behavior of macro fiber composite actuators, " *Journal of Composite Materials*, 38(10), pp. 855-869, 2004.
- [14] Azzouz, M. S., Mei, C., Bevan, J. S. and Ro, J. " Finite Element Modeling of MFC/AFC Actuators and Performance of MFC " , *Journal of Intelligent Materials Systems and Structures*, 12(9), pp. 601-612, 2001.
- [15] Sodano, H. A.; Park, G.; Leo, D. J. and Inman, D. J., " Use of piezoelectric energy harvesting devices for charging batteries " , *Proc. SPIE* Vol. 5050, pp. 101-108, 2003.
- [16] Jha, Akhilesh K. and Inman D. J. " Sliding mode control of a gossamer structure using smart materials " , *Journal of Vibration and Control*, 10(8), pp. 1199-1220, 2004.
- [17] Bevan, Jeffrey S. and Mei, Chuh " Piezoceramic actuator placement for structural acoustic and vibration control of flat and curved panels, " *Proc. SPIE* Vol. 4327, pp. 698-708, *Smart Structures and Materials* 2001.
- [18] Sodano, H. A.; Park, G.; and Inman, D. J. " An investigation into the performance of macro-fiber composites for sensing and structural vibration applications " , *Mechanical Systems and Signal Processing*, 18(3), pp. 683-697, 2004.