

現代控制法則於倒單擺系統之甩尚直立及定位控制之研究

李志暉、周鵬程

E-mail: 9223676@mail.dyu.edu.tw

ABSTRACT

This dissertation integrates recent and past studies for inverted pendulum system that is typically a nonlinear and unstable system. The mathematical model of the system has been analyzed carefully based on different approaches. Various control theories are then applied based on the derived models, to investigate their individual feasibility and pros and cons studies. The applied control methods include conventional PID control theory, optimal feedback control theory, and advanced fuzzy control theory. Our experimental plant is a DSP-based system that uses Matlab/Simulink as its manipulating interface. We proceed the experiments by following the steps : writing C codes, compiling to work files, downloading to DSP-based control board, and tuning the control parameters on the fly within Matlab/Simulink environment. Due to our precise implementation and dedicated tuning of the control parameters, the applied control theories have been proved to be effective in controlling the inverted pendulum to accomplish the upright, position, and swing-up plus upright position control tests, and all be able to remain stable for an excessive long duration. Key Words : Inverted Pendulum, Optimal Control, Fuzzy Control, DSP

Keywords : Inverted Pendulum ; Optimal Control ; Fuzzy Control ; DSP

Table of Contents

第一章 緒論	1.1 簡介	1	1.2 文獻回顧	3	1.3 研究方法概述	4	1.4 論文大綱	5																										
第二章 系統規劃組成	2.1 系統平台架構	6	2.2 DSP晶片之C語言撰寫	6	2.2.1 程式檔頭宣告	7	2.2.2 傳輸參數設定區	8	2.2.3 主程式模組(main)	10	2.2.4 online_loop程式模組	10	2.2.6 控制實現模組	11	2.3 Simulink界面與C語言參數設定	11	2.4 DSP運動控制卡	13	2.5 硬體機構描述	15	2.6 驅動器參數設定	18	2.7 參數估測	19	2.7.1 AD/DA卡測試	20	2.7.2 台車位置調校	21	2.7.3 單擺角度調校	23	2.7.4 馬達驅動輸入電壓與台車運動方向關係	28	2.7.5 各控制訊號與運動方向關係	30
第三章 倒單擺數學系統建構	3.1 倒單擺之數學系統分析	30	3.1.1 傳統牛頓力學	31	3.1.2 Lagrange Equation 能量觀點	33	3.2 Matlab倒單擺範例之數學描述式	35	3.3 動態方程式之線性化及狀態空間表示	39	3.4 馬達系統數學模式	40	3.5 系統參數	44	3.6 倒單擺系統自然性能分析	45																		
第四章 古典控制理論	4.1 PID控制理論	46	4.2 系統分析探討	48	4.2.1 直立控制系統分析設計與模擬	62	4.3 倒單擺實驗結果	64	4.3.1 長單擺直立控制	64	4.3.2 長單擺之直立與台車定位控制	69	4.4 演算法之程式實現	75	4.4.1 直立程式	75	4.4.2 直立定位程式	76	4.5 討論	78														
第五章 最佳控制理論	5.1 線性二次型最佳控制基本原理	80	5.2 線性二次型控制器設計步驟	84	5.3 LQR系統分析	87	5.3.1 LQR架構	87	5.3.2 LQR離散系統分析	90	5.5 實驗結果	94	5.5.1 LQR直立控制實作	97	5.5.2 LQR直立定位控制實作	98	5.6 演算法之程式實現	101	5.7 討論	102														
第六章 模糊控制理論	6.1 模糊理論	104	6.2 模糊集合	105	6.3 模糊控制器	107	6.3.1 模糊邏輯控制系統基本架構	107	6.3.2 模糊控制器之特點	108	6.3.3 模糊化(Fuzzification)	109	6.3.4 規則庫(Rule Base)	111	6.3.5 資料庫(Data Base)	111																		

...112 6.3.6推理機構(Inference Engine).....	114 6.3.7解模糊化(Defuzzification)	115 6.4模糊控制法則的應用.....
.....116 6.4.1系統控制架構.....	.....116 6.4.2模糊PID控制法則與歸屬度設計.....	.....118 6.5倒單擺實驗結果.....
.....124 6.6討論.....	.....129 第七章 倒單擺用上直立及定位控制 7.1用上控制器設計.....	.....130 7.2用上控制器程式實現.....
.....132 7.3用上控制實作結果.....	.....133 7.3.1 PID用上直立控制.....	.....133 7.3.2 PID用上直立定位控制.....
.....135 7.3.3 LQR用上直立定位控制.....	.....138 7.3.4 Fuzzy用上直立控制.....	.....140 7.4討論.....
.....144 第八章 結論與未來研究方向 8.1綜合結論.....	.....145 8.2未來研究方向.....	.....146 參考文獻.....
.....147 附錄.....	.....150	

REFERENCES

- [1]、TMS320C2xx C Source Debugger User ' s Guide, Number SPRU151, Texas Instrument, 1995.
- [2]、Using Matlab, Version 5, The MathWorks Inc. 1999.
- [3]、Using Simulink, Version 3, The MathWorks Inc. 1999.
- [4]、Writing S-function, Version 4, The MathWorks Inc. 2000.
- [5]、Titan Series Motion Control Card —Programmers Guide,Syscor R&D Inc.,Canada,1999 [6]、 “ DSP C語言程式與Simulink界面聯結技術應用報告 ” ,ver 1.0,俊原科技股份有限公司,90年7月 [7]、 Gene.F.Franlin,J.David Powell,Michael L.Workman, “ Digital Control of Dynamic System ” ,chap 6 [8]、 Astrom, K. J. and T. Hagglund, “ Automatic Tuning of PID Controllers ” , Instrument Society of America, 1988.
- [9]、 Zhen-Yu Zhao,Masayoshi Tomizuka, And Satoru Isaka,member, IEEE, “ Fuzzy gain scheduling of PID Controllers ” ,IEEE,1993 [10]、 張文恭,陳德發, “ 數位控制系統分析與設計 ” ,儒林圖書有限公司,1991年2月,P453~P501 [11]、 胡永楠, “ 數位控制 ” ,全華科技圖書股份有限公司,87年8月 [12]、 張智星, “ Matlab 程式設計與應用 ” ,清蔚科技股份有限公司,2000年2月 [13]、 林群超, “ 自動控制系統設計與Matlab語言 ” ,全華科技圖書股份有限公司,87年9月,P4-6~P4-60,P8-1~P8-43 [14]、 趙清風, “ 進階自動控制設計-使用Matlab程式語言 ” ,全華科技圖書股份有限公司,89年1月,P3-2~P3-18 [15]、 Mori, S. Hiroyoshi Nishihara and Katsuhisa Furuta, “ Control of Unstable Mechanical System Control of Pendulum ” ,Int.J. control ,vol.23, No.5, 1976, P673~P692 [16]、 Lin, C.E, and Yih-Ran Sheu, “ A Hyprid-Control Approach for Pendulum Car Control ” , IEEE Tarnsactions on Industrial Electronics, vol.39, No.3, 1992, P208~P214 [17]、 Takeshi Yamakawa, “ Stabilization of an Inverted Pendulum by a High Speed Fuzzy Logic Controller Hardware System ” , Fuzzy Sets and Systems 32, 1989, P161~P180 [18]、 陳裕愷, “ 三百六十度倒單擺直立定位控制 ” ,國立中央大學資訊及電子工程研究所碩士論文,83年5月 [19]、 莊欣榮,陳健良, “ 倒單擺數位控制實驗 ” ,國立交通大學控制工程系,78年 [20]、 沈博仁, “ 倒單擺系統直立與定位之智慧型控制設計 ” ,國立中央大學電機工程研究所碩士論文,84年6月 [21]、 楊仁達, “ 倒單擺的平衡與位置控制 ” ,國立清華大學動力機械工程研究所碩士論文,84年6月 [22]、 林厚亨, “ 旋轉式倒單擺系統之分析與控制 ” ,大葉大學自動化工程學系碩士班碩士論文,90年6月 [23]、 楊文吉, “ 倒單擺之製作及研究:用上控制與修正式積分可變結構控制器之設計 ” ,國立成功大學工程科學研究所碩士論文,86年6月 [24]、 張奕峰, “ 運用並行式基因演算法開發倒單擺非傳統控制器實體 ” ,長庚大學機械工程研究所碩士論文,87年6月 [25]、 張政國, “ Pole Assignment and Robust Control for Multi-Time-Scale System ” ,國立中山大學機械工程研究所博士論文,90年6月,P59~P80 [26]、 P. Melin, Associate Member, “ Intelligent Control of Complex Electrochemical Systems With a Neuro-Fuzzy-Genetic Approach ” IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol.48, No.5, pp.951-954, October 2001.
- [27]、 G. J. Klir and B. Yuan, “ Fuzzy Sets Fuzzy Logic Theory and Application ” Prentice-Hall International, Inc., pp.97-107, 2001.
- [28]、 王木俊, “ 認識fuzzy ” ,全華科技圖書股份有限公司,1994。
- [29]、 楊英魁校定,中國生產力中心編譯, “ fuzzy控制 ” ,全華科技圖書股份有限公司,1993。
- [30]、 楊英魁校定,中國生產力中心編譯, “ fuzzy實用化範例-用C語言 ” ,全華科技圖書股份有限公司,81年6月。
- [31]、 孫宗瀛,楊英魁,中國生產力中心編譯, “ fuzzy控制理論、實作與應用 ” ,全華科技圖書股份有限公司, 83年10月