

微處理機 在數位控制系統 之應用

鍾鴻源
陳鐵鈺
洪正瑞

微處理機 在數位控制系統 之應用

贈閱

北京農業工程大學圖書館
年 月 日

鍾鴻源
陳鐵鈺
洪正瑞



389552

五南圖書出版公司印行

微處理機在數位控制系統之應用

中華民國 73 年 10 月 初版

譯 者 鍾鴻源・陳鐵鈺・洪正瑞

發行人 楊 榮 川

發行所 五南圖書出版公司

局 版 臺 業 字 第 0598 號

臺 北 市 銅 山 街 1 號

電 話：3 9 1 6 5 4 2

郵政劃撥：0 1 0 6 8 9 5-3

印刷所 茂榮印刷事業有限公司

臺北縣三重市重新路五段632號

電 話：9711628・9713227

(本書如有缺頁或倒裝・本公司負責換新)

新時代電腦文庫

總 主 編

范 光 陵 博士

美 國 斯 頓 蒙 大 學 企 管 碩 士
美 國 猶 他 州 立 大 學 哲 學 博 士
美 國 哥 倫 比 亞 大 學 超 博 士 研 究
美 國 加 州 大 學 院 士

曾 任

美 國 IBM 電 腦 公 司 系 統 分 析 師
美 國 猶 他 州 立 大 學 電 腦 研 究 計 劃 主 任
美 國 加 州 大 學 教 授
國 立 中 興 大 學 企 管 系 系 主 任
達 甲 大 學 電 腦 系 系 主 任
文 化 大 學 電 腦 研 究 所 所 長
國 立 成 功 大 學 商 學 院 院 長

榮 膺

美 國 傑 出 學 者 獎
美 國 國 際 傑 出 人 物 獎
泰 國 電 腦 成 就 獎

現 任

國 立 中 興 大 學 教 授

新時代電腦文庫

總序

十年前我在美國哥倫比亞大學作超博士研究，主攻人機模控學——也就是研究人類和機器間，如何彼此模仿及有效控制的一門新科學時，接到德國國際會議中心的電話，要我擔任該會舉辦之國際研討會講座。會議是在西德的柏林市舉行。參加者有世界各國電腦專家多位。擔任講座的有美國、日本、奧國、加拿大、意大利、蘇聯、德國、英國、法國等電腦界人士。

閉幕的前一天晚上，大會執行長華特博士在高聲雲霄的自由之針上的旋轉廳，請全體講座吃德國南部名菜豬蹄，並用巨杯喝慕尼黑啤酒。酒過三巡，歌唱十遍之後，華博士說：「全世界都希望聽聽各位的高見，究竟十年後電腦會如何？廿年後會如何？」各國講座即席紛紛發言，又要我作了一個報告如下：

- 一、十年後快速成長的電腦會又小、又快、又好、又便宜，人人買得起。
- 二、十年後電腦將進入辦公室、進入社會、進入家庭，連兒童也要學電腦——電腦文庫將成必備讀物。
- 三、廿年後電腦將從無思考力變成有思考力。
- 四、廿年後電腦將使不懂電腦的人變成功能性文盲。

今天看起來，第一及第二個預測都已應驗了。而日本、英國、美國更自前年起，紛紛從事第五代電腦的設計及製造。我國有識之士，已於今年起一再研究第五代電腦之問題及發展。而即將來臨之新電腦將是一個具有智慧及思考力的機器。他可以讀書，可以與人類以語言交談；如果配在相關機器上，便近乎一位又聰明又能幹的人類。這種電腦系統預計於十年左右完成，一定更會形成新時代的科技及人文大革命。

第三項預測將在各國的大膽革新下實現，而形成對吾人生活及文化之重大衝擊。就第四項而言在那個時候認得「電」字，也認得「腦」字，而不知「電腦」二字加起來是什麼意思的人，便不再是被「新書香社會」尊敬的人士。

我國的知識水準一向不錯，一般說來大專程度以上者約有百分之五，中學程度百分之四十，初中以下百分之五十五。而臺北市之大專程度更高達百分之十四，「文盲」實在很少。在這樣漂亮的統計數字下，我們的「電腦文盲」是多是少呢？

做電腦文盲並不可怕，只要你有「三念」原則就不怕了——那就是要有「念」頭來學習電腦；學後必須要能改變舊觀「念」成為新觀「念」。

這個時代更是「電腦兒童」時代，他們生在電腦時代，所以愛電腦，不怕電腦，電腦可成為他們生活的一部份，他們與電腦在一起覺得很自然；正如許多生在農村社會的人，愛毬子、愛竹馬一樣的自然。這個時代的兒童不會成電腦文盲，也不應該成為電腦文盲；尤其是我們中國的兒童們，他們出生在電腦時代，他們將在國

際商場上為國家作一名鬥士。我們都希望子女成龍成鳳，為什麼不早讓他們學這一個最重要的工具及文化呢？我們都知道練武功要從小開始，學芭蕾舞，學鋼琴要從小開始，而且越早越好；為什麼學電腦不能從小開始？為什麼不准他們玩他們自己新時代的電腦，偏要他們玩「舊時代」的毬子和竹馬？

如果我是一位「電腦文盲」，我會自己先從事「新識字運動」；而不把「上古史」硬拿來束縛住「電腦兒童」及「電腦文盲」們的手腦。須知新時代已迅速而堅決地來了——現在是「鯨島」飛上枝頭變「鳳凰」的最後機會。

我國電腦資訊的急速發展有目共睹；在發展及成長過程中，陣痛是免不了的，但如不能懷有「臨事而懼，好謀以成」的心理，則美國奧斯邦電腦公司、德州儀器公司及阿他雷公司、富蘭克林公司等，在電腦發展上的失敗，便是殷鑒不遠。所以我們有必要提出檢討，提出改進方法，因為自「1984」年起不過十年左右，「有思考力」的電腦便將誕生了。

要有效促進我國電腦成長，吾人必須積極從事十個新方向：

- 一、輸出要重點突破，不可兼容並包——吾人有較廉價之技術人才、聰明苦幹之知識份子，但限於國力資源及學識，還是抓住幾個重點發展為佳。
- 二、要注意「顧客為主」原則在開拓市場上之意義及價值，不可把生金蛋的鵝趕走。
- 三、造成容許發展之電腦環境及市場，不可朝令夕改；不可因噎廢食；不可過份干涉；應多獎勵學習。

- 四、電腦成長要以「行銷導向」不可以「生產導向」。
- 五、全國修訂不合時宜之法令解釋，行政管轄權及書刊，並引進新知識，以配合新時代之新需要。
- 六、由政府及民間合作成立全國性公正而客觀之電腦資訊委員會，以求統一意見，教育及導引各界，事先準備，迎接新時代。
- 七、用新人行新政——須知在電腦時代，善意的無知為害之烈勝於惡人——因惡人易為人知而加以防範。
- 八、要學習以新管理方法來管理電腦資訊之成長——要學習如何來管理電腦資訊之成長，要重視電腦成長戰略，而不可用「農業波」或「工業波」時代之舊觀念，來管理「電腦資訊波」時代之新成長。
- 九、要把握市場、原料及知識來源——不可俯仰由人，靠天吃飯，要研讀先機，未雨綢繆。
- 十、發動全民力量加入發展電腦之通盤策劃及推廣——須知以全國之力，公私合作，仍不見得能容易應付的挑戰，怎可以有限的人力挑上太重的擔子？！

所以，五南圖書出版公司發行人楊榮川先生開拓「新時代電腦文庫」的魄力與努力，是配合全民發展電腦資訊運動中，堅定而有力的一步。新時代電腦文庫將敦請最好的人才來著述及翻譯最新的學問及出版物。凡是與電腦有關，且有重要性或實用性的新知，均在網羅之列，希望「新時代電腦文庫」，將成為中國電腦發展史上，又一個新的里程碑。而個人才疏學淺，得以參與此一新時代新工作；其惶恐，其愉快，又豈這一篇序文所能表達。

發行者言

范光陵博士被稱為中國電腦之父。他首先在國內揭開了電腦啓蒙運動；他舉辦了中國第一屆人造智慧會議；寫了整個中國第一本電腦書「電腦和你」——是海內外千千萬萬中國人看過的第一本電腦書，他創造了「中文電腦化」，「電腦中文化」的新觀念；舉辦了中國第一屆中文電腦會議；他和有志之士共同創辦了中國第一個全國性電腦團體，也擔任過十次國際電腦資訊會議主席；中國第一任電腦研究所所長，第一任電腦科主任及第一任電子計算機系主任，又主持過中國第一次電視電腦節目。在中國電腦史上他創造了許多第一，也使得新時代的其他新人物，更進一步創造了許多第一。

新時代電腦文庫能由范光陵博士擔任總主編，實在是一件很榮幸的事，相信在他的策劃主編之下，配合碩士級以上的電腦編譯人才，必定能夠達到「不是好書不出版，出版的都是好書」的嚴格要求，共同為中國電腦化，盡一份心力。

楊榮川

序 言

本書之主要目的在於介紹微處理機在控制系統上之應用。由於微電子科技的快速發展，使得控制器、補償器數位化之實現更為可靠、精確，未來之應用更將廣泛、普遍。

為了提高學習效益，本書著重於實例介紹，一些例題取自 Paul Katz, "Digital Control Using Microprocessors." 另一些則取自其他有關數位控制系統的書籍。

在編排本書的過程中，惟恐疏漏，多方請益，極為謹慎，冀能力求完善，然錯誤仍在所難免，尚祈各方先進與高明，不吝惠予指正，供饗讀者。

鍾鴻源 陳鐵鈺 洪正瑞

謹識於民國 73 年 4 月

微處理機在數位控制系統之應用

目 錄

序 言

1	系統分析概論	1
1.1	前 言	1
1.2	線性、非時變之間斷式系統	2
1.3	有限差分之演算	6
1.4	z -轉換	12
1.5	逆 z -轉換之運算	18
1.6	連續系統之間斷化	20
1.7	間斷式及間斷化線性系統之特性	31
1.8	將間斷信號變換成連續性控制信號	38
	附錄 1 A 古典取樣數據理論簡介	42
	習 題	46
2	古典技巧之數位控制設計	49
2.1	簡 介	49
2.2	連續性補償器之設計及其間斷化	50
2.3	數位濾波器之特性、頻率響應，及頻譜假像	52
2.4	類比濾波器間斷化	59

2 微處理機在數位控制系統之應用

2.5 各種轉換法之比較.....	74
-------------------	----

2.6 設計實例.....	82
---------------	----

附錄 2 A 數位濾波器之設計：運用類比低通濾波器，雙線性 轉換法及頻率彎曲.....	85
--	----

習題.....	87
---------	----

3 在間斷領域設計數位控制系統..... 89

3.1 簡介.....	89
-------------	----

3.2 分析法.....	90
--------------	----

3.3 z -平面設計法.....	100
---------------------	-----

3.4 w -平面及 w' -平面的設計.....	108
-------------------------------	-----

3.5 w -平面頻率響應設計.....	113
------------------------	-----

3.6 w 與 w' -平面設計實例.....	124
-----------------------------	-----

習題.....	129
---------	-----

4 多變數數位控制，狀態空間法..... 133

4.1 簡介.....	133
-------------	-----

4.2 狀態空間法：極點安置，觀察器設計.....	134
---------------------------	-----

4.3 觀察器設計.....	145
----------------	-----

4.4 以二次式合成為主的最佳控制.....	155
------------------------	-----

4.5 有雜訊之最佳濾波.....	158
-------------------	-----

4.6 模式遵循法.....	163
----------------	-----

習題.....	167
---------	-----

5 微電腦控制器控制演算法則之架構..... 171

5.1	簡 介	171
5.2	以並列的、直接的、正規的及串接式的架構所做的反覆 的計算	171
5.3	微電腦的特性	180
5.4	微控制器設計例題：天線轉盤穩定度	185
	習 題	199
6	實現數值數學模式的分析	201
6.1	簡 介	201
6.2	有限字元組長度的二進算術，數值誤差型態及以不同形 式來表示誤差的產生	201
6.3	經由系統所產生的量化雜訊及其傳輸	208
6.4	係數誤差及其在控制器力學上的誤差	220
6.5	控制器由量化及有限週期所引起的非線性性質	224
6.6	在 A/D 轉換器，記憶體，算術單元及 D/A 轉換器內的 字元組長度	233
6.7	設計範例——以微處理機實現數位自動導航器	239
	習 題	258
7	取樣速率之選擇	261
7.1	引 言	261
7.2	非模式化狀態與不需要頻率之預先濾波	261
7.3	時間響應與外界雜訊之響應——和取樣率之關係	269
7.4	由取樣引起的控制的不平滑性	275
7.5	響應之傳真與取樣率	282

4 微處理機在數位控制系統之應用

7.6 取樣率之實際的選擇	285
---------------	-----

習題	286
----	-----

8 設計實例 1

8.1 前言	289
--------	-----

8.2 類比設計	289
----------	-----

8.3 系統之分立式模式及所需計算能力之估測	291
------------------------	-----

8.4 計算系統	299
----------	-----

習題	304
----	-----

9 設計實例 2

9.1 前言	305
--------	-----

9.2 控制需求	305
----------	-----

9.3 分系統之描述	306
------------	-----

9.4 控制器設計	309
-----------	-----

9.5 A/D 與 D/A 轉換器之選擇	315
--------------------------	-----

9.6 中央處理單元	316
------------	-----

9.7 控制器程式	319
-----------	-----

習題	322
----	-----

附錄 A 最佳化間斷性控制，一些計算工具

A.1 連續性價值函數的間斷化	323
-----------------	-----

A.2 間斷性調節器問題之一般式	324
------------------	-----

A.3 最佳化調節器之解	326
--------------	-----

A.4 以特徵向量分解法求解間斷性 <i>Riccati</i> 方程式	329
--------------------------------------	-----

A.5	由特徵向量分解法做穩態最佳化濾波器之計算.....	335
A.6	外界雜訊之穩態響應計算法則.....	336
附錄B	簡略函數.....	339
B.1	簡略函數之定義.....	339
B.2	受外在雜訊干擾之閉迴路系統的平均簡略函數.....	342
附錄C	Z-轉換及S-轉換表.....	345



系統分析概論

1.1 前 言

在 1939 ~ 1960 年期間，以電子回授放大器為基礎的控制理論，迅速發展，主要用來解決伺服機構的控制問題，現在常稱之為“傳統”控制理論。著名的代表者為 Nyquist (1932)、Bode (1945) 及 Evan (1950)，若含處理隨機輸入的控制問題，則學者 Wiener 亦應包括在內。上述學者建立的控制理論可綜結成 Laplace 或 Fourier 轉換之應用，因此，我們又稱傳統控制理論為“轉換”理論。大約在這段期間 (~ 1950)，線性、取樣數據系統的理論發展，也有許多學者予以探討，並著述成書（請參考 RA-1，JU-1），但始終無法扮演一積極性角色。倒是隨著計算機的昌盛與精進，激發了學者普遍對數值分析廣泛的興趣，特別是有關數值積分法、數據內插法、外插法、濾波法、狀態空間的 n -維矩陣運算，與連續性系統之間斷化等等，使得 200 年來數學家嚴謹定義推導下之數學，得以充分的應用與發揮。

本書以探討線性、非時變、間斷式之控制問題為主。雖然實際的控制迴路，通常都引用如臨限器或限幅器等，非線性元件，但系統的響應仍足以以線性，非時變之模型近似之。

為避免傳統單一輸入，單一輸出取樣數據理論，與多變數數位控制系統的混

2 微處理機在數位控制系統之應用

滑，本書採用“斷間”一詞取代“取樣”的字眼，否則可能誤導為“取樣”與“取樣”數據系統混為一談的誤解。

間斷式或數位式控制的數學理論，與取樣數據理論多方類似。而多變數系統，則更易於以線性之狀態空間函數處理之。

為提供讀者明晰而簡潔的輪廓，本章分三部着手：

1. 利用線性差分方程式，描述一間斷式系統。
2. 線性間斷系統之 z -轉換表示法。
3. 線性連續系統之間斷化，間斷化系統之特性，以及 s -平面與 z -平面的關係。

為使讀者對整體的理論演進有更深一層的領會，謹將取樣數據理論的精要摘錄於本章末的附錄1A中，供讀者參考。

1.2 線性、非時變之間斷式系統

閱讀本節之前，建議讀者應先具備分析線性系統的基本概念及理論。通常我們以三種方式來描述間斷系統的動態響應，依次如下：

1. 差分（或間斷）方程式。
2. 脈衝響應。
3. 轉移函數。

1.2.1 系統

所謂系統 S ，通常可視為一個將輸入信號 u ，轉換成輸出信號 x 之動態箱，若以方塊圖表之，則如圖1.1所示。

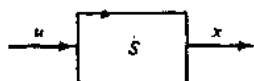


圖 1.1 間斷系統