

第四版

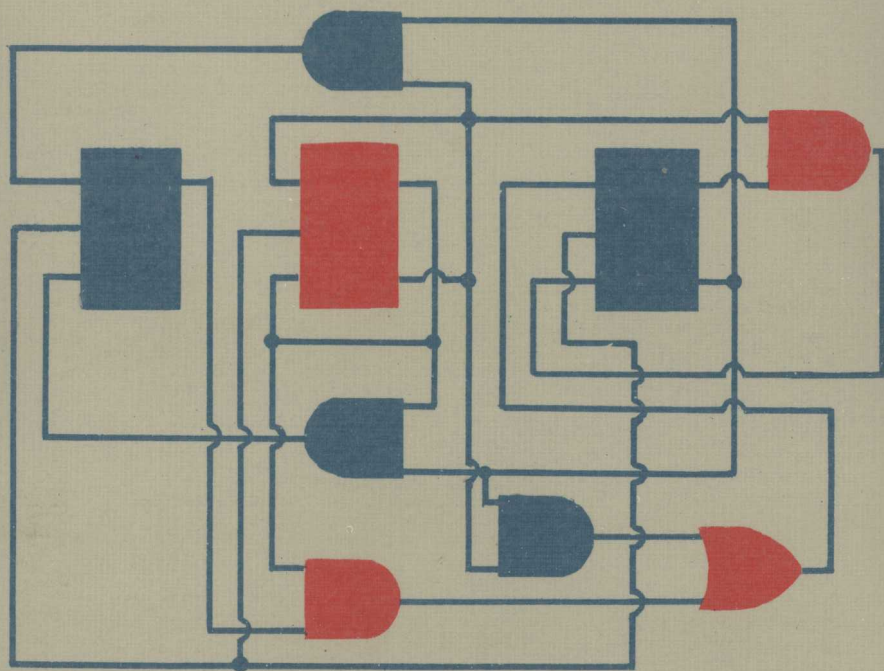
Fourth Edition

數位計算機 基本原理

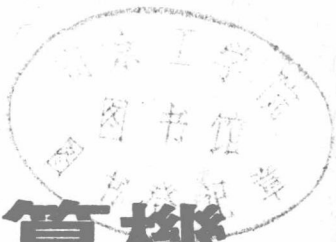
Thomas C Bartee
Harvard University

林國富 譯

DIGITAL COMPUTER FUNDAMENTALS



雲陽出版社印行



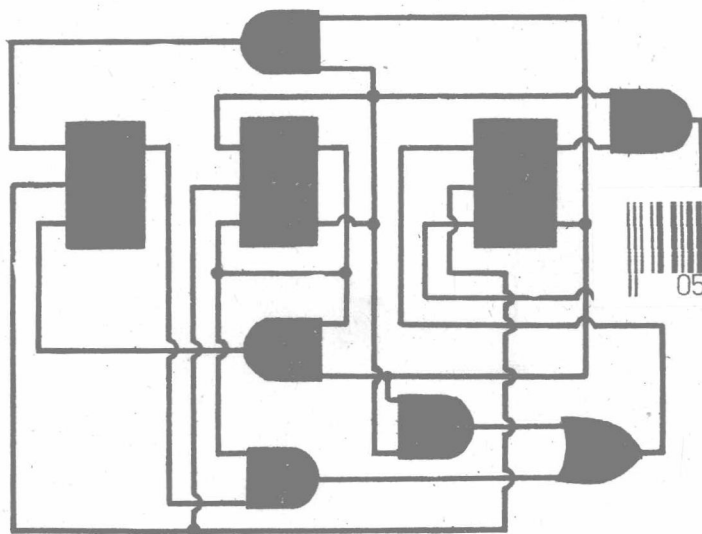
第四版
Fourth Edition

數位計算機 基本原理

Thomas C. Bartee
Harvard University

林國富 譯

**DIGITAL
COMPUTER
FUNDAMENTALS**



雲陽出版社印行

數位計算機基本原理

版權所有 翻印必究

121

作者 林國富 譯

出版者 雲陽出版社

台北市光復南路17巷46號

台北郵政信箱36-60

7629705

郵撥 18247

登記證局版台業字第0908號

發行人 陳文惠

台北市光復南路17巷46號

7629705

印刷者 達利印刷廠

台北市東園街260巷25號

3711068

基價 精裝 陸圓 線裝 伍圓

版次 中華民國 67 年 1 月初版
中華民國 69 年 8 月三版



譯者序

本書根據美國 McGraw-Hill 公司所發行，Harvard 大學教授 Thomas C Bartee 著的 *Digital Computer Fundamentals* 第四版翻譯而成。原書第一版於 1966 年問世後，即因內容充實廣為國內外的大專院校採用為教本；本書於 1966 年與 1972 年分別發行第二版和三版，1977 年更做了第四次的修改發行第四版；第四版與前一版比較，篇幅增加約四分之一，包括最新計算機的發展——微處理機，微程式計劃等內容，一半以上的內容經過改寫，使本書更加充實與實用。

近年來小型計算機的發展極迅速，尤其各型微計算機更因價格低廉不斷地進入市場，本書對此趨勢有相當的強調，但對一些大系統的基本觀念亦未偏廢，因此教材增加頗多。關於電子電路部份，可依各校實際所需加以刪減，並不影響課程的連貫性。

本書在翻譯時承蒙好友黃漢邦、侯瑞甫的鼓勵；以及潘素月小姐在各方面的支持，僅此致謝。此外，尤須感謝胡熙慶教授的鼎力出版本書，以及雲陽出版社諸位工作同仁的密切配合，使本書得以迅速且順利的完成。譯者才疏學淺而在短期內倉促完成，恐有疏忽、謬誤之處；由於甚多名詞無標準譯名，譯名或有不妥之處；因此，深盼各方專家學者以及參閱本書的朋友多多賜教指正，容再版時予以修正。

林國富於台北

原序

本書的目的在於儘量清楚地介紹現代數位計算機的原理，各章末了有許多習題，其單數題的解答提示於本書末尾。

本四版包括近年計算機的主要發展，如微處理機 (*microprocessors*)、軟性磁碟記憶器 (*floppy disk memory*)、大型積體電路及微程式計劃 (*microprogramming*) 等。因此，有許多內容重新改寫，當然也就增補了許多新的習題。同時筆者接受許多本書使用者的意見和提示，作為改進與補充的參考。

第一章說明計算機在商業、工業及科學上的應用，並簡單介紹程式設計。有關計算機的一些歷史資料也包括在本章內，作為有關於計算機用途的基本觀念。

第二章到第五章介紹，以及數位裝置中的構想與原理。這幾章說明了數字系統、布氏代數、邏輯設計、以及一些主要的數位電路。大致上這幾節使用正反器的計數器及邏輯設計已擴展成較完整的章節。數位電路的教材也更新補充，而主要的新電路也儘可能地包括了。

第六、七及八章說明算術運算、記憶器及輸入輸出裝置。算術運算的教材首先說明計算機如何完成算術運算，然後說明如何組織在計算機中的算術-邏輯單位。在講記憶器這章中說明了磁芯記憶器及半導體記憶器，接着是磁鼓 (*drum*)、磁碟 (*disk*)、磁帶 (*tape*) 以及其他的大型儲存裝置 (*mass storage device*)。這個部份最近所發展的如捲筒帶 (*tape cartridges*)、軟性磁碟、動態積體電路記憶器等亦網羅於此。在輸入輸出一章中說明了大部份的輸入輸出裝置，包括一些類比-數位轉換器、數位-類比轉換器、終端

機、調制解調器(modem)以及聲音耦合器(acoustic couplers)。

最後第九章及第十章，首先討論現代計算機中的控制單位，包括兩種做法，即傳統邏輯設計的控制電路以及用微程式計劃做計算機的控制。然後討論整個計算機的組織，即計算機結構的主要論題——選址技術、巴士組織、中斷服侍等。以現存的計算機作為範例來說明這些構想。其中有些強調微計算機及迷你計算機，但是一些大系統的基本觀念如受多重處理機、管線計算機、多重程式設計(multiprogramming)等亦有討論。

本書的安排使電子電路的部份教材可跳過刪除。如此安排的原因很多。在某些學校裡電路另開課程；而另一些學校希望稍為提及電路的教材即可，因為要瞭解電路所能完成的功能，並不一定要詳知電路。而且，廣泛地使用積體電路後使人們可以用模組(module)或方塊(block)的觀點來研究計算機的運算，如第3、4章所示，所以可由功用的或運算的觀點考慮正反器和閘來瞭解計算機的運算。

本書中的方塊圖符號是採用美國國家標準局(American National Standards Institute)的符號，這也是軍用標準(Military Standards)。

在本書各版的準備期間，我曾得到極大幫助與忠告。第一版是在MIT 林肯實驗室執筆的，我將始終感激提供許多協助的MIT 及實驗室的同仁們。

許多朋友及本書的使用者對各版所作的貢獻，很遺憾無法一一列出大名。其中特別一提的是Glen Goff, W.W. Peterson, Robert Carrol, Irving Reed, 以及Irwin Lebow等教授。我同時也感謝擔任我課程的教師們給我提供的許多建議。

E.M. Vadeboncoeur女士對本版原稿的準備，以及他對本版與先前各版所做的工作，我將永遠感激他。

Thomas C. Bartee

目 錄

第一章 計算機的運用

1—1	計算器與計算機.....	2
1—2	桌上型計算器與計算機的差別.....	4
1—3	電子數位計算機.....	5
1—4	計算機解問題的應用.....	7
1—5	計算機在商業上的應用.....	9
1—6	科學上的應用.....	10
1—7	不同型式的計算機系統.....	12
1—8	控制系統中數位計算機的應用.....	15
1—9	專用及通用計算機.....	18
1—10	計算機分時系統.....	18
1—11	數位計算機的基本組成.....	19
1—12	記憶器的結構.....	21
1—13	指令.....	22
1—14	乘算指令.....	25
1—15	分支、跳出或越過指令.....	26
1—16	將程式讀入計算機.....	28
1—17	程式設計系統.....	35
1—18	組合語言.....	36
1—19	編譯語言.....	39
1—20	PL/1之簡介.....	41
習 題		45

第二章 數字系統

2—1	十進系統	52
2—2	二進系統	53
2—3	二進系統中的計算	54
2—4	二進加法及減法	55
2—5	二進乘法和除法	56
2—6	十進數至二進數的變換	59
2—7	負數	60
2—8	利用補數以表示負數	62
2—9	其他數系中的補數	63
2—10	二進數補數	64
2—11	二進碼十進數表示法	65
2—12	八進位數系及十六進位數系	68
	習題	73

第三章 布氏代數與電閘網路

3—1	布氏代數之基本觀念	85
3—2	邏輯乘法	86
3—3	或閘與及閘	87
3—4	補數與反向器	89
3—5	邏輯表示式的求值	90
3—6	含有括弧之表示式的值	92
3—7	布氏代數的基本定律	93
3—8	完全歸納證明	96
3—9	式子的簡化	98
3—10	狄摩根 (De Morgan's) 定理	98
3—11	布氏代數之基本對偶關係	99
3—12	布氏表示式的導出	100

3—13	電閘之組合	103
3—14	積和式與和積式	104
3—15	和積表示式之導出	107
3—16	三個輸入變數表示式的導出	108
3—17	反及閘與反或閘	110
3—18	以圖表法化簡布氏表示式	114
3—19	子立方體與概括	117
3—20	和積表示法——不在意狀態	123
習 題		125

第四章 邏輯設計

4—1	正反器	142
4—2	轉移器	145
4—3	計時訊號	146
4—4	移位暫存器	149
4—5	二進計數器	151
4—6	BCD 計數器	157
4—7	積體電路	159
4—8	中型和大型積體電路	168
4—9	閘式正反器的設計	172
4—10	閘式正反器	173
4—11	主奴式正反器	175
4—12	計數器設計	177
習 題		182

第五章 數位電路

5—1	計算機電路	192
5—2	用於交換電路的二極體與電晶體特性	192
5—3	射極隨耦器	201

4 目 錄

5—4	及閘.....	202
5—5	二極體及閘電路.....	203
5—6	或閘.....	204
5—7	反向電路.....	205
5—8	反或閘.....	208
5—9	電晶體正反器.....	210
5—10	電阻 - 電晶體邏輯.....	212
5—11	二極體 - 電晶體邏輯.....	213
5—12	電晶體 - 電晶體邏輯.....	216
5—13	射極耦合邏輯.....	224
5—14	金屬氧化物半導體電路.....	228
5—15	CMOS 邏輯電路.....	232
	習 題.....	236

第六章 算術邏輯單位

6—1	ALU 的構造.....	248
6—2	數目表示法.....	249
6—3	二進半加器.....	250
6—4	全加器.....	252
6—5	並行二進加法器.....	253
6—6	正數及負數.....	255
6—7	1 的補數系統的加法.....	256
6—8	2 的補數加法.....	258
6—9	並行運算單元中的加算和減算.....	260
6—10	全加器.....	264
6—11	二進碼十進制 (BCD) 加法器.....	267
6—12	正及負二進碼十進數.....	271
6—13	9 的補數系統的加法和減法.....	271
6—14	移位運算.....	276

6—15	基本運算.....	278
6—16	二進乘法.....	280
6—17	十進乘法.....	284
6—18	除法.....	285
6—19	邏輯運算.....	290
6—20	浮點數字系統.....	293
6—21	用浮點數字來作算術運算.....	298
習 題.....		299

第七章 記憶單位

7—1	隨意儲取記憶器.....	309
7—2	磁芯記憶器.....	312
7—3	二維陣列磁芯的資料儲存.....	314
7—4	磁芯面組合成磁芯記憶器.....	317
7—5	定時序列.....	320
7—6	磁芯記憶陣列之特性.....	321
7—7	記憶位址和記憶緩衝暫存器.....	322
7—8	驅動 X- 和 Y- 選擇線.....	322
7—9	記憶緩衝暫存器和其相關線路.....	325
7—10	磁芯記憶器的特性.....	327
7—11	解碼器.....	329
7—12	磁芯記憶組織和接線圖.....	333
7—13	隨意儲取半導體記憶器.....	336
7—14	雙極 IC 記憶器.....	339
7—15	靜態 MOS 記憶器.....	343
7—16	動態記憶器.....	348
7—17	僅讀記憶器.....	351
7—18	磁鼓儲存 (<i>magnetic drum storage</i>).....	356
7—19	磁鼓的並行和串行操作.....	360

6 目 錄

7—20	磁碟記憶器.....	362
7—21	可變形的磁碟儲存系統——軟性磁碟.....	368
7—22	磁帶 (<i>Magnetic tape</i>)	371
7—23	卡式帶與捲筒帶.....	378
7—24	數位記錄技術.....	381
7—25	歸零及歸偏壓記錄技術.....	382
7—26	非歸零記錄技術.....	384
習 題.....		387

第八章 輸入輸出裝置

8—1	商業和科學用途上之差異.....	396
8—2	打孔紙帶.....	396
8—3	讀帶機.....	400
8—4	打孔卡片.....	402
8—5	讀卡機.....	406
8—6	文數碼.....	408
8—7	資料製作.....	411
8—8	字元識別.....	413
8—9	輸出設備.....	414
8—10	印字機.....	416
8—11	陰極射線管輸出裝置.....	420
8—12	其他輸出裝置.....	423
8—13	偵錯及校錯碼.....	424
8—14	終端機.....	426
8—15	含有類比部份的系統之出入裝置.....	430
8—16	類比 - 數位轉換器——軸編碼器.....	431
8—17	數位 - 類比轉換器.....	433
8—18	電子高速類比 - 數位轉換器.....	435
習 題.....		439

第九章 控制單位

9—1	指令字的構造	448
9—2	指令週期與執行週期控制暫存器的組織	455
9—3	控制暫存器的運作程序	459
9—4	算術運算的控制	460
9—5	典型運作程序	469
9—6	分支、跳出與越過指令	472
9—7	移位指令	475
9—8	微程式計畫	479
9—9	在微程式計畫結構的變化	484
習 題		487

第十章 計算機的組織

10—1	指令字的格式——位址的數目	493
10—2	指令與資料的表示法	497
10—3	選址技術	498
10—4	指標暫存器	499
10—5	選頁與間接選址	501
10—6	連接系統的元件	511
10—7	介合——巴士	515
10—8	微處理機與微計算機	522
10—9	單位計算機的組織	534
10—10	單位址微處理機	541
10—11	雙位址計算機	553
10—12	IBM 360/370 計算機系列	561
習 題		568
參考書目		577
題 解		583

第一章

計算機的運用

計算機工業一直都是快速成長的主要工業。大型計算機的銷售每一年都在增加，整個計算機工業的規模由於**迷你計算機**(*mini-computer*)市場的興隆，以及新起的**微計算機**(*microcomputer*)市場而更加的擴大。

由於迷你計算機和微計算機的低價格、可靠性、體積小及重量輕，因此刺激了計算機新的應用領域。這些小型計算機(*small computer*)能夠以每秒鐘數十萬次至數百萬次的運算速率來計算，其所提供的計算能力和十年前的大型計算機相似。小型計算機的應用場合越來越沒有界線：例如程序控制(*process control*)、醫療監視(*medical monitoring*)、生產測試(*production testing*)、科學儀器(*scientific instrument*)、存貨查驗系統(*store checkout systems*)、以及自動測試和計算系統(*automobile test and evaluation system*)等場合尤其適用小型計算機。

上百萬的人正從事於計算機工業的工作，更有數百萬人間接地使用着計算機，例如銀行的出納員將他們所有的記錄放到計算機中、航空公司以及汽車旅館的職員則以計算機來預訂座位；以及機械師利用計算機來控制動力工具等。

事實上，今日的計算機已能為我們傳遞長途電話、會處理及發出銀行支票、會安排飛機和火車的時刻、也會做氣象預報、而且會預言及處理選舉工作等，由於它能做如此多的事務，以致於所有的

有關書籍都僅能論著其應用的類型而已。

目前製造計算機大部份是用電子零件，且其份量還會繼續加重。計算機人員的需求在各方面均有繼續增加之趨勢：每年大約需要二十五萬名新程式師（*programmers*），美國聯邦政府勞工部已將商業機器服務員及電子計算機操作員，列為五種“成長最快之聘雇行業”的第一、二位。

1—1 計算器與計算機

自人類開始使用算術以來，就不斷地發明一些裝置來協助處理數目字，其中最早且最精巧的實例是利用算盤（*abacus*）來運算。這個現代計算機的前身（約西元前 4000 ~ 3000 年），是由一個矩形的框架和幾條平行線所組成，每一根線上穿有幾個珠子，這些珠子可使之沿線自由移動，羅馬人把這些珠子叫做 *calculi*，這是 *calculus* 的複數，意思是小圓石。這個拉丁字最後才變成今天的 *calculate* 這個字。一個熟練的操作員，能用驚人的速度來操作這些珠子，做出加、減、乘、除的運算。有一次日本一個提倡這種古老工具的人，和一個受過訓練的計算機器操作員比賽，結果算盤却輕易獲勝。然而，科學使得本書所介紹的計算機的運算速率比最好的珠算家至少要快上一百萬倍。

我們所熟悉的計算機器，包括加法機、桌上計算器和收銀機等，這些都是近數年才發明的。最早的機械式計算機是由巴斯葛（*Blaise Pascal*）在十七世紀所發明，並於 1642 年完成，該原模型至今仍被保存。此機器的主要構想是在於進位的機械化。機器中有一連串的輪子或轉盤都有 0 到 9 的數字，可以由左唸到右，當某個轉盤從 9 要變為 0 時，棘齒就會把左邊的轉盤撥動一數。這機器可以直接做加和減的運算，但是乘和除却只能以重覆的加和減來執行。

1671 年萊勃尼茲（*Leibniz*）完成了一種不僅能做加、減，同時也能做乘法的機器，其加減法仍是運用巴斯葛機器之原理，但是

加了一組齒輪使得乘法也可以直接進行。

萊勃尼茲說，該機器雖非完全自動化，然而使用這種機器所需之些許勞務，遠比用手計算時那種冗長而易錯的手續要好得多。萊勃尼茲的設計，實已包含了極大部分今天設計計算機時所用的原理。

隨着商業技術以及科學的進步，急需將簡單的算術運算機械化。商業上所用的算術不僅大量的增加，而且愈來愈複雜，正如各種白領階級人員及簿記員的人數也在增加一樣。在政府方面，需要有效處理文件的工作也達到驚人的比例。例如，在美國政府的全國戶口普查中，如果要用一段很長的時間去處理那些收集來的數據，那麼當得到結果時早已失去它的時效了。因此，戶口調查局爲了解決這一問題，在1890年代就建立了一套打孔卡片系統，用打孔卡片作資料的列表〔註1〕。

在科學和工程界，有許多極複雜的問題需要以數學式來表示，若想在各種參數的變化情況下，以演算的方法求出複雜數學式的值，需花費相當可觀的時間。例如，已知在某種精確度之內，砲彈沿彈道飛行以數學公式來描述時，這些公式的解答（包括許多不同的角度、距離等），需要大群的人長時間來計算。再者，對於新型的砲彈或武器必須重新計算表格，常因費時而使新武器可以準確使用的時間被延誤。

幸運的是計算器也在進步，設計和製造上的改良，增加了這種裝置運算的數字、速率和種類，同時因爲製造技術的改良使計算機更能迅速廣泛地使用。早期機型中的手搖柄已被電動馬達取代，而使計算速率增快了。許多協助操作員的裝置也發明了，因此增加計算的速率而減少錯誤發生的機會。許多種桌上型計算機械已很普及，並能完成大多數商業上的計算。

計算器發展的最後一個步驟是變成電子計算器。這種裝置的速率是電子的——不是機械的——而在較大型的機器中，甚至還有小

註1：爲戶口調查局建立打孔卡片赫曼（Herman Hollerith）先生後來自己組織了公司，不過最後仍被IBM合併。

的電子記憶器，或者一些可以儲存包含計算器指令的短“程式”的紙帶或金屬卡，計算器就在操作員的操作下以電子的速率來完成這些短程式。

例如，許多計算機所運算的大堆資料是儲存在計算機的記憶裝置內，如磁帶或磁碟。這些資料是在一大堆資料中，必須花費操作員很長的時間在這一大堆資料中找出所要的資料。不過，計算機要找到這些紙帶中的資料，通常只需要一秒鐘的幾分之一的時間，但有時也需要幾秒鐘，自動找出並補充記錄。例如，大型銀行的計算機包含有數百萬個有關客戶的會計記錄，在大型銀行分行的交易必須記錄，並於每一天的結束時適當的補充記錄，計算機可以自動作這些；銀行和保險公司是計算機的大客戶，就像在商業上用計算機來保持它的存貨盤存，大的連鎖商店用計算機來自動傳達命令給營業的記帳員等等。

計算可用來控制工業中的生產裝置，監視工業生產過程的操作，並協助新聞報紙及書籍的排版；計算機可自動地完成許多功能，並且是在高速率中產生人力所不能達到的準確度和精密度。

在科學的應用中，有些計算極端的複雜而冗長，需要數億次的計算，計算機的計算速率高且誤差少，所以可以用來完成這些計算。通常，科學的計算中包含了大量的測試數據（例如，由人造衛星或核子實驗而來，或由醫學研究所而來），這些數據必須用數學技巧來分析，因而需要許多的計算。像這種計算就必須以電子計算機來完成。

1—2 桌上型計算器與計算機的差別

在自動數位計算機和電機或電子計算器之間的基本差別是，計算機在執行長的計算序列時無需人工的介入，通常有一個相當大小的記憶器，而且輸入資料通常是自動讀入的。計算機也能做一些邏輯決定，這個決定可使它未來動作的結果一致，有時也改變方法來