

科學圖書大庫

數位電腦原理

譯者 黃肇南

徐氏基金會出版

徐氏基金會科學圖書編譯委員會

監修人 徐銘信 發行人 王洪鎧

科學圖書大庫

版權所有



不許翻印

中華民國六十九年六月三十日初版

數位電腦原理

基本定價 4.60

譯者 黃肇南 國立台灣大學工學士

本書如發現裝訂錯誤或缺頁情形時，敬請「刷掛」寄回調換。謝謝惠顧。

(67)局版臺業字第1810號

出版者 臺北市徐氏基金會 臺北市郵政信箱 13-306

發行者 臺北市徐氏基金會 郵政劃撥賬戶第 15795 號

電話 9221763
9446842

承印者 大興圖書印製有限公司 三重市三和路四段一五一號 電話 9719739

譯 序

在今天這個科技飛騰的時代，電腦已經成為像打字機一樣的基本工具了，我們每一個人，不論是學理工還是學人文科學的，都起碼應該具備電腦如何為我們服務的常識。

對於那些想一窺電腦堂奧，可是又不知如何下手的人，本書無疑是最佳的階梯。對於那些正在從事電腦研究的人來說，本書確可提供一套最完整清晰的概念，彌補支離破碎的學習。此外本書甚為注重現階段最新的電腦發展，並且隨時引用實際的電腦系統來做例子。

本書共分十章，第一章淺介商業以及科學上所用的電腦，並且對於程式規畫有簡短的介紹，此外還有一些電腦用法的基本觀念。

第二章到第五章所談的是所有數位電腦中都用到的基本觀念。事實上這些觀念，所有的數位系統（如數位通訊、數位控制系統等等）都會用到。它們包括數系、布林代數、邏輯設計、以及主要的數位電路系統。

第六章到第八章則討論算術運算，記憶裝置，以及輸入輸出裝置，第六章先談在電腦中算術如何運算，然後討論電腦的算術邏輯單位是如何組織的。第七章則談論磁芯記憶和 IC 記憶，以及磁鼓、磁碟、磁帶等等大量記憶裝置。此中的最新發展，如捲軸磁帶、動態 IC 記憶，都有詳盡的介紹。第八章則介紹主要的輸入輸出裝置，以及數位・至・類比變換器，類比・至・數位變換器，終端機，調變與解調器等等。

最後的兩章，首先討論現代電腦的控制部門，包括控制電路的設計，以及電腦控制的微程式規畫。然後在第 10 章，我們討論電腦的整個組織結構，例如定位方法、主線組織，等等。所用的例子，都是實際的電腦。我們比較強調微電腦及迷你電腦，但大型系統中如多重處理機、導管電腦、多重程式規畫等問題，我們也有詳細的討論。

HTS16/04

本書所採版本。爲第四版，與前三版內容均有極大的不同，並且順序也重新排列了。本書中凡是專有名詞，其後均附有英文，使學者易於參照辨認。書後索引依英文字母排之。譯者學識淺薄，尚祈高明不吝指正。

最後譯者要感謝父母親的鼓勵，使能譯完本書。

黃肇南 于台大電機系

目 錄

譯 序.....	I
第一章 電腦的運作.....	1
1-1 計算器及電腦	2
1-2 桌上計算器和電腦的不同	4
1-3 電子數位電腦	4
1-4 電腦在問題上的應用	6
1-5 電腦在企業上的應用	8
1-6 科學上的應用	9
1-7 一些不同的電腦系統.....	10
1-8 數位電腦在控制系統上的用途.....	13
1-9 特殊用途和一般用途的電腦.....	15
1-10 分時電腦系統.....	16
1-11 數位電腦的基本組件.....	16
1-12 記憶的建造.....	18
1-13 指令.....	19
1-14 乘法指令.....	21
1-15 分支、跨越、或跳越指令	23
1-16 將程式讀進電腦.....	25
1-17 程式規劃系統.....	31
1-18 組合語言.....	33
1-19 編譯語言.....	35

1-20	PL/1 簡介	36
問 題		40
第二章	數 系	45
2-1	十進位系統	45
2-2	二進制	46
2-3	二進制的計算	47
2-4	二進制的加法和減法	48
2-5	二進制的乘法和除法	49
2-6	十進位換成二進位	51
2-7	負 數	53
2-8	負數的補數表示法	54
2-9	其他數系的補數	55
2-10	二進位數的補數	56
2-11	二進碼十進數表示法	56
2-12	八進制及十六進制數系	60
問 題		66
第三章	布林代數和閘網路	75
3-1	布林代數之基本概念	76
3-2	邏輯乘法	77
3-3	OR 閘和 AND 閘	77
3-4	互補和反相器	79
3-5	邏輯表示式的計算	80
3-6	含有括號的表示式計算法	82
3-7	布林代數之基本定律	83
3-8	完全歸納證法	85
3-9	表示法的簡化	87
3-10	狄摩根定理	88
3-11	布林代數之基本對偶性	89

3-12	布林表示法的導出	89
3-13	閘的組合	92
3-14	先乘後加以及先加後乘形式	94
3-15	先加後乘表示式之導出	96
3-16	3 - 輸入變數表示式的導出	97
3-17	NAND閘和NOR閘	99
3-18	簡化表示式的卡諾圖法	102
3-19	次方塊和涵蓋	105
3-20	先加後乘表示法——無關項	110
	問 題	113

第四章 邏輯設計 126

4-1	正反器	126
4-2	轉移器	128
4-3	定 時	129
4-4	移位暫存器	132
4-5	二進計數器	133
4-6	BCD計數器	139
4-7	積體電路	141
4-8	中型及大型積體	146
4-9	加閘正反器之設計	153
4-10	加閘正反器	154
4-11	主僕正反器	156
4-12	計數器之設計	158
	問 題	161

第五章 數位電路 171

5-1	電腦電路	171
5-2	交換電路中所用的二極體和電晶體的特性	172
5-3	射極追蹤器	180

5 - 4	AND閘	182
5 - 5	二極體 AND 電路	182
5 - 6	OR閘	182
5 - 7	反相電路	184
5 - 8	NOR閘	187
5 - 9	電晶體正反器	188
5-10	電阻 - 電晶體邏輯	190
5-11	二極體 - 電晶體邏輯	192
5-12	電晶體 - 電晶體邏輯	194
5-13	射極耦合邏輯	202
5-14	金屬 - 氧化物半導體電路	205
5-15	CMOS 邏輯電路	210
問 題		214
第六章 算術邏輯單位		225
6 - 1	ALU之結構	225
6 - 2	整數表示法	226
6 - 3	二進半加器	228
6 - 4	全加器	229
6 - 5	平行二進加法器	230
6 - 6	正數與負數	233
6 - 7	補數系統的加法	233
6 - 8	2 補數系統的加法	235
6 - 9	平行算術元件中的加減法	236
6-10	全加器	240
6-11	二進制十進碼 (BCD) 加法器	241
6-12	正負BCD數	246
6-13	9 補數的加減法	246
6-14	移 位	251
6-15	基本運作	253

6-16	二進乘法	256
6-17	十進位乘法	259
6-18	除 法	259
6-19	邏輯運作	264
6-20	浮點數系	267
6-21	浮點數的算術運算	272
問 題		273
第七章 記憶元件		279
7-1	隨意出入記憶	280
7-2	磁芯記憶	283
7-3	二元陣列磁芯的資訊儲存	285
7-4	磁芯記憶中磁芯平面的組合	289
7-5	定時次序	291
7-6	磁芯陣列的特性	292
7-7	記憶位址與記憶緩衝暫存器	293
7-8	X・及Y・選擇線的驅動	293
7-9	記憶緩衝暫存器及其附屬電路	296
7-10	磁芯記憶的特性	298
7-11	譯碼器	299
7-12	磁芯記憶組織及接線概要	302
7-13	隨意出入半導體記憶	308
7-14	雙極 IC 記憶	309
7-15	靜態 MOS 記憶	311
7-16	動態記憶	317
7-17	唯讀記憶	319
7-18	磁鼓儲存裝置	323
7-19	磁鼓的平行和先後操作	327
7-20	磁碟記憶	329
7-21	磁 帶	335

7-22	卡式磁帶及捲軸式磁帶	342
問 題		345
第八章 輸入輸出裝置		350
8-1	商業和科學用途之不同	351
8-2	打孔紙帶	351
8-3	紙帶閱讀機	354
8-4	打孔卡片	355
8-5	讀卡機	359
8-6	字母數碼	361
8-7	資料的準備	365
8-8	字母辨認	365
8-9	輸出設備	368
8-10	印刷機	369
8-11	陰極射線管輸出裝置	373
8-12	其他輸出裝置	374
8-13	偵測錯誤及改正錯誤之碼	377
8-14	終端機	378
8-15	類比系統的輸出輸入裝置	382
8-16	類比・至・數位轉換器——主軸編碼器	383
8-17	數位・至・類比變換器	385
8-18	電子高速類比・至・數位變換器	387
問 題		391
第九章 控制元件		397
9-1	指令字的建造	398
9-2	控制暫存器中的指令週和執行週組織	404
9-3	控制暫存器的運作次序	407
9-4	控制算術運作	408
9-5	典型的運作次序	417

9-6	分支、跨越、或跳越指令	420
9-7	移位指令	422
9-8	微程式規畫	426
9-9	微程式規畫的一些變化型態	430
問 題		434
第十章 電腦的組織		438
10-1	指令字的格式	439
10-2	指令與資料的表示法	443
10-3	叫位技術	444
10-4	指數暫存器	444
10-5	分頁 (PAGING) 和間接叫位	447
10-6	連接系統各部分	451
10-7	接面——主線	459
10-8	微處理機與微電腦	466
10-9	單址電腦組織	478
10-10	單址微處理機	485
10-11	雙址電腦	498
10-12	IBM 360/370 系列	505
問 題		510
索 引		516

第一章 電腦的運作

電腦工業一直是發展最快的主要工業。大型電腦的銷售量每年都在增加，而整個電腦工業又因為迷你電腦所擁有的蓬勃市場，以及向市場新引進的微型電腦使得規模益發龐大。

由於迷你電腦及微型電腦具有低價格，高信賴度，小體積及輕便的重量諸優點，已經使許多新的電腦應用成為可能。這些小型電腦的運算速度可以高達每秒十萬次百萬次，十年前只有大型電腦才能提供的計算能力，現在用小型電腦就可以了。小型電腦的用處似乎無窮無盡，例如程序控制；醫藥控制；產銷測試；科學儀器的記錄；帳目系統；和汽車測試及評估系統等，都是其最先開拓的應用領域。

在電腦工業界從事的人現在已達到一百萬人，其中尚未包括間接用及電腦的數以百萬計的人們。這些人包括用電腦處理一切交易的銀行職員，用電腦辦理預約的飛行公司及汽車旅館，以及使用電腦所控制的工具工作的機械師們。

事實上，現在電腦已在遞送我們的長途電話，處理我們銀行的支票作業，排定飛機及火車的航線及航期，預測天氣，預報及處理選舉，以及計算其他許許多多的事情。光是其五花八門的應用，就足可寫成（而且已經寫成）一本書了。

電子元件之生產有絕大的比例是用於電腦方面，這個比例還在不斷的增加中。各界對於電腦人員的需求也日益增高：每年所需的程式師共達二十五萬人；美國勞工局的五個“發展最快的就業領域”名單上，機器服務人員及電腦從業人員也始終居於第一、二位。

1-1 計算器及電腦

從人們開始使用算術的時代開始，就一直有許多裝置發明用來幫助處理數目字的問題。最早而且最精妙的計算輔助器，就是算盤。這種現代電腦的原始（西元前四千年到三千年）前驅者，是由一個方架子架著許多平行的線構成。每一條線支持著幾個算盤子，算盤子可沿線自由地滑動。操縱這些算盤子，一個受過訓練的人就可以以驚人的速度來做加減乘除的運算。曾有一個中國的算盤家，和一個受過訓練的現代計算機器操縱者，舉行一次比賽，結果算盤輕易的贏了那場勝利。但無論如何，科學仍然是權威的，因為這本書中所敘述的電腦，比起最優秀的算盤家，還要快到數百萬倍以上。

許多計算的機器，包括常見的加算機，桌上計算機，以及收銀機，都是最近才發明的。第一架成功的機械式計算器是十七世紀時由布雷瑟·巴斯噶（Blaise Pascal）所造成的。這架機器於西元1642年完成，如今仍然存有其各種可信的模型。這機器所引進的一個主要的觀念，就是進位的機動化。這種機器是由一組標有數字的輪盤所組成，每一個輪盤都標著從0到9的數字，讀的時候則可以從左往右讀。當其中的一個輪盤的數字由9變成0的時候，有一個制齒會使得它左邊的輪盤向前移動一個單位。這機器可以直接的加和減，但是乘除則須以重覆的加和減來完成。

到了西元1671年，萊卜尼茲（Leibniz）造了一個不僅可以加和減同時也可以運算乘法的計算機器。加減法的完成仍如同巴斯噶機器一般，但是另外加上的傳動裝置使得機器可以直接地運算乘法。

萊卜尼茲說雖然這機器并非完全自動，但是費一點點的事總比冗雜易錯的用手來算要好多了。萊卜尼茲所設計的機器成為後來大部分機器的模型，同時也給予了現在設計計算器所用的一切的原則及一種具體的形象。

當商業技術及科學日精月益之時，對於簡單算術運算的機動化之要求也隨之提高。商業上所處理的算術的數量不但正劇烈的增加著，而且也變得更難，同時記帳員也和其他所有各種白領階級一樣，越增越多。

要有效管理政府各種功能所需之紙上作業，也已達驚人的比例。舉例來說，若想將美國政府人口普查所收集的資料處理成方便易讀的摘要形式，需要很長的一段時間。等到整理出來，這份資料也已經失掉它的時間性了。就因為這種問題如此尖銳，使得普查局發展出一種穿孔卡片，並且早在西元 1890 年間就用之於其列表的工作⁺。

在科學及工程的領域中，許多問題都變成了繁雜的數學式，而對於不同的參數變化，常常要花上一段極長的時間來演算必需的算式。例如首次精確地求得炮彈彈道軌跡的公式，這些公式（包括許多不同的炮之仰角、距離等）的解却需要大批的人做長時期的計算才能求出。更有甚者，對於新式的炮彈和武器，又須重新計算。這樣使得武器獲得之後，常需要一段時間上的遲延，才能夠精確的使用。

幸運的是計算器也在進步之中。設計和建造上的改良增加了這些裝置所能處理的運算種類及速度，同時改良的製造技術使得計算器更加容易獲得。早期模型上的手搖機變成了電動馬達，計算的速度也增加了。此外也引進許多對運用者的輔助器具，增加了計算的速度也減少了出錯的機會。桌上計算器種類繁多，大部分商業上的算術皆是用這些裝置演算的。

計算器發展過程中的最後一步就是電子計算器的引介。這些裝置的速度是電子的——不是機械的。同時在大模型中還有小型的電子記憶裝置（磁帶或金屬卡片），可以儲存含有對計算器指示的短“程式”。計算器便可隨操作者之意以電子速度演算這些短程式。

但是存在一個事實，就是所運算的資料（通常為數字）必得由操作計算器的人輸入。是以雖然計算器所具有的優越功能提供了很大的幫助，仍然未能消除吾人對電腦的需求。

舉例而言，許多電腦都會以電腦記憶裝置（例如磁帶或磁盤）儲存大批的資料檔案，以供其運作於其上。這些資料佔據大量檔案櫃，若以人力找尋某一項目常須費時甚久。然而電腦却可以只用數分之一秒（偶

⁺ 為普查局發展穿孔卡片的赫曼·哈勒芮斯（Herman Hollerith），後來自組公司，其公司不久就併入了國際商用機器公司（IBM）。

而用到幾秒鐘)的時間,搜尋整個檔案,自動地於消費者帳目的記錄。所有在分行的交易必須記錄下來,每天結束時要更新補充適當的記錄。電腦可以自動地完成這些工作,是以銀行及保險公司是電腦的大用戶。此外須用電腦維持存貨的商業,如大的連鎖雜貨店用電腦自動叫貨,用電腦記帳等等,也是一樣的。

電腦可用來控制工業生產元件,管制工業程序的營運,及幫助設立報紙書籍的型式。電腦可以自動化地表現多方面的功能,其速度及精確度絕非人類所可能辦到的。

在科學應用上,一些極端繁雜而冗長的問題,常需上億次的計算。由於電腦的速度及正確性,使得在處理這些計算時,電腦成為最佳的理想。科學計算常牽涉到大量的試驗資料(例如從人造衛星、核子實驗、或醫藥實驗室所得來的)。這些資料必須用數學技巧加以分析,因而必須要有許多的計算。電子計算器可以完成這些計算;而人類所須花費的力氣時間却使這種計算的代價變得極為高昂。

1-2 桌上計算器和電腦的不同

自動的數位電腦和電子計算器主要的不同就是電腦不需要人為介入就可以完成很長的演算過程,而且一般而言,電腦都有相當大的記憶位置。同時,輸入的資料也是自動存在的。電腦也可以做某些邏輯上的決定,然後依著決定改變它未來的行動。有時電腦也會改變處理輸入資料的方式。

用來告訴電腦如何解問題的一連串的指示,我們稱之為程式。程式一步一步地告訴電腦要做些什麼,包括所有的決定在內。從此處顯然可知電腦並不會為它自己計畫,所有的計畫必須先都已作好才行。由於電腦工業的發展,造就了許多專業化的人,這些人只負責準備程式或者說連串的指示,用來指揮電腦。這準備程式的工作稱為程式規畫,而這些人則稱為程式師。

1-3 電子數位電腦

讓機器自動演算一長列計算的嘗試,由來已久。其中最著名的就是

十九世紀時英國科學家及數學家查爾斯·巴比治 (Charles Babbage)。巴比治設計一架可以依預先安排的次序完成所有必需運算的機器，來試著使計算機動化。巴比治的機器用打孔的硬紙卡片，來將指示及資料 (數字) 輸入機器之中。機器將會自動完成卡片所賦予的指示，一直到整列指示完結了才會停下來。雖然巴比治為當時技術所限未能造成機器，但他却成功地建立了現代電腦所據以創造的基本原則。

在1930年代以前，穿孔卡片就已在各大企業上廣泛的應用，各式處理穿孔卡片的機器也都可以得到。在1937年，哈佛大學的郝爾德·愛肯 (Howard Aiken) 向IBM公司建議，用部分穿孔卡片機器及技術，可以建造一架能自動處理一連串所需完成的演算的機器。這機器由各類電磁裝置組合而成，包括許多繼電器在內。這架機器曾使用了一段時間，產生了許多數學函數表 (尤其是貝索 (Bessel) 函數)，并在二次大戰時用來作軌跡之計算。

愛肯的機器在當時頗值得稱道，但由於使用繼電器而非電子元件，以及使用穿孔卡片處理運算，使得在速度上有所限制。到了1943年，愛克特 (S.P.Eckert) 及毛契里 (J.W.Mauchly) 雖因使用電子元件 (主要是真空管) 使速度有所增加，但仍然要用鍵式開關及插座板來完成運算。稍後，他們兩人造了一架名為愛德伐克 (Edvac) 的機器，可將整個程式儲存於電腦記憶之中，而不用依賴外界的排列。這是重要的發明，這種能儲存程式的電腦稱為內儲程式電腦 (stored-program computer)。事實上，曼徹斯特大學的一部比較晚些建造但却較愛德伐克先造好的愛德薩克 (Edsac)，才是第一部內儲程式電腦。

大約一年之後，普林斯頓高等研究所的紐曼 (John van Neumann)，和賓州大學穆爾工程學院合作，開始發展IAS電腦。此電腦進一步包括了並聯二進位 (parallel binary) 內儲程式電腦的一般概念。

幽尼伐克一號 (Univac 1) 電腦是第一架可在市場上獲得的電子數位電腦。第一架幽尼伐克，是由美國普查局所購置的。IBM公司隨即在1953年推出大型的IBM 701加入競爭，又在1954年推出較小

的 IBM 650。IBM 701 是 IBM 公司 704-709-7094 系列的先驅產品，在大型機器中算是第一個大贏家。

1950 年代晚期真空管電腦頗流行於市場上。但就在此時電子界出現了一項重大的改革——電晶體。小巧、便宜、散熱低的電晶體，替代了原來又大又貴的真空管，使得電腦進入了所謂的“第二代”。電腦工業之規模及重要性，至此更以驚人速度增加，而每一個電腦的價格却實質的降低了。

1965 年第三代電腦又被引入市場。（IBM 公司，在介紹他們的 360 系列的廣告中，用“第三代”字眼作為關鍵語。這後來就被沿用為描述此一時期電腦的關鍵字。）這段時期的電腦開始大量使用積體電路（Integrated circuit），也就是把許多電晶體和其他元件嵌製在一個很小的容器內。由於價格甚低而嵌製的密度又很大，使得在設計機器時和以前又有所不同。這些機器使電腦工業發展成為今日數百億美元的規模。

第四代電腦和以前幾代的分別就不太明顯，但仍有一些顯著及重要的不同。由於積體電路製造技術已非常進步，不到一立方英寸的體積內就可以含有數以千計的元件，於是便導致了所謂的中型積體（Medium-Scale Integration, MSI）及大型積體（Large-Scale Integration, LSI）的發展，進而發展出了體積小巧，價格低廉，大量記憶而又速度極快的電腦。大型電腦變得更加複雜；中型電腦則可處理以前大型電腦的工作；而另外的一注新血，稱作微型電腦和迷你電腦，也正以驚人的速度在繁衍發展之中。

1-4 電腦在問題上的應用

工廠的會計部門經年來總是僱用大批的人力。這些人員花大部分的時間來處理算術計算，然後記入公司的帳簿。大部分的算術，只是對於不同的數字重複一遍又一遍相同的計算。既不需作任何的決定，所有可能遇到的問題又都已經有規則可循。

一典型的例子就是處理以小時計薪的公司僱員的薪水。這工作要計算出每人總所得（將每人時薪乘上工作時數，算出並除去稅金、保險、