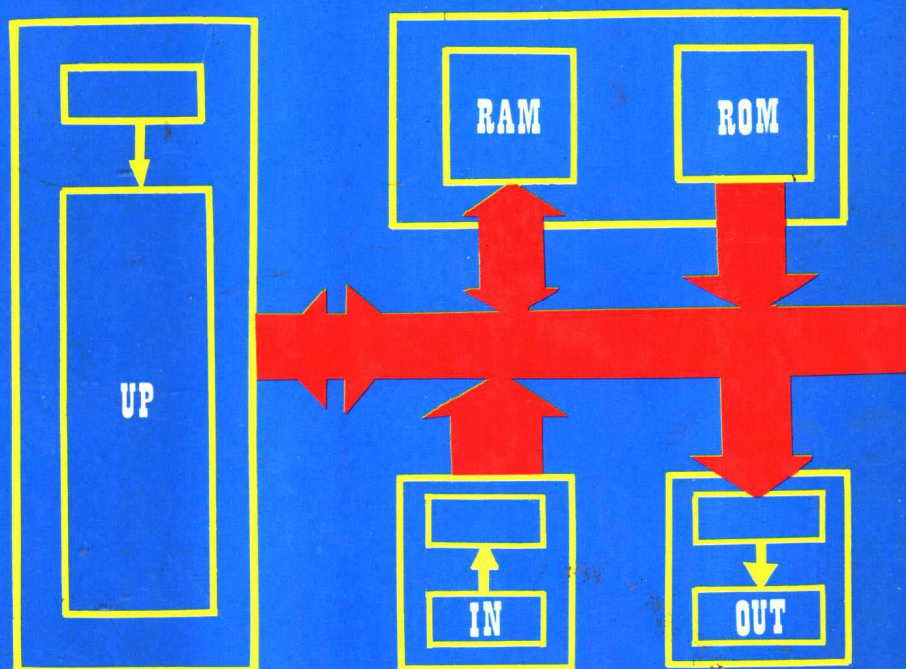


● 電腦叢書 ●

微電腦基礎

陳金追 編著

蔡新民 校閱



電腦語言中心出版

微電腦基礎

陳金追 編著



電腦語言中心出版

微 電 腦 基 礎

編著者：陳 金 追

出版者：電 腦 語 言 中 心

發行者：

九龍彩虹道400號六樓

印刷者：合興隆印刷公司

香港仔宏利工業大廈七樓

定價港幣 · \$ 30 ·

前 言

自從 1971 年，美國 *Intel* 公司在市場上推出世界上第一部微處理器 4004 後，在短短的幾年間，微處理器的字長已由四位元進展至十六位元，微處理器的應用已由最初之侷限情況發展至每一方面。由微處理器所構成之微電腦系統，其能力已漸次凌駕迷你電腦之上，而微處理器之市場更由計算器工業擴展至科學、工、商、軍、教、文化、交通、與娛樂等各方面，甚至進入了家庭。此一發展實為神速，其盛況可謂空前。微處理器對於人類之影響，將不亞於第一次工業革命。美國著名的科學月刊雜誌曾經預言，在 1985 年，每一個美國家庭中將擁有 48 個微處理器。可以肯定的，在未來歲月裡，微處理器的角色將媲美，甚至取代了 60 年代之電晶體，以及 70 年代之積體電路。依目前之情勢而言，熟悉微處理器之構造、特性、與用途，已是一基層之技術人員所不可或缺的條件了。

在世界先進國家中，電腦早已被廣泛應用於科學、工商、教育、與軍事諸用途，且變成不可或缺的工具之一。如無電腦之發明，則太空研究至今可能仍僅是推測之科學，而登陸月球、衛星通訊、飛彈控制及工業之自動機械化等，將仍只是一種夢想而已。近年來，我復興基地工商發達、經濟繁榮，電腦遂逐漸為大家所熟悉與接受。電腦之裝設已由先前之公營機構擴展至工商各階層，其應用亦由教育、研究、財務與人事管理等，擴展至銀行業務、購票系統、庫存管理、生產計劃、決策分析、管理資訊、與程序控制等各方面。電腦之應用價值至此為一般人所肯定。目前，政府正大力提倡技術密集工業，身為腦力密集工業之電腦工業（資訊工業），尤以微電腦工業，已被列為 80 年代策略性工業之一。工業技術研究院更在今（1980）年訂定五年發展計劃！預定在五年之內達成以微電腦為主之全自動化工業的目標

。電腦在未來社會之重要性由此可見一斑。

可喜的是，我行政當局人士能迅速認定電腦之重要性，而積極地在國內各學校提倡電腦教育。近幾年來，各大學普增電腦系與電腦課程，而各專科學校與商工普遍添購微電腦之設備與開設微電腦之課程。蓋電腦本身只是一部機器、一種工具，其能否充份地發揮功能，端賴人類對其有否正確之認識與了解，而此則取決於電腦教育之成敗。夫電腦教育欲成功，設備、師資、與教材三者缺一不可。

民國六十七與六十八年暑假，作者兩度參加台大電機研究所所舉辦之電腦研習班，在此兩次機會中，作者很榮幸在計算機概論、高階語言程式設計、計算機組織、與組合語言程式設計上，有機會指導許多其它大學之畢業生，從中獲益非淺，了解許多一般初學者所最常發生之疑問與困惑。從此些經驗中，作者深切感受初學者滿腦疑問的那種痛苦，此一感受激起了作者撰寫一本，能真正幫助初學者之教本的動機。

本書的主要目的，乃在對微電腦技術，從零點開始，由淺入深，作一很系統之介紹。全書包括基礎、軟體、硬體、韌體（*firmware*）、與應用等五大部份，共分為三冊，每冊可各自獨立。書中之內容，除作者個人之讀書心得外，台大研習班與大學修習微電腦時之教學心得與領悟，以及個人實際從事程式設計之經驗，都佔有相當之份量與影響。雖然具備些許電子學基礎，對全書之了解是有助益的，但卻並非是必需的。本書適合作為高工或專科學校微電腦課程之教本。由於邏輯次序井然且資料完整詳細，因此，亦可供一般對電腦有興趣之人員自修與參考之用，尤其想出國進修電腦者，此實為一極佳之良伴。

本書之寫成，必須感謝甫獲十大傑出青年獎之淡江工學部主任簡又新博士之啓蒙，中山科學研究院之劉齊一博士在機器結構與組合語

言程式設計上，電信及台大電機研究所之賈玉輝博士在電腦科學整體領域之發展，計算機系統分析、與編譯程式設計上，以及國立臺灣大學業技術學院電子技術系之蔡新民教授在高階語言程式設計、數值分析、與微電腦上多方面之指導與鼓勵。本書初稿，承蒙恩師蔡新民教授仔細校閱，並提供許多建設性的建議，在此深致謝意。蔡老師學驗俱豐、態度謙虛、教尊認真。教學講解不僅系統次序井然，此曾將無以今日。

由於作者才疏學淺，加上匆促付梓，錯誤之處在所難免。尚祈先進、專家、與讀者不吝指正，俾於再版時予以更正。不勝感激之至。

作者

陳金追 謹誌

蔡 序

七十年代微電腦的誕生，給人類帶來了鉅大與深遠的影響。微電腦以其能大量生產，價格低廉，應用範圍廣泛，故能深入各行各業；同時，人類使用的工具，儀器與機器，也因加了微電腦，使其性能更為優越，富有彈性變化和可程式化，並且具有簡單的智慧。所以，微電腦也將如馬達一樣，被使用于各行業和家庭，影響我們的日常生活，乃至整個社會發展。處此微電腦時代，我們怎能不對之有所認識。

所謂微電腦技術，應包括軟體與硬體兩方面，二者不可偏廢，然後方能容易與有效地使用它。坊間介紹微電腦的書很多，好書却不多見。一本好書，應該理論與實驗並重；不僅了解微電腦本身，並由實驗中去學習它的應用。另外，也需要軟硬體同時介紹；硬體包括微處理器，記憶，週邊支援電路和週邊機件等；軟體包括指令集，程式技巧和作業系統之設計。

陳君本書之內容，涵括了積體電路技術與微電腦發展史，是其獨創之處，有關微處理器之邏輯構造與指令集之介紹，說明詳細，圖解並重，對於初學者是一本很好的入門書。另外，盼望其實驗手冊能夠早日出版，俾使讀者能夠參照閱讀，獲益更多。

陳君是位謙虛好學，力求上進的青年；因鑒於初學者盲目摸索的痛苦，陳君願將本身學習之經驗貢獻給後來者，因而編著本書。嘉其善意，謹草此數言，姑名之為序。

蔡新民

目 錄

前言

蔡序

第一章 數目系統	1
1-1 十進制	1
1-2 二進制	3
1-2-1 二進制之計數	4
1-2-2 二進制之四則運算	6
1-3 二進數與十進數之互換	9
1-4 八進制	11
1-4-1 八進制之計數	12
1-4-2 八進制之算術	13
1-4-3 八進數與十進數之互換	15
1-4-4 八進數與二進數之互換	16
1-4-5 八進數之用途	17
1-5 十六進制	18
1-5-1 十六進制之計數	19
1-5-2 十六進制之算術	19
1-5-3 十六進數與十進數之互換	21
1-5-4 十六進數與二進數之互換	22
1-5-5 十六進數之用途	22
1-6 負數	22
1-7 二進數負數之表示與運算	25

2 目 次

1-7-1	帶號絕對值法	25
1-7-2	1 補數法	26
1-7-3	2 補數法	30
1-8	溢位	34
1-9	二進電碼	37
1-9-1	十進數之二進碼 (BCD碼)	39
1-9-2	偵錯碼	45
1-9-3	反射碼	46
1-9-4	文數字碼	48
1-10	BCD算術運算	49
摘 要		53
習題一		54
第二章	數位邏輯電路	58
2-1	布林代數基礎	60
2-2	二進信號	64
2-3	基本邏輯電路	69
I.	組合邏輯電路	84
2-4	算術運算電路	85
2-4-1	二進加法器	85
2-4-2	二進減法器	94
2-4-3	大小比較器	96
2-4-4	極性檢驗器／產生器	99
2-5	解碼器與寫碼器	101
2-5-1	解碼器	101

2-5-2 寫碼器	109
2-6 多工器與解多工器	115
2-6-1 多工器	115
2-6-2 解多工器	118
2-7 唯讀記憶器與可規劃邏輯陣列	120
2-7-1 唯讀記憶器 (ROM)	120
2-7-2 可規劃邏輯陣列 (PLA)	124
II. 循序邏輯電路	128
2-8 正反器	132
2-8-1 $R-S$ 正反器	133
2-8-2 $J-K$ 正反器	138
2-8-3 D 型正反器	144
2-8-4 T 型正反器	145
2-9 暫存器	146
2-9-1 緩衝暫存器	148
2-9-2 移位暫存器	150
2-10 計數器	157
2-10-1 非同步 (漣波) 計數器	160
2-10-2 同步計數器	167
2-11 記憶單元	173
III. 數位積體電路	
2-12 積體電路	179
2-13 數位邏輯族	182
2-13-1 種類與特性	183

4 目 次

2-13-2 基本閘之電路結構	190
2-13-3 比較	220
習題二	221
第三章 計算機簡介	224
3-1 計算機是什麼?	224
3-2 計算機能做什麼?	227
3-3 計算機的種類	232
3-4 如何使用計算機	236
3-5 計算機組織	237
3-6 記憶單元	240
3-6-1 記憶器之種類與特性	241
3-6-2 記憶設備	244
3-6-3 主記憶器	261
3-6-4 主記憶器之組織與讀寫動作	268
3-7 中央處理單元	271
3-7-1 算術／邏輯單元	272
3-7-2 控制單元	276
3-8 輸入／輸出單元	282
3-8-1 輸入／輸出作業	284
3-8-2 輸入／輸出設備	285
3-8-3 輸入／輸出處理器	287
3-9 系統組件之連接	296
3-10 界面——巴士	309
3-11 硬體、軟體、與韌體	313
習題三	316

第四章 微電腦概觀	317
4-1 計算機發展史	317
4-1-1 早期之萌芽	317
4-1-2 數位計算機之起源	322
4-1-3 在大學及實驗室之發展	324
4-1-4 第一代(真空管)計算機	330
4-1-5 第二代(電晶體)計算機	332
4-1-6 第三代	333
4-1-7 第四代	334
4-2 微電腦之定義、由來、及發展	336
4-3 微電腦之種類	347
4-4 半導體技術	351
4-4-1 半導體技術之特性	351
4-4-2 各種技術之特點與比較	352
4-5 微電腦與傳統典型電腦之比較	356
4-6 微處理器之應用	370
習題四	383
第五章 微電腦硬體結構	384
5-1 微電腦系統組織	385
5-1-1 微電腦之基本組件	385
5-1-2 巴士系統	387
5-2 記憶器	396
5-3 微處理器之結構	401
5-3-1 時序與控制部份	402

6 目 次

5-3-2	暫存器 部份·····	408
5-3-3	算術／邏輯單元·····	427
5-3-4	微處理器實例比較·····	430
5-4	堆疊器·····	438
5-4-1	堆疊器之種類·····	440
5-4-2	堆疊頂端之管理·····	448
5-4-3	堆疊器之用途·····	450
5-5	輸入／輸出·····	455
習題五	·····	458

第一章 數目系統

所有各種大小之計算機，都有一共同之特點——它們都處理數目（*numbers*）。所謂數目，即為用以代表一物理量之符號。因此，欲對計算機操作之觀念有所了解，就得先熟悉計算機所使用之數目系統（*number systems*）。所謂數目系統，即為一種使用一組數目以代表物理量之方式。所有現代的數目系統，均使用 0 代表無物理量，而以其它符號代表其它物理量。每一數目系統均有一基底（*base or radix*）。所謂基底，即為每一數目系統所使用之符號的個數，包括 0。例如，十進制的基底就是十，因為其總共使用十個符號。

雖然計算機能使用許多種不同之數目系統，但是最常用的數目系統乃是二進位系統（*binary system*），或稱二進制。這是因為數位計算機用以處理或儲存資訊（*information*）的基本元件，均為雙態元件。這些元件只能產生兩種電壓或電流的狀態。因此，所有數位計算機內部之資訊，幾乎都表示成二進制。本章介紹數目系統之基本原理，主要重點在於二進制、八進制、十六進制、二進制負數之表示與運算、以及二進制電碼等。

1—1 十進制

科學發達的重要因素之一，即為十進數目系統之發明。由於人類天生就具有十支手指與十支腳趾，很自然地，這些就變成了人類計數最簡便之工具。在順理成章之情況下，十進制就一直成為人類計數之標準方式。早期人類使用數目系統的主要目的，是在於量度與記錄，而不在作計算。因此，十進制一直是最主要的計數方式。一直至後來

2 微電腦基礎

科學發達，十進制已不敷使用時，才再有其它數目系統之應用。

所謂十進制，就是每逢十就要進位的意思。十進制以 10 為基底，並使用 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 等十個符號（或稱數字），此些符號稱為阿拉伯數字。利用這十個符號以及符號位置（或稱數字位置）（*positional notation*）之觀念，我們即可表示出任何數目。所謂符號位置之觀念即為，一符號所真正代表的數值（或稱權數 *weight*），決定於其在整個數目中的相對位置。例如，在十進制中，每個阿拉伯數字均具有雙重數值。單獨存在時，每一數字都有一定值；但是，當與其它數字組合時，每一數字所代表的真正數值決定於其相對位置，其值不固定。譬如，在十進制中，單獨存在的 9 即代表九；但是，95 中的 9 即代表九十。當兩個或兩個以上的符號被組合，以表示一數量時，每一符號所在之相對位置即稱為一數位。我們通常所採用的記數規則是，最左邊之數位所代表之數值最大，而最右邊之數位所代表之數值最小。每一數位所代表之數值，由右至左每次增加基底之一次乘冪的倍數。因此，一個數目最左邊之數字稱為最高次數字（*Most Significant Digit, MSD*），而最右邊之數字稱為最低次數字（*Least Significant Digit, LSD*）。理由乃是最左邊之數位所代表之權數最大，為基底之最高乘冪；而最右邊之數位所代表之權數最小，為基底之最低次乘冪。例如，十進數 4389 中，4 為最高次數字，9 為最低次數字。

應用符號位置之觀念，我們即可知道每一數目所代表之真正數值的大小。例如，十進數 7467，實際上代表的意思是

$$\begin{aligned} 7467 &= 7 \times 10^3 + 4 \times 10^2 + 6 \times 10^1 + 7 \times 10^0 \\ &= 7000 + 400 + 60 + 7 \end{aligned}$$

最左邊的 7 與最右邊的 7，由於所在位置之不同，其所代表之真正數值就不同，最左邊之 7 代表 7000，而最右邊之 7 則僅代表 7。最左

邊之數位，由於每 1 就代表 1000，故稱為千位；最右邊之數位，由於每 1 就代表 1，故稱為個位。

在十進制小數，小數點右邊之數位所代表之數值，具有 10 的負乘冪，並且自左至右依 10 的降冪乘之。例如，

$$\begin{aligned} 0.3756 &= 3 \times 10^{-1} + 7 \times 10^{-2} + 5 \times 10^{-3} + 6 \times 10^{-4} \\ &= 0.3 + 0.07 + 0.005 + 0.0006 \end{aligned}$$

。混合十進數 43.254 實際上表示

$$\begin{aligned} 43.254 &= 4 \times 10^1 + 3 \times 10^0 + 2 \times 10^{-1} + 5 \times 10^{-2} + 4 \\ &\quad \times 10^{-3} \\ &= 40 + 3 + 0.2 + 0.05 + 0.004 \end{aligned}$$

1—2 二進制

早期計算機之基本元件為繼電器 (*relays*) 與開關。開關或繼電器的動作，在特性上主要可看成二進制。因為，開關不是開，就是關，只有兩種可能之狀態。現代計算機之主要元件，均為類似收音機或電視機所使用的電晶體。對可靠性之企求使得計算機之設計者，將此種元件設計成僅動作於兩種狀態——完全的導電與完全不導電。上述所有元件可看成類似於電燈泡。電燈泡的動作，亦只有兩種狀態，不是亮 (1) 就是暗 (0)。即使在燈泡相當老化之後，仍能判斷其亮與不亮。由於電子計算機大量地使用電子元件，因此，為達高度之穩定性，我們極度希望此些元件特性之些微改變，不致影響全部之性能。而最佳之方式就是將之設計成僅有兩種可能動作狀態之雙穩態 (*bistable*)。電子元件雙穩態之特性，使得目前之電子計算機均以二進制操作。

二進制是一以 2 為基底，僅使用 0 與 1 兩種符號之數目系統。二進制中的每一數字 (0 或 1)，稱為一二進位數字 (*binary digit*)

4 微電腦基礎

，或簡稱一位元 (*a bit*)。二進數目系統為十七世紀德國數學家萊布尼茲 (*G. W. Leibniz*) 所提倡。當時萊布尼茲提倡此一系統似乎是不可思議，並且富有十足的哲學味道，因為其本身即為一哲學家。他認為“0”代表空虛，“1”代表神，並且兩者之間存在甚大的相似性。二進制在過去一、二十年來已經變得相當普遍，今日的計算機都設計操作於二進或二進碼之數目系統，並且目前的跡象顯示，將來的計算機亦將操作於此一系統。本節將介紹二進制之計數與二進制之算術，然後再於下節中介紹二進數與十進數之互換。

1—2—1 二進制之計數

二進制中僅有兩種可能之符號 (或數字)，即 0 與 1。雖然如此，二進制仍能表示任何在十進制或其它數目系統中所能表示的數目。當然，就同一數目而言，二進制可能需要較多之位元。由於二進制中每一位元的最大數值為 1，因此，二進制的計數，每逢 2 就要進位。當某位元到達 1 後，則再度的計數就要由 0 重新開始，並且較高一次的位元就要因進位而加 1。表 1—1 所示即為從 0 數到 15 之二進制計數情形。

注意到，在此例子裏，於計數過程中，最低次位元每次計數時都改變，而次高位元每兩數改變一次，更高次位元每四數改變一次，而最高次位元則每八數改變一次。依此，我們可得每一數位之權數，自右至左分別為 1，2，4，8。此外，從表中我們亦可看出，欲表示十進數 15，則至少需要 4 個位元。在二進制中，使用 N 個位元可計數 2^N 個不同數目，從 0 到 $2^N - 1$ 。例如，使用 2 個位元，我們即可做 0 到 3 之計數：00，01，10，11。