

數位計算機電子學

曾炎盛 譯

Albert Paul Malvino

Digital Computer Electronics

雲陽出版社印行

數位計算機 電子學

曾炎盛 譯

Digital Computer

Electronics

Albert Paul Malvino, Ph.D.

數位計算機電子學

版權所有 翻印必究

122

作者 曾炎盛
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
郵箱帳號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
台北市萬大路534巷24號
3711088

基價 精裝 伍圓陸角
線裝 肆圓陸角

版次 中華民國67年8月初版
中華民國70年1月2版

學校及團體用書請向本社直接洽購

利用本社郵政劃撥18247號購書九折優待

同業門市用書請向台北市重慶南路一段69號文笙書局批購

譯者序

十八世紀英人瓦特發明蒸汽機，由於機器代替了大量的人工，促使產業興起了一次工業革命，由落後的農業、手工業時代進展到完全機器化、自動化的工業時代。由於機器大量的應用，使得人類的生活更為舒適。然而機器僅是代替了人力而已，當遇到煩雜的智慧問題時，仍需由人類自己來解決。

計算機的發明可說是科技史上的一大創舉。由於它能以驚人的速度和極正確的方法來解決一些智慧問題，如數學運算，飛彈彈道曲度、邏輯判斷等，故計算機可代替人的腦力；所以有人稱計算機的發明為第二次產業革命，因它能節省人類思維的時間。

自 1971 年 *Intel* 公司推出第一架的 *Intel 4004* 微處理機之後，整個世界的科技成就又向前邁進了一大步，因為它將整個 *CPU* 制作在一塊 *LSI* 上面，由於 *IC* 的大量生產，使得它的價格降低到非常的低，因而有助於微處理機的大量應用。且由於微處理機有傳統計算機的優點，而無它昂貴價格的缺點，故未來電子界將為微處理的天下。

本書是就 *Malvino* 博士所著的 *Digital Computer Electronics* 所翻譯而成，實為進入微處理機的最佳基礎讀物。第一至第七章包括在微處理機、微計算機所應用到的基礎電路，如正反器、記錄器、記憶器等。而第八章則為 *SAP-1* 教育用途的計算機，此為最簡單的計算機，其內包括硬體（電路）和軟體（程式）的解說。雖然它只是略具計算機的模型，但它則包括了計算機應有的概念。若你能確實瞭解 *SAP-1*，則你就可進入到 *SAP-2*。

SAP-2 計算機和 *SAP-1* 相類似，但 *SAP-2* 比 *SAP-1* 多

了一個跳接指令，使它的用途和計算能力增加了許多。

SAP-3可算是較接近微計算機和微處理機的一種。若你對SAP-3能確實的了解，則你就可進入微處理機的領域。此章將告訴你如何以一個計算機來代替雜亂邏輯(*random logic*)的設計，如何複程式規劃等。

本書在翻譯時，承蒙好友黃玉麗的鼓勵，僅在此致謝。同時，尤要感謝的是胡熙慶教授的幫忙和鼎力支持及雲陽出版社諸同仁的協力合作，使本書能順利的出版。

由於譯者本身學識疏淺，更因沒有統一的譯名以爲依據，因此書中難免有不妥及疏忽之處，望祈海內外高明之士，賜予指教，以爲爾後再版時之修正。

譯 者 曾 炎 盛

中華民國六十七年六月

謹識于台北 公館

原序

在我研讀好幾百本有關計算機的書後，我發現這個世界上還須要一些。設計家已經給我們一千個以上的計算機結構，*IC* 技術因開始使用 *TTL*，*ECL*，*CMOS*，*I²L*，故加速了數位的發展。且在目前，微處理機像電晶體一樣，在教育上和工業上產生了相同的革新方式。因全部雜碎的資料，混淆的文獻，使我更堅信，須有一本較新的書籍，且此書籍能刪除古老的觀念，使要旨較為清楚，並且有更進一層的認識。

這本書對計算機來講是一般性的介紹，但對微處理機來講則為特別的介紹。前幾章包括數位理論和裝置，後幾章則將這些理論應用到巴士組合計算機。儘可能的，我會引導討論至最新的潮流——微處理機。

此書為大學、社區學校、和技術學院的基礎課程。你儘可能在早一點的課程上學習到，因它所需的僅為直流——交流理論，和二極體及電晶體的基礎知識而已。我建議使用此書于技術員課程的第一或第二年，及工程師課程的大二或大三皆可。第一章到第九章能提供一般學校有一個較深刻的計算機介紹。第十章到第十二章則對一些高級學校能有一個較深度及較廣泛的範圍。

甚至你是一個大學畢業生，你也可以在此書中得到很多心得，若你對小型計算機的動作不清楚，若你感覺到某些東西阻礙你對微處理機的理解，或你對整個計算機的東西不能組合起來，則此本書便是你最為需要的。

為何我想這是一本好書呢？因為瞭解計算機的動作是一回事，寫它又是另一回事。甚至雖然我對一個觀念有深刻的瞭解，但往往

需要好幾個禮拜的奮鬥，才能以正確的字句或圖形來寫下此觀念。我保證此書的解釋能儘可能簡單和明瞭。

這並非代表此書非常容易，它的意思是當可使用簡單解釋時，你決不會看到一個煩雜的說解。它的意思是每一個論題的研討則不會比它難。它的意思是此書為你自我的旅行，而不是我的旅程。當一個作者能以此方法著作，則讀者該是很容易了解的。

為消除一些疑雲起見，我附加了一個稱為 *SAP* (儘可能簡化 *simple-as-possible*) 的教育計算機。對一個初學者的設計來說，*SAP* 對計算機的理論就如理想電晶體對半導體理論一樣。它能夠給你一個很堅固的基礎，且它能讓你同化新的觀念，因你會立刻瞭解它們也能應用於真正的計算機，若你能瞭解一個新的觀念如何在 *SAP* 上工作，你也會很容易知悉，此觀念如何應用到別的計算機上面。

千萬別讓“*SAP*”這名稱愚弄了你。在設計這個教育計算機之前，我研究了非常多別的計算機，特別是現代最流行的微處理機。除掉寬廣的差別不談，我儘可能將大部份的特徵皆摘要包括在現代的商業微處理器上面。在我的看法來講，*SAP* 包括了大多數的硬體和軟體，且對一位初學者在它的基礎課程上，皆能充份吸收。因本書是循序漸近，從數學到微程序。

若遵照此種方法，當你讀完此書之後，你會比大多數大學畢業的工程師及技術員對計算機基礎有一個更深更好的瞭解。在你有此種基礎之後，你就可以學習更高深的主題，且可以對現在使用的微處理機，微計算機、大型計算機做更深入的研究。

Albert Paul Malvino

目 錄

第一章 二進位數字

1—1	十進位計程表.....	1
1—2	二進位計程表.....	3
1—3	數碼.....	5
1—4	為何使用二進位數字.....	7
1—5	二進位至十進位轉換.....	14
1—6	十進位至二進位轉換.....	16
	問題.....	20

第二章 邏輯電路

2—1	反相器.....	24
2—2	或閘.....	26
2—3	及閘.....	30
2—4	布倫幾何.....	35
	問題.....	45

第三章 推廣的邏輯電路

3—1	反或閘.....	53
3—2	戴模根第一定理.....	56
3—3	反及閘.....	59
3—4	戴模根第二定理.....	62
3—5	互斥或閘.....	64

2 目 錄

3—6	控制反相器	72
3—7	互斥反或閘	75
	問題	78

第四章 數學電路

4—1	二進位相加	85
4—2	列與列相加	88
4—3	半加器	92
4—4	全加器	93
4—5	二進位加法器	95
4—6	加記號二進位數字	98
4—7	2 的補數	100
4—8	2 的補數數碼	104
4—9	2 的補數加法器 / 減法器	110
4—10	數學邏輯單元	114
	問題	116

第五章 正反器

5—1	RS 正反器	123
5—2	D 正反器	127
5—3	邊緣觸發 D 正反器	129
5—4	JK 正反器	134
	問題	137

第六章 記錄器

6—1	緩衝記錄器	145
6—2	移位記錄器	148
6—3	控制移位記錄器	151
6—4	鏈波計數器	154

6—5	同步計數器.....	158
6—6	環計數器.....	161
6—7	三態記錄器.....	166
6—8	巴士組合計算機.....	173
	問題.....	176

第七章 記憶器

7—1	僅讀記憶器.....	187
7—2	記憶器位址記錄器.....	199
7—3	隨機存取記憶器.....	205
7—4	記憶器資料記錄器.....	209
7—5	十六進位數字.....	214
7—6	十六進位轉換.....	217
7—7	十六進位位址.....	220
	問題.....	225

第八章 SAP - 1

8—1	結構.....	233
8—2	指令裝置.....	238
8—3	程式規劃.....	242
8—4	提取週.....	248
8—5	執行週.....	251
8—6	控制單元.....	260
8—7	時訊電路.....	264
8—8	摘要.....	267
	問題.....	270

第九章 SAP - 2

9—1	結構.....	277
-----	---------	-----

4 目 錄

9—2	記憶體參考指令.....	282
9—3	跳接指令.....	285
9—4	操作指令.....	293
9—5	指令解碼器.....	305
9—6	跳接電路和 <i>JMS</i> 旗號	306
9—7	控制矩陣.....	310
9—8	控制單元.....	314
	問題.....	315

第十章 *SAP-3*

10—1	港埠.....	321
10—2	雙向記錄器.....	322
10—3	頁 - 段 - 字位址.....	324
10—4	<i>IPL</i> 數元	328
10—5	堆層.....	330
10—6	結構.....	337
10—7	<i>MRI</i> , 跳接和跳過	340
10—8	操作指令.....	347
10—9	混合指令.....	350
10—10	指令裝置.....	357
	問題.....	358

第十一章 微程式規劃

11—1	計算機之內的計算機.....	365
11—2	微常式.....	368
11—3	<i>CON</i> 結構	370
11—4	雙工器和解雙工器	375
11—5	巨指令解碼器.....	379
11—6	<i>SAP-3</i> 微程式.....	382

11 — 7	場解碼器.....	386
11 — 8	CON 計算機	392
11 — 9	可變機器週.....	395
11 — 10	超過 SAP - 3.....	400
	問題.....	401

第十二章 程式規劃

12 — 1	人工裝載.....	407
12 — 2	鞋帶裝載.....	412
12 — 3	相乘.....	418
12 — 4	相除.....	419
12 — 5	二進位小數.....	421
12 — 6	固定小數點.....	424
12 — 7	浮動小數點.....	427
12 — 8	雙準確性.....	428
12 — 9	BCD 數字	431
12 — 10	BCD 至二進位演算法.....	435
12 — 11	BCD 至二進位副常式	438
	問題.....	444

單數習題解答	451
--------------	-----

索引.....	455
---------	-----

第一章

二進位數字

計算機並不是以我們平常所使用的十進位數字工作，因它的電路很難制作。

若計算機不能處理十進位數字，那麼它們以什麼來工作呢？二進位數字！

你自己準備好，以免震驚。二進位數字是奇怪的，至少是它第一次的出現。但於你學習計算它們，且將它們轉換成十進位之後，你會知道，它們是非常有用的。

1—1 十進位計程表

笛卡爾 (*Descartes*) (1596 — 1650) 曾說過，學習一件新事項的方法是從已知進展到未知，從簡單推展到煩雜，讓我們來嘗試它。

已知

每一個人皆曾看過一個計程表（指示里數）動作過，當一個車子是新的，它的計程表皆為零：

00000

2 數位計算機電子學

在一里之後，讀數變成：

00001

（忘記關於小數點部份的里數），連續的里數為 00002, 00003
……繼續下去，直至：

00009

在第10里底端有一個很熟悉的事情發生。當個位輪從9轉回至0，此輪的附片會於機械上強迫十位輪進一位，此為數字為何改變的原因，現為：

00010

復置和進位

個位輪剛剛復置 (*reset*) 至0，且送一個進位 (*carry*) 至十位輪，我們稱此熟悉的動作叫復置和進位。

別的輪子也有復置和進位作用，在999里之後，計程表顯示為：

00999

下一里之後該如何呢？個位輪復置且進位，十位輪復置且進位，百位輪復置和進位，千位輪進一位，為：

01000

數位

每一個計程表輪上的數字稱為數位 (*digit*)。十進位數字系統使用10個數位，從0到9。在一個十進位計程表，每次當個位輪走完所有的數位，它就復置至0，且送一個進位至十位輪。當十位輪走完所有的數位，它就復置至0且送一個進位至百位輪，剩下的輪子也照此方式繼續下去。

1—2 二進位計程表

二進位 (Binary) 意即 “2” 的意思。二進位數字系統僅使用二個數位，0 和 1。而全部剩下的數位 (2 到 9) 則予以拋棄。

一個非平常的計程表

要先清楚瞭解二進位計程表它的輪子僅有兩個數位，0 和 1。當每一個輪子轉動時，它顯示 0，後再 1，再回至 0，這樣週期循序下去。因每一個輪子僅有兩個數位，我們稱此非凡裝置為一個二進位計程表。

復置和進位的觀念也能應用於一個二進位計程表。當一個輪子從 1 轉回至 0，它就機械強迫更高的輪子進一位。換句話說，當一個輪子轉完所有的數位，它就復置和進位。

在一輛車子，一個二進位計程表會如下計算。當車子是新的，計程表為全部都是 0：

00000 (零)

在 1 里之後，它的指示為：

00001 (壹)

下一里強迫個位輪復置和進位，所以數字變成：

00010 (貳)

三里的表示為：

00011 (叁)

在 4 里之後有什麼事發生呢？個位輪復置和進位，第二個輪子

復置和進位，第三個輪子進一，變成：

00100（肆）

連續里數產生：

00101（伍）

00110（陸）

00111（柒）

8 里之後，個位輪復置和進位，第二個輪子復置和進位，第三個輪子復置和進位，第四個輪子進一位，結果變成：

01000（捌）

第 9 里爲：

01001（玖）

第 10 里產生：

01010（拾）

（你自己嘗試能否多做出一些數字來）。

現你必須有一個觀念。每一里使得個位輪進一，當個位輪走完它的數位，它就復置和進位。輪流下去，若第二個輪子走完所有的數位，它復置和進位，且別的輪子也照此方式循序而進。

二進位數字

一個二進位計程表顯示二進位數字，即 0 和 1 的數群。00001 代表一，00010 代表二，00011 代表三，繼續下去。

當參與到大數目的時候，二進位數字會變得很 大。例如，01000 代表 8，01001 代表 9，01010 代表 10，沒有任何人會喜歡使用二進位數字，除非我們被迫使用。這正是當我們進入計算機分

析所碰到的事，我們被強迫使用二進位數字。為何？因為像二進位計程表一樣，計算機電路以二進位數字來計算和工作。

最後一點，當一個十進位計程表為 00314，我們必須去掉前面的零，而讀成此數為 314。相同的，當一個二進位計程表指示為 00111，我們也同樣能去掉前面的 0，而讀成 111。因前面的 0 省略掉，二進位數字就為 0, 1, 10, 11, 100, 101……如此繼續。為避免和十進位數字混淆，閱讀二進位數字如下：零，壹，壹零，壹壹，壹零零，壹零壹……等。

1--3 數碼

人們時常以鵝卵石來計算，壹、貳、叁原來是·，·，·，·，當數字較大的時候，情況較糟，例如柒為·····。

它可能是為偷懶起見，或許是一個較高的動機，但事實上是某些人發明了十進位數碼，如表 1-1 所示。它在現在來講雖是很老的觀念，但在那個時代却是一項革新，1 代表·，2 代表··，3 代表···，如此等，此為最先的數碼。像代替使用十進位數位，我們使用二進位數位，二進位的 1 代表·，二進位 10 代表··，二進位 11 代表···，如此繼續，如表 1-1 所示。

表 1-1 數 碼

二進位	十進位	鵝卵石
0	0	沒有
1	1	·
10	2	··
11	3	···
100	4	····
101	5	·····
110	6	·····
111	7	·····