

610007

M. 摩 利 斯 • 曼 諾 著
陳 昌 甫 譯

計 算 機 系 統 結 構



協 志 工 業 叢 書

M. 摩 利 斯 • 曼 諾 著
陳 昌 甫 譯

計 算 機 系 統 結 構

COMPUTER SYSTEM ARCHITECTURE

M. MORRIS MANO

Professor of Engineering
California State University, Los Angeles

PRENTICE-HALL, INC., Englewood Cliffs, New Jersey

COMPUTER SYSTEM ARCHITECTURE

COMPUTER SYSTEM ARCHITECTURE

Copyright © 1976 by Prentice-Hall, Inc.
Englewood Cliffs, N. J., U. S. A.

Original English edition published by Prentice-Hall, Inc.

Chinese translation rights held by
Hsieh Chih Industrial Library Publishing Co.
40 Chung-shan North Road Sec. 3
Taipei, Republic of China

PRENTICE HALL, INC., Englewood Cliffs, New Jersey

譯 序

計算機越來越便宜，使各行各業競相利用，造成製造生產偏向於完全自動化，資料也藉以自動收集、整理、研判，測試與設計更需要計算機的協助，以提高績效。甚至，日常生活也相繼介入電子計算機的自動控制化或模擬或消遣。我們政府有感計算機之日益重要，也大力倡導計算機國產化。生產計算機系列產品或附屬品、應用品，是我們發展精密電子業進軍世界必經之路。尤其是在微處理器與微算機出現以後，計算機系統被當成特殊用途的邏輯電路使用，以致計算機結構變成今日科學家與工程師們切身必備的知識。

要設計、生產、應用計算機，就得了解其各項機能的特性。曼諾教授所著的“Computer System Architecture”對計算機系統結構，有充分簡潔地說明，並且有其相當高的實用性。該書很適合做計算機設計、計算機結構、計算機組織等方面的教本及自修的參考資料。該書由淺入深論及計算機的設計方法、結構、組織，是很難得而又完整的一本好書，故予以譯成中文以供同好共同參考研究。

本譯本中，英文縮寫字未予譯出，因為它們本身都已變成今日通用的代號，此外，使用原縮寫字也比較簡潔。但是為了便於查閱，譯者特別把它們列於書末附錄中。

同事彭錦淮先生對本書譯稿的試讀，內人吳秋霞女士對譯稿的整理與生活上的照顧，以及家人的勉勵，亦在此一併深致謝意。

本書倘有錯誤之處，尚祈賜教、指正。

陳昌甫謹識于台北

一九七九年五月

原 序

計算機結構這個名詞通常都是指數位計算機的組織與設計。這個主題牽涉到負責計算機系統硬體設計的計算機工程師，以及與硬體有關之軟體系統設計的計算機科學家。計算機系統包括硬體與軟體系統。系統的硬體部門由實際的零件與所有的輔助設備所組成。系統的軟體部門由許多作業程式所組成，這些程式將使計算機的運用更為有效率。本書絕大部分在探討計算機系統的硬體觀念，但是我們也沒有忽略在計算機結構上所牽涉到的軟體。

計算機結構基本上是由積體電路（IC）方塊所組成。中型積體電路（MSI）的裝置提供許多現成的數位函數，而大型積體電路（LSI）的裝置則給我們完整的計算機模板。這些裝置所提供的最重要特性就是它們都包裝在非常小的體積內。由於MSI與LSI的出現，使得計算機結構的體積縮小很多，也使得設計工程師能自由創造那些以往不實際且不經濟的結構。對於做一個計算機設計者而言，熟悉通常所遇到的各種積體電路數位函數是很重要的。由於這個理由，本書介紹了三十種以上的MSI與LSI函數，並且我們也解釋它們內部與外部的特性。

IC數位函數之間的內部連接，最好以暫存器轉移語言的符號來描述。本書也開發一套這樣的語言，並且也詳細說明它對數位計算機硬體組織與設計的關係。我們常在各種場合使用暫存器轉移語言，以便能以簡潔而且正確的方法，來描述各種的計算機操作。

研讀本書最重要的先決條件，就是要有技術上或科學上的基礎，以及學習數位計算機內部組織的興趣。讀者也應該有一些數位系統的基本知識，以便獲得所描述的一些硬體觀念。有一些機器語言或

高級計算機語言的程式計劃經驗，也可加強軟體觀念的了解。

本書的安排，首先說明一些較簡單的材料，然後，再介紹更深的主題。首先六章的材料，是了解簡單的數位計算機組織、設計、程式計劃所必要的知識。後面六章的材料，描述數位計算機個別的作用部門，它將加強前六章未介紹過而且更深的主題。

第一章介紹以各個閘與正反器來設計數位系統所必需的基本知識。它包括布林代數、組合電路與時序電路。爲了使本書保持在合理的範圍內，我們必須把本主題的討論限制在一章的導論內。這種安排是正當的，因爲我們使用積體電路來代替各個閘與正反器時，數位計算機的設計重點就不一樣了。第一章所包括的材料，對了解我們所描述的數位系統而言，已足以供給我們必要的基礎。

第二章首先說明積體電路的一般特性，然後詳細地介紹一些最基本的MSI 函數，如暫存器、計數器、解碼器、多元調節器、RAM、ROM 等。在以後的各章內，我們將利用這些數位函數來設計更大的單元。最後一節包括一個參考表，以列出本書其他地方所介紹的二十種以上的其他MSI 與LSI 函數。

第三章描述數位計算機中所用的各種數據型式，並且說明如何以二進式把它們表示於計算機的暫存器內。本章加強說明算術運算中之數的表示方法，以及把符號表示成二進碼的方法，如使用在資料處理中的字元字母，與使用在特殊應用中的其他抽象符號。

第四章定義暫存器轉移語言，並且說明如何使用它來以符號的方式表示數位計算機暫存器間的微操作順序。我們定義了算術、邏輯與移位微操作的符號，並且也定義產生微操作的控制函數符號。我們也詳細說明如何利用各種符號與暫存器轉移敘述來實現硬體的方法。

第五章描述基礎數位計算機的組織與設計。雖然基礎計算機比商業上的計算機系統簡單得很多，但是它的作用能力已足夠說明通

用計算機儲存程式的功能。本章使用暫存器轉移語言定義計算機內部的操作，並描述設計時所需的條件。

第六章利用第五章所定義之基礎計算機的二十五個指令，來說明程式一部計算機通常所用的許多技巧。我們以符號碼的型式，舉許多有關基本資料處理的程式計劃例子。我們也以例子來說明二進式程式，符號碼程式與高級語言程式間的關係。這使我們知道需要一些翻譯程式，如組合程式與編譯程式。我們也描述組合程式與其他系統程式的基本作用。本章的目的就是在介紹計算機軟體的基本觀念，但不介紹太深。軟體原理的知識配合硬體的介绍，將使讀者對包括硬體與軟體的整部計算機系統有整體的觀念。

第七章討論數位計算機的中央處理單元（CPU）。我們描述巴士結構式的CPU，並且分析算術邏輯單元（ALU）。二進制與十進制的算術單元都包括了。我們也說明各種指令碼格式與定址的技巧，並且也藉著一些應用事例來說明記憶體堆疊的結構。最後一節介紹微處理器。基本上，它就是把CPU包裝在一片或數片IC內。微處理器的發展已革新了計算機的技術，雖然本書並不是專門在探討微處理器，但是我們將提出了解它們的操作所必要的基本觀念，並且給讀者一些技術上的基礎，以便利用製造廠商的參考手冊研究各種微處理器。

第八章介紹微程式計劃的觀念，我們開發了一個特別的微程式式的控制單元，以便利用例子來說明如何產生計算機指令集的微程式碼。本章也討論使用控制記憶體來產生控制函數的許多方法，以及決定微指令位址順序的方法。最後一節討論微程式計劃的優點與應用。

第九章專門介紹算術處理器的設計。本章介紹正負號大小表示法的定點二進式加法、減法、乘法與除法的演算法。然後利用暫存器轉移語言設計算術處理器，並且把算術處理器的結構與第五章所

設計的計算機連起來。本章也定義二進式的計算器，並且利用它來說明算術運算微程式化的方法，然後我們再比較同一運算的硬體接綫控制式的實現法與軟體的實現法。

第十章描述其他的基本算術演算法。我們開發了一些演算法，以操作正負號 2 補數的二進制數據、浮點數據、十進制數據、與十進制對二進制的轉換及二進制對十進制的轉換。我們以流程圖來描述演算法，並且使用暫存器轉移語言，來指定實現該演算法所需的微操作順序與控制判斷。

第十一章說明一些常用的輸入與輸出裝置的作用。我們也解釋處理器與 I/O 裝置間需要界面的原因，並且也說明可採用的各種 I/O 控制式的轉移方法。我們舉出特別的例子，說明不同步串聯轉移與直接出入記憶器（DMA）所需的界面。其它尚包括優先序中斷、I/O 處理器與資料通訊處理器。

第十二章介紹記憶器體系的觀念，它由主記憶器與輔助記憶器如磁碟、磁鼓、磁帶所組成。本章說明記憶器巴士組織的各種結構，並且也詳細描述結合記憶器的內部組織與外端的操作方法。最後，我們透過虛構記憶系統的硬體要求的說明，介紹記憶器管理的觀念。

每一章都有一組習題與參考文獻。習題中的一些題目，是供練習該章所牽涉的材料之用；其他的題目則較具挑戰性，我們利用它們來加強讀者實際解決數位計算機與系統各方面所遇到之問題的經驗。教師可向出版者索取解答手冊。

本書適合於電機或計算機工程系計算機設計課程之用。也可用於計算機科學系之計算機組織課程。本書也適合想認識積體電路函數，與想了解計算機結構基本與進階觀念的計算機工程師與科學家自習之用。

非常感謝內人對整個原稿的修改，並提供增加原文可讀性的改進建議，此外，在寫作本書期間，給予作者的鼓勵與支持。

M. 摩利斯·曼諾

目 錄

38	譯 序	3-8
88	原 序	3-8
90	第一章 數位邏輯電路	3-8
101	1-1 邏輯閘	1
121	1-2 布林代數	6
131	1-3 畫圖化簡法	9
142	1-4 組合電路	18
151	1-5 正反器	25
161	1-6 時序電路	32
178	1-7 結 論	42
181	參考文獻	42
192	習 題	43
201	第二章 積體電路與數位函數	4-2
211	2-1 數位積體電路	47
221	2-2 IC式正反器與暫存器	55
231	2-3 解碼器與多元調節器	61
241	2-4 二進制計數器	66
251	2-5 移位暫存器	72
261	2-6 隨機出入式記憶器	77

2-7 僅讀記憶器.....	85
2-8 IC 數位函數參考表.....	88
參考文獻.....	90
習 題.....	91

第三章 數據的表示法

3-1 數據的型態.....	95
3-2 定點數表示法.....	104
3-3 浮點數表示法.....	111
3-4 其他的二進碼.....	114
3-5 偵錯碼.....	118
參考文獻.....	121
習 題.....	121

第四章 暫存器的轉移與微操作

4-1 暫存器轉移語言.....	126
4-2 暫存器間的轉移.....	128
4-3 算術微操作.....	139
4-4 邏輯微操作.....	145
4-5 移位微操作.....	156
4-6 控制函數.....	159
4-7 結 論.....	165
參考文獻.....	166
習 題.....	167

第五章 計算機組織與設計簡介

5-1 指令碼.....	172
--------------	-----

5-2	計算機的指令	176
5-3	定時與控制	181
5-4	指令的執行	188
5-5	輸入輸出與中斷	196
5-6	計算機的設計	203
5-7	結 論	209
	參考文獻	210
	習 題	211

第六章 計算機的軟體

6-1	簡 介	215
6-2	程式計劃語言	217
6-3	組合語言	222
6-4	組程式	227
6-5	程式的迴圈	234
6-6	算術與邏輯運算的程式計劃	238
6-7	副常式	245
6-8	輸入輸出的程式計劃	251
6-9	系統的軟體	258
	參考文獻	268
	習 題	268

第七章 中央處理器的組織

7-1	處理器的巴士組織	274
7-2	算術邏輯單元	278
7-3	傳送延遲	285
7-4	十進制的算術單元	293

X 計算機系統結構

7-5 CPU 的指令與格式	300
7-6 堆疊的組織	309
7-7 LSI 微處理器	320
參考文獻	329
習題	330

第八章 微程式的控制結構

8-1 控制記憶器	338
8-2 位址的定序	341
8-3 微程式範例	348
8-4 控制位語的格式	356
8-5 定時的考慮	364
8-6 軟體的輔助	366
8-7 優點與應用	369
參考文獻	373
習題	374

第九章 算術處理器的設計

9-1 簡介	378
9-2 不含正負號之二進數的比較與相減	379
9-3 加與減的演算法	385
9-4 乘的演算法	389
9-5 除的演算法	393
9-6 處理器的結構	400
9-7 控制的設計	404
9-8 微程式型的計算器	408
參考文獻	419

習 題.....	420
----------	-----

第十章 算術演算法

10-1 簡 介.....	424
10-2 加法的超上限.....	426
10-3 乘法與除法.....	429
10-4 浮點算術運算.....	435
10-5 十進制的算術運算.....	447
10-6 十進制與二進制間的轉換.....	455
10-7 結 論.....	462
習 題.....	463

第十一章 輸入輸出部的構造

11-1 周邊裝置.....	470
11-2 I / O 界面.....	474
11-3 不同步的串聯式界面.....	482
11-4 直接出入記憶體.....	489
11-5 有優先序的中斷.....	493
11-6 周邊處理器.....	503
11-7 資料通訊處理器.....	509
參考文獻.....	517
習 題.....	517

第十二章 記憶體組織

12-1 記憶體體系.....	521
12-2 輔助記憶體.....	524
12-3 記憶器的巴士結構.....	528

XII 計算機系統結構

12-4	結合記憶器.....	532
12-5	虛構記憶器.....	539
12-6	結 論.....	547
	參考文獻.....	548
	習 題.....	549

附錄：英文符號、縮寫字意義對照表	552
------------------------	-----

索 引	559
-----------	-----

1-1	圖表概圖.....	1-1
1-2	圖表O\I.....	1-2
1-3	圖表失傳串流.....	1-3
1-4	圖表輸入輸出.....	1-4
1-5	圖表中的表式.....	1-5
1-6	圖表與圖表.....	1-6
1-7	圖表與圖表.....	1-7
1-8	圖表.....	1-8
1-9	圖表.....	1-9

圖表與圖表 章二十第

1-1	圖表與圖表.....	1-1
1-2	圖表與圖表.....	1-2
1-3	圖表與圖表.....	1-3

73.87
82

第一章 數位邏輯電路

1-1 邏輯閘

數位計算機，就如它的名字所暗示的，是實現各種計算工作的一種數位系統。數位（digital）這個字暗示著：計算機所用的信息是取有限個的離散或定量之值的變數來表示。這些值是由能保持有限個分離狀態的零件來加以處理。例如，十進制的數位 0、1、2、…、9 提供了十個分離的數。實際上，如果僅僅使用二種狀態，則數位計算機能工作得更可靠。由於零件自然的限制，而且也由於人類的邏輯傾向於二元（亦即：真或假，是或否的敘述），把限制於採用離散值的零件，更進一步地限制它僅採用兩個值，如此的零件就稱為二元的零件。

數位計算機使用二進數系統，而有兩種數位：0 與 1。一個二進數位稱為一位元（bit）。在數位計算機內所表示的信息，是以成組的位元來表示。利用各種編碼的技巧，一群位元不僅能用來表示二進數，並且也能表示任何其他的離散符號，如十進制數位或字母。藉著巧妙地安排二進位，及使用各種的編碼技巧，我們就能利用二進制數位或一群位元，來開發一完整的指令集，以實現各種形式的計算。

二進數和一般以 10 為底之系統的十進數相似，但它採用以 2 為底的系統。例如：二進數 101101，能以 2 為底的一整數乘幕來乘每一位元，而轉變成十進數的量來表示：

$$1 \times 2^5 + 0 \times 2^4 + 1 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0 = 45$$

2 計算機系統結構

這六位元 101101 表示一個二進數，且相當於十進制的 45。然而這個六位元的組合，也能表示為字母中的一個字母的二進碼，或在特殊的數位系統中，用以指明一些判斷邏輯的控制碼。換言之，數位計算機中的一組位元，可用來表示許多不同的事件。此觀念就相似於字母中的一些字，可用在不同的語言中，如英語或法語。

在數位系統中，二進的信息是以稱為信號的自然量來表示。電的信號，如電壓，以兩個可辨認之值中的任一個值，存在整個數位系統中，並且用以表示二進變數之為 1 或 0。例如：一個特殊的數位系統，能利用 3 伏的信號來表示二進制的 1，而以 0.5 伏表示二進制的 0。就如圖 1-1 所示，每一個二進值都有一個可容許變化的寬限範圍。在兩個容許區域之間的中間區域，僅僅在狀態轉變時，才會經過。數位電路的輸入端，在允許的寬限範圍內，接收二進信號，並且在某輸出端，以在指定寬限範圍內的二進信號，反應結果。

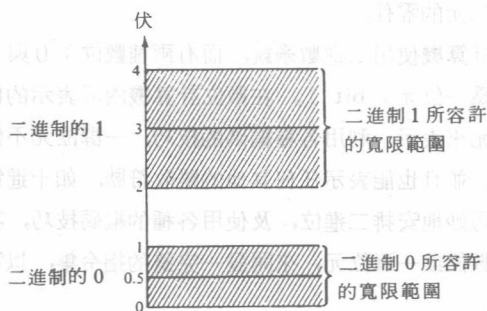


圖 1-1 二進信號範圍

二進邏輯討論二進變數及邏輯的運算。它以代數或表格的形式，來描述二進信息的操作及處理。二進信息的操作，是由稱為閘(gate)的邏輯電路來完成。閘是在輸入邏輯的條件符合時，產生二進的 1 或 0 的信號的硬體方塊。我們通常都可在數位計算機系統中，發現