

679229

科學技術用書

數位計算機基本工學

*Introduction to
Digital Computer
Technology*

Louis Nashelsky 著

李宇剛 曾偉仁 譯著

復漢出版社印行

679229

科學技術用書

數位計算機基本工學

*Introduction to
Digital Computer
Technology*

Louis Nashelsky 著

李宇剛 曾偉仁 譯著



復漢出版社印行

版 權 所 有
翻 印 必 究

元 元 平 精 B
稜 稜

六十四年七月出版

數位計算機基本工學

原著者：Louis Nashelsky

譯著者：李 宇 剛·曾 偉 仁

出版者：復 漢 出 版 社

地址：台南市法華街一一三號
郵政劃撥三一五九一號

發行人：沈 岳 林

印刷者：國 發 印 刷 廠

地址：台南市協和街一六五號

打字者：克 林 打 字 印 刷 行

地址：台南市民族路新美街三〇號

本社業經行政院新聞局核准登記局台業字第〇四〇二號

序

因為數位計算機理論一書（這便是本書的依據藍本）是在1966年出版的。然而數位計算機界卻已經有了可觀的改變，所以有再修訂增編一本書的必要。積體電路（IC）包括已被廣泛應用的中型積體（MSI）與鉅型積體（LSI）電路，已經改變了數基電路的構築方式。數位計算機技術概論包含了最新的材料。有些項目已經修訂過了，但基本性質仍舊未變。

令人吃驚的一件事是第一本教本的基本材料在經歷了這些年之後仍然適合今天的需要。而這本新書是應數種不同的因素而生。第一，基於本人用舊教本的教書經驗以及其他老師們的經驗，舊材料在這新教本中被更適當地重新組織與推廣了。第二，在某些重要的課題中很多有益的附加材料——例如，邏輯設計與記憶系統——也包括在本書討論範圍之內。第三，有必要加上積體電路的材料。

我保留了各節基本的原始組織，如計算機電路，計算機單元。這基本節涵蓋了基本數字系統，機械語言程式計劃，基本計算機碼，以及Boolean代數。計數機電路這方面分開在不同的章內討論，有邏輯電路與個別的和IC的形式之多諧振盪器電路兩章。邏輯電路包括了AND, OR, NAND, 以及NOR閘。計算機多諧振盪器電路包括了兩定（或跳擺），獨定（或單擊）以及隨定（或時鐘）電路，還有Schmitt觸發電路。討論計數器與數值轉移寄存器的那一章強調的重點在IC電路之使用。計算機單元這方面的討論包括了計算機定時與控制，記憶單元，算術單元，以及計算機輸入/輸出（I/O）單元。

和第一本教本一樣，這本書提出了為數極多的例子，這些例子可以使學生把握住該章中的重點。練習被放在該章內恰當的位置，而習題（是該章的重點測驗）放在每章的末尾。練習和習題可以讓教師在教授一章的期間拿適當的練習題令學生做，教完一章規定學生做習題。部分習題的答案列在本書的後面。不過教師可以要求列出解題的過程。

本教本也一併列舉了很多照片和插圖以幫助學生瞭解其理論。

本書有三方面足夠的教材，其中某方面需要嚴加學習，或者某方面已在先修課程中學過了。例如，當數位計算機電路已在別的課程中討論過了，在計算機基本法則和計算機單元仍然有足夠的材料上一學期的課。如果只有一堂課被用來對計算機作個概念的介紹，那麼第一章至第五章的基本法則，第七章至第九章計算機電路的一部分，第十章至第十三章計算機單元的一部分可以合併濃縮為一節課的講授材料。當使用了很多課程來講授時，計算機電路，以及計算機單元都可以提出加討論，全部的教材都可以使用上。

實際上本書中的材料數量，以及安排的順序是適合於兩年制專科課程或較詳盡的計算機技術課程之用。本教本亦可作為四年計算機課程的補充教材（尤其是基本法則和IC 材料）；或基本法則和電路方面的材料可被用在高等工業學校的課程上。

我要感謝那些提供我書中所使用的插圖的公司，rnational Business Machines Corporation 提供了很多的插圖與照片，它們被用在好幾章內（特別在十三章）。Digital Equipment Corporation, Control Data Corporation, Hazeltine Corporation, DIGIAC Corporation, Honeywell Corporation, 以及Burroughs Corporation 等亦提供了很多精美的照片給我。

我尤其要感謝Professor Joseph B. Aidala, Chairman of the Electrical Technology Department of Queensborough Community College, 他不斷地給我鼓勵與支持。我也感謝Mrs. Doris Topel 以及 Mrs. Sylvia Neiman, 她們將原稿打字得好極了。

Great Neck, New York, 1972

Louis Nashelsky

作者簡介

本書原著者 Louis Nashelsky, 紐約州立大學 Queensborough 聯合學院電機系教授，對計算機研究精深，曾於 1966 出版過一本“數位計算機理論” (Digital Computer theory)。

數位計算機基本工學/目次

序

第一篇 基本法則Fundamentals 1

第1章 概論Introduction 3

§ 1-1 通 論 3 § 1-3 數位 計算機系統 5

§ 1-2 歷史背景 4

第2章 數字系統Number systems 10

§ 2-1 通 論 10 § 2-6 加 法 29

§ 2-3 兩進位數字系統 11 § 2-7 兩進位之減法與

§ 2-3 八進位數字系統 19 互補運算 32

§ 2-4 十六進位數字系
統 22 § 2-8 兩進位乘法及除
法 37

§ 2-5 兩進位 - 八進位
- 十六進位之轉
換 25 題要 39

習題 39

第3章 機械語言程式計劃Machine language programing 42

§ 3-1 通 論 42 作 45

§ 3-2 記憶字 42 § 3-7 機械語言程式計

§ 3-3 數據之呈現 43 劃 45

§ 3-4 機械指示字 43 § 3-8 其他語言 57

§ 3-5 儲藏程式計劃觀
念 43 題要 57

§ 3-6 機械程式計劃操
作 45 習題 57

第4章 碼Code 59

§ 4-1 兩進位 - 寫碼表
十進位 (BCD)
碼 61

- 8421 碼 59

§ 4 - 3	碼之對等性..... 64	§ 4 - 5	Gray 碼..... 75
§ 4 - 4	超3碼,二五數元 碼和其他BCD 碼..... 68	§ 4 - 6	文數碼..... 79 題要 84 習題 85

第5章 布林代數之基本法則 **Fundamentals of Boolean algebra**..... 87

§ 5 - 1	布林代數..... 87	§ 5 - 4	邏輯設計之例子.. 117 題要..... 123 習題 123
§ 5 - 2	繼電器邏輯..... 97		
§ 5 - 3	電子邏輯閘..... 103		

第6章 進一步的邏輯技術及問題 **Advanced logic techniques and problems**..... 125

§ 6 - 1	Karnaugh 圖表 之介紹 125	§ 6 - 3	樣本設計之問題.. 139
§ 6 - 2	Karnaugh圖表 之真值表 135	§ 6 - 4	碼轉換器之邏輯 設計..... 143 習題..... 149

第二篇 計算機電路及方塊圖 **Computer Circuits and Blocks** 151

第7章 計算機邏輯閘和多協振盪器 **Computer logic gates and multivibrators** 153

§ 7 - 1	概論 Introduct - ion..... 153	§ 7 - 5	積體邏輯電路之 製造..... 192
§ 7 - 2	兩極體AND, OR 閘 154	§ 7 - 6	IC 邏輯電路..... 200 習題 219
§ 7 - 3	電晶體反相器電 路 175		
§ 7 - 4	DCTL邏輯電路..... 185		

第8章 多協振盪器電路 **Multivibrator circuits**..... 221

§ 8 - 1	兩定多振盪器電 路(跳擺).....221	§ 8 - 4	隨定多協振盪器 (CLOCK).....247
§ 8 - 2	IC 跳擺電路...230	§ 8 - 5	Schmitt 觸發 電路.....249
§ 8 - 3	獨定多協振盪器 (單擊).....237		習題.....255

第9章 計數器與數值轉移寄存器 Counter and data transfer registers256

§ 9 - 1	基本兩進位鏈波 計數器.....256	§ 9 - 5	BCD 碼計數器...291
§ 9 - 2	Modulus 計數 器.....261	§ 9 - 6	並行(時鐘)計 數器.....294
§ 9 - 3	移位和轉移寄存 器.....277	§ 9 - 7	正 - 倒計數器...298
§ 9 - 4	計數器和解碼的 方法.....287	§ 9 - 8	計數器應用.....304
		§ 9 - 9	數位計時器(時鐘)309
			題要.....312
			習題.....313

第三編 計算機單元 Computer Units315

第10章 計算機定時和控制 Computer timing and Control317

§ 10 - 1	通論.....317	§ 10 - 4	控制單元的操作...325
§ 10 - 2	定時信號.....317	§ 10 - 5	編碼和解碼矩陣...334
§ 10 - 3	Fetch-Execute 週.....323		題要.....341
			習題.....342

第11章 計算機記憶器 Computer memory.....344

§ 11 - 1	記憶器概述.....344	§ 11 - 6	磁鼓記憶器.....374
§ 11 - 2	磁蕊操作.....345	§ 11 - 7	其他的記憶器裝 置.....384
§ 11 - 3	磁蕊組織.....351		題要.....386
§ 11 - 4	磁蕊記憶器的細 節.....361		習題.....386
§ 11 - 5	磁膜記憶器.....368		

第12章 算術運算 Arithmetic operations 388

- | | |
|---------------------------------|--------------------------------|
| § 12-1 一般算術段的運算 388 | 路 401 |
| § 12-2 加法單元 - 串行和並行運算 388 | § 12-5 計算機乘法 410 |
| § 12-3 算術段中加/減法的方法 394 | § 12-6 計算機除法 416 |
| § 12-4 帶符號數字之加法器與減法器電 | § 12-7 浮動小數點與十進位算術運算 417 |
| | 題要 418 |
| | 習題 418 |

第13章 輸入/輸出裝備 Input/output equipment 419

- | | |
|----------------------------|----------------------------------|
| § 13-1 一般輸入/輸出技術 419 | § 13-8 光學 I/O 裝置 435 |
| § 13-2 打孔卡 421 | § 13-9 類比對數位 (A/D) 轉換 436 |
| § 13-3 打孔紙帶 423 | § 13-10 數位對類比 (D/A) 轉換 449 |
| § 13-4 磁帶 425 | 題要 450 |
| § 13-5 磁碟 429 | 習題 451 |
| § 13-6 高速印字機 431 | |
| § 13-7 電傳打字機 434 | |

附錄——跳擺的邏輯操作 Logic Operation of Flip-Flops 453

單數練習與習題之解答 456

第一篇

基本法則

FUNDAMENTALS

第一章 概論

Introduction

§ 1-1 通論 General

如同在數學上、科學上、和商業方面一樣，數位計算機於科技工業上也已成了很重要的工具。而計算機對社會之奧妙影響也正開始被注意。所以必須對如何使用計算機及其運算原理有一種或多或少的認識。雖然計算機器之歷史可追溯至十九世紀（假如它不為更早的話），但是現代計算機是在1930年代才相當具體，而且僅於1950年代才開始實地發展。故本體上可以說現代電子數位計算機才發展了25年。似乎不太可能在這樣一段短時間內能進展如此之大而成為科學界和商業界不可缺少的工具。毫無疑問的科技工業界之生長同時對於高速數據之過程與計算均在這一小段時間內有突飛猛進的發展。

由於“計算機”這個名字是個籠統的詞句，所以必需描述各種形式的計算機而且指明這兒所要考慮的是那些種類。大致說來，可先分為數位計算機（digital computers）和類比計算機（analog computers）。這些裝置操作上相當的不一樣。數位計算機簡單說來操作僅以ONE和ZERO表示（兩進位數字系統的兩數位），於難以置信的高速率下操縱這些數位。於現代許多種計算機中相加兩進位數字系統40個數位所需的時間少於一微秒（一秒之百萬分之一）。換句話說，計算機能在一秒鐘內做幾百萬次加法（假設它不需要進行別的資料運算）。由於能如此快速進行算術運算，數位計算機能在很短的時間內從事大量的數據計算。類比計算機，屬另外一類計算機，是於“真實狀況”（real world）下操作，也就是它處理代表物理問題之電信號和機械位置。不論是通用或是特殊用途的類比計算機都無法提供超過每秒幾百週的速率來解答問題。然而，這種慢速率並不表示類比計算機是一種差勁的裝置。假如是的話，數位計算機早已很快的取代它的職務了。事實上，每一種都在其特別應用上顯出卓越的性能來。於是這方面的不斷生長就有了進行這種所需操作的類比與數位計算機混合之形態出現的計算機。混合計算機（Hybrid computers）（這名字是說明它計算之結果特性而定的）在空氣導航和航空學之類的問題就顯得日益重要了。目前大多數之特殊用途數位計算機需要將任何之類比輸入信號轉換成兩進位之形式，然後經過計算後再將數據再轉換回類比之形式。所以無法定下數位計算機與類比計算機之區別，除非起碼對其中一個有更進一步的了解。

數位計算機也可分為兩類：一般用途或特殊用途計算機。一般用途之機器是設計能解決很多種問題之程式計劃。在幾分鐘內它就能從事醫學問題之研究，作財務簿記，研究工程設計，或與操作者下棋。特殊用途之計算機是設計於某些特定問題之範圍內，也限定只能解決這類的問題。因此通常體積較小，較便宜，在特定工作內效率較高。鍊製廠的生產控制和發射物或飛機的導航控制就是特殊用途計算機應用之兩個例子。兩種數位計算機基本構造是一樣的。所不同的地方是在某些特定部位如送數據入計算機或是供給資料出來的地方，而在操作上一般用途計算機要比特殊用途計算機有伸縮性些。

§ 1—2 歷史背景 Background History

我們開始計算機之歷史要首推 Napier 於 1642 年的計算“骨”(calculating “bones”)或是 Babbage 於 1800 年代前半時期之“分析機”(analytical engine)。現代的電子計算機卻是從 Eckert 和 Mauchly 於 1946 年在 Pennsylvania 大學所完成的 ENIAC (Electronic Numerical Integrator And Calculator)。ENIAC 那時用來作子彈道學(ballistic)的計算，它具有有限的儲藏容量，需要藉幾個開關或插頭運用來起動或從事計劃工作。然而電機計算器上一個相當的進步卻是由 Howard 大學的 Alken 於 1944 年為 IBM 公司所造的 Mark I，因為 Mark I 採用繼電器(relays)而 ENIAC 記憶和操作均以真空管電子電路來進行。

第一部用於商業界的電子計算機是由 Eckert 和 Mauchly 為 Sperry Rand 所造的 UNIVAC I，被 Bureau of Census 所採用。最早期的 UNIVAC (UNIVERSal Automatic Computer) 所啓用的基本計算機構造仍然沿用至今日。雖然 ENIAC 必須藉一固定插入形式之指示來從事計劃，UNIVAC 就有一內部儲存計劃觀念，而任何所需的計劃均能輕易進入記憶而且由計算機本身來作變更。這種新觀念的刺激可由 John Von Neumann 於 1946 年基於 Moore School of Engineering 所完成的工作在 Pennsylvania University 所作的演講詞中看出來：

“因為實施整個控制的命令是在記憶部門，故比以前任何一種控制都具有高度的彈性。真的，這機器在它的命令控制下，能得出數目（或者是命令，自記憶部門開始進行（當作數目一樣）然後再將它們回到記憶部門（回到相同的位置或其他位置不足），也就是說它能改變記憶的內容——這是它的正常做法。所以它特別地也能改變命令（由於命令在記憶部門中），——控制它操作之每一個命令。因此所有自然界常態系統均可能解決，計算機就能成功的描述任何現象同樣的也能在控制下計算它。”

ENIAC 最先的完整電子機器，很快的被好幾種不同機器所跟隨，如

EDVAC, SEAC, 及屬專類機器之一的 Whirlwind I。UNIVAC I 和 IBM 650 為第一種為生產而造之機器。這些都是使用真空管和機器語言 (machine language) 操作之第一代計算機。然後於 1950 年左右電晶體之發展影響了計算機之體積和可靠性, 即為第二代的機器。1960 年代計算機的構造變成很重要, 於是這種第三代計算機的操作系統發展成完美的地步。1970 年代第四代計算機進入市場, 在它的構造設計上 (大型積體或 LSI) 是由 IC (Integrated circuits) 來組成的, 而且操作系統也複雜多了。

一些如多處理 (multiprocessing), 多操作 (multiplex operation) 和重疊處理 (overlay operation) 的觀念使得計算機能從事更多的工作。它也容許分時操作 (time-shared operation) 而使得好幾個使用者, 在很遠的地點, 能藉著電線連接的幫助, 在同一時間下使用計算機。事實上, 第三代與第四代計算機內部運算如此之快以致於鍵盤上進入之緩慢輸入在使用者操作之際能有足夠時間運算, 因此就好像同一時間使用這機器一樣。

§ 1-3 數位計算機系統 Digital Computer System

任何數位計算機的基本部分都為輸入單元, 算術單元, 控制單元, 記憶單元和輸出單元, 圖 1-1 顯示一簡化之方塊圖指明許多計算機流程途徑。我們先考慮一個一般用途之機器; 輸入單元可以是紙帶, 打孔卡, 磁帶, 打字機 (特別採用的), 或磁碟, 上列的都是最常用的。輸入單元提供數據和指示給計算機。要改變需解決問題之形式只需供應計算機一新的指示和數據即可。輸入裝置之每一種型式均適合一特殊用途。打孔卡能包括各種的指示或數據, 其中每一種都可輕易改變。每一張卡片可用來代表一特定項目或人, 例如, 每一個學生的課程卡, 每一個用戶之電話或電費帳單, 一個公司之收益, 或某些特定項如某一公司特有之股票。打孔卡為這些用途之最有用輸入裝置之一種。然而, 要處理大量的資料時, 打孔卡顯得太慢了。磁帶能提供較快速率的輸入數據而且允許數據更新 (updated) 或儲回相同的位置。例如銀行業務即將它們的記錄存在磁帶中。而保險公司也一樣, 以此來處理商業上某些大量的資料。在處理這些顧客業務之過程, 計算機從磁帶得到輸入數據, 進行特定之運算, 然後將數據再變回磁帶上。在處理這些大量的業務時, 磁帶就用這種操作之優點。磁碟檔案非常類似於磁帶而可考慮與這段敘述相同的情形。每一種之不同細節將在輸入、輸出裝置 (第 13 章) 時再予討論。打字輸入提供一簡單方法來告訴計算機從事一種運算或是問它各種不同問題。它不適合於大量數據輸入但主要為與計算機“快速談論” (quick talk) 時需要。這情形下, 它就非常有用。打字也同時適用於小的程式計劃 (small programs), 即僅需一短時間來與計算機通訊。(如除錯 (deb-

ugging) 或障礙修理 (troubleshooting) 操作) 打孔帶能簡單地讀取而且較打孔卡需要更少的裝置和空間來儲藏數據。因此磁帶能有數據之幾百萬個數元 (bits) · 一打孔帶能截成特定的長度 (視特殊問題而定) 而且能輕易的處理這段打孔帶。一磁帶能儲藏許多不同的問題而且必須小心處理, 以免擦去數據。紙帶可為幾英吋或幾英尺長而為一永久性之記錄。就另一方面來講它無法像磁帶那樣的更新 (更改), 這種性質就差一截了。

結束這段簡單敘述前, 必須明瞭有如此多型式之問題要解決, 有如此多的數據要處理, 故需要許多不同的輸入裝置。其中每一種都有其特定的工作範圍。事實上, 大型計算機設備也同樣的處理打孔卡或磁帶, 磁碟, 或打字輸入, 因而具更大的彈性和效能。

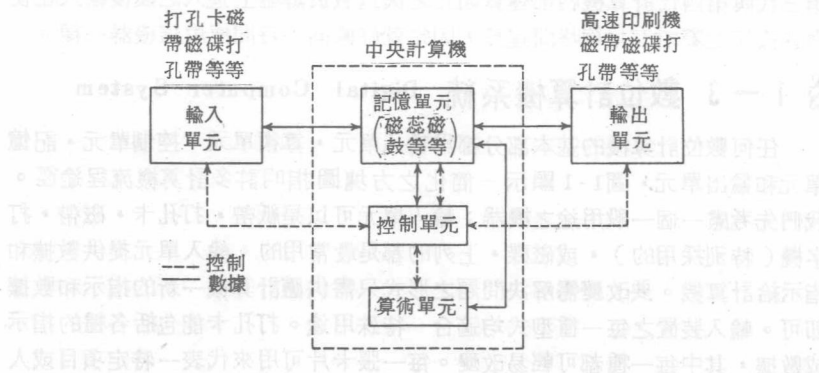


圖 1-1 基本計算機單元, 方塊圖

一旦數據及指示輸入計算機, 計算過程即開始。一般說來, 指示 (或程式計劃) 和數據均儲於計算機內部記憶中, 它是藉操作速率從輸入而來的 (也是一種記憶)。內部記憶部門是設計能在非常快的速率下處理小量的數據。目前最常用的內部記憶部門乃採磁蕊記憶 (magnetic core memory)。它能在超過每秒一百萬個字 (數據或指示) 的速率下操作。這也表示它能供給字來計算和接受答案的速率均在每秒一百萬個操作以上。然而儲藏容量最近只被限制在幾十萬字左右。今天設計的計算機其儲藏的字容量從幾十萬至幾百萬之間。記憶內容可以連續地改變, 當計算機接受新的數據, 更新了數據, 而且讀出數據來空出地方容納更多的資料。第四代的計算機已改成固態記憶 (solid-state memories), 它能容許比磁蕊記憶更快的操作速率。

記憶操作是由一叫做 “控制單元” 的計算機主要單元來控制。它提供所

有計算機操作之控制而為此系統之“心臟”。控制單元也說明記憶的指示，同時告訴別的單元那裏去取得數據，供應數據到那裏，和進行何種運算。算術單元進行加法，減法，乘法和除法運算。算術運算之結果回授至記憶，儲藏起來。它能在等會兒讀出至輸出單元。輸出單元也可能是磁帶，打孔卡，打字機，打孔帶，磁碟或高速印刷機。（許多輸出裝置也同樣使用於輸入操作中）。高速印刷機是上面提到最快速永久性可見之記錄，在處理大量數據時最有效。每一單元的特別細節將在第13章論及。

一般用途數位計算機最重要之特徵即為使它成為多種用途和有效裝置之能力。一程式計劃是一個表狀之敘述來告訴計算機進行何種操作，依那個命令，依照那個數據。現代的程式計劃語言允許以簡單的方式寫下命令來，因此程式計劃員不需要頻繁的敘述計算機需進行之每一步驟。幾個指示就能使計算機進行幾百種操作。一需要記住的要點即為如果計算機無法做重複的計算一大堆的資料，它就沒有用處。一計算器(calculator)在許多地方可用來很快的解答問題。但是改變所使用的數值來做同一個問題連續幾千次對計算器可能為不合理的，但是對計算機則為一簡單的工作。

除了程式計劃語言外，另一個重要改良計算機之成就為其採用部分的固態成分。最初幾個計算機使用繼電器然後真空管。繼電器之操作太慢了，又需要相當的功率供給，又佔地方，又不十分有效。真空管的生命期太短了，使用相當功率供應（操作時非常熱），也佔了很大的地方。假使我們認為一現代計算機需要幾百萬個小部分組成，只要其中一個壞了它就不能操作。故對可靠成份之需要立刻非常顯明。

最初的真空管計算機使用了幾千個真空管。任何一個人擁有一部電視機均體會到真空管會毀壞的事實。故進一步的說，如果這些真空管不在一段時間內替換的話，計算機會因裏面真空管一個跟著一個損壞而長期的毀壞。有了固態的元件——兩極性電晶體，場效電晶體，和微邏輯電路(micro-

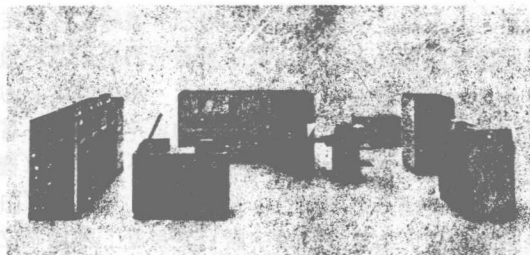
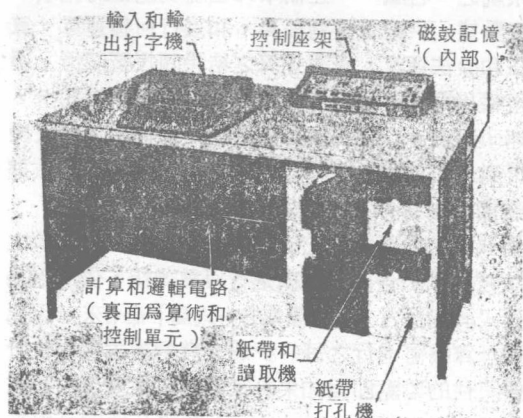
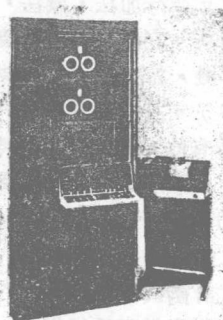


圖 1-2 典型一般用途數位計算機：(a) IBM370 / 135 計算機系統



(b) DIGIAC 3080 計算機



(c) DEC PDP 12 計算機

logic circuits)，例如現代計算機錯誤之發生是由於其元件之崩潰實質上仍為未知。目前輔助機器裝置——卡片打孔機、讀卡片機器、磁帶驅動機等等——適合所發生之大多數小數目之問題。由於固態元件，計算機設計漸趨複雜性，而允許更多的儲藏、控制、和多方面用途性，而不增加計算機之有用操作時間。IBM系統/360 使用改良可靠性及較小體積的微邏輯電路來增加所從事運算的數目。它同時也增加了記憶之體積而允許更佳的計算敏捷性。圖1-2 顯示大型計算系統(IBM系統370/Model 135)和小型計算機(DIGIAC 3080和Digital Equipment Corporation PDP-12)兩種計算機。

一數位計算機設計來從事一堆特定的操作。這些可能包括了兩個數目之加法、減法、乘法和除法。它有一大而快速電子記憶而運算數目(或數據)，而將運算的結果、及所有之中最重要的、指示、儲藏起來。在加法，計算機設計為取出這些儲藏之數目，將之比較而看看它們是正或是負，而在記憶內移動這數據。最後，它能產生一新數據和指示，然後能從它的記憶送出計算之數據供給輸出。計算機的每一步驟和操作均為非常簡單。當它進行這些運算及改變每一步驟之簡單特性均是在高速率情形下的。計算機將簡單操作變至高階值來執行是由於運算之準確性。每一步驟的準確性只由每一數目所使用數位的數量來限制的。在某些機器中數目之長度(即兩進位數位的數目)是固定在64個數元(兩進位數位)。像這樣一個數目(2^{64})之精確性就可疑了。當然，在許多、許多運算最後之精確性只可能滿足很差的情況了，