

科學圖書大庫

數位計算機原理

譯者 李學養

徐氏基金會出版

科學圖書大庫

數位計算機原理

譯者 李學養

徐氏基金會出版

我們的工作目標

文明的進步，因素很多，而科學居其首。科學知識與技術的傳播，是提高工業生產、改善生活環境的主動力，在整個社會長期發展上，乃人類對未來世代的投資。從事科學研究與科學教育者，各就專長，竭智盡力，發揮偉大功能，共使科學飛躍進展，同把人類的生活，帶進更幸福、更完善之境界。

近三十年來，科學急遽發展之成就，已超越既往之累積，昔之認為絕難若幻想者，今多已成為事實。人類一再親履月球，是各種科學綜合建樹與科學家精誠合作的貢獻，誠令人有無限興奮！時代日新又新，如何推動科學教育，有效造就科學人才，促進科學研究與發展，允為社會、國家的基本任務。培養人才，起自中學階段，學生對普通科學，如物理、數學、生物、化學，漸作接觸，及至大專院校，便開始專科教育，均仰賴師資與圖書的啓發指導，不斷進行訓練。從事科學研究與科學教育的學者，志在貢獻研究成果與啓導後學。旨趣崇高，至足欽佩！

科學圖書是學人們研究、實驗、教學的精華，明確提供科學知識與技術經驗，本具互相啓發作用，富有國際合作性質，歷經長久的交互影響與演變，遂產生可喜的收穫。我國民中學一年級，便以英語作主科之一，然欲其直接閱讀外文圖書，而能深切瞭解，並非數年所可苛求者。因此，本部編譯出版科學圖書，引進世界科技新知，加速國家建設，實深具積極意義。

本基金會由徐銘信氏捐資創辦，旨在協助國家發展科學知識與技術，促進民生樂利。民國四十五年四月成立於美國紐約。初由旅美學人胡適博士、程其保博士等，甄選國內大學理工科優秀畢業生出國深造，前後達四十人，返國服務者十不得一。另贈國內大學儀器設備，輔助教學頗收成效；然審度衡量，仍嫌未能普及，乃再遂承國內外權威學者，設置科學圖書編譯委員會，主持「科學圖書大庫」編譯事宜。主任委員徐銘信氏為監修人，編譯委員林碧銓氏為編輯人，各編譯委員擔任分組審查及校閱。「科學圖書大庫」首期擬定二千冊，凡四億言，叢書百種，門分類別，細大不捐；分為叢書，合則大庫。從事翻譯之學者五百位，於英、德、法、日文中精選最新基本或實

II

用科技名著，譯成中文，編譯校訂，不憚三復。嚴求深入淺出，務期文圖並茂，供給各級學校在校學生及社會大眾閱讀，有教無類，效果宏大。賢明學人同鑑及此，毅然自公私兩忙中，撥冗贊助，譯校圖書，心誠言善，悉付履行，感人至深。其旅居國外者，亦有感於爲國人譯著，助益青年求知，遠勝於短期返國講學，遂不計稿酬菲薄，費時又多，迢迢乎千萬里，書稿郵航交遞，報國熱忱，思源固本，僑居特切，至足欽慰！

今科學圖書大庫已出版七百餘冊，都一億八千餘萬言；排印中者，二百餘冊，四千餘萬字。依循編譯、校訂、印刷、發行一貫作業方式進行。就全部複雜過程，精密分析，設計進階，各有工時標準。排版印製之衛星工廠十餘家，直接督導，逐月考評。以專業負責，切求進步。校對人員既重素質，審慎從事，復經譯者最後反覆精校，力求正確無訛。封面設計，納入規範，裝訂注意技術改善。藉技術與分工合作，建立高效率系統，縮短印製期限。節節緊扣，擴大譯校複校機會，不斷改進，日新又新。在翻譯中，亦三百餘冊，七千餘萬字。譯校方式分爲：(1)個別者：譯者具有豐富專門知識，外文能力強，國文造詣深厚，所譯圖書，以較具專門性而可從容出書者屬之。(2)集體分工者：再分爲譯、校二階段，或譯、編、校三階段，譯者各具該科豐富專門之知識，編者除有外文及專門知識外，尚需編輯學驗與我國文字高度修養，校訂者當爲該學門權威學者，因人、時、地諸因素而定。所譯圖書，較大部頭、叢書、或較有時間性者，人事譯務，適切配合，各得其宜。除重質量外，並爭取速度，凡美、德科學名著初版發行半年內，本會譯印之中文本，廣即出書，欲實現此目標，端賴譯校者之大力贊助也。

謹特掬誠呼籲：

自由中國大專院校教授，研究機構專家、學者，與從事科學建設之工程師；

旅居海外從事教育與研究學人、留學生；

大專院校及研究機構退休教授、專家、學者。

主動地精選最新、最佳外文學名著，或個別參與譯校，或聯袂而來譯校叢書，或就多年研究成果，撰著成書，公之於世。本基金會樂於運用基金，並藉優良出版系統，善任傳播科學種子之媒介。祈學人們，共襄盛舉是禱！

原 序

本書解釋數位計算機(Digital computer)的基本原理，以及基本構成方塊組成小型和大型計算系統的方式。

二版已經大幅修訂並重新編排。所有提及真空管電路部分已刪去，簡介基本半導體設置一章也已刪除。書中就計算機組織作更詳盡的分析，並增加系統控制觀念及積體電路(Integrated circuit)之新材料。

本書分為三篇：

I 計算機基礎(第一章到第九章)

II 計算機及其輔助結構(第十章到第十四章)

III 程式計劃及系統觀念(第十五章到第十八章)

第一篇說明控制數位計算機操作之基本觀念。包括計算機之簡介、邏輯、數字系統、布爾代數、磁性設置基礎、以及電晶體之交換特性。計算機線路一章討論用於數位計算機之基本線路的分析，而計算機元件一章說明如何組合基本的線路以構成更大的功能組合。

第二篇討論計算機及其輔助設置。基本的計算機一章提供計算機內之資料流程圖，以及存在各主要功能區域之共面。另一章專論計算系統所用的記憶系統。

有關輔助設置及顯示系統諸章論及計算系統所用之輸入／輸出設置，以及每一設置的操作特性。計算機組織一章說明計算機之功能區域已發展到模式(Modularity)之觀念。

第三篇簡介「程式」製作，並討論一些計算系統控制所用更進步的觀念。所論及的題材包括組程式(Assembler)、編譯程式(Compiler)、程式除錯、多重程式計劃，以及多重處理。

本書內容之重新編排與增訂，使讀者得以從基本的計算機開始，進而到此目前趨於技藝的狀況。假如不打算鑽研多重程式計劃或多重處理，則在前面諸章即可獲得基本計算機的概念和了解。

對於熟悉計算機的讀者，第二、三兩篇可作為複習，並導入高等計算機

IV

的觀念及其進展的方向。

Bernard L. Zaber , 經理
技術訓練部

目錄

原序

第一篇 計算機基礎

第一章	計算機概論	3
第二章	計算機邏輯	14
第三章	數字系統	28
第四章	布爾代數	81
第五章	磁性設置之基礎	109
第六章	電晶體交換特性	134
第七章	計算機線路	145
第八章	計算機元件	206
第九章	積體綫路	235

第二篇 計算機及其輔助設備

第十章	基本的計算機	253
第十一章	計算機記憶系統	292
第十二章	計算機組織	323
第十三章	計算機的輔助設備	332
第十四章	顯示系統	366

第三篇 程式計劃和系統觀念

第十五章	程式計劃概論	379
第十六章	程式計劃的元件	390
第十七章	程式語言	429
第十八章	系統控制觀念	447

奇數題解答.....	474
索引.....	500

第一編

計算機基礎

第一章 計算機概論

歷代人類的進步，係以所發明放鬆身心負擔的器具來量度。也許最偉大的發明是文字——利用文字，人類已經能夠把發現記錄下來，並傳之後代。大部分的科學研究中，依靠數學計算以預測各種實驗的結果，並測試許多新構想。這可能是在過去十年中導致自動計算及電子資料處理方面顯著進展的最大動機。

電子計算機促成了科學和工業之進展，這在十年前尚不能達到。譬如，衛星圍繞太陽的軌道或使太空探測器平穩登陸月球所需的數學，將絞盡一群數學家終生的腦汁。現在，由於電子計算機的輔助，太空之征服迅即可實現。

計算機用於需要反覆之計算或大量資料處理的情形。計算機在商業上、科學上、和軍事上的應用最廣。應用於許多不同的計劃，諸如郵件分類，工程設計之計算、航空交通之控制、航空訂座、當場銀行業務 (On-line banking)、以及教育上之應用。計算機有益的方面包括速度、精確，以及在抄寫和例行工作上以及高度複雜之操作上之人力減少。

數位計算機為現有所謂電子資料處理機 (Electronic data processor) 這一類機器之一，從使用於銀行業務應用之桌型計算機到使用於航空交通控制上之如房間大小的機器。數位計算機實行簡單的算術演算以解數學問題。

雖然少數計算機採用減法，但是大多數採用加法作為基本的算術運算。計算機修改加法之過程以實行減法、乘法、除法、和取平方根法。計算機依照一系列的指令 (Instruction)，稱為程式 (Program)，能夠在數學家所需時間之一部分內，即可解答代數、幾何、和微積分上的問題。因為數位計算機每秒能夠實行數千個基本的算術運算，可以減輕科學家冗長的數值計算，而使其腦筋得以從事更多的創造活動。因為計算機是人類才智的產品，僅能發揮其設計者和程式計劃師所賦予的，而可靠如計算機技術員經由維護所能保持的。

資料係以兩種不同單位的電脈衝的形式施於數位計算機；因此此型機器

非常適合於數值計算。資訊係用脈衝數和其間的時間數來代表。介在操作員和計算機中的資料處理部門之間，必須有一中間設置將資訊從數值資料譯成脈衝資料。例如，穿孔卡片和穿孔紙帶均為輸入介物。這一中間步驟是必需的，因為計算機能在插入資訊所需之時間之一部分內得到解答，因此介物必須預先準備好。於是計算機需要時，通常以高速率從介物獲得資訊。計算實行之後，將結果譯成操作員能閱讀和了解的形式。

本章介紹數位計算機以及導致目前發展時期之事件之簡史，計算機應用之說明，以及計算機基本元件之描述。以後諸章將介紹更詳盡的資訊。

數位計算機簡史

早期人類用手指計數，並以人體之一部份，如足、手、及掌，來量度大小和數量。另一利用人體測量的單位是腕尺 (Cubit) (前臂由肘到中指尖之長度)。通用的十進系統用以表示數量，即源自使用雙手的十指 (數字) 計算；因此 digital 一字用以敘述任一使用數字表示數量之設置。

實際上人手不足以計數我們所要表達的數量，因而使用各種設置，諸如劃線之石塊、有刻痕的棍子、以及打結的繩子。已知最早製造的設置具有代表進位的設備的是算盤，約在西元前 600 年源自遠東。算盤係一木製盤架，而在各檔穿有算珠 (圖 1-1)。每一串算珠代表十進制中的一位，諸如個位，十位，百位，及千位。算盤仍在世界某些地區使用，而且熟練的操作員所能操縱的速度堪與桌上之計算器相比。

其次，在 1614 年 John Napier 已有計算方面的重要貢獻，發明並刊行對數表。Napier 與 John Briggs 在一起工作，能將對數換成以 10 為底，並在計算方法中採用小數點。這些對數為英格蘭的 William Oughtred 所採用，他將之刻在象牙上，此即計算尺之前身。1617 年 Napier 設計一種計算系統

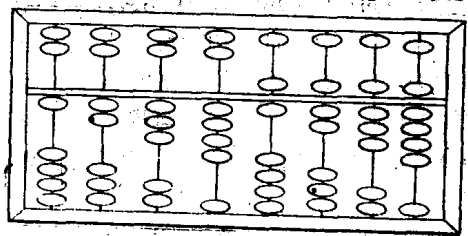


圖 1-1 算盤。

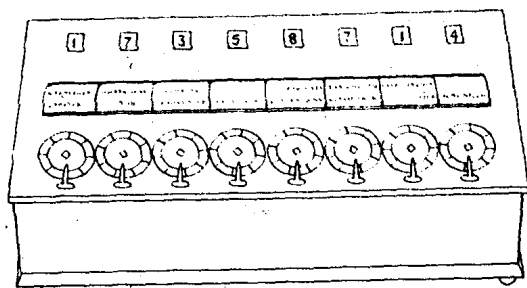


圖 1-2 Pascal 計算機。

，稱為 "Napier's bones"，係用標號之骨頭方塊，排列之以形成全數和分數。

約在 1642 年 Blaise Pascal 造成第一部桌上計算器型之加法機械（圖 1-2）。這一設置使用 10 齒齒輪以代表 0 到 9 之數字。這部機械原先實行加法和減法。後來其他科學家加以修改，以實行乘法，乃是利用重覆相加一數至所需次數。使用重覆加法和減法的原理，目前乃用於電子計算機，以乘或除大數。

Baron von Leibnitz 在十七世紀後葉造成一機械稱為步進計數器 (Stepped reckoner)，見圖 1-3。這一機械係用齒輪操作，而且可進位。以上所討論的各種計算機械均為現代加法機械之前身。

這些機器，雖然能加快計算過程，但對於完全的利用有主要的限制。它仍然需要人導入資料，而且在各步操作中要用手操作。在計算的各階段中可能導入誤差，而且這些設置的操作速度還可比被使用的速度快些。因此，由

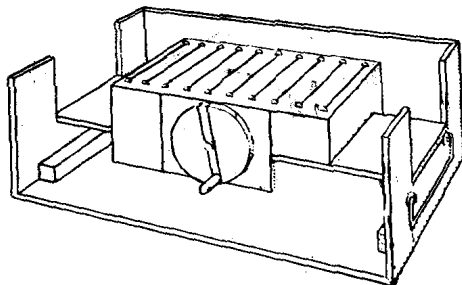


圖 1-3 步進計數器。

於需要人的介入，使這些初級設置的真正能力仍未爲人所認清。

在十九世紀前葉，當 Charles Babbage 想建造一解題並印出答案的計算器時，他就此問題提出一解答。Babbage 擬想一機器能自動依照所存的指令，並儲存一千個 50 位的數字。作爲這一分析機器的輸入，Babbage 計劃採用 Joseph Marie Jacquard 在 1801 年爲控制織布機而發明的穿孔卡片。Babbage 的機器並未完成，因爲不列顛政府退出支持，而且當時的機械工具的精確度不足以建造零件。Babbage 的構想就當時的技術而言是前進的，而且包括許多現代計算機之特色。

法國 Alsace 的 Charles Xavier Thomas 在 1820 年發明第一部成功的計算機器。這部機器，曾被廣爲銷售，包括有定置、計數、和暫存諸單位。在歐洲 Arthur Burkhardt 於 1878 年開始製造一種 Thomas 型的機器，稱爲算術器 (Arithmometer)。在 1875 年 Frank Stephen Baldwin 及 W.T.Odhner 每個人設計一計算機器，係改良步進計算器，使不同數目的輪齒伸出輪子外緣。細小的 Odhner 輪使得更細密的設計成爲可能，這種設計一直使用於數種更近代的加算機器。1850 年 D.D. Parmalee 在美國獲得第一部電鍵推動的加算機器之專利。每次僅相加一行數字。直到十九世紀末二十世紀初 Dorr Eugene Felt 引入電鍵和進位的並列操作才不如此。

雖然 E. D. Barbor 在 1882 年於加法機器中併入一印刷設置，第一部商業實用加法列表機器係 William Seward Burroughs 所發明，他在 1888 年

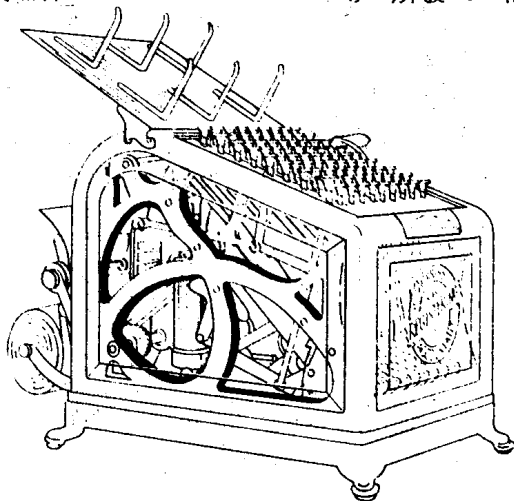


圖 1-4

的第一部加算機器。

獲得專利。Burroughs 工作的公司 (Boyer 機器公司) 得到 50 部計算機器 (圖 1-4) 的合約。因此商業機器企業就此建立。但是直到 1920 年特殊馬達發展之後，桌型計算器才能電化。

機電和電子計算機的發展

第一部特殊用途的繼電器 (Relay) 計算機於 1940 年為貝爾電話實驗室 (Bell Telephone Laboratories) 所創製。許多為了電話和電報工業所發展的零件仍適用於計算機器。一部特殊用途的計算機係為一特定的工作而設計，故應用的範圍有限。第一部的通用計算機，Mark I，即自動次序控制計算器 (Automatic sequence-controlled calculator)，為哈佛大學和國際商業機器公司 (International Business Machine Corporation) 所共同發展。由哈佛大學的 (Howard Aiken) 設計，這部計算機使用繼電器和穿孔卡片。

計算機工業受惠於電信工業甚多，但受惠於二次世界大戰中隨雷達而發展的脈衝技術更多。在這段時期當工業界轉變為自動化，應用數學獲得衝力。事實上，電子計算機的一般性發展，真正開始於二次大戰中美國政府的研究計劃。

自動計算的最大進展也許是在 1945 年，當時 John von Neumann 引入將計算機的指令儲存於內的觀念。在此之前的計算，係利用插板的接線或儲存在外部介物 (如穿孔紙帶或穿孔卡片) 的指令予以控制。儲存器的新發展首次用於電子個變自動計算機 (Electronic discrete variable automatic computer 簡稱 EDVAC)。這一計算機為賓州大學的 Moore 工程學院在 1946 年所發展，係為 Maryland 的 Aberdeen Proving Ground 的美國陸軍所用。此機中指令的程式直接存於記憶器中，因此當一指令已被執行，後一指令立即可出入。

電子數值積分器和計算機 (Electronic numerical integrator and computer, 簡稱 ENIAC) 係賓州大學的 J.W. Mauchly 和 J.P. Eckert 為美國陸軍的軍火部所發展。此機完成於 1946 年，從 EDVAC 的技術水準看來，此機有進步也有退步。ENIAC 係第一部內部操作全電子化的計算機，但是沒有儲存程式而使用複雜的外在交換配置。

隨這些計算機之後，其他的計算機在速度、儲存、和可靠性上都有急速的成功。A.W. Burks, John von Neumann、以及 H.H. Goldstine 發展了一全族使用靜電記憶的計算機。這些計算機在各政府計劃中為了軍事、

科學、和統計的目的而大量發展。二次大戰結束後不久，在計算機器方面執牛耳的公司，諸如國際商業機器公司、布羅公司(Burroughs Corporation)、國民現金記錄器公司(National Cash Register Company)以及雷明頓-蘭德公司(Remington Rand Company, 現為 Sperry Rand Corporation)為了一般用途而發展電子計算機。UNIVAC, 由Remington Rand造於1951年，係第一部商用的電子計算機。

現代的計算機為了精簡和可靠而使用電晶體、積體電路(Integrated circuit)、和微小化磁性元件。其計算的速度和準確度遠超過人腦的能耐。今日的計算機和其他電子資料處理機不僅使人放鬆了許多冗長的工作，而且幫助人們更加了解他們所處的環境。

典型計算機之說明

電子數位計算機由六個基本單位構成(見圖1-5)：輸入、記憶、算術、輸出、控制和程式。以下諸段簡要地說明這些單元。

輸入單位 輸入單位的目的在於從輸入輔助設置接受初始的輸入資料，並提供與計算系統之共面(Interface)。輸入資料為解題所需，其形式必須能為計算機所了解。於是資料被譯成機器語言。典型的輸入輔助設置有讀卡機、讀帶機(紙帶或磁帶)、以及鍵盤。輸入和輸出設置在操作上比計算機其他部分慢些，因而必須將未用過和部份地處理過的資料存在記憶單位。

記憶單位 為解決一複雜的問題，記憶器必須保留(儲存)解法的各步驟和初始的輸入資料，以及隨後的中間和最後的結果。所有進入或離開計算機的資料都經過這一單位。

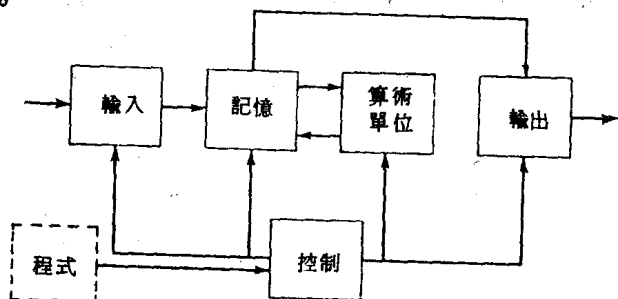


圖1-5 計算機的基本單位。

數位計算機使用磁心或薄膜型記憶器，雖然現在發展中的其他型式也許勝過這些。

算術單位 算術單位從控制單位接到指令，而執行所有各種數學運算。假如需要乘法，此單位用重覆加法得到結果。算術單位從記憶單位接受輸入，實行適當的計算之後，將答案送回記憶單位。近代算術單位之設計，得以適合正確、高速的資料計算之要求。

輸出單位 輸出單位從儲存單位接受最後的結果，並提供計算系統和輔助設置之間的共面。常用的輸出輔助設置有打卡機、磁帶單位、磁帶打孔機、印字機、和CRT顯示設置。

控制單位 控制單位使其他單位活動，並控制其間的資料之流通以解題。接受問題，並逐步引導操作之次序。

程式 程式包括一組或數組指令，描述在控制單位控制下執行之一件或數件工作。應注意到程式並不是一硬品(Hardware)元件，只是存在記憶器中之命令（參看第十章）。此處當做另一部分提出，乃在於說明它對系統之全盤控制。

人工解題

電子數位計算機的解題方式，或可首先分析典型的商業問題之人工解法來說明。然後再描述相當的計算機解題之步驟。

選作分析的問題是計算及記錄雇員薪資和扣除。解法如下：

- 第1步** 假如會計員第一次為這一公司編製薪資表，他參考程序手冊或從所用的系統上之上司得到指令。
- 第2步** 其次的步驟是收集問題的基本因素，如工作鐘點數、鐘點率、加班鐘點、稅捐扣除表、雇員稅捐狀況、以及其他適用的扣除。
- 第3步** 於是會計員用紙和筆或桌上計算器做適當的算術運算。
- 第4步** 然後將最後的結果轉記到公司的正規薪資表。

計算機解題

電子數位計算機解決這一薪資表的方式與會計員的方式很相似。其法如下：

- 第1步** 在數位計算機程序中，利用輸入單位將程式放進記憶單位，這相對於會計員之獲得適當指令以便工作。