

科學圖書大庫

電子計算機基本原理叢書(一)

類比計算機引介

譯者 朱耀衣
劉法餘
校閱 張去疑

電子計算機基本原理叢書

- (一) 類比計算機引介
- (二) 類比計算機—數學與電路
- (三) 數位計算機—數學與電路
- (四) 數位計算機—儲存器與邏輯電路
- (五) 電子計算機—結構程式保養
- (六) 固態計算機電路

徐氏基金會出版

科學圖書大庫

電子計算機基本原理叢書(一)

類比計算機引介

譯者 朱耀衣
劉法餘

校閱 張去疑

徐氏基金會出版

美國徐氏基金會科學圖書編譯委員會

科學圖書大庫

監修人 徐銘信 科學圖書編譯委員會主任委員
編輯人 林碧鏗 科學圖書編譯委員會編譯委員

版權所有

不許翻印

中華民國五十九年八月十七日初版

中華民國六十年六月十三日再版

電子計算機基本原理叢書(一)

類比計算機引介

定價 ~~港幣四十五元~~ ~~港幣八元~~
改訂為基價2.30元

譯者 朱耀衣 國立台灣大學電機系教授
劉法餘 遠東廣播中心電子工程師
校閱 張去疑 國立交通大學教授

內政部內版臺業字第1347號登記證

出版者 財團法人臺北市徐氏基金會出版部 臺北郵政信箱第3261號 電話519784號

發行人 財團法人臺北市徐氏基金會出版部 林碧鏗 郵政劃撥帳戶第15795號

印刷者 大興圖書印製有限公司 三重市三和路四段151號電話979739號 排版 喬風排版打字印書社

我們的一個目標

文明的進步，因素很多，而科學居其首。科學知識的傳播，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。科學宗旨，固在充實人類生活的幸福也。

近三十年來，科學發展速率急增，其成就超越既往之累積，昔之認為絕難若幻想者，今多已成事實。際茲太空時代，人類一再親履月球，這偉大的綜合貢獻，出諸各種科學建樹與科學家精誠合作，誠令人有無限興奮！

時代日新又新，如何推動科學教育，有效造就人才，促進科學研究與發展，允為社會、國家的急要責任，培養人才，起自中學階段，學生對普通科學，如生物、化學、物理、數學，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。科學研究與教育的學者，志在將研究成果貢獻於世與啓導後學。旨趣崇高，立德立言，也是立功，至足欽佩。

科學本是互相啓發作用，富有國際合作性質，歷經長久的交互影響與演變，遂產生可喜的意外收穫。

我國國民中學一年級，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，並非數年之間，所可苛求者。因此，從各種文字的科學圖書中，精選最新的基本或實用科學名著，譯成中文，依類順目，及時出版，分別充作大專課本、參考書，中學補充讀物，就業青年進修工具，合之則成宏大科學文庫，悉以精美形式，低廉價格，普遍供應，實深具積極意義。

本基金會為促進科學發展，過去八年，曾資助大學理工科畢業學生，前往國外深造，贈送一部份學校科學儀器設備，同時選譯出版世界著名科學技術圖書，供給在校學生及社會大眾閱讀，今後當本初衷，繼續邁進，謹祈：

自由中國大專院校教授，研究機構專家、學者；

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、最佳外文科學技術名著，從事翻譯，以便青年閱讀，或就多年研究成果，撰著成書，公之於世，助益學者。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。掬誠奉陳，願學人們，惠然贊助，共襄盛舉，是禱。

徐氏基金會敬啓

前 言

特別感謝海軍人事署署長，人事署官員，以及在伊里諾州大湖城海軍訓練中心之電子技術學校，由於伊等對新興技術需求之遠見及周詳之計劃乃能促使本計算機基本課程得以發展與完成。

因為該課程對全盤防禦計劃具有重要性，故整個兩年以內在完成編寫，準備，研究，以及最後在伊里諾州大湖城海軍訓練中心之電子技術學校所舉行十六週飛行員訓練等方面均由海軍人事署署長提供特殊之技術協助，訓練時一班有三十三員海軍人員參加，效果良好。最後成效顯示該項課程確實已能配合原設計之需求——在電子計算機之操作及維護方面訓練電子技術人員。

似無其他訓練課程能獲得如此重大之努力與支援，且最後之課程內容毫無疑問的能對技術訓練方面提供廣大之貢獻——係一能滿足民間以及軍方需求之課程。

引 言

若說某一工藝之發展與成長較在電子計算機方面者更為迅速則實甚難令人相信。在本書編寫之時，單說美國已有 125 家公司行號出產各型之計算機，其中尚不含全球其他各國中數以百計之公司及無數從事於電子計算機設置之發展與應用之研究機構在內。

凡是“紙上作業”繁瑣或資料必須在最短期內予以處理之處，均已使用電子計算機。因其有上千種用途——其範圍從作好付款支票到導引太空火箭及人造衛星之操作——正造成電子計算機在設計，使用，操作，及維護等方面大量技術熟練人才之需求。由於此種需求，進而形成對訓練課程，教育計劃之極大需要，本叢書即在填補在此方面之大量缺乏。

在“計算機基本”叢書中所含材料原係應美國海軍之請求所產生者，因其需一廣泛而配當良好之課程用以訓練海軍人員操作及維護各種類型之計算機。在制訂課程之初，海軍係與考文出版公司 (Cowan Publishing Corp.) 訂約，再由該公司與技術教育與管理公司 (Technical Education and Management, Inc.) (簡稱 TEAM) 訂約以處理所需課文及材料之準備事宜。TEAM 公司之所以被選中乃因其在計算機界擁有衆多優良合格人員以及借重其以往為海軍作成多種整個技術訓練計劃之準備工作中所獲得之經驗。

本計算機課程在發行之前，曾廣泛地以其作為一種十六週之飛行員訓練計劃，學生為具有不同技術背景之海軍人員，而由兩位 TEAM 公司之人員個人所執行者。由於在教學中所獲得之直接經驗為基礎所作發行前準備工作，我們始能對課程內容先作一番評估與定基之有效措施。該課程之總值，包括所有研究，準備，編寫，訓練，及施教等階段中之化費，依保守之估計約超過美金廿五萬元。

由於業經證實此一計算機課程成效良好，故迅及由計算機廠家，工業界，教育機構，圖書館，及搜集計算機資料之工程從業人員等多方要求將其作商用書籍發行，因之，此項課程再經編排，出版，故又能進一步增進其價值與內容。

雖因人名衆多不及備載，但對各方人士及團體所給予之協助，多家電子計算機製造廠商因提供技術資料所賜予之莫大合作，以及訓練指導美人社團

VI

(American Society Of Training Director) (ASTD) 對此一電子計算機計劃提供有關課程需要之有益指引等之特殊貢獻，均一併深致謝忱。

目 錄

第一章

用機器計算.....	1
基本計算機元件—計算機用途—計算機能力與限制—計算機程式— 類比與數位計算機間之特殊差別—類比與數位計算機間之一般差別 —計算機之工具—摘要	

第二章

類比計算機之特性.....	15
類比計算機之基本原理—類比三角形—類比算術元件—特殊目的類 比計算機——般目的類比計算機—摘要	

第三章

基本計算機數學.....	25
實數系統—數字之數學運算—零及無限大—除法作為乘法之一種— 絕對值—量與度—複數—矩形坐標—極坐標	

第四章

高等計算機數學.....	43
比—比例—指數與對數—代數項及基本運算—運算之次序與符號— 方程式之解法—三角學—軸之變換—矩陣—等式—不等式	

第五章

類比計算機所用之微積分.....	75
常數變數及函數—微分—微分公式—三角函數之微分—積分—機	

械之積分與微分—其他微分及積分之用途—微分方程—數學型—參數

第六章

類比計算機之機械.....107

簡單機械式類比器之概觀—長度之加及減：計算尺—由一常數乘與除：槓桿—由一常數乘與除：齒輪—齒輪之類型—由旋轉轉換成直線性移動—定義與摘要

第七章

機械微分.....131

微分齒輪—變數之乘與除：可變速率傳動—可變速率傳動：積分

第八章

機械積分.....151

輪與盤積分器—測面儀—球與滾柱積分器—分量積分器

第九章

幾何機械功能.....159

傾斜平面—函數之產生：凸輪—凸輪從動器—桿式鏈桿組裝置—

第十章

機械計算.....193

單凸輪計算乘法器

第十一章

應用類比技術.....205

問題實例—問題—機械類比儀器之精確性—機械類比計算機之分析
與調整—機械類比計算機之限制—微分之限制—其他類比工具：陀
螺進動性—液壓—摘要

複習問題答案.....225

索 引.....231

第一章 用機器計算

兩千年以前，中國哲學家老子說過：“善計不用籌策”。當然，當他說“善計”(Computer)非指機器而是指人而言，他是說若一個人能做好算術即毋須記下其“進位”及借位；按老子所說，即一位優良之數學家能在他腦子裡解決整個問題。

今日之情況則大為不同，講到關於一位優良的數學家，一位優良的物理學家或工程師，盡可能少做例行之頭腦運算。代之者，應使用計算尺，小型辦公室用計數器，及有時使用大型電子計算機。因之，初看起來似乎一部計算機不過是一架“做數學的機器”而已。

此僅部份真實。一部計算機自然是一部“數學機器”，但仍可做更多的事；它是一種記錄—保留之設置，一種分類之設置，以及甚至嘗試用作一種語言翻譯之設置；既具有所有不同之功能，吾人如何方能找出一個正好能說明“計算機”這名詞之清楚而合用之定義呢？

一個方法即在於觀察吾人稱為計算機之所有機器，再列出其共有之特性，我們的工作定義即簡單的為此種共有特性之列表，不幸此表將太長。

下一個最佳程序為比較兩個盡可能差異較大之計算機。此雖不如第一法精確，但至少較切合實際，凡適合兩種計算機之共同特性即可作為一計算機之定義，雖較粗略但較切合實際。

圖1—1所示確為相互不相同之兩部計算機，一為簡單之辦公室用加數機，其起源可追溯至十七世紀，另一為自動語言翻譯機——巨型計算機。

基本計算機元件

兩部計算機均可分解成三個基本部份：輸入，處理，及輸出。

輸入

加法機輸入部份包括成串可被推入之按鈕，由之對機器提供可被相加之數目，另一方面，自動翻譯機之輸入部份可具有不同之設置，如像可在其上面打出原來語言之特殊打字機；一連串可“讀出”原來語言並將之轉變為電之信號之光電管；或者在具有代表不同字母之受磁化及未磁化區域作不同安排之磁帶。

處理

加數機之處理部份包括在外部之加數(ADD)鈕及在內部看不見之齒輪兩部份；雖不能輕易的逐個指出翻譯機之處理部份，但目前足可說凡是未用於輸入及輸出部份之零件乃組成該計算機之處理部份。

輸出

加數機之輸出包括在其面板上之多個小窗口，各窗口以一串數字之方式示明答案，翻譯機之輸出再次可能為不同之情形：能自動在膠帶或紙上打出經翻譯之語言之打字機；一可在其管面上顯示一行或兩行字之陰極射綫管；或可能是每秒鐘能輕易印製 400 字之高速印字機。

現在可再考慮一點，加數機處理數字；自動翻譯機處理文字，兩者之共同之處為何？當然是資料，兩種機器均在輸入處接受資料或訊息，處理此種訊息，再以較為有用之形式將之饋出。

現在已可為計算機定出一正式，通用之定義：一計算機乃一能接受訊息，對此一訊息施以所指定之處理，再提供經處理之結果之任何設置。

此一定義適合加數機及語言翻譯機兩者，以及所有其他計算機，使用此一定義可以顯明何以下列每一設置均為一計算機。

1. 計算尺
2. 計程汽車收費表
3. 算盤
4. 皮尺
5. 壓力表

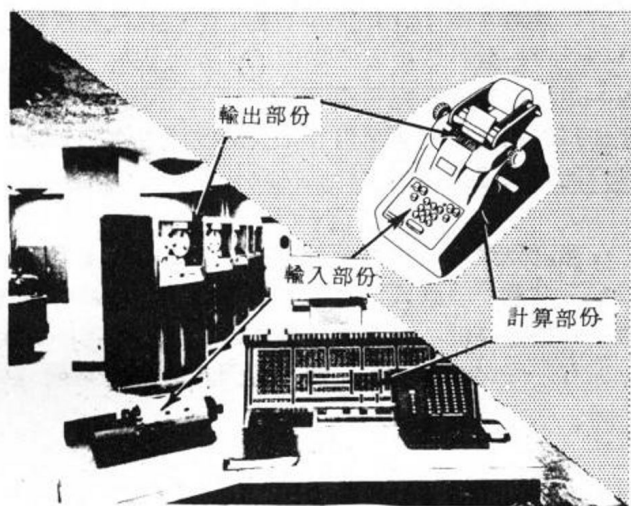


圖 1-1. 計算機比較

計算機用途

一部計算機，亦如任何其他機器之所以被採用，乃因其能做某部份工作較人做為優，特別因其能處理更多之訊息以及處理得更快；在一規定之時間週期內，一巨型計算機所能做之數學較諸全部美國人能以鉛筆及紙所做者為多。計算機之兩種益處一高速度及高能量一形成下列用途之基礎。

數學

每當你學到一新方程式時，亦應學習求解此一方程式之法則，但並非所有方程式均能求解，實際上，大多數在演練中所提出之方程式均不能求解。

現在，一部計算機僅能做設計者在其中所建立者，且如人不能解決之某些方程式，一部計算機也不能。但計算機能獲得一個答案。

這並非在說謎語，嚴格說來，對於一個數學問題獲得一解答 (solution) 與獲得一答案 (answer) 不同。

舉例說，考慮此一問題。“何一數目自乘可得 2？”

再簡略表之，

$$x^2 = 2; x = ?$$

如使用標準小數點記法，則此一問題無確實之解答，你無法寫出任何數目，當其自乘以後其值確實為2者；計算機亦不能，但計算機能提供有用之解答，如像 $x = 1.414\cdots$ 數目以後之各點顯示，如繼續增加小數點位數，則越能使答案精確，但決不能使其完全精確。

當然，人亦能找出此近似答案，但計算機能找得更快。當如以鉛筆與紙張需數週或數月方能完成之工作，現已能在幾分鐘內完成時，致使速度變成甚為重要。

總結說來，一部計算機乃是用以求解一些數學問題，人類卻不能對此類問題作經濟式求解，注意“經濟式”一字，不管一個問題是否有實在之解答，但因使用計算機可節省時間故可補償使用機器之費用；再一次說，計算機與其他機器並非確有不同之處，吾人之使用乃因其化費較少。

設計

計算機之數學能力對設計工程師來說極其有用。舉例說，對一架超音速飛機之機翼設計將有賴甚多之因素決定，設計人員將每一種因素以數學式來表明，即為一方程式之形式，如欲獲得一有用之答案，他已有所選擇，是以紙和筆來費幾天功夫呢？抑或在他堅固的計算機房子裡費上半小時或幾分鐘呢？

書記

到此為止，僅談到有關計算機之偉大速度，但計算機亦能將無數種之資料予以記錄及分類，以使之易於查看，因之軍方或是民間機關中之人事，補給，以及主計部門均已發現計算機為一極其有用之工具。

有時，由於速度及高度容量之合成使計算機成為一超級書記，舉例言，在一飛彈發射站，可能有五十個以上之訊息源流同時輸入；且每一種源流在每秒鐘內可能包含上百，上千，或甚至上百萬訊息單位。若將此種資料分類並送至計算機之適當輸入，在其本身而言實為另一計算機之工作，除非有如此一位計算機書記，飛彈發射即無法給予吾人計算機所做之半數訊息。

軍事系統

計算機形成很多軍事系統之一部份，其中包括火力控制，戰術，戰略，

以及後勤等。在某些地方，其問題是如何擊中目標，在另些地方，其問題是做什麼以及何時做，以及在另一些地方為傳送什麼以及向何處傳送，更多之特殊計算機用途中尚包括自動駕駛，自動導航，自動着陸，以及甚多其他者。

通信

計算機能尋獲並鑑別躲藏於雜波中無法由操作人員偵察到之信號。此種特性對無線電傳真及其他類似系統特別有用，因此種信號如消失一次，即永遠喪失。

自動化

計算機對於製造及自動檢驗產品為一有效之工具，計算機能運轉一塔式車牀，一磨光機，以及甚多其他機械工具，其速度與精確度遠較人能做者為高，由計算機檢驗已做好之零件，並按需要調整機械工具，如所做成之一塊不良，計算機即予以丟棄，再使機器進行下一塊之工作。

用模擬法訓練

如欲訓練一大群人操作一架飛機或潛水艇，對準目標投彈，擊落敵人飛機而實際上並不擊落，控制一人造衛星，或操作一太空船等通常均甚昂貴，危險且不切實際，一計算機均能對受訓人員模擬上述所有情況，反應受訓者之動作，並向其顯示其動作之結果。如此，可使之獲得多日之在職經驗而毋須冒價昂裝備之破壞或其本身生命之危險。

計算機能力與限制

如你能知道計算機之基本能力與限制，當能更瞭解其有用之處，茲於下面列明。

能力

一部計算機能重複實施類似之數學操作，上百次，千次，百萬次，或

1×10^{10} 次，均不致疲乏或壓倦以致於不小心。

一部計算機具有奇快速度，該速度僅受限於設計者之巧思，新型之計算機能求解一項問題較一靈巧之數學家快千百萬倍。

一部計算機可按需求使成為適應式或專用式，可設計使其能成為一特殊目的之計算機，俾僅解決某一種形式之問題，或可設計成一般目的之計算機以解決多種形式之問題。

在大多數之用途中，正確計算機能提供之解答一如所希求之精確。更進一步言，計算機能設計成使其能核對本身之答案。

限制

吾人尚不知道到底“思想”是什麼？根據所瞭解該字之通用定義而言，一部計算機是一部機器而不能“思想”。它能自動依隨命令但不能考慮並未饋送給它，確是甚重要之任何新訊息，因此，一個自動駕駛儀會駕駛一架損壞之飛機帶着其機中受傷之機員直接飛向敵人地區，因為這是原來命令要它如此做者。如果係由人所駕駛者自能使用新資料（飛機損壞）並隨時調整其動作。

一部計算機並無直覺。其按所指示者做工作，以所謂直覺之觀點來說，一個人可能突然對某一問題找到答案而毋需做完整個細項。一部計算機則不能，它僅能按所命令者處理。

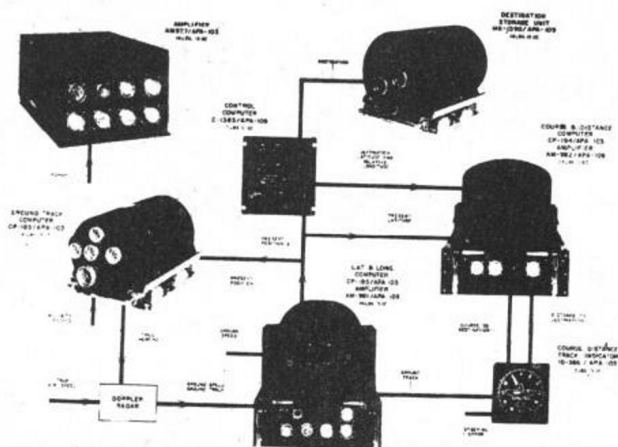


圖 1—2. 此方塊圖在示明某些計算機能延伸其功能之範圍

正如你能明白者，今日之計算機在任何創造性活動方面決不能取人以代之，它唯一之工作即係按人所決定，所希望它能幫助之方式來確實幫助人。

計算機程式

計算機能分成兩基本類型：類比與數位，你能遇到之計算機不外是此兩類中之一種，除非是一部混合計算機，一部混合計算機具有類比及數位之兩種特性。

在此處尚不擬深入有關計算機型別之詳細定義，除非已對此種計算機型別具有基本上之瞭解，否則僅說一堆抽象名詞並無用處，僅當已有所瞭解後該定義方為有用，因其可使該一題目更具意義。

一個研究數位及類比計算機差別之良好方法即在找出一些簡單之問題，然後將之送入兩種程式之計算機，由觀察它如何獲得答案，即可瞭解其如何工作。

試想一具有 75 單位之加速度，及一兩單位之重量小模型火箭。問題：推動火箭之推力或力量為何？

回憶在中學時代的一點物理，可使用牛頓第二定律以求得答案，該定律說明對一物體施加之力等於物體之重量乘以加速度，以數學方式表示，該方程式為：

$$F = ma$$

此處，

F 代表對一物體施加之力

m 代表一物體之重量，及

a 代表一物體之加速度

當然，吾人可以兩單位之重量乘以 75 單位之加速度以獲得 150 單位之力，使答案簡化，但尚不知一部計算機如何做。首先，讓一部類比計算機求解此一問題。

類比解法

剛才所見到之方程式 $F = ma$ ，豈不十分像歐姆定律方程式？將兩者比較一下：

牛頓定律..... $F = ma$