

大專用書

電子計算機概論

李吉雄 編譯



INTRODUCTION TO COMPUTER SCIENCE

C. W. Gear

前鋒出版社印行

大專用書

電子計算機概論

李吉雄 編譯

前鋒出版社印行

本社業經行政院新聞局核准登記局版台業字第一四〇〇號

版權所有



翻印必究

1. 本社出版之書籍，均與編著人及著作人簽有版權處理契約，保有著作人之原稿；爲防止盜印，分別加蓋本社或作者印章於版權之上，以資辨識。
2. 本社出版物，除函購及直接批購外，係委託特約之書局，本社發行組均列冊存記，藉資徵信。
3. 未經本社委託而擅自買賣本社出版物之團體或個人，即屬盜印，一經發現，當即公開警告，依法訴究。
4. 本社爲維護正當出版權益，歡迎同業及讀者，惠賜檢舉盜印者，一經證實，當即致奉重酬。

發行人：鄒金銓

發行所：前鋒出版社

地址：台北市汀州路七一二號之二

電話：3935878

郵政劃撥：第107669號 前鋒出版社收

總營業所

地址：基隆市義二路四六號

電話：032～223522，229825

郵政劃撥：第105997號 鄒金銓收

基價：5元

中華民國67年8月初版

中華民國 年 月二版

前 言

本書及與它相伴的程式語言手冊適合作為計算機科學中的入門課程。它主要論及計算機解決問題的過程，包括解問題的方法，計算機的性質與能力，計算機程式的組織與計算機使用的資料結構。語言手冊則使這些觀念應用於特殊程式計劃的環境中。

學生們不須任何特殊的先修課程，對書中數學部分不感興趣的人可以跳過涉及數值分析問題的章節與例子。但除了兩個短而可忽略的章節之外，那些數值問題均可不藉微積分之助而解決。

這本書的目的不在教授任何特殊的程式語言，而是希望給學生足夠的背景來學習任何一種一般的程式語言如：BASIC, FORTRAN, PL/1, ALGOL 或它們的變化型式如：WATFOR/WATFIV 及 PL/C。本書所強調的是些基本原則與觀念。如果學生們能夠把握住這些觀念與原則，加上他們在一種程式語言計劃上的經驗，他們可以在任何須要的時候，很快地熟悉另一種程式語言。

想瞭解如何去解決問題的一個要素就是做練習，因此學生們在研習本書時應該至少學會一種程式語言。他們也應該嘗試利用計算機去解決各類的簡單問題。有些個學校在教授計算機概論課程之前，先提供了一個短期的程式計劃課程。選過這種課的學生在研習本書時應當對他所學過的程式語言做深入的研究，或者去學習一種新的程式語言。

在本書中，我們使用了一種流程圖語言（flowchart language）來解例子與問題。這種語言類似於一般的計算機程式語言，因此那些例子與問題的解可以直接翻譯成程式語言中之任何一種。

本書均依我教授這個課程的次序編排，因為無公認的最佳方法來介紹這些材料，所以本書的寫法可以使教師們在需要的時候，將某些章節全部忽略不教，或者是留待以後再教。第一章至第六章包括了一

些我認爲是基本的基礎教材，第七章與第八章講述非數值計算（non-numerical）的問題，第九章則講述數值計算（numerical）的問題。其中的一部分，或者是一大部分均可因時間之許可或學生的能力而加以刪減。

計算機科學的教師們在教法上最大的分歧在於何時該開始討論機器內部的作用方式，及該論及何種程度的問題上。有些教師喜歡將計算機視爲一個黑箱（black box），而直接進入高等程式語言的教授。這種教法有讓學生及早進入實際工作的好處。而其他的教師則願意先講授一些機器語言或組合語言（machine/assembly language）方面的東西，因爲這麼做可以使在講授高等程式語言在程序上的基本因素（procedure basis）時容易推理。雖然如此，第二章（計算機組織）的寫法可以使教師們依喜好而做適度之裁減。但在講授第三章之前，應當至少講授第 2-1，2-5，及 2-5-1 到 2-5-3 這幾節關於記憶（memory）及數字表示法（number representation）方面的材料。有些教師亦可只跳過第 2-2-1，2-3-1，2-4-1，2-5-4，2-6-1 及 2-6-2 這些講述機器語言或組合語言方面的教材，而在第三章講完之後講授，或是根本不講。如果需要的話，第四章，計算系統，也可以放在第三章之前講授。

本書不假言地假設我們在使用一部十進位式的機器（decimal machine），但是所討論的事卻與十進位在機器中的表示法無關。如果教師願意，第 2-7 節可以用來做爲二進位（binary）或十六進位（hexadecimal）系統的介紹。

本書曾用於伊利諾大學厄巴納平原分校學期課程中講授，其中每週兩個小時用於本書之講授，一個小時則用來講授程式語言方面的教材。在程式語言方面，前半個學期教的是 WATFIV（一種 FORTRAN 語言的型式），另半個學期則教 PL/1。學生們大約被指定了要做 7 個習題，第一個習題即是要他們去熟悉所用的計算機系統，每個學生都有一份可以執行的程式報表，他必須自己去打成卡片，準備他自己

使用系統所必須的識別卡 (ID card)，然後去跑 (run) 這個程式。在學期前半部所用的問題，在教師手冊中均有實例，學期後半中使用的問題則取自第七，八，九三章中。(如果可以使用遙控終端機 (remote terminals)，我寧願出些大約只需十至十五行程式的小問題用於學期前半部，但是學生們應當有處理一，兩個需五十至一百行程式的較大問題的經驗。)

在每一節的後面均附有練習，問題，及習題。練習都是些簡單的工作，以幫助學生的學習；問題則在考驗學生對於一些基本觀念及有關計算機科學字彙的吸收；而習題則需要些思考及所學觀念的應用，許多這些習題可以做為實際計算機程式的基礎。為了教師與學生的方便，有些習題在程式語言手冊中相關的地方也可以找得到。

在此我要向 SRA (Science Research Association, Inc.) 的工作同仁所給的協助致謝。下面所提到的人給了我寶貴的批評與鼓勵，他們或是審查了，或是試教了本書的初稿，他們是：馬利蘭大學的理查奧斯汀；普渡大學的露絲與豪爾哈特；喬治亞理工學院的唐克利；肯塔基大學的凱塞琳努寧；德州大學的安格斯皮爾遜；英屬哥倫比亞大學的多格系里。並特別謝謝 IBM 公司的馬利琳波爾。

我也謝謝伊利諾大學的人們，尤其是伊大的學生們在教材上的意見，及芭芭拉阿姆斯壯在稿件上快速而正確的打字功夫。

下面列舉的是些可以用作本書補充教材的程式語言教科書：

Marilyn Bohl and Arline Walters, Introduction to
PL/1 Programming with PL/C

James Parker and Marilyn Bohl, Introduction to
FORTRAN with WATFIV

John Sack and Judy Meadows, Entering BASIC

序 言

計算機的推出，無疑的，給整個社會帶來了新的衝擊，任何人都必須懂得如何去使用它，因此計算機已逐漸成爲一種解決問題的工具了。惟有曉得如何使用它，才跟得上世界潮流。

本書就是針對“如何使用計算機解決問題”而寫的，從接到問題開始，先作分析、劃流程圖、寫程式都考慮到了，本書還花了不少篇幅介紹一些數值分析與非數值分析的問題，諸如積分、求面積、算體積，以及管理上的 PERT、CPM、…… 都有詳細的介紹，甚至計算機如何有效儲存資料也說明得很詳細，因此本書對初學者或計算機本科系的人而言，都是很適當的。

本書是利用公餘時間寫的，錯誤之處，在所難免，祈望先進不吝指教。又，本書之完成，還要特別感謝沈允默、陶鎮榮兩位先生的鼎力幫忙，在此一併致謝。

譯者

李 吉 雄 敬謹

六七年六月

目 錄

序 言	
前 言	1
第一章 緒 論	1
1 — 1 計算機的用途	3
1 — 2 解決問題	7
1 — 3 運算法則	19
1 — 4 運算法則之類型	27
第二章 計算機概論	31
2 — 1 記 憶	33
2 — 2 中央處理單元	39
2-2-1 機械語言	41
2 — 3 輸入與輸出	49
2-3-1 作為輸入 / 輸出的機械語言	53
2 — 4 控 制	56
2-4-1 機械語言	60
2 — 5 資料表示法	69
2-5-1 整 數	69
2-5-2 定點數	70
2-5-3 浮動點數	71
2-5-4 浮動點數所用的機械語言	77
2-5-5 字元資料	82
2-5-6 邏輯資料	84
2 — 6 系統程式	87
2-6-1 組合語言	89

2-6-2	組合一個程式	94
2-7	二進位及十六進位資料表示法	96
第三章	流程圖語言	109
3-1	指定指述	112
3-2	資料型態	122
3-3	輸入輸出指述	132
3-4	程式邏輯	136
3-5	程式中之迴路	147
3-6	序列	158
3-6-1	高因次序列	163
3-6-2	機器語言中序列之處理方法	168
3-7	已設函數	169
第四章	計算系統	173
4-1	任務控制解釋器	180
4-2	語言轉換器	182
4-3	監督器	185
4-4	輸入，輸出以及大型系統組織中的儲存裝置	186
4-4-1	慢速輸入 / 輸出裝置	187
4-4-2	大型儲存裝置	189
4-4-3	由作業系統控制的輸入 / 輸出	192
第五章	流程圖語言（第二部分）	197
5-1	程式迴路	197
5-2	輸入 / 輸出	214
5-3	程序—函數	218
5-4	程序—副計劃	227
5-5	當地的和通用的，靜態的和動態的儲存方式	242
5-5-1	靜態的和動態的儲存方式	248
5-6	參數的存取	253

5 - 7	遞迴程序	265
第六章	錯誤，或者“當程式在跑時，它的結果到底對不對？”	271
6 - 1	偵查錯誤和分離	273
6 - 2	非數值錯誤	278
6-2-1	序列指標超出範圍	278
6-2-2	參數傳至函數和副計劃內	280
6-2-3	資料的初值	280
6-2-4	不正確的迴路測試	281
6 - 3	數值誤差	283
6-3-1	算術上的誤差〔捨入誤差〕	284
6-3-2	截尾誤差	290
6-3-3	誤差的放大	292
第七章	資料結構	301
7 - 1	字 串	302
7 - 2	表 列	308
7-2-1	字元字串的表列	315
7 - 3	樹狀的結構	320
7-3-1	有次序的存取一個樹狀結構	329
7-3-2	庫存結構的應用	335
7-3-3	穿線表列	335
7 - 4	使用遞迴法	338
7 - 5	圖	341
7 - 6	儲存體的管理	354
第八章	非數值應用	357
8 - 1	關鍵路徑	358
8-1-1	圖形的貯存方法	367
8-1-2	關鍵路徑法的資料結構	368
8 - 2	決策樹與競賽	373

8-2-1	一般樹狀結構的貯存方式·····	378
8-2-2	謎 題·····	382
8-2-3	樹狀結構的修剪·····	388
8 — 3	波蘭記號·····	394
8 — 4	波蘭式的編譯與演算·····	405
8-4-1	波蘭式編譯成機器語言·····	411
8 — 5	句法分析與波蘭式轉換法·····	420
8-5-1	句法錯誤的偵查·····	425
第九章	數值方法 ·····	429
9 — 1	模 擬·····	433
9-1-1	非連續系統的模擬·····	433
9-1-2	連續系統的模擬·····	434
9 — 2	乘冪序列法·····	439
9 — 3	非線性方程式·····	440
9 — 4	線性方程式—高斯消除法·····	459
9 — 5	面積的求法—數值積分法·····	469
9 — 6	最小平方趨近法·····	482
附 錄	·····	489
索 引	·····	519

第一章 緒論

(Introduction)

本書的目的在介紹你使用計算機的一些基本原則。因為計算機被用來解決各種各類的問題，所以我們必須先知道計算機能做些什麼，然後再去瞭解問題是怎麼解決的。

計算機是一種可以做些如兩個數字的相乘，兩個字 (word) 之間的比較等等簡單動作的裝置。它也可以儲存像一組字，或是一組數字那樣的資料，也就是說它可以將資訊保存下來，以便來日可以對這些資訊作某種處理，或甚至將它們印出來。舉個例子說，這本書的內容就可以整個地存在那些各型各類的計算機裡，任何人均可在需要的時候讓計算機印出特定的一部分來。雖然計算機能力所及的一些簡單動作均可藉存在它內部資料之助而完成，這些動作的順序，及該做那些動作，則必須由人來加以說明及指定。這樣的一個動作順序即稱為一個“程式”(program)，而這種動作順序必須以一種計算機能瞭解的型式表出，這種型式即稱為計算機語言 (computer language)，就像英文是一種語言一樣，它藉字母與符號的組合而形成能夠被接受的句子。在以後的幾頁裡，我們會逐一檢視一些計算機能做的動作，並瞭解如何去建立一個動作順序以便完成更複雜的動作。

學習基本計算機科學課程的人，可能都只為了一種或兩種原因。對有些人而言，這門課只是他們在計算機科學方面一序列研究的起點，他們的目的則在想於進入更專門的研究之前，先獲得必須的背景與能力；而對其他人而言，這門課則在於提供他們在本行研究上的另一種工具而已。不過，這兩種學生使用的教材卻不應當有明顯的差別，如果你專精於別的學科，知道計算機或與計算機科學有關之事未來的可能性應當是十分重要的，因為如此一來，將來你遇到了不適合應用本

書中一些工具去解決的問題時，你能知道該如何去尋求更好的技巧。

計算機科學是一門新的學科，它興起於數學中，而應用於科學，工程，商業，甚至人文科學中。在計算機科學的四周，我們可以發現許多關於資料組織與處理的應用範圍，它們或是商業應用中的管理資料檔案，或是人文科學應用中的一長串文句，或是科學應用中的一系列實驗數據。而聚在計算機科學核心的問題則是如何去求得適合一般性需要的計算機設計與使用方法。設計計算機以便有效地去解決特殊的問題之研究引出了“交換理論”(switching theory)，它是許多計算機中線路作用方式的數學抽象表示法；其次，則是“自動機理論”(automata theory)的引出，它是一種有關各種不同組織方法所形成的計算機的計算能力方面的研究。舉個例子說，交換理論的研習可以讓我們分析一個自動升降機的線路，例如如何使它記得在某幾樓停住；如何使它知道該繼續向原方向進行，或者是向反方向進行；如何使它知道只有二十層樓時不要嘗試往第二十一層爬等等的問題。自動機理論則在研究類似「如果我們只用這一組的計算機零件是不是可以計算某一組的數字？」的問題。為了解決數值問題而研究的各種對數字的處理手段則引出了「數值分析」(numerical analysis)這門學問，數值分析討論的是像「我們在解這一組方程式時，若原始數據的誤差高達1%，答案的準確度如何？」這類的問題。「非數值處理」(non-numerical processing)則在研討非數值資料的處理方法，在這方面的研究則引出了人工語言(artificial language)與人工智慧(artificial intelligence)等的學問，人工語言包括那些設計來撰寫計算機程式的語言，人工智慧則在於研究如何模仿，進而瞭解人的心智行為，例如一個寫來教計算機如何下棋的程式，也就是教它如何依記憶中所存現在棋盤上的狀況而決定下一步棋。

上述這些學問都賴計算機及它的使用為基礎，因此在我們深入研究它們之前，我們必須先瞭解關於計算機的一些基本原理。本書中我們將討論一般性用途的計算機(general-purpose computers)，它們

通常是由電子線路推動，而可以做任何計算機基本運算的機器。近幾年來，計算機在許多特殊的作業中有很大的用處，但是我們將不詳細地去討論它們。幸好，無論計算機是用在自動化交通控制中，或是用在管理銀行帳目上，系統的基本原理都是一樣的，因此我們也不必對它的特殊應用過爲注意。我們會選用例子與問題來說明計算機可以應用的地方，但不會用來教授如何將計算機用在特殊的事物上。

1-1 計算機的用途 (Uses of Computers)

計算機被使用於許多現代生活中看起來似乎相當不同的方面，以致人們經常誤稱它爲「電腦」(electronic brains)。不過，這些種種不同的應用都基於相同的基本原則，也就是所有的問題與應用均須在使用計算機來解決之前，先由人來做一番分析。例如有一部計算機被用來保存並維護一家銀行所有顧客的帳目，在以前這種工作都是由人工來完成的，記帳員先學會了一套典型的記帳法則，然後應用於每一項帳目上，現在計算機可以做這些事了，但是這些記帳的法則仍須由人來建立，然後告訴計算機怎麼去做。這只是一個利用計算機來做相同而須反覆多次的工作以節省人力在單調而辛苦的工作上的例子（見圖 1-1a）。

計算機也可以用在不適合於人工作的環境中的系統控制，例如在無人的太空飛行中即可利用計算機來作系統上的控制。計算機可以善加組織以便按先前決定的方式，或對像雷達這種儀器所做之量度，或對地面上送來的信號取得反應。它也可以根據資料計算飛行體目前的位置，以及飛行的速度，以便找出它相對於目的地進行的情形。利用可得的資料，計算機也可以對地面的太空船控制系統發送訊號，以使太空船維持在人們所希望的正確航道上，並完成預定的各種計劃。但是，請再注意，所有的這些作業程序均須在事先由人策劃。策劃人必須事先週全地想到各種情況的組合下應有的反應，然後將計算機加以組織以便在情況來臨時有正確的反應。因此策劃人可能於事先已決定

了在某種狀況下必須引發利車火箭，以便產生與飛行體速度成正比，但與飛行方向相反的一股衝力。當計算機善加組織與準備之後，它可以在適當時機控制利車火箭的引發，但是究竟如何引發火箭則是策劃人在寫計算機程式時才能決定的了。這一種的計算機用途顯示在圖 1-1b 上。

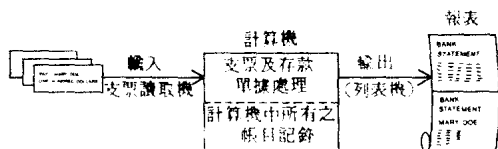
計算機的第三種主要的應用在於協助人們解決超越人類能力的問題上。例如：計算機可以用來協助人們做冗長的計算，而這種計算基因於人類的易於犯錯與過低的計算速度而無法由人來完成。這種情況經常出現在數學或工程問題中計算必須依序（*sequentially*）加以完成時，也就是說下一項計算必須依上一項計算的結果而定。又例如想用手算來完成現代飛行翼翅上各部分的應力也是不可能的，雖然機翼設計者做了機翼形狀的決定，並說明了該如何去分析那上面的應力，我們仍須使用計算機在合於實際的時間長度內完成分析。

這種形式的計算有別於我們所謂平行式的（*parallel*）計算。舉例說，如果一家銀行吸引了更多的顧客，則銀行每天必須處理更多的帳目，它此時可以雇用更多的記帳員或使用一部計算機來解決這個問題，這種情況之下，雇用更多的記帳員顯然可以合於要求，因為每個記帳員均可平行地各自處理一部分帳目，然後加以總結。但是如果我們有一架更大的飛機必須加以分析它翼上的應力時，再雇用更多的人當無濟於事，那跟雇用一個人一樣地不可能完成工作，這是因為應力的計算是依序的計算，除非第一個人把他那部分算好了，第二個人是不可能開始他的計算工作的。

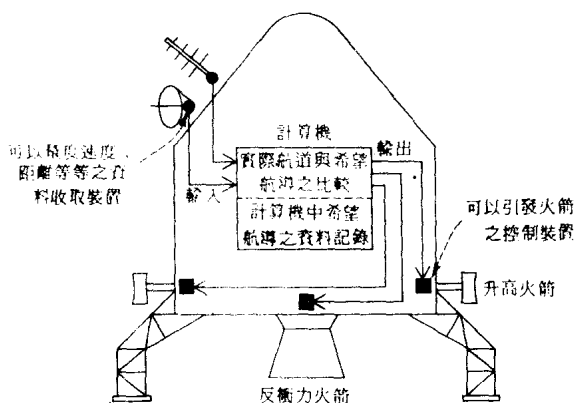
計算機加強人類能力的另一個例子即是資訊尋取（*information retrieval*）的發展。一個研究工作者若經常必須在圖書館中尋索資料，則他的尋索工作可藉一個計算機化的資訊尋取系統之助而節省氣力與時間。這種系統可以查看圖書館中所有的資訊記錄，然後告訴他那些資訊有他感興趣的一些專題。在這種應用中，計算機自然是已經被妥加組織而能夠做適切的運算或依某種方法做尋取工作，以符合實

際的要求。

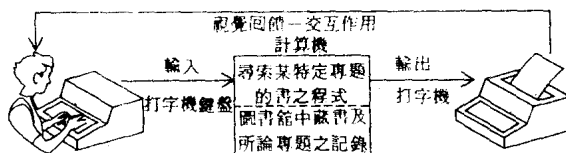
使用計算機來幫助人們解決像資訊尋取這種問題的應用顯示在圖 1-1c 中，由此我們可以看出使用者可能會被計算機輸出而生之回饋影響而做其他的決定。比如說，如果他要找的那本書不在館內，他可以繼續在別的專題上做尋索，這種行為稱為交互作用式的 (interactive) 計算機使用。



(a)相同而須反覆之處理型式—銀行存款及提款作業



(b)複雜工作之控制—太空船航導



(c)協助解決問題——資料尋取

圖 1-1 計算機的用途

雖然加上計算機的使用，工作量上要比由人單獨來做要大得多，但是這些個工作仍是可以由人來完成的，而在這兩種情況中，人還是必須來組織工作的性質與程序。

上述的四種應用——銀行記錄管理，無人太空飛行的控制，大規模計算的執行，以及圖書館資訊的尋取——都包含了兩個我們在利用計算機解決問題時必須考慮的共通要素。

程式中的第一個要素即是它的控制結構（control structure）。一個問題通常會牽涉到在不同的情況時採取不同的行動作為反應。因此，我們可以看得出，在銀行作業的應用中，一個可能的控制行動就是在一個顧客的存款不足以付清他的支票時，寄給他一封不愉快的通知函。在無人太空飛行的應用中主要的也就是一些控制行動，例如在有關位置，速度，或其他狀況的新資料輸入時，太空船的推進系統必須加以控制以完成所希望的計劃或動作。在機翼應力分析計算的應用中，也許並沒有什麼值得控制的，但是在某一部分的應力超過了設計者所定的界限時，仍然須採取適當的行動來處理它。而在圖書館資訊尋取的應用中呢，我們則必須依據某項專題資料之有無而採取一系列的控制行動，或是繼續尋取別的專題資訊，或是中止尋索作業。

問題中的第二個要素稱為資料結構（data structure）。尤其是在圖書館資訊尋取的應用中，資料的結構是在考慮如何解決這項問題時的主要因素，雖然所需的資訊已利用某種方式儲存在計算機中，研究工作者所希望得到的是一種不同的，他能瞭解的形式。這就像某人在找X先生的電話號碼時，解決的辦法可以是交給某人一本當地的電話號碼簿，但是問者希望的是一種不同的資料組織法，以便一目了然地可以找到他所須的電話號碼，除非這個人是在為電話公司做事，如果你能把X先生電話號碼所在的頁數翻給他，並在X先生的電話號碼下標記，你就可以令他相當滿意了。在這種資料結構的問題中，解決的方法之一就是重新組織這些資料。例如當我們接受一項要在圖書館中找尋資料的要求時，我們所必須做的只是將資料重新加以組織，然