科學圖書大庫

計算機組合入門

譯者 陳漢時

徐氏基金會出版

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

中華民國六十五年十二月十五日初版

計算機組合入門

基本定價　3.20

譯者　陳漢時　空軍通信電子學校畢業
美國丹佛精密電子儀表班畢業

(63)局版臺業字第0116號

出版者　財團法人臺北市徐氏基金會　臺北市郵政信箱53-2號 電話7813686號 7815250號
發行者　財團法人臺北市徐氏基金會　郵政劃撥賬戶第15795號
承印者　大興圖書印製有限公司 三重市三和路四段一五一號 電話9719739

我們的工作目標

文明的進度，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，乃對人類未來世代的投資。從事科學研究與科學教育者，自應各就專長，竭智盡力，發揮偉大功能，共使科學飛躍進展，同將人類的生活，帶進更幸福、更完善之境界。

近三十年來，科學急遽發展之收穫，已超越以往多年累積之成果。昔之認爲若幻想者，今多已成爲事實。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，尤爲社會、國家的基本使命。培養人才，起自中學階段，此時學生對基礎科學，如物理、數學、生物、化學，已有接觸。及至大專院校專科教育開始後，則有賴於師資與圖書的指導啓發，始能爲蔚爲大器。而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，彌足欽佩！

本基金會係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，惜學成返國服務者十不得一。另曾贈送國內數所大學儀器設備，輔助教學，尚有微效；然審情度理，仍嫌未能普及，遂再邀請國內外權威學者，設置科學圖書編譯委員會，主持「科學圖書大庫」編譯事宜。以主任委員徐銘信氏爲監修人，編譯委員林碧鍠氏爲編輯人，各編譯委員擔任分組審查及校閱工作。「科學圖書大庫」首期擬定二千種，凡四億言。門分類別，細大不捐；分爲叢書，合則大庫。爲欲達成此一目標，除編譯委員外，本會另聘從事

翻譯之學者五百餘位，於英、德、法、日文出版物中精選最近出版之基本或實用科技名著，譯成中文，供給各級學校在校學生及社會大衆閱讀，內容嚴求深入淺出，圖文並茂。幸賴各學科之專家學者，於公私兩忙中，慨然撥冗贊助，譯著圖書，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，遂不計稿酬多寡，費時又多，迢迢乎千萬里，書稿郵航交遞，其報國熱忱，思源固本，至足欽仰！

今科學圖書大庫已出版一千餘種，都二億八千餘萬言；尙在排印中者，約數百種，本會自當依照原訂目標，賡續進行，以達成科學報國之宏願。

本會出版之書籍，除質量並重外，並致力於時效之爭取，舉凡國外科學名著，初版發行半年之內，本會卽擬參酌國內需要，選擇一部份譯成中文本發行，惟欲實現此目標，端賴各方面之大力贊助，始克有濟。

茲特掬誠呼籲：

自由中國大專院校之教授，研究機構之專家、學者，與從事工業建設之工程師；

旅居海外從事教育與研究之學人、留學生；

大專院校及研究機構退休之教授、專家、學者

主動地精選最新、最佳外文科學名著，或個別參與譯校，或就多年研究成果，分科撰著成書，公之於世。本基金會自當運用基金，並藉優良出版系統，善任傳播科學種子之媒介。尙祈各界專家學人，共襄盛舉是禱！

徐氏基金會　敬啓

中華民國六十四年九月

譯　序

最近半世紀以來，各項科學之發展神速，其原因衆多，但電子計算機之成就，也爲重要因素之一。

自一九四七年第一架眞空管計算機問世以後，迄今不過三十年，然而目前眞是登峯造極之將至。型態有巨有細，類別有簡有繁。研究機構，工廠管理，財經單位，學校團體，無不以此爲計算統計之工具。東方之算盤，西方之計算尺，均爲所取代。傳歷已久之計算方式，也因此而改變。

由於電子計算機之日益普遍，對其原理與結構發生興趣者，也與日俱增。因而特別選譯馬里蘭州大學朱教授（Professor Yaohan Chu）所著的這本計算機組合入門（Introduction to Computer Organization）以供樂於此道者閱讀。本書是以深入淺出的手法寫成，沒有涉及電子電路及電器元件之探討。但對計算機運算的法則，數字表示的系統，數據的去來，以及資料之儲存與提取，均有詳盡的說明，使學者讀後有事半功倍的感覺。若由此開始，進而更求電路之進修，或從事程式之書寫，均有莫大之裨益。總之，對於計劃從事計算機工作的青年，這是一本好書。

本書內容具有三個重點：第一，能使學者徹底瞭解一架儲存程式型的數位計算機如何進行工作。第二，能使學者對計算機的組合與運算有一個簡明的瞭解。第三，能使學者對程式語言有一個概念。從第一章到第五章，介紹計算機的基本組合，以簡單的計算機說明其模擬的情形。從第六章到第十三章，以商用的數位計算機描述加，減，乘，除的順序，並介紹其起止狀態，人工操作、輸入輸出等的邏輯體系。

在本書即將出版之際，譯者對林碩士敏彥先生所提供之寶貴資料，深表感謝，特此誌之。

陳漢時　敬識

目 錄

第一章 緒 論

第二章 計算機元件

第三章 微式運算

第四章 順 序 論

第五章　計算機組織之模擬

第六章　儲存程式計算機

第七章　計算機程式設計

第八章　定時脈波與控制信號之產生

第九章　取還順序

第十章　加和減的順序

第十一章　乘和除的順序

第十二章　人工控制與輸入／輸出的順序

第十三章　其它的順序

第一章 緒　論

一個現代的數位計算機（Digital Computer），由於其電路及記憶器（Memories）所具有之二進性質（Binary Nature），而被採用以處理二進數（Binary Numbers）。它主要的工作，就是執行算術及其它的運算；而這些運算，可用邏輯代數的方法加以說明。本章將介紹有關二進數，二進算術（Binary Arithmetic），以及布耳代數（Boolean Algebra）等的法則，作爲研究本書的準備工作。

1·1 二進數

表示十進數（Decimal Number）的方法不只一種，若以十進數N，1968.906而言，它有七個數位（四位整數與三位小數）。以上所表示的方法，爲一般所使用的形式，以小數點作爲整數與小數的分界點。但是此數亦可以另一種形式表之：

$$N=1\times10^{3}+9\times10^{2}+6\times10^{1}+8\times10^{0}$$
$$+9\times10^{-1}+0\times10^{-2}+6\times10^{-3}$$

式中的1，9，6，……稱爲數位。對於十進數系（Decimal Number System）而言，其數位有十個，即0，1，2，……8，9。其中的10稱爲此數系之基（Base）或數基（Radix）。十進數系的數基爲10，加於數基右上角的指數，因其能權衡數之大小，故稱爲權（Weight）。

對於二進數的體系而言，其數基爲2，數位爲0與1。以二進數B，即1011.01來說，也用小數點（小數點爲通稱，在十進位體系中稱爲十進點〔Decimal Point〕，在二進數則稱二進點〔Binary Point〕）將數分爲兩部份。此數亦可以另一種形式表之：

$$B=1\times2^{3}+0\times2^{2}+1\times2^{1}+1\times2^{0}+0\times2^{-1}+1\times2^{-2}$$

如果將其各項相加，則此數與十進數體系的11.25相等。此二進數有六個數位。因爲二進數位這個專門名詞，在討論計算機的文字中經常發現，爲了方便計，特稱之爲數元（Bit）。

對於八進位數的體系而言，其基數爲 8，數位爲 0，1，…… 7。這三種數系（即十進．八進與二進）將經常出現於以後的章節中。在表 1·1 中，列出十六個四數元的二進整數，以及與其相當的八進數和十進數。

表 1·1　十進，八進和二進數的對照表

二進數	八進數	十進數
0000	0	0
0001	1	1
0010	2	2
0011	3	3
0100	4	4
0101	5	5
0110	6	6
0111	7	7
1000	10	8
1001	11	9
1010	12	10
1011	13	11
1100	14	12
1101	15	13
1110	16	14
1111	17	15

當一個數所屬的體系並不十分顯明時，就須用註標表示其數系。例如 1234.56 可以代表十進數，也可能是八進數。如果其爲十進數，則當以 1234.56_{10} 表之。如果其爲八進數，則當以 1234.56_{8} 表之。但當一數所屬數系十分顯明時，或另有說明時，就可將註標省略。

1·1·1　**單數元算術**（Single-Bit Arithmetic）　二進數的算術，是以單數元算術爲基礎。兩個單數元相加，亦即一個被加數（Augend）的數元與一個加數（Addend）的數元相加，就產生一個和數元（Sum Bit）與一個進位數元（Carry Bit）。其規則如下：

被加數數元		加數數元		進位數元	和數元
0	+	0	=	0	0
0	+	1	=	0	1
1	+	0	=	0	1
1	+	1	=	1	0

此地需要注意的，就是僅當被加數數元與加數數元均爲 1 時，進位數元才爲 1 。

兩個單數元的減法，即由被減數（Minuend）數元中減去減數（Subtrahend）數元而獲得差數元（Difference Bit）與借位數元（Borrow Bit）。其規則如下：

被減數數元		減數數元		借位數元	差數元
0	−	0	=	0	0
0	−	1	=	1	1
1	−	0	=	0	1
1	−	1	=	0	0

借位數元僅當減數數元大於被減數數元時才爲 1 。同時需要注意的，就是在以上的加法和減法中，其相當的和數元與差數元均相同，只有進位數元與借位數元不同。

在單數元的乘法中，被乘數數元（Multiplicand Bit）與乘數數元（Multiplier Bit）相乘，產生一個單數元的積（Product）。其規則如下：

被乘數數元		乘數數元		積數元
0	×	0	=	0
0	×	1	=	0
1	×	0	=	0
1	×	1	=	1

由此規則的顯示，積數元僅當被乘數數元與乘數數元都爲 1 時才爲 1 。

現在將以上各單數元算術的規則，應用到二進數中加、減、乘、除的運算方面。

1·1·2 二進加法（Binary Addition） 當兩個五數元的數相加，

其和可能為五數元的數，也可能為六數元的數。若為六數元時，則從最高有效數元（Most Significant Bit）的位置所產生的進位數元，稱為超限（Overflow）。這兩種情形可用以下的範例說明之。圖1·1中所示者為流程圖（Flow Chart），它表示兩個不帶正負號的二進數X*和Y*的加法演算。

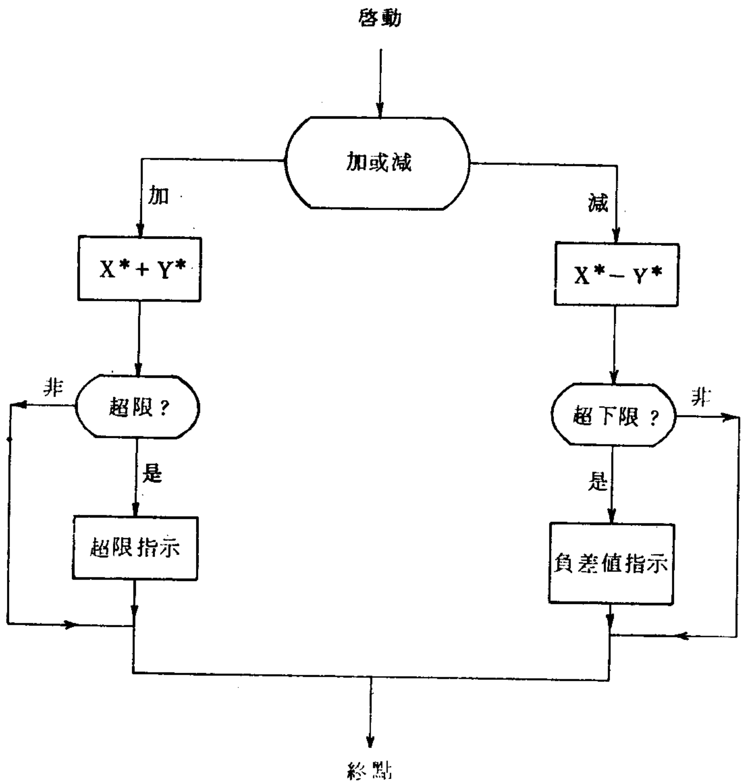

圖1·1　兩個二進數X*與Y*（無符號的）的加減流程圖

在正常情況下，計算機中並無額外的位置，儲存此超限的數，作事後應用。結果所得的總和為00011（並非100011），並不正確。以上所討論的，雖則僅為整數加法，但對小數或整數與小數同時存在的數相加時，其規則亦頗相似，只要將小數點的位置作適當排列即可。

範例 1·1　無超限的二進數加法

	二進位演算	十進位演算
被加數	10001	17
加　數	+ 01001	+ 09
數位的和	11000	26
進位數元	+ 00001	
和	(0)11010	

無超限

範例 1·2　具有超限的二進數加法

	二進位演算	十進位演算
被加數	10001	17
加　數	+ 10010	+ 18
數位的和	00011	35
進位數元	+ 10000	
	(1)00011 $\neq 35_{10}$	

超限數元

1·1·3　補數（Complements）　一個二進數具有兩個相關而重要的二進數，就是2補數（2's Complement）與1補數（1's Complements）。一個n數元的數，它的2'補數就是n個零數元減去該數的差，當然也是一個二進數。而該數的1補數則爲n個1的數元減去該數所得的二進數。下列範例就是求二進數N的2補數與1補數的方法：

範例 1·3　二進數的1補數與2補數之求法

假設N爲已知的二進數

N1 爲N的1補數

N2 爲N的2補數

若　N＝00111

則　N2＝00000－00111＝11001

N1＝11111－00111＝11000

若　N22爲N2的2補數
　　N11爲N1的1補數
則　N22=00000-11001=00111
　　N11=11111-11000=00111

在以上的範例中，顯示着：一個二進數的2補數較其1補數大一個最低有效數元。再者，一個二進數的2補數的2補數，就是原來的二進數（即N22=N）。相同的，一個二進數的1補數的1補數，也就是原來的二進數（即N11=N）。尤須注意的：一個數的2補數是由相減的方法求得，但其1補數可由原有數的每一數元的1補數求得。因而在計算中，二進數的1補數較2補數容易求得。

1·1·4　二進數的減法　被減數減去減數後，所得的差可以爲正也可以爲負。如果減數小於（或等於）被減數，則所得之差爲正（或爲零）。如果減數大於被減數，則其差爲負。這兩種情形可由下列範例說明之：

範例1·4　具有正差的二進數減法

	二進位演算	十進位演算
被減數	10001	17
減　數	− 01010	− 10
數位的差	11011	07
借位數元	− 1010	
第一次差	01111	
借位數元	− 0100	
差	$00111 = 7_{10}$	

範例1·5　具有負差的二進數減法

	二進位演算	十進位演算
被減數	01010	10
減　數	− 10001	− 17
數位的差	11011	− 07
借位數元	− 10001	
差	(1)11001	

超下限（underflow）

以上範例中的被減數和減數均屬無號（無正負號）二進數；在習慣上皆視為正二進數。範例 1·4 中，其差為正的 00111，答案正確。範例 1·5 中，其差為負，但所得結果為一正數 11001，所以不可能為正確答案。但若進一步求 11001 的 2 補數，則得 00111；又因負二進數須以其 2 補數表之之故，所以 11001 亦為正確答案。至於負差的存在與否，就看有否超下限而定，正如範例 1·5 之所示。

1·1·5　加 2 補數所完成的減法　二進數減法，可以在被減數上，加減數之 2 補數以完成之。其規則如下：

a. 將減數之 2 補數與被減數相加。

b. 如果沒有超限產生，其結果為負，且以 2 補數表之。

c. 如果產生超限，則其結果為正，對此超限可以置之不理。

在被減數上加減數之 2 補數以達成減法的範例有二，如下：

範例 1·6　具有正差的二進數減法

	二進位演算	十進位演算
被減數	10001	17
減　數	− 01001	− 9
		8
被加數	10001	
加　數	+ 10111	
和	(1)01000 $= 8_{10}$	
	↑超限	

範例 1·7　具有負差的二進數減法

	二進位演算	十進位演算
被減數	01001	9
減　數	− 10001	− 17
		− 8
被加數	01001	
加　數	+ 01111	
	11000	

此間的加數仍爲減數的2補數，因無超限，其結果爲負。此負差的值爲11000之2補數，即爲01000或爲8_{10}。

圖1·2所示之流程圖，即所以說明兩個無號二進數X*與Y*，藉X*＋Y2*的步驟，而完成減法的演算。

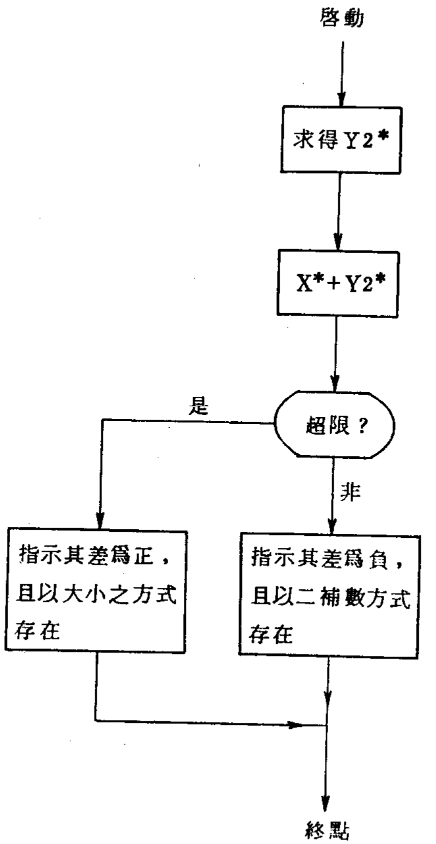

圖1·2　加2補數以完成減法的流程圖

1·1·6　加1補數所完成的減法　在演算上也可以在被減數上加減數的1補數以達成相減的目的。由於1補數較2補數容易導來，所以此法較前法爲優。然而，在使用1補數時，可能需加一個端迴進位（End-around Carry）。其運算規則如下：

a．將減數的1補數和被減數相加。