

多或少會受到外界因素的影響而在波峰附近有振盪現象，或者在波下降時受到干擾而產生一較高的波形，如此我們做數據抽樣時將會產生誤差，比如在降波時突然偵測出一較高的波而將其數據當做吾人所要的數據，那麼以下所偵測的數據將陽錯陰差，因此在遇到這種波形不規則性的問題，須要小心心的處理。解決方法是一般波峰之間相隔時間都是相同的，利用這特性可以解決下降波不規則的情形，若是有較高波形出現而與預測波峰時間不相符合，可以令其捨棄此波峰的數據，遇到波峰附近有振盪現象，可令其前後幾個數據相加平均後作為吾人所要求的數據。

② AA - II 兩波之間的相位問題

無疑地，雙綫道的自動分析機是比單綫道的更有用，可是同時輸入兩個波形，其波相之間的關係就需要考慮了。當波峰偵測出後，機器還得花一些時間將結果打出，打完後再繼續偵測下一個波峰。一般所花的時間比兩波峰之間的時間小很多，對於單綫的自動分析機可以不必考慮，可是對於雙綫道而言，若是 A，B 兩波波峰太接近，或許偵測出 A 波的波峰將結果打完，再來偵測時已經跳過 B 波的波峰，而使 B 波沒辦法作實驗。針對這個問題，我們可以在實驗時先將 A，B 兩波波相測出究竟是正常的（即 A 波波谷出現時 B 波波峰亦出現）或是 A 波波相領先 B 波抑或是 B 波領先 A 波。當然兩波相正常時是最好的，可是若遇到不正常現象，比如 A 波領先 B 波，吾人可令其在偵測出 A 波波峰後先將其結果貯存起來，等到偵測出 B 波波峰時，再一起將 A 波，B 波的结果打出；因為緊跟著 B 波波峰的下一個 A 波波峰，還須一段時間才會出現，而這段時間對打出結果所花的時間而言是相當夠的。

③ SMA - 12 系統的時間及同步問題

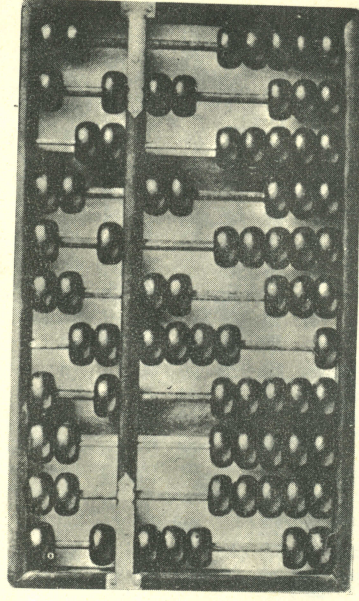
連續式多綫道自動分析系統（Sequential Multiple Analyzer）之產生，使得實驗室能對一樣品（Sample）作六種或十二種試驗，近來更有可同時作四十八種試驗之分析系統產生，這自然大大的提高了實驗室的工作效率。此類分析儀器之輸出圖形為連續的階形波，每一階波之高度代表某一試驗之濃度，以計算機自動處理階形數據時，最需克服的困難是時間及同步的問題；以 SMA - 12 為例，它的十二個連續階波中，其第二至第十二階波之時間約為每波 4.5 秒，第一階波約為十秒，使其每一樣品之分析時間總合為一分鐘，但在 4.5 秒內，計算機必須完成取樣（Sampling），計算，分析及報告等工作，其時間之安排相當重要，AAS 中，是以一秒鐘時間，於階波中段部份選取八點數值，平均計算得之，以其餘的時間作分析、報告的工作尚可裕如。

同步乃 SMA 自動分析系統中非常重要的因素，計算機處理連續階波是依次進行的，每一階波之時間控制如果略有出入，則誤差累積是相當可觀的，適時同步實屬必需。AAS 是利用時間較長之第一階波完成同步工作，當例

行之取樣至報告工作完成後，第一階波仍在進行中，計算機可不斷取樣並比較數值，通常相鄰兩階波間必有一向上或向下之突跳發生，計算機即利用此一突跳作為每一樣品之第二階波之開始，同步工作得以完成。在 SMA 輸出波形中，偶爾也會出現第一階波與第二階波等高的現象，此時以突跳完成同步便會失敗，這種情況雖極罕見，但設計自動化系統時亦不得不考慮，AAS 係於突跳同步之同時亦採行計時同步，即在相當時間內若突跳尚未發生，則計算機進行第二階波之分析工作，計時同步可能會發生誤差，故連續三樣品未發生突跳時，計算機將暫停動作，俟操作員調整樣品次序後再繼續動作。

Part II

電腦的故事



中國算盤——電腦的始祖。

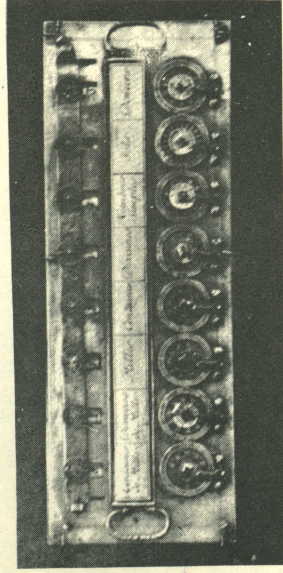
(一)前言

1949 年美國陸軍用第一代的電腦 ENIAC 計算 π 的數值，總共求出 2036 位，費時 70 小時。1610 年 Van Ceuilen 計算 π 的值到 33 位，花了一生的時間！

自從人類的文明開始，為減輕計算的負擔而作的努力就從來沒有停止過。當然最原始的計算工具是手指，採用手指作為計算工具的結果，使得世界上大多數的人種都接受十進位的數字系統。手指之後，古代的中國又利用刻有位數的竹片作為運算工具，這就是籌算法。古羅馬人也用線穿上珠子作為工具，這和元代以來發明在中國的算盤是否直接相關，我們不得而知。不過算盤確是一項極為方便而有效的工具，因此才能歷久流行而不衰，到現在為止，一個珠算能手仍堪與計算機相比擬。

(二)機器的發明

現代化的機器要到十七世紀才開始。法國的數學家巴斯卡 (Blaise Pascal) 自行製造了一架五位數字的加法機，那時他才不過十九歲。巴斯卡的設計是用十個齒的齒輪



第一台機械計算機——為1642年法國數學家巴斯卡 (Blaise Pascal) 所發明。

代替0到9的十個基本數字，用齒輪代替了算珠，齒輪每轉一個刻痕，便代表了一個數目。當一個齒輪轉過了九個刻痕時，一個凸出的齒就鉤住了旁邊另一個齒輪，使它轉動一個刻痕。巴斯卡因此發明了一個自動「進位」的機械化算盤。

1672年和牛頓同時發明微積分的荷蘭數學家萊布尼茲 (Baron Von Leibnitz) 將巴斯卡計算機多加了幾個聯動齒輪的裝置，能將一個數目迅速重複相加來做乘的運算，重覆的減數來做除的運算。

這種發明重不重要？重要。是不是因而改變了這個世界的面貌？那就未必了！三百年後，一個人用一台大加改良的計算機，也就是今日在辦公室裡所用的那一種，和一個打算盤的人比賽同樣的題目，結果用算盤的人贏了比賽！

(三)數位計算機與模擬計算機

在前面我們所討論過的計算裝置中，我們可以注意到無論以手指計物，或以算盤珠子，或以齒輪的齒作計算的單位，這些計算單位都是分別的，確定的，每次變化最少是一個單位，一個手指，一個珠子或一個齒輪，這種計算機我們叫它作“數位計算機”(Digital Computer)。另外有一種計算機叫做“模擬計算機”(Analog Computer)計算尺是其中之一。計算尺以長度代表數量，在任兩個單位間有無限個更小的單位存在，我們僅能求得一模擬值 (Analog Value)。

電腦(電子計算機, Electronic Computer)則以電來代表數量，一種以電的脈衝波 (Impulse) 來代表數量單位。脈衝波的有無之間沒有中間值的存在，是屬於數值計算機。而另一種以電壓的大小來表示數值的相對值，任意兩個電壓間可以找出無限個中間值，是模擬計算機。在醫學研究工作上，早期是以模擬計算機的應用較為重要。因為醫學試驗所得到的結果常是一種模擬量。如：血壓、肺的潮氣量，心臟的輸出血量等等；僅有少數如：脈搏率、呼吸率的結果才是數字。但是隨著數字計算機的發展，更加敏快，更為輕便，更稱價廉的產品出現，與應用方式不斷的演進，大部分模擬計算機的工作都可被數字計算機所取代。模擬計算機雖然構造簡單而廉價，它最大的缺點是工作範圍小，精密度不夠，其準確度取決於測量長度時為準確程度，且不能貯存資料，無法處理文字。因此一般所稱的“電腦”是指電子數位計算機而言。

(四)電腦的誕生

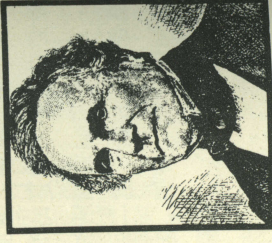
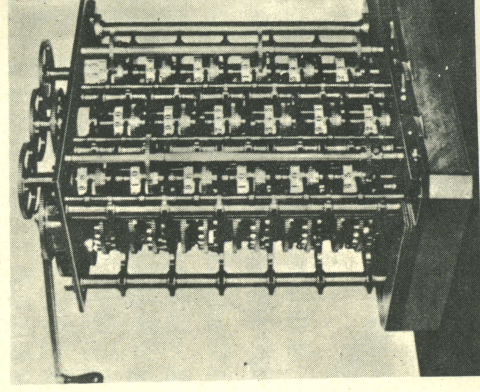
在商業的領域裡，一架計算機只要能夠做加減乘除四則運算便足可稱職。但是在科學的領域這可不夠，十八世紀末，十九世紀初由於航海的發達，越來越需要精確的函數表作為船隻定位，地圖測量之用。我們知道，像對數，三角函數的求值過程非常繁複，往往起用了大量人力計算之後，還是錯誤百出。當時每本出版後的數表，不旋踵就要加上超過千欄的錯誤表，更何況還有為人所未能發現的錯誤！船隻因為數表不夠精確而迷失航程時有所聞。當時劍橋大學的數學教授巴倍奇 (Charles Babbage) 便挺身而出，為這些函數的求值設計一部自動的機器。這部機器叫做差分機 (Differential Engine)。他的構想是來自這樣的，如果我們將任意一個二次函數求值，這些值的第二度差是一個常數，譬如說 $f(x) = 3x^2 + x - 1$ 這個函數。

x 值	f(x)	第一度差	第二度差
0	-1		
1	3	> 4	
2	13	> 10	> 6
3	29	> 16	> 6
4	51	> 22	> 6
5	79	> 28	> 6

$f(x)$ 的第二度差是6，也就是 $f(x)$ 的二次微分。利用這個原理，他用連續的加減法來求 $f(x)$ 值。

$$\begin{aligned} f(0) &= -1 \\ f(1) &= f(0) + 4 \\ f(2) &= f(1) + 4 + 6 \\ f(3) &= f(2) + 4 + 6 + 6 \\ f(4) &= f(3) + 4 + 6 + 6 + 6 \\ f(5) &= f(4) + 4 + 6 + 6 + 6 + 6 \end{aligned}$$

要自動完成求值的工作，他的機器必須要有下面的三個部分。①一個儲蓄單位 (storage unit)，用來儲藏各個



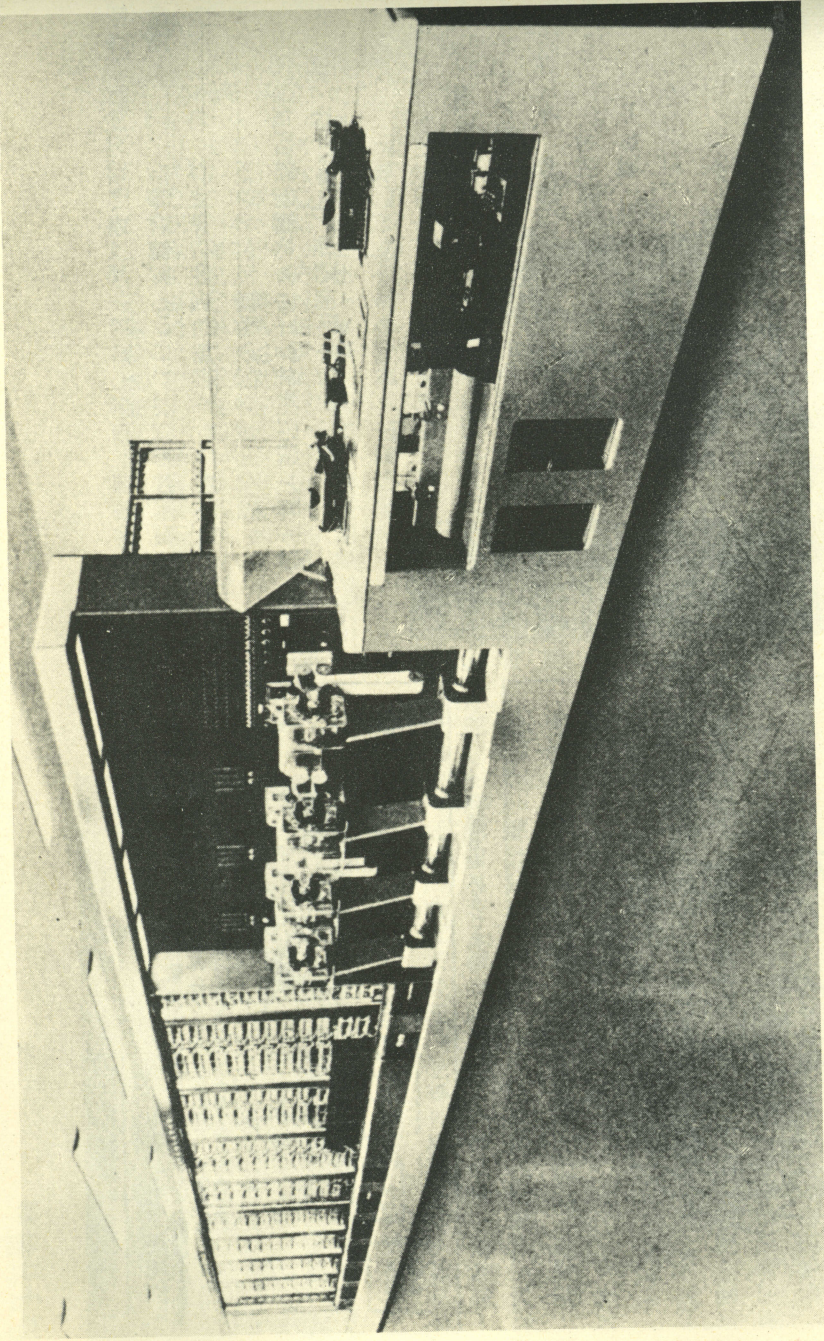
巴倍奇 (Charles Babbage)

差分機

——1823年巴倍奇

(Charles Babbage)

發明。



Mark I 型計算機——第一台能完全自動操作的數字計算機。

Mark I 型以成卷的鑿孔紙帶代替了打孔紙卡，以指示機器，內含幾十萬個開關器，可以在一秒鐘內計算三道問題。這架機器的第一件工作，就是揭穿一個軍事上的幻術。其時為二次大戰，美國的軍事當局獲悉德國正在製造一種十分厲害的武器——電報。到底它有何作用呢？爲了這個問題，成千上萬的方程式輸入馬克 I 型中去求答案。幾天後，結果顯示製造電報是不可能的，美國不再就心有這種武器存在了，而德國人卻仍然在浪費他們科學家的寶貴時間，企圖繼續製造它！

第一架可以稱爲電腦的計算機是在 1946 年由賓夕法尼亞州立大學兩位科學家所製造的 ENIAC (Electronic Numerical Integrator And Computer) ENIAC 是一架三十噸的龐然大物（用真空管替代了 Mark I 型計算機的機械開關器），含有兩萬個真空管和幾千個半導體，是第一架應用電子迴路來做運算的機器，一秒鐘可以做五千道運算，而不是三道運算。

(四) 布氏代數與二進位計數法

一般做邏輯的判斷時，常常因爲文字敘述中語意上、情感上的陷阱造成錯誤。如果我們能用較簡單的符號來代替敘述，就可以得到較為明確客觀的判斷。這其實不難，因爲一個敘述不是錯便是對。Angnst De Morgan 使用 0 與 1 代表敘述的錯與對，發明了數字邏輯。如果我們用“+”與“×”代表邏輯的連接詞“或”與“且”可以得到以下的公理。

$$\begin{aligned} 0+0 &= 0 \\ 0+1 &= 1 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 0 \times 0 &= 0 \\ 0 \times 1 &= 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 1+0 &= 1 \\ 1+1 &= 1 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 1 \times 0 &= 0 \\ 1 \times 1 &= 1 \end{aligned}$$

藉著數字邏輯之助，布爾 (George Boole) 在 1854 年發表的論文 “An Investigation of the Laws of Thought on Which are Founded the Mathematical Theories of Logic and Probabilities”

首先提出了符號邏輯的概念，我們又叫它“布氏代數” (Boolean Algebra)。布氏代數是利用 A.B.C. 等符號來代表邏輯敘述。利用符號之助，我們很快可以導出許多定理。如：

$$A + \bar{A} = 1 \quad A \times \bar{A} = 0 \quad (\bar{A} \text{ 代表 } A \text{ 的否定})$$

$$A + \bar{A} \times B = A + B$$

$$\frac{A \times B}{A + \bar{B}} = \bar{A} + \bar{B} \quad A + \bar{B} = \bar{A} \times \bar{B} \quad (\text{De Morgan 定律})$$

以文字代替數字之後，我們發明了代數；造成數學長足的發展。如今以符號代表了敘述，在邏輯的推論中許多難以解決的難題就可迎刃而解了。

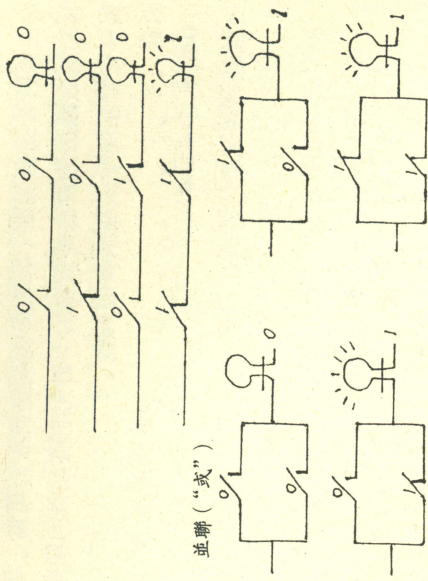
1869 年，William S. Jevon 利用布氏代數發明了邏輯算盤與邏輯鋼琴 (Logic Abacus & Logic Piano) 只要按按鍵盤，複雜的邏輯問題便輕易地可被解出。Jevon 自認爲他的發明純粹是學理的一種推廣與應用而已，現實生活中不可能有需要利用這些機器的難題出現。誰知今日的電腦却常常要解這些以前所認爲不會存在的問題。

1938 年 MIT (麻省理工學院) 的學生 Shannon 在他的論文 “A Symbolic Analysis of Relay and Switch Circuits” 中指出電路可以用布氏代數來做分析，Shannon 的工作不但在電話交換機的設計上大有貢獻，也爲電腦的

內電腦的操作原理和結構

如果我們手邊有兩個電路開關，我們可把它們當作正反器，將電路接通當作“1”，電路切斷當作“0”。那麼這兩個開關串聯以後可以得到下面的結果：

串聯（“且”）

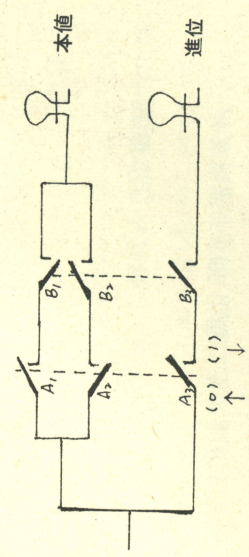


很湊巧地，這樣的串聯電路和布氏代數中的“且”運算有相同的功用。相似地，如果將兩個開關並聯，我們就得到“或”運算的電路。

但是，只有這些電路並不能做加法運算，一個二進位的加法電路必須能夠表達下列四種狀態：（如果作10進位加法就需要表達 $10 \times 10 = 100$ 種情形，而不只四種。）

- $0+0=0$
- $1+0=1$
- $0+1=1$
- $1+1=0$ ……並且進位1

這其實不難，我們只要利用幾個連動的開關就可表達

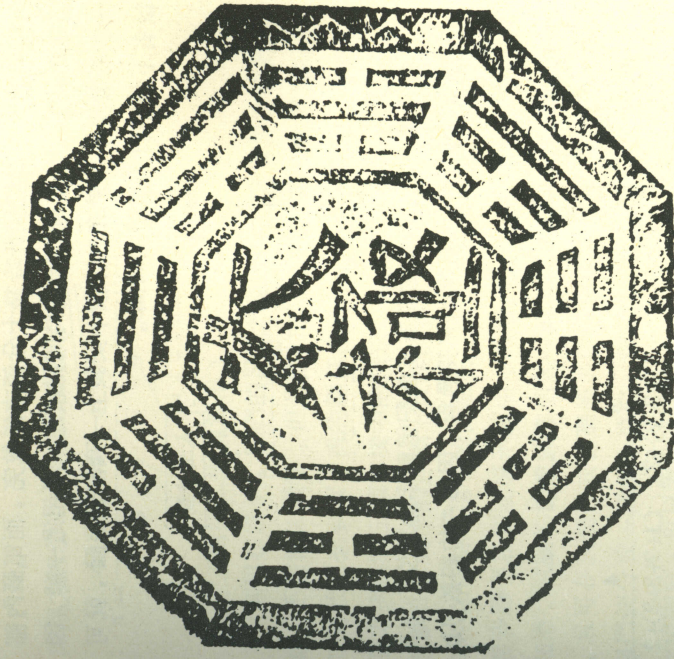


在上面的線路裡， A_1, A_2, A_3 三個開關， B_1, B_2, B_3 三個開關都是連動的。也就是說，若 $A = 0, A_1, A_2, A_3$ 三個開關一齊向上移， A_2 接通， A_1 和 A_3 斷路。 $B = 0$ 時，三個 B 開關一齊上移， B_1 接通， B_2, B_3 斷路。同學們何妨在紙上，任意為 A 與 B 定值做實驗，看是否能完整表達二進位的加法運算。

為了減少複雜的電路結構，電腦並沒有專為減法而設的電路。它採用的是一種有趣的補數減法。

譬如：一個算數式

$$\begin{array}{r}
 11101 \dots\dots\dots \text{被減數} \\
 - 10011 \dots\dots\dots \text{減數} \\
 \hline
 1010 \dots\dots\dots \text{差}
 \end{array}$$



八卦圖

發明者做了先驅。

我們數東西是這樣數的1, 2, 3, 4...。但是今天的澳洲土著却是這樣地數 enea(1) petchaval(2) enea petchaval(3) petchaval petchaval(4)；他們用的是二進位法。其實在五千年前中國的伏羲所發明的八卦就是運用二進位法。易繫辭傳曰：“易有太極，是生兩儀，兩儀生四象，四象生八卦”。八卦以至六十四爻變，都由陰（--），陽（-）來構成。五千年後，萊布尼茲竟然自以為發現了二進位數！

第一架電腦ENIAC 和前面談到的機械式計算機一樣，是採用十進位的計數法。ENIAC 利用圍成一圈的十個正反器 (flip-flop) 來代替十個齒的齒輪。正反器是一種電路結構，可以有兩種穩定狀態 (Bistable state)。它可以由開關構成，也可以由真空管或電晶體的迴路構成，也可以用磁力線方向不同的磁圈來代表。在上面所說正反器的兩種狀態，我們可分別定為 set 及 reset 狀態。

ENIAC 要表示一個數字例如 4，便是正反器圈中代表 4 的一個變成 set 狀態，其他的則維持 reset 狀態。

在深思熟慮下，我們會發現，因為每一個正反器可以代表兩種狀態，如果按照易經64爻的表示法（二進位法），ENIAC 的十個正反器可以表示 $2^{10} = 1024$ 個數字。因此採用十進位法只有造成電路的浪費，只要四個正反器在一起就可代表10個基本數學而有餘（ $2^4 = 16$ ），如果再加上兩個正反器 $2^2 = 64$ ，連英文的26個字母外加十個數字都可以一一表示。在運算的時候，二進位法可以大大減輕線路的負擔，還可配合布氏代數的應用。所以在今日，二進位法是電腦最流行的計數系統。

在完成這個運算時我們要靠著下列幾條減法公設：

$$\begin{aligned} 1-1 &= 0 \\ 1-0 &= 1 \\ 0-0 &= 0 \\ 0-1 &= 1 \dots\dots\dots \text{並且向上位數借 1} \end{aligned}$$

如果要符合這些規則，我們必須要重新設計電路。但是電腦的補數減法的做法是這樣的：首先它將減數的訊號，1與0完全互變，求取減數的補數。

減數的補數

$$\begin{array}{r} \text{減數} \\ 10011 \xrightarrow{\text{"1", "0"互變}} 01100 \\ \text{被減數再與減數的補數相加，而後再加 1 並且去掉進位的 1。} \end{array}$$

位的 1。

$$\begin{array}{r} 11101 \quad \text{被減數} \\ + 01100 \quad \text{減數的補數} \\ \hline 101001 \\ + \quad 1 \quad \text{加 1} \\ \hline \boxed{1}01010 \quad \text{差} \end{array}$$

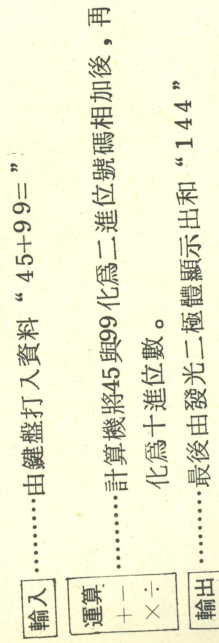
→ 進位的 1 去掉

結果只要利用加法的電路，就可以求出減法的差。補數名稱的由來是因為，減數與減數的補數和恰為 11111，所以對 11111 互稱補數。補數減法的原理如下：

$$\begin{aligned} x + (y \text{ 的補數}) + 1 - (\text{進位的 1}) \\ = x + (11111 - y) + 1 - 100000 \\ = x - y \end{aligned}$$

萊布尼茲的計算機應用連加法來代替乘法，連減法代替除法。在十進位的乘法這應是最方便的機器表示法。然而由於採用二進位，電腦可直接做一般的乘除，過程就如我們做直式的乘除一般。詳情從略。

在一般的手上計算機，一個運算如“45+99=144”的基本步驟如下：



做簡單的算術時這樣是夠用的。但是如果我們要計算一個冗長的函數值，這可就非常不方便了。

一般求 π 的函數值是利用葛雷哥 (Gregory, 1671) 的

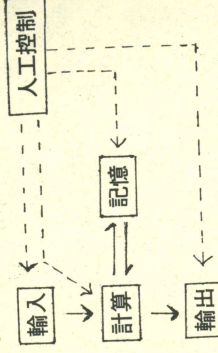
無窮級數：

$$\pi = (-1)^{N+1} \cdot \frac{4}{2N-1}$$

$$= \frac{4}{1} - \frac{4}{3} + \frac{4}{5} - \frac{4}{7} + \frac{4}{9} \dots\dots\dots \text{一直到永遠。}$$

假使我們要用手上計算機求這個級數到一百項。首先將 $\frac{4}{1} - \frac{4}{3} + \frac{4}{5} - \frac{4}{7} + \frac{4}{9} \dots\dots\dots$ 等，共一百項的值記在紙上，然後

再一一加減。這樣要費時幾十分鐘才能做完，而電腦內部真正用在加，減，乘，除的時間累積起來不超過一秒。因此我們發現，如果在計算機中安裝上一套記憶裝置，就可以省下用手打入數值的時間。



在計算 π 時，我們需要有五個記憶數字的單位，才可以完全去掉從鍵盤打入數字的冗長過程。因為 π 的約數可以簡化如下：

$$\begin{aligned} \pi &= \frac{4}{1} - \frac{4}{3} + \frac{4}{5} - \frac{4}{7} + \frac{4}{9} - \frac{4}{11} + \frac{4}{13} - \frac{4}{15} + \frac{4}{17} - \frac{4}{19} + \frac{4}{21} - \frac{4}{23} + \frac{4}{25} - \frac{4}{27} + \frac{4}{29} - \frac{4}{31} + \frac{4}{33} - \frac{4}{35} + \frac{4}{37} - \frac{4}{39} + \frac{4}{41} - \frac{4}{43} + \frac{4}{45} - \frac{4}{47} + \frac{4}{49} - \frac{4}{51} + \frac{4}{53} - \frac{4}{55} + \frac{4}{57} - \frac{4}{59} + \frac{4}{61} - \frac{4}{63} + \frac{4}{65} - \frac{4}{67} + \frac{4}{69} - \frac{4}{71} + \frac{4}{73} - \frac{4}{75} + \frac{4}{77} - \frac{4}{79} + \frac{4}{81} - \frac{4}{83} + \frac{4}{85} - \frac{4}{87} + \frac{4}{89} - \frac{4}{91} + \frac{4}{93} - \frac{4}{95} + \frac{4}{97} - \frac{4}{99} + \frac{4}{101} - \frac{4}{103} + \frac{4}{105} - \frac{4}{107} + \frac{4}{109} - \frac{4}{111} + \frac{4}{113} - \frac{4}{115} + \frac{4}{117} - \frac{4}{119} + \frac{4}{121} - \frac{4}{123} + \frac{4}{125} - \frac{4}{127} + \frac{4}{129} - \frac{4}{131} + \frac{4}{133} - \frac{4}{135} + \frac{4}{137} - \frac{4}{139} + \frac{4}{141} - \frac{4}{143} + \frac{4}{145} - \frac{4}{147} + \frac{4}{149} - \frac{4}{151} + \frac{4}{153} - \frac{4}{155} + \frac{4}{157} - \frac{4}{159} + \frac{4}{161} - \frac{4}{163} + \frac{4}{165} - \frac{4}{167} + \frac{4}{169} - \frac{4}{171} + \frac{4}{173} - \frac{4}{175} + \frac{4}{177} - \frac{4}{179} + \frac{4}{181} - \frac{4}{183} + \frac{4}{185} - \frac{4}{187} + \frac{4}{189} - \frac{4}{191} + \frac{4}{193} - \frac{4}{195} + \frac{4}{197} - \frac{4}{199} + \frac{4}{201} - \frac{4}{203} + \frac{4}{205} - \frac{4}{207} + \frac{4}{209} - \frac{4}{211} + \frac{4}{213} - \frac{4}{215} + \frac{4}{217} - \frac{4}{219} + \frac{4}{221} - \frac{4}{223} + \frac{4}{225} - \frac{4}{227} + \frac{4}{229} - \frac{4}{231} + \frac{4}{233} - \frac{4}{235} + \frac{4}{237} - \frac{4}{239} + \frac{4}{241} - \frac{4}{243} + \frac{4}{245} - \frac{4}{247} + \frac{4}{249} - \frac{4}{251} + \frac{4}{253} - \frac{4}{255} + \frac{4}{257} - \frac{4}{259} + \frac{4}{261} - \frac{4}{263} + \frac{4}{265} - \frac{4}{267} + \frac{4}{269} - \frac{4}{271} + \frac{4}{273} - \frac{4}{275} + \frac{4}{277} - \frac{4}{279} + \frac{4}{281} - \frac{4}{283} + \frac{4}{285} - \frac{4}{287} + \frac{4}{289} - \frac{4}{291} + \frac{4}{293} - \frac{4}{295} + \frac{4}{297} - \frac{4}{299} + \frac{4}{301} - \frac{4}{303} + \frac{4}{305} - \frac{4}{307} + \frac{4}{309} - \frac{4}{311} + \frac{4}{313} - \frac{4}{315} + \frac{4}{317} - \frac{4}{319} + \frac{4}{321} - \frac{4}{323} + \frac{4}{325} - \frac{4}{327} + \frac{4}{329} - \frac{4}{331} + \frac{4}{333} - \frac{4}{335} + \frac{4}{337} - \frac{4}{339} + \frac{4}{341} - \frac{4}{343} + \frac{4}{345} - \frac{4}{347} + \frac{4}{349} - \frac{4}{351} + \frac{4}{353} - \frac{4}{355} + \frac{4}{357} - \frac{4}{359} + \frac{4}{361} - \frac{4}{363} + \frac{4}{365} - \frac{4}{367} + \frac{4}{369} - \frac{4}{371} + \frac{4}{373} - \frac{4}{375} + \frac{4}{377} - \frac{4}{379} + \frac{4}{381} - \frac{4}{383} + \frac{4}{385} - \frac{4}{387} + \frac{4}{389} - \frac{4}{391} + \frac{4}{393} - \frac{4}{395} + \frac{4}{397} - \frac{4}{399} + \frac{4}{401} - \frac{4}{403} + \frac{4}{405} - \frac{4}{407} + \frac{4}{409} - \frac{4}{411} + \frac{4}{413} - \frac{4}{415} + \frac{4}{417} - \frac{4}{419} + \frac{4}{421} - \frac{4}{423} + \frac{4}{425} - \frac{4}{427} + \frac{4}{429} - \frac{4}{431} + \frac{4}{433} - \frac{4}{435} + \frac{4}{437} - \frac{4}{439} + \frac{4}{441} - \frac{4}{443} + \frac{4}{445} - \frac{4}{447} + \frac{4}{449} - \frac{4}{451} + \frac{4}{453} - \frac{4}{455} + \frac{4}{457} - \frac{4}{459} + \frac{4}{461} - \frac{4}{463} + \frac{4}{465} - \frac{4}{467} + \frac{4}{469} - \frac{4}{471} + \frac{4}{473} - \frac{4}{475} + \frac{4}{477} - \frac{4}{479} + \frac{4}{481} - \frac{4}{483} + \frac{4}{485} - \frac{4}{487} + \frac{4}{489} - \frac{4}{491} + \frac{4}{493} - \frac{4}{495} + \frac{4}{497} - \frac{4}{499} + \frac{4}{501} - \frac{4}{503} + \frac{4}{505} - \frac{4}{507} + \frac{4}{509} - \frac{4}{511} + \frac{4}{513} - \frac{4}{515} + \frac{4}{517} - \frac{4}{519} + \frac{4}{521} - \frac{4}{523} + \frac{4}{525} - \frac{4}{527} + \frac{4}{529} - \frac{4}{531} + \frac{4}{533} - \frac{4}{535} + \frac{4}{537} - \frac{4}{539} + \frac{4}{541} - \frac{4}{543} + \frac{4}{545} - \frac{4}{547} + \frac{4}{549} - \frac{4}{551} + \frac{4}{553} - \frac{4}{555} + \frac{4}{557} - \frac{4}{559} + \frac{4}{561} - \frac{4}{563} + \frac{4}{565} - \frac{4}{567} + \frac{4}{569} - \frac{4}{571} + \frac{4}{573} - \frac{4}{575} + \frac{4}{577} - \frac{4}{579} + \frac{4}{581} - \frac{4}{583} + \frac{4}{585} - \frac{4}{587} + \frac{4}{589} - \frac{4}{591} + \frac{4}{593} - \frac{4}{595} + \frac{4}{597} - \frac{4}{599} + \frac{4}{601} - \frac{4}{603} + \frac{4}{605} - \frac{4}{607} + \frac{4}{609} - \frac{4}{611} + \frac{4}{613} - \frac{4}{615} + \frac{4}{617} - \frac{4}{619} + \frac{4}{621} - \frac{4}{623} + \frac{4}{625} - \frac{4}{627} + \frac{4}{629} - \frac{4}{631} + \frac{4}{633} - \frac{4}{635} + \frac{4}{637} - \frac{4}{639} + \frac{4}{641} - \frac{4}{643} + \frac{4}{645} - \frac{4}{647} + \frac{4}{649} - \frac{4}{651} + \frac{4}{653} - \frac{4}{655} + \frac{4}{657} - \frac{4}{659} + \frac{4}{661} - \frac{4}{663} + \frac{4}{665} - \frac{4}{667} + \frac{4}{669} - \frac{4}{671} + \frac{4}{673} - \frac{4}{675} + \frac{4}{677} - \frac{4}{679} + \frac{4}{681} - \frac{4}{683} + \frac{4}{685} - \frac{4}{687} + \frac{4}{689} - \frac{4}{691} + \frac{4}{693} - \frac{4}{695} + \frac{4}{697} - \frac{4}{699} + \frac{4}{701} - \frac{4}{703} + \frac{4}{705} - \frac{4}{707} + \frac{4}{709} - \frac{4}{711} + \frac{4}{713} - \frac{4}{715} + \frac{4}{717} - \frac{4}{719} + \frac{4}{721} - \frac{4}{723} + \frac{4}{725} - \frac{4}{727} + \frac{4}{729} - \frac{4}{731} + \frac{4}{733} - \frac{4}{735} + \frac{4}{737} - \frac{4}{739} + \frac{4}{741} - \frac{4}{743} + \frac{4}{745} - \frac{4}{747} + \frac{4}{749} - \frac{4}{751} + \frac{4}{753} - \frac{4}{755} + \frac{4}{757} - \frac{4}{759} + \frac{4}{761} - \frac{4}{763} + \frac{4}{765} - \frac{4}{767} + \frac{4}{769} - \frac{4}{771} + \frac{4}{773} - \frac{4}{775} + \frac{4}{777} - \frac{4}{779} + \frac{4}{781} - \frac{4}{783} + \frac{4}{785} - \frac{4}{787} + \frac{4}{789} - \frac{4}{791} + \frac{4}{793} - \frac{4}{795} + \frac{4}{797} - \frac{4}{799} + \frac{4}{801} - \frac{4}{803} + \frac{4}{805} - \frac{4}{807} + \frac{4}{809} - \frac{4}{811} + \frac{4}{813} - \frac{4}{815} + \frac{4}{817} - \frac{4}{819} + \frac{4}{821} - \frac{4}{823} + \frac{4}{825} - \frac{4}{827} + \frac{4}{829} - \frac{4}{831} + \frac{4}{833} - \frac{4}{835} + \frac{4}{837} - \frac{4}{839} + \frac{4}{841} - \frac{4}{843} + \frac{4}{845} - \frac{4}{847} + \frac{4}{849} - \frac{4}{851} + \frac{4}{853} - \frac{4}{855} + \frac{4}{857} - \frac{4}{859} + \frac{4}{861} - \frac{4}{863} + \frac{4}{865} - \frac{4}{867} + \frac{4}{869} - \frac{4}{871} + \frac{4}{873} - \frac{4}{875} + \frac{4}{877} - \frac{4}{879} + \frac{4}{881} - \frac{4}{883} + \frac{4}{885} - \frac{4}{887} + \frac{4}{889} - \frac{4}{891} + \frac{4}{893} - \frac{4}{895} + \frac{4}{897} - \frac{4}{899} + \frac{4}{901} - \frac{4}{903} + \frac{4}{905} - \frac{4}{907} + \frac{4}{909} - \frac{4}{911} + \frac{4}{913} - \frac{4}{915} + \frac{4}{917} - \frac{4}{919} + \frac{4}{921} - \frac{4}{923} + \frac{4}{925} - \frac{4}{927} + \frac{4}{929} - \frac{4}{931} + \frac{4}{933} - \frac{4}{935} + \frac{4}{937} - \frac{4}{939} + \frac{4}{941} - \frac{4}{943} + \frac{4}{945} - \frac{4}{947} + \frac{4}{949} - \frac{4}{951} + \frac{4}{953} - \frac{4}{955} + \frac{4}{957} - \frac{4}{959} + \frac{4}{961} - \frac{4}{963} + \frac{4}{965} - \frac{4}{967} + \frac{4}{969} - \frac{4}{971} + \frac{4}{973} - \frac{4}{975} + \frac{4}{977} - \frac{4}{979} + \frac{4}{981} - \frac{4}{983} + \frac{4}{985} - \frac{4}{987} + \frac{4}{989} - \frac{4}{991} + \frac{4}{993} - \frac{4}{995} + \frac{4}{997} - \frac{4}{999} + \frac{4}{1001} - \frac{4}{1003} + \frac{4}{1005} - \frac{4}{1007} + \frac{4}{1009} - \frac{4}{1011} + \frac{4}{1013} - \frac{4}{1015} + \frac{4}{1017} - \frac{4}{1019} + \frac{4}{1021} - \frac{4}{1023} + \frac{4}{1025} - \frac{4}{1027} + \frac{4}{1029} - \frac{4}{1031} + \frac{4}{1033} - \frac{4}{1035} + \frac{4}{1037} - \frac{4}{1039} + \frac{4}{1041} - \frac{4}{1043} + \frac{4}{1045} - \frac{4}{1047} + \frac{4}{1049} - \frac{4}{1051} + \frac{4}{1053} - \frac{4}{1055} + \frac{4}{1057} - \frac{4}{1059} + \frac{4}{1061} - \frac{4}{1063} + \frac{4}{1065} - \frac{4}{1067} + \frac{4}{1069} - \frac{4}{1071} + \frac{4}{1073} - \frac{4}{1075} + \frac{4}{1077} - \frac{4}{1079} + \frac{4}{1081} - \frac{4}{1083} + \frac{4}{1085} - \frac{4}{1087} + \frac{4}{1089} - \frac{4}{1091} + \frac{4}{1093} - \frac{4}{1095} + \frac{4}{1097} - \frac{4}{1099} + \frac{4}{1101} - \frac{4}{1103} + \frac{4}{1105} - \frac{4}{1107} + \frac{4}{1109} - \frac{4}{1111} + \frac{4}{1113} - \frac{4}{1115} + \frac{4}{1117} - \frac{4}{1119} + \frac{4}{1121} - \frac{4}{1123} + \frac{4}{1125} - \frac{4}{1127} + \frac{4}{1129} - \frac{4}{1131} + \frac{4}{1133} - \frac{4}{1135} + \frac{4}{1137} - \frac{4}{1139} + \frac{4}{1141} - \frac{4}{1143} + \frac{4}{1145} - \frac{4}{1147} + \frac{4}{1149} - \frac{4}{1151} + \frac{4}{1153} - \frac{4}{1155} + \frac{4}{1157} - \frac{4}{1159} + \frac{4}{1161} - \frac{4}{1163} + \frac{4}{1165} - \frac{4}{1167} + \frac{4}{1169} - \frac{4}{1171} + \frac{4}{1173} - \frac{4}{1175} + \frac{4}{1177} - \frac{4}{1179} + \frac{4}{1181} - \frac{4}{1183} + \frac{4}{1185} - \frac{4}{1187} + \frac{4}{1189} - \frac{4}{1191} + \frac{4}{1193} - \frac{4}{1195} + \frac{4}{1197} - \frac{4}{1199} + \frac{4}{1201} - \frac{4}{1203} + \frac{4}{1205} - \frac{4}{1207} + \frac{4}{1209} - \frac{4}{1211} + \frac{4}{1213} - \frac{4}{1215} + \frac{4}{1217} - \frac{4}{1219} + \frac{4}{1221} - \frac{4}{1223} + \frac{4}{1225} - \frac{4}{1227} + \frac{4}{1229} - \frac{4}{1231} + \frac{4}{1233} - \frac{4}{1235} + \frac{4}{1237} - \frac{4}{1239} + \frac{4}{1241} - \frac{4}{1243} + \frac{4}{1245} - \frac{4}{1247} + \frac{4}{1249} - \frac{4}{1251} + \frac{4}{1253} - \frac{4}{1255} + \frac{4}{1257} - \frac{4}{1259} + \frac{4}{1261} - \frac{4}{1263} + \frac{4}{1265} - \frac{4}{1267} + \frac{4}{1269} - \frac{4}{1271} + \frac{4}{1273} - \frac{4}{1275} + \frac{4}{1277} - \frac{4}{1279} + \frac{4}{1281} - \frac{4}{1283} + \frac{4}{1285} - \frac{4}{1287} + \frac{4}{1289} - \frac{4}{1291} + \frac{4}{1293} - \frac{4}{1295} + \frac{4}{1297} - \frac{4}{1299} + \frac{4}{1301} - \frac{4}{1303} + \frac{4}{1305} - \frac{4}{1307} + \frac{4}{1309} - \frac{4}{1311} + \frac{4}{1313} - \frac{4}{1315} + \frac{4}{1317} - \frac{4}{1319} + \frac{4}{1321} - \frac{4}{1323} + \frac{4}{1325} - \frac{4}{1327} + \frac{4}{1329} - \frac{4}{1331} + \frac{4}{1333} - \frac{4}{1335} + \frac{4}{1337} - \frac{4}{1339} + \frac{4}{1341} - \frac{4}{1343} + \frac{4}{1345} - \frac{4}{1347} + \frac{4}{1349} - \frac{4}{1351} + \frac{4}{1353} - \frac{4}{1355} + \frac{4}{1357} - \frac{4}{1359} + \frac{4}{1361} - \frac{4}{1363} + \frac{4}{1365} - \frac{4}{1367} + \frac{4}{1369} - \frac{4}{1371} + \frac{4}{1373} - \frac{4}{1375} + \frac{4}{1377} - \frac{4}{1379} + \frac{4}{1381} - \frac{4}{1383} + \frac{4}{1385} - \frac{4}{1387} + \frac{4}{1389} - \frac{4}{1391} + \frac{4}{1393} - \frac{4}{1395} + \frac{4}{1397} - \frac{4}{1399} + \frac{4}{1401} - \frac{4}{1403} + \frac{4}{1405} - \frac{4}{1407} + \frac{4}{1409} - \frac{4}{1411} + \frac{4}{1413} - \frac{4}{1415} + \frac{4}{1417} - \frac{4}{1419} + \frac{4}{1421} - \frac{4}{1423} + \frac{4}{1425} - \frac{4}{1427} + \frac{4}{1429} - \frac{4}{1431} + \frac{4}{1433} - \frac{4}{1435} + \frac{4}{1437} - \frac{4}{1439} + \frac{4}{1441} - \frac{4}{1443} + \frac{4}{1445} - \frac{4}{1447} + \frac{4}{1449} - \frac{4}{1451} + \frac{4}{1453} - \frac{4}{1455} + \frac{4}{1457} - \frac{4}{1459} + \frac{4}{1461} - \frac{4}{1463} + \frac{4}{1465} - \frac{4}{1467} + \frac{4}{1469} - \frac{4}{1471} + \frac{4}{1473} - \frac{4}{1475} + \frac{4}{1477} - \frac{4}{1479} + \frac{4}{1481} - \frac{4}{1483} + \frac{4}{1485} - \frac{4}{1487} + \frac{4}{1489} - \frac{4}{1491} + \frac{4}{1493} - \frac{4}{1495} + \frac{4}{1497} - \frac{4}{1499} + \frac{4}{1501} - \frac{4}{1503} + \frac{4}{1505} - \frac{4}{1507} + \frac{4}{1509} - \frac{4}{1511} + \frac{4}{1513} - \frac{4}{1515} + \frac{4}{1517} - \frac{4}{1519} + \frac{4}{1521} - \frac{4}{1523} + \frac{4}{1525} - \frac{4}{1527} + \frac{4}{1529} - \frac{4}{1531} + \frac{4}{1533} - \frac{4}{1535} + \frac{4}{1537} - \frac{4}{1539} + \frac{4}{1541} - \frac{4}{1543} + \frac{4}{1545} - \frac{4}{1547} + \frac{4}{1549} - \frac{4}{1551} + \frac{4}{1553} - \frac{4}{1555} + \frac{4}{1557} - \frac{4}{1559} + \frac{4}{1561} - \frac{4}{1563} + \frac{4}{1565} - \frac{4}{1567} + \frac{4}{1569} - \frac{4}{1571} + \frac{4}{1573} - \frac{4}{1575} + \frac{4}{1577} - \frac{4}{1579} + \frac{4}{1581} - \frac{4}{1583} + \frac{4}{1585} - \frac{4}{1587} + \frac{4}{1589} - \frac{4}{1591} + \frac{4}{1593} - \frac{4}{1595} + \frac{4}{1597} - \frac{4}{1599} + \frac{4}{1601} - \frac{4}{1603} + \frac{4}{1605} - \frac{4}{1607} + \frac{4}{1609} - \frac{4}{1611} + \frac{4}{1613} - \frac{4}{1615} + \frac{4}{1617} - \frac{4}{1619} + \frac{4}{1621} - \frac{4}{1623} + \frac{4}{1625} - \frac{4}{1627} + \frac{4}{1629} - \frac{4}{1631} + \frac{4}{1633} - \frac{4}{1635} + \frac{4}{1637} - \frac{4}{1639} + \frac{4}{1641} - \frac{4}{1643} + \frac{4}{1645} - \frac{4}{1647} + \frac{4}{1649} - \frac{4}{1651} + \frac{4}{1653} - \frac{4}{1655} + \frac{4}{1657} - \frac{4}{1659} + \frac{4}{1661} - \frac{4}{1663} + \frac{4}{1665} - \frac{4}{1667} + \frac{4}{1669} - \frac{4}{1671} + \frac{4}{1673} - \frac{4}{1675} + \frac{4}{1677} - \frac{4}{1679} + \frac{4}{1681} - \frac{4}{1683} + \frac{4}{1685} - \frac{4}{1687} + \frac{4}{1689} - \frac{4}{1691} + \frac{4}{1693} - \frac{4}{1695} + \frac{4}{1697} - \frac{4}{1699} + \frac{4}{1701} - \frac{4}{1703} + \frac{4}{1705} - \frac{4}{1707} + \frac{4}{1709} - \frac{4}{1711} + \frac{4}{1713} - \frac{4}{1715} + \frac{4}{1717} - \frac{4}{1719} + \frac{4}{1721} - \frac{4}{1723} + \frac{4}{1725} - \frac{4}{1727} + \frac{4}{1729} - \frac{4}{1731} + \frac{4}{1733} - \frac{4}{1735} + \frac{4}{1737} - \frac{4}{1739} + \frac{4}{1741} - \frac{4}{1743} + \frac{4}{1745} - \frac{4}{1747} + \frac{4}{1749} - \frac{4}{1751} + \frac{4}{1753} - \frac{4}{1755} + \frac{4}{1757} - \frac{4}{1759} + \frac{4}{1761} - \frac{4}{1763} + \frac{4}{1765} - \frac{4}{1767} + \frac{4}{1769} - \frac{4}{1771} + \frac{4}{1773} - \frac{4}{1775} + \frac{4}{1777} - \frac{4}{1779} + \frac{4}{1781} - \frac{4}{1783} + \frac{4}{1785} - \frac{4}{1787} + \frac{4}{1789} - \frac{4}{1791} + \frac{4}{1793} - \frac{4}{1795} + \frac{4}{1797} - \frac{4}{1799} + \frac{4}{1801} - \frac{4}{1803} + \frac{4}{1805} - \frac{4}{1807} + \frac{4}{1809} - \frac{4}{1811} + \frac{4}{1813} - \frac{4}{1815} + \frac{4}{1817} - \frac{4}{1819} + \frac{4}{1821} - \frac{4}{1823} + \frac{4}{1825} - \frac{4}{1827} + \frac{4}{1829} - \frac{4}{1831} + \frac{4}{1833} - \frac{4}{1835} + \frac{4}{1837} - \frac{4}{1839} + \frac{4}{1841} - \frac{4}{1843} + \frac{4}{1845} - \frac{4}{1847} + \frac{4}{1849} - \frac{4}{1851} + \frac{4}{1853} - \frac{4}{1855} + \frac{4}{1857} - \frac{4}{1859} + \frac{4}{1861} - \frac{4}{1863} + \frac{4}{1865} - \frac{4}{1867} + \frac{4}{1869} - \frac{4}{1871} + \frac{4}{1873} - \frac{4}{1875} + \frac{4}{1877} - \frac{4}{1879} + \frac{4}{1881} - \frac{4}{1883} + \frac{4}{1885} - \frac{4}{1887} + \frac{4}{1889} - \frac{4}{1891} + \frac{4}{1893} - \frac{4}{1895} + \frac{4}{1897} - \frac{4}{1899} + \frac{4}{1901} - \frac{4}{1903} + \frac{4}{1905} - \frac{4}{1907} + \frac{4}{1909} - \frac{4}{1911} + \frac{4}{1913} - \frac{4}{1915} + \frac{4}{1917} - \frac{4}{1919} + \frac{4}{1921} - \frac{4}{1923} + \frac{4}{1925} - \frac{4}{1927} + \frac{4}{1929} - \frac{4}{1931} + \frac{4}{1933} - \frac{4}{1935} + \frac{4}{1937} - \frac{4}{1939} + \frac{4}{1941} - \frac{4}{1943} + \frac{4}{1945} - \frac{4}{1947} + \frac{4}{1949} - \frac{4}{1951} + \frac{4}{1953} - \frac{4}{1955} + \frac{4}{1957} - \frac{4}{1959} + \frac{4}{1961} - \frac{4}{1963} + \frac{4}{1965} - \frac{4}{1967} + \frac{4}{1969} - \frac{4}{1971} + \frac{4}{1973} - \frac{4}{1975} + \frac{4}{1977} - \frac{4}{1979} + \frac{4}{1981} - \frac{4}{1983} + \frac{4}{1985} - \frac{4}{1987} + \frac{4}{1989} - \frac{4}{1991} + \frac{4}{1993} - \frac{4}{1995} + \frac{4}{1997} - \frac{4}{1999} + \frac{4}{2001} - \frac{4}{2003} + \frac{4}{2005} - \frac{4}{2007} + \frac{4}{2009} - \frac$$

兩個方塊即可求 π 到無窮盡。(由第三方塊算出)

$$\pi = \frac{4}{1} - \frac{4}{3} + \frac{4}{5} - \frac{4}{7} + \frac{4}{9} - \frac{4}{11} + \dots$$

(由第二方塊算出)

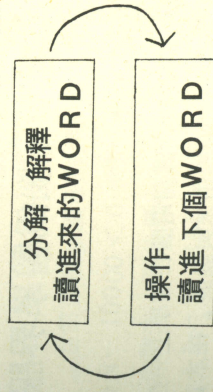
到現在為止，我們的計算機的操作只需要用手按計算鍵而不需輸入數字。但是如何使計算機能夠自動運算呢？首先我們想到賈卡德的編織機所用的打孔卡片法。將第二個方塊與第三個方塊中的指示，做成打孔卡圈成一圈，使機器在打孔卡的控制下反覆計算。而實際上，機器的讀卡總不如電路中電子的流動快。因此，最好的方法還是將控制步驟存放在記憶系統中，電腦的方法便是這樣。我們要知道，電腦的記憶就像信箱一般。信箱有一定的“地址”，且可存放信件或包裹等任何形式的郵件。電腦的記憶部門便分成一個個小單位，稱為WORD，每個WORD都有一個編號，可以裝數字或控制的指令。每次電腦從記憶中取資料，便以一個WORD為單位取出，如果是指令便將WORD分成五個部分。

操作符號	第一地址	第二地址	第三地址	第四地址
DIV	B	C	E	L
操作符號	第一地址	第二地址	第三地址	第四地址

譬如一個WORD上面的語號是這樣：

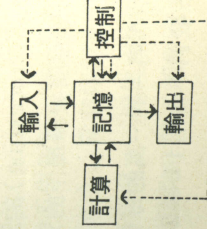
DIV	B	C	E	L
操作符號	第一地址	第二地址	第三地址	第四地址

操作符號讓電腦知道我們指示它作除法運算，將除法的線路打開。第一地址指示電腦從B處取出被操作的數值（被除數）。第二地址指明操作數（除數）的位置在C。第三的地址指示操作的結果（商）應放到E。最後的第四地址向電腦說明，從L處取出一個指令。同樣的再將指令分為五個部分——操作。簡單的說這個指令指示B÷C→E並到L找下一個指令。電腦的操作過程是這樣的：



成為一種連續的循環，直到我們的指令要它停止。我們只要能夠將要做的工作詳細分析，寫成一條條形式和前面例子一致的指令，便可以任意驅使電腦為我們做工作。

整個地來說，一個能夠自動工作的電腦至少包含下列五大部門。



實線表示交通，虛線表示控制。我們可以看到，記憶部門是這個系統的中樞。因為無論任何資料，任何指令都要先放在記憶系統中才能做快速的處理。控制部門其實是附屬在記憶部門的一部分，但是有特殊的功能所以獨立說明之。從圖中虛線我們可看到控制部門，可控制輸入，輸出，記憶，計算等四部分的運轉。計算部門做加減乘除及邏輯判斷的工作，輸入輸出部門則是電腦與外界交通的媒介。

從計算機發明以來，記憶裝置的速度一直限制計算速度的發展，一個良好的記憶裝置最重要到要能很快的找到我們所要應用的資料。在積體電路製作未發達以前，磁蕊(Magnetic core)一直是電腦記憶的主要元件。利用磁蕊所做的記憶每取出一個WORD，需要約 10^{-6} 秒。積體電路的記憶可快一百倍，只需 10^{-8} 秒，故在今日電腦的主記憶(Main memory)常用積體電路做成。而一些價廉但比較慢的記憶裝置如磁鼓(Magnetic drum)，磁碟(Magnetic Disc)，磁帶(Magnetic Tape)等只有做輔助記憶，貯藏一些大量而次要的資料。

輸入和輸出單位是電腦對外交通的主要途徑，由於其內部的計算速度甚快，若輸入和輸出時間的控制不妥當，將折損電腦的能力。所以輸入方面一般應用卡片、磁帶、紙帶或打字機將待決的資料或程式送入電腦中。輸出方面，一般用螢光幕顯示或以高速打字機打成報表。

電腦的功用主要是在於自動地解決冗長的工作，為了減少編寫程式(Program)的困難，(程式即電腦所要依循的指令Instruction)，有人便發展出能自動編譯程式的機器(Compiler)。以FORTRAN系統為例，此系統包含FORTRAN語言和其Compiler。當我們解題時，用FORTRAN語言逐步寫出要求計算機處理的程式，稱為Source program(原始程式)，輸入計算機後並不能直接令其運轉，必須經由Compiler將之編譯為機器語言(Machine language)組成的Object program(目的程式)才能處理。Compiler稱為軟體(Software)，電腦的中央處理系統C.P.U稱為硬體(Hardware)，這兩個名詞將於本專欄第三部份再度提及。

(b)第一代，第二代和第三代

到今年為止，電腦的誕生已有三十年了(1946—1976)。在這三十年之間，經由無數專家的研究與改進，同時受電子工業突飛猛進之賜，電腦早已今非昔比，三十年來，電腦已有三次重大的改進，茲分述如下：

第一代：在1946年到1955年電腦的線路元件是真空管，這些電腦體積龐大，記憶能力小，運算慢，效果不彰，它們的運算能力只能夠上今日“迷你電腦”(Minicomputer)的水準，尤其討厭的是這些電腦需要大量的能

源，且放出大量的熱。這一代的電腦除了上面提到過的ENIAC以外，還有英國製造的EDSAC，美國的EDVAC，Univac I...等。

第二代：從1956年美國軍方首次採用電晶體做為電腦的元件便步入了第二代，電晶體可減少能源的需求及熱量的發散，並且加快運算速度與精確度。此外電腦的記憶量並加擴大。這一代的典型有IBM 1620, IBM 1401, IBM 7094等。

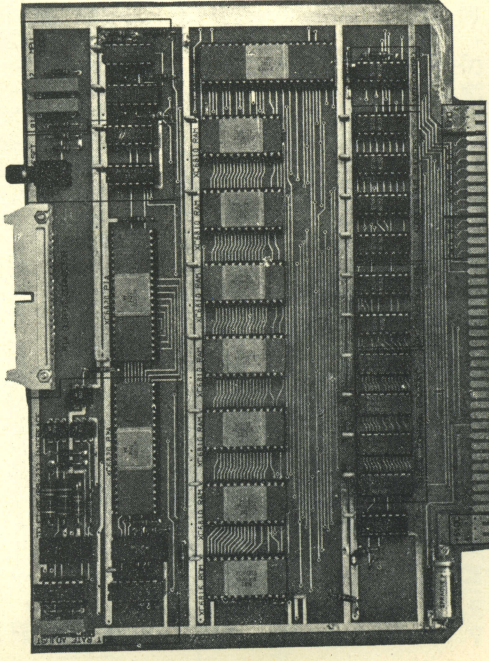
第三代：電子技術的進步終能將許多不同作用的電路元件同時做在一片半導體之上，這便是積體電路(Integrated circuit)的產生。1965年IBM首先推出第三代的電腦，由於電路的體積縮小，運算速度相對的也加快了，運算的可靠性更加提高，並可包括更多的記憶，IBM 360及IBM 1130即是這一代的代表。

(4)第四代的電腦與展望

1970年IBM推出370系列電腦，號稱堂堂進入第四代，不過很多人不認為如此，因為所謂的第四代不過是利用大型積體(Large Scale Integrated)，較普通的積體電路包含更多操作元件而已。倒是1971年出現的微處理器(Microprocessor)Intel 4004更有資格稱為第四代電腦，Intel 4004的突破不在於運算速度的加快，也不在於記憶容量的加大，而在於體積小而且價格便宜。

Intel 4004將一架電腦的C.P.U. (Central processing Unit)即運算，記憶與控制三個單位合併裝在一小片的積體電路之中，因此稱作Microprocessor，如果再加入適當的輸出輸入單位便構成了一架Microcomputer。一般估計在大量生產以後價格可以降低到台幣千元以下。Microprocessor出現的意義並不在於取代大型的電腦，它們的製造商也不希望購買者給它裝上一套高速並且高價的輸出輸入機器。而是在日常生活中許多機器都可以附加Microprocessor來造福人群。譬如：電視或電扇的定時開關，用途

Microprocessor



利用Microcomputer來處理家庭收支。

有限；如果改用Microprocessor，因為它有可計劃性(Programmable)。便可根據個人所好，在電扇的定時控制之外，加上在溫度變化時轉速的控制，或者沙發上有人才的轉動，無人則否。這些控制，當夏天過了以後還可將它的程式改變以便控制其他機器。當年小型馬達出現的時候，許多學者專家曾預測數年後每個家庭都將擁有幾個。確實，今日冰箱、電扇、洗衣機...中已使用小馬達。Microprocessor的出現將與小馬達的出現同出一轍；數年之後，每個家庭都能擁有幾個，使每個人直接承受到電子工程學進步的福祉！

Part III

如何教電腦為醫學界服務

如何教電腦為醫學界服務

在本專欄的第一篇我們講到電腦在醫學上一些神奇的應用，第二篇我們講到電腦的由來與發展。在本篇文章我們將簡介如何應用電腦，並且我們還嘗試說明如何教導電腦服務醫學界。

許多人將電腦看作是一種有智慧，能思考的機器。但是，專家們更願意將電腦認為是一種能夠自動地快速處理資料(Automatic Data Processing)的工具。事實上也是這樣的，如果我們明瞭電腦實際操作的方式，將更能肯定這個概念。

如果有一個問題：“將一到一萬的每個數字的平方相加起來是多少？”當然我們不會用 $1^2 + 2^2 + \dots +$