

第十二册

計 算 機

譯者 周祖康

目 錄

心算的神童.....	1
計算機的誕生.....	2
木棒石塊和算盤.....	2
奇才查理士·巴倍奇.....	3
從砲彈彈道到氣象預報.....	6
全自動的，計算機化的世界.....	11
計算機的剖析.....	13
一般性的數字計算機.....	13
二進制初階.....	15
輸入單位.....	17
磁記憶單位.....	18
算術單位的計算.....	24
有關計算機的電子學入門.....	26
壯麗的調度場—控制單位.....	31
從計算機中獲取資料.....	34
如何與計算機晤談.....	37
類比計算機.....	41
度量而非計數.....	41
愈小愈時髦的計算機.....	46
答案.....	50

計 算 機

原著 William R. Corliss

譯述 周 祖 康

心算的神童

1846年，年方十歲的亨利·斯塔福特(Henry Stafford)對於亞當斯博士出的問題：“用心算求出 $365,365,365,365,365,365$ 的平方。”在不到一分鐘的時間內，即輕鬆愉快的說出了正確的答案：

133,491,850,208,566,925,016,658,299,941,583,255。

美國佛蒙特州一個農家的孩子，季拉·柯爾本(Zerah Colburn)，也是心算的神童。八歲那年，即能毫不思索的算出 8^{16} 為281,474,976,710,656。這套本領引得觀看的學者既羨又喜。

我們無從知道這些奇蹟是如何完成，就如同我們不瞭解，音樂神童莫札特如何能記得冗長的交響曲中每一小節。我們所能知道的是，只有注定的少數人能具有這樣的天賦，並且，若要迅速且有效的處理擁有三十億人口的現代社會，所發生的種種事件，就必須依靠無需人力的計算機來從事，例如，計算銀行結餘，記載財產目錄，求出火箭的軌道，以及設計核反應器等。

這本小冊子主要目的即在說明，人類是如何將自己的智慧和電線電晶體揉合在一起，以生產出在速率、準確性以及持久力各方面，超越所有心算神童的機器。雖然，它也許在神祕性這點，敵不過這些神童。

2 計算機

計算機的誕生

木棒石塊和算盤

人類最初有意識的數學運用，可能僅為簡單的計數（counting）：部落中有多少人，有幾頭牛，自己擁有幾位妻子。

當手指（也許包括腳趾）已不敷應用時，其他新的形式應運而生。一堆堆的木棒、石塊，以及沙土、洞壁上所作的記號，都已自然的成為原始人類計算的一大幫助。他們在粗糙的薄木片上，塗抹符號，來作加減的運算；今日現代的電子數字計算機（electronic digital computer），就是應用這簡單的原理。所不同的是，計算機採用一排排串在電線上的鐵環，而非洞壁；不是在牆上塗畫，而是使鐵環磁化，來代表各種記號；至於要消去記號，只需反轉磁化的方向即可。

近代的數學已由簡單的計數觀念，代數和微積分，發展到更高深的境界，而且，由於數學上的進展，也使得電子數字計算機進展神速，它處理的問題，無論在核對飛機票的預購，或是贏一盤棋，都只需計數。

除了簡單的計數，也可用度量（measure）的方法。我們的祖先一定早已注意到，當太陽跨過長空，樹影亦隨之徐緩移動。由這天然日規上移動的影子，可以知道大略的時間；那時，尚無火車，時間的分劃無需很精確。當然，以後由於早期文明的發展，天然鐘漸趨精確；像在英國威爾特郡（Wiltshire）Salisbury平原上，所排列的史前期的巨石柱，古代教士由此可預知仲夏日、日蝕、和其他有宗教意義的重要節日。

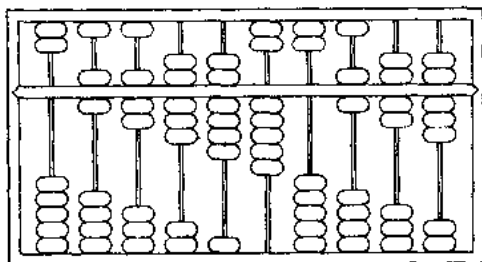
日規、現代的鐘錶、計算尺、溫度計、汽車速度表等的基本原理都是某些從屬量（secondary quantity）的度量，這些量是依照我們所希望知道的量而比擬的（simulate）。因此，日規邊緣距離的長短代表時間，而溫度計內，水銀高度為溫度的類比器（analog）。

計算機的兩大類——類比計算機（analog computer）和數字計算機，都包括度量和計數的簡單觀念。然而，通常所說的計算機，都

指數字計算機而言；本書的內容，也集中在這部份。雖然如此，我們應該瞭解，每架大型的數字計算機，包括了成千的恆溫器（thermostats）、求積計（planimeter）、和其他小型類比計算機，這些儀器都是以度量他量，來“計算”某量。

談到計算機的發展史，一定要提到中國算盤。算盤的計數觀念已演進到用算盤珠，來代替手指，它與用**十進位**的桌上計數器（desk calculator），及**二進位**的電子數字計算機都不同。

中國算盤是計算數字的有效工具。熟練的人能擊敗操作桌上計數器的人。



算盤是**雙五進位**（biquinary），像是我們的雙手。木樑的一邊是五粒算盤珠，另一邊兩粒，靠著這些珠子，就能一五一十的計算。使用算盤已得心應手的人，能以“閃電般的速率”來回撥動著算盤珠，而擊敗精於操作桌上計數器的人。然而，他既贏不了心算神童，更敵不過瞬間即得結果的電子數字計算機。

奇才查理士·巴倍奇（Charles Babbage）

有時，歷史的發展與事件的發生，並不合乎邏輯。舉例來說，達文西（Leonardo Da Vinci 1452~1519）在直昇機和武器能製造以前，既已完成其藍圖。查理士·巴倍奇便是位在計算方面，走在時代前端的天才。這位銀行家的兒子，於1792年12月26日生於英國西南部的得文郡（Devonshire）。

現代所有數字計算機具有的重要特徵，最初都是由他構想而成；

4 計算機

其中有算術單位 (arithmetic * unit)、記憶單位、輸入和輸出單位的設計，以及一項最能顯示出創造力的觀念——不需人力而自動傳遞一系列的指令 (instruction)。

巴氏生時，適逢英國自牛頓爵士 (Sir Isaac Newton) 逝世以後，數學的發展，已差不多停頓之際。少數的學者連加法也算不精確。當時，金融帳目混亂，對數表錯誤百出，保險業資料出奇的混雜；這種種事務無法無天的狀態，使得巴氏甚為憤慨，決心改正弊端。他不再採用人力，而用能計算的機器。

當時，沒有幾部機器可供應用，雖然，早在 1642 年，法國數學家 Blaise Pascal 便曾以其設計的簡易機械式計算機，炫耀於世。但這機器並不比今天在美國小雜貨店裏，所能買到的塑膠製“加法機” (adding machine)，有何高明之處。巴氏根據自己的構想，認為一定能製成快速地加減龐大數字的機器；於是開始工作。

1820 年，巴氏有了“差數機” (Difference Engine) 的構想。兩年後完工。這部機器主要由齒輪和槓桿構成，類似桌上計數器，是特別為了預備數學表而設計，能計算像 $x^2 + 2x + 63$ 之類的多項式，其準確度達 6 位數字。有了這次成功的鼓勵，他不但試著製造準確到 20 位數字的差數機，更與英政府商討，要求給予 17,000 鎊的贈款 (當時是筆巨大款項)，以支持他的一項計劃——這項計劃可能是為了某種工具的軍事價值，而需預備一份精良的彈道表。

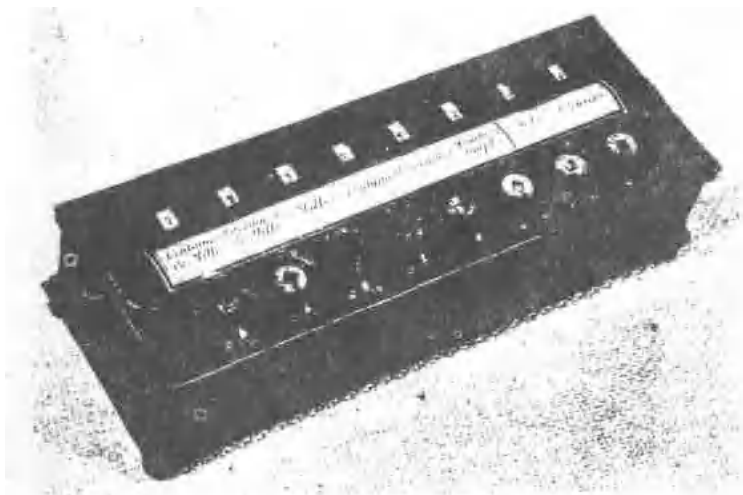
然而這項計劃很快地擱淺了。究其原因，主要因為十九世紀初期的金屬工業，雖能生產極好的大砲砲管和精良的犁刃，但對於巴氏所描繪的詳圖中，奇蹟似的精密齒輪和傳桿裝置，則無能為力。

但是，不久，巴氏已訓練成了幾個技師**，他們製出的金屬器材，其精密程度為當代所未曾見。

而且，不久，巴氏又產生了新的構想——分析機 (Analytical Engine)。這部機器是為了能在從事各種計算時，具有高度靈活性而設計的；故採用蒸汽 (此時，電還停留在實驗階段)，以推動衆多

* 在此處的發音，應為 arith-MET-ic

** 這些技術人員成為往後奠定英國工業能量的許多母機製造公司中重要份子



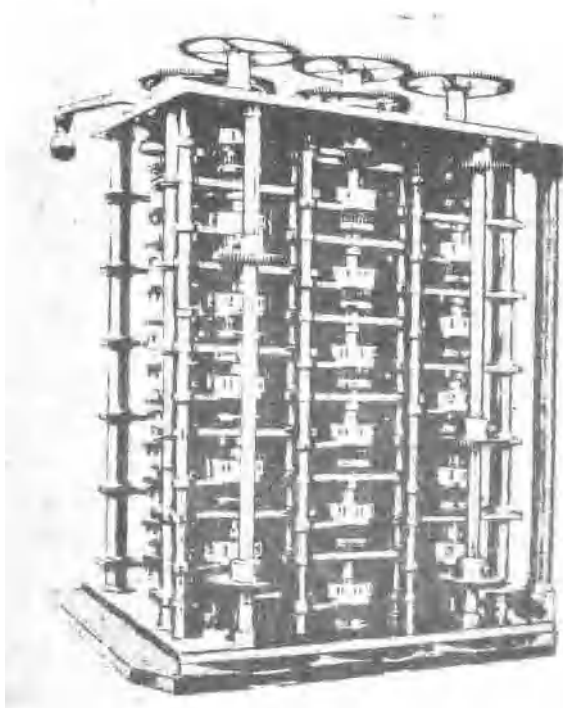
此圖為 1642 年，Blaise Pascal 所設計的機械式計算機。
這部十進位的機器利用一雙鐵筆操作，並利用機器內部的齒輪帶
動轉盤，以作數字的進位。

的輪牙、槓桿、齒輪等的機器裝配。分析機的記憶部門（巴氏稱為儲存部門“store”）包含大量刻有十進位數字的輪子，每個輪子都刻到 50，這些數字在算術部門從事計算時，是很有用的。分析機也能像今日計算機一樣，自動地印出答案。並且，可以大膽地說，巴氏已能利用打孔卡（punched card），來控制分析機內部的操作。

打孔卡的觀念得自 Joseph Jacquard（法籍）的織布機。他這部織布機以打孔卡控制著一架能編織各式花樣的儀器。負責編纂巴氏豐功偉績的一位女士，Lovelace（拜倫 Byron 爵士的女兒）這樣寫道：「分析機“編織”著各種代數型式，就像是 Jacquard 的織布機編織著花、葉一般。」可惜的是，這令人驚歎的觀念之生辰，提早了一百年，因此，雖然巴氏有發明的天才並且投下了所有財產，也無法使當代工業的發展，向前更進一步。

1871 年巴氏逝世於倫敦。遺言寫道：「若任何人不因我一生的事例而怯步，仍能成功的製成一部本身具有數學分析能力的機器，那

6 計算機



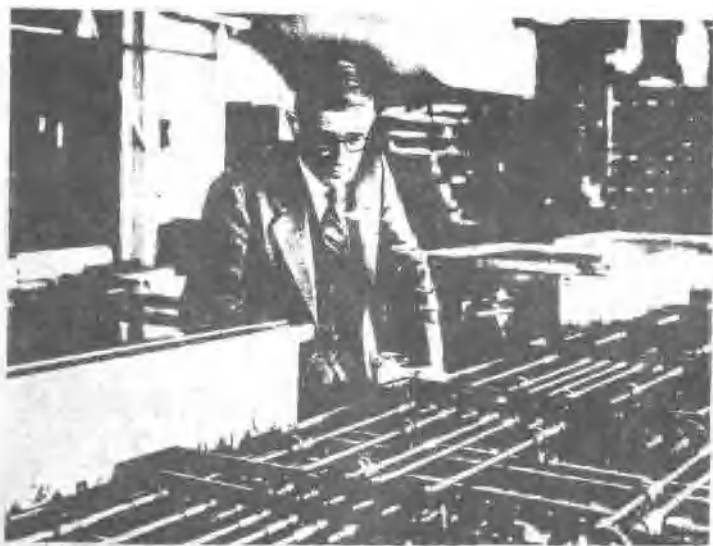
此為巴氏的差數機。也是一部以十進位計算的機器。小模型的製造很成功，但大規模的機器製造却發生問題，而無法生產。

麼，因為他能完全體會出我一生所作的努力，以及努力的成果所具有的價值，我決不會吝惜將我一生的榮譽，施之於他。」這段話，值得我們思量一番。

從砲彈彈道到氣象預報

二次大戰期間，流傳著一項謠言，宣稱某方面已證實，麻省理工學院 (M. I. T.) 的布博士 (Vannevar Bush) 及其助手所製造的大型類比計算機不可能完成。事實上，這機器已經使用在大礮發射臺上。也就由於軍事用途上的首先採用，計算機才能發展到今天的成就。

布氏和他的差別分析機 (Differential Analyzer) 的一部份合攝於麻省理工學院，這部機器是近代類比計算機的先驅。



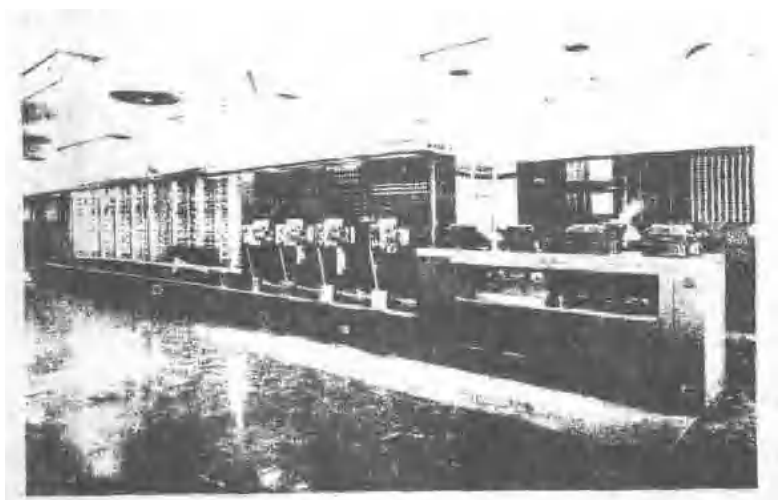
布氏從 1925 年即開始類比計算機的研究工作。他的觀點是以一易度量的類比量（如齒輪旋轉的角度），去比擬一物理量（如砲彈速度）；這情形就如同以鐘錶指針的轉動，來模擬時間。這些早期的類比計算機只比人手操作的桌上計數器快 100 倍，以目前標準而言，實在太慢了。

1930 年年底，正當布氏埋首研究時，距他僅幾哩遠的一位年青的哈佛大學研究生艾氏 (Howard Aiken)，對於撰寫博士論文所需要的冗長計算，已感到厭煩。於是，爲了加速工作，艾氏發明出一連串小巧、奇特的數字計算機。不久，他便注意到，這些機器有著共同的邏輯運用 (logical operation)，和許多其他的類似性質，如記憶單位、控制單位。總而言之，艾氏逐漸踏上了一世紀之前，巴氏所致力的工作領域。然而，艾氏幸運多了，已有很多精巧的電動零件，

8 計算機

如替續器 (relay) 等，可供他利用。經過三年的實驗後，他注意到巴氏努力拓荒的成績。艾氏提到過，當他讀到巴氏遺贈給後繼者的訓諭時，覺得就像是兩人在當面交談一般。

1939年，艾氏得到萬國商用機器公司 (I. B. M. C.) 的支持，開始研究一種大型數字計算機——自動續列控制計數器 (Automatic Sequence Controlled Calculator)。1943年，第一架成品，哈佛一號 (Mark I)，在哈佛開始操作，巴氏若地下有知，必含笑於九泉。自此以後各種野心勃勃的計算機相繼問世。



哈佛一號數字計算機。採用替續器作數字的儲存及操作。

和艾氏同時的，尚有貝爾電話公司的斯氏 (George R. Stibitz)，他亦正默默的從事這方面的工作。他們兩人的努力，使計算機在起動後，其內部能自動的操作，指引著本身計算的過程；並且，能由前一個計算的結果，決定所應選擇的計算路線*。

*你的存款簿經一架銀行的計算機一瞥之後，它就能決定，是否寄給你一張“透支”通知。

當哈佛一號操作時，成千的替續器一開一關著，（關的替續器代表 1，開的代表 0），造成一種微弱的噪音，卡搭卡搭的就像滿屋子都是婦女忙著在編織⁺。哈佛一號也是二進位。這早期的替續器計算機（relay computer）比桌上計數器快十倍，無須我們操勞，即能連續工作數天。但替續器的一開一關，耗時數毫秒（毫秒為 $1/1000$ 秒），以現代的要求而言，需時太長，換言之，速率太慢。

幸虧，在二次大戰期間，賓州大學摩爾工程學院的愛博士（J. Presper Eckert）及毛博士（John W. Mauchly）發現了速率更快的電鍵——真空管。它能在百萬分之一秒內，完成一次開及關，此速率數千倍於緩慢的替續器。由於美國陸軍的大力支持，（雖然大戰已近尾聲），到 1946 年時，他們製妥 ENIAC（Electronic Numerical Integrator and Calculator），成為世界上第一架，也是當時最複雜的一架電子數字計算機。

二次大戰期間，范紐曼博士（John von Neumann）——後為美國原子能委員會的一員，同時是美國陸軍亞伯丁試驗場（Aberdeen Proving Ground），（愛氏及毛氏正為此機構發展電子計算機），以及美國原子能委員會洛斯阿拉莫斯（Los Alamos）科學實驗所的顧問。（此實驗所正在研究原子彈的性質和效應。



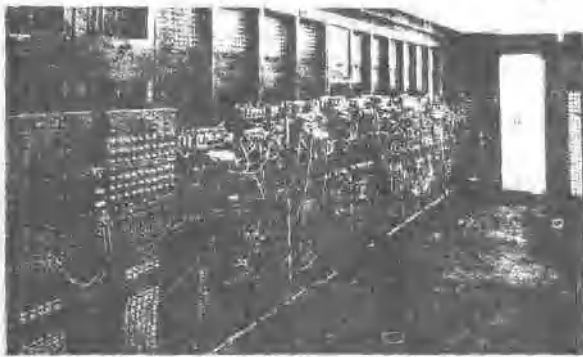
約翰·范紐曼博士

）范博士從後者的工作容量中，深深感受到急需要一種機器，能快速的、廣泛的，並且能重複的從事計算工作。從陸軍的工作中，使他熟識了 ENIAC。這兩件工作促使他發展出一套新的觀念，“內部儲存程式”（internally stored program）。在此程式中，負責指引著一步步運算的指令（instruction，此字不同於資料 data），是儲存在計算機記憶系統內，而運算的進行並不需要外部的指導。他這劃時代的新觀念，於 1952 年，應用在新澤西州普林斯頓（Princeton）高級研究所（Institute for Advanced Study）製

⁺ 這句話節錄自 Jeremy Bernstein 所著 The Analytical Engine

10 計算機

成的一架計算機上。



ENIAC，第一架電子數字計算機，由賓州大學摩爾工程學院為美國陸軍所製成。用去 19,000 個真空管及無數的其他電動零件。

電子數字計算機的製造已經發展成數十億美金的巨額營業。電晶體已取代了真空管，計算的速率已提高到哈佛一號的速率之十幾倍。爲了配合商業上簿記的需要，計算機的設計各式各樣，有小到桌子大小的，有大到擺滿幾間屋的。

即使計算機已能在百萬分之一秒內，作兩個 20 位數字的乘法，但是，科學上仍有不少問題，需要更快捷的速率。譬如，在氣象學方面，若從各地的氣象站和環繞地球的衛星，所收集的氣候資料，能很快的將之分類並插入描述氣旋和反氣旋運動的複雜方程式中，那麼我們能獲得更迅速確實的氣象預報。雖然，計算機的速率已經趨近於光速，（這是訊號的傳遞所能達到的最大值），同時，由於光在百萬分之一秒內可行一呎，致使計算機各部門間的距離，構成一種速率的障礙；但是，某些科學上複雜的問題，如繁複的化學反應，原子彈爆炸的情況等，必須用速率更快的計算機，才能有效的作幾十億次的計算。



擺滿這間屋的是一部特別改造的 I B M 7090 式電子計算機，屬於美國航空公司在紐約州 Briarcliff Manor 的預定機票中心。美國所有該公司的機票業務都直接有電訊和這部計算機連繫。它幾乎是同時進行著各種機票預定的業務。

全自動的、計算機化的世界？

可能在不久的將來，你只是一個號碼囉！也許是社會保險號碼，或是銀行帳號、汽車執照號碼。但無論如何，計算機是跟定你了。電子數字計算機已進入了每個市民的日常生活中，舉凡調查電視觀眾的評價，戶口普查的統計，所得稅或銀行差額的計算等，都少不了它。我們可以適切的指出，將來計算機的工作範圍，能做得比現在更廣泛。在不久的將來，所有的銀行、商店、顧主，甚至各國政府，都將以電線和無線電緊密的聯結在一起；機器記載了所有的商業項目，所有的貨車、電話，以及所有的人。許多高速公路都設有計算機，自動地控制通過的每一輛車。每人可能都有張國際信用卡（或許記錄著你的社會保險號碼），該付帳時，只須將卡片插入家中特製的電話，然後通個電話給銀行，就行了。它是你的“財富之鑰”，給與你在任何地方，購買任何東西的權利。若遺失了這把鑰匙，你可能就此從人間“消失”了*，（當然，這是從經濟上的觀點而言）。

*也許只是個笑話——也許不。

12 計算機

“人非聖賢，孰能無過？”計算機有時也會鬧出笑話。某些“幸運”之士收到了總值達九百萬美元的週薪支票（當然，它是永遠無法兌現的）。我們已經知道，用來管理存貨的機器的訂單數量，達到某些機器的世界供應量的數倍。

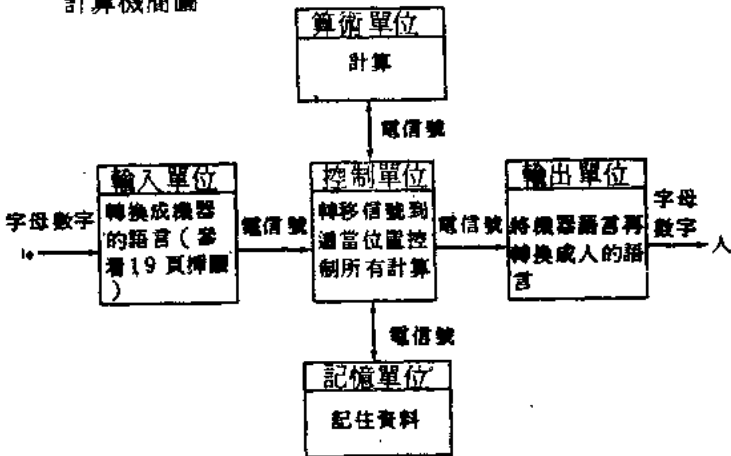
現在可以一則軼事，說明將來客運班機的情形。某天，某班次的飛機上，旅客聽到空中小姐的播音：「各位女士，各位先生，歡迎你們成爲人類史上，一次劃時代飛行的貴賓，本機是第一架不需要駕駛員和副駕駛員，而由計算機操縱的飛機。各位不必擔心，這架飛機在完全的控制之中，……完全的控制中……。」人類爲計算機所設計出的最好的特徵，或許可說是，它具有類似牆上插頭的性質：一有意外，隨時可以拔出！

計算機的剖析

一般性的數字計算機

所有數字計算機都有五部門，首先為**輸入單位**(input unit)，此單位將輸入的人為資訊 (information) 和處理這些資料的指令 (instruction) 融會在一起，記錄在打孔卡和打孔帶 (punched tapes) 上，而後送入第二部門——**記憶單位**(memory)，以等待計算機的監工——**控制單位**(control unit) 所發出召喚的訊號。控制單位除了要確知資料已送入正確的位置，同時，亦要確知第四主要部門——**算術單位**(arithmetic unit) 在從事正確的計算。最後，計算完畢，**輸出單位**(output unit) 就將計算機的信號再轉變成為我們能閱讀的記錄。

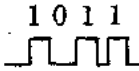
計算機簡圖



就效率而言，聯絡電子數字計算機的這五個單位，彼此之間，必須能很迅速的以相同的語言——脈波 (pulse of electricity) 交談。(脈波傳遞信號的速率近乎光速)。在二進制 (binary) 語言系統中，脈波載荷著數字和符號。有脈波就代表 1，沒有脈波就代表 0，

14 計算機

例如：



或 1011 (二進制) = 11 (十進制)

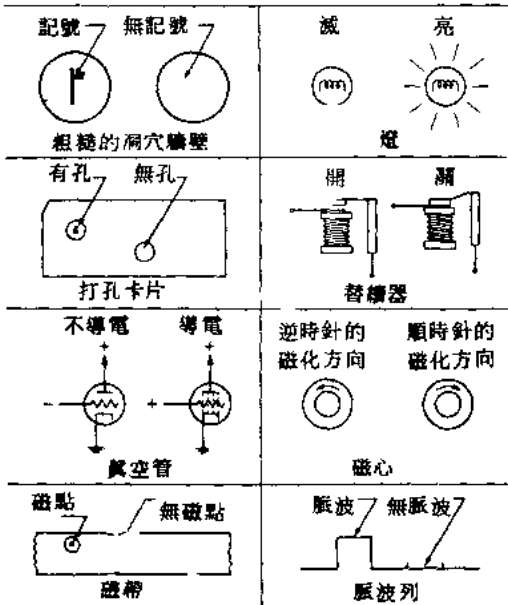
字母、標點和數學符號，也都能譯成相似的脈波列 (pulse train)。

到目前為止，有關信息的傳送者，只提到「電」，事實上，它並不是必要的；數字計算機只需兩件東西：

1. 凡具有兩種易於分辨之狀態的物件，如替續器 (開或關) 和銅幣 (正面朝上或背面朝上)。

2. 在上述的物件之間，傳遞信號的工具。

巴氏使用棒和曲柄傳遞機械的運動，在數字計算機中，有的用水，有的用其他流體，作為傳遞信號的媒介，但是，普遍的都採用電。



在計算中，常利用雙值或雙穩定態裝置。任意選擇其一情況為 0，另一為 1。則這些裝置能有效的“記住”數字。

二進制初階

電子數字計算機的記憶與算術部門，其計算方法係採用二進制系統，換句話說，利用雙穩定態元素(bi-stable element)通或斷，亮或滅，開或關，順時針磁化或反時針磁化等僅有的兩種狀態，作計數的操作。

算術運算的數字是任意的，所採取的法則端視方便與否。像鐘錶的計時，角度的量度，就是古巴比倫人所創的六十進位，而且，有些數學家尚提倡，將十進制取消，使用稍方便的十二進制(duodecimal)。

計算機計數情況如下：

二進制 數字	計算機 記憶*	十進制 數字
0000	○○○○	0
0001	○○○×	1
0010	○○×○	2
0011	○○××	3
0100	○×○○	4
0101	○×○×	5
0110	○××○	6
0111	○×××	7
1000	×○○○	8
1001	×○○×	9
1010	×○×○	10
1011	×○××	11
1100	××○○	12
1101	××○×	13
1110	×××○	14

*○ = 開的替換器
× = 關的替換器

在“二進制”欄內，由右至左的位置，依次代表著1，2(2的一次方)，2的平方及2的高次乘冪。(例如，4為2×2，2的平方；8為2×2×2，2的立方等)。故欲轉換3為二進制數字，需要一個數字1的位置，及一個數字2的位置，亦即11。要轉換13，則需一個數字8的位置，一個數字4的位置，及一個數字1的位置，無數字2的位置，因而是1101。要轉換49，則需一個32的位置，一個16的位置，及一個1的位置，而無8，4，2的位置，於是寫成110001。若以電子計算機的是-否語言系統(the yes-no language)來說明，則在二進制中，將100寫成爲1100100的意義，可以很簡略的敘述如下：“64的位置，是；32的位置，是；16的位置，否；8的位置，否；4的位置，是；2的位置，否；1的位置，否。”

二進制的加法很簡單，只有四個基本規則：

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