

人腦、電腦

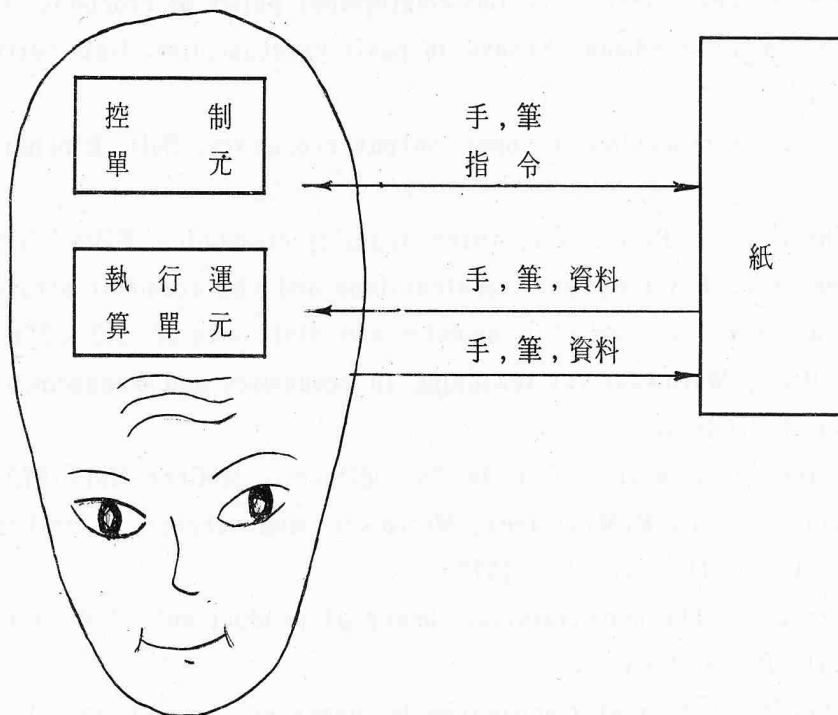
林光賢 林一鵬

1.1 人腦及電腦

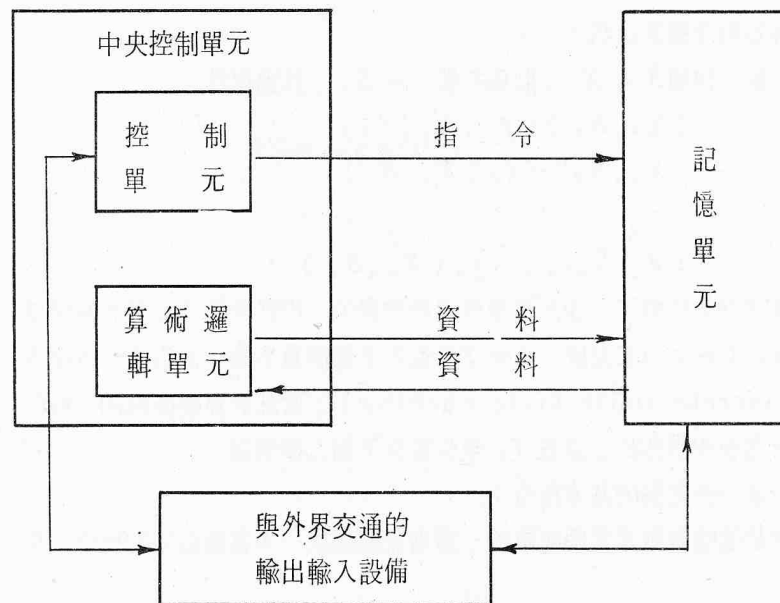
人類的文明顯示我們之所以有高超的算術與邏輯的演算能力，主要在於腦袋裡精微的結構。從原始人的簡單生活到近世極端複雜的社會活動中，人腦無時無刻地因受到外界的刺激而做運算，下決策。而且運轉自如，演化進步。當然在演進過程中，有些機器被發明出來幫助計算的速度；如算盤、計算尺等。但它們絕無法來取代人類的手算、心算、腦算。

人類善長分析，但演算速度奇差，並且是一種容易犯錯的動物。對於大量煩雜的計算顯然難以應付：在18世紀末法國政府為了做一個從1到20000的對數表，動員150人，花費2年時光。現代的計算機幾分鐘之內就可以做出來。這個例子給我們一個提示：對於繁雜、長時間、單調的計算，人類確實不如現代的計算機的。當然我們這裡所說的“不如”，絕不是腦筋的不如或電腦比人強等意思。主要是我們的速度上、體力上不如而已，就像人類的跑步速度絕對比不上汽車的速度。

當我們手拿著筆作演算工作時，第一步是把演算的步驟或式子（process or formula）寫在紙上，或隨時撿取紙上所記的資料放入“人腦”中做一些算術或邏輯的運算。人腦主演了控制演算步驟，執行指令，摘取資料等動作。下面圖形可以概略描述其整個模型：



近世的電腦（computer）亦大略有相同的模式，如下圖所示：



其中中央控制單元 (control processing unit) 內有兩個子單元：

1. 控制單元 (control unit)：主管指令的執行。
2. 算術邏輯單元 (arithmetic and logic unit)：主管算術與邏輯運算。

記憶單元 (memory unit) 就像紙一樣儲存一些資料，式子。

人腦與電腦比較不同的地方在於前者運用自然語言 (Natural language)，運算時用十進位。而近代的計算機內部只用 0, 1 二種符號所組成的字串來表示資訊。

總之不管人腦或電腦大約須有下列三大部份：

- (1) 一個可以解釋，執行指令的處理機。
- (2) 一個可以記憶程式、資料的記憶單元。
- (3) 一種或多種可與外界傳送信息的輸出輸入設備。

1.2 電腦的數學模型

一種演算如果從靜態觀點來看，可以視為一個廣義的函數

$$Z = F(X)$$

其中 X 為輸入資料， Z 為演算後的結果。 X 與 Z 的形態可以為數字、記憶式甚至是一個大的檔案 (file)。 F 可以看為式子、指令集、操作順序、甚至是一個定理的證明。這樣的函數 $F(x)$ 可做出來的結果含蓋很廣，幾乎包括了所有的數學題材與內容。如果從動態觀點來看，我們必須考慮先後演算步驟的過程。故廣義函數 $Z = F(x)$ 必須分解成一些演算步驟 f_1, f_2, \dots, f_n 。輸入初值為 $X = X_1$ ，而其過程為

$$\begin{aligned} X_2 &= f_1(X_1) \\ X_3 &= f_2(X_2) \\ &\vdots \\ X_n &= f_{n-1}(X_{n-1}) \\ Z &= f_n(X_n) \end{aligned}$$

但這樣的數學模式仍然未能簡單地描述人腦的反應過程。因為對於每個演算步驟，人腦接受外界刺激所做出的反應是根據人本身當時的狀況而不同。譬如當輸入 X_i 是“一位美女走過”，經過眼看，人腦所做出的反應 X_{i+1} 還要根據當時的心情 S_i 而定。而且經過這樣的刺激，人的心身狀態 (亦既心情) 又改

變為 S_{i+1} 。故每個步驟應改為：

輸入初值 $X = X_1$ ，狀態初值 $S = S_1$ ，其過程為

$$(X_2, S_2) = f_1(X_1, S_1)$$

$$(X_3, S_3) = f_2(X_2, S_2)$$

⋮

$$(Z, S_{n+1}) = f_n(X_n, S_n)$$

現代的計算機就是模擬了上面的數學模式而建構的。因為狀態 S_i 只有有限種，又每個步驟需經一個固定時間 (Time Cycle) 來完成，之後才再進入下個演算步驟，故這樣的數學模式又稱為“離散形的有限狀態機”(discrete finite state machine)。當然計算機能解的，操作式運算出來的函數(亦就是這些 f_i) 是很受限制的。這些 f_i 至少需受下面二種限制：

1. 演算指令是一些電腦的基本指令：

換句話說就是這些函數是電腦能做的。讀者若隨便找一本電腦語言的書看，馬上看得出來指令大約只有

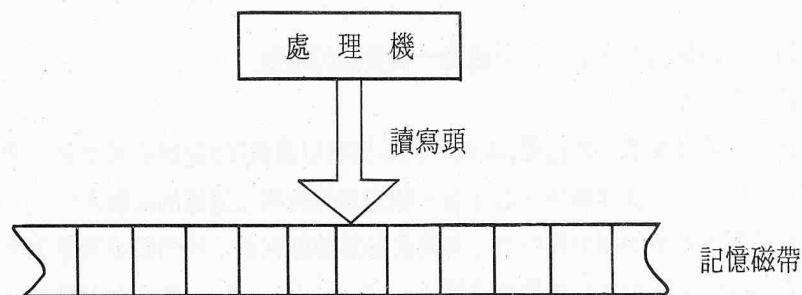
- (a) 一些四則算術運算指令。
- (b) 一些簡單的邏輯運算指令。
- (c) 一些字串運算指令。
- (d) 一些跳躍，控制指令。
- (e) 一些循環操作指令。
- (f) 一些輸入輸出指令。

是故一個化學反應電腦是不能替人操作的，或是所謂的電腦求偶最多亦只是在其生辰八字上做做加減乘除而已。

2. 演算結果必須在有限時間內停止：

譬如在正整數中有無限個質數，這個道理兩千年前已知。但電腦絕無法求出所有這些數。

電腦嚴謹的數學模式在 1936 年已由英國邏輯學家 Alan Turing 提出。當時電子計算機還未產生。他只是為闡述怎樣的函數是可算的 (computable)。這樣的模型被稱為杜林機 (Turing machine)。特簡述如下：



- (1) 其中記憶磁帶是作為輸出輸入用的。輸出輸入是一些固定符號如 $\Sigma = \{0, 1\}$ 或 $\Sigma = \{\text{所有英文字母與 } 0, 1, \dots, 9\}$ 。每格放一個符號。
- (2) 讀寫頭可左右移動，讀取磁帶上的符號或把符號寫在磁帶上。
- (3) 處理機是當輸入一些符號時，改變其本身狀態而決定讀寫頭的動作。

杜林機的機器指令格式為

$$\{S_i, a_i, O_i, S_{i+1}\},$$

其中 S_i, S_{i+1} 是狀態，假設有 n 個狀態 $\{S_0, S_1, \dots, S_{n-1}\}$ 。

$a_i \in Z$ 是輸出輸入符號。

$O_i \in \{ b, Right, left, halt \}$ 是讀寫頭的動作, ($b \in \Sigma$)。

當 $O_i = b$ 時處理機把 b 寫在磁帶上。

當 $O_i = Right$ 時處理機把磁頭向右移一格。

當 $O_i = left$ 時處理機把磁頭向左移一格。

當 $O_i = halt$ 時表示停機。

杜林機的運作方法是這樣子的：當磁頭讀到一個符號 a_i ，假設其處理機當時的狀態為 S_i 。則根據已設定的運算指令 $\{ S_i, a_i, O_i, S_{i+1} \}$ ，杜林機做 O_i 的動作，而且把本身的狀態改為 S_{i+1} 。

現在我們建構一個杜林機來模擬二個二進位數的加法如下：此杜林機有 7 種狀態

$$Q = \{ S_0, S_1, S_2, S_3, S_4, S_5, S_f \}$$

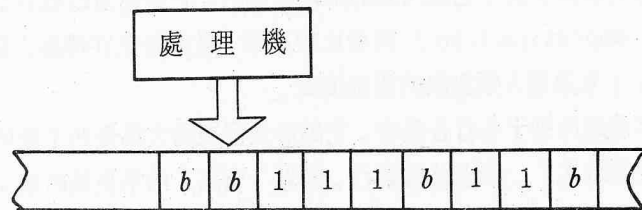
而符號有二種：

$$\Sigma = \{ 1, b \}, \quad (R = Right, L = left) .$$

運算指令有 9 種：

- (1) $\{ S_0, b, R, S_0 \}$ 。(2) $\{ S_0, 1, R, S_1 \}$ 。(3) $\{ S_1, 1, R, S_1 \}$ 。
 (4) $\{ S_1, b, L, S_2 \}$ 。(5) $\{ S_2, 1, L, S_3 \}$ 。(6) $\{ S_3, 1, L, S_3 \}$ 。
 (7) $\{ S_3, b, R, S_4 \}$ 。(8) $\{ S_4, 1, b, S_5 \}$ 。(9) $\{ S_5, b, H, S_f \}$ 。

如果想 3 加 2，把 3 與 2 放在磁帶上如下：



把磁頭放在右邊 b 上，並且此時把杜林機的狀態調整為 S_0 。開機後：

第一步：狀態為 S_0 ，讀到 b 。從(1)知磁頭向右移一格，狀態仍是 S_0 。

第二步：從(2)知狀態改為 S_1 ，磁頭向右移一位。

第三步：從(3)知狀態仍為 S_1 ，磁頭向右移一位。

第四步：從(3)知狀態為 S_1 ，磁頭向右移一位。

第五步：從(4)知狀態改為 S_2 ，把 b 改為 1。

第六步：從(5)知狀態改為 S_3 ，磁頭向左移一位。

第七步：從(6)知狀態仍為 S_3 ，磁頭向左移一位。

第八步：從(6)知狀態仍為 S_3 ，磁頭向左移一位。

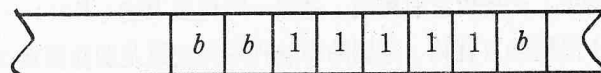
第九步：從(6)知狀態仍為 S_3 ，磁頭向左移一位。

第十步：從(7)知狀態改為 S_4 ，磁頭向右移一位。

第十一步：從(8)知狀態改為 S_5 ，把 1 改為 b 。

第十二步：從(9)知狀態改為 S_f ，停止計算。

最後磁帶上顯示 5 個連續的 1：



這樣簡單的模型可以做的事已很廣泛。現今任何複雜電子計算機所能做的事，杜林機皆可模擬其做法 (simulation)。我們可以這麼說：任何人類創造的電腦，其演算能力不會超過杜林機。

1.3 電腦的新形象

上兩節我們把人的形體外觀與電腦的形體（硬體）做一比較，發覺有驚人的相似。又看他們的演算模式亦極相似。不免令人錯覺電腦能力已超過人腦。尤其最近幾年來電腦兩字已深入國內各個生活角落；如公共汽車上有廣告“電腦求偶”，新聞上有電腦燙髮，電腦驗光，甚至電腦加油，油蟲絕跡等妙事出現。而莘莘學子在以進入資訊系，電腦系為第一志願。這使筆者記起 60 年代原子兩字流行情形：冷燙美其名為原子燙髮、球筆（Ball pen）譯為原子筆。高中畢業生以進入物理系為第一志願，大家一心想拿個諾貝爾獎金，當個原子能專家。真的電腦已可以凌駕人類，主宰人類的的生活了嗎？至少從下面兩點我們當能恢復自己當為“人”的驕傲與自尊：

(a) 從組成物來看

電腦的硬體中心部份是一種純的矽土做的，世稱半導體。再加一些金屬導線印在一個小面積模板上，世稱為積體線路。反觀組成人類形身的化學物質極端複雜。它本身是一個活的有機體。能有再生、複製、回饋等生物層面諸現象。但電腦是死的，是一個通電的機器，需要人的手指來操作它。

(b) 從數學模式來看：

上節我們用數學模式來描述人類的感觀活動顯然流于簡陋：人類的心情狀態是無限種的，人體內的內分泌無時無刻的產生，心情亦隨之不斷地連續在變化。故人腦實際上是一種連續形的無限狀態機（continuous infinite state machine）。電腦不管它號稱多快，一段特定時間（Time cycle）內只能完成一個運算動作（discrete type）。不管內部儲存器有多少，總是有限個，亦就是其狀態（state）必只有有限種。不管它的記憶體多長，它能代表的數是有限的，它能運算的數只是有理數的有限集合吧。我們亦許用逼近的觀點（approximation）來看比較正確：電腦確是在模擬人腦的運算過程，企圖用有限機（finite machine）來逼近人類無限的思維模式。

近年來“電腦”兩字普遍污染于各行各業中。它的形象已被誇大為無所不能的怪物，甚至整個人類活動的層面亦被冠名為“電腦時代”。筆者甚為憂心。最近“資訊”兩字更為時髦，全國各大專院校普設所謂資訊工程、資訊科學、資訊整理等系。考察國內大學已設資訊諸系，其學生所修的課程不脫離計算機科學系的範圍。又資訊理論中重要的二個支柱“等候理論（queueing theory）”與“編碼理論（coding theory）”國內是否有足夠專家學者來從事這方面的教學？根據資訊月刊第五期周誠寬博士所發表的資料：全國專任講師以上從事電腦科學教育者才 70 位。以這樣的人力來分配，應付這樣大量地增加的系、所每系、所才能分配到 3 位。如果再包括專科學校的電腦、資訊科，這些人可有得忙了。教育水準的降低必可預卜。一個系所以能成立的要件必須是要有哲學上或方法學上的根據。系裡所開出的科目必須至少是幾十年的知識累積所提煉出來的，有一定的內容，不常變動，而有發展性。學生在系所裡學到知識的骨架，以備出外界社會時可以用長肉。這樣才能以不變知識真理來應付外界千變萬化的技術進步。而系裡的教員必須要有一定的學術水平，駱駝般的敬業精神，在系裡精專于解惑、傳道、授業。我們現在用 3 人系來應付幾百人的選課，這不是像成了職業補習班了嗎？筆者與同僚閒聊中，慨歎現在這種情形，忽發奇念，想把數學系改名為神算系。所得神算系者神機妙算系也。而把數學所改名為孔明研究所，進所門供奉開所祖師諸葛武侯一座。如此一來電算不如神算，全國風起雲擁，改名創系者跟隨而來。這種系國人千年前已有，真是可謂復我國固有文化。

我們必須破除“電腦萬能”的迷信。把它建立為“工具”或“有用的工具”這樣的新形象。各行各業謹守崗位，青年學子依志趣選科系。如果對它有興趣，選讀一門電腦導論（Basic computer Concept），選一科 Fortran 或 Cobol 高階語言就夠。電腦的有效利用到底還是要靠諸君推廣到本身的行業才能發揮出來的呀！