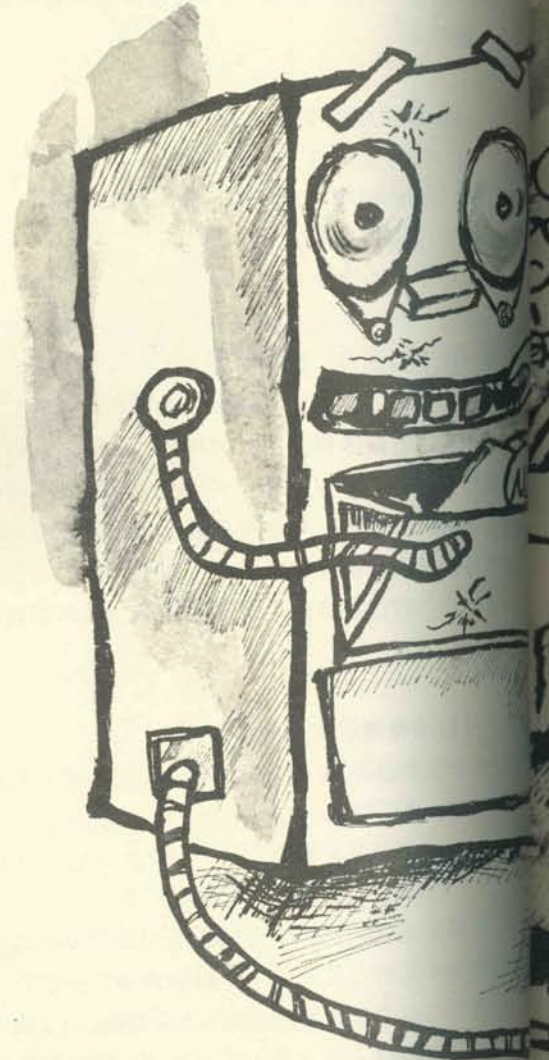


從 十進位 到 二進位



前言

自從1946年電腦問世以來，各行各業無不受到這種“智慧的機器”的衝擊，醫學界自不例外。1959年美國Baptist Memorial Hospital in Memphis首次啓用電腦，醫學界即邁入電腦化的時代，而其運用與發展更是快無比，據估計，1975年醫學界所運用的電腦價值已在十美元以上，佔所有電腦總值的22%以上。由此可見電腦來服務醫學已成爲一種時代的潮流，任何人將無法阻擋。在自由中國，榮民總醫院在今年年初首先啓用電腦ICU，燃起運用電腦的火炬，還有私立兒童保健醫院更幾年前開始，默默的運用電腦以求發展出一套診療的系統，一兩年內將可達到實用的階段。機械的發明，擴大了人類肌肉的能力；電腦的發明，即延伸人類頭腦的記憶、計畫與管理的能力。在醫學上電腦是多才多藝的，智慧的機器須要我們好好地利用，以加速醫學的進步，人們的健康獲得更大的保障！



籌劃：醫五 郭世雄

執筆：陳義揚 教授 交大控制工程系主任

郭世雄 林伯洲

美編：藥三 洪家瑤

藥二 彭武勳

Part I 電腦在醫學上的應用

(一)電腦幫助醫師的訓練

病人安詳地躺在手術檯上，旁邊站的是一位年輕的醫師，略帶緊張的神色為這位病人作氣管插管。不多久氣管插管完整地擺在病人的嘴裡；不期然，病人的肚子却隨著氣體的灌輸而逐漸膨大，最後病人開始反胃企圖將氣管插管嘔出食道……。這並不是開刀房中的一件意外，而是南加州大學醫學中心訓練麻醉科醫師的一幕。他們利用一位特殊的病人— Sim One 作為訓練之用。

Sim One 有六呎高，體重 195 磅，膚色白中透紅。他清醒時呼吸十分規律，腕動脈和頸動脈的脈搏規則而有

力，聽診時還可聽出他有正常的心音，不時他還對您眨眨眼睛哩！但是他却是一群醫生和工程師們的產物，一個利用電腦來模擬麻醉狀況的假人。他的皮膚細嫩柔軟，牙齒硬朗，嘴唇紅潤，在手臂上還可測出正常的血壓……除了在缺氧的狀態下皮膚不會變成鐵灰色外，Sim One 簡直是一位活生生的人！

利用特殊的注射器，Sim One 可以查知麻醉過程中藥品的用量如 Thiopental, Succinylcholine, Methoxamine hydrochloride, Ephedrine 和 NO, O₂，並且作即時的反應。譬如：打入 Succinylcholine 之後，Sim One 的胸部肌肉尚會產生成束收縮 (fasciculations)，Sim One 的瞳孔也可隨麻醉的深度而放大縮小。Sim One 的



Sim One躺在手術台上。

氣管與咽喉位置和正常完全一樣，一個初出道的醫師一不小心就會將插管插入食道中，結果腹部充滿氣體，肚子大大的鼓脹起來，在旁邊的指導教授還可指示 Sim One 在這個時候嘔吐，使訓練人員更加狼狽不堪。

在實習的過程中，指導教授可以任意插入一些意外的情況，像是心跳停止，心律不整，心室顫動，大支氣管阻塞……等十一種，使受訓者熟習一切在手術檯上可能碰到的狀況。為了情況的逼真，電腦還在監聽器 (Monitor) 上隨時顯出 Sim One 的血壓，心率，呼吸率，心電圖。在整個實習過程完畢之後，受訓者所做的一切手續和 Sim One 的情況都會按時間次序而打成報告，作為改進技術的參考。

醫學和其他科學所不一樣的最大特點是醫學生所實習的對象是活生生的人。他們所面對的並不是控制良好的實驗素材，而是瞬息萬變的生命，一失手將造成無可挽回的缺憾。但是一個醫生的實習過程却常有本末倒置的現象，就上面的麻醉實習來說，一個剛開始學習氣管插管的住院醫師，一開始便要面對著許多潛在性的危險，病人可能血壓驟降，突發心律不整……。對於剛著手實習的醫師這都是無法承當的考驗。有了像 Sim One 這樣的電腦模擬系統，不但可以保障病人的安全，更能使醫生的學習能夠循序以進。據 Denson 和 Abrahamson 兩人的報告，平常訓練一位醫師熟習麻醉手續要用 77 天，利用 Sim One 僅要 45.6 天受訓者即可應付自如……。

(二)電腦在診療上的功用

電腦有無盡的記憶，這為醫生們提供了絕佳的診斷輔助工具，可將各種疾病可能的病徵一一列舉，使醫師在診斷時不至於無所適從。除此之外還可減省醫師記錄病歷的

時間，提供更加詳盡正確的記錄。兒童保健醫院所發展的也是這種電腦輔助診斷 (Computer Aided Diagnosis)，在這個系統中醫師只要將病人的病狀送入電腦，電腦將依可能率的大小將可能罹患的疾病名稱先後印成報表或在電視上映出，在需要時醫師可以將所須要知道疾病的全部症狀從電腦的記憶中叫出來作更詳細的判斷，最後決定了病症以後還可叫電腦提出建議性的處方，由醫師取捨。這個系統成立之後至少有以下的好處：首先，可提高診斷的正確性，因為一般醫師記憶有限，許多不熟悉的疑難雜症往往無法診斷出來，電腦等於一部自動化的索引，尤其在須要快速診斷的病症，譬如中毒，它的功用就更加不可估量了。其次，可作為醫師再教育的一部分，電腦內資料年年翻新，每做一次診斷便可叫出疾病全部的症狀，醫師可藉此機會溫習一番。第三，病歷貯藏在電腦中，以後要作報告時很容易可叫電腦找出醫師感興趣的病歷。這些系統如何工作，我們將在本專欄第三部分詳加討論。

除了診斷以外電腦還可幫助醫生來治療慢性病的病人。如果大家注意的話，常可發現在門診部的病人有一大部分是患慢性病的長期病人。醫生對這些病人所能做的只不過是看看他們的一般狀況，使他們維持適當的飲食和正確地使用藥物，以避免併發症的發生，延長病人的生命。實際上，這些工作都是冗長而刻板，故最適合電腦的應用。美國肯薩斯醫學中心大學 (Univ. of Kansas Medical Center)，便發展了一套這樣的系統來治療糖尿病人。普通一個糖尿病人，醫師所能做的也只不過是依照病人應診時的狀況，提供他飲食的適當熱量，和給予適當劑量的降血壓藥物，利用電腦的記憶和計算能力，這是最好解決的問題。

電腦輸入病人的生理狀況後，可提供詳細的資料以作為醫師診斷上的參考。



爲了達成這種任務，存入電腦的資料必須考慮過去及現在的病情，以及治療方式，電腦便可即時將病人的治療計劃用打字機打出，這樣，只要一個熟練的技術人員便可圓滿地治療糖尿病人。電腦和醫師的處方經比較後發現兩者的相關係數達到0.98，並且電腦從不提供危險的處方。

榮總的ICU又是電腦在醫療上有所發揮的一部分，尤其是急性心肌梗塞，或心臟手術後病人的看護，經常須要有一位護士小姐在監聽器前即隨注意病人的心電圖。如今，只要一部電腦即可同時監視十六位病人的心電圖，分別病人是否有VPC，Ventricular Tachycardia，Ventricular Fibrillation等緊急狀況，隨時發出警報，從此加護中心的護士小姐們再也不會抱怨睡覺時還見到心電圖的綠色光輝在眼前跳動。當然其他心跳，血壓等的警報裝置，電腦化的ICU還是有的。

更神奇的，加拿大多倫多大學還發展出一套系統，使外科醫師在腦部手術中知道他所用的一套機械探針到達大腦的那一部分，並將相關的解剖位置在螢光幕表達出來，使手術時的腦部傷害達到最小的程度。

電腦在實驗診斷上的用途

醫院的實驗診斷科是發展電腦的應用最具潛力的一個部門。很早便有人利用電腦來控制血庫裡面血液的貯藏和分配，甚至利用電腦來控制整個地區醫院血庫的貯血，必要時尚可互通有無。電腦也可以簡化實驗室申請檢驗的程

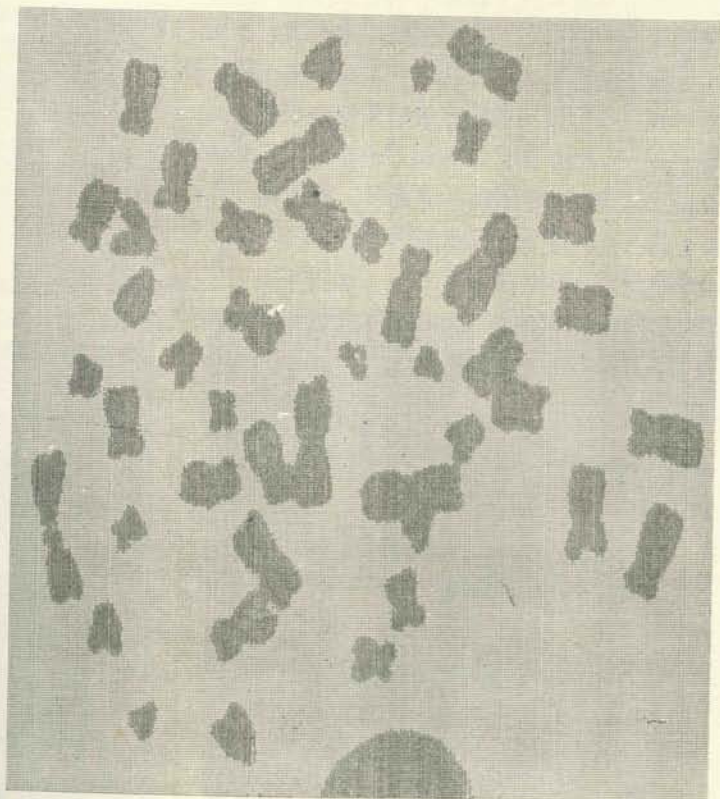
序，和檢驗報告的記錄與分送。這些都只利用到電腦處理事務的行政功能，其實電腦還有許多精彩的應用。

在綠杏第二十六期裡面和平蔡春泉主任曾介紹到的Computerized Axial Tomography便是一個很好的例子，利用一束X射線從各個角度來求得一個物體的密度，最後再算出其中任何一點的密度來構成一個完整的圖片，這個觀念非常簡單，實行的時候也只要加減乘除而已，但是在電腦出現以前並沒有人能夠作夠多的運算便能得到一張清晰的圖片，CAT的出現使得從來視診、觸診、敲診、聽診無法達到，X光看不清楚的腦部組織，不經開刀就能看到，使得萎縮、變性、梗塞、出血……等腦部病症清楚地呈現醫師的眼前。

在實驗診斷科做得最多的EKG和X光片的判讀，已經有人嘗試電腦化了。尤其是電腦分別EKG的正常與否已達到97%的正確率，和專科醫師的診斷相吻合的有92%，已足以代替醫師作EKG的常規檢查。

許多放射線專家相信目前的胸部X光照相只顯出真實情況的十分之一，加州大學放射學教授瑞格勒說：“如果能消除某些陰影並加強另外一些陰影的照相方法會改進我們的診斷能力。”不過這方面做得最成功的還是在腦血管攝影和眼底的照片。

在今日的世界裡，由於環境的污染、化學品的濫用，具有先天性缺陷的嬰兒構成社會上的一大問題。染色體的檢查是決定母體內胎兒是否畸形的重要方法，如果染色體



以電腦分析染色體，使自動檢查大量細胞染色體中的異常成爲可能。左上圖爲人類染色體的顯微相片。右圖爲顯微相片以數字顯示在電腦輸出卡上。左下圖爲其中一個染色體的放大圖。

不正常，胎兒必然不正常，父母親便可決定是否生下這個胎兒。檢查的程序非常麻煩，除了胎兒的骨髓抽血以外，要排出染色體圖需要2小時時間，費用200美元左右。

Dr. R. S. Ledley發展出一套程式，可以將細胞的每個染色體按臂長與面積排列出來，並找出異常處。由於電腦的度量非常精密，像是慢性骨髓性白血病的病人某一個染色體上缺少很小的一段，很容易從檢查者的眼睛溜過，但仍難逃電腦的法眼。全部檢查時間不過20秒，節省360倍的時間。這部機器在大規模的人口調查中更可顯出它的威力。（本文稍後有陳義揚副教授專文介紹病理實驗室自動化系統。）

四 電腦在醫療行政上的應用

一所近代化的醫院，行政管理人員的數目常佔有很大的比例。因為要使一所醫院能夠正常地行使醫療業務，首先要有良好的人事管理，其次要對醫院的收入與支出作適當的控制，還有藥品器材存量的維持和採購……均需要面面顧到。要完美地掌握這些因素，電腦是最有用的工具。

譬如說：藥品與器材的儲備是一件最大的問題，醫院是一個救急的機構，藥品器材絕對不能缺乏。相反的，大部分的醫院都過度的貯備藥材，因為每一個部門都害怕會有所匱乏，結果造成醫院大量資金的凍結。利用電腦系統便可以明確知道藥材的存量，而且可依據電腦的經驗預測儲量，如此便可大大減低醫院營運的成本。據許多醫院的經驗，單是儲量控制後所節省的金錢，便可充足供應裝設電腦的費用而有餘。電腦在醫院的應用還有一項令人想不到的用途，那便是菜單的擬定。一所大醫院員工及患者總和常有數千人，有些患者需要限定飲食，有些人也有特殊的飲食習慣，要使每一份菜單都要有恰當的營養，低廉的價格，又要美味可口，時時翻新，就很不簡單了。只要給予我們的要求標準和食物的實價……等資料，電腦便可替我們擬定菜單。此外公共衛生方面資料的收集、統計和預測人口增加率等等用途不勝枚舉。



1990年以後，電腦和其他的自動裝備將取代絕大部分的勞力。

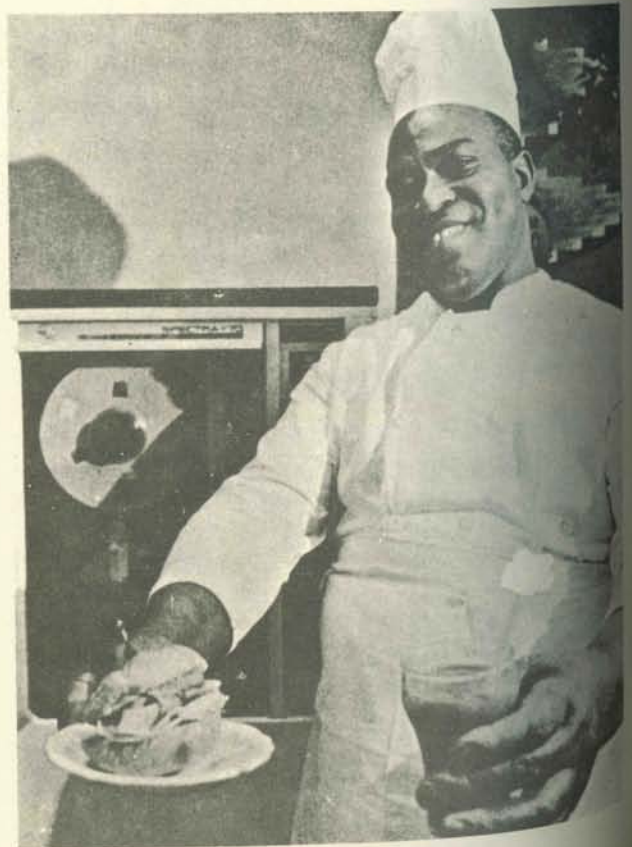
病理實驗室自動化系統之介紹

陳義揚 教授

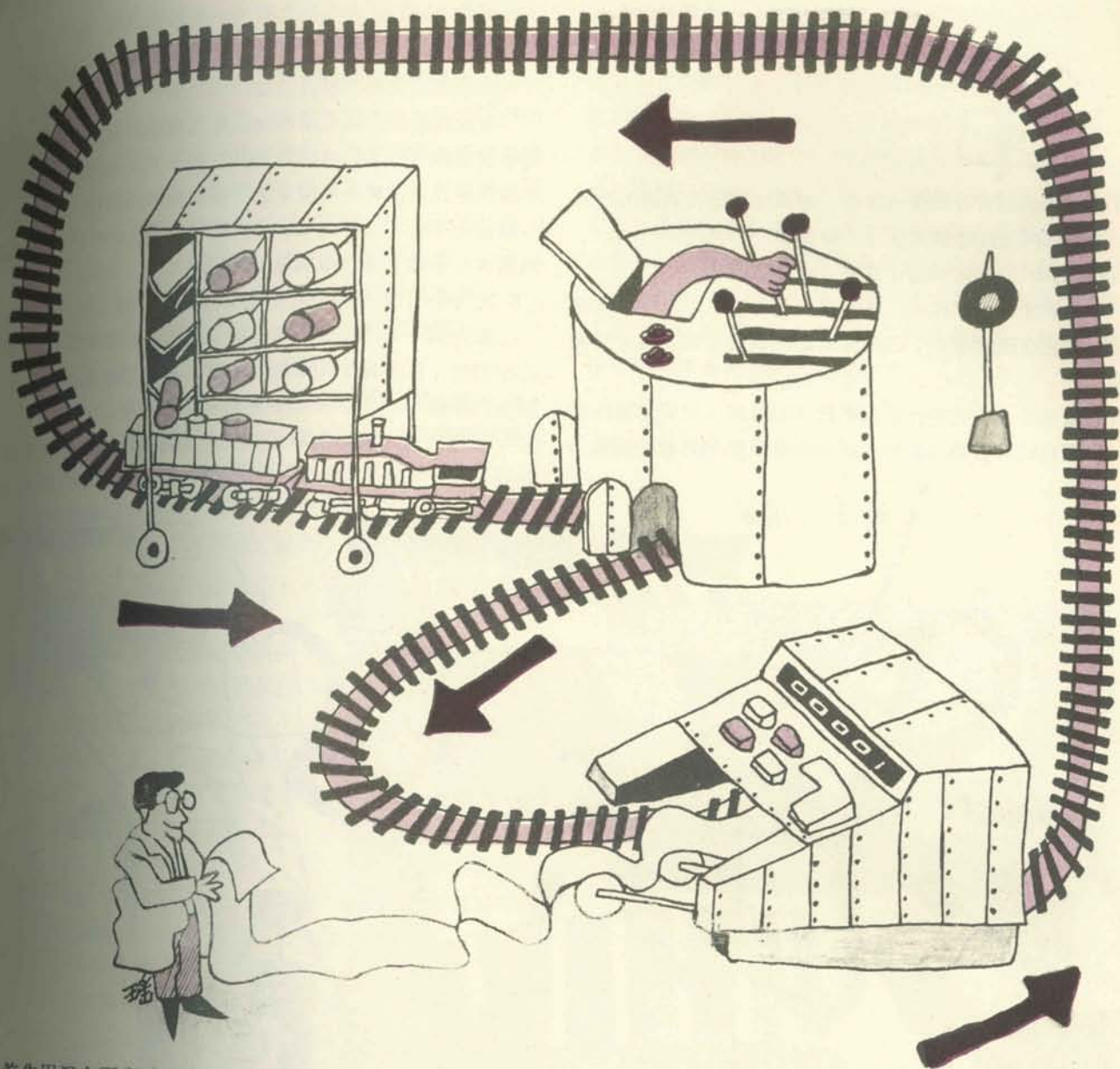
(一) 一般介紹

由於電腦在臨床實驗室中當做儀器的資料處理機或控制器是一種有效且經濟的技術，因此將電腦自動化引進實驗室系統的可行性正急速且方興未艾地進行。一般所見有關的商業自動分析系統，價錢不但昂貴，且功能固定缺乏彈性，所以除了特別目的之應用外，其他用途還得花錢修改才能用，因此不但維護費用昂貴，且實驗室的操作不易連貫。而應用電腦自動化後，由於其擁有高速度，即時處理，可做複雜計算，成本低等特性，而大大提高了整個實驗室的效率，除了工作可負擔更多外，其他諸如：結果準確性的改進，化驗成本的降低，報告的更迅速獲得，比比皆是實驗室自動化所帶來的好處。

一般在設計一套自動化系統首先要考慮其應用的彈性，可靠性及價錢的合理性。在實驗室中，自動分析機即是一種自動化系統，是用來分析血液中血清所含的成分濃度，利用各種不同的化學藥品與血清樣品作用後再與參考的樣品作比較，最後將其結果劃出。如果將這種分析系統進一步地與數位電腦（Digital Computer）連接，則其分析結果的準確性將更好。既然自動分析機（Auto Analyzer¹）有自動化的特性，我們可以針對此特性加以設計，



請嚐嚐「電腦快餐」！



首先用混合函數來模擬自動分析機 (Auto Analyzer) 的波形，這是因為混合模擬能提供我們很多好處比如：操作更快，反覆性更好，更具可塑性等等。而在自動化波形分析當中，數據的抽樣是非常重要的因素，抽樣率的多寡與結果準確性有很大的關係，因此決定一最佳的抽樣率 (optimal sampling rate) 是必要的。

在美國杜蘭大學已經設計出一套系統叫 Tulane Auto Analyzer Analysis System，簡稱 A A S 其具有許多能力如：波 析準確率的改進，自動量刻度，很好的混合報告格式及具可塑性等。這個公開且以實驗室為主的電腦系統 A A S 在新奧爾良的慈善醫院被採用作化學分析設備的後援及補充，結果非常令人滿意。因此對於實驗室環境而言，A A S 這套系統是完全可被接受的，它不但可以適應很多實驗室裏的要求，而且其成功之處在於安裝後不需要常常維護。由於 A A S 系統極富彈性，所以只需要將電腦裏邊的程式修改，即可適應任何不同實驗室的儀器。有

人曾對 H M X (Hycel Mark X Chemistry Analyzer) 的自動化做過研究實驗，證明 A A S 系統所用的 Minute-man D 17 B 迷你型電腦是一非常有用的實驗室自動儀器。

另外有一種非常有效，具彈性且高可靠性的實驗室庫存品控制程式，可以用來處理不同庫存品的任務，以減輕實驗室人員的負擔，庫存品不夠時會自動打出一些消息通知實驗室人員添購，因此可增加實驗室操作的效率。而且這種控制程式可以在 A A S 或 H M X 系統綫上操作的空檔中執行。

最後介紹一種叫複單元自動分析機分析系統，它是藉著自動波形分析，將不同的自動分析機如 AA-I, AA-II 及 SMA-12/60 等合併組合在單系統中操作。這種系統所



需要考慮的因素有訊號的複合，時間的測定及系統的控制。但是利用這種電腦系統作分時操作 (Time-sharing operation) 其效率遠比原來的兩倍還高。

由於當初設計 AAS 系統是以實用性，可靠性，可塑性，價格合理為標準，因此其初期一些重要成就有下列幾點：

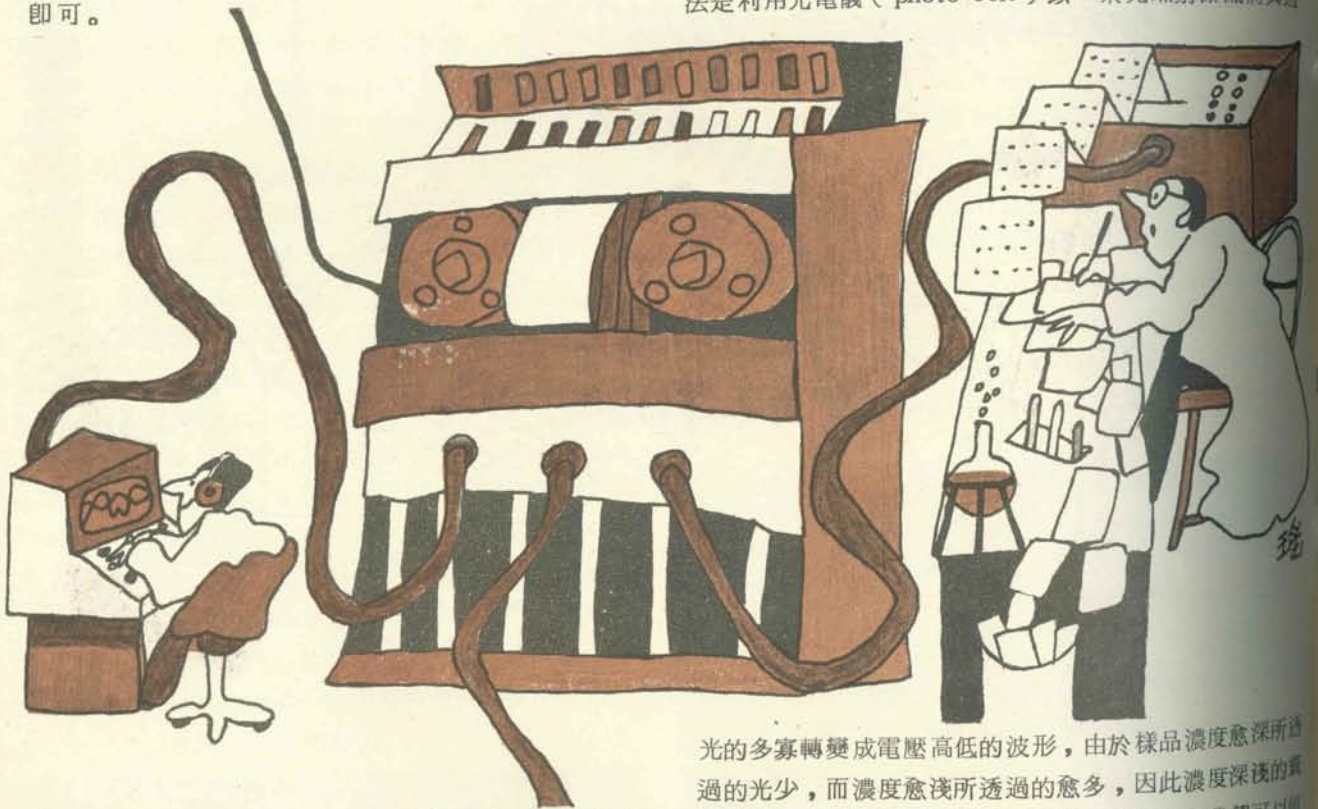
1. 這套完全自動化地獲取相關數據的系統，只須要操作員按照程式所需要的數據，經由鍵盤將數據資料按鍵輸入即可。

(二) 所遭遇問題的解決方法

在設計這種自動化系統時，所遭遇的困難相當多，而其中最重要的有①單綫道自動分析機 (AA-I) 與波形的不規則性及其波峰的偵測，②雙綫道自動分析機 (AA-II) 兩波之間的相位問題，③SMA-12 系統的時間及同步問題等。遂就上述三類問題加以討論：

① AA-I 波形的不規則性及波峰之偵測

在前面一般介紹曾提到自動分析機是將血清與化學藥品作用後，再將其作用後的濃度拿來與標準濃度比較，用綫性內插法決定此血清樣品所含成分的濃度。可是問題來了，我們如何知道此作用後濃度的深淺呢？一般的解決方法是利用光電儀 (photo cell) 以一束光照射樣品將其透



2. AAS 系統能提供自動量刻度，因此不需要用人工不斷地調整，況且用人工調整，既繁瑣又易出錯。

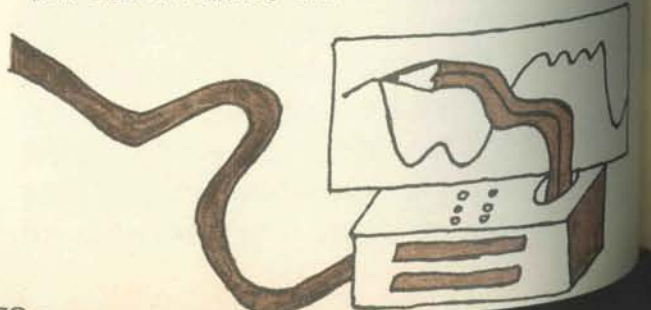
3. 由於 AAS 系統程式具有自動偵測兩波波相之間關係的能力，因此可藉著測出波峰的順序，調整印出報告的順序。

4. 程式的時間測定，已經可以重覆地將程式順序及相對的儀器操作使其同時發生。且各種不同的程序也已經改編來適應這種程式的同時性技術。

5. 在波峰期或停滯期發生時，程式在這段期間會執行波峰期或是停滯期的副計劃，而經由偵測其到底是波峰期或停滯期，時間測定會適當的調整。

由以上幾點的成就，將使實驗室儀器藉著迷你型電腦的應用，而更趨於自動化，實用化且效率更高。

光的多寡轉變成電壓高低的波形，由於樣品濃度愈深所透過的光少，而濃度愈淺所透過的愈多，因此濃度深淺的質料與所轉變成的電波波峰高低有關。所以只要我們可以測出波峰，問題即可迎刃而解，而決定波峰的高低可用抽樣數據加以解決，若是前一個抽樣數據比後一個抽樣數據來得低，即表示此時波還在上升，等到前一個抽樣數據比後一個來得高，即表示此時波開始下降，吾人即可將前一個抽樣數據的高低作為此波峰的高低，再與標準的波作比較而可輕易得到結果。可是一般電子儀器所產生的波



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，若是有一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力，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 波的結果打出；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

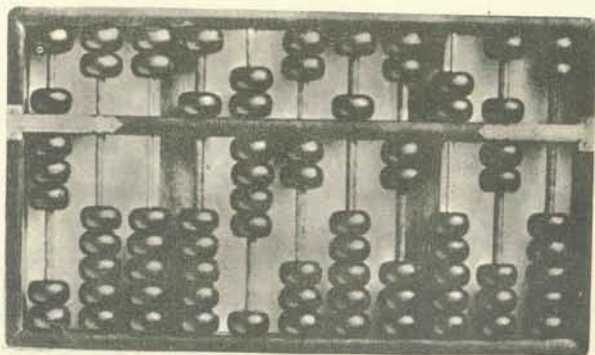
連續式多綫道自動分析系統 (Sequential Multiple Analyzer) 之產生，使得實驗室能對一樣品 (Sample) 作六種或十二種試驗，近來更有可同時作四十八種試驗之分析系統產生，這自然大大的提高了實驗室的工作效率。此類分析儀器之輸出圖形為連續的階形波，每一階波之高度代表某一試驗之濃度，以計算機自動處理階形數據時，最需克服的困難是時間及同步的問題；以 SMA - 12 為例，它的十二個連續階波中，其第二至第十二階波之時間約為每波 4.5 秒，第一階波約為十秒，使其每一樣品之分析時間總合為一分鐘，但在 4.5 秒內，計算機必須完成取樣 (Sampling)，計算，分析及報告等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

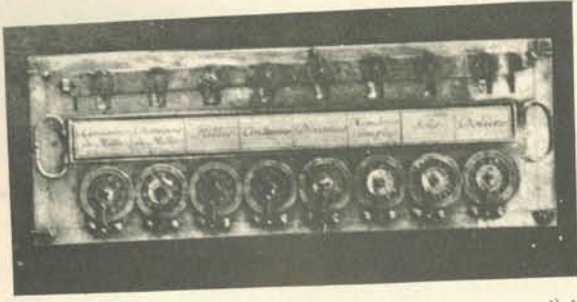
(一)前言

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 Centen 計算 π 的值得到 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)將巴斯卡計數機多加了幾個聯動齒輪的裝置，能將一個數目迅速重覆相加來做乘的運算，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數機，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的準確程度，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堪誤表，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	> 4	> 6
1	3	> 10	> 6
2	13	> 16	> 6
3	29	> 22	> 6
4	51	> 28	> 6
5	79		

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。

$$f(0) = -1$$

$$f(1) = f(0) + 4$$

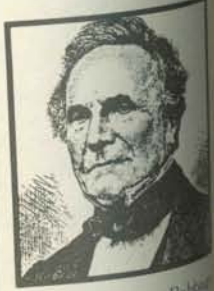
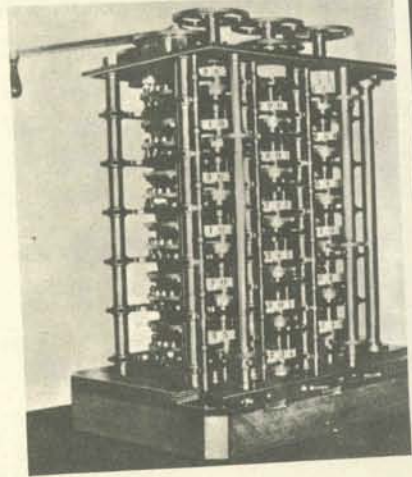
$$f(2) = f(1) + 4 + 6$$

$$f(3) = f(2) + 4 + 6 + 6$$

$$f(4) = f(3) + 4 + 6 + 6 + 6$$

$$f(5) = f(4) + 4 + 6 + 6 + 6 + 6$$

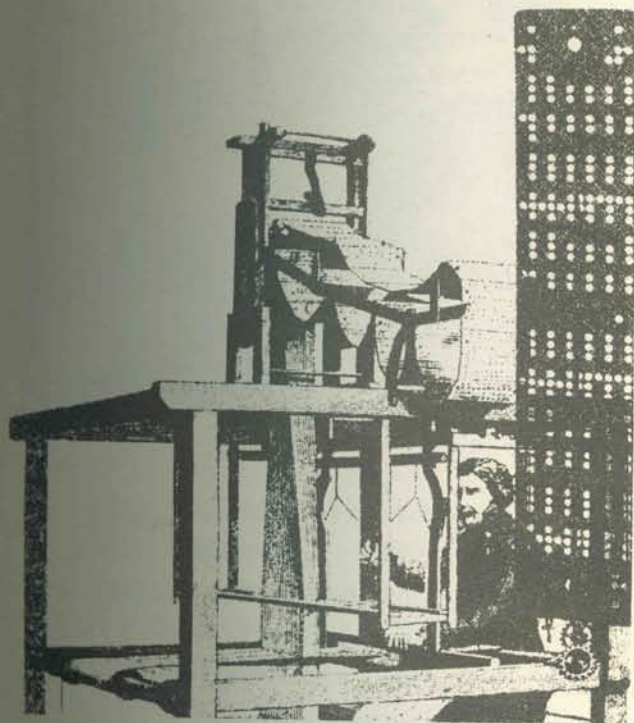
要自動完成求值的工作，他的機器必須要有下面的三個部分。①一個儲蓄單位(storage unit)，用來儲藏各個



巴倍奇(Charles Babbage) 差分機 ——1823年巴倍奇(Charles Babbage)發明。

函數的值與運算的資料和中間值，是用一連串的十進位齒輪構成。②一個操作單位 (mill) 用以做加減運算。③一個控制單位，控制操作的運行與停止。是利用打孔卡片，只要改變卡片的孔位就能解決不同的算術難題。

巴倍奇的控制觀念來自十八世紀法國人賈卡德 (Joseph M. Jacquard) 所發明的自動編織機。



自動編織機 (1804年) —— 由打孔紙卡所控制。

在那個時候，地毯都是用紙卡控制的自動織造機織造的。卡片上的小孔，會使連著顏色不同的線之連桿移動，卡片上的小孔所構成的圖案，控制了織造機上的地毯圖案。所以，操作員只要換一換卡片，就可以更改地毯上的圖案。我們要了解他的機器的運轉原理是這樣的：先掉下一張卡片，再使鉤針按卡片而安排，然後織一條線，最後重新再來一次。成爲一種讀入→操作→讀入→操作……的循環，這和電腦操作原理是完全一樣的。

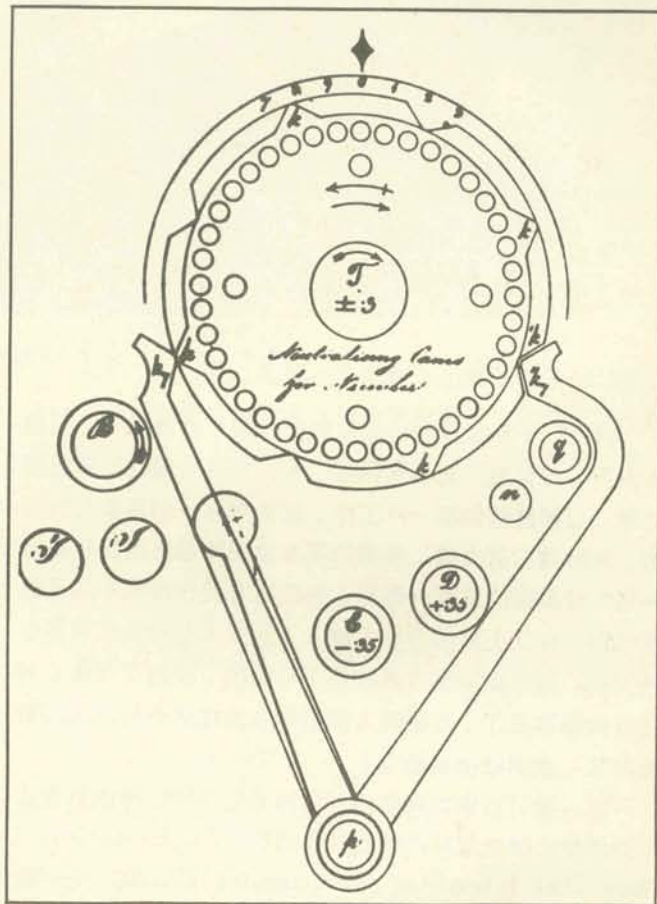
巴倍奇的設計中，他自己的貢獻是設計了一個分枝系統 (Branching System) 可以讓機器在操作到某種結果之下跳過不必要到步驟，或者回到原來的地方重新再來。

依據了上述的觀念，巴倍奇成功地製造了一部可以求二次函數值到五位數的機器。後來他還想製造一部用途更廣泛的分析機 (Analytical Engine)。這架機器重兩噸，每秒鐘可做一次運算，並可貯藏一千個五十位數。和一切過早出現的天才一樣，個人的光芒反而照出周圍的黯淡。因爲那時先進的英國，工業仍然十分簡陋。每一件他所要的零件都要自己設計製造才能達到理想的精密度。雖然他

Let us now suppose that we have two expressions whose values have been computed by the engine independently of each other (each having its own group of columns for data and results). Let them be ax^2 , $b.p.y$. They would then stand as follows on the columns:—

V_1	V_2	V_3	V_4	V_5	V_6	V_7	V_8	V_9
+	+	+	+	+	+	+	+	+
0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0
a	u	x	ax^2	b	p	y	bpy	$\frac{ax^2}{bpy}$

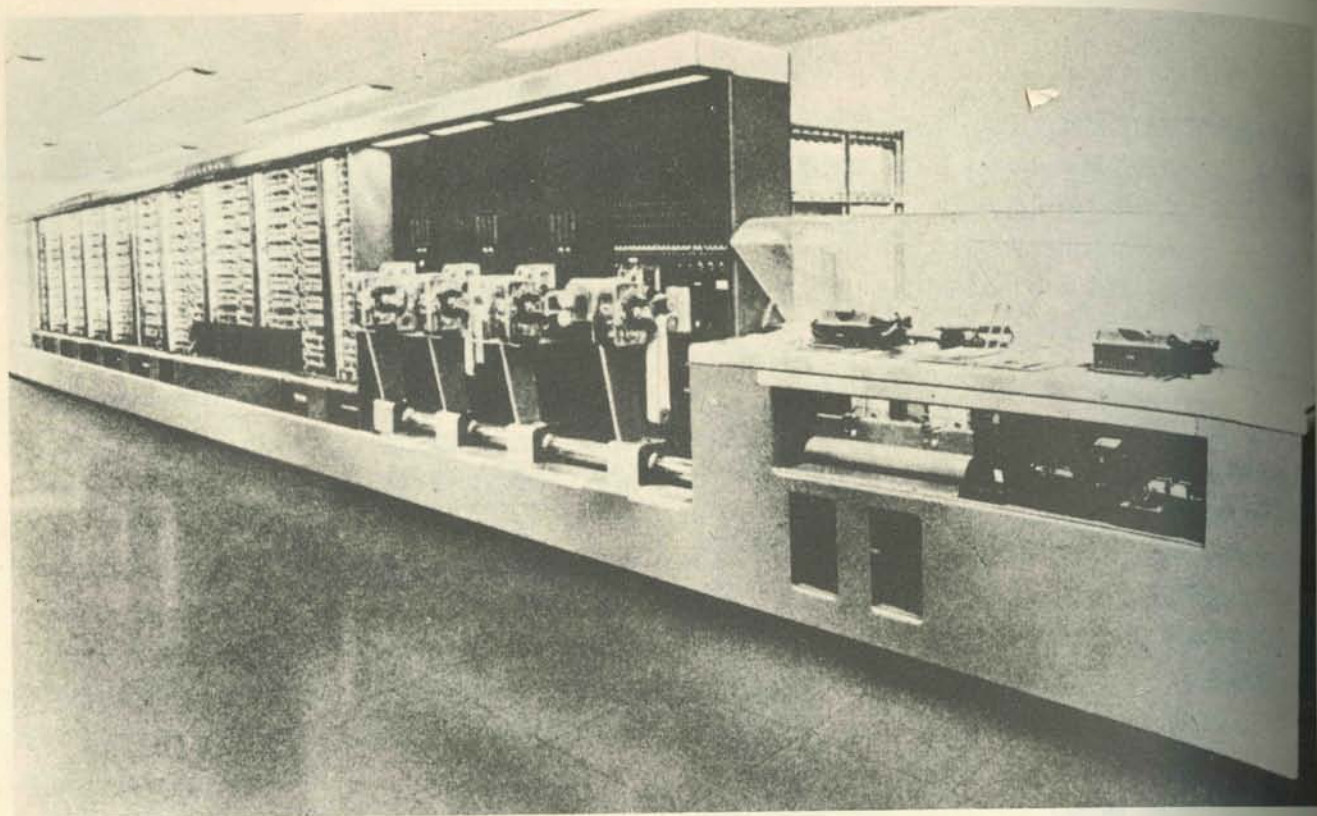
巴倍奇分析機的早期程式 (部分)



Charles Babbage 所畫的分析機設計圖 (部分)

活了八十歲 (1792—1872)，仍然無法看到分析機的完成。在他晚年，他的助手離他而去，居然成爲機械工具製造業的泰斗。巴倍奇偉大的構想終以兩個字告終— Babbage's folly。

大約一百年後，二次大戰造成科技的空前繁榮，不但如此，戰爭要应用到許多數表，尤其是彈道的計算，需要有快速又正確的資料供戰場使用。於是美國軍方不計血本地要發展出一種能自動演算的機器。首先哈佛大學的 Aiken 製造出 Mark I (1940年) 這是電動計算機和電子迴路的結合，是世界上第一架的自動計算機。巴倍奇的構想到此得以實現，只是 Aikens 事先不知道巴倍奇所做過的努力，可謂心有靈犀一點通！



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想。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——電砲。到底它有何作用呢？爲了這個問題，成千上萬的方程式輸入了馬克 I 型中去求答案。幾天後，結果顯示製造電砲是不可能的，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。

(五) 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，就可以得到較爲明確客觀的判斷。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。

$$\begin{array}{ll} 0+0=0 & 0 \times 0=0 \\ 0+1=1 & 0 \times 1=0 \end{array}$$

$$\begin{array}{ll} 1+0=1 & 1 \times 0=0 \\ 1+1=1 & 1 \times 1=1 \end{array}$$

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：

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

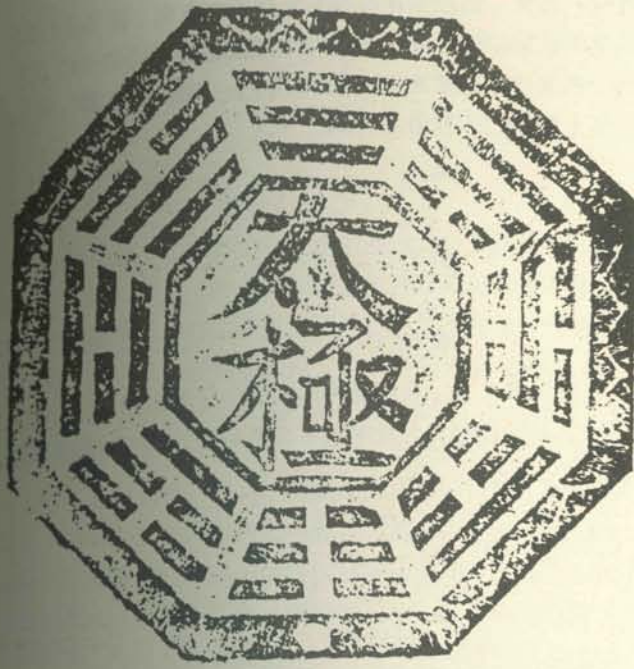
$$A + \bar{A} \times B = A + B$$

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

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



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(一)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 利用圍成一圈の十個正反器 (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。

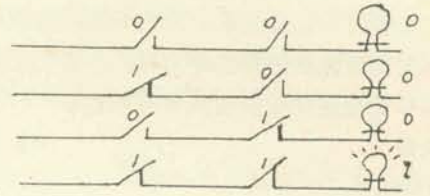
ENIAC 要表示一個數字例如 4，便是正反器圈中代表 4 的一個變成 set 狀態，其他的則維持 reset 狀態。

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。

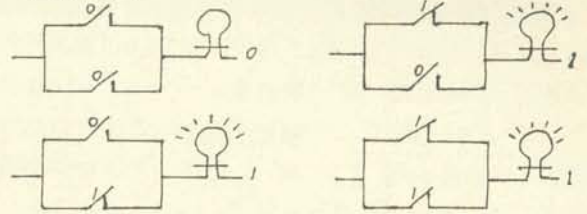
內電腦的操作原理和結構

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”)



並聯 (“或”)

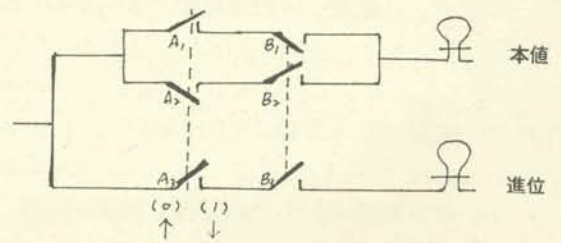


很湊巧地，這樣的串聯電路和布氏代數中的“且”運算有相同的功用。相似地，如果將兩個開關並聯，我們就得到“或”運算的電路。

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

11101.....	被減數
- 10011.....	減數

1010.....	差

在完成這個運算時我們要靠著下列幾條減法公設：

- 1-1=0
- 1-0=1
- 0-0=0
- 0-1=1……並且向上位數借1

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 10011 “1”，“0”互變 減數的補數 01100

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。

11101	被減數
+ 01100	減數的補數
101001	
+ 1	加1
101010	差
1	01010
	→ 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：

- 輸入 ………由鍵盤打入資料“45+99=”
- 運算
+ - ………計算機將45與99化為二進位號碼相加後，再化為十進位數。
× ÷
- 輸出 ………最後由發光二極體顯示出和“144”

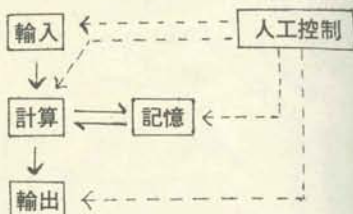
做簡單的算術時這樣是夠用的。但是如果我們要計算一個冗長的函數值，這可就非常不方便了。

一般求π的函數值是利用葛雷哥(Gregory, 1671)的無窮級數：

$$\begin{aligned}
 \pi &= (-1)^{(N+1)} \cdot \frac{4}{2N-1} \\
 &= \frac{4}{1} - \frac{4}{3} + \frac{4}{5} - \frac{4}{7} + \frac{4}{9} \dots\dots\dots \text{一直到永遠。}
 \end{aligned}$$

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

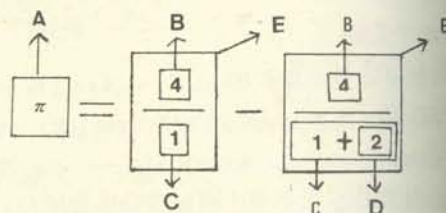
再一一加減。這樣要費時幾十分鐘才能做完，而電腦內部真正用在加，減，乘，除的時間累積起來不超過一秒。因此我們發現，如果在計算機中安裝上一套記憶裝置，就可以省下用手打入數值的時間。



在計算π時，我們需要有五個記憶數字的單位，才可完全忘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：

$$\begin{aligned}
 \pi &= \frac{4}{1} - \frac{4}{3} + \frac{4}{5} - \frac{4}{9} \dots\dots\dots \\
 &= \frac{4}{1} - \frac{4}{1+2} + \frac{4}{(1+2)+2} - \frac{4}{(1+2+2)+2} + \frac{4}{(1+2+2+2)+2}
 \end{aligned}$$

我們的五個記憶器，A, B, C, D, E 各貯存下列的數值。



- A：存π的累積數值，初值為零。
- B：存級數的各項分子，即4。
- C：存級數各項的分母，初值為1。
- D：存級數各項分母的差，即2。
- E：暫存級數每項的值。

有了這五個記憶器，只要適當的操作就不需要在運算中途從外面打入數值。我們可用以下的方法操作計算機。

- ① 0 → A 4 → B
1 → C 2 → D 首先將各記憶器的初值送入
- ② B ÷ C → E
A + E → A
C + D → C 第二個方塊目的在求級數的單數項，B ÷ C → E 即將B中的值與C值相除後結果送入E中暫存，B中的值為4，C值為1，得到4 ÷ 1 = 4 送入E中。A + E → A, A用以存放π的累積值，在
- ③ B ÷ C → E
A - E → A
C + D → C

這裡A存入了第一項級數的值4。C + D → C使C內的數值加2求得下一項(第二項)的分母3。

第三個方塊中所描述的步驟是要運算偶數項的數值，並且併入π的累積值中，因為偶數項都是負的，所以第二個步驟改為A - E = A，即將上個方塊所得 $\frac{4}{1}$ 減去第二項 $\frac{4}{3}$ 。其他步驟與第二個方塊相同，我們只要反覆做2, 3

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)

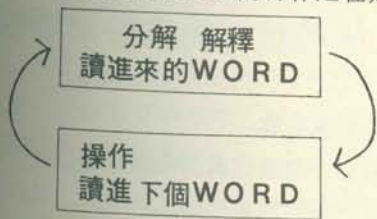
到現在為止，我們的計算機的操作只需要用手按計算機而不需輸入數字。但是如何使計算機能夠自動運算呢？首先我們想到賈卡德的編織機所用的打孔卡片法。將第二個方塊與第三個方塊中的指示，做成打孔卡圈成一圈，使機器在打孔卡的控制下反覆計算。而實際上，機器的讀卡總不如電路中電子的流動快。因此，最好的方法還是將控制步驟存放在記憶系統中，電腦的方法便是這樣。我們要知道，電腦的記憶就像信箱一般。信箱有一定的“地址”，且可存放信件或包裹等等任何形式的郵件。電腦的記憶部門便分成一個個小單位，稱為WORD，每個WORD都有一個編號，可以裝數字或控制的指令。每次電腦從記憶中取資料，便以一個WORD為單位取出，如果是指令便將WORD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

譬如一個WORD上面的訊號是這樣：

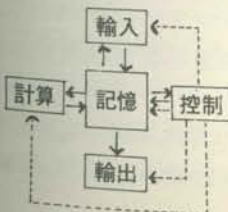
DIV	B	C	E	L
操作符號	第一地址	第二地址	第三地址	第四地址

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處取出下一個指令。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找下個指令。電腦的操作過程是這樣的：



成爲一種連續的循環，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爲我們做工作。

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。因爲無論任何資料，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，爲了減少編寫程式(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系統爲例，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，稱爲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將之編譯爲由機器語言(Machine language)組成的Object program(目的程式)才能處理。Compiler稱爲軟體(Software)，電腦的中央處理系統C.P.U稱爲硬體(Hardware)，這兩個名詞將於本專欄第三部份再度提及。

(七)第一代，第二代和第三代

到今年爲止，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 (Integrate 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。

(八)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 年出現的微處理機 (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

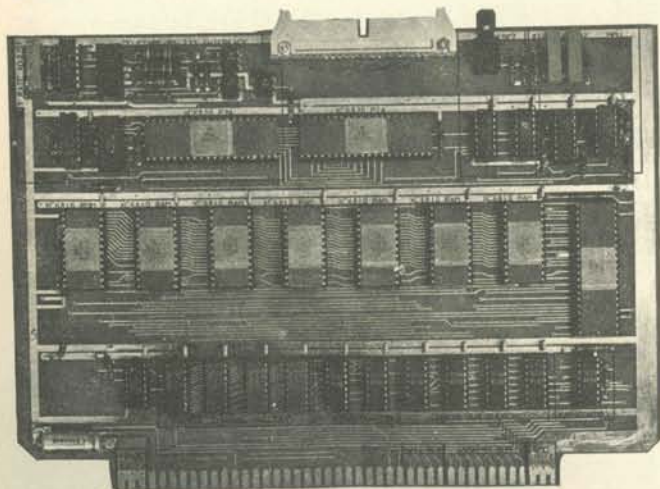
如何教電腦為醫學界服務

如何教電腦為醫學界服務

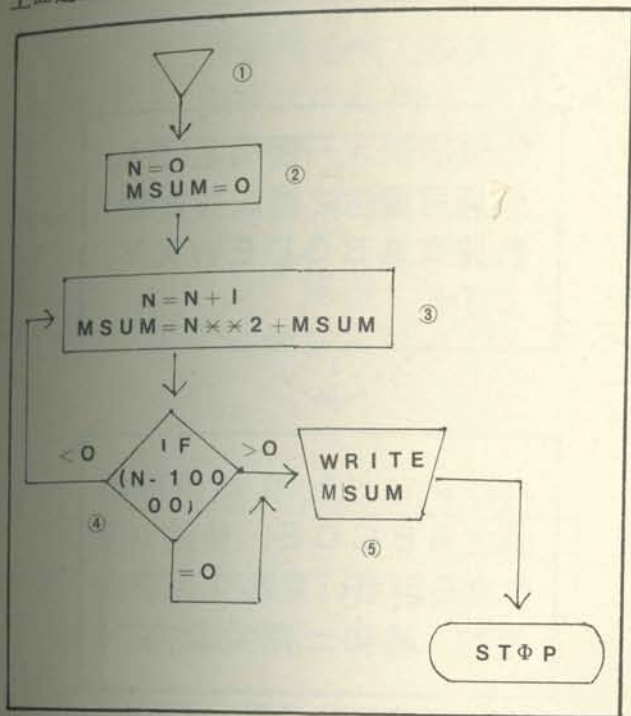
在本專欄的第一篇我們講到電腦在醫學上一些神奇的應用，第二篇我們講到電腦的由來與發展。在本篇文章我們將簡介如何應用電腦，並且我們還嘗試說明如何教導電腦服務醫學界。

許多人將電腦看作為是一種有智慧，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 $1^2 + 2^2 + \dots + 10000^2$



10000：一列長長的數學式，送入電腦，讓電腦來操作。因為許多小型電腦甚至無法容納下這麼多的數字，更惶論計算求解了。一位電腦的程式師接到了這份工作首先要將它化簡，分析出它的規則，並且計劃它在電腦裡運作的情形。這便是系統分析 (Systemic Analysis) 的工作。一般做這種工作時是把它畫出流程圖 (Flow Chart)。在上面這個問題，最可能的計劃如下。



在上面的圖中，最上方的三角形表示機器開始運算，在第二個長方形內，表示設定兩個數字N與MSUM，它們的初值都是零。在第三步驟，我們將N加上1。 $N = N + 1$ 這種表達法在電腦是許可的，N代表電腦記憶中的一個位置，經這一步驟之後N內的數目就較原來大1。到現在為止 $N = N + 1$ 即 $N = 0 + 1 = 1$ 。而 $MSUM = N * * 2 + MSUM$ 這式子中 $N * * 2$ 代表N的2次方。 $MSUM = N * * 2 + MSUM = 1^2 + 0 = 1$ 經這一步驟MSUM由0變為1。在第四個步驟菱形代表判斷，在這個圖形的涵數是，若 $N - 10000 < 0$ 到第三步驟去。 $N - 10000 \geq 0$ 到第五步驟去。到此為止 $N = 1$ 所以回第三步驟 $N = N + 1 = 1 + 1 = 2$ $MSUM = N * * 2 + MSUM = 2^2 + 1 = 5$ 。

電腦就在3、4步驟反覆運算。比較，直到 $N - 10000 = 0$ ，即MSUM已累積了一萬個數字的平方和，便進行第五步驟，在打字機寫出答案。第六步驟，電腦自動停止。

系統分析的工作做好以後，下一個步驟便是編寫程式 (Programming)。當然電腦直接能懂的僅是機械語言，不過為了減輕負擔，一般使用的是程式語言 (Compiler Language) 這點在第二部份已大略提過。我們就以科

學界常用的FORTRAN作例子，將它的程式略述於後，由於每種廠牌的電腦不同，名家的FORTRAN也略有修改，下面的例子只是一個代表而已。

```

C      SAMPLE PROGRAM      ①
      N = 0                  ②
      MSUM = 0              ③
10     N = N + 1            ④
      MSUM = N * * 2 + MSUM ⑤
      IF ( N - 10000 ) 10, 20, 20 ⑥
20     WRITE ( 3, 30 ) MSUM ⑦
30     FORMAT ( I 12 )      ⑧
      STOP                  ⑨
      END                    ⑩
    
```

在上面的程式只包含10行的敘述，在此將為它們略加解釋，使大家對程序能有一點初步認識，以引發興趣自行深造。基本上這篇程式與前面的流程圖完全一樣，只不過改為文字敘述而已。

第一行，最前面的C標明這一行是做註釋用，機器並不執行它，只向操作者說明這是一個例子。

第二，三行是流程圖中的②

第四，五行是流程圖中的③

第六行，IF (N - 10000)後面有三個數字，10，20，20，分別標明若 $N - 10000 < 0$ 電腦回頭執行前面標有10的第四行。 $N - 10000 = 0$ 或 $N - 10000 > 0$ 執行標有20的第七行。

第七行，WRITE (3, 30) MSUM 說明用第三號輸出機寫出MSUM，形式用標有30的敘述上所描述的。

第八行，說明第七行要寫出的是一個12位的自然數。

第九行，STOP指示機器停止。第十行，END告訴編譯者 (Compiler)，我們的Fortran 程式已經告終。

為了整齊與精確並配合電腦的性能，程式必須要寫在特定的寫碼紙上 (Coding Sheet)，所有的文字用英文大寫字母，其中O並用Φ代表以與數字0區別。一個熟練的程式設計師 (Programmer)為我們的例子作完系統分析與編寫程式僅要十來分鐘就可完成。再花上三、兩分鐘打成卡片，便可放進機器操作了。

首先，我們從資料室中找出FORTRAN Compiler，是約有兩吋厚的一疊卡片構成。然後我們先將電腦記憶中所有內容清除，再將編譯者的卡片放在讀卡機的入口，最後加上我們所寫的十張卡片，然後按下開始鈕。讀卡機即搭搭搭的將卡片逐一讀完，電腦將全部的FORTRAN所需應用的規則，步驟都記入記憶單位。當電腦讀到我們所做的卡片便可將記憶中的一些規則，步驟，與我們所作的程式相配合。工作完畢，電腦自動打出一堆經編譯成機械語言的工作卡 (object deck)。

除了工作卡之外，我們還要拿出FORTRAN prefix

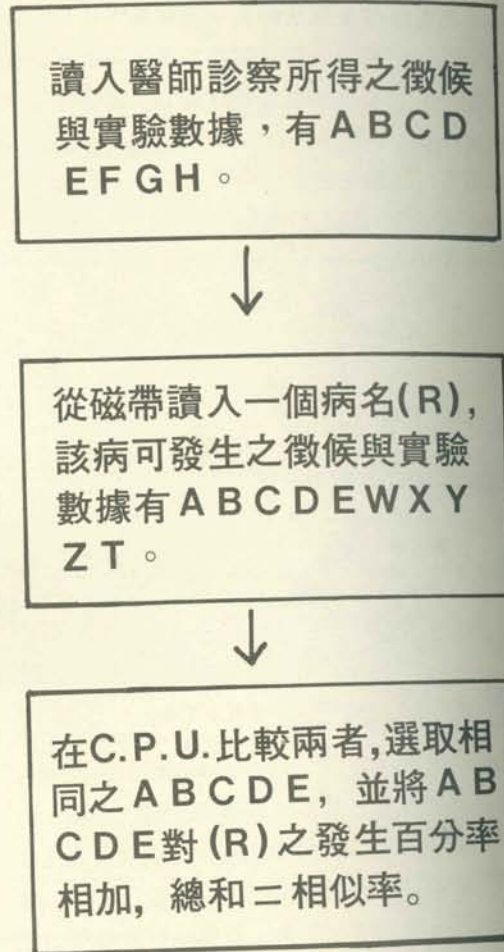
與FORTRAN suffix 兩疊卡，包在工作卡的前後，這樣一套卡片才是真正可以工作的卡片。這疊混合卡片再裝入讀卡機，按下開始鈕，四五十秒內就讀入電腦，這時候電腦之中是真正儲存了我們解題用工作卡內容。裝填工作完成之後，電腦開始執行我們平方和的運算，這時間電腦停下二、三秒，開始以每秒數百萬個運算的速度處理數據。用手計算要好幾小時的工作，就在這二、三秒間完成，搭搭的從打字機打出結果來。用手計算實在無法與數百萬倍快的電腦相較量。以上是一般較小型計算機的操作，大型電腦更加方便快速。

一般在電腦的應用上，我們分成兩大部門來討論，一個是硬體（Hardware），一個是軟體（Software）。硬體是指電腦的中央處理系統（CPU），及輸出入裝置（I/O Devices）等機械結構。相反地軟體是指 Compiler 或者程式等等與控制機械有關的設計。以電話的使用來說，電話機的結構是相等於電腦的硬體，如何撥號是屬於軟體。一個人要使用電話只要會撥號即可，一個人要使用電腦也只需要懂得電腦的軟體—編譯程式及程式設計……等即可，對機器的結構，有一點粗淺的概念即可應付自如。至於要享受電腦所造的福澤，只需要懂得按鈕即可，因為實際上電腦的軟體與硬體一樣可以向專門的供應機構購買。在未來的醫學界，一個醫生並不需要接受長期的訓練才能使用電腦，因為軟體的發展使程式的撰寫越來越簡單，不變的只是如何做問題的探討與著手方法。因此，在電腦的使用上，系統分析的能力愈趨重要而程式撰寫的技巧的重要性將減輕到最小。事實證明，一個對某一問題真正有了解的業餘程式師所作出的程式往往比專業的程式設計師所寫的程式更加簡潔，精鍊正確。在本文的後半，將討論到應用電腦服務醫學的某些系統分析上的問題。

首先，我們談到醫學上比較實用而且至今仍在發展中的電腦輔助診斷（Computer Aided Diagnosis）。

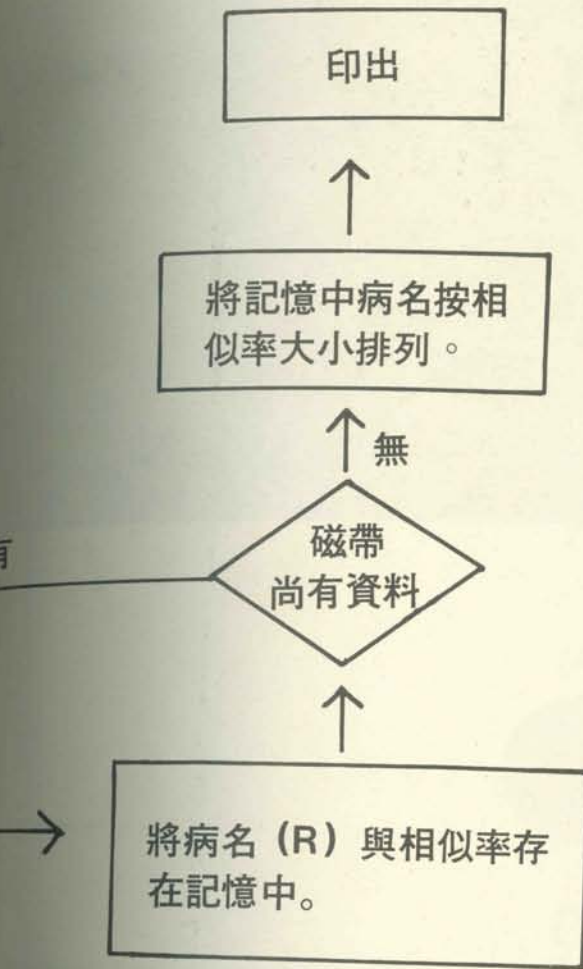
在基本上來說，CAD 有兩種主要的着手方法。第一種方法是利用磁帶將所有病症的詳細症狀與表徵記錄下來，然後利用電腦將醫師由病人身體上觀察所得的症狀與磁帶中的各個病症相比較，得到相符合的病症，然後按照相合程度的百分比一一排列出來，我們就姑且叫它搜尋法。第二種方法是推演法，這適合症狀較少，病症較確定的小科目，它是將全部病人的可能主訴分成幾大範疇，然後依照各範疇更加細分下去，直到有足夠的證據來診斷一個病，這兩種方法各有利弊，我們就在下面詳細討論。

以搜尋法來說，這個方法適合於廣大病症的尋找，而且這種系統的修改與擴充非常簡單，它的方法是將每一個病的病名連帶全部可能發生的症狀以及實驗檢查數據，甚至治療計劃以每一個病症為單位任意的存放在磁帶中。一般的程序如下：



這個程式本身並不複雜，但它對於疾病診斷的準確程度却取決於人為因素！首先，醫師為病人作理學檢查和病徵的觀察結果必須是準確的，同時 History Taking 更佔了非常重要的地位。因為許多疾病都有它們的自然病程，在不同的時期有相異的徵候，醫師當然不能只將病人來求診當時觀察所得告訴電腦，以「請教」儲存在於記憶磁帶裡的資料，必須同時加入 History Taking 時所多得的記錄一併送入，以期電腦能送出更可靠的參考資料。現在舉個例子以幫助讀者的瞭解：一個病人主訴疲倦無力已經二個星期，醫師理學檢查發現病人肝臟稍腫大，右上腹部有輕微壓痛，無其他特殊徵候；實驗數據顯示肝機能稍不正常。假若醫師僅將上述資料輸入電腦；或者醫師經由 History Taking 更詳細地獲知此病人在二星期前曾有黃疸的現象，在黃疸之前一個月曾有類似感冒的徵候和食慾不振的情形，則加上這些資料一併輸入電腦，兩者所得結果必然大不相同！

其次，用於記憶於磁帶裡的輸入資料本身的準確性完全是人為的！我們知道了疾病本身有自然病程，在不同病程裡有不同的徵候；同時某些徵候在A種疾病是主要的發現在B種疾病時，同樣的那些徵候却是次要的，可有可無的。再者，實驗室數據的分類、分級方法也是一大學問！



假若輸入的資料不能依照病程的先後排列徵候，又無法有詳細的統計資料來訂定每一徵候對該疾病的相關係數或發生百分率；則醫師的觀察結果再準確也無法獲得正確的參考資料！舉例來說，在風濕熱（Rheumatic Fever）的病程裡，有五個主要徵候和五個次要的徵候，這些徵候可為診斷的標準，稱為 Jones' s criteria，在「曾有鏈球菌感染」的前提下，只要有二個主要徵候，或者一個主要徵候和兩個次要徵候出現在一個病人身上，就可以認為他患了此病。

然而在把上述資料輸入電腦儲存之前，該如何處理才能使電腦跟得上一個高明醫師的診斷呢？首先，五個主要徵候和五個次要徵候的相關係數必然有等級之不同，不能“一視同仁”地輸入儲藏，否則醫師理學檢查輸入的資料也許有三個次要徵候即可得到電腦的“Over Diagnosis”。當然，大前提下的“曾有鏈球菌感染”所佔的比重更大於主要徵候，方可構成“充分”和“必要”條件同時存在。

其次，無論是主要徵候抑或次要徵候，每個徵候必要作詳細的分類：譬如主要的徵候Chorea 該細分為Chorea minor 而非Chorea major；次要徵候的Fever 幸而在此疾病沒有固定的型式，否則就須標出其究竟屬於那一類型

的Fever，以便在臨床資料輸入後，電腦能精密地加以挑選。此病的實驗室數據也歸入次要徵候內，CRP和ESR的上升程度大約只須分為正常或不正常即可。

至於推演法之所以適用於較小的範圍，因為其資料範圍較小，但仍須正確的資料輸入，然後從最原始的資料輸入比較，讓其自動歸類，現舉例如下：我們把腹部分為左右Lumbar area, Iliac area, Hypochondriac area 和中央Epigastric, Periumbilical 和Hypogastric area 等區，我們已輸入各部分疼痛時可能發生之病變資料；當我們遇到一個急性腹痛的例子，則馬上將其腹痛部位告訴電腦，配合其他理學檢查結果，電腦能馬上告訴我們可能出毛病的所在，引導醫師作進一步的檢查，以作最迅速的處置。這個方法因資料少，作業迅速，但程式的擬定較麻煩。

總之，資料的整理仍有待醫學家們的努力，以時間和集體的作業，獲取統計資料，以將更多的疾病和其徵候發生的相關係數研究出來，（此係數須配合自然病程），以大量輸入正確的資料，作為高明的大夫在遇到疑難雜症時，能請教於“電腦”來提供可靠性高的診斷參考，以立刻進行適宜的治療步驟。醫學資料庫的建立，將是電腦用於輔助醫療作業的最理想目標！

結語

一百年前，一個醫學生在他的學校裡所學得的醫學知識足夠他一生執業所用。但是百年之間醫學變了，醫學的傳統也變了，整個世界都加速向前進。借用一個核子時代的名詞“半衰期”來說，1960年代醫學知識的半衰期只有十年，但是到了1970年代僅剩下五年。假如我們能夠完全了解並牢記學校裡所教導的課程的話，五年後只剩下一半有用，十年後只剩四分之一，二十年後只有十六分之一，更何況這種半衰期正在日漸縮短中。英國有一句古老的諺語：“學問是唯一無法被剝奪的財富”到今日還是對的。沒有人能剝奪你的學問，只是學問本身成幾何級數地漸漸消失。一個人從踏入醫界開始，他就命定要不斷的進修與研究，努力充實自己來維護“醫師”這個頭銜所賦予的責任與尊嚴。

隨著醫學進步，許多疾病的早期治療成為可能，以致人的壽命延長了，醫師的工作也就更加繁重。發展電腦的目的並不在取代醫師，而是減輕醫師的負擔。很多醫療過程中反覆而刻板的手續，只有技術人員和電腦互相配合方可以完美地處理。廣泛的應用電腦，醫師就有更多的時間來面對急切需要治療與照顧的病人，並且電腦輔助診斷疾病的可能性日漸理想，可作為醫師診斷的有力參考。電腦——登陸火星的主要功臣，也必然是未來世界最重要的醫療輔助工具。本專欄為您作了概略的介紹，或許您將對她感到興趣，追上去吧！！