

資訊工學對科學教育的衝擊

原著：李克達 Dr. J. C. R. Licklider

麻省理工學院

翻譯：趙 銘 國立臺灣教育學院物理系

前 言

資訊工學正在盛行。它給予商業、工業、專家及政府機構一個神奇的新工具及技巧以協助獲取、處理、儲存、傳遞及利用資訊。但在教育界却未能多加利用此一新工學的優勢。

教育界不僅忽略掌握此一美好的機會；並且未能盡到它那神聖的職責。我們的世界正快速的進入“資訊時代”。爲了要使此一轉變是睿智且妥善的，社會大眾必須明白資訊科學及技術。人們必須去支配科技不然會被科技所支配。

資訊工學現已深入到能給予我們一個基本的資訊工具、技術及設備用來有效的改進教育的境界。此一方法不僅是有效的教育方式，而且在金錢的利用亦是同樣的有效運用。在工學對教育產生全面性的衝擊之前，教育工作者將必須明白它、採用它及應用它，使之達到教育工作上的需求。現在讓我們先探討技術本身然後看看教育工作者如何利用它。

一、資訊工學的進步

資訊工藝在電子計算機的硬體方面，有著最戲劇性的神速進展。在 1944 年只有哈佛所製的數位計算機 Mark I 在工作，此機是利用磁繼電器製做邏輯處理及儲存元件。一個基本的處理周期

在 Mark I 費時 10 毫秒，處理的資訊的單位爲 16 位元。而整個以繼電器爲基礎的儲存單元的儲存量爲一千位元。假如把它看成名義上爲實驗室製造的昂貴的電子計算機在限量的產量下它花費了 125,000 美元。在 1978 年可以用 600 美元在一般無線電用品店購買到基本處理週期爲微秒、字長爲 8 位元及 16000 位元的快速儲存體的電子計算機。此電子計算機較 Mark I 快 10000 倍，儲存量也大了 16 倍，在二次大戰中花費了 200 倍（1944 年爲二次大戰中）。在此一比較時通貨膨脹是略去不計。基本的事實顯示了計算能力在費用與效率的觀點下由二次大戰到現在增加了一百萬倍。

在這段期間內費用與效率值的增加速率是以指數的方式增加。Roberts 的分析(1)，發現 37 個被認爲是大型的電子計算機在被引入以來（自 1955 年至 1972 年），每年費用與效率值的增加大約爲 1.56 倍。在屬於同一系列的電子計算機而言 Roberts 發現每年增加的量僅大約爲 1.4 倍。依此一數據可知電子計算機的費用與效率值大約每二年加一倍。在同一系列的電子計算機而言每一個新機型的推出並沒有重寫原有程式的必要，此一誘人的因素使得前述的數據變成爲一個相當保守的估計。而每二年加倍一次的趨勢在過去一直爲電子計算機的發展所遵循並且在未來十年

也會繼續遵循下去。

二、大型半導體積體電路元件

對於快速改進電子計算機硬體的費用與效率值的一個科技因素是大型半導體電路元件。當各位打開熟知的計算器時，它主要的邏輯及儲存元件是一片2毫米寬3毫米長的半導體晶片。就物質及大小而言，同一片晶片也正是大型電子計算機及電訊交換設備的基本組件。自1960年代中期以來人們爭著去把更多更多的功能、處理能力及儲存力加在一片半導體晶片上。儲存力的增加情形較處理能力的增加略為快些，但二者的增加是如此的快速，在實際上只須利用一條曲線便足以描敘它們。它是一個指數曲線，大約每14到15個月加倍一次（如以年為準時大約每年1.9倍，此一數據較整個電子計算機硬體的增加量為大）。

自1960年代中期以來，晶片的功能大約增大了10000倍。而晶片的價格在同一時期則保持不變，大約在5到10美元之間。一個粗略而正確的觀念是一個新上市的晶片大約50美元，但在二至三年內會降至5到10美元。目前在市場上已有與迷你電子計算機同樣字長的微處理晶片其他則含有4096位元的記憶體。依指數律來預測時則在1980年初期會有32位元之微處理機及16384及65336位元的記憶體上市。

然而大型半導體積體電路現正處於一個轉捩點。就是處理機及記憶體上的主動元件間用來連接同一晶片上的各個元件的導線已經小到在腐蝕及刻蝕技術所用的可見光所能達到的極限範圍。將可見光改為紫外線（具有較短的波長）的小進步可以解決此問題。如處理功能及儲存容量依指數率增加時，則5到10年後我們須由目前可見光的照相技術轉換成利用X射線及電子束或離子束的技術才可以。

目前大部分的大廠家及大部分能夠安排他們主要投資在必要的設備及技術的小廠家都在進行此種轉變的準備工作。在日本，依報導政府供給百分之九十必須的資金。依Sutherland的論文(2)，利用這些技術在理論上將繼續依指數的方式增加晶片上主動元件的數目外再增加10000倍，在1990年時將會有5百萬個位元的記憶體的電子計算機出現在可想像的晶片上。也可以想像到，雖然看起來十分貪婪的，此晶片只賣10美元。

三、教育上費用與效率值

現在讓我們來探討電子計算機硬體的費用與效率值每二年就加倍的事實對教育的意義為何。

一個每二年就加倍的過程，在十年內會增加32倍。如同前面所敘述的，我們預期電子計算機的硬體技術在未來十年將會持續的成長。假若事實正是如此時則目前電子計算機的應用的費用與效率值將會與電子計算機硬體一樣增加32倍。這一事實告訴我們，我們須以看電子計算機硬體的方式來看1989或1990年的教育。

整體來看，教育是一個面對著五千萬學生花費為五百億美元的企業。每名學生每年的花費在一千美元左右；主要是用在人事及建築上。教育的本質是人力密集的且必須考慮到未來及改進制度時的過渡時期。在1990年將是一億學生及一千億美元的企業，每位學生每年平均花費一千美元，不過在那時人力和技術的支援會獲得較好的平衡，每名學生每年大約可以分配到二百美元用在教育性的科技器材。

若這二百美元的一半用在電子計算機而且硬體的折舊為五年時，則每名學生將可分配到價值五百美元的電子計算機。在1988年時此設備將是1微秒、32位元的機器且具有一百萬位元（三萬二千字）的快速記憶體、輸出入控制台與輔助記憶器或並能與大型電子計算機交換資訊。不

論如何，這將是一個可以擔當複雜的教育性的應用的適當硬體基礎。

小型電子計算機

如同前言中所提及的，大型積體電路已經給予一個比較不複雜及不昂貴的電子計算機。這對教育是萬分重要的。這類典型的電子計算機包括單晶片之處理機、二到三個晶片的主（半導體）記憶體，鍵盤及一個供顯示的陰極射線管。通常還包括一個較主記憶體速度為慢但具有較大容量的輔助記憶體以及一個調變解調器以便與電話系統聯接。費用可以由包括卡式錄音機的輔助記憶系統而不含調變解調器的微算機其價值在美金 600 元左右到可以供應小型商業系統之作業需求的微算機其價值在數千美元左右。最便宜的電子計算機在未來二、三年內將會略為下降些，這是由於它們的價格已達到由外殼及市場所定的最低點了。在未來革命性的改進是在它的功能及容量而價格維持不變。

三種小型電子計算機結構而對教育具有潛在的重要性為：

- 沒有輔助記憶體或僅有便宜的卡式錄音機以便輸入程式及數據到主記憶體的最基本的個人專業用電子計算機型目前的價格約美金 500 元，這類機型不太可能低於美金 250 元以下。
- 一個基本的電子計算機及一個基本的輔助記憶體目前的價格約美金 1200 元，其價格可以跌至美金 500 元左右。
- 適合於小型商業作業系統的電子計算機具有數百萬位元組的輔助記憶體其目前的價格約美金 5000 元左右，數年後約 2000 元左右。

這三類結構將隨著時間變得愈來愈功能愈強大。第一類在教育上的應用十分有用，在此並不需要數據、資訊及某些基礎知識——例如監聽馬達的技巧或測試寫程式的技巧等方面的應用。第二類將支援在同一時刻只執行一件工作的應用，所

以並不需要大量的數據。第三類將給予許多小型的應用，使用到充分的資料庫系統。

錄影磁碟片

另外一個資訊工學對教育工作者將具有美好的費用與效率值及有用的工具就是錄影磁碟。磁碟中儲存 30 分鐘到 1 小時的電視教學節目包括視頻及聲頻。在大量製造時，每片磁碟的價格約一元美金（雖然在市場上可能以甚高的價格出售）。供播放磁碟上的節目的放映機在不包括電視機時，在進入大眾化的娛樂市場時售價在 500 到 1000 美元之間。

半小時的美國電視節目的材料等於 54000 個靜止的畫面或電視畫面，而每個畫面的製作費用可以低到 0.04 分美元。磁碟可能以每片 10 美元的價格在市場中出售。所以一旦購買了錄影磁碟，則每一個磁碟畫面所須付出的附加費用約 0.02 分美元。例如：我們若將課本的一頁儲存起來則須 4 個電視畫面，費用總共約 4 分美元。

四、用資訊工學改進教育工作

先進的資訊工學對於教育的承諾，不僅是它美好的費用與效率值而且給予教育界在質的提升上的一個大好機會。下述的內容僅是幾個可能用以敘明電子計算機及電信硬體在教育上的潛能。

- (1) 電子計算機導引的訓練及實習。自 1950 年開始的研究工作，明確的顯示電子計算機導引的訓練及實習是有效的而且是高效率的，並能在過程中激發學生及受訓者的能力。在未來電子計算機為基礎的訓練及實習將會便宜的可以廣泛使用。假若能積極的開發，它將確實能使每個學生都具備基本技能，包括拚字、打字、書寫、發音及字彙，外加上強有力的記憶能力，藉著其他教育的技術使學生們能由此建立更複雜的能力例如：認知及學習專業知識的能力。
- (2) 電子計算機輔助教學（CAI）。由 1940 末期

到1950年的程序教學的概念與1950年末期到1960年代的數位電子計算機之間的交互作用的日益升高。CAI能夠在1960年到1970年間逐漸發展，目前已可以客觀的來評估它。這並不是一個革命性的教育方法也不是教育上的突破。在某些軍事上及商業上的應用已被證明是有效的而且具有好的費用及效率值。它的使用已持續性的增加，特別是當教師的費用日增而CAI技術的價格日降的時候。

CAI面臨著人們過份的期望及適度成功的情況下的混合狀況。現有二種可能的發展途徑：(甲)依照1960年代早期的形式而發展，利用緊湊的程式及有限的記憶體在價廉的電子計算機上使用。(乙)增大CAI的功能達到1960時期所無法達成的功能，使用現代化功能強大的電子計算機。第一個途徑的最大希望是將數千名教育工作者／研究工作者／程式設計師一起參加此一活動並明顯的改進軟體的質及效率，而此點僅有少數的例子正執行此媒體所承諾的效能。第二個途徑則具有較寬廣的範圍，利用功能更強大的電子計算機，它將能執行更進步的程式，此程式將與學生個體的模式及依學生個人自己喜好的觀念及推論的方式而思考。此類程式將年年逐漸升級，並不會由於人類的會遺忘而減弱，而且此種最好的程式能夠複製並且廣為散佈，而最好的人師則不能。

(3)電子計算機支配的教學(CMI)。CMI利用電子計算機去選擇題目及教材並將教材出現的順序及測驗、實施測驗及記錄保存的工作。最初，使用及發展CMI是由於CMI在電子計算機上執行上述工作之功能較教學功能本身來得便宜。早期CMI系統並不包括直接教學的功能。目前如用計算來執行較不費錢的功能是不合經濟原則，大部份的大型電子計算機系統的教學系統將包括CMI及其他教學之功能。

(4)完全電子計算機化的教學。完全電子計算機化

教學是指完全自動化的教學系統。這一類教學的一個例子是史丹佛大學在邏輯導論的課程內所使用的，此一課程是如此的電子計算機化，所以師生之間沒有正規的上課時間。目前沒有太多的完全自動化教學系統存在，但如果一經證實此種應用是可行的話，那這方面的需求將甚為巨大，經濟的因子將有助於此一趨勢的發展。利用完全電子計算機化的教學將促使學校產生明顯的改變，例如完全電子計算機化的學校不需要教師而需要咨商員。以電子計算機網路聯結的學校間將會有集中式的CMI及分散式的CAI來進行在職教育及訓練，學生並可在家中自己支配學習工作。

(5)利用電子計算機於解答習題。在數位資訊技術的應用上，這一方面是最普遍的。袖珍型計算器在教育上的影響是值得討論的，但不是討論它已深入教育體系的這一個事實。成千的學生在中學及大學內現在已用了數位電子計算機來解答家庭作業。許多人已熟悉電子計算機為基礎的文章編輯及文件的準備工作。

資訊科學的滲入基層的教育工作內並不能是件淺薄或無意義的事。除去辛苦的數值計算及煩人的擦除修改及重新打字的过程外，電子計算機使學習增加了新的歡樂及自由自在的時間去使用並獲取更多在學問中更廣闊的內涵。

(6)利用電子計算機及程式化的概念去助長發現及組織各種觀念。電子計算機及它的語言給予學生一個新的方式來思考、新的方法來處理資訊及知識。它也將一個抽象的觀念透過電子計算機給予學生一個堅實完整的觀念而其他的方法只能給予一個模糊的觀念。電子計算機模型模擬可以使學生在某一段時刻集中於一個複雜概念的某一部份，然後再將各個部份集合在一起而不會有所遺忘。雖然繪圖顯示幕能控制並顯示物理事件的圖形，但電子計算機可產生動態

的、生動的狀態讓學生去探討而且將控制此一狀態的定律用各種方式來表示，使學生很容易的瞭解此一定律如何影響物理過程。例如重力吸引的動態模型可以設計成吸引力的大小與距離然後與距離的平方及與距離的立方成反比的情況來表示，以供驗證。

(7)在資訊工藝為基礎的環境下的學習將給予學生寬廣的直覺能力。在與前述的模式相比較，可知在前者強調使用電子計算機及程式規劃的觀念會助長發現及學習能力，此一觀念強調學生之直覺而不是教師或電子計算機。

我們可以想像用電子計算機於教育將是一個富有學習環境及一個動態的圖書館，當學生在選擇任何閱讀的項目時，經由鍵盤將每一個名詞及觀念的完整解釋呼叫至螢光幕上來，而且可以依一定的模式來進入實驗或動作來描敘之，並且在電子計算機的引導及監督下進行問題的解答。我們確實可以使它能達成這樣的一個狀況，就是依學生個人的能力及興趣去安排狀況使學生感到比漫畫書或電視更引人入勝。

然而，發展此一資訊工學為基礎下的學習環境將成為主要的計劃。若是不能透過電子計算機系統的龐大的數位儲存系統來儲存課文、公式、圖形、表格及相片，則不可能完成這種學習環境。目前在人工智慧的領域所做的實驗得知欲達成上述目標則必須發展一種稱之為“知識為基礎”的新式資訊結構系統。

假若資訊工學將導致教育上的革命，那也將是知識表示法的革命的一小部份而已。一些複雜的資訊結構及對電子計算機而言是很自然的正式語言，且勢必為人類所接受而成為一種自然的語言（經由人類工程者的採用後），所以自然的語言將在人類為保存及轉移知識的努力上佔著主要的地位，只有在很狹窄的範圍內，也就是數學語言及工程領域的專門術語上遭到挑戰。但是電子

計算機顯示出它在表示觀念這方面是個強有力的工具，至於在各個觀念間的關係並且此一新的表示法將在未來教育及電子計算機本身具有重大意義。

(8)由資訊工藝為基礎的環境來模擬真實世界的工作。最初此類的工作的例子是電子計算機模擬的航空飛行用來訓練駕駛員。模擬已證明對學商的學生在下決策及經歷事情的過程上十分有價值。模擬在教育上的認知情況仍未完全瞭解。目前仍在討論模擬究竟是在認知技能的發展上是有用還是在實際的知識的發展上佔著重要的角色。

(9)由資訊工學為基礎的環境來教授學生的學習。在電子計算機為基礎的教學結果，由觀察而發現到一個特別有意義的現象就是指導教師所學到的較學生所學到的要多。在此一實行的過程可知電子計算機是介於指導教師及他們的學生或其他學生間的居間者。指導教師在準備教學程式或知識給學生的過程中由於與電子計算機的交互作用而將他的主要認知過程表示出來。若是不將所欲準備的程式及知識確實的明白及認識那是無法準備這些程式。所以要學生自己去準備程式是個傳授一個觀念的最好方式。即使一個像級數的收斂及發散的問題也會在學生自己一旦能設計一個程式來產生並繪出一個級數而且具有可以由使用者自行變化的參數。如此這學生對級數將具有清晰而且具有直覺的觀念。

此一發展過程在早期教育工作在探討電子計算機時又獲得額外的好處：它將會舒解嚴重的缺少好的程式及知識庫的問題。為了克服此一問題，許多學生能準備同一教學項目的軟體，用小心規劃及控制的實驗來測試他們的成果，並由其他人證實的實驗可行的技巧來改進他們自己的技能。

無可避免的，人們會爭論當所有的自學程式。

及知識庫都準備好，測試過及最佳化的時候，此一方法已由於太老而變得沒有用了。

(10)由教導計算的學習。本主題與前段的區別是前段是教導學生而本段的目標是教導電子計算機。間接目標仍在教育教師，因為他們在教導電子計算機時也是學生。這種發展方式並不需要人工智慧有驚人的進展。位在麻省理工學院的西蒙柏伯特學習實驗室認為對電子計算機執行程式規劃的學習在廣義的看法下可以認為是在教導電子計算機。亞伯特威查也在麻省理工學院探討如何設計電子計算機使之在以後能教育它。若能發展出達成此一理想的技巧將能夠對由教而學加入一個新的領域。

這個主題的意義是建立一個電子計算機能夠自己處理知識庫是件可行的事。有些已經朝向實用的方向進展，在一些醫學的領域（例如由質譜儀應用到有機化合物上去選出抗生素）及應用數學（例如簡化有理多項式、不定積分）已有了有意義的知識基礎。一些處理陣列的有趣技巧已開發出來，包括語義網路、關係網路、程序網路、劇本概況、畫面、知識表示的語言及其他依敘述性計算法發展出的技巧。這也正是令人感受甚切的以知識為基礎的人工智慧，例如：DENDRAL(3)，MICIN(4)及MACSYMA(5)所展示的。

在不同的知識領域中準備電子計算機可以處理的知識將成為最好的由教學中學習的方法。此一目標是將每個知識領域中的知識由最初的課文、公式或圖形的形式再加上在人腦內的形式轉變成新的形態使之易於被電子計算機記憶體所接受及處理的形式。此一假說是對知識庫的準備者的教育不論是或不是其自身均是十分有用的副產物。

五、應用資訊工藝在教育上的危險性

這方面主要的危險性主要是來自保守派的影響，他們反抗、阻撓、不理或忽略了資訊工藝在

教育上的應用。而目前他們的勢力較科技上強大需求的呼聲或在教育界上想利用此一科技改進教育的需求的推動力都來的大。但這方面，看起來似乎是牽強附會，不值得担心。現在這些危險性可能是來自開發資訊工藝以提升教育的努力。目前不可能很快的開始有系統的研究此一危險性。關於應用科技時，顯示出更無意義及更困難的來控制無意或不希望的副作用，並且需要更多的前導時間來分析及瞭解有意的或希望的直接效應。所以在支持資訊工藝於教育的應用之餘也必須與支持發展及執行此一應用的政策相結合。

一些是要避免的主要危險僅是影像而已，並未明朗化，大部份都僅關心電子計算機及計算能力。這些先見的不良情況是電子計算機將較強調事實而不是觀念及原理及它將成為廣佈的宣傳工具而已，使電子計算機化成為政治教條一樣的一致性，而且積極從事一種偏見的、信仰性的、喜好式的或哲學觀式的工作。雖然已經顯示出電子計算機很自然的會阻礙它去處理觀念及原理或者它堅持一個一致性的世界。毫無疑問的我們可以很容易的使一個笨人去寫一個處理事實（或者一個虛構的事件）的程式，而很不容易的寫出一個程式來敘明一個觀念或推演或導引（或僅表示）一個原理。所以無疑的，一致性的處理（由電子計算機或由人、屬於電子計算機或屬於人）是較個人化的交互作用來得便宜且快速。事實上，許多將資訊工藝應用在教育上所產生的危險性的話題，都與下述的事實有關，就是做這件事是很容易而且有利可圖，但由全盤來看，對整個社會及群眾而言並不須要如此的做。此一麻煩，可摘要成二個主流。其一是輕蔑這種“開發”工作，另一則反之。早期解決如何全力推展應用此一科技所能給這個社會理想的教育的機會（也就是如何開發）而不要使一般機構只對如何快速獲得（開發）利益有興趣，因而使一大堆低品質的軟體毀

掉了整個遠景，所以在文件處理的效率上是十分的重要。

沒有方法可以用很短的篇幅來很公正的討論科技所造成的威脅。有三個幾乎剛夠說明的論點是：

- (1)教育需要資訊工學的協助是如此的迫切，所以工藝快速的被引入以協助教育的發展。所以，將此一助力拒斥於外，而不細心的檢視技術所能給予我們的好處及危害是毫無道理的。
- (2)教育將成為改變我們的文明及社會生活的巨大力量，而且資訊工學在對人類所造成的危害及益處上的潛能是不相上下的，所以在未能仔細的分析有關的論題及訂定政策，就捉緊它的益處而全速的發展是件愚蠢無比的事。
- (3)所有的科技在應用時顯示出如能給予巨大的利益而輕微的危害時是困難的，它是需要發展教育的方法及技巧，以及如何書寫程式及收集數據的方法及技巧。在前段所述的6到10的應用是屬於此類的應用。在這方面的應用所下的功夫須早些加強它們的政策性的研究。關於這些應用將暫緩執行，直到我們可以預見到發展後的情況，並且由南到北各地都可以同時買到很多的電子計算機並執行相同的CAI程式而且當更新的技術出現時只須將新的事實加在舊的方

法之內，例如用錄影磁碟來印製現存的教本並將過程來源予以簡化。 □

參考資料

- (1)Roberts , L. G. Data Processing Technology Forecast , Defense Advanced Research Projects Agency , Washington D. C. April 23 , 1969.
- (2)Sutherland , I. E. Personal Communication , 1975.
- (3)Buchanan , B., G. Sutherland , and E. A. Feigenbaum , "Heuristic DEN-DRAL" Machine Intelligence IV, American L. Elsevier , NY 1969.
- (4)Davis , R., B. Buchanan, and E. Shortliffe , "Production Rules as a Representation for a Knowledge-Based Consultation Program." Stanford University Artificial Intelligence Lab. Stanford CA Memo AIM-266 , OCT 1975.
- (5)Math Lab Group , the MACSYMA Manual, Laboratory for Computer Science MIT, 1974, 1976.