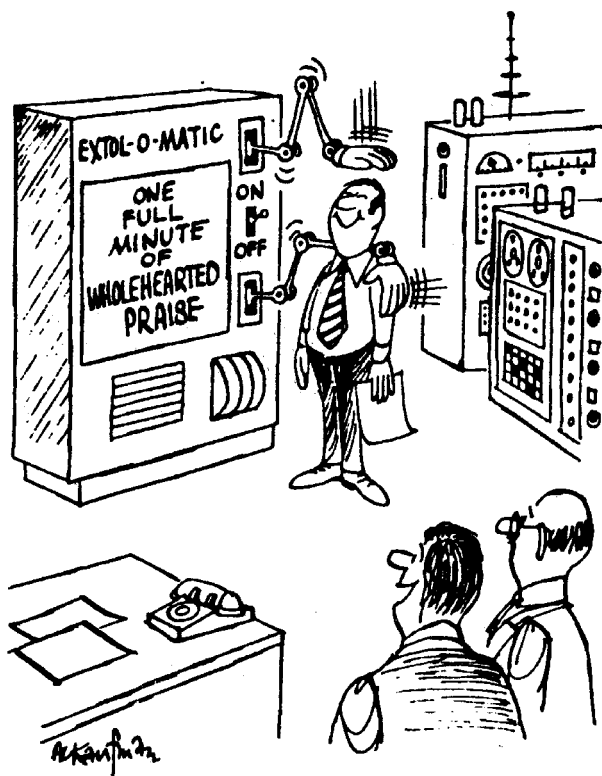


微處理機發展史

高甫仁譯

作者簡介：Robert N. Noyce 他是 INTEL 公司的創始人之一，現任該公司的副董事長。他過去曾任 INTEL 公司的董事長和總裁，並在當快捷 (Fairchild) 半導體儀器公司副總裁時，離職創設 INTEL 公司。

Noyce 是積體電路的發明人之一，他因對電子方面的貢獻而獲許多獎，同時也在半導體裝置，方法及結構方面獲得 16 項專利。



自從我們裝了這個機器後，
他就不再頻頻要求加薪了。

新產品的廣告，一般給人的印象常是過分浮誇；很少有新產品廣告會像1971年11月15日出刊的「電子新聞」(Electronic News)中那幅廣告(見圖一)一樣，終被證實為有如預言般的真實。這幅廣告是INTEL公司刊登的，當時它僅有三年歷史，五百員工，是MOS及雙極性RAM的製造廠商，年銷售額僅九百萬美元而已。這幅廣告揭發了一句令人震撼的話——「積體電子的新紀元」(a new era of integrated electronics)，所介紹的新產品名為：「可作微程式處理的晶片」(micro-programmable computer on a chip)。意思是，整個CPU——其中包括一個4-bit的平行加法器(parallel adder)，十六個4-bit的暫存器(register)。一個累積器(accumulator)和一個記憶堆(stack)都在「小塊矽晶片」上。這一代號為4004的CPU再配上只讀記憶(RAM)，隨意存取記憶(RAM)，以及位移暫存器(shift register)，就可組成MCS-4型微電腦系統。

該廣告所稱的「新紀元」，的確名符其實。根據加州一家市場研究公司Dataquest估計，在1979年時，全世界一年總共賣出七千五百萬只這種「可作微程式處理的晶片」(INTEL於1972年才首度使用「微處理器 microprocessor」以取代此一冗長的名稱)。雖然微處理機問世不過十年，但就普及性來說却遠超過大型電腦前二十年的成果，除此以外，微處理機也使零件製造商，OEM(Original Equipment Manufacturer)，及使用者重新考慮電腦擔任的角色。過去，電腦是龐然大物，須放在專用的電腦室裏，由專



這是有史以來第一幅微處理機的廣告，刊登於1971年11月5日出版的「Electronic News」

家操作；但在今天，電腦已縮得比指甲還小，不管是汽車，電動玩具，儀器和辦公室設備，到處都看得到它的蹤跡，而且未受專門訓練的人一樣可運用自如。目前，不但已有許多產品用到微處理機，而且微處理機還創造出許多新產品，像電動玩具與家用電腦，這些產品都是過去想像不到的。

由於微處理機改變了人們蒐集、利用資訊的方式、與他人溝通的方式及人們的工作地點和工作方式，所以也正在改變人們的社會結構。這些改變才剛開始，也許還要十年才能論斷它對整個社會的影響。但不管怎麼說，如果一個世界多出了上億部的電腦，當然會與我們現在的世界有所不同。

〔一項必要的發明〕

如果我們回顧一下微處理機革命前的電子業狀況，就不難了解微處理機是一項大勢所趨的必要發明。在六十年代末時，半導體業者逐漸意識到其在設計上所產生的問題嚴重性。由於隨機邏輯(random logic)設計的複雜程度正不斷增加，這種現象如果持續下去，邏輯電路的設計人員將不敷所需，且負荷亦將超出其能力；此外，每種電路使用率亦將降低。上述現象，將使積體電路的成本效益大打折扣，此因一方面除了設計成本增高外，另一方面因電路使用率降低，將使廠商無法將該電路的設計成本攤至較多使用者身上。

「電腦輔助設計(CAD)」被視為上述問題的解決辦法。另外還有採用「任意接線法(discretionary wiring approach)」或「master slice approach」就是利用一組基本電路模組，組合產生各種不同的電路設計。

以今天眼光來看，當時許多發展，對微處理機發展都有影響。在當時，已有許多深具計算能力的LSI晶片上市，或設計中。由美國軍方或一些公司(如General Microelectronics)資助，發展的計劃，就是以LSI製造電腦，不過這些發展，多數都還是多晶片之組合，而非單晶片；同時，多數發展者是以解決其特殊系統為目標，而非為取代一般邏輯電路而設計的。這些如火如荼的發展，促使電子業達到脫胎換骨的轉捩點。

「從計算器到計算機」

論及微處理機的根源，得感謝日本一家名為「Busicom」的計算器製造商。在1969年夏天，Busicom要求Intel製造一套矽晶片，以供其計劃中的高性能、可程式化的計算器之用。Busicom所指定的十二片晶片中，包括列表（printing）、顯像（display）部分的設計，Intel公司用ROM晶片來配合這些部用的基本設計。

當時，用金氧半導體（MOS）電路來設計計算器的技術，已相當成熟。在微處理機出現前，製造一個計算器，一般都需要半打晶片，每個晶片包含約600~1000個MOS電晶體。而Intel公司相信，其最近發展出來的矽閘（Silicon gate）技術可以獲得更合理的產生率；每塊晶片可包含2000個電晶體，所以Intel以一種更進取的設計方法來檢視Busicom的需求。

馬錫安·E·泰德·荷夫（Marcian E. Ted Hoff, Jr.）是Stanford大學畢業的年輕工程師，他在1968年加入Intel公司，那時Intel不過十一人，連他湊起來剛好一打。由於他在系統及應用方面的經驗，所以Busicom委託的這項專案研究工作，就落在他頭上。當時，Busicom派了一個設計小組遠渡重洋，到Intel。荷夫看過Busicom這組設計人員發展出來的設計後，斷定這些設計太過複雜，不合成本的要求。按照Busicom的設計，每塊晶片須包含3000~5000個電晶體，而且外殼包裝必須有36至40個接腳。荷夫從Busicom的設計中，找出了造成其過於複雜的三個主因：

- (1) 供週邊設備（如鍵盤、顯示幕和列表機）使用的控制邏輯電路，大多都是各自獨立的結構。
- (2) 移位暫存器（shift register）需要非常複雜的「時間控制（timing）」。
- (3) 基本指令非常複雜，許多指令必須與一個或多個指令相一致才能作用。

荷夫過去曾用DEC電腦公司的PDP-8，其PDP-8結構之簡單與Busicom的複雜設計所成的對比，頗為驚訝。PDP-8

指令群雖簡單，但因記憶極大，所以能執行複雜的控制和運算。當時，Intel已能造出高密度、成本較低的MOS記憶；因此，荷夫認為：只要增強記憶，就能減少Busicom設計中的隨機邏輯線路，並且降低成本。

減少指令群的複雜性，則能因此使處理機有更廣泛的用途。在此計算器中，由於ROM裏存了一個程式，所以不僅可用一系列指令執行算術運算，更可使鍵盤掃描並消除瞬間效應，顯示的維持，及其他功能。由於這部計算機的多樣性，使荷夫想到：如果能設計出一具更通用的處理機，則能應用的範圍將不只是計算器。

因此，他建議Intel展開一項計劃，來設計這樣的處理機。Intel的高級主管極為贊同這項構想，於是這項行動隨即展開。同時Busicom派駐Intel的那組設計人員，卻堅持使用原始方法。

為了配合所要求的廣泛性，Intel決定採用三塊晶片的設計：一塊是CPU，一塊是ROM作為程式記憶用，加上一塊RAM，作為資料記憶用；後來又加上一塊位移暫存器片，以增加輸出。至於計算器中包括的ROM及RAM數目，則隨機型而異。

其他決定尚有：使用「三階（three step）」的方法執行指令：平行、4-bit的雙向資料線；經由8個clocks的定長指令週期來做multiplexing；並用一個12 bits的指令位址空間。

1969年秋末時，Busicom的高級主管親臨Intel，鑑於Intel設計的簡單及應用廣泛，他們最後決定採用Intel的設計，接下來，就是把概念化成成品。但當時Intel設計人員甚少，且又正在發展記憶產品，所以這項工作直到弗德利科·費金（Federico Faggin）在1970年春季加入Intel，才稍有進展。

費金（後來創設Zilog公司，並任總裁）原在Fairchild半導體公司從事程序發展。當他到Intel，很快就把握此新處理機的概念，與Busicom工程小組一塊工作。這小組中有位年輕的工程師Masatoshi Shima，他後來為Intel設計Z8080，同時又在Zilog待了四年，而發展Z-80和Z-8000；基於這樣的

名望，我們稱 Shima 先生是最有影響力的微處理機設計者，該不爲過吧！他目前負責 INTEL 在日本的設計中心。

費金工作速度極快，不過九個月，就做出四個晶片的樣品，這成爲後來的 MCS-4 微電腦系統。但這組晶片的運用，卻在 INTEL 內部引起了相當大的爭論。對 INTEL 來說，讓電腦程式設計師加入半導體公司實在其難無比，特別是爲那微不足道的小玩意——微處理機——做程式設計。在那個大型電腦掛帥的時期，許多程式設計師都認爲如非從事大電腦的程式設計，就有失身份。因此到底要不要正式對外宣告 MCS-4 微電腦系統，在 INTEL 裏形成兩派不同意見而相持不下，直至 1971 年初才解開僵局。而第一幅震撼性的廣告也在當年 11 月中旬出現。

INTEL 公司之所以能發展出微處理機絕非偶然，而是由於英才匯集、主管當局支持研究人員從事科技實驗，以及戴夫·費洛曼 (Dov Frohman) 恰於此時，發明 EPROM，這三個主要因素湊在一起，才使 INTEL 能發明出微處理機。費洛曼現任 INTEL 位於以色列的研究中心主持人。

〔邁向 8 位元的里程〕

在製造 MCS-4 微電腦系統的同時，另一項發展計劃也在進行，此計劃目的在發展第一具 8-bit 的微處理機——8008。由哈爾·費尼 (Hal Feeney) 在荷夫及馬瑟的協助下，進行 8008 的研究專案。

8008 在 1972 年 4 月公開應市，它擁有 45 個指令；每個指令執行時間平均是 30 微秒，並有 9 個 8 bits 的暫存器，以 PMOS 技術製成，包裝於 18 支接腳的 DIP 內；並具 16 K 的記憶位址。

但微處理機的地位並非在此時即已肯定，雖然顧客群已逐漸擴展。但業者對微處理機的未來，仍普存懷疑之心；許多人認爲它的速度太慢，而且應用範圍有限。

不過相繼推出的軟體及硬體發展工具，輔助設計，以及一系列的研討會、客戶訓練及推廣活動，已使情況急遽變化。譬如說，1972 年底，有位在非洲肯亞鄉下教了一年數學的荷蘭工程師，他以驚異的口吻指出，他隔離文明僅十二個月，微處理機已使電子界完全改觀。

從 1972 年至 1976 年間，許多製造廠商競相推出微處理機元件、模板 (boards) 以及系統等，以圖在此快速成長的市場爭得一席之地。根據 Microcomputer Techniques 雜誌的統計，在 1974 年 7 月份時，有 19 種微處理機應市或公開；一年後此一數目增加到 40，到 1976 年時，更增至 54 種之多。

〔第二代的微處理機〕

Intel 8080 於 1974 年 4 月推出後，使微處理機向前邁進一大步；它是頭一個以其速度和能力來使微處理機成爲設計人員一項重要工具的裝置。8080 的指令週期僅 2 微秒，指令比 8008 多出 30 個，工作流量是 8008 的 10 倍，主記憶位址有 64 K bytes，輸出輸入埠 (Port) 各有 256 個；而 8008 輸入輸出埠各爲 8 及 24 個。

8080 很快就受到各方的採用，且需求甚殷，但也因而引進兩個強大的競爭者——Motorola 6800 及 Zilog 的 Z-80。6800 是頭一個 5V 單電源微處理機，因而使 6800 成爲極受歡迎的微處理機。Zilog 公司的 Z-80 是在 1976 年推出的，它比 8080 要晚了二年，所以結構上稍有改良，它亦是 Shima 先生設計的，最重要的特色是把 8080 所有的指令群悉數收入在 158 個指令中，因此 Z-80 可以使用 8080 相當多的程式。

至於在七十年代末所推出的更進步之 8-bit 微處理尚有 TI 的 9980，INTEL 的 8086 (iAPX 86) 及 Motorola 的 6809 等。上述這此微處理機都擁有 8-bit 外部線 (external buses)，但資料在內部以 16-bit 爲單位來處理。這種方法使其能與 8-bit 的硬體完全配合，同時也加快處理速度；此外，如果程式夠詳盡複雜，還可變成 16-bit 的微處理機。

在 1974 年初的時候，由於採用微處理機的產品快速增加，使得微處理機的套件呈現匱乏的現象。1974 至 1975 年間的經濟不景氣雖使需求增加之勢稍緩，但此一現象不過是它成長曲線中一個小小的波折而已。

從此以後，微處理機有如日中天，到處均可看到它的踪跡，迷你電腦歷經七載才在數量上超過大型電腦；而微處理機僅費時三年就超過迷你電腦及大型電腦數量的總和。同時，由於市場擴大，一方面

使微處理機效能快速進步，且價格日益下降。Charles J. Sippl 在他所編的1977年微電腦手冊（Microcomputer Hand book）中曾指出：有OEM廠商問道，微電腦的價格／績效比值（price/performance）何時才會穩定下來（因該比值不斷地下降）；根據我們對1981年的展望，對此問題所能的回答是“時候未到”。〔16-bit的紀元〕

1975年的時候，微電腦業界的實驗室致力發展新一代的微處理機。這些高效能的16-bit微處理機與第二代8-bit的微處理機之比，正如同8-bit的微處理機與第一代微處理機之比。

第一個16-bit單晶片微處理機早在1974年由國家半導體公司（National Semiconductor）提供，名為Pace。Pace是Pchannel MOS，指令週期10微秒。除INTEL外，其他參加16-bit的初期競爭者尚有TI的9900和通用儀器（General Instruments）的CP1600等。

1978年時，INTEL推出了8086（或iAPX86），這一微處理機不論在效能、速度和特色方面，均遠超出七十年代中期的第二代微處理機。8086的主記憶位址是8080的16倍，輸出輸入埠是64K個，此外還包括高階語言的addressing，interruptable string manipulation及full decimal arithmetic，上述功能都在29000個電晶體中執行。但它的體積僅比8080大27%而已；8086之速度和密度能遠超8080，主要是靠HMOS的技術，這種技術是狄克·派斯雷（Dick Pashley）於1977年發展出來的。HMOS電路更緊密，使晶片體積更小，耗電更少，而速度加快。繼8086之後，又有Motorola的68000，Zilog的Z-8000，NCR的16000系列，及其他16-bit處理機問世。〔待解決的困難〕

“超大型積體電路（VLSI）”的時代已降臨，藉著它，我們一方面有機會在微處理機的技術上更精進，另一方面又有機會解決兩項基本問題。首先，微處理機製造廠商必須大幅提高他們的“產品發展計劃”的生產力；由於新裝置的複雜設計，迫使這些產品發展計劃

的成本大幅上揚。譬如說，早期的4004是由一個人花了九個月設計出來的，而INTEL的iAPX432 32-bit微型主機（micro mainframe）則耗費了100人一年的工程設計時間，CAD的技術現已大有進展，藉著它，使每個設計人員更有效率，進而有益成本的維持。這是一片有待更進一步開始的領域，但如果微處理機的製造廠商未能掌握這項進步，將會阻礙它技術進步的速率並影響到它的生存。

至於第二個問題，則是衆所皆知的“軟體壓迫（Software crunch）”，這是將微處理機納入產品中的設計人員所面臨的問題。由於微處理機應用方面的數量和複雜程度快速的增加，而發展這些這些應用方面所需的人力資源卻無法配合得上。因此，除非此一僵局能夠打開，否則微電子的成長將因程式設計人員的不足，而受到嚴重的阻滯。

〔發展第四代的微處理機〕

INTEL管理當局認為：七十年代的微處理機結構，在應用方面有其局限之處。因此它必須檢討當前微處理機的結構，以便發展出八十年代所需的更強而有力且與前不同的處理機。

1981年二月，INTEL發表了特殊系統部的研究成果——32-bit的iAPX432，此一微處理機可被稱為第四代微處理機的先驅。目的是為能有效的發展和解決需要將軟體次系統（Software sub-systems）作複雜平行運行（complex parallel interaction）的應用而設計的。

iAPX 432內有約20萬個電晶體，16 Mbytes的實位址空間和1 Trillion（ 10^{12} ）bytes的虛位址空間。如果將幾個這種處理機併在一起使用，每秒可執行二百萬個指令，堪與IBM370/158比美。

從最簡單的4004到iAPX 432前後歷經十載發展。微處理機一直進展神速，且其創新的速度正方興未艾，因此，我們可以預期下一個十年將一如前一個十年般的令人鼓舞和興奮。