

資訊漫談

首～二部曲合輯

目錄

網路下載版·序.....	3
資訊機器·序.....	4
第一講 資訊革命.....	6
第二講 真命天子.....	16
第三講 數字系統.....	19
第四講 數位精靈.....	22
第五講 君子不器.....	25
第六講 資科雙翼.....	28
第七講 百花齊放.....	31
第八講 君子協定.....	35
第九講 高山流水.....	40
附錄.....	44
微處理器·序.....	45
第一講、誕生.....	46
第二講、架構.....	56
第三講、競逐.....	61
第四講、爭鋒.....	69
第五講、權杖.....	75
第六講、後浪.....	83
附表.....	87

表 1 處理器大戰簡表.....	88
表 2 全球半導體業排名.....	89
表 3 精簡指令集與複雜指令集比較表.....	89
表 4 處理器存取資料的方式.....	90
表 5 微處理器性能評比.....	91
表 6 英特爾處理器演進.....	91

網路下載版·序

本套書定名為《資訊漫談》，共三部，主題分別涉及資訊機器、微處理器、操作系統，相關內容是平時與愛妻閒聊的資訊常識。愛妻雖非資訊專業，然隨同我在資訊業工作多年。對此類常識頗感受用，與我約定此套書可用做課幼啟蒙。

原規劃以三部曲組成，依序是九講、六講、九講，全部二十四講。每冊約三萬餘字，合共十萬字左右。九講者，以每講三千字為尺；六講者，以每講五千字為度。完成首、二部曲後，隨紅塵滾滾，此套書便告暫停。後因愛妻罹症，旋即過世，更難提筆為文。

憶及北京與愛妻食桃往事，《詩經·周南·桃夭》有言：「桃之夭夭，灼灼其華。之子于歸，宜其室家。」語之愛妻，笑靨如花。於今思之，正如唐朝詩人崔護〈題都城南莊〉所云：「去年今日此門中，人面桃花相映紅；人面不知何處去，桃花依舊笑春風。」勸諸君莫輕桃花，唐代志勤禪師因桃花悟道，有偈如後：「三十年來尋劍客，幾回落葉又抽枝；自從一見桃花後，直至如今更不疑。」

此套書若輕視不得，理應完稿。去夏審訂後，因公忙只能以此樣留存。讀者初閱此書，或以為是流水賬。實以歷史角度，間雜軼事，輔之人文視野，訓之散文筆法，當可做為國高中生之電腦概論的課後補充讀物。倘無資訊背景者，本書亦可供一哂。

大馬陳強勤兄，古道熱腸。雖未謀面，但曾透過網路與他合作，爾後訂交成為好友。余厚顏自薦此書，勤兄聞知，不以為怪，還多加協助。既知出版環境艱難，不好勉強他人蝕本。勤兄建議，製成數位版放在網上供人下載，亦不吝借一隅予我。

為求便捷，將首、二部曲併此合輯，成為網路下載版。提供 pdf 格式，保留書籤點擊便於閱讀。最後，再次謝謝馬來西亞的陳強勤先生，慨然相助，得有此輯面世。

陳海晏 2015·暮春 序於漱玉齋

資訊機器·序

想瞭解一個國家，可就地理位置、風土人情、語言民族等背景資料著手。想瞭解一個人，成長環境、學習過程、師長友朋，是極佳的資料搜集方向。那麼專業技術呢？有沒有一套可茲學習，放諸四海皆準的方法？

古時，工匠不受待見，於四民排行榜，略高商人一級。所謂技術，摒為奇技淫巧，係玩物喪志，為智者不取！十八世紀中葉，西人來到中國。那時中國，囿於閉關自守，苦於內亂勢微，無力外禦。西方列強藉此良機，憑著船堅砲利，強取硬攻地打開中國門戶。

中學難以為體的情形下，中國人急將西學取來應用，洋奴、買辦成為熱門行當。曾幾何時，以天下為己任的士大夫不見了。名利場上的勝利者，戴上知識份子桂冠，成為全民代言人。

身懷絕技的中國人，在往昔文化薰習下，明白「技不足炫」的古訓。小道末技不過是填飽肚皮的依憑，不足與天地、人生的大道並論。在人生路上，大道具備絕對指導的地位。學貫天地，不忘庶民者，受百姓敬重，有「作之君，作之師」的傳統。

時至今日，言大道者，空谷足音。談小道者，人數之多，書籍之豐，令人咋舌。繼之，無厘惡搞成文，堂皇出書，引人發噱。是該笑，不笑何以為道？古時，明師經典，足矣！科學時代降臨，引進西方政經、教育等制度後，明理老師變少，有名的老師卻多了起來。大道無處傳，這兒只賣知識。但吾生而有涯，如何盡各家知識？專業術語是座高牆，擋住初學者與非此學科出身的人。其中，以資訊科技為最。此技發軔西方，理論、實務，都要到西方，特別是美國才能習得。

電腦發展有無常識？能否讓普羅大眾讀來可親？可否減少，因專有名詞帶來的隔閡？可不可能讓大眾對這門重要科技，以常識角度做系統性瞭解？本書試以資訊科技上下三百年的發展為經，用人事地物當緯，歸而納之、統而繫之，讓讀者自行體會，進而瞭解此門學科，得登殿堂。

當然，想成為專業人員，必須深入細節，且擁有基本資訊知識。本書非資訊技術手冊，想透過電腦發展的諸多事物，擷取代表性的吉光片羽，顯現管窺之見。然而，具發展潛力的技術，絕非一時、一地、一人能畢其全功！一項影響深遠的發明，也很難歸於一人，與他人無關。大家不過都是，站在巨人肩膀戮力從事。然約定俗成，將開先河者，尊為「某某之父」，表彰其卓越貢獻。不過，電腦這臭丫頭，

確實也鬧出了花花江山。

因資訊技術勃興於西方，故紀年以西元為主。但相關人名、專有名詞等，則以書報刊物通用的漢譯為準，首次出現者，附原文供尋校。前若提及，後因襲之，不再贅註。不過，如 I B M、U N I X、L I N U X 稍有例外。此三者雖有漢譯，即國際商務機器、優力克、林力克。但其漢譯少有人用，亦不如原文廣為人曉。因此這三個名詞，採原文形式，請讀者們見諒。

因上世紀末，資訊科技席捲全球，令趨勢專家大為驚豔，譽為資訊時代。余恭逢其盛，學習、工作與此領域息息相關。究本溯源，上窮業師之見，中尋時賢大作，下究網路資源，但效野人獻曝之舉。因分資訊機器、微處理器、軟體系統三部，是名資訊漫談三部曲。

謹以這套資訊散文，獻給家父、家母、恩師江崇甫、連長趙玉明、忠定師父、真法師父與先室，還有那些無私給予我幫助的人。

陳海晏 2014 夏 序於漱玉齋

第一講 資訊革命

第三波¹一語出於美國社會思想家艾文·托佛勒²之著作。他於1980年出版的未來學三部曲，書名即是《第三波》。托佛勒先生未來學三部曲，十年為限出版。首部曲是1970年的《未來的衝擊》，其次為1980年的《第三波》，1990年的《大未來》作結。

他在書中預言未來世界，勾勒未來人類的文明、政經、社會等不同面貌。這位極具影響力的社會思想家，所開創的未來學，對學術界及社會思潮有著廣泛且深遠的影響。所謂的第三波革命是指，人類生產力經三個不同階段的大躍進，分別是農業革命、工業革命、資訊革命。

第一波的農業革命，人類使用工具、畜力，增進工作效率，使得衣食不虞匱乏，人們得以溫飽，進而結束了漁獵、游牧的生活，進入了農耕生活，時間差不多是七千年前。農業興盛下，產生了四大文明，分別是埃及、兩河、印度與中國。尼羅河之於埃及文明；幼發拉底河、底格里斯河之於兩河文明；恆河之於印度；黃河之於中國。這些古文明很明顯地，都與河流所孕育的農業生活息息相關。

十五世紀，長達千餘年由教會、貴族統治的黑暗時期結束。在義大利產生了文藝復興運動，後擴及全歐，影響層面遍及宗教、藝術、政治、社會、經濟。這時，人們發現物有其理，理展為數，計算得知。早先，不究其理，謂榮耀皆歸上帝，人毋須多加研究。後來，發現宗教對科學探究，似有無數桎梏。其中最著名的是，哥白尼向上帝挑戰的觀點：地球並不是宇宙的中心。他用「地動說」推翻千年以來的「天動說」，成為以科學挑戰宗教的先驅。這些觀察、實驗、分析，可異地重現的方法，埋下現代科學的種子。

後重商主義盛行，啟蒙運動帶來的知識勃興，令中產階級取代了貴族。而數學、物理、化學、醫藥帶動了工商發展，機器取代手工，替換了畜力。冶鐵、礦業、交通、紡織、耕作等，有了嶄新風貌。第二波由英國帶動的工業革命，令全歐實力大增，也衍生向外殖民的海上霸權帝國。

工業變革帶來社會轉變。這時歐洲，宗教褪色，封建不再，人口集中於城市，中產勢力擡頭。產能大增的工業，令歐洲各國搶佔市場、航道，意欲獨霸重要原物料。貿易摩擦，殖民地爭奪，諸國兵戎相向，造成兩次世界大戰。之後，雖有局部戰爭，但再要牽連幾十個國家，跨越數洲的大規模戰爭已不復見。就在這短短幾

¹ 第三波，The Third Wave。

² 艾文·托佛勒，Alvin Toffler。

十年的休養生息，產生了第三波的資訊革命。

第一波改造的社會，人們利用獸力來取代人力，增加產量、節省成本，如牛犁田、馬拉車。也製造工具來節省人力、時間，如斧、鋤、刀、飲水、糧食、土地、人口、牲畜是這個階段爭奪的重要資源。掌握陸權就能決勝負，江海多半是天然屏障。

而第二波的社會，則以機器取代獸力、人力，並精進工具的器力。這時，科技相形重要，而原物料、市場成為這一階段決勝關鍵。由於原物料、市場，多不屬本國，因此掌握海權者，才能成為名符其實的強國。

這時的科學，奠基於數學，故云「數學為科學之母」。由於數學有許多計算，由人擔任計算工作，往往容易出錯。因此，科學家們夢想有部計算機，來代替人類進行繁冗的計算。

初期龐大的計算量，來自對數表及三角表。對數表可令乘除、平方根的運算，變成簡單的加減。而三角表則用於探勘、測量、天文。到了海權興起及重商時代，海員用的航海表、保險員用的人壽保險表、建築師用的土木工程表，都是後來持續衍生的大量計算需求。

1645年，法國人巴斯卡¹，以齒輪轉動的方式，發明一部可進行加減法的計算機。當時的法王路易十四，大方地給了巴斯卡這項專利。電腦語言 Pascal，就是以巴斯卡先生來命名，以資紀念。

1694年，德國人萊布尼茲²在巴斯卡的基礎上做了改進，成為能夠加減乘除的機械計算機。這部機器係以機械結構，完成了人類在計算工具史上的第一個夢想：自動計算機。雖然，中國算盤有多種數系，但操作前，須記誦口訣，加強練習，使用難度較高。且這一工具的快慢與正確性，完全取決人。因此，在唯物的基礎上，算盤逐漸失去它在計算界的江湖地位。

而這部機械式計算機在1820年左右，經查理斯·湯瑪斯³改進機械效能，達到實用程度。同一款的機器於1898年也到了中國。當時革新派健將譚嗣同，漫遊至上海，於友人傅蘭雅處看到了這部機器。隨即將他的感受，寫信告訴老師歐陽中鵠。然而，譚嗣同的絕命慨歌，給人們印象太深了。大家多半只記得他慷慨就義的英雄形象，及改革未成身先死的悲劇。幾乎不知道，他曾代表中國革新派與電腦，有過的第一次接觸。

1822年，英國的查理斯·巴貝奇⁴製成一部專用的差分機⁵。這部機器在計算過程毋需人力介入，便可自動進行計算。那時，日不落國的大英國協，商業極其發達，如金融、保險都有大量的計算工作。而巴貝奇在參觀倫敦票據交換所後，對大量的資料處理工作極為醉心。他認為商業要強大，關鍵在於一部好的計算機器。

¹ 布萊斯·巴斯卡，Blaise Pascal。

² 萊布尼茲，Gottfried Wilhelm von Leibnitz。

³ 查理斯·湯姆斯，Charles Thomas。

⁴ 查理斯·巴貝奇，Charles Babbage。

⁵ 差分機，Difference engine。

於是，在差分機還未製造完成，他於1832年，又提出分析機¹的設計構想，並請求英國政府提供預算支援研發。他將程序控制的觀念引進，這部機器的構造已具備現代計算機的基礎。只是，當時的製造技術並不足以支持他的設計，加上經費嚴重超支等的因素，巴貝奇未能研製出他想要的計算機器。

爾後，經過了百餘年的等待。在這百年之中，科學家們對物質的深研，令化學、電學有飛躍的進步，奠定了二十世紀材料科學的基礎。工業革命大行其道的熱氣機械，被電氣機械取代。後來，電子又取代電氣機械，並以驚人的發展創造了矽晶世界。

美國承襲歐洲，特別是來自英國對新興事物的熱衷。由於美國是個新興的國家，少有歷史包袱。當她舉起現代化大纛，以該國龐大內需市場，支援當時計算機市場，其發展力道可以想見。

自1890年的全美人口普查起，電腦一直是政府用來管控的最佳工具。由各國政府、大企業引領的龐大商機，影響計算機工業百餘年。南北戰爭、西部開發、世界大戰，美國政府把握每個契機，讓自己蛻變。並隨時調整政策，展開雙臂廣納全球菁英，她終於走上國家現代化的坦途。因應這個龐大的需求，計算機、資料處理機、商務機器逐漸合流。美國所吸納全球的科研菁英，令其在理論、技術與實作上不斷地推陳出新。

赫曼·何樂里²很早就察覺，人口普查將帶來龐大商機。他提出整體解決方案，令統計人口的文書工作減少人力介入，使得結果正確又快速。後來，他的方案也獲得美國人口統計局採納。

在這個方案裏，他將個人資料以打孔方式，將資料記錄在紙帶或卡片上。所以，後來用在資料處理的打孔卡片，都稱做何樂里卡片³。何樂里先生因人口普查業務，所創辦的製表機器公司⁴，也名噪一時。但後來這家公司，卻陷入經營困境。

當時的併購大王，查理斯·弗林特⁵對何樂里表示，他對製表機器公司有興趣。何樂里正因身體不適，處於公私難全的地步，遂答應出售公司。1911年，弗林特將旗下一家位於紐澤西的國際計時公司，及另一家生產計算尺的量具公司，再與新併購的製表機器公司，三家公司合成一家，新公司名字叫做計算製表錄製公司⁶。誰也沒想到，這家以商務機器為主要業務的公司，後來會成為全球執電腦產業牛耳的巨人。

這家公司隨著電腦業加速成長，營收總額快速飆升，到了可與某些國家匹敵的地步。事實上，她的年營業額確實超過某些國家的國民生產毛額。因此，大家都

¹ 分析機，Analytical Engine。

² 赫曼·何樂里，Herman Hollerith。

³ 何樂里卡片，Hollerith card。

⁴ 製表機器公司，Tabulating Machine Company。

⁵ 查理斯·弗林特，Charles Ranleigh Flint。

⁶ 計算製表錄製公司，CTR, Computer Tabulating Recording Company。

叫她藍色巨人¹而不名。

1914年，弗林特為計算製表錄製公司找來新任主管，湯瑪斯·華生²。1924年，華生將計算製表錄製公司，改名為國際商務機器³，簡寫為IBM。這公司以打孔機、製表機為主力產品的公司，自此走上營運坦途，成為商務機器界的翹楚。後來，更成為資訊業界響噹噹的字號，成就霸業。以大象舞步，跳進二十一世紀。

之後，美國便藉著打孔機、製表機、打字機、檔案櫃等累積的經驗與資本，制訂規格，擴大營運規模，並向全球推銷這類產品。同樣的發展模式，讓美國在二次世戰後，掌握全球重要工業標準的話語權。

其實打字機之於電腦鍵盤，檔案櫃之於系統軟體的檔案管理員，都可看出電腦承襲商務機器的痕跡。而當時跨入資訊工業的公司，主要分為下列三大類：

第一類是以商務機器起家的公司，如雷明頓蘭德⁴、安迅⁵、寶羅斯加算機⁶及IBM等公司。

第二類是電子控制設備及國防工業的廠商，如奇異公司⁷、雷神⁸、漢偉⁹、惠普¹⁰等。他們以類比儀器、電儀控制設備、雷達、X光設備等設備發跡，後來類比機與數位機爭雄，廠商轉型，理所當然地進入資訊產業。

第三類是因應資訊時代而新創企業。不過，新創立的公司面對強大競爭，若沒有成功的產品，很快就遭淘汰或被併購。其中比較有名的是，以超級電腦聞名的康大¹¹、克雷¹²，還有以迷你電腦¹³起家的迪吉多¹⁴等。

後來，這些公司成了跨國集團，共同主宰電腦的發展與各項標準，不約而同地將產業規模擴大。其中，驍勇善戰的資訊王者IBM，連續犯了數個美麗錯誤，成了個人電腦¹⁵的推手，拱出了微特爾¹⁶陣營的兩大強權：微軟與英特爾，親手轟坍了原來由主機¹⁷廠商所佔領的城堡。

最後，讓我們一起回顧，二十世紀，開創第三波的關鍵年代。

¹ 藍色巨人，The Big Blue。

² 湯瑪斯·華生，Thomas Wason。

³ 國際商務機器，IBM,International Business Machine。

⁴ 雷明頓蘭德，Remington Rand。

⁵ 安迅，NCR,National Cash Register。

⁶ 寶羅斯加算機，Burroughs adding machine。

⁷ 奇異公司，又譯為通用電氣，GE,General Electric。

⁸ 雷神，Raytheon。

⁹ 漢偉，Honeywell。

¹⁰ 惠普，HP, Hewlett Packard。

¹¹ 康大，CDC,Control Data Corporation。

¹² 克雷，Cray。

¹³ 迷你電腦，mini computer。

¹⁴ 迪吉多，DEC, Digital Equipment Corporation。

¹⁵ 個人電腦，PC,Personal Computer。

¹⁶ 微特爾，WINTEL,WINDOWS and inTEL。

¹⁷ 主機，mainframe。

1937年，英國的涂林¹率先提出涂林機²的構想，進而奠定人工智能³的基礎，引領計算機未來五十年的發展。當電子技術逐漸成熟，計算機有了長足發展。因他對資訊界的卓越貢獻，以其名設立獎項，獎勵資訊界後進。

1937年到1942年間，愛荷華州立大學的約翰·阿塔那索夫⁴與柯利弗德·貝利⁵使用真空管⁶取代繼電器⁷。這部電腦叫做阿塔那索夫·貝利電腦⁸，縮寫剛好就是A B C。而1973年由美國法院裁定，由它取得世上第一部數位電腦⁹的頭銜。

1939年，艾肯¹⁰在IBM的資金與人力協助下，製造以繼電器為基本元件的計算機，稱為馬克一號¹¹。這部機器於1944年8月7日完成，其架構與百年前，英國人巴貝奇的設計相同。只不過，巴貝奇的基本元件是機械齒輪，後改用電機元件繼電器。

1943年，美國賓夕法尼亞大學摩爾電機學院的約翰·威廉·莫奇利¹²，與工程師約翰·普雷斯波·艾科特¹³合作，將原來使用繼電器的計算機，改用真空管，並於1946年建造完成，該機稱為電子數值積分計算機¹⁴。整個專案是由摩爾學院與彈道研究實驗室合作，代號P X的電子計算機建造計劃。後來，普林斯頓大學高等研究院研究員約翰·馮紐曼¹⁵，也加入這個計劃成為顧問，給予許多改進意見。

這些改進意見，後來衍生成計算機的設計架構，這一設計主宰計算機架構超過半世紀，它就是：內儲程式電腦¹⁶。

電子數值積分計算機還是採用巴貝奇所提出的架構，只是將元件更換成電子真空管而已。改用真空管，以電流傳導，比機械式運行速度更快。自從採用電子零件為基本元件，計算機正式進入電子時代，成為電子計算機¹⁷。

1946年，馮紐曼提出著名的電子計算機架構，這個架構的特點是：

1. 採用二進制數字做運算。
2. 依序執行指令。
3. 內儲概念，即程式與資料都儲存在電腦的記憶體內。

¹ 涂林，Alan Mathison Turing。

² 涂林機，Turing Machine。

³ 人工智能，AI, Artificial Intelligence。

⁴ 約翰·阿塔那索夫，John Atanasoff。

⁵ 柯利弗德·貝利，Clifford Berry。

⁶ 真空管，Vacuum Tube。

⁷ 繼電器，Relay。

⁸ 阿塔那索夫·貝利電腦，Atanasoff Berry Computer。

⁹ 數位電腦，digital computer。

¹⁰ 艾肯，Howard Hathaway Aiken。

¹¹ 馬克一號，Mark-1。

¹² 約翰·威廉·莫奇利，John William Mauchly。

¹³ 約翰·普雷斯波·艾科特，John Presper Eckert。

¹⁴ 電子數值積分計算機，ENIAC, Electrical Numerical Integrator And Calculator。

¹⁵ 約翰·馮紐曼，John Von Neuman。

¹⁶ 內儲程式電腦，stored program computer。

¹⁷ 電子計算機，Electronic computer。

4. 電腦分成五大部份，分別是控制單元、算術邏輯單元、記憶體、輸入、輸出。這個架構，被稱為馮紐曼架構。自它問世後，主導電腦科技的發展迄今，成為資訊界的不動明王。

1947年，莫奇利與艾科特也順利完成通用自動電腦¹，這部機器的運算速度大約是2.25Mhz，主元件是真空管，並搭配磁帶機取代打孔卡片。後來，安裝在美國人口統計局，做人口普查之用。

同年，美國貝爾實驗室發表電晶體²這個重要發明。它比真空管更小、更快，也更省電。因此，迅速取代真空管，成為不可或缺的電子元件。電晶體這把矽晶之火，燎起資訊時代的熊熊烈火。

1957年，美國科學家達默提出將電子設備放在一塊沒有引線的固體板塊上，依據電流的開與關，成為導體或非導體。這個想法，後來成為積體電路³的濫觴。

1958年，美國公司德州儀器⁴的工程師傑克·基爾比⁵製成第一塊積體電路板。

1959年，快捷半導體⁶兩位物理學家（其中一位是羅伯特·諾宜斯⁷），利用微縮照相技術，將電晶體放置在一起，稱做晶片。這個作法使得採用電晶體的產品，其體積更小，耗電更少。

快捷半導體堪稱半導體巨擘的搖籃，亦有矽谷半導體人才搖籃之稱。成立迄今，多次受到核心人才流失的打擊。其中最著名的是，八叛將⁸的故事。八大叛將都是快捷公司的核心幹部，後因理念不同，各奔東西。而由快捷幹將創立的英特爾⁹、超微¹⁰、國家半導體¹¹三家公司，在業界都是赫赫有名的。

八叛將的諾宜斯、高登·厄爾·摩爾¹²離開快捷後，創辦英特爾。查理斯·史波克¹³創辦國家半導體，擔任執行長。在2011年，國家半導體則賣給德州儀器。而超微則由傑瑞·桑德斯¹⁴創立，一直與英特爾纏鬥至今。桑德斯對晶圓廠，曾表達他的看法：「Morris, Real men own fabs.」

與桑德斯對話的人，是有「晶圓代工之父」美譽的張忠謀先生。張先生是德儀名將，在籌備臺積電時，曾徵詢舊識的看法。張先生除了向桑德斯請益，還有摩

¹ 通用自動電腦，UNIVAC, UNIVersal Automatic Computer。

² 電晶體，transistor。

³ 積體電路，IC, Integrated Circuit。

⁴ 德州儀器（德儀），TI, Texas Instruments。

⁵ 傑克·基爾比，Jack Kilby。

⁶ 快捷半導體，Fairchild Semiconductor。

⁷ 羅伯特·諾宜斯，Robert Noyce。

⁸ 八叛將，Traitorous Eight。

⁹ 英特爾，Intel。

¹⁰ 超微，AMD, Advanced Micro Devices。

¹¹ 國家半導體，NS, National Semiconductor。

¹² 高登·厄爾·摩爾，Gordon Earle Moore。

¹³ 查理斯·史波克，Charles E. Sporck。

¹⁴ 傑瑞·桑德斯，Jerry Sanders。

爾，及安德魯·史蒂芬·葛洛夫¹等人。據聞那時這幾位先進的綜合看法是，晶圓代工沒戲唱。

在處理器²這一產品線，德儀是老前輩。英特爾的處理器，隨著個人電腦產業興盛，終於殺出血路，超越德儀。處理器江山如此多嬌，引無數英雄競折腰。x 86 處理器霸主之位，爭奪異常激烈。超微、國家半導體、賽瑞仕³、全美達⁴等公司，與英特爾纏鬥不休。在超微併購全美達部份產品線，臺灣威盛電子併購賽瑞仕、國家半導體的處理器部門。x 86 的征途上，愈見寂寥。

1950 到 1960 這十年間，美國經濟快速成長，也將電腦推上黃金年代。電腦除了應用在人口統計、計票作業外，跨國企業的諸多行政工作，更是需要電腦協助。這些機構的電腦中心，成了電腦神聖不可侵犯的形象。防塵、寬敞有空調的房間，手推滿載磁帶推車的工作人員，是電腦業給人的刻板印象。

1964 年，IBM 公司以積體電路的技術，製造大型主機。大型主機市場獲政府、軍方支援，IBM 成功打開市場，並成為業界標準制訂者，使電子計算機成為顯學。此後，電子計算機朝兩個方向發展，一個是大型化，並朝科學化、軍事化發展。其中，以康大電腦、克雷電腦、IBM 為代表。另一個則是小型化，朝商用領域發展。以 IBM、迪吉多為代表。

IBM 成功地逐退了寶羅斯、康大等電腦製造商，站穩腳步。也因其年營業額，超過五家競爭對手總和，藍色巨人之名不逕而走。好事者將這五個競爭對手，暱稱為一伙。因這五家公司名稱，其首個英文字母合起來是 bunch。雖說五家一伙不敵藍巨一家，但這一伙亦為人熟知，他們是：寶羅斯、優利偉⁵、安迅、康大、漢偉。

電子計算機大量應用，人們知道，電子計算機功能不僅僅是計算而已。製程進步，加上電子技術演進，必要的電子元件，如電阻、電容等，能透過製程微縮成晶片⁶。測試無誤的晶片，成為下階段的零組件，能製造出更複雜的電子設備。

1971 年，美國英特爾公司推出，由泰德·霍夫⁷設計，第一顆四位元的中央處理器⁸。此時，微電腦還沒出線，電腦發展脈絡落在迷你電腦。迪吉多公司便是此間佼佼者。

1975 年，亨利·愛德華·羅伯茲⁹的微儀遙測系統¹⁰公司，生產天鷹座¹¹電腦。

¹ 安德魯·史蒂芬·葛洛夫，Andrew Stephen Grove

² 處理器，processor。

³ 賽瑞仕，Cyrix。

⁴ 全美達，Transmeta。

⁵ 優利偉，Univac。

⁶ 晶片，Chip。

⁷ 泰德·霍夫，Ted Hoff。

⁸ 中央處理器，CPU, Central Processing Unit。

⁹ 亨利·愛德華·羅伯茲，Henry Edward Roberts。

¹⁰ 微儀遙測系統，MITS, Micro Instrumentation and Telemetry System。

¹¹ 天鷹座，Atlair。

這部電腦採用英特爾 8 0 8 0 微處理器¹，還有 256 位元組的記憶體。推出以後，這部電腦很快就成為市場寵兒，羅伯茲也被尊為「微電腦²之父」。

這部電腦雖算不上大賣，但卻啟發了幾位在矽谷的年輕人。《大眾電子》雜誌刊登一篇文章，介紹天鷹座微電腦。比爾·蓋茲³與其總角之交保羅·艾倫⁴，主動接觸羅伯茲，表示要為這部電腦開發軟體，這套軟體就是培基語言⁵，也是微軟⁶的開山之作。1981年，培基也出現在磁碟操作系統⁷，即 BASICA 及 GW-BASIC。培基語言程式設計師，也是蓋茲先生念念不忘的頭銜之一。

1976年，美國人史蒂夫·賈伯斯⁸與史蒂夫·伍茲涅克⁹在車庫裏，依循天鷹座電腦的成功模式，拼裝出另一部微電腦，放在店鋪販售。這部採用摩斯科技公司¹⁰，編號 6 5 0 2 的八位元微處理器晶片，價格較天鷹座電腦更低廉。

伍茲涅克是個電腦遊戲迷，《101 Games in BASIC》這本書，是玩家們流傳的資訊聖經之一。他曾想過若有電腦，得把遊戲放入。他認為，電玩遊戲必能造成家用電腦的革命，而電玩遊戲之關鍵就在培基語言。電腦要好用受歡迎，必須使用高階語言，而這款語言只能是培基語言，而不是科博¹¹或福傳¹²。

由於該部電腦的硬、軟體規格公開，又擁有自己的培基語言，不但有許多現成小遊戲，也可以用培基語言來寫自己的電玩遊戲。因此引來全球玩家競相購買，這就是開啟微電腦風潮的蘋果二號¹³。

賈伯斯、伍茲，與隆納德·傑拉爾德·韋恩¹⁴三人，於1976年的4月1日，正式創辦蘋果電腦¹⁵。1977年1月3日，變更為股份有限公司，並將公司總部從賈伯斯家的車庫，遷到庫帕提諾¹⁶的辦公室。韋恩是小賈在雅達利¹⁷的同事，他完成了蘋果的第一代商標、第一份產品手冊，及最初的合夥協議。不過，因小賈接了大量訂單，韋恩曾有創業欠債的經驗，於是決定退股。他把持有百分之十的股份套現，由麥克·馬庫拉¹⁸接手。當然，就三十五年後來看，韋恩先生全拋蘋果

¹ 微處理器，Micro-processor。

² 微電腦，Micro-computer。

³ 比爾·蓋茲，Bill Gates。

⁴ 保羅·艾倫，Paul Allen。

⁵ 培基語言，BASIC, Beginner's All-purpose Symbolic Instruction Code。

⁶ 微軟，MS, Microsoft。

⁷ 磁碟操作系統，DOS, Disk Operating System。

⁸ 史蒂夫·賈伯斯，Steve Jobs。

⁹ 史蒂夫·伍茲涅克，Steve Wozniak。

¹⁰ 摩斯科技，MOS Technology。

¹¹ 科博，COBOL, Common Business Oriented Language。

¹² 福傳，FORTRAN, FORMula TRANslation。

¹³ 蘋果二號，Apple II。

¹⁴ 隆納德·傑拉爾德·韋恩，Ronald Gerald Wayne。

¹⁵ 蘋果電腦，Apple Inc.。

¹⁶ 庫帕提諾，Cupertino。

¹⁷ 雅達利，Atari。

¹⁸ 麥克·馬庫拉，Mike Markkula。

股票不是筆好買賣，但誰又能事先知道呢？

1979年，IBM為了因應微電腦的強大攻勢，在佛羅里達州的波卡拉頓¹成立個人電腦研究小組。被譽為IBM個人電腦之父的唐·艾斯瑞奇²，全力說服IBM高層，給予個人電腦小組自治權。為了打敗蘋果電腦，也為了全力以赴，在過往藍色巨人麾下，難得有此充滿活力的團隊。後來，他們也不負眾望，以盟主之姿，採開放架構，率領盟軍，打敗了蘋果電腦。

1987年，個人電腦銷售額，IBM市佔率近三成，而蘋果已跌至一成。到IBM個人電腦部門改掛聯想招牌，蘋果公司重領風騷，則是後話。

之後，計算機工業的長足發展，令它擁有如人的計算、記憶、邏輯判斷能力。人們希望再進一步，讓計算機具有思考、推理的能力。這部機器功能日漸強大，早已超越當時要求：計算工具。雖然她的能力還未超過人類，但人們相信這一天很快就會到來。因此，她的中文譯名不再叫做【計算機】，改稱【電腦】。與她相關的技術，則稱【資訊技術】。

這個階段的電腦，不須躲在冷氣房，體積也不再碩大無朋，令人害怕。她成了人人可親近，願與之玩樂的個人電腦。第三波資訊革命的口號，自此響徹雲霄。

電腦的世代劃分，係以其製造元件做標準。第一代電腦，是真空管電腦。第二代則是電晶體。第三代是積體電路，第四代則是以大型積體電路。

1981年，日本傾全國之力，挾機械工業、資訊製造的雄厚實力，擬在十年內，以超大型積體電路³為基礎，設計具備人工智能及自然語言⁴的電腦。由於基本元件有別第四代電腦，又具備人工智能，故稱為第五代電腦⁵。到了九〇年代，日本因種種問題，宣佈放棄這個計劃。

1981年的8月12日，IBM推出十六位元的個人電腦，一舉攻下個人電腦江山，奠定個人電腦標準，也造就微特爾帝國。一王一后各自領軍，在個人電腦領域，戰無不勝，攻無不克。成為個人電腦硬軟體規格的制定者。

直到蘋果公司以i系列旋風再起，谷歌⁶公司推出使用安謀⁷處理器的安卓⁸系統，才成為終結微特爾帝國的新盟主。

回顧1976年勃興的個人電腦浪潮，進而衝擊原有中大型主機廠商。被視為玩具的個人電腦，因其架構開放，軟硬體價格便宜，取得容易，使用者眾，前

¹ 波卡拉頓，Boca Raton。

² 唐·艾斯瑞奇，Don Estridge

³ 超大型積體電路，VLSI, Very Large Scale Integration。

⁴ 自然語言，Natural Language。

⁵ 第五代電腦，The fifth generation computer。

⁶ 谷歌，Google。

⁷ 安謀，ARM。

⁸ 安卓，Android。

景看好。

資訊機器在處理速度、儲存容量、執行不中斷等評比，遠勝人類。雖然電腦基本元件，就矽晶誕生以來，未有革命性改變。但它不斷地在既有架構上，降低價格、加快速度、增加功能。

在大部份人，以資訊技術來追求財富的同時，仍有人始終不忘第三波的革命理念。那個擬人，具有辨識、判斷、記憶、計算、思考能力的第三波精靈。

第二講 真命天子

進入資訊時代，數位¹一詞震天價響。其實，剛開始的計算機械，數系是人類慣用的十進位。現實生活中，最早拿來記錄的機器，也是類比²方式。而我們的感官、神經，職司接收、反應訊息，也是前級與後級比較，連續不斷的類比方式。那麼，為什麼資訊革命後，人們選擇與自己截然不同的數位系統？為何由它來取代人類之前的工具？他真的是真命天子嗎？真的是人類終極的發明？或許，我們該嘗試用另一種方式來理解數位與類比。

所謂的類比訊息，表示訊息傳來不間斷；也就是說，在黑與白之間，還有許多灰色地帶，可供細分。如果一個問題無法用數學方式來證明、推算，那麼人們會設計與實際情形相符，按等比例縮小的環境，用機器來模擬真實環境，這就是類比機。類比機的成功之處，在於這個接近實務的擬真，而且是完全專屬於這個範圍。換個課題，機器就必須重新設計。

那麼數位呢？對一切事物，它都黑白分明，不容許有灰色地帶，總要分出個所以然來。黑與白，善與惡，有與無，大與小，高與低，零與壹，極明確的兩個數值。數位機才不管三七二十一，對它而言，數值、資料、程式、信號，全部都是0與1。正是：「不思善，不思惡，零與壹才是本來面目。」

現實生活唾手可得的訊息，如聲音、光線、色彩，都是類比訊號。這些對象明確，適合科學議題的鑽研。因此，為了解決這些問題，那時人們發明的機器，也多是類比機。如收音機、電視機、喇叭、電話。

那為什麼後來是數位機器一統江山呢？答案是：工業革命所帶動機械、電機、電子，一脈相承的科學發展軌跡！

剛開始的計算機，採用機械齒輪推動，齒輪一齒一格，推一進一，清楚明白，絲毫沒有模糊地帶。當時構想，是利用機械來打造一部計算能力強大的機器。雖然，機械元件體積大，速度慢。但數學家的力量在此時注入，這條科研路持續走了百年之久。

後來，物理長足的發展，電學、半導體、電子邏輯線路，將原本速度慢，又佔空間的機械設備，簡化成電子線路。而數學上，又適時提出如二進位、離散數學³、布林代數⁴等適合數位機的數學理論。

¹ 數位，digital。

² 類比，analog。

³ 離散數字，Discrete Mathematics。

⁴ 布林代數，Boolean algebra。

工業革命以後，人們承襲機械，電機到電子，最終擁有電子計算機。一圓當初的夢想：快速、正確的計算機器。當然，用數字的角度來看，數學家會這麼告訴我們：數位是整數系，一個一個，清楚明白；類比則是實數系，無限延伸。

因為類比與數位所具備的概念與限制，人們很快就做出了決定。即便這個決定，不是一人一時的乾綱獨斷：數位機。

數位機本身具備可切分的單元，限制在已知範圍，不會無盡發散，而難以掌握。加上它皆用數字表示，這種機器具備通用性，不像類比機有專屬性。當然，應用於數位系統的數學理論適時出現，及材料科學的進步，數位機最後擊敗類比機，成了第三波世界的主力。

有人說，中國的算盤才是計算機的老祖宗。在計算機的功勞簿上，還得記中國人一筆。的確，中國算盤出現很早，也是人類發明計算工具的其中之一。算盤很厲害，它具備混合數系，有五進位，也有二進位。再巧妙地利用二、五進位，構成十進位，又能做加減乘除的四則運算，確實合乎當時人們的需求。後來也有中國人以此構想，展開新處理器的設計，謂之算盤基因。

這些都對，理由也很充分。不同在於，算盤動力來自人，與計算機的動力來自煤、油、光、電是不同的。這是自動化與否的差別。而另一項操作性差別，更具決定性。

同一道題，同一個人，用同一個算盤，其結果未必每次一樣，所需時間也不盡相同。但計算機則不同了，它不分辨，沒有巧拙生熟的問題。同一道題目，同一部機器，由不同的人按鍵起動計算，得到結果、所需時間是相同的。

機器確實呆板，不知變通。但正因如此，人們才能予以度量，並預估所耗用的資源。

但現實生活中的訊息都是類比態，我們卻選擇了數位機。這該怎麼辦？很簡單，轉換！即數位、類比訊息可互轉即可，這就是數位類比轉換¹。在這套機制運作下，數位訊號可以轉成類比訊息，而類比訊號也很容易轉成數位訊息。

不是才說這二種訊號截然不同嗎？怎能輕易互轉呢？在轉換過程，是否又要用到艱深、繁雜的數學運算，才能做到？不然，關鍵就在於精密度取捨。如一般工業用的大型機器，與機器錶相較，雖同採齒輪轉動機制，但其精密度差異甚大。也就是說，工業機齒輪的一格，在手工錶裏，可能就要分成五十格，甚至更多。當然，我們也可以不斷地細分下去，直到製造技術的極致。

如果「至大無外，至小無內」的哲思，可暫不考慮，數位系統在實務上，就能透過精密程度來模擬類比系統。精密度愈高，就愈接近真實。當然，精密度愈高，所記錄的資料量也就愈大。

再者，電腦上模擬實數運算的浮點運算器²，它有著複雜的浮點運算、科學記

¹ 數位類比轉換，AD/DA, Analog to Digital/Digital to Analog。

² 浮點運算器，FPU, Floating Point Unit。

號、較長位數，所以能計算精密數值。其實，我們可將浮點運算器想成：「計算到小數點後第 N 位，之後四捨五入即可。」當然，電腦的精密度係視需求而定。

電腦的精密度，一般可到小數點後 128 位。所謂奈米¹，指的是公制度量單位以一公尺來度量，奈米指 10 億分之 1 公尺，即 10^{-9} 公尺。所以，精密度愈小，誤差愈小，製造成本自然也就愈高。

有了這一機制，所有訊息都能化為數位儲存、顯示及運算，而早先的數位理論仍然適用。在個人電腦發展迅速的情形下，帶動 3 C² 產業。美國率先制定數位產品的規格，挾其龐大市場，帶動數位發展。而歐洲很快也發現這個趨勢，緊跟美國步伐。惟有日本在類比系統投資龐大，且效益顯著，故予以堅守。可是，「類比不死，只是逐漸凋零」，日本漸漸走上了不歸路。

日本政府早先參與類比電視的規格制定，傾全國之力發展類比系統，在各方面取得相當優異的成績，特別是白色家電。當時，物美價廉的日製產品風靡全球，攻佔全球市場。或許太成功了，令日本遲未棄守類比系統。即便是新的電子產品，也是數位、類比並重。如相機、攝影機、錄放影機、音響等。

到了九〇年代，日本政府發現數位系統快速成長，是難以撼動的主流。早先電子產業，尚可分成通訊、消費、資訊等產品。至此，壁壘再難分明。各大板塊逐漸靠攏，真正地合為 3 C 產業。日本政府面對這一趨勢，決定放棄在類比的深耕與優勢，改類比為數位。這一政策，受到業界大力支持。宛如武士軍團的日本產業，一夕間全部轉向。

一葉知秋矣！在東京秋葉原區的電子商舖，影響最為明顯。新款的電子產品幾乎都是數位型，只有在不起眼的角落，才偶有類比產品蹤影。合歐美日三大強權之力，類比與數位的王位爭奪戰，塵埃落定。數位機登基掌權，確立自己在新世紀屹立不搖的地位。

¹ 奈米，nanometer。

² 3C 即電腦、通訊、消費性電子，Computer, Communication, Consumer。

第三講 數字系統

早期計算機，採用的運算數系是人們慣用的十進位系統。一直到了繼電器時代，二進位數系才成為主流。當時在數學上，已有許多可資利用的理論與公式。而這些理論與公式，即便是二進位做四則運算，其結果與十進位完全相同。

十進位用 0~9 記之，滿十進位。二進位者，用 0~1 表示，滿二才能進位。十六進位則是，0~F，超過 9，借英文字母 A~F 來表示，這個數系是滿十六才進位。

那為什麼人用十進位？計算機要用二進位呢？

人用十進位的原因是，人的雙手有十根指頭。也就是說，數滿了就要換級再計。當然，也可以用腳趾頭，或另一個人的手指頭，但這畢竟不方便。滿十為記的動作，我們稱作「進位」。不過，計算機的指頭在那裏呢？沒錯！電壓高低就是計算機的指頭。

電壓位準的低與高，就是零與壹的狀態。二進位用在計算機，再自然不過了。承襲繼電器、真空管而來的電晶體，是現代電子計算機的基本元件。

雖然，電晶體可分成許多不同用途的邏輯閘¹，而邏輯閘的狀態就是記錄電壓高低。單個邏輯閘的狀態是有限的排列組合，結果稱為真值表²。布林代數、離散數學便是此為基礎，是計算機領域極為重要的數學。換句話說，硬體結構與內部運算數系是一致的；不過，人們不太習慣二進位；當然，計算機也不怎麼習慣十進位。

那麼數字系統除了用來計算，還有什麼功能呢？其實不論是二進位、十進位，任一數系都具備三個主要功能。它們是：

1. 計數
2. 次序
3. 運算

遠古時期看，老祖宗們多以漁獵維生。有時收獲頗豐，為了記錄成果，可能在洞穴牆上畫上一隻魚，一隻鳥，一個果子。數量愈多，要畫的東西就愈多。

但畫圖不是件容易的事，不但得有好工具，還得有美感，可是會畫的人不一定常常待在洞裏等。漸漸地，圖形不見了，換成另一個大家比較容易書的象徵符號。這麼一來，不但可以用來代替魚獸果，更毋須等待那個畫得極好的人回來。最重要的是，這個象徵式符號，可方便地記錄魚獸果等諸多不同類型的物品。

後來，我們就稱呼它為「可計數的字」，即數字。在中國寫成「一二三、壹貳參」，

¹ 邏輯閘，logic gate。

² 真值表，truth-false table。

在羅馬則記做「Ⅰ Ⅱ Ⅲ」，用來代表物品的數量。數量在人的心裏，也留下大小、多少的概略印象。

數著，數著，人們發現數字，有次序的意涵。譬如，先有一，才有二；一在二前。有了順序，就有大小、先後之別，人智至此又向前飛躍了一大步。然而，無論是中國數字或羅馬數字，計數、順序尚能應付。用做運算，結果不直觀，書寫也不方便。

我們現在使用的阿拉伯數字，是印度人在西元第三世紀發明的。波斯帝國征服印度，傳入阿拉伯。大食帝國崛起，該數字系統又從阿拉伯傳到西班牙。歐洲人以為是阿拉伯人發明的，故稱「阿拉伯數字」。雖然，現已正名「印度·阿拉伯數字」，但大多數人仍慣稱阿拉伯數字。

西元825年，一位波斯數學家的數學著作，書中便採用阿拉伯數字。西元1120年，這本書才有拉丁文譯本，令阿拉伯數字在全歐大為流行，起了取代羅馬數字的作用。不過，一直要到十五世紀後，阿拉伯數字的寫法才確定下來，與我們今日所見相同。

阿拉伯數字，由0~9十個符號組成。不但取代原先計數、順序的功用，更因排列整齊，方便大量、繁複的運算。工業革命後，歐洲國力大增，阿拉伯數字廣為全球使用，成為全球的共通數字系統。

早先其他數系都有一個表示10的符號，但卻沒有0。印度人對零很感興趣，發明了零，用0~9來表示。加上0能夠明確標出位數不同的差異，如：205與250。這使得人們在進行乘除運算時，更為簡單，且容易檢查、不易出錯。數學迅速發展，奠定現代科學的基礎。

當然，人們沒有忘記，數字最早的用途：計數。這個用途，到了計算機年代，更能發揮。二進位數系，不但與邏輯閘相合，也與布林代數之真偽表示吻合。這是英國科學家喬治·布爾¹，將人類思維化為數學邏輯運算的研究成果。他發展一套符號來描述邏輯處理，並決定邏輯的真偽。

後來，麻省理工學院的克勞德·夏隆²在碩士論文中，引入布爾的研究成果。夏隆定義計算機的基本單位：位元³，並證明與布林代數運算結果相同的電路是可行的。這些開關，或稱為邏輯閘，時至今日，仍是計算機的基礎。

人們用二進位這套數系一以貫之，成為計算機的運算、編碼核心。電腦用位元來表示文數字，及模擬人類已知事物的數位世界。因此，從機器指令，英文內碼系統如美國資訊標準交換碼⁴、擴展二與十進制交換碼⁵，再到漢字內碼，無一不是計數象徵的代表作。

¹ 喬治·布爾，George Boole。

² 克勞德·夏隆，Claude Shannon。

³ 位元，bit。

⁴ 美國資訊標準交換碼，ASCII, American Standard Code for Information Interchange。

⁵ 擴展二與十進制交換碼，EBCDIC, Extended Binary Coded Decimal Interchange Code

而以數字編碼的內碼，就是用數字來代表字碼。同時，也可以利用數字系統順序的特性，當成比較基準。例如：A 在 B 前，z 在 y 後，1 比 2 小。朱邦復先生的倉頡檢索系統，深得箇中三昧。其六大功能，排名第一，便是字序。「日月金木水火土...」，就是倉頡字母的順序。

在此之前，漢字系統以部首分類，而順序則採用筆畫。部首勉強可說是直觀，但筆畫就很頭疼。要一眼看出筆畫而不出錯，這種機率實在不大。因此，直到有了倉頡系統，才真正解決漢字字序的問題。

不過，用二進位來表示數字時，還是會碰到位數太長不夠直觀，及正負號難以分辨的情形。正負號者可靠符號位元來區分，而位數太長只好採用另一個數系：十六進制。十六進位採 0~9，A~F 來表示，2 的 4 次方為 16。故二進位每四位一組，很容易換成十六進位，結果亦便於人們書寫與記憶。

二進位、八進位、十六進位都有一簡易方法可進行互換。雖然計算機採用二進位，其基因也隱含十六進位與八進位。只有在與十進位進行互換時，轉換手續稍多。不過，因為有了二進位與十進位的互換方式，數學家基於十進位系統推衍的公式，毋須重新推求。仍可以用計算機，快速地求得正確解答。

上述的數字系統，是計算機運算基礎。也是這套二進位數系，納須彌於芥子，令萬物盡入數中矣！

第四講 數位精靈

初學電腦者，苦其系統複雜，還有那些層出不窮的新名詞，往往望之興嘆。會有這樣的情形，首先是因這門學科太新，許多技術還在發展。其次是，試誤法¹的觀念，令這一領域的拓荒風格猶存。

一般對硬軟體的判斷標準是，看得見是硬體²，看不見是軟體³。所以，鍵盤、螢幕、主機是硬體。磁碟操作系統、微軟視窗系統⁴、瀏覽器⁵，看不見、摸不著，但人可透過軟體來操作硬體。至於韌體⁶指的是，將軟體放入硬體，提升執行效率，如基本輸入輸出系統⁷就是。這些名詞解釋，看來明白，真要理解起來，又有點不明白。不如，這麼聯想吧！

人的器官 軀幹屬於硬體，思想、意識則是軟體，韌體是熟練後的潛意識行為，如：彈琴、打字、背誦。原本，這些行為要靠中樞神經協調，屬有意識行為。經不斷練習，形成肢體、肌肉的記憶。當神經、肌肉、肢體熟悉相關動作，便可交由潛意識接管，如同反射動作。這種把人的軟體行為，放在硬體器官，以潛意識運作得到極高效率者，就是韌體。

電腦硬體，主要分兩大類。一類主溝通，另一類為處理。

溝通設備，負責外界與電腦之訊息互通有無。訊息由外部傳進電腦，是輸入設備；由電腦輸出至外界的，則是輸出設備。輸入設備常見有鍵盤、滑鼠；輸出則是螢幕、列表機。當然也有兼具輸入、輸出的特性，如：磁碟。

主司處理的是電腦硬體的關鍵元件，叫做中央處理器，在微電腦則稱為微處理器。它是由算術邏輯單元⁸、記憶單元⁹、控制單元¹⁰所組成，算術邏輯單元，負責計算、邏輯判斷的工作。控制單元，內含許多控制線路，並負責為微處理器傳遞內外訊息。

¹ 試誤法，trial and error。

² 硬體，hardware。

³ 軟體，software。

⁴ 微軟視窗系統，Microsoft Windows System。

⁵ 瀏覽器，browser。

⁶ 韌體，firmware。

⁷ 基本輸入輸出系統，BIOS, Basic Input Output System。

⁸ 算術邏輯單元，ALU, Arithmetical Logic Unit。

⁹ 記憶單元，MU, Memory Unit。

¹⁰ 控制單元，CU, Control Unit。

記憶單元則比較多樣化。以微處理器角度，更是內外有別。在微處理器內部的有，暫存器¹、快取記憶體²。在微處理器外部則有唯讀記憶體³、隨存記憶體⁴、快閃記憶體⁵。

六○年代的電腦，其結構單純，功能多半用來做計算。再早之前的機器，程式師甚至只靠插線、開關、燈號，與之溝通。爾後電腦與時俱進，功能日益增加，結構也更加複雜，需求也愈來愈多。電腦擺脫手工焊接的模式，而進入生產線量產階段。這時的電腦，速度愈來愈快，操作人員若單靠開關切換與插線，恐怕趕不上電腦速度，漸漸地有了新的要求。

操作人員發現，開機、載入等，這些經常要做的事程序固定，但手續繁瑣。那時要啟動系統，起碼要操作數百個開關。若有程式能夠做這些事，便能減輕人們許多負擔，他們只要下決定即可。這些小程式多半在電腦系統外部，改動機率不大。多半在需要時，才會由操作人員載入。這就是公用程式⁶的概念。

公用程式的確幫了操作人員不少忙。它們的功能，可能是由紙帶載入資料，讀取卡片的資料，甚至只是檢查磁帶校準與否。功能雖單一化，但節省操作人員的許多時間。這些位於電腦系統外部的程式，由於功能多與電腦系統相關，所以稱為系統程式⁷。

漸漸地，程式的種類與數量愈來愈來，操作人員也愈來愈難以勝任。於是，真的很需要一位管家。操作人員希望有個管家來協助他們，負責統籌管理電腦相關的操作，這個與操作人員息息相關的小管家，就是後來的操作系統⁸。在電腦的世界裏，微處理器、操作系統位居硬軟體的核心，這也是個人電腦王國的兩大要塞。君不見，微特爾帝國一王一后，便是緊握這關鍵核心。

後來，個人電腦帶來裝機熱潮，讓微軟與英特爾雄踞寶座三十年，造就兩家跨國企業。能有這樣的成果，是因個人電腦需求旺盛，兩家公司又緊握核心，並訂立軟硬體規格。這些關鍵因素，令兩家公司登頂成功，並數度擊退強敵，成為全球五十強的常客。

在迷你級以上的電腦，各家向來不公開軟硬體規格。由於價格昂貴，銷售廠商，少有分工合作的模式。多半是一家廠商整合成功，從硬體、操作系統、系統程式、應用軟體⁹，甚至是教育訓練。總之，包山包海，無所不能。箇中翹楚，如 I B

¹ 暫存器，register。

² 快取記憶體，cache memory。

³ 唯讀記憶體，ROM,Read Only Memory。

⁴ 隨存記憶體，RAM,Random Access Memory。

⁵ 快閃記憶體，flash memory。

⁶ 公用程式，utility。

⁷ 系統程式，system program。

⁸ 操作系統，OS,Operating System。

⁹ 應用軟體，application。

M、惠普¹⁰等公司者是。

誰也沒想到，個人電腦市場成長如此之快。宛如中世紀的蒙古鐵蹄，大剌剌地攻進中大型電腦廠商所建構的城堡。這些才稱霸不久的資訊堡主，還沒弄清楚情況，就面臨城堡保衛戰。有些人，甚至對個人電腦的攻勢掉以輕心，大加嘲弄或嗤之以鼻。不到二十年，這些前朝霸主、諸侯，抵受不住個人電腦如螞蟻雄兵般流水式攻擊，一一地交出權杖，俯首稱臣。

此情此景，正如羅馬帝國的崩解。誰也沒有想到，這些財大勢雄，規模可匹敵國家城邦的跨國企業，竟被小矮個兒騎短腿馬擊潰。待發現敵人兵臨城下，根據地早被個人電腦廠商層層圍住。大勢已去，難挽狂瀾於既倒的情況下，結束他們的黃金時代。

個人電腦靠著規格公開，軟體相容，吸引全球玩家競相投入，打造歷三十年的黃金王朝。聖殿之子的電腦，大腳一跨，走進凡間，走進辦公室，走進家庭，走進每個人的生活，成了二十世紀的數位精靈。

¹⁰ 惠普，HP, Hewlett Packard。

第五講 君子不器

百萬年前的原始叢林裏，哺乳靈長類族群為了爭地盤，發生了一場激烈的打鬥。戰敗方無法再與勝者爭鋒，被迫放逐，離開熟悉叢林，在莽莽原野中面對不可知的未來。

輸家之氣力遠不如同類，更何況還要避虎豹隼鷹，活下去就是個困難。因為，沒有熟悉環境庇佑，立時得面對來自天上、地下的威脅。這一族群不得不仰頭遠望，呼喝自保。希望看得遠，聽得清，才不致亡種滅族，傳衍本族基因。

沒有樹林，他們不得不自立己身，並使用前肢。急迫間在地上拾得的石塊、樹枝，成了防身的武器。漸漸地，他們發現不同木石，有不同用途。藉由靈長哺乳類代代相傳的天性，他們將各類東西的用途傳承下來，存活並繁衍。

幾經進化，由舊石器到新石器，從青銅器到鐵器。一代代累積的知識，經量變、質變，帶領人類文明不斷向前。人類學家透過工具，來象徵不同時期的人種，並且分辨這些人種不同時期的風貌。

在人類的眾多工具，沒有一個像電腦這般，擁有如此多變面容。割草機，只拿來割草。鍋子也許用處多一點，但總不離承裝物品的範疇。人們也接受工具只能這樣，具備單獨用途，或幾種不同用途。

早先電腦發展，將功能設定在計算。那時的計算機，比諸後來在八〇年代，人手一部的掌上計算器，功能未必強過多少。但人們終能用工具，取代算盤、心算，日以繼夜地重複計算，並減少因計算錯誤而衍生的諸多困擾。

很快地，計算的目標達成，人們對它的要求也多了。初期還未超過設想，侷限在文數字範圍。爾後，它具備幫人們管理資料、傳送資訊、列印報表、謄打報告的能力。數位化浪潮下，人們生活逐漸被它改變。玩遊戲、看電視、文書處理、影印傳真。它的影響力確實增加，但還沒有到無孔不入的地步。

終究，憑藉實力，讓人們以「電腦」為她的新名，擺脫純屬計算工具的刻板印象。這也包含人們對她諸多期望，甚至透過哺乳類代代相傳的方式，把學問、知識、經驗，傳授給這個萌芽的矽族。對她未來潛力，更多時候，人們是用科幻電影來馳騁所想。

然而，現實生活中，隨著商務、旅遊的頻繁移動，人們於各地往來次數激增。出門在外，隨身用品的要求就嚴苛了。輕薄短小，指得是工具的外形；對其應有功能，可不許廠商打折扣。稱心如意的好工具，怎可以只有單一功能？

這個隨身的貼心伙伴，她可以協助人們用不同的語言交流，有便捷的資料傳輸功能。她是善於提醒的秘書，也是殺時間的玩伴。這些層出不窮的需求，造就了一系列的隨身產品，並漸向數位系統靠攏。

剛開始，有隨身聽音樂、隨手打電話想法的人，常遭旁人白眼，斥為癡人說夢。後來，夢想逐漸成真，這些先行者在各領域奪得戰果，令其產品成為世界知名品牌。例如，新力、奔邁¹、快譯通、任天堂、諾基亞、易立信、摩托羅拉。白日夢成為常識，不過費去十年光陰。拜製造技術的飛躍進步，這些產品不但很快就達到輕薄短小的水準，更成為人們競相爭購的產品。

可惜的是，這些產品不如電腦用途多樣化，彷彿還有道鴻溝沒法跨。個人電腦仰賴整合、相容，及散佈全球的軟體開發商而崛起。軟體蓬勃發展，電腦功能日趨完備。這些隨身產品，標準不同。尤其，資料各異，無法做到與個人電腦無縫轉換。

時至今日，人們憑藉電腦對文數字的龐大處理能力，將過往累積的資料、文件，全都交給電腦。也就是說，電腦靠著試算表軟體，化身成財務高手，為我們計算收支，列成財務報表。不一會兒，又透過文書處理軟體，讓我們謄打報告、製作簡報。以往，這是資訊工具的用途，也是從計算工具蛻變出的第一個角色，這是第一個C。應用範圍大多在實驗室、工廠、辦公室。

後來，電腦處理圖形、語音能力大增。換成排版軟體，便能出版印書。改成影音軟體，則能聽音樂、看電影。電玩遊戲呢？那更是輕而易舉。這原屬消費性電子產品的市場，熟知的有電視機、電子音響、錄放影機、電視遊樂器。而製造商，也提供了軟體程式，將設備與電腦聯繫。這是第二個C，消費性電子產品常以多媒體的角色出現，供人們在家中或隨身使用。

在數位工具的發展初期，為了善用已有的類比工具，須讓訊號在二者之間輕易轉換。那時的通訊設備多半是類比系統，兩部遠端電腦若要透過電信線路交換資料，可先將數位資訊轉成類比，透過現有通訊系統傳至遠端。接收端將接收訊號還原成數位資訊即可。這是第三個C，通訊設備。

後來，這個因通訊暴增的需求，變成美國九〇年代傾全國之力的高科技重點項目，國家資訊基礎建設²，或稱數位資訊高速公路。顧名思義，在這條傳輸線路係用數位訊息進行快速傳遞，正好適用於第一個C，電腦她所產生的訊息。

後來，類比、數位的轉換技術愈加成熟，同時電腦端的軟體、硬體也有長足的發展，數字、文字、聲音、圖形、影像等資訊，全都化為數位訊息的基本信號：零與壹，且可儲存、還原、複製。第二個C，消費性電子產品，所應用的訊息，也透過有線、無線等線路，整合進入資訊高速公路。

通訊設備對一般人來說，彷彿只是電話與手機。除此之外，它還擁有許多貴重的設備，是三個C中，典型的幕後英雄。通訊設備樂於與各方配合，透過有線、

¹ 奔邁，PALM，手持式設備廠商。

² 國家資訊基礎建設，NII, National Information Infrastructure。

無線的方式，忠實地傳送訊息，成為民生必要的信息工業，受到政府、軍隊的重視。最後它更成為新媒體，把廣播、電視整合進來。人們透過電話來通訊，天涯彷彿咫尺；廣播、電視，更令通訊在日常生活，具備無以倫比的影響力。

此時，工具間的界線已然模糊。新勝出的強者，必擅長輕薄短小的製造，又能嚴控良率。再憑藉其高超的整合能力，提供價廉物美投產服務，取得更多訂單。而市售產品必是操作簡單化，功能多樣化。

這正是兩千年多前，老夫子對學生的要求：君子不器。

第六講 資科雙翼

計算機正名為電腦後，資訊成為電腦科技代稱。如資訊科技人¹被戲稱為挨踢人；學院科系則更名為，資訊工程、資訊科學、資訊管理等。其中資訊工程屬工，資訊管理屬商，二者涇渭分明。資料結構²與演算法³是資訊學科兩大支柱，並稱資科雙翼。資訊科學是理論派，乘著雙翼，在資訊天地盡情翱翔。

電腦不愧是易經的衣鉢傳人。運算系統承襲易經而來，連其雙翼都與易經大有關係。易經探討陰陽能量的變動。陰主靜，陽主動，一動一靜，變化無窮。資料結構闡明資料的表示方式，因其方式既有，性質屬靜。演算法依使用工具特性，針對問題推演方法，問題層出不窮，使用工具不一，故性質屬動。電腦領域便隨這動靜力量，漸次推開。

電腦初興，並無專職寫程式者。發明人通常也兼程式員及操作者。那時，對程式也沒有很明確的概念。所謂的演算法，多停留在數學運算程序。

1813年，英人巴貝奇推出理論嶄新的專用計算機器。後來，他在這個基礎上不斷改進，提出了許多創新概念，這對百年後的計算機發展有諸多啟發。可惜，當時工業技術未能支持他的先進觀念，加上經費等因素，輝煌暫時劃下句點。一直要到百年之後，矽晶出現。

然而，在1833年，巴貝奇遇到一位年輕優秀的女孩。這麼多年了，只有她才真正地理解巴貝奇的想法，以及計算機器的運作原理。這一老一少，自此成為亦師亦友的合作伙伴。那一年，女孩妙齡十八，芳名艾達。

不過，這女孩雖年輕，但來頭可不小。她的全名是奧格絲妲·艾達·拜倫⁴，也是後來的樂芙蕾斯女爵⁵，父親是鼎鼎大名的英國浪漫詩人拜倫。父母離異後，艾達交由母親撫養。由於母親是當時著名的數學家，家學淵源加上天份使然，艾達自小便對數學產生濃厚興趣，醉心數學研究。

艾達對巴貝奇的計算機器感到好奇，她特別為巴貝奇的計算機器編寫使用手冊，並開始撰寫程式。程式用來計算白努利數字⁶，這組數字通常應用在數字理論及微積分。這位人稱「數學新娘」的詩人女兒，怎麼也沒想到，她後來會成為電腦領域的女王。

¹ 資訊技術，IT, Information Technology。

² 資料結構，Data Structure。

³ 演算法，Algorithm。

⁴ 奧格絲妲·艾達·拜倫，Augusta Ada Byron。

⁵ 樂芙蕾斯女爵，Lady Lovelace。

⁶ 白努利數字，Bernoulli numbers。

她，是第一位程式設計師，也是第一位撰寫技術手冊的人。後來，一群程式師為了紀念她，將1979年發展出來的一套電腦程式語言，用她的名字來命名。

早先，資料結構未受電腦專家的青睞。由於演算法係描述解決問題的程序，並提供完成步驟的紙上驗證。它允許用不同的程式語言，在不同地方，讓不同的人，以不同的電腦，演算後仍得到相同答案。這個特色極具科學色彩，很快地與數學、物理結合，配合電腦強大的計算能力，替人們解決了好些難題。因而初期投注發展演算法的人極多，很自然地，數學家們成為第一批的電腦專家。

在一九六〇年到一九八〇年這二十年間，電腦專家們提出的演算法，易懂且執行效能佳。當這些難關一一被專家們攻克，真可謂電腦演算法的黃金時代。電腦開始普及，程式語言多了起來，演算法被驗證的次數也愈來愈多。因而當某些演算法，在空間、時間上失去優勢，就漸漸消失在實作領域。

由於提出演算法，與實際寫程式，往往不是同一人。為了有效溝通，也為了便於轉換與統一，用來有效表述演算法的工具，不斷湧出。後來多數人採用虛擬碼¹，當這套工具確定後，仍不斷改進，成為我們今日熟知模樣。廣為人知的演算法，除了搜尋²、排序³，還有個個擊破法⁴、貪進法⁵、消去搜尋法⁶、暴力法⁷等。

在時間、空間極其有限的資訊年代，若演算法在佔用資源表現優越，即執行速度快、所須空間小，那麼你將獲得名望。當然前提是，求出正確答案，而不只是鬥快減省。因此，找到一個正確有效，且廣為人使用的演算法，是資訊人渴望的獎賞。

後來，電腦科學家們發現，只談演算法是不夠的。演算法集中處理數理問題，運算所需的資料結構都較單純，如整數、實數、字元等。若要處理漸趨複雜的資料，資料結構必須加以擴展才行。

擴展後的資料結構，須在演算法描述其交互關係與存取策略，結果使演算法更顯複雜。若將這些新的資料結構重新定義，使它們成為已知、標準的資料結構，那麼演算法將變得更加簡潔。於是，有許多資料結構被確定下來。如：陣列⁸、串列⁹、堆疊¹⁰、佇列¹¹、樹狀結構¹²、圖形結構¹³等。

也就是說，資料結構應先定義，該定義主要描述資料元素的結構，及彼此的關係。當元素之間的關係產生作用時，不可避免地會有資料轉移、存取的因應策略。

¹ 虛擬碼，pseudo code。

² 搜尋，search。

³ 排序，sort。

⁴ 個個擊破法，divide and conquer method。

⁵ 貪進法，greedy method。

⁶ 消去搜尋法，Prune and Search。

⁷ 暴力法，又稱窮舉法，Brute Force。

⁸ 陣列，array。

⁹ 串列，linked list。

¹⁰ 堆疊，stack。

¹¹ 佇列，queue。

¹² 樹狀結構，tree。

¹³ 圖形結構，graph。

而描述演算法的工具，如虛擬碼，也很適合拿來描述這些內蘊於資料結構的存取策略。

換句話說，資料結構定義後，便有了內含的演算法。這些內含的演算法，因資料結構的特性而有所不同。沿用資料結構，好處是共通性強，甚至已有現成的操作、演算策略。當然，你也可以配合自己的需求，自訂資料結構，如應用在棋弈領域的遊戲樹¹。也可選擇研究題目，如中文字形、語音合成，視覺辨識等，自行定義所需要的資料結構。

的確，配合擴展後的資料結構，演算法的發展空間更加寬廣，功能也日益增強。譬如，遞迴法²、動態規劃法³、樹狀搜尋走訪法⁴、分支設限法⁵、回溯搜尋法⁶等，都是有了資料結構，才令此類演算法簡潔可行。二者相輔相成，帶動電腦科學的成長與進步。

稍有不同的是，資料結構是先演算法而存在。它是靜，是陰，以不變應萬變；內蘊無盡能量，等待演算法將之釋放。演算法是動，是陽，以善動而攻堅之。它用靈活的策略，對外界加以探索，並將探索得來的資料，與既有之資料結構比對，最後得到判斷的佐證。

然而，這動靜、陰陽是極為活潑，隨時可以轉換的。譬如，若既有資料結構不存在，可以透過學習或回饋的系統，動態地建立資料結構。這種說法像極了中國人的禪說，也難怪西方人，特別是一些大師級的程式師，在撰寫程式到達某一境地，都會不由自主地喜歡上禪。他們的代表作，往往也在書名前加上某某之禪。而已獲選進入資訊科技名人堂，IBM System/360 之父，佛瑞德瑞克·菲利普斯·布魯克斯⁷在軟體工程的大作《人月神話》⁸，更是極力推崇資料結構對軟體工程⁹的重要性。

七〇年末期，電腦領域開始分家，不再獨尊硬體。終於，軟體不再受硬體束縛，披荊斬棘，闖出一片天。全世界熱衷於數位夢想的人們，乘著資料雙翼，一同飛往這個新的國度。

¹ 遊戲樹，game tree。

² 遞迴法，recursive method。

³ 動態規劃法，dynamic Programming。

⁴ 樹狀搜尋走訪法，tree searching and traversal method。

⁵ 分支設限法，branch and bound。

⁶ 回溯搜尋法，backtracking and searching。

⁷ 佛瑞德瑞克·菲利普斯·布魯克斯，Frederick Phillips Brooks。

⁸ 人月神話，The Mythical Man-Month: Essays on Software Engineering。

⁹ 軟體工程，Software Engineering。

第七講 百花齊放

從機械齒輪到真空管，從真空管到電晶體，從電晶體到積體電路，電腦的體積愈來愈小，功能愈來愈強。早年市場規模不大，電腦使用者多半是政府機關、跨國企業等大型組織。受限製作技術水準，整部電腦欲小不易，研發動機也不夠強烈，因此電腦以中大型主機為面貌。即便有了迷你電腦為號召，也只是略增數位世紀入場券的數量。大部份的人，對電腦還是緣慳一面。直到蘋果二號的出現...

蘋果電腦以硬體架構公開，吸引全球軟體設計者的投入。這部微電腦，後來個人電腦的濫觴，本來只是工程師之間口耳相傳的玩具，沒想到受到大眾歡迎，掀起了全球學習電腦的熱潮。

在大型主機的年代，硬體、軟體、輸入輸出設備、耗材，全部都只能向同一家廠商購買。使用者急著資訊化，廠商則大賺其錢。廠商給什麼，使用者就用什麼，軟體不過是陪襯。由於硬體耗材及後續服務利潤驚人，廠商甚至是買硬體送軟體。

個人電腦的崛起，令軟體需求大增。在中大型主機累積的技術，到了個人電腦更是照樣複製，一項也沒少。命令介面¹、行編輯器²、檔案系統³、資料庫管理系統⁴、批次處理⁵、報表程式⁶等。慣用於中大型電腦的軟體，也一一在個人電腦世界裏現身。不過，不像主機的操作系統定於一尊，個人電腦的操作系統有諸多版本，孰優孰劣兀自爭論不休。

蘋果電腦如平地一聲雷的出現，是資訊界第一次百花齊放。這得從蘋果員工工號第4的比爾·法蘭德茲⁷講起。法蘭德茲是伍茲涅克的老鄰居，某次，伍茲涅克、法蘭德茲與賈伯斯，在桑尼威爾⁸的艾蒙頓大街⁹相遇，比爾介紹兩位同名的史蒂夫相識。伍茲涅克是個電腦迷，帶著賈伯斯、法蘭德茲到處參加同好聚會。

兩個同名的史蒂夫，命運也有些相似。他們同從大學退學，一起創辦蘋果公司。一工一商，甚得美國人喜愛。後來，小賈迷上東方宗教與素食主義，到印度旅行參禪，尋訪佛陀的道路。

1972年，小賈在雅達利公司找到設計電視遊樂器的工作，重拾與小伍的友誼。小伍在惠普工作，閒暇之餘，自行組裝微電腦，拿到俱樂部炫耀並想販售。

¹ 命令介面，command interface。

² 行編輯器，line editor。

³ 檔案系統，file system。

⁴ 資料庫管理系統，DBMS, Data Base Management System。

⁵ 批次處理，BP, Batch Processing。

⁶ 報表程式，report program。

⁷ 比爾·法蘭德茲，Bill Ferrandez。

⁸ 桑尼威爾，Sunnyvale。

⁹ 艾蒙頓大街，Edmonton Street。

當地的位元組舖¹，對此產品頗感興趣，下了第一筆訂單給蘋果。小賈遊說小伍裝配，並命名為蘋果一號。1977年，蘋果二號誕生了。

原本手工裝配的生產線，產量跟不上訂單。蘋果需要新資金，進行量產。小賈透過雅達利的創辦人，諾蘭·布希尼爾²找到創投公司³。創投為他們寫企劃書，取得銀行貸款，於1980年公開上市。短短兩年，蘋果電腦公司成為美國家喻戶曉的公司。蘋果電腦也成為微電腦的代名詞，蘋果就等於微電腦，微電腦就是蘋果。

許多軟體工程師加入蘋果電腦陣營，各種軟體可謂百花怒放。而以蘋果電腦相容為訴求的機種，也在全球熱賣。蘋果電腦發動法律大戰，對全球仿冒蘋果電腦的廠商提出法律訴訟。當時，在臺灣有許多廠商，就是以蘋果二號規格起步。如宏基的小教授、無敵的XT-80、神通的小神通。後來，蘋果電腦推出新款電腦麗莎⁴，意欲取代蘋果二號。不過麗莎未能接續蘋果二號的風潮，以失敗告終。

但接續而來的麥金塔⁵，以外型新穎、操作簡單，受消費者青睞。這時，蘋果電腦因蘋果二號遭仿冒，關閉了開放架構的大門。硬體製造以蘋果電腦為主，少數廠商做特許授權。而全球體開發商，必須付費取得蘋果電腦授權，才能開發相容於蘋果電腦的軟體。

正在此時，IBM要挑戰微電腦的王座。就過往歷史，藍色巨人有多次因傲慢，將事情搞砸的不良紀錄。例如，1958年，看輕一項新的影印技術。後來這項技術衍生了一間公司，公司名也成為傳真影印代名詞：全錄⁶。

六○年代晚期，迪吉多開始發展迷你電腦。IBM認為迷你電腦太小，無法負荷大量運算，此項業務對IBM並不重要。等IBM驚覺迷你電腦已成氣候，已是一個十億美元以上的市場。

七○年代末期，微電腦風行。IBM認為中文系統花費鉅、市場小，不值得投資。後來，這項技術衍生零壹、倚天、國喬、華康、文鼎、方正等中文資訊軟體廠商。

當然微電腦硬體初期也是。經評估，IBM決定大舉進入，並重定位其為個人電腦。正巧，蘋果電腦在此時與全球軟硬體廠商為敵。IBM趁勢宣佈個人電腦將採開放架構，歡迎全球廠商加入個人電腦聯盟。

1981年，IBM選了兩家規模遠不如她的廠商，將其產品組合成個人電腦向全球發售。原佔據戰略高點的蘋果電腦，不但未將IBM仰攻當一回事，反而發生內部鬥爭。小賈遭新任總裁約翰·史考利⁷解除所有職務，只保留創辦人稱號。之後，蘋果電腦營運一直走下坡，直到蘋果併購小賈的下一波⁸電腦公司，鳳還

¹ 位元組舖，Byte Shop。

² 諾蘭·布希尼爾，Nolan Bushnell。

³ 創投公司，又譯風險投資，VC, Venture Capital。

⁴ 麗莎，Lisa。

⁵ 麥金塔，Macintosh。

⁶ 全錄，Xerox。

⁷ 約翰·史考利，John Sculley。

⁸ 下一波，NeXT。

巢的小賈，領銜演出浴火鳳凰的傳奇。

針對競爭對手，蘋果已多次上演法律大戰的戲碼。最著名有兩次，第一次是微電腦，第二次是行動設備。微電腦那次，在小賈推出麥金塔而告暫停。行動設備是役，小賈力斥製造硬體的三星，提供安卓系統的谷歌。蘋果先打敗宏達電，並想告倒三星。這種局面，直到繼任者提姆·庫克¹，才有所緩和。

1985年的九月，賈伯斯賣掉蘋果公司股票，離開蘋果，創辦下一波電腦公司。隨即，買下喬治·盧卡斯²的動畫部門，改組後重命名為皮克斯³。而這家知名的動畫公司也於2006年，風光嫁入迪士尼⁴。

就這樣，個人電腦的權杖由蘋果電腦轉到IBM手上。嚴格來說，也不能說是IBM，應該說是英特爾與微軟。由於個人電腦強調架構公開，軟體自由發展。初期肥了硬體廠商英特爾，後來則是操作系統的微軟。之後，兩家公司聯手壟斷了個人電腦市場迄今。

不過，硬體架構的底定，確實有助軟體發展。在軟硬架構開放的x86平臺，軟體真可謂百花齊放。全螢幕編輯器⁵取代行編輯器，之後更完全取代硬體的文書處理⁶機。以此為主力產品的王安電腦，陷入營運困境，爾後下市。這家由華人創辦的電腦公司，盛衰之間，令人唏噓。接下來，所見即所得⁷的幕前排版系統，更令文書處理具備新風貌。

早先在事務機器稱雄的年代，檔案索引系統、簿記帳務、打字機是熱銷商品。王安電腦的衰敗，給微軟很好的切入點，她隨即將火力瞄準這個市場。只不過微軟將原來硬體設備的功能，改用軟體來實現。

微軟將文書處理、試算表、資料庫、簡報軟體整合成辦公室的套裝軟體⁸，稱做微軟辦公室整合軟體⁹。挾著系統平臺¹⁰的優勢，加上定位清楚、用法一致、資料互通，成為繼微軟視窗操作系統後，另一個熱賣的軟體。

後來，網際網路¹¹盛行，瀏覽器¹²、電郵收發、即時通訊¹³等大行其道，微軟將之整合進視窗系統。而幫人們殺時間的影片、廣播、音樂、圖片、電玩等，微軟以自製或外購，全數整合進系統平臺。

¹ 提姆·庫克，Timothy D. Cook。

² 喬治·盧卡斯，全譯為小喬治·沃爾頓·盧卡斯，George Walton Lucas Jr。

³ 皮克斯，Pixar。

⁴ 迪士尼，全稱為華特·迪士尼公司，The Walt Disney Company。

⁵ 全螢幕編輯器，Full Screen Editor。

⁶ 文書處理，WP, Word Processing。

⁷ 所見即所得，WYSWYG, What You See What You Get。

⁸ 套裝軟體，package。

⁹ 微軟辦公室整合軟體，MS-office。

¹⁰ 系統平臺，system platform。

¹¹ 網際網路，internet。

¹² 瀏覽器，browser。

¹³ 即時通訊，IM, Instant Messaging。

自此，微軟視窗系統所佔空間愈來愈大，要求的硬體配備愈來愈高，軟體臭蟲也愈來愈多。由於系統平臺內，什麼軟體都有，造成缺口掛一漏萬，加上諸多別有用心的設計，為人詬病之處更多。

或許，微軟出發點想讓使用者得到方便，自己也能得利。後來，發現這是推入自己，擠出對手的狠招。在百花齊放的軟體舞臺，各方勢力在檯面下角力不斷。

微軟憑著系統優勢，以使用者權益為名，有效地打擊許多在各領域領先的對手。這些沒有系統當金鐘罩的軟體開發商，抵受不住微軟的明槍暗箭，一一敗下陣來。最後結局，不外是被併購，或破產而銷聲匿跡。比爾·蓋茨¹隨著微軟股票價格上揚，成為全球首富。

軟體未來究竟該堅持自由開放？還是統一標準呢？這個統一標準，是否會變成獨家特權，或壟斷競爭呢？這一爭論勢必持續至二十一世紀。不若讓我們看看，一個稱職的數位百寶箱，應該具備什麼軟體。相信這才是軟體在百花齊放後，人們去蕪存菁應有的反思。

1. 一般計算：數系轉換，度量衡單位、匯率的轉換，工程計算。
2. 文書處理：含排版、文件謄打、記事等。
3. 資料庫：聯絡通訊庫、文史資料庫，及各種商用資料庫。
4. 商務需求：議程安排、萬年曆、簡報、財會報表等。
5. 多媒體：圖片、影像、音樂、視訊、電郵，及網路信息處理。
6. 安全保密：加密／解密，壓縮／解壓縮，防毒／掃毒。
7. 傳輸通訊：無線、有線網路傳輸，輸入、輸出設備信號處理，電信通訊。
8. 系統平台：操作系統，系統程式，備份與還原。

上述八大類軟體，涵蓋數位機器的基本應用。其模式不外乎在系統平臺，基於安全保密考量，進行有關計算、文數字、資料、影音等處理，再透過有線無線的模式，對外傳輸，對內接收的通訊。

於是，人們把過程區分成輸入、處理、輸出三階段。在這過程長出的花花草草，或輔助，或因實驗而得的軟體，交織成一幅炫目的軟體百花圖。

¹ 比爾·蓋茨，Bill Gates。

第八講 君子協定

西方近代創舉，常以哥倫布發現新大陸為喻。當年發現這塊新大陸，靠得是哥倫布的冒險精神，及航海技術的進步。

但只有冒險精神，往往呈現暴虎馮河式的蠻勇。西方知識普及，首推德國人古騰堡的印刷術。知識普及後，才有技術的進步。如貝爾發明有線電話，馬可尼發明無線電傳輸。

九〇年代，全球資訊網¹的發明與普及，是各行各業馳騁的新大陸。它結合印刷、排版等媒體，及有線、無線通訊的傳輸技術，創建了新時代。資訊時代，人們有如當年的哥倫布，透過瀏覽器，在網海裏探索。微軟與網景²兩家公司，不約而同地為他們的瀏覽器程式，取名為網路探險家³、航海家⁴。

西方自文藝復興思潮後，科學發展突飛猛進。掌握航海術的國家，也掌控了原料市場及國貿通路，海上霸權便是雄邦強國的代名詞。接續而來的工業革命，又以機器生產取代人力。量產後，更須原料及銷售市場的挹注。質優設備、豐沛資源，及船堅砲利，成了強權俱樂部不可或缺の入場券，因為這是稱霸的真正憑藉。

兩次世界大戰後，美國以地大物博，及因避戰禍而滯美的人才與資金，一躍成為資本主義新霸主。美國挾其在商業金融、高科技發展，及專利保護等政策，維繫了美國利益。更因資金、人才，加上許多科技發軔美國，且大多須至美國申請專利，使得個人電腦相關的軟硬體專利技術，都被美國掌握。

在後個人電腦時代⁵，美國政府投入大量資金，擘建資訊高速公路，極力拓展數位頻寬，發展互聯網技術。美國將數位內容⁶定位為新媒體，又將文字、聲音、影像大量數位化，置於網路供人傳載。由於具備多種媒體，故稱多媒體平臺⁷。

舉凡書、音樂、影片，成為電子商務⁸的第一波功臣。美國亦藉著網路技術的蓬勃發展，從日本手中奪回世界經濟霸主的地位，進入經濟擴張時期。

在歐洲量子研究中心高能物理實驗室⁹任職的提姆西·約翰·柏納李¹⁰，利用空

¹ 全球資訊網，WWW,3W,World Wide Web。

² 網景，Netscape。

³ 網路探險家，IE,Internet Explorer。

⁴ 航海家，Navigator。

⁵ 後個人電腦時代，Post-PC era。

⁶ 數位內容，digital content。

⁷ 多媒體平臺，mutimedia platform。

⁸ 電子商務，EC, Electronic Commerce。

⁹ 歐洲量子研究中心高能物理實驗室，CERN High-Energy Physic Laboratory

¹⁰ 提姆西·約翰·柏納李，又譯提姆·柏納李，Timothy John Berners-Lee

閒寫了類似搜尋引擎¹的查詢程式²。在 Norsk Data Syntran-III 操作系統，他用巴斯卡程式語言³來開發，將歐洲量子研究中心的機器、人員、設備視為節點，用程式鏈結起來，便於瀏覽與搜尋。這套查詢方式人人稱便，該中心希望他能改用主從式架構⁴，整合現有電腦網路，提供一個多媒體查詢環境。

佛華·布希⁵曾是羅斯福、杜魯門總統任內的科學研發局戰時指揮官。他於 1945 年，在《大西洋月刊》⁶發表一篇名為〈我們可以這麼想〉⁷的文章，文中提到超記憶⁸的裝置，這個裝置很像今天的筆記型電腦或掌上型電子設備。他也鼓吹建立知識庫，並將知識以超文件的方式組成，這有如今日的超鏈結⁹。

這些概念，啟發了科學家。他們不斷地進行各種實驗，而這些理論、概念與實驗的結果，由柏納李集其大成。同時，他也吸收了泰德·尼爾森¹⁰的仙那度¹¹計劃中的超文本¹²概念，加上他自己所寫的程式，還有歐洲量子研究中心提供的硬體設備，將之一一整合，建造了全球資訊網的第一個網站。

在柏納李的研究計劃裏，全球資訊網整合不同的網路系統，成為一個多媒體查詢環境。這個環境的查詢及顯示標準，則是超文本標記語言¹³。全球資訊網的通訊協定¹⁴，採用傳輸控制協定／網際網路協定¹⁵，成功地構築這個虛擬又迷人的世界。

人們看到全球資訊網蘊藏的龐大利益，多想據為己有或佔地為王。柏納李關注的是，如何才能令全球資訊網成為共享資源。他像個專業的使用者，定義明確的資訊規格，並確保這份規格書不會變成個人私產，且能主動、公開地分享給全世界需要的人。而這份規格書，就是全球資訊網不可或缺，超文本標記語言的雛型。

在普及過程中，少不得是等待黎明的孤寂。柏納李必須自行開發程式，解決技術問題，來證實可行性。同時，也要讓人們相信這是公開、共享的規格，屆時沒有專利侵擾的法律訴訟。當吸引眾人開發相關軟體後，商業化與權謀則會浮現，各方勢力進駐角力。他不能介入，須保持中立，只為了維繫全球資訊網的獨立與完整。

柏納李從未自詡是【全球資訊網之父】。他秉持「我為人人、人人為我」的精神，

¹ 搜尋引擎，search engine。

² 查詢程式，enquire。

³ 巴斯卡程式語言，Pascal program language。

⁴ 主從式架構，Client-Server。

⁵ 佛華·布希，Vannevar Bush。

⁶ 大西洋月刊，Atlantic Monthly。

⁷ 我們可以這麼想，As We May Think。

⁸ 超記憶，memex。

⁹ 超鏈結，hyperlink。

¹⁰ 泰德·尼爾森，Ted Nelson。

¹¹ 仙那度，Xanadu。

¹² 超文本，hypertext。

¹³ 超文本標記語言，HTML, Hyper Text Markup Language。

¹⁴ 協定，protocol。

¹⁵ 傳輸控制協定／網際網路協定，TCP/IP, Transmission Control Protocol/Internet Protocol。

為所當為，對全球資訊網不把持，不自恃。也因為他對全球資訊網，沒有刻意去做什麼，更顯現出他對全球資訊網的卓越貢獻。

柏納李希望創造一個環境，大家相互尊重，齊心協力完成個人無法完成之事，全球資訊網只是第一步。他希望人與人能和諧互動，個體與群體達至均衡。他說服歐洲量子研究中心的高層主管，於1991年，將全球資訊網授權方式由一般公眾授權¹改為一般公眾範疇²。這份具遠見的授權方式，終讓全球資訊網開花結果。

全球資訊網的由來，可溯至六○年代末。那時正當冷戰³時期，美、蘇二強對抗持續升高。美國國防部鑑於部內各電腦系統並不相容，內部要傳達信息已有難度。加上美國幅員遼闊，不同機構若要傳遞信息，更是百上加斤。一旦爆發戰爭，通訊系統必為敵方重點打擊對象，若彼此失聯，後果不堪設想。

於是，美國國防部要求國防通訊局⁴提出解決方案⁵。正巧，國防部下轄的高等研究計畫署⁶有一個這樣的資助研究計劃。

這個計劃叫做高等研究計畫署網路⁷，目的是讓不同廠牌的電腦系統，可進行資訊傳遞。方式是透過制定統一的通訊協定，不論有線、無線，或是不同電腦系統，均須以這個協定收發訊息。

在八○年代末，已存在許多通訊協定。如：網路新聞傳輸協定⁸、檔案傳輸協定⁹、終端模擬程式¹⁰。後來，又發展出與網際網路相關的重要協定。如超文本傳輸協定¹¹、傳輸控制協定¹²，網際網路協定¹³；還有與電子郵件相關的協定，如電子郵局協定第三版¹⁴、簡單電郵傳送協定¹⁵等。

1980年開始，美國國防部將轉換電腦通訊系統，全數採用傳輸控制協定／網際網路協定。在這個轉換計劃中，將網路拆成兩部份；供軍事專用的網路，改稱為軍事網¹⁶。另一個供學術單位研究使用的網路，則沿用舊計劃之名。雖然，兩個網路傳遞路徑並不相同，卻可相互連結，達成美國國防部的要求。

柏納李發展的超文本傳輸協定，配合全球資訊網的發展，於1992年受到全球用戶的熱情擁抱。美國麻省理工學院的電腦科學實驗室，在1993年，也

¹ 一般公眾授權，GPL,General Public License。

² 一般公眾範疇，GPD,General Public Domain。

³ 冷戰，Cold war。

⁴ 國防通訊局，Defense Communication Agency。

⁵ 解決方案，solution。

⁶ 高等研究計畫署，ARPA,Advanced Research Projects Agency。

⁷ 高等研究計畫署網路，APRA NET。

⁸ 網路新聞傳輸協定，NNTP,Network News Transfer Protocol。

⁹ 檔案傳輸協定，FTP,Files Transfer Protocol。

¹⁰ 終端模擬程式，Telnet。

¹¹ 超文本傳輸協定，HTTP,Hyper Text Transfer Protocol。

¹² 傳輸控制協定，TCP,Transmission Control Protocol。

¹³ 網際網路協定，IP,Internet Protocol。

¹⁴ 電子郵局協定第三版，POP3,Post Office Protocol version 3。

¹⁵ 簡單電郵傳送協定，SMTP,Simple Mail Transfer Protocol。

¹⁶ 軍事網，MILINET。

邀請柏納李加入他們。

後來，他們共同成立全球資訊網協會¹。美國國防部的高等研究計畫署，則撥款贊助全球資訊網協會以示支持。從這裏更可看到，美國對全球資訊網的廣泛影響。

高等研究計畫署網路於1968年開始試行。先將猶他大學、史丹佛研究院，加州大學洛杉磯分校，加州大學聖塔芭芭拉分校，四校的電腦中心鏈結，並於1970年成功地運行。雖然起初電子郵件並不是高等研究計畫署網路的發展重點，但不可否認的，它也成為網路的推動力量。

以電子郵件為例，當時三大廠商是IBM、迪吉多、王安。他們從八〇年代就開始銷售，但電子郵件產品只能在公司內部使用，且彼此並不相容。廠商安裝電子郵件，並規定發送電子郵件前，必須獲得書面批准。若要越級發送，必須將副本抄送給相關主管及業管人。這些管制措施，直到九〇年代，才開始鬆綁。

網際網路、電子郵件，漸成為商業行為的重要部份。官僚組織在商業行為分秒必爭的要求下，逐漸隱身幕後。初期，高等研究計畫署網路用戶的域名，共分成五大類。它們是，屬軍事的mil、非政府組織的org、政府機關的gov、教育單位edu、網路技術net。不過，要一直等到達康²大軍揮師進入，全球資訊網才成為今日我們熟知的模樣。

1995年，七大工業國³在布魯塞爾召開的會議，正式將網際網路這個科技議題列入討論，令網際網路更為人所知。爾後，網際網路的各項通訊協定，便交由瀏覽器來整合。早先由美國國防部支援的網際網路，也改由美國商務部接手。

美國總統比爾·柯林頓⁴於1993年全面推動國家資訊基建計劃，網際網路的軍系色彩便被商業外衣包入內核。這個軍事計劃漸漸被人遺忘，後來的電子商務，更成為九〇年代經濟火車頭。

這個計劃一如郵遞服務、電話服務、廣播服務、電視服務，強調不分城鄉地域，不分男女老幼，都可透過簡易、方便的方式上網。更重要的是，這是個沒有時間限制，與全球接駁的虛擬世界。

網際網路受到全球人們熱情的擁抱，美國股市的那斯達克⁵指數，與網際網路相關的公司，股價大幅飆升。選股標準改用本夢比，夢有多大，股價就有多高。

愈來愈多的網站成立，全球網站數量多得嚇人。可是每個網站，還是按既有協定，以網頁超連結引領使用者悠遊網海、交換資訊。博雅君子只要入得網中，便再也無法獨善其身了。不管全球那個地方，這張大網都能捕到你。

¹ 全球資訊網協會，W3C, World Wide Web Consortium。

² 達康，.com, dot commerce。

³ 七大工業國組織，G7, Group of Seven。他們是法、美、英、德、日、義、加。1997年加入俄羅斯，改稱G8。

⁴ 比爾·柯林頓，Bill Clinton。

⁵ 那斯達克，NASDAQ, National Association of Securities Dealers Automated Quotation。

雖然科技泡沫在千禧年爆破，但網際網路並沒有離我們而去。日常生活愈趨數位化、虛擬化。雅虎¹、亞馬遜²、電子海灣³、谷歌，是人們耳熟能詳的網路創業神話。這個虛擬的網路世界，是靠許多謙謙君子建構起來的。他們不慕名利，以文而能傳、信而能達的理念，按彼此的協議、約定，終有所成。

¹ 雅虎，Yahoo。

² 亞馬遜，Amazon。

³ 電子海灣，eBay。

第九講 高山流水

自機械問世以來，人類與他所創造的工具，其關係時緊而鬆。到了資訊時代，則更為緊張。有時希望電腦能代替人處理瑣事。卻又怕她學會了，反過來取代人、欺負人，甚至傷害人。這種矛盾的心理，在西方尤為明顯。也許，人與電腦的關係能像伯牙與鍾子期那般，一個善彈琴，一個願諦聽。琴音流洩的雅意，只為千古知音。

電腦擁有超強計算能力，並成功地擊敗棋王。之後，人們便一直努力，希望電腦有朝一日能夠像人一樣，具備計算、思考、學習的能力。這個從一開始就想攻克的堡壘，經過無數精英，近百年的奮戰，至今仍是電腦科學令人著迷的領域：人工智能。

數位計算機首先來自理論突破。十七世紀的德國哲學家兼數學家的萊布尼茲，根據中國易經發展了二進位數系。也因為他發現這個數學系統，被西方尊為計算機的先驅。

十九世紀的英國數學家喬治·布爾¹在他的著作《思維規律研究²》，嘗試只用0跟1兩個數字，來表示邏輯判斷的結果。而這種簡單的數學邏輯運算，就是布爾代數³。這套邏輯代數廣泛地應用在概率和統計等領域，也為電子線路設計奠定數學基礎。之後，布爾的同事，奧古斯塔斯·笛摩根⁴提出定理，證明布爾代數。

1940年，那位發明位元的夏隆先生，在論文中，也將布爾代數應用在資訊科學。因為他想建造一部能模仿人類思考的機器，這是個難度很大的挑戰，所以他先將目標訂在：一部會下棋的機器。

一部能夠下棋，最終在棋力上勝過人的機器，表示具備優於人類的初級思維能力。這篇論文便是將決策邏輯簡化成布林代數，再將布林代數用電子線路來實現。

從布爾到涂林，從涂林再到夏隆，人工智能的薪火，代代有傳人。1956年，夏隆在達特茅斯⁵發起了第一屆人工智能會議，對人工智能這個議題展開有系統的科學研究，並定期與全球各界菁英開會交流。

夏隆率先將人工智能以下棋的方式來展現，另外也發展了機械鼠走迷宮的遊戲，來證明電腦可透過學習、回饋、試誤等方式，提升判斷品質。他提出的論文、理論及研究成果，使他成為人工智能的開山鼻祖。

¹ 喬治·布爾，George Boole。

² 思維規律研究，An Investigation of the Laws of Thought。

³ 布爾代數，Boolean Algebra。

⁴ 奧古斯塔斯·笛摩根，Augustus De Morgan。

⁵ 達特茅斯，Dartmouth。

韓戰爆發後，二次世戰的戰敗國日本，逐漸厚實國力，成就斐然，特別是電子、機械、機器人等領域。

八〇年代，日本傾全國之力，提出令舉世震驚的研發計劃：第五代電腦。這個計劃從硬體到軟體，無所不包，挑戰美國在電腦工業的地位。更驚人的是，這部電腦具備人工智能，預計其智力可通過涂林對人工智能機所設下的測試。

由於人工智能是電腦科學界的最後堡壘，但全球菁英多次攻堅都無功而返。對於這個難題，學人們真是又愛又恨。這將是電腦界的最後一頂桂冠，人人意欲得之。若真的圓夢了，一定會造成人類恐慌。人們自忖，大權是否就此旁落？或者全人類將落入少數人的控制，成為他們的奴僕？

西方對隱私權的重視，對國家機器根本地不信任，使這個課題更具威脅性。討論人工智能對人類的影響，西方科幻電影、小說比比皆是。例如，《一九八四》這本書，所描寫的老大哥¹特務形象深入人心。電影《魔鬼終結者²》系列，機器人想要奴役人類，人類起而反抗，組成軍隊鬥爭，機器人則矢言要消滅反抗軍《駭客任務³》，則描述電腦母體將渴望自由的人們，皆視為恐怖份子。直到愛德華·約瑟夫·斯諾登⁴公佈美國國家安全局的文件，人們才發現過往的憂慮是真的。這些陰影隨著研究的突破，更加揮之不去。人工智能便在這種情形下，屢起屢仆。

自從人工智能這個研究課題創始以來，學界就分成兩大派別，相互爭鋒。一派認為毋須仿大腦結構，只要用一套符號來模擬人腦的判斷規則，完成人腦的處理判斷即可。這一派被稱為由上而下⁵的人工智能設計學派。另一派則認定要仿大腦結構，因為大腦結構才是認知的關鍵。這一派強調設計的模式是由下而上⁶。

進行這個課題的研究，不論派別，都必須面對一個基本問題：人真的瞭解人嗎？知道人的智慧與能力是如何產生的？科學家認為，智能始於感官接受刺激訊息，辨識後，得到認識、感受，然後留下概念。再透過語言、文字，與他人溝通後，得到回饋。並在不斷模仿、學習後，進而創造、思考，這才使得人類與其他動物有所不同。

科學家對整個智能階段進行全面、廣泛的研究。不過截至目前為止，就所發表的成果來看，並沒有清楚地指出智能為何，且能用一套精簡有效的方式來表達。

由於人工智能範圍廣泛，內容盤根錯結，使得這個軟體系統複雜且易失控。因此一般的作法是，限定某一領域的專家經驗來建構系統，或者採用資料庫系統建立龐大的知識庫⁷。這些稱為專家系統⁸或決策支援系統⁹，是目前相關的研究成

¹ 老大哥，big brother。

² 魔鬼終結者，Terminator。

³ 駭客任務，Matrix。

⁴ 愛德華·約瑟夫·斯諾登，Edward Joseph Snowden。

⁵ 由上而下，Top Down。

⁶ 由下而上，Bottom Up。

⁷ 知識庫，Knowledge Base。

⁸ 專家系統，Expert System。

⁹ 決策支援系統，DSS, Decision Support System。

果。

還有模仿生物進化的方式，稱為遺傳演算法¹。目的在透過模擬生物的演化過程，如重生、交配、突變等，便於模擬及解釋自然生物系統的進化過程，並將這一過程的經驗，累積到新建構的智能系統。

後來，又有類神經網路²學說崛起。這個學派認為，唯有電腦完全模擬人類神經細胞，如傳遞刺激及記憶等功能，才有所謂的人工智能。這派學者，提出類神經網路的基本單元功能，概述如下：

1. 處理單元：神經細胞核心。
2. 處理單元有任意數目的連接，負責傳遞訊息。
3. 處理單元有自己附屬記憶體。
4. 處理單元有輸入、輸出信息的介面。

這一學說在九十年代大為風行，也證明在局部範圍，這些方式是有效的。可是若欲擴展用途，資料量便呈級數成長。空間、速度、穩定性，令人難以掌握。

後來，科學家們發現人類能力在於，發掘問題，選擇可行方案，執行並回饋修正，不斷累積經驗。這些能力，無法用遺傳方式交給後代。單純記憶背誦解決方法，依樣畫葫蘆反而容易壞事。

人類承襲哺乳類代代相傳的天性，又能透過語言加強訊息的有效性。不僅如此，人類還發明了文字，延伸了訊息流通的時間與空間。

為了處理訊息隱含的概念，美國加州大學柏克萊分校試圖提出模糊³學說來解決。這個學說，基於人類語言、文字在傳遞時的模糊化，設法用模糊集合⁴的方式，將知識、概念予以量化。電腦可以模擬人的推理邏輯，及理解的模糊性。在模糊、相互矛盾的前提下，求出一個確定可行方案。

由於人工智能的研究對象，其本身及相關介面並不明確，很難用傳統的數學模式來定義，必須提出一套新的理論來因應。即使研究對象的數學性質不夠清晰，所採用的表達模式，依舊能令電腦對人類的知識、概念，進行模糊性處理。

這個學說，可說是一套相容學說。它包含了早期的研究成果，及資訊科學賴以起家的數學。假定有一個推論引擎，能夠搜尋、維護完整的規則庫⁵，以試誤法、遺傳演算法取得近似的最佳規則，便於做出合適的決定。同時，也透過回饋與類神經網路來進行學習，累積經驗擴大規則庫。

只是，人與電腦的關係，可不可以不要這麼緊張？能不能像鍾子期與伯牙那般？一個操琴，一個善聽？人們琴聲有高山，電腦便能繪高山。人們琴聲帶流水，電腦便能現流水。從打破繭殼，走出孤獨以來，人一直都在尋找知音。電腦究竟是君臨天下，統治人類？還是當人們的知音好友？

¹ 遺傳演算法，Genetic Algorithm。

² 類神經網路，Neural Network。

³ 模糊，fuzzy。

⁴ 模糊集合，fuzzy set。

⁵ 規則庫，rule base。

這層關係，現在還很難說。因為這得取決人工智能的創建者，以及他賦予電腦的性格。這類疑懼，又以西方為重，特別是《2001 太空漫遊¹》為濫觴。

根據2002年出版的華文科幻小說，《宇宙浪子》裏描述，兩者關係看來相當融洽，人機之間毋須對決。只是那時的人們已不願從事繁瑣累人的思考，心甘情願地讓出大權，接受電腦的豢養。

¹ 2001 太空漫遊，2001 A Space Odyssey。

附錄

參考書目

書名	編著譯作者	出版社	國際標準書號
矽晶之火	葉偉文譯	天下文化	957-621-492-0
我的名字是電腦	胡頂立、梁應權譯	天下文化	957-621-572-2
電腦如何思考	林遠志、陳振男譯	天下文化	957-621-643-5
鬼才 2.0.1	劉孟華譯	遠流	957-32-5149-3
一千零一網	張介英、徐子超譯	臺灣商務印書館	957-05-1633-X
圖解電子遊戲史	蔣鏡明、李宜安、 許文達校譯	美商麥格羅·希爾	957-493-937-5
Code -- The hidden language of computer hardware and software	Charles Petzold	Microsoft Press	0-7356-0505-X

商標聲明：

- 本書所引用之國內外產品，係為促進廠商及用戶利益，並無侵權意圖，特此聲明。
- 內文所提及產品、商標、書刊、軟體等，智財權屬該公司、單位、機構、個人所有。

關鍵查找：

- 本文相關：資訊漫談三部曲、資訊機器、資訊概論、資訊科技概論、資訊簡史、資訊散文。

微處理器·序

本書係資訊漫談二部曲，風格仍襲前部，已有註釋不再重複。首部曲主旨係介紹電腦的誕生與應用。本書則著重微電腦的硬體核心：處理器。

書分六講，由處理器誕生，旁及架構分類。因不同架構間的電腦，處理器相互競逐，武功誰高誰低，總得論個輸贏。後微電腦改名個人電腦，接任盟主之位。系出同門的處理器，又演出多場兄弟鬩牆戲碼，不但點燃戰火，也熱絡美國矽谷主場。三十年間，王冠數度易手，真是幾家歡樂幾家愁。

爾後英特爾套上處理器魔戒，雄霸盟主大位二十餘年。享有應許之地的英特爾，日子過得並不安穩。一如原野稱霸的獅王，須面對屢屢而起的年輕挑戰者。少年英雄想世代交替，遂行長江後浪推前浪的使命。自1992年起，英特爾連續十三年成為全球半導體廠第一。一手創建處理器王朝，三十年間，體積、功能、價格、耗能等改變，是難以想像的跨越。

謹以這套資訊散文，獻給家父、家母、恩師江崇甫、連長趙玉明、忠定師父、真法師父與先室，還有那些無私給予我幫助的人。

陳海晏 2014·夏 序於漱玉齋

第一講、誕生

1948年，貝爾實驗室發明電晶體，用來傳遞數位訊號的0與1，那時的電子元件是真空管。由於電晶體體積、耗電及產生熱能，都比真空管小，電晶體完全可以取代真空管。因此，此項發明，理應獲得世人關愛眼神。不過，吸引媒體目光，是發明電晶體三位科學家不和消息。或因如此，當時沒人注意到，這把矽晶之火，後來竟照亮整個資訊時代。

電晶體組成邏輯閘¹，眾多邏輯閘則組成積體電路²。積體電路將需要的電子零件，如電晶體、電阻、電容及導線全放在一塊線路板，之後用製程將其微縮成晶片。晶片測試無誤，即可取代原有電路板。功能愈多，線路愈複雜，使用電晶體就愈多。爾後，以積體電路發展出半導體業重要的兩大產品：記憶體晶片³及微處理器。

可別小看這兩項產品，它是英特爾的主力。何況，單憑記憶體晶片就能成為全球十大半導體廠，如日本恩益禧⁴、韓國三星⁵。這幾家公司，都是集設計、製造、封裝、測試到銷售自有品牌的整合元件製造廠⁶。

電晶體由約翰·巴定⁷、沃爾特·布拉頓⁸、威廉·蕭克利⁹三人共同發明，並在1956年獲諾貝爾獎物理獎肯定。由於蕭克利的性格，加上他與另二位共同發明人，在觀念、作法上南轅北轍，終致鬧得不可開交。因二次大戰期間，蕭克利積極參與軍方事務，加上諾貝爾獎的光環，官方給予不少協助，令他聲譽鵲起。於是，蕭克利決定返回故鄉，在舊金山南端，一個長滿杏樹的山谷，成立蕭克利實驗室。這是全球第一家半導體公司，這個山谷後來被稱作矽谷¹⁰。

後來，蕭克利與實驗室的科學家們相處不佳，有八人決定離開，自行創業。蕭克利痛斥他們是叛徒，與之公開決裂。不過，這八個人在亞瑟·洛克¹¹協助下，取得謝爾曼·費爾察¹²的資金。以其姓氏為公司名，於1957年創辦快捷半導體。

¹ 邏輯閘，logic gate。

² 積體電路，IC, Integrated Circuit。

³ 記憶體晶片，memory chip。

⁴ 恩益禧，又譯為日本電氣，NEC, Nippon Electric Company。

⁵ 三星，Samsung。

⁶ 整合元件製造廠，IDM, Integrated Device Manufacture。

⁷ 約翰·巴定，John Bardeen。

⁸ 沃爾特·布拉頓，Walter Brattain。

⁹ 威廉·蕭克利，William Shockley。

¹⁰ 矽谷，Silicon Valley。

¹¹ 亞瑟·洛克，Arthur Rock。

¹² 謝爾曼·費爾察，Sherman Fairchild。

洛克這種取得資金，創設新公司的模式，後來成為矽谷高科技公司成立的推手，也為金融業催生了創投公司。費爾察是 I B M 一位合夥人的獨子，他可能沒想到，自己這家公司會成為美國半導體業大老的搖籃。更沒想到，他們從快捷離職創業，陸續成立國家半導體、超微、英特爾等公司。英特爾起先是 I B M 個人電腦的合作夥伴，後來則成了 I B M 威力晶片¹仰攻的對象。國家半導體、超微，在微處理器與英特爾，更是有著千絲萬縷的恩怨情仇。

快捷半導體挾著蕭克利實驗室的威名，成為矽谷有名的公司。加上諾宜斯的積體電路技術，快捷不但有好的開始，也吸引許多人才投入。而來自蕭克利實驗室的諾宜斯·摩爾，也在快捷碰到他們日後創業伙伴：葛洛夫。數年後，因創辦人費爾察辭世，繼任者的經營理念與技術發展，似難獲得快捷員工認同。而經營層輕忽這一分歧，令多人萌生去意。

1967年，史波克、皮埃爾·拉蒙德²、唐·范倫鐵諾³，創立國家半導體，與快捷分庭抗禮。這個舉動點燃快捷的離職創業潮。1968年八月，諾宜斯·摩爾、葛洛夫等人在洛克的協助下，成立英特爾公司。1969年，快捷的行銷主管桑德斯也辭去職務，創辦超微。功臣戰將率皆離職，至此田地的快捷，只好退出領先群，將魔戒讓予他人。

英特爾團隊用金屬氧化半導體⁴技術，製成記憶體元件，再透過積體電路技術，將晶片合而為一。1969年，英特爾推出編號3101的記憶體晶片。接著，1971年，又推出編號4004的微處理器。英特爾有很強的技術基礎，初期以記憶體晶片為發展核心。幸運之神很快就來敲門，為英特爾送來轉型大禮。迄今仍屬英特爾主力產品的微處理器，其發展的關鍵年代，得從1969年談起。

1969年，日本商算公司⁵找上英特爾，以六萬美金的價格，請他們設計幾顆特殊的晶片，讓計算機具有可程式化的功能，又能進行較複雜的數學運算，如平方根、三角函數等。

摩爾不喜歡做客製化晶片，他想要的是標準化產品。剛開始對這個案子，英特爾並不重視。客戶既然上門，仍接下該案，交給馬西·霍夫⁶，與日本商算公司的代表嶋·正利⁷，共同負責推動。

這時的英特爾，已有標準記憶體元件。霍夫認為，不同廠商可將程式放在記憶體，這樣不但善用英特爾產品，達成日本人要求的功能，也完成摩爾交付的任務。而這個作法，成就了英特爾的傳奇產品：微處理器。

1970年，【英特爾的以色列教父】的多夫·法羅門⁸發明了可擦拭可規劃式

¹ 威力晶片，PowerPC chip。

² 皮埃爾·拉蒙德，Pierre Lamond。

³ 唐·范倫鐵諾，Don Valentine。

⁴ 金屬氧化半導體，MOS, Metal-Oxide Semiconductor。

⁵ 商算公司，ビジコン，Busicom。

⁶ 馬西·霍夫，Marcian Hoff。

⁷ 嶋·正利，Masatoshi Shima。

⁸ 多夫·法羅門，Dov Frohman-Bentchkowsky。

唯讀記憶體¹。商算公司的這個案子，便選用可擦拭可規劃式唯讀記憶體來存放程式。記憶體裏的程式不同，產品的功能隨之不同。摩爾很快地發現，霍夫這種作法，使得產品有多種用途。於是，摩爾指派義裔的弗雷瑞可·費根²協助霍夫，由霍夫設計架構，費根接手實務。

這個案子如期交貨，於1971年開始出貨給日本商算公司，嶋正利也被日本人尊為「微型計算機之父」。英特爾為這個案子，整合並開發出四顆晶片，分別是編號4001的隨機存取記憶體晶片³、4002的唯讀記憶體晶片⁴、4003的暫存器晶片⁵、4004的微處理器晶片。4004這顆晶片，就是第一顆微處理器。把這四顆晶片組合起來，即是具體而微的電腦。這項成就也被視為個人電腦的里程碑。

當時的規格是，微處理器的資料匯排流⁶為四位元，有256位元組⁷的唯讀記憶體，32位元組的隨機存取記憶體，還有幾個暫存器。它由2,300個電晶體組成，每秒能執行60,000個運算。

後來，商算公司受價格戰拖累，遭到接管命運。在此之前，商算公司曾向英特爾要求降價，條件是英特爾可自行開拓4004晶片的市場，英特爾同意這個條件。4004這顆晶片的市場，最初設定在電子計算器⁸，電梯、交通號誌等自動控制設備。誰都沒想到，她日後會在電腦界掀起濤天巨浪。

商算公司被接管後，晶片成了孤兒。於是，英特爾便自行開拓市場。英特爾於1971年11月15日，在《電子新聞》⁹刊登4004晶片廣告。這是微處理器的第一個廣告，當時晶片售價是一千美金。

那時迷你電腦、大型主機的處理器分別是八位元及十六位元。而4004只有四位元。雖然這顆晶片頗受矚目，但未有銷量支持。許多程式師還是埋首大型主機、迷你電腦，優先地為這些封閉系統撰寫程式。

但微處理器的名號還是打響了，其他公司也相繼推出產品，如：摩托羅拉在1975年推出6800，英特爾在1972年推出8008晶片、1974年的8080晶片。

當時，軟體程式師是很稀缺的。為了吸引他們，轉投心力在英特爾的微處理器。英特爾成立微處理器發展系統小組，由當時負責行銷業務的艾德·吉貝克¹⁰、比爾·戴維德¹¹，負責開發市場，並協助客戶發展軟硬體系統。

¹ 抹除式唯讀記憶體，EPROM, Erasable Programmable Read-Only Memory。

² 弗雷瑞可·費根，Fredrico Faggin。

³ 隨機存取記憶體晶片，RAM chip, Random Access Memory chip。

⁴ 唯讀記憶體晶片，ROM chip, Read Only Memory chip。

⁵ 暫存器晶片，register chip。

⁶ 資料匯排流，Data bus。

⁷ 位元組，byte。

⁸ 電子計算器，即常見手持、小型的電子計算機，calculator。

⁹ 電子新聞，Electronics News。

¹⁰ 艾德·吉貝克，Ed Gelback。

¹¹ 比爾·戴維德，Bill Davidow。

也就是說，英特爾不只賣微處理器，他們提供全面解決方案¹。英特爾從晶片開發、電路設計、軟體工具、技術支援，一手統包。為此，戴維德旗下的行銷戰將大衛·豪斯²，新設【應用工程師³】職位來因應。應用工程師的工作是，在第一線直接協助客戶解決使用、開發等技術問題。

因為微處理器是項嶄新業務，英特爾邊做邊學，在幫助客戶同時，也累積自身經驗。例如，將程式放進可擦拭可規劃式唯讀記憶體，開發可放置微處理器的電路板、系統晶片組⁴，還有連接晶片介面及相關測試工具。

在軟體程式方面，提供免費組譯器⁵，英特爾也找人開發編譯器⁶。這麼一來，使用英特爾系統的程式師，可用組合語言⁷，也能用高階語言⁸來撰寫程式。英特爾內部對這套發展系統為藍盒子⁹。

這套發展系統其實就是完整的微電腦，有硬體如電路板，有軟體如操作系統¹⁰、系統程式¹¹等。不過英特爾的目的，是想增加微處理器銷量。因此，這套發展系統，係由英特爾賣給微處理器的客戶，做為輔助他們開發軟硬體的工具。而藍盒子內含的操作系統，則是英特爾委託數位研究公司¹²的蓋瑞·基爾道¹³，研發的操作系統，ISIS。由於這套系統沒賣銷售給最終用戶¹⁴，所以知道藍盒子的人並不多。

英特爾同意讓基爾道，模擬這套系統並另行販售。後來，基爾道推出這套操作系統的模擬版在微電腦上販賣，一度成了產業標準，這就是監視控制程式¹⁵。這套系統曾經成為IBM個人電腦操作系統候選人之一。後來，因基爾道太過自負，加上蓋茨與IBM的因緣，個人電腦操作系統由微軟磁碟操作系統雀屏中選。基爾道跟他的系統，只好走進資訊歷史的教科書了。

在8080的開發五人組，其中有位華裔成員，是工程師苗豐強。他設計了8251晶片，一顆週邊控制器，能搭配微處理器使用，也可獨立使用，銷路相當不錯。後來苗豐強返台接掌父親事業，加入侯清雄、李振瀛創辦的神通電腦，成為臺灣資訊界先驅。

而帶領英特爾微處理器團隊的費根，與旗下大將雷夫·安則曼¹⁶，則被艾克

¹ 全面解決方案，total solution。

² 大衛·豪斯，David House

³ 應用工程師，FAE,Field Application Engineer。

⁴ 系統晶片組，system chipset。

⁵ 組譯器，assembler。

⁶ 編譯器，compiler。

⁷ 組合語言，assembly。

⁸ 高階語言，high-level language。

⁹ 藍盒子，blue box。

¹⁰ 操作系統，OS,Operating System。

¹¹ 系統程式，system program。

¹² 數位研究，DR,Digital Research Inc.。

¹³ 蓋瑞·基爾道，Gary Kildal。

¹⁴ 最終用戶，End user。

¹⁵ 監視控制程式，CP/M,Control Program for Monitor。

¹⁶ 雷夫·安則曼，Ralph Ungerman。

森¹挖角，創辦齊邏²。所推出的Z80晶片在1976年大賣，加上基爾道的軟體支援，Z80聲勢大漲，一度威脅英特爾8085。但費根接著推出Z8000、Z8等晶片，沒有足夠的銷量支撐。在市場反應冷淡下，想創造微處理器業界標準，幾是不可能的事。齊邏在Z80的成功，就是一代拳王的宿命。一時燦爛奪目，不一會兒就消失無蹤。

在IBM選擇英特爾的8088處理器後，齊邏只能黯然退出。艾克森派人接管齊邏，費根、安則曼相繼離職，齊邏轉戰微控制器³市場，費根也離開成名的微處理器界，轉投人工智能領域。

七〇年代中期，是微處理器第一次的黃金時光。人才、技術，一時無兩。而第一次激戰，也在這個時候。不光是快捷，英特爾的骨幹精英出走，摩托羅拉的工程師也自立門戶，創辦摩斯科技。

摩斯科技以6502晶片最為知名，其65系列，強調相容。相容首選對象，當然是摩托羅拉的6800系列。6502晶片因價格便宜，與主流產品相容，被蘋果選做微處理器。

採用6502的電腦，有著名的蘋果二號，及康懋達⁴許多型號。此外，任天堂的紅白機也是6502忠實支持者。可惜，產品無以為繼。摩斯科技後來被康懋達併購，於業界消失。

不過，摩斯科技為業界留下第二供貨源⁵的慣例。即除了自己生產，也授權其他廠商生產。例如，摩斯科技就授權給洛克威爾⁶、信能達克⁷、聯電等。聯電是臺灣廠商，由工業研究院電子所專案技轉成立的公司。1982年，英特爾仿此，將微處理器技術，授權給超微、西門子⁸、哈理斯⁹等公司。2009年，英特爾再將凌動¹⁰處理器核心技術授權給臺積電，以策略聯盟方式，開發系統單晶片¹¹市場。

張忠謀先生從德儀副總裁退休後，返臺服務。他先擔任工研院院長，之後在臺灣政府、荷商飛利浦支持下，創辦臺積電。臺積電、聯電在晶圓代工領域並稱雙雄，成功地切割出代工市場，並藉此壯大走向世界。

張忠謀先生與超微創辦人的桑德斯是舊識，當他與桑德斯談到晶圓代工概念時，桑德斯對他說：「謀兄啊，帶種男人¹²，一定有自己的晶圓廠！」晶圓代工的市場，早期並不被看好。臺積電、聯電透過技術、產能、價格、管理，成為晶片設

¹ 艾克森，Exxon。

² 齊邏，Zilog。

³ 微控制器，MCU, Micro Controller Unit。

⁴ 康懋達，Commodore。

⁵ 第二供貨源，second source。

⁶ 洛克威爾，Rockwell。

⁷ 信能達克，Synertek。

⁸ 西門子，Siemens。

⁹ 哈理斯，Harris。

¹⁰ 凌動，Atom。

¹¹ 系統單晶片，又稱系統晶片，SOC, System On Chip。

¹² 帶種男人，又譯真男人，Real men。

計¹公司的伙伴，蛻變成臺灣半導體界的「真男人」。多年後，由超微拆分出來的格羅方德²，則回過頭來競逐晶圓代工王位。

第二次處理器大戰後，站穩腳跟的英特爾，調整策略，選擇痛擊相容廠商。超微、國家半導體、賽瑞仕³、聯電便在這一波，狠狠地摔了跟頭。除了超微頑強地撐過這一波攻擊，其他公司不是遭人併購，便是退出微處理器。這一波併購與退出的重整行動，一直延續到二十一世紀，首先由 x 8 6 相容陣營開始。

1 9 9 6 年，超微併購以技術聞名的下一代⁴晶片設計公司，實力大幅提升。這家公司由康柏⁵、KPCB⁶等共同成立，賣給超微後，其技術成為超微 K 6 晶片的源頭。1 9 9 7 年，賽瑞仕發表一顆名為 MediaGX 的整合型處理器，掀起了低價電腦⁷風暴。同年，賽瑞仕被國家半導體併購。1 9 9 9 年，國家半導體把微處理器部門，賣給威盛電子。同年將 MediaGX 的整合型處理器改名 Geode，2 0 0 3 年將 Geode 賣給超微。2 0 0 5 年，國家半導體將個人電腦晶片組部門，賣給華邦電子。自此，國家半導體徹底退出標準數位晶片的市場，轉往高附加價值的類比晶片。

聯電或因曾為 6 5 0 2 代工，難忘處理器夢想。在轉型期，一度進入微處理器的設計領域，期能一圓處理器大夢。不過，最終因多重壓力，聯電決定解散處理器部門，聚焦晶圓代工領域。聯電處理器部門的成員，一部份成為聯發科的骨幹，另一些人接續使命，創辦金麗科技。

1 9 9 9 年，威盛抓住英特爾在產品布局的失誤，趁勢崛起。先在晶片組市場大有斬獲，賺得盆滿鉢盈。2 0 0 0 年，配合財務操作，一舉買下 S 3 繪圖晶片部門，聲勢大漲。威盛野心，顯然不僅於此。很快地，她就進攻處理器市場，想讓巨人措手不及。

威盛電子向國家半導體購入的處理器技術是由 MII，即前身為 6x86MX 部門開發的。再向森塔爾公司⁸購買處理器技術。這兩項技術，同屬 x 8 6 架構，也成為威盛 Eden、C3-M、C7-M、CoreFusion 等晶片的技術來源。雖然 S 3 繪圖晶片，未能為威盛開拓市場。但配合本身的系統晶片組及處理器，威盛在被逼入牆角後，設法進入利基市場，走一條自己的路。後來，威盛還把 S 3 繪圖晶片的專利賣給宏達電，希望能讓宏達電躲過蘋果公司的法律大戰。

2 0 0 2 年，超微購併煉金半導體⁹，這是一家基於密普斯¹⁰的精簡指令集¹¹技術，與 x 8 6 架構不同。不過，這個另起爐灶的策略，並不成功。因此，2 0 0

¹ 晶片設計，IC design。

² 格羅方德，又譯全球晶圓，Globalfoundries。

³ 賽瑞仕，Cyrix。

⁴ 下一代，NexGen。

⁵ 康柏，Compaq。

⁶ KPCB，美國知名的風險投資基金，KPCB, Kleiner Perkins Caufield & Byers。

⁷ 低價電腦，Low Cost PC。

⁸ 森塔爾，Centaur，係美國 IDT 公司全資轉投資的子公司。

⁹ 煉金半導體，Alchemy Semiconductor。

¹⁰ 密普斯，MIPS, Microprocessor without Interlocked Pipeline Stages。

¹¹ 精簡指令集，RISC, Reduced Instruction Set Computer。

6 年，超微把煉金半導體的產品線，整個轉賣給瑞扎微電子¹，實現「專注 x 8 6 核心」的承諾。超微不惜重資，全力併購 x 8 6 處理器相關技術，故實力大增。知名的百元筆電，其處理器就是超微 Geode LX 700。後來超微併購冶天科技²，並與轉型的全美達合作。在英特爾強力打壓下，超微仍不屈不撓，要在微處理器市場，與昔日同僚一較長短。

微處理器的第一次大戰（見表 1 處理器大戰簡表），讓圈內人瞭解到微電腦的威力。到了蘋果二號出現，微電腦才成為全球矚目的焦點。電腦一般分類是，超級電腦³、大型主機、迷你電腦、微電腦。

1980 年，惠普工程師發表一篇論文指出，日本公司生產的可擦拭可規劃式唯讀記憶體、動態隨機存取記憶體⁴等，品質好，價格低，嚴重地威脅美國半導體廠生計。日本廠商大舉進入記憶體晶片市場，敵手就是英特爾。身為記憶體晶片的發明者，英特爾對記憶體有很深的感情。

於是英特爾加強品管，透過成本、良率的數字指標，不斷地與日本公司展開近身肉搏，掀起記憶體大戰。但英特爾的微處理器事業正在起步，在兩面受敵的情況下，1985 年 10 月，英特爾正式宣佈，退出動態隨機存取記憶體的市場，將公司資源押注在微處理器晶片。

這個孤注一擲的決策，背水一戰的壓力，及幸運之神的眷顧。不到二十年，令英特爾躍居全球十大半導體公司之首（見表 2 全球半導體業排名）。不過，這個時候，英特爾的微處理器還不是真命天子，頂多只是微電腦領域的領先廠商。除了摩托羅拉分庭抗禮，還有國家半導體、快捷、德州儀器等黃雀在後。

1975 年，微儀遙測系統公司在破產前的一擊：天鷹座 8800 微電腦。這是第一部微電腦，以英特爾 8080 晶片為核心，成為《熱門電子商品》雜誌 1975 年五月號的封面主角。微儀遙測系統公司所在地，新墨西哥州的阿布奎基⁵被尊為微電腦發源地。經營微儀遙測系統公司的羅伯茲，則被稱為【微電腦之父】。

為首部微電腦編寫技術手冊的大衛·邦內爾⁶，後來參與《個人電腦》、《電腦世界》、《麥金塔電腦世界》等電腦雜誌出版工作。幫天鷹座 8800 微電腦，安裝培基語言的任務，羅伯茲則交給微軟公司。微軟公司名稱由來，是因創辦人蓋茲與艾倫認為微電腦和大型電腦一樣，都需要軟體。他們以開發軟體為職志，而公司定位是微電腦軟體，所以叫「微」電腦「軟」體公司。

天鷹座 8800 微電腦大為風行，龐大需求量、軟硬體規格標準化，讓人們在街角的電器行就能輕易購得。這個觀念讓在矽谷的兩位年輕人頗受衝擊，他們是賈伯斯與伍茲尼克。

¹ 瑞扎微電子，RMI, Raza Microelectronics Inc.。

² 冶天科技，ATI, Array Technologies Inc.。

³ 超級電腦，super computer。

⁴ 動態隨機存取記憶體，DRAM, Dynamic Random Access Memory。

⁵ 阿布奎基，Albuquerque。

⁶ 大衛·邦內爾，David Bunnell。

1976年，小伍將他在俱樂部裝配好的蘋果一號，交由小賈販賣。小賈順利地賣給艾爾卡密諾¹的位元組舖，店主保羅·泰瑞爾²更下了一筆五十部的訂單，這就是蘋果一號的誕生。有了這次經驗與資金，小賈與小伍再接再厲，組裝了蘋果二號。

蘋果二號於1978年，舊金山市民大會堂的第一屆西海岸電腦商展³，出盡風頭。後來邀請由英特爾退休的馬庫拉加入蘋果，接手第三位創辦人韋恩的股份，成為蘋果電腦公司的初期領航者。

馬庫拉原任職快捷，後來跳槽至英特爾。他發明一種電子計算尺，並擔任英特爾8088的產品經理。由於他與矽谷許多公司主管熟稔，並協助史蒂夫改寫投資計劃書，找到資金。如協助英特爾成立的創投家洛克，及紅杉創投⁴。而馬庫拉成為蘋果人，再透過他的關係，找到商場名將，到蘋果擔任專業經理人。如曾在國家半導體擔任主管的麥克·史考特⁵。

不過，蘋果一直跟摩托羅拉保持密切合作，使用他們的處理器，直到威力晶片。在蘋果大獲成功的同時，蓋茲還只是剛出道的小伙子，絲毫看不出二十年後，他會成為軟體界的凱撒大帝。

蘋果二號採用6502的微處理器晶片，是八位元的微電腦，推出後風靡全球，接下天鵬座8800的棒子。一夕間，微電腦從聖殿之子變成人人可親的玩具。因微電腦有別以往深鎖機房的主機，專供個人使用，又稱個人電腦。

個人電腦這個名詞，來自於1968年，斯圖爾特·布蘭德⁶出版的《全球總覽⁷》系列叢書。這套叢書的最後一本《全球後記⁸》，提到個人電腦的字眼。誰也沒有想到，這丫頭後來開啟屬於她的世代，即個人電腦時代⁹。帶動全球經濟發展，影響力延至二十一世紀而不墜。

蘋果二號走下聖殿，憑其體積與價格，受玩家們青睞，進而走進家用、教育市場。雖然這時不能上網，不過豐富的電玩軟體，讓一般人親近電腦，這確實是突破。這時的電腦比較像是玩伴，還稱不上工作伙伴。

這個情況，一直到1979年10月才改變，因為有殺手級軟體出現了！這個軟體由唐·布瑞克林¹⁰、鮑伯·法蘭克史東¹¹共同撰寫，叫做可視計算器¹²，後來改

¹ 艾爾卡密諾，El Camino。

² 保羅·泰瑞爾，Paul Terrell。

³ 西海岸電腦商展，West Coast Computer Fair。

⁴ 紅杉創投，Sequoia Capital。

⁵ 麥克·史考特，Michael Scott。

⁶ 斯圖爾特·布蘭德，Stewart Brand。

⁷ 全球總覽，Whole Earth Catalog。

⁸ 全球後記，Whole Earth Epilog。

⁹ 個人電腦時代，PC Era, Personal Computer Era。

¹⁰ 唐·布瑞克林，Dan Bricklin。

¹¹ 鮑伯·法蘭克史東，Bob Frankston。

¹² 可視計算器，VisiCalc, Visible Calculator。

叫電子試算表¹，或逕稱 excel 令人更熟悉。

這時英美等國，正好解除金融業的管制。人們對保險、投資理財的需求大增。想要迅速、正確地回應客戶，光靠手持式電子計算器是不夠的。下班後，無法連公司電腦，很難回答客戶關於數字的提問。為了掌握商機，用蘋果二號加可視計算器軟體，成了投資顧問與會計師的新武器。

面對摩托羅拉結合蘋果電腦的攻勢，英特爾急拋開費根出走的低潮，新手接棒了。比爾·波曼²設計的 8086，在 1978 年上市。成本更低廉的 8088 則在 1979 年上市。這兩顆十六位元處理器，就是 IBM 用來攻擊蘋果與摩托羅拉的利器。

因蘋果電腦的熱潮，令把微電腦當成玩具的 IBM，必須正視問題。若要掌握產品技術，從專利申請、研發、設計、製造、行銷、售後服務，都由 IBM 一手包辦，新電腦起碼得三至五年才能上市。1979 年，IBM 決定讓佛羅里達州的波卡雷頓實驗室來擔綱，由比爾·洛威³負責成立微電腦研究小組。這個小組擁有相當自主權，而他們的結論將決定藍色航母是否轉向。這個代號叫橡實⁴的西洋棋專案⁵，很快地就提出研究成果【IBM 個人電腦】。

這套解決方案正是現今流行的委外作業⁶。不過對那時的 IBM，這實在太驚世駭俗了。因為從 IBM 出道至今，向來都是自家一手包辦所有程序。而現在卻要對外採購產品，放棄微處理器、操作系統等關鍵技術。IBM 只負責開立規格、監督生產、驗收出貨。

然這個方式卻能用最快速度讓產品上市，即便失敗於 IBM 也無損。但若成功，IBM 仍能用規格、驗收等權力來把關。不過，在蘋果關上開放之門後，IBM 決定將製造規格、設計架構全部公開。此舉，令個人電腦獲得空前成功。不過，就是因為關鍵技術不在 IBM 手上，委外妙法反而成就了微特爾帝國。雖然，這兩家公司曾在 IBM 面前服低做小，但他們把握 IBM 授人以柄的良機，聯手把巨人踢出了贏者圈。

然而，此時包括 IBM 自己，多數人相信在電腦界，IBM 有著呼風喚雨的本事，沒有人有能力排除 IBM 老大。IBM 公布個人電腦規格書，並向全球宣布：個人電腦時代正式到來。電腦不再是家用、教育，更可用在商業上。挾著國際商業機器的威名與強力背書，舉世投入這一波浪潮，成就 PC 榮景。因為蘋果處理器用摩托羅拉，所以 IBM 個人電腦處理器選擇英特爾的 8086。操作系統則挑了微軟公司的產品，即使那套系統是微軟從別人手上買回來修改的。

這套用晶片編號命名的電腦系統，沿襲至今，也是慣稱的 x86 系統。這位

¹ 電子試算表，spreadsheet。

² 比爾·波曼，Bill Pohlman。

³ 比爾·洛威，Bill Lowe。

⁴ 橡實，Acorn。

⁵ 西洋棋專案，Project Chess。

⁶ 委外作業，outsourcing。

八六姑娘成就了微特爾帝國霸業。不過，這時她才剛出生，1981年初秋，八月十二號。

這一天，IBM正式向全球發佈十六位元的微電腦。這部以英特爾處理器，搭配微軟磁碟操作系統，取代了蘋果電腦。由IBM領軍的個人電腦，主攻商用市場背書，為波瀾壯闊的個人電腦時代揭開序幕。

第二講、架構

現之電腦結構概分為輸入、輸出、處理三部份，其中處理單元又由記憶單元、控制單元、算術邏輯單元三者組合，連同輸入、輸出，共計五部份。

這個電腦架構是由【現代電腦之父】的馮紐曼率先提出，故稱馮紐曼架構，又稱內儲程式電腦。馮紐曼的想法是：

1. 要有記憶體，用來存放資料與程式，而這些記憶體位址皆能任意讀寫。
2. 須有計算與邏輯的運算能力。
3. 要有一控制元件，負責記憶體與算術邏輯運算等單元之間的資料傳送。

依此想法，現今電腦運作是：

1. 二進位。
2. 一維度的記憶體。
3. 線性執行流程，即同一時間只執行一條指令。
4. 記憶體皆可存取，以二進制存放的數值，是程式與資料。

同屬馮紐曼結構，對記憶體安排，又有兩種不同作法。一種將記憶體分成程式、資料兩區段，稱為哈佛架構¹，以哈佛·馬克一號²為代表。x 8 6 的保護模式³便採用這個架構。

另一種則稱普林斯頓架構⁴，它不分程式、資料，以段號暫存器⁵來分程式段⁶、資料段⁷。這套架構由馮紐曼於 1 9 4 6 年，於普林斯頓大學高等研究院發表，又稱高等研究院⁸架構，簡稱馮紐曼機⁹。x 8 6 的真實模式¹⁰，就是這個架構。

處理器是電腦的運作中樞，它由控制單元、算術邏輯單元組成。因其居中協調，且由眾元件拱之，故稱中央處理器。應用在微電腦領域，特稱微處理器。而記憶體晶片電晶體多，體積大，故在處理器之外，採一維架構存取。實際進行定址¹¹時，因記憶體容量並非固定不變。如要實際存取每個記憶位址，定址線路元件會變得

¹ 哈佛架構，Harvard architecture。

² 哈佛·馬克一號，Harvard Mark I calculator。

³ 保護模式，Protected Mode。

⁴ 普林斯頓架構，Princeton architecture。

⁵ 段號暫存器，segment register。

⁶ 程式段，code segment。

⁷ 資料段，data segment。

⁸ 高等研究院，IAS, Institute for Advanced Study。

⁹ 馮紐曼機，von Neumann machine。

¹⁰ 真實模式，Real Mode。

¹¹ 定址，addressing。

龐大且複雜。調整作法是，在處理器內部加上暫存器¹，用暫存器定址。

算術邏輯單元一次只處理一條微指令，即機器碼²，或稱操作碼³。如：操作碼 00H，表二者相加。因數字與指令對應關係只能死記，為了幫助記憶，故有助憶碼⁴解決方案。針對助憶碼，再用組譯器譯成機器碼即可。

因當時寫程式的人不多，程式師希望一條微指令能做的事情愈多愈好。這樣，一條微指令的運算元多，排列組合也變多。對組合語言程式師是輕鬆，但對晶片設計者而言，工作就複雜了。

為了應用方便，指令功能愈加愈多，微指令愈變愈長，處理器內的解碼元件也愈來愈龐大，使得晶片欲小不易。同時，微指令長度不等長，解碼速度變慢，想要加速也難以下手。只得嚴格篩選微指令，減少不必要的微指令，讓其功能用基本微指令組合而成。

依處理器微指令複雜程度，電腦分成複雜指令集電腦⁵、精簡指令集電腦⁶兩大類。早期的處理器晶片多屬複雜指令集，如英特爾八位元、十六位元系列的處理器。新一代則改採精簡指令架構，如威力晶片。相關應用及生產廠商等說明，列示於表 3 精簡指令集與複雜指令集比較表。

另一種分類方式，則依據處理器存取資料的方式，分成暫存器機⁷、存儲機⁸、堆疊機⁹三大類。如表 4 處理器存取資料的方式。為了減少定址困擾，加快運算速度，在算術邏輯單元加上暫存器，稱做暫存器機。如威力處理器、x 8 6 系列處理器，乃至於奔騰¹⁰、賽揚¹¹等款。可直接在記憶體定址的，稱存儲機。

暫存器機，任何時候，任一指令，都可對任一暫存器進行存取。存儲機則是在任一記憶體位址儲存資料。將暫存器視以堆疊存取方式存取者，則稱為堆疊機，在科研、航天等領域，應用非常普遍。

處理器存取資料，或存放運算結果，不外乎透過記憶體。其存取速度能與處理器匹配，且用途較廣有四種。依速度，分成暫存器、靜態隨機存取記憶體¹²、動態隨機存取記憶體¹³、快閃記憶體。至於硬碟、光碟、軟碟、磁帶等，為外部儲存裝置，處理器通常不直接存取。由操作系統將外部儲存裝置資料，讀到記憶體內，再由處理器接手處理。

¹ 暫存器，register。

² 機器碼，Machine Code。

³ 操作碼，opcode。

⁴ 助憶碼，mnemonic。

⁵ 複雜指令集電腦，CISC,Complex Instruction Set Computer。

⁶ 精簡指令集電腦，RISC,Reduced Instruction Set Computer。

⁷ 暫存器機，register-base machine。

⁸ 存儲機，storage-to-storage machine。

⁹ 堆疊機，stack machine。

¹⁰ 奔騰，Pentium。

¹¹ 賽揚，Celeron。

¹² 靜態隨機存取記憶體，SRAM,Static Random Access Memory。

¹³ 動態隨機存取記憶體，DRAM,Dynamic Random Access Memory。

目前主流處理器多半是暫存器機，暫存器由正反器¹構成。為了加快處理速度加裝速度次快的靜態隨機存取記憶體，做為快取記憶體²。別忘了，記憶體晶片也是英特爾的看家本領。因暫存器存取速度最快，再加上快取記憶體，便能減少處理器向外讀取較慢的記憶體。

因為製程進步，新一代處理器都將暫存器與靜態隨機存取記憶體，放進處理器一併封裝。這使得處理器的體積驟增，良率高低與否，也決定成本。加上時脈大幅提升，晶片的散熱與耗能，都是處理器廠商必須面臨的挑戰。

上述不管那一類的處理器，在馮紐曼架構下，仍要透過時脈產生器³產生的脈衝訊號，來驅動統一各元件的工作。至於最受矚目的存儲機架構，因不受暫存器之限，可以直接在記憶體區交換資料。程式師不必透過記憶體、暫存器之間來交換資料。不但直觀，也減少指令定址的繁瑣工作。

只可惜，因線路複雜，且定址控制器晶片的體積太過龐大。在製程、良率等技術條件限制下，暫未能推出量產品。這部最吻合馮紐曼架構的機器，一直停留在實驗室階段。

在處理器還沒有出現以前，機器是人們的小幫手。只是太過硬梆梆、冷冰冰，不易討人喜。出廠後，機器功能固定，只靠開關與燈號與人們溝通。由於彈性需求愈來愈多，便增加了可程式邏輯控制器⁴，讓機器擁有更多的控制功能。如：電梯便是可程式邏輯控制器的應用實例。

所以用數位微控制器來控制機械，是很常見的。x 8 6 早期設計，留有許多接腳，用來與外部設備相連，也是基於這類應用。後來，個人電腦大興，處理器成了重要元件，衍生出的數位訊號處理器⁵、微處理器、浮點運算器⁶等產品，主宰了數位機器的市場。而智慧手機⁷、個人數位助理⁸、機頂盒⁹、掌上電玩、電視遊樂器、顯示卡等，都需要一顆處理器。至於多媒體播放器，如播放音樂、影片等，由於要與個人電腦資料相容，功能強大之處理器的需求，就更不用說了。

因個人電腦的商務需求，成為市場領航者。數位家電風潮興起，使得消費性電子產品、通訊產品與電腦愈來愈接近，其界線也愈來愈模糊。終於，處理器成了數位機器最具代表性的芯片，一個有如「心臟」般重要的芯片。

早年，還不知微處理器市場何在的蒙昧年代，接下來是廠商互爭市場，硝煙四起。後來更衍生架構之爭，兩大高手互搏生死，還發出號令，要全球廠商選邊

¹ 正反器，flip-flop。

² 快取記憶體，cache memory。

³ 時脈產生器，clock generator。

⁴ 可程式邏輯控制器，PLC,Programmable Logic Controller。

⁵ 數位訊號處理器，DSP,Digital Signal Processor。

⁶ 浮點運算器，FPU,Floating Processor Unit。

⁷ 智慧手機，Smart Phone。

⁸ 個人數位助理，PDA,Personal Digital Assistant。

⁹ 機頂盒，STB,Set Top Box。

站。原本只在市佔率上爭高低，技術差一點沒關係，只求快一點、便宜點。早期處理器很陽春，製造技術也沒跟上，很多功能並不具備。處理器只是光桿司令，強悍功得靠外加。

處理器幾次的關鍵戰役，英特爾以相容性來建立灘頭堡、制高點，深獲市場肯定。最後採用競逐時脈，讓市場瘋狂追逐，並以此做為產品良窳標準。若其他廠商的製程、良率未能跟上，處理器功能、運算速度就難以超越英特爾，價格也降不下來。如快取記憶體、浮點運算器、多媒體延伸指令¹，都是這樣。

齊邏、摩托羅拉、迪吉多等廠商，一一揮手向市場告別。威力聯盟²的領地也愈縮愈小。架構自此定為一尊，x 8 6 才是正統。即使相容廠商，也被驅逐出境。彷彿只剩系出同門的超微，能給英特爾一絲威脅。

1995年成立的全美達公司，其優異研發實力，頗令市場期待。原本瞄準嵌入式設備的全美達，因傑出的省電技術，決定將大軍開入筆電市場。但卻遭英特爾軍團設伏，予以迎頭痛擊。此役，全美達受傷甚重，裁員以求自保，宣佈退出晶片製造市場，更試圖轉型以晶片智財權與其他公司合作。例如，她將自豪的電源管理技術，與日本索尼公司合作。替其便攜產品，及新一代的電玩遊戲機處理器，注入新的活力。可惜，全美達一如前賢，最終向市場告別。

鑑於威力聯盟、全美達的慘痛經驗，安謀可不想與英特爾硬碰。它採用智財權的經營模式，為晶片設計公司帶來一片天。精簡指令架構，天生就有省電的基因、優異的浮點運算。但安謀沒有發動鋪天蓋地的攻勢，反而是靜悄悄地走入利基市場，如低價晶片、可攜式設備。她將處理器功能一一模組化、設計客製化。首先，歐洲廠商與之合作，後來是日韓廠商。從手機到個人數位助理，從印表機晶片到機頂盒，甚至是家電產品。等英特爾發現浮上水面的安謀，早就在市場站穩腳步。甚至，為了知己知彼，市場霸主英特爾不得不派人到安謀取經。

微處理器的英特爾，數位訊號處理器的德儀，手機、個人數位助理晶片的摩托羅拉，遊戲機的索尼，麥金塔的威力聯盟。因界線泯滅，各霸一方的王者，終將一戰。而稱孤道寡的爭鬥，絕對是有我無你的零和遊戲。

還好處理器不理人間事，它靠著時脈產生器，在固定時間送出脈衝訊號，宛如心臟固定泵出血液，協調麾下各個單元提供服務。算術邏輯單元，是電腦運算中樞，能執行邏輯判斷。雖尚不及人，但配合儲存設備及軟體程式，在記憶、運算及資料處理，已遠勝當初創造她的人類。

依據時脈週期³，驅動元件一致。也為處理器內外的傳送工作，奠定良好基礎。聽覺、視覺、味覺、嗅覺的辨識元件，則是她的感官。隨地形而設的機械裝備，是她的手腳，這個具體而微的矽族精靈早已成形。現在只待為她裝上慎思、學習、明辨等能力的冷靜腦，還有感同身受的溫暖心。這麼一來，碳族就完成上天交付的進

¹ 多媒體延伸指令，MMX, MultiMedia eXtension。

² 威力聯盟，PowerPC alliance。

³ 時脈週期，clock cycle。

化使命了。

第三講、競逐

農業革命後，人們不再靠游牧漁獵維生，獸力也在農業生產領域，取代人力。糧食產量日增，得以應付日漸增多的人口。工業革命後，在手工與機器孰優的爭論聲中，機器又悄悄地取代了人力與獸力，成為生產主流。

工業革命解放了生產力，從農田、森林、鄉村走出的人們，進入城市、工廠、辦公大樓，塑造了工業文明與城市面貌。原本與大自然、鳥獸為伍的人們，變得仰賴機器及商業文化。大家都希望快，可以再快；便宜，要更便宜。提高生產力，只為了製造更多、賣出更多，經濟才能不斷地成長。

電晶體的發現，讓機器變得更快、更小、更輕、更便宜。機器從齒輪、螺絲，成了電子線路與晶片。這是人類文明震天價響的第三波革命，也是電腦君臨天下的時代。

首先，由數位機與類比機相互交鋒；類比機火力不暢，日漸淡出，數位技術成了主流。緊接著是專用機與通用機進行對決，基於市場需求、研發成本、生產效率的考量，通用機躍居成為主力產品。市場決定一切，奠定新霸主的血統：數位系統的通用機。

大局雖定，但盟主之位誰屬？早期，有能力使用電腦多半是政府、軍方，再不然就是跨國企業。美國廠商取得先發球員資格，率先下場打球。當時著名的供應商有八家，其中有家規模遠大於其他七家，人們稱此是巨人與七矮。巨人便是首任電腦雄主，鼎鼎大名的IBM公司。因公司商標是藍色，逕稱藍色巨人而不名。

由於電腦為人們提升的工作效率，非常明顯，美國政府大力提倡，視為進步象徵。高等學府、科研中心都擬引進電腦，但大型主機，對他們而言，實在是太貴了。迷你電腦開始風靡於學術、科研界，這便是迪吉多興家的秘密武器。即便如此，迷你電腦只是利基市場，不如中大型電腦利潤豐厚。例如IBM憑系統360¹，在軍方、政府、學界、大型企業等領域無往不利，穩居霸主之位。

而接下來的小冒失鬼：微電腦，在蘋果電腦的推波助瀾下，挾著開放標準崛起，意外地成為新王。初期，IBM輕忽這個小兄弟，認為不過是孩子們的玩具而已。直到微電腦證明，它有實力影響主機市場，IBM才決定，不能在這個新市場缺席。

因微軟與英特爾積極任事，巨人很快就挑上這兩個伙伴，協同進攻微電腦市

¹ 系統360，IBM system 360。

場。這部拼裝而成的個人電腦，貼上 I B M 標誌，向蘋果國度進發了。正巧，蘋果電腦由開放架構走向封閉系統，並擬收取高額的授權費用，激怒全球獨立軟體開發商。趁此良機，I B M 藉由本身於商界卓著信譽，及宣佈開放硬體架構。一舉令個人電腦成為商用伴侶，再也沒有微電腦的生存空間。

蘋果電腦扛不住全球軟硬體開發商，聯合背棄的苦果，只得讓出王座。但 I B M 用貼牌政策貿然應戰，卻扶植出兩個可怕敵人。這場大型機與微型機的爭霸，歷經十年，個人電腦終於勝出。不過新任霸主實為雙雄共治，他們分別是微處理器的硬體霸主英特爾，操作系統的軟體霸主微軟。

個人電腦以小搏大，迪吉多、王安等廠商，因應變不及而慘遭滅頂。這場大戰的勝利者，最終屬於應時應變者。而 I B M 光環盡褪，即便推出新的個人電腦架構，與操作系統，都無功而返。後來她轉型為資訊服務商，才保住命脈，成為一隻會跳舞的大象。

微型機雖得膺王命，核心是精簡還是複雜指令架構，仍有得爭。電腦初問世，採用複雜指令架構。因為它的機器指令變化多、功能強，雖然微指令邏輯動作較複雜。通常用一條或數條機器指令，就能完成工作，特別是記憶體定址。這麼一來，撰寫系統程式，程式師負擔小，低階程式相對容易。再加上複雜指令集的處理器，是當時唯一量產的處理器核心，所以複雜指令集電腦一直獨領風騷。

早在 1965 年，不世出的電腦奇才、超級電腦之父西摩·克雷¹，為康大電腦設計型號 CDC 6600，被公認是精簡指令電腦的起源。但這只是一部精簡指令架構的概念機。

後來在 1960 年代末期，查理士·摩爾²又提出堆棧處理器架構。這個架構，在單晶片控制、封閉式架構、學術科研等領域，取得亮眼成績。不過大型主機、迷你電腦、微電腦等，仍以複雜指令集核心為主。當然，英特爾的空前成功，直接把複雜指令集架構，推上處理器的衛冕者寶座。

除了存儲機停留在實驗室裏，另兩種架構的處理器，向與複雜指令集不共戴天。三者各自在所屬領域，闖出一片天。只因微電腦用途廣泛，短兵相接的白刃戰，終難避免。

各行業依賴電腦日深，對處理器要求，不單是提升速度而已。即除了速度快，還希望低耗能、體積小、價格低、功能多。以複雜指令集單一架構，想要同時滿足似有困難。除了微指令多且長，機器指令長度不一，硬體加速難度高。而處理器的解碼元件，線路也會變得很複雜。若再把快取記憶體加上，晶片體積令人咋舌，晶片良率也令量產的可能性推遲。

後來人們對數值運算、影音圖形等多媒體功能，有強烈需求，微處理器一直未能滿足。因為以複雜指令集為核心的微處理器，似已走入死胡同，業界迫切需要嶄新架構，來解決這些問題。在人們引頸企盼下，精簡指令架構以仰攻方式，

¹ 西摩·克雷，Seymour Cray。

² 查理士·摩爾，Charles Moore。

進行陣地爭奪戰了。

1975年，IBM簽下一份發展高速電話交換系統的合約，這個案子由在紐約的華生研究中心¹負責，專案領導人是約翰·科克²，代號801。科克看得比專案需求更高、更遠，目的是發展一顆晶片，適用於小型、中型、大型電腦。雖這顆晶片電晶體大小，依需求不同而變動。但主要機器指令，則通用於各型號晶片，軟體程式便可減少改動。

這一概念，承先啟後。前承克雷的精簡想法，後啟IBM精簡指令集的研發計劃。這個計劃在1976年就做出實驗機，可是一直遲至1990年，才正式推出RS-6000系列機型。

後來IBM與蘋果、摩托羅拉進行大和解，合組威力聯盟。IBM拿出這顆晶片，做為威力晶片的核心，成了聯盟的主要武器。不過在八〇年代，這顆晶片的名氣，還沒這麼響亮。

1981年，英特爾內部正進行代號432的研究計劃。這是個全新架構，即三十二位元精簡指令集。1983年英特爾在以色列的研發中心，又進行代號N3的精簡指令集研究。跟432計劃不同的是，N3這顆晶片定位在運算輔助器³。

1985年，英特爾以432計劃與西門子公司進行合作，專案名稱改為BIIN。只是當時英特爾的微處理器業務大好，不願意搬石頭砸自己的腳，所以這個計劃沒有大肆宣傳。承襲432計劃而來的新處理器，最後沒有成為英特爾新一代處理器，而轉為嵌入式控制器⁴。這顆以960為系列型號的處理器，大多用在雷射印表機，做為機器的控制中樞。

這時業界對精簡指令架構似乎還興趣缺缺，但觀念已在學術圈生根發展，由史丹佛、柏克萊兩所大學接棒研究。學術界，特別是在美國西岸，有兩大主力。一個是大衛·帕特森⁵的柏克萊RISC計劃⁶；另一個是約翰·軒尼詩⁷的史丹福MIPS計劃⁸。

大衛·帕特森的工作團隊，1980年向全球發佈，精簡指令處理器核心已開發成功。這位人稱精簡先生⁹的帕特森，曾自述他設計精簡指令架構的主因。他認為，當時只有四吋製程，晶片做太大不划算，而動態存取記憶體價格也太貴。如1977年，1MB報價要五千美元。所以：

1. 晶片空間有限，容納不下太多電晶體，一定要精簡、瘦身。

¹ 華生研究中心，Thomas J. Watson Research Center。

² 約翰·科克，John Cocke。

³ 運算輔助器，Co-processor。

⁴ 嵌入式控制器，embedded controller。

⁵ 大衛·帕特森，David A. Patterson。

⁶ 柏克萊RISC計劃，Berkeley RISC。

⁷ 約翰·軒尼詩，John Hennessy。

⁸ 史丹福MIPS計劃，Stanford MIPS。

⁹ 精簡先生，Mr.RISC。

2. 記憶體價格太貴。
3. 基本指令只要三十九個即可。

而符合精簡指令架構的精神，應該是：

1. 指令精簡，線路精簡，騰出空間，可提供更多暫存器。
2. 縮減晶片體積，降低耗能、發熱，提升速度。
3. 指令定長，用硬體加速機制，提升執行效能。
4. 記憶體定址單純化，只能透過載入、存出機制。

帕特森所研究的晶片，成功之處在於引入管線¹及分支延遲²。軒尼詩教授的團隊，則將解決方案放在軟體。即以精簡指令集硬體為基礎，但靠編譯器及其他軟體技術，來達成精簡指令的完整概念。

正如史丹福M I P S計劃所示，不必靠複雜的硬體機制來完成，特別是沒有採用管線，就理論推斷，管線硬體提升效率較優。可是，像帕特森的晶片，其管線已達三階，這是個複雜結構，遑論管線依存與互鎖等問題。

為了解決這個問題，史丹佛團隊將造成管線優化的程式，用編譯器檢核，在進入硬體前，先行解決。於是，程式執行效率更流暢，但硬體卻相對簡單。即三階管線造成依存、互鎖等問題，史丹佛團隊的編譯器在轉譯機器碼時，就已察覺。透過軟體技術，提示程式師問題所在。

實際上，史丹佛的M I P S晶片性能，確實優於柏克萊的R I S C，這兩個計劃對後來的威力晶片結構，也有相當影響。

昇陽³決定引進帕特森技術，做為昇陽新一代工作站處理器核心。1985年昇陽推出可變處理器架構⁴晶片，成功地取代原有摩托羅拉處理器。在1988年積極推動可變處理器架構聯盟⁵。這是精簡指令陣營，向英特爾的第一波挑戰。昇陽進行聯盟運作，便是學習I B M當年挑戰微電腦盟主的方式。軟硬體架構對會員完全開放，會員只要付授權費，便能製造相容機種。

臺灣在工研院電子所主導下，號召臺廠加入該聯盟。昇陽承諾積極授權，嘉惠聯盟成員。「精簡指令與U N I X 對決 複雜指令與D O S」⁶，是當時聯盟口號。昇陽不僅與英特爾進行處理器架構戰，更點名要微軟接招。

微特爾陣營確實是共生共榮的。微軟立刻加強視窗操作系統的宣傳，雖然那時對視窗系統評價不高。英特爾也加快新一代晶片的開發速度，甚至重啟精簡指令架構開發。也就是說，英特爾在公司內部，及早掀起精簡指令對複雜指令大戰。勝出晶片，再代表英特爾出馬角逐王座。

¹ 管線，pipeline。

² 分支延遲，branch delay。

³ 昇陽，Sun Microsystems。

⁴ 可變處理器架構，SPARC, Scalable Processor ARChitecture。

⁵ 可變處理器架構聯盟，SPARC alliance。

⁶ 精簡指令與U N I X 對決 複雜指令與D O S，RISC+UNIX vs CISC+DOS。

昇陽雖然在工作站領域表現優異，新晶片也成功地將摩托羅拉68030逼出工作站市場。但個人電腦用者眾，想要建立新標準，首要就是相容，否則難見其功。若未能儘快打開市場，聯盟成員望之卻步。成員少，動作小，聲勢難起，傳媒、大眾的疑懼就更多。

昇陽將晶片技術授權給富士通、東芝、德州儀器、巨積¹，參與製造、組裝的臺灣廠商有大同、旭青。但市場遲遲未見，各家廠商難以分食。更糟的是，身為盟主的昇陽，卻在技術上留一手。聯盟相容廠商只能生產低檔產品，獲利有限，無法與昇陽競爭。成員們的雜音愈來愈多，最後除了昇陽自己，只剩下晶片廠德州儀器，組裝廠大同。由昇陽領軍的第一戰，只能吞下敗戰苦果，空留處理器評比向隅。請見表5微處理器性能評比。

1990年，史丹福的精簡指令晶片，也開花結果了。這顆叫做MIPS的晶片，由其開發團隊組成密普斯公司²，負責晶片推廣。同時鮑伯·米勒³也進一步籌組先進電算環境⁴聯盟。聯盟很快授權恩益禧、東芝、西門子生產晶片。也說服迪吉多、視算科技⁵、康柏加入這個聯盟。這一波攻擊，要以康柏最令微特爾陣營震動。

康柏係以IBM個人電腦起家，市佔率高，是當時微特爾陣營要角。康柏若撤守微特爾陣營，不啻在該陣營引爆炸彈。因此，康柏面臨各方勢力遊說。而康柏在個人電腦的市佔率下滑，新市場則未見成效，亦是兩面受壓。

1991年，康柏退出先進電算環境聯盟。而迪吉多又把心思放在阿爾發晶片⁶開發工作。1992年，視算科技出面買下密普斯公司，這個聯盟也告壽終正寢。

而1990年，橡實公司⁷、蘋果電腦則遠離美國主戰場，在英國成立安謀公司。從安謀公司的英文名稱⁸就可看出，它定位在精簡指令機器，期許自己技術更加精進。

橡實公司是全球第一家，推出商用精簡指令晶片的廠商。安謀也繼承母公司研發傳統，於精簡指令集晶片推出更加精進的技術。它以授權不生產的方式，避開英特爾，與其他同屬精簡指令集的競爭對手。

1992年，夏普取得安謀的授權，隔年則是德州儀器。1993年，日本創投⁹更入股安謀。穩定的資金來源，令安謀更能高枕無憂。而迪吉多也取得安謀授權，投注不少精力在這顆晶片。

在九〇年代初期，德州儀器搶進數位訊號處理器領域，成為領導廠商。主要手機大廠，多半採用德儀的數位訊號處理器晶片。到了九〇年代後期，英特爾才

¹ 巨積，LSI logic。

² 密普斯公司，MIPS Corp.。

³ 鮑伯·米勒，Bob Miller。

⁴ 先進電算環境，ACE, Advanced Computing Environment。

⁵ 視算科技，Silicon Graphics。

⁶ 阿爾發晶片，ALPHA chip。

⁷ 橡實公司，Acorn Inc.。

⁸ 安謀英文名稱，ARM, Advanced Risc Machine。

⁹ 日本創投，Nippon Investment and Finance。

驚覺德儀的實力，收購 LevelOne。還有專做手機晶片組的以色列公司，DSP Communication。並與亞德諾公司¹合作，發展數位訊號處理器的核心技術。

英特爾沒忘記用訟訴火炮，成功地在迪吉多公司的皇冠上，轟掉安謀晶片這顆耀眼的金鑽。英特爾亦不負霸主之名，拿安謀晶片改製，成為英特爾的強武晶片²。改裝安謀晶片的過程，英特爾功力大增，亦得窺精簡指令架構的堂奧。更取得類似產品，得以進攻移動市場，這是原先由德儀居領先地位的市場。

精簡指令集陣營第三波攻勢，最為華麗浩大。這是在1992年，由威力聯盟發動總攻的戰役。蘋果電腦、IBM、摩托羅拉三家公司決定大和解，合組威力聯盟，這真是業界的夢之隊³。這場戰役一直持續到下個世紀，媒體更是全力報導紛擾、煙硝四起。微特爾陣營也拿出實際產品，正面決戰。

連續三波攻擊，其勢不斷，從1988就吹起進攻號角。先是昇陽領軍，視算科技繼之，威力聯盟則統其兵鋒，在IBM的率領下，全力搶進個人電腦。三大聯盟的聯軍部隊如同接力賽般，用同一個武器：精簡指令集，向微特爾叫陣。

後來英特爾新晶片的優異表現，拉開與對手距離。前兩波的攻擊，以昇陽退回工作站，視算科技退回繪圖工作站之利基市場作結。而威力晶片與英特爾纏鬥較長，在操作系統力挺UNIX、LINUX，持續與微軟視窗系統捉對廝殺。

微特爾陣營掌握市場脈動，積極回應市場需求。不論是宣傳戰、產品戰，他們都能提出有效反擊。更重要的是，他們充份地應用市場領導者的優勢，配合相容性、市佔率的火網支援，成功壓制精簡指令集陣營的火力。甚至不惜以盟主號令，將挑戰者判定為柔性的非法政變。

除了策略、手法的成功，就實際產品，英特爾的表現也是有目共睹。老舊的複雜指令集則如老將守城，沉穩鎮定。而微特爾本身，不斷地推出新產品，以今日之我，挑戰昨日之我，成功地穿上改革者的金裝。反觀精簡指令集陣營，空有新架構之名，但晶片產能遲未開出。即便效能在學理上較優，卻也讓英特爾以一、兩代產品，就能追上。

而市場觀望主因，是軟硬體的相容性。因為過往投資，如被微特爾綁架的人質。擔任挑戰者的精簡指令集，只有一時半會的清新感受，卻端不出牛肉。不能在價格讓人感到驚豔，更沒有讓消費者在相容性轉換做好準備。而英特爾與微軟的緊密結合，優異的行銷策略，更加重消費者的惰性，不肯輕易換機。這一波仰攻，就剩下美夢報導了。

正面戰場膠著，堆棧機則發動側翼奇襲。堆棧機以晶片體積小、功能強、使用簡單為號召，早在科研單位享有盛名。不過，成名雖早，且在航天、科研應用多，但似未能走出專用機的象牙塔。

在符式協會⁴鍥而不捨的推廣下，以符式語言⁵配合單晶片堆棧機架構，堆棧

¹ 亞德諾公司，ADI, Analog Devices Inc.。

² 強武晶片，Strong ARM。

³ 夢之隊，Dream Team。

⁴ 符式協會，FIG, Forth Interest Group。

⁵ 符式語言，Forth。

機常出現通用機市場。其體積小巧、計算功能強大、宏指令¹組合靈活、內建高階語言介面，莫不令人留下深刻印象。摩爾設計堆棧機時，認定堆棧是處理器的基本結構，捨此別無他途。只要對問題了解夠深，便能將問題化繁為簡，變成堆棧機所需的表示式。

符式協會於1973年成立後，開始進行一連串的商业推廣。讓美國太空總署²等科研以外的重要廠商，如戴姆勒·克萊斯勒汽車³、聯邦快遞⁴使用。鑑於組合語言的標準不一，故現今跨平臺的電腦語言，多半由C來擔任。符式協會在1979、1983年提出符式語言的標準，1994年獲美國國家標準協會⁵通過。

在嵌入式系統⁶領域，符式協會更加努力耕耘。昇陽公司用符式語言，於1980年，推出唯讀記憶體啟動檢測晶片，就是符式人津津樂道的例子。這顆晶片獲得許多廠商採用，如蘋果、摩托羅拉、IBM等。這顆晶片也在1994年，通過電機電子工程師學會⁷認證，成為嵌入式系統工業標準。

對軟體平臺的應用，符式協會也不遺餘力。1978年，推出多工⁸系統的晶片開發工具，從8051、68000，再到x86，都能使用這個工具來開發應用程式。

英特爾1985年推出386，半導體製程開始飛躍進步。所以，英特爾不但將快取記憶體放進處理器，在486核心，也把浮點運算器⁹併進來。386優異相容能力，486的速度提升，應歸功當時的首席工程師，後來獲頒英特爾學人¹⁰的約翰·柯勞福¹¹。學人稱號，在英特爾地位相當副總裁，且只有技術人員才有資格取得。柯勞福原本是寫解譯器的程式師，後來加入英特爾，轉型做晶片設計。他為386晶片開出的條件只有三個：回溯相容、32位元、最短開發時間。

他規劃的80386有三種工作模式，兼具相容與創新。第一是真實模式，適用8086與8088。第二是保護模式，兼容80286。第三種是加強模式¹²，屬80386，真正32位元的工作模式。

這個架構大受歡迎，相容性高，效能也好。使用者很快地拋棄286，投向386。而英特爾投入精簡指令的研究經驗，對該架構有新認知，也累積後續改進的本錢。

486同樣由柯勞福操刀。開發486時，他提出了精簡佬¹³的概念，或稱

¹ 宏指令，臺譯為巨集指令，Macro。

² 美國太空總署，NASA, National Aeronautics and Space Administration。

³ 戴姆勒·克萊斯勒汽車，Daimler-Chrysler。

⁴ 聯邦快遞，Federal Express。

⁵ 美國國家標準協會，ANSI, American National Standards Institute。

⁶ 嵌入式系統，embedded system。

⁷ 電機電子工程師學會，IEEE, Institute of Electrical and Electronic Engineers。

⁸ 多工，multi-task。

⁹ 浮點運算器，FPU, Floating Processor Unit。

¹⁰ 英特爾學人，Intel Fellow。

¹¹ 約翰·柯勞福，John Crawford。

¹² 加強模式，enhanced mode。

¹³ 精簡佬，riscy。

類精簡¹作法。他將微處理器的整數運算單元，採用精簡指令架構，方便加速處理單一指令，其他部份則保留複雜指令架構，減少為相容性投注的心力。

雖然這麼做，晶片體積會變大，耗能、散熱也是問題。但製程進步，讓英特爾有恃無恐，能裝的全裝上，這還能搭上當時熱門議題：系統單晶片。

486不但裝上了386，還搖身一變，成了精簡佬。奔騰的多媒體延伸指令晶片，是另一顆複雜指令集。既然，堆棧機在運算方面有優異效能，那麼也裝上吧！奔騰浮點運算器的組合語言指令，暴露自己血統與堆棧機有關。符式人更明白地說，那顆浮點運算器，根本就是x86版的堆棧機！

¹ 類精簡，risc like。

第四講、爭鋒

1979年秋天，英特爾公佈了致勝計劃¹，這是攸關該公司未來五年的發展藍圖。在計劃中，英特爾向世人承諾，將推出一系列如8086、8088、80186、80286等處理器，彼此完全相容，執行時脈也會大幅提升。那時，英特爾剛擊敗齊邏，8086、8088也才問世。

當英特爾拿這個計劃向IBM簡報時，打動了IBM。IBM向以正規作戰方式聞名，從不搞即興式的烟花秀。英特爾公開發展路線圖，讓世人知道，在某個時間點，可得到英特爾某種產品。

而英特爾的處理器，與蘋果採用的摩托羅拉晶片迥異。聯合次要敵人，打擊主要敵人，是大家一致的信念。於是IBM決定以英特爾的產品，進行個人電腦研究，後來也推出搭載8086的IBM個人電腦。

英特爾從創始，就不斷地累積鬥爭經驗。快捷一枝開三花，國家半導體、超微、英特爾，是一脈相承、系出同門。當幸運之神找上門來，英特爾常能抓緊時機而已。齊邏只是英特爾禍起蕭牆，自己人打自己人的首例。

當個人電腦良機出現，英特爾全力以赴，獲得IBM青睞。最終，以策略伙伴，正式出現在世人面前。難得的聯盟經驗，讓英特爾熟悉運作技巧。後來，不同架構陣營，以聯盟發動仰攻與奇襲，英特爾都能巧妙、快速地拆解攻勢。

當快捷的技術骨幹相繼離職後，記憶體市場就沒他的事了。一度擬奮起，與英特爾在微處理器再較高下。但財力不繼，便由國家半導體併購快捷，藉此做起x86相容生意。

其實，不只國家半導體，IBM個人電腦的相容廠商，為了保障貨源充足，早就向英特爾要求第二貨源的方式供貨。即英特爾在產量不足，或供貨不及的情況，須將晶片授權給其他廠商生產。聯盟提出的供貨要求，其實是IBM防止英特爾獨大的箝制手法。

英特爾勉強同意了，恩益禧、超微、西門子都是8086、80186、80286的授權生產商。超微以系統晶片組²技術，在1982年與英特爾達成長達十年的相互授權。西門子也因與英特爾結緣，在1985年，兩家公司策略聯盟，共同開發精簡指令集架構。

後來，80387的輔助運算器供貨不暢，一群來自德州儀器的工程師創辦

¹ 致勝計劃，crush campaign。

² 系統晶片組，chipset。

賽瑞仕公司。他們推出與 387 相容的輔助運算器，賺了不少錢。486 以後，英特爾將輔助運算器與處理器一起封裝，對賽瑞仕而言，利基市場就不存在了。為了減少英特爾以專利訴訟緊扣公司發展命脈，賽瑞仕公司採取與 IBM、德州儀器合作，進行專利交互授權。

面對產能吃緊，英特爾不斷提升良率並擴廠，且儘可能不再授權給其他廠商。因為微處理器已成氣候，臥榻之旁，豈容他人酣睡？首開微處理器相容風氣，當然也是美商。最知名的，是由超微公司領軍的 x86 相容處理器。

早年，超微與英特爾達成相互授權協議。超微創辦人桑德斯不但出身英特爾，他與葛洛夫的私交也好。就在英特爾不斷地以控告對手，及可能停止授權的作法，對相容廠商趕盡殺絕。這家系出同門，公私領域皆有情誼的公司，也被列入打擊對象。「身在曹營心在漢」的超微，自然要扛起 x86 相容陣營的大旗。

超微用逆向工程¹的方式，率先做出 386 相容晶片，並藉此順利進入 486 領域，緊接著以 K5 晶片挑戰英特爾的奔騰晶片。賽瑞仕、國家半導體也進入這相容陣營，與英特爾大搶生意，在 x86 相容業務上，三者分居前三名。而台灣廠商，也進入了這個戰鬥圈。當時還是整合元件製造廠²的聯華電子，在晶片設計部門的支援下，推出了聯電節能處理器³的 486 相容產品。

面對 x86 相容陣營的蠶食，英特爾則毫不手軟。以時脈為新產品訴求，並加快產品的開發腳步。這個一魚二吃的手法，可同時面對來自精簡指令集與相容陣營的強大挑戰。

1989 年，原任職國家半導體的烏里·魏塞⁴，加入英特爾的微處理器部門，並提出新的設計觀點：超純量⁵。後來這個觀點融入新的處理器架構，代號 P5，自 1990 年開始的專案。

這個計劃在 1992 年 5 月完成，命名時，英特爾放棄以數字命名的慣例，改稱奔騰晶片，而不再是 586。英特爾，真是人才濟濟。事後來看，這好似很容易。拿同一時間的昇陽公司來看，他們也在進行晶片改進計劃。晶片設計已完成實驗品，若時脈超過 40 MHz，實際運作會出問題。但奔騰卻能穩定奔至 66 MHz。

1997 年，賽瑞仕研發出 MediaGX 整合型 x86 處理器。這顆處理器將原有 x86 架構做了變動，為了讓變動不致造成相容問題，所以推出虛擬子系統⁶架構。透過韌體協助，設定中斷向量呼叫⁷，運用中斷攔截、轉向等技術，達成相容要求。

¹ 逆向工程，Reverse Engineering。

² 整合元件製造廠，IDM, Interated Device Manufacture。

³ 聯電節能處理器，UMC green CPU。

⁴ 烏里·魏塞，Uri Weiser。

⁵ 超純量，Superscale。

⁶ 虛擬子系統架構，VSA, Virtual Subsystem Architecture。

⁷ 中斷向量呼叫，INT call。

而烏里離職，國家半導體的處理器開發，就趕不上英特爾，只好與賽瑞仕策略聯盟。後來國家半導體決定併購賽瑞仕，並把 MediaGX 處理器改成 Geode 處理器，試圖在處理器，與英特爾一搏。

幾回合交戰下來，國家半導體決定退出處理器市場。將處理器部門一分为二，其中一部份賣給臺灣威盛電子。另一部份，即 Geode 處理器，則於 2003 年賣給超微公司。2006 年大行其道的百元電腦，使用超微 Geode 處理器，其技術就是源自賽瑞仕 MediaGX 整合型 x86 處理器。

威盛電子從在國家半導體手中，接下處理器，並保持與國家半導體的合作默契。在其 x86 專利傘，發展省電低耗能處理器。一連串成功，讓威盛自認已獲神之應許，將演出大衛王出戰巨人哥利亞的神話。

當聯電以潔淨室¹的設計方式，推出 486 相容產品，則立即遭英特爾對聯電提出告訴。1994 年，聯電忍痛結束晶片設計，轉型成品圓代工。臺灣自製處理器的夢想，也因此折戟沉沙。聯電雖與英特爾化敵為友，卻又拉攏超微，想幫超微代工。至於泛聯電的晶片組業務，早被英特爾高昂授權費，把利潤吃光了。

賽瑞仕、國家半導體、聯電，被迫退出 x86 相容市場。即便英特爾已有奔騰，都不許別人進入 486 以上領域。英特爾不但要清理戰場，接收他人戰果。對有可能成為戰士的少年，更要滅而絕之。威盛進入處理器市場，為了避免與英特爾全面決戰，便轉進嵌入式設備。還留在相容微處理器陣營，與英特爾叫陣的廠商，只剩下超微一家而已。

從理念來看，馮紐曼結構簡單，處理器設計也有很多人才湧現。數位訊號處理器、微控制器、堆棧機等，就晶片設計立場，與處理器真的相去不遠。

那英特爾憑何奇策爭鋒得勝呢？不妨看看微特爾帝國常採用的專利訴訟吧！高科技以資本為規模，用專利當武器，恃國力為後盾，挾產品搶市場。和百年前殖民帝國，挾船堅砲利，培養洋奴、買辦，開拓海外市場的手法，沒什麼兩樣。

其遊戲規則是，有構想、概念要找到科學理論的支持；有了理論、方法，就能申請專利。有專利衍生技術，有技術方有產品。有產品要有市場，有市場才有產量，有量就能訂規格。也只有跟隨市場領導者的規格，才能帶來銷量。規格衍生的專利，及爾後的法律大棒，才是市場領導者阻絕挑戰者的依憑。

譬如，源自校園聲勢浩大的精簡指令集，就學理來說，其架構簡單、設計容易。但實用階段如何呢？符不符合規格？能不能與舊有產品相容？不用學理的高深知識，就用常識性來推想吧！

能夠表達一個 0 或 1 的基本單位，叫做位元。位元數愈多，能表達的數值愈長，能處理的資料量也愈多。32 位元電腦，表示處理器一次抓取 32 位元資料，也能表達 2 的 32 次方的整數。

而微處理器內部元件眾多，彼此速度不一。為令元件齊步，便裝上時脈產生

¹ 潔淨室，clean room。

器，在固定時間送出脈衝訊號，宛如要所有元件對錶。這個石英鐘¹震盪頻率動輒以百萬赫茲計，計為 MHz。震盪頻率的基本單位是赫茲，計做 Hz，一個赫茲表示一秒震動一次。而 1 MHz，表示一秒鐘震動一百萬次。

所謂的每秒百萬指令數²，則是用來評量處理器的執行效能。若處理器的時脈震盪頻率是 500 MHz，指令平均要 5 個時脈週期才能完成，計算式： $500\text{M}/5=100\text{M}$ ，表每秒能處理一百萬個指令。因此，當英特爾從 16 位元升至 32 位元，處理器的處理能力大增。若位元數不改變，要提升性能，可提高時脈，或降低執行指令所需的時脈週期。

也就是說，不斷地提高時脈，在指令所需時脈週期不變的情形下，每秒能處理的指令數當然提高。這要付出的代價是，耗能、散熱與信號干擾。另一個方式是，降低指令的時脈週期，如增加暫存器數量、快取記憶體、超純量、管線等，這正是精簡指令集的拿手好戲。

精簡指令集在設計過程，以邏輯線路立場，對微指令進行全面篩選。不常用指令、定址繁複，或用基本指令組合可得的複雜指令，一律取消。這麼一來，指令集才能變精簡。同時嚴格限制指令個數，固定指令長度，解碼元件線路就變得簡單，解碼執行之效能也可提升。因晶片體積變小，晶片內部又可放入靜態隨機存取記憶體，做為快取，並將暫存器數量一舉增至 32 個。

也就是說，設計者費了諸多心力，精簡了複雜指令集因架構所帶來的浪費，只為了讓晶片體積變小，節能、不發燙，並提升執行效能。於此，精簡指令架構確有貢獻。反觀英特爾的 x86 系列，為了相容，一般暫存器只能有七個，指令長度又不定長。貿然提升震盪頻率，耗能、散熱將成為處理器的災難。

由於製程技術進步，晶片體積變小，使英特爾加入快取記憶體、浮點運算器，雖然這令封裝測試變複雜，且降低良率。不過，486 已成功解決，令此構想可行。

其實，不要忘記英特爾曾投入精簡指令集研發。原本的 432 計劃，就是與西門子合作的專案。英特爾由兩位工程師，雷斯·柯恩³及香港華裔工程師傅世偉，持續研究。後來這個計劃改稱 N10，定位在運算處理器，1986 年改為 860 計劃。

1986 年，英特爾依「兩位一體」策略，同時啟動兩個研發計劃。也就是，除了 860 計劃，還有 486 的開發。兩個小組同步競爭，也相互交流。而 860 晶片在 1988 年底，486 在 1989 年初，兩者都試產成功。

1989 年，英特爾正式推介 860 與 486。860 定位在工作站、超級電腦領域，做為迎戰昇陽的武器。486 則用在個人電腦，接替 386。英特爾讓市場銷量來決定，兩個晶片的生與死。1990 年，微軟推出視窗 3.0，配合 486，又再度打響微特爾名號，獲得市場青睞。

¹ 石英鐘，crystal clock。

² 每秒百萬指令數，MIPS, Mega-Instructions Per Second。

³ 雷斯·柯恩，Les Kohn。

沒有IBM等廠商加持的堆棧機呢？只好強調本身的技術優異。如：指令定長、單晶片、宏指令靈活組合、超強運算能力等。透過符式協會的技術規範，獲得幾個重要電子、電機協會的認可，就是不想受制英特爾。堆棧機以專用機市場起家，在航太、軍用、科研獲得良好口碑。挾其彈性應用及短小精悍的特色，回過頭來，要搶佔通用機的龐大市場。

但在實務上，堆棧的深度、個數、長度，才是決定堆棧機效能及體積的關鍵因素。堆棧的操作特性，如先進後出、單一方向，確實為資料處理便利與否，帶來諸多疑慮。這些疑慮，符式人很少正面回應。也許市場不是最好裁判，但這些疑慮，讓堆棧機無法成為通用機的市場選擇。

有了486的成功經驗，並解決良率、封測等生產問題。在魏塞主導下，再引進超純量架構，由於英特爾已有860晶片的經驗，也順利解決相關問題。為了一統江湖，也為了化解堆棧機的奇襲。奔騰晶片大方地採用精簡架構核心，浮點運算器更是完整的堆棧機架構。一顆奔騰處理器，竟將學理上所有的處理器核心合而為一，順利量產，運作無虞。

一馬當先的奔騰晶片，為英特爾打下意氣風發的黃金十年。以下是封裝後晶片的性能評比表，昇陽與威力等晶片，也在表內。由表5微處理器性能評比可知，即使精簡架構領先，也不是遙遙領先。但英特爾每次都有進步，也讓消費者熟悉英特爾，相信英特爾。即便是英特爾出錯，也都誠實面對，快速彌補。而相容性，更是挑戰者的單門。

因為個人電腦多用在商界，對商界而言，相容及持續穩定運作，才是最重要的。至於技術指標領先與否，是否節能，運行速度多快，並不是這麼地重要。他們難以接受資料要重新轉換，這實在是個大災難。最終，穩定、相容壓倒一切，成為個人電腦市場的評斷鐵律。

1994年夏，英特爾發現出廠的奔騰晶片，其浮點除法有問題，因少人使用，他們也不以為意，按原訂計劃出貨。同年秋天，維吉尼亞州林赤保學院¹的湯瑪斯·奈思理²教授，發現這一問題。由於英特爾沒給予明確答覆，他便把發生問題的程式及報告，放在網路上供人瀏覽。十一月二十一日，有線新聞電視網³以新聞方式報導。十二月十二日，IBM宣布停止奔騰電腦出貨。後來由英特爾保證終身免費更換，此事方才落幕。

1991年，英特爾推動內載英特爾⁴的行銷活動，頗獲消費者的認同。發生瑕疵事件，英特爾的處理態度，是全球觀察的重點。英特爾展現泱泱大廠風範，承諾全面回收。此舉令全球消費者激賞，對英特爾的商譽也大有助益。後來，推出奔騰晶片家族，亦獲市場正面回應。

¹ 林赤保學院，Lynchburg College。

² 湯瑪斯·奈思理，Thomas Nicely。

³ 有線新聞電視網，CNN, Cable News Network。

⁴ 內載英特爾，intel inside。

這場盟主爭霸戰，因超微緊跟在後，威盛搶進中國，威力晶片負隅頑抗，迄今還須清理戰場。然英特爾斬將奪旗，爭鋒奪地，成果斐然。自1992年，英特爾登上全球半導體王座，打造帝國迄今。商界、政府機關、教育單位，甚至是消費者，心甘情願把權仗交給微特爾，接受他們驅使，成為帝國奴僕。

第五講、權杖

話說登上王座的英特爾，仍然食不知味、寢亦難安。不停地揮舞手中權杖，將貌似老矣的複雜指令集，徹底發揮。不但推陳出新，又能以戰止戰，以戰逼降。且以今日之我，挑戰昨日之我，成功地穿上改革者金裝。英特爾，不得不令人擊節讚賞。

堆棧機架構下，符式語言與堆棧結構是孿生兄弟。這部機器號稱不用組合語言，也能達到超高運算效率，且任何設備都能控制。只要你用符式語言想，用符式語言做。但程式師積習難改，堆棧機的解說內容又夾雜公案，她反而成了少數人的不傳之秘。當奔騰晶片將堆棧機納入後，堆棧機只好退回科研單位。偶爾在單晶片控制的市場，見她一展神威。

而精簡指令集就更辛苦了。空有新架構之名，產品線卻未能百花齊放。更令市場擔心的是，軟硬體相容性。人們只好留在微特爾帝國，沒能接受挑戰者的拯救。

的確，在實際運作過程，精簡指令集也非全然是好消息。因指令集的精簡，在複雜指令機器，一條指令就能做到，在精簡指令集必須用好幾個指令靈活組合才能完成。其次，精簡指令是非常基本，數量也儘可能地精簡。即一個簡單動作，用精簡指令集的組合語言寫，程式碼就變多了。這對組合語言程式師，要求自然就更加嚴苛。

因為，老手與菜鳥，其程式執行效率可能天差地別。就精簡指令集而言，程式師的良窳，更加重要。因此，善用基本指令組成高效指令的工作，便要靠程式師的專業，或是搞系統程式來協助了。

我們再以積分運算為例，使用複雜指令集來寫程式，可能只要十數個指令就完成。但精簡指令集要完成相同程式，必須透過上百條指令相互組合，才能達到同一精度的要求。雖然精簡指令集的每條指令，只需要複雜指令集的十分之一時間，但因指令總數遠超過複雜指令集，節省的時間其實頗為有限。

由此可見，在精簡指令集，撰寫組合語言顯得十分瑣碎，工作量也相當大。同樣使用組合語言來開發程式，精簡指令集所需開發時間，遠超過複雜指令集。因此，在精簡指令集，少有人用組合語言撰寫程式。多數採用高階語言，把優化工作交給編譯程式。

但轉為機器指令的組合相當多，而每種組合的時間、空間要求不盡相同。編譯程式優化好否，決定了執行效能。這使得精簡指令集，在系統端很依賴優質程式

師，或高效的編譯程式。因為在應用端，幾乎都用高階語言，而非組合語言。原本提供多暫存器的優勢，卻因編譯程式進行優化便利，必須騰出若干供高階語言使用。

這些因素使精簡指令集在硬體增進的效能，反被軟體耗去不少。雖然在 I B M、昇陽、安謀、摩托羅拉、蘋果等大廠支援下，精簡指令陣營聲勢相當浩大。但英特爾早年研製精簡指令集的經驗，加上掌握規格發言權，他們不但納精簡指令集的優點於 x 8 6，且能針對精簡架構的迷思，提出許多質疑。而開發上市的新產品，不但效能顯著提升，又能回溯相容，滿足市場的期望與需求。

由此，也能看到市場的力量。在複雜指令集及微軟操作系統被撼動的年代，硬體架構如昇陽 S P A R C、視算科技 M I P S，甚至是英特爾的 8 6 0，軟體系統如 U N I X，及微軟 N T 都沒有獲得消費者青睞。電腦用戶不願放棄早年投資，仍然擁抱 4 8 6 + 視窗 3 . 0，奔騰 + 視窗 9 5。

也是這股力量，讓微特爾帝國成形，擁有宰制的無上權力。在此之前，這個權仗在蘋果電腦手上，更早以前則是 I B M。

七〇年代末，個人電腦發展風起雲湧。電腦由聖殿之子，走向學校、家庭。在 I B M 無心插柳介入個人電腦後，電腦更大步走向企業、工廠。使用人數愈來愈來，影響層面也愈來愈廣。原本急就章推出的個人電腦標準，在使用層面既廣且深，而需求又多的情況下，電腦整體效能不足的問題，浮上檯面了。

稱雄主機多年 I B M，在個人電腦上栽了跟頭，霸主之位易手。蘋果才風光不過幾年，卻又在 I B M 挾眾圍剿，敗下陣來。I B M 得勝之際，還來不及回神，微特爾也佔住位子不放。

用電腦的人愈多，不滿也就愈多。這可不像主機市場，使用者專業且人數有限。個人電腦的使用者，是每一個人，問題就這麼炸開了。

首先，是對硬體限制的不滿。譬如主記憶體只有 6 4 0 K，勉強擴增到 1 M B，程式每段還有 6 4 K 的限制。這種規格，連基本的資料庫系統都難以滿足，更遑論圖形、語音的需求。於是，英特爾在 8 0 8 6 的基礎上，接續推出 1 8 6、2 8 6、3 8 6、4 8 6 等產品，效能改進與向下相容，紓緩使用者不滿。其演進史可見表 6 英特爾處理器演進。

其次，是對操作系統的意見。磁碟操作系統以專家鍵入指令的方式操作，與麥金塔系統的圖示介面相較，最受人詬病。當七歲孩童都覺得麥金塔易學易用，磁碟操作系統簡陋及高高在上，成就了磁碟操作系統不少惡評。

微軟藉著為麥金塔撰寫軟體，並與 I B M 共同開發第二代操作系統，有計劃地吸取麥金塔優異的人機介面，及 I B M 在多工作業系統的概念。微軟也如英特爾，對新產品採用「邊移動，邊開火」的策略。

剛推出視窗操作系統第一版、第二版時，市場噓聲不斷，微軟仍堅持這項策略，並對消費者灌輸下個產品會更好的觀念。終於視窗第三版推出，勉強維繫其

令譽。後來的視窗 9 5 更是轟動全球代表作。微軟與英特爾配合，相互拉抬聲勢，霸主肥了，黎民自然就瘦了。

I B M在電腦產業原是呼風喚雨的，這一波個人電腦浪潮，卻未能取得有利位置。先是錯估個人電腦情勢，造成蘋果電腦無中生有，開創了微電腦市場。為了挫蘋果的鋒芒，拱出英特爾與微軟，招惹的麻煩更多。

I B M在晶圓廠、晶片設計、操作系統、系統整合、資訊服務等，都是箇中翹楚，其專利之多、經驗之豐、勢力之大、影響之廣，絕非蘋果、英特爾、微軟可比。可是在新興的個人電腦，I B M結結實實摔了跟頭，數度敗給這些少年英雄。

王者之位與霸者之風，讓 I B M不能坐以待斃，誓要奪回寶座。I B M甚至一度要併購蘋果電腦，後來雖未成功，但雙方坐談的和諧氣氛，也讓昔日敵手願意和解。過往大家有許多恩怨，然而，摩托羅拉之於英特爾，蘋果電腦之於微軟，I B M之於微特爾，這些錯綜複雜的關係，一冊恩仇錄實是難載。三家公司咸以為，結盟是互蒙其利。因此三家公司決定合組聯盟，齊力制定工業標準，推動新一代個人電腦的軟硬體架構。

1 9 9 2 年，I B M與摩托羅拉、蘋果宣佈合組威力聯盟。他們針對 x 8 6 系列長久以來，軟硬系統執行效能不彰、開放標準造成相容性不佳，軟硬體過於混亂等問題，要以威力晶片做全面解決方案的基礎。因這三家公司結盟實在太戲劇化，聯盟一舉一動都引來傳媒高度關切。

就技術上而言，威力晶片是一顆採用精簡指令集的處理器，她有省電、高效、體積小等特性。對於舊有 x 8 6 系列，威力晶片在技術上似乎有著無可比擬的優勢。

為了徹底解決開放標準與封閉標準孰優的爭議，I B M等三巨頭決議，採用鬆散式的結盟方式。聯盟成員只需花錢購買硬體規格書，不再支付權利金給聯盟，即可生產。生產出來的軟硬體，交由聯盟成員測試，進而由聯盟認證、背書。這樣能使相容性，取得保障。

而威力聯盟的三大巨頭，更是業界公認的黃金組合。摩托羅拉以設計生產晶片聞名，其處理器應用在語音、內嵌式系統、手持設備極富盛名。而蘋果在家用、教育市場的長期耕耘，尤其人機介面的便捷、易學易用的操作方式，獲得使用者佳評，有最佳操作系統的美譽。I B M則是業界的全能選手，從上游到下游，從研發、技術、產品到服務，幾乎無所不能。

面對威力聯盟的強大攻勢，微特爾陣營對旗下業者加以恫嚇，並實施堅壁清野的戰略。若加入威力聯盟，便取消其生產 x 8 6 硬體的授權。這一手法，確實在初期收到嚇阻效果。因為 x 8 6 需求量大，週邊產品也多，廠商們很容易找到利基市場。要他們放棄現有市場，跟著不知能否成氣候的威力聯盟走，不是件容易的事。況且，在此之前，三年內兩個聯盟的失敗經驗，令人們對新聯盟的陰影揮

之不去。

不過，當時最為市場顧慮的是，IBM與蘋果曾是死敵，可能捐棄前嫌，真誠地攜手合作嗎？如果買了威力電腦，是不是有可能成為電腦孤兒？華爾街則有更多的小道消息傳出，言之鑿鑿地表示，成立威力聯盟這個舉動，不是傳統IBM人會做的決定。

IBM為了解開與蘋果電腦的心結，也想化解市場疑慮，公開地表示願做威力聯盟的系統整合工作，讓摩托羅拉專司晶片的設計與生產，而由蘋果電腦擔綱人機介面的設計。這番誠意，打動了蘋果電腦，蘋果宣佈下一代的麥金塔，處理器將全面改用威力晶片。

其實三家公司各有盤算。以摩托羅拉來說，做為蘋果電腦處理器的唯一供應商，摩托羅拉必須不斷推出新處理器，並設法做到更快、更好、更便宜。麥金塔系列想要推出新一代的操作系統，使其功能強大，當然需要硬體提供強而有力的支援。

摩托羅拉的晶片，剛被昇陽逐出工作站領域，新一代的晶片開發進度落後。而蘋果所保有市佔率，已跌至百分之八以下，甚至曾低至百分之四。摩托羅拉是否要為這個市場，投注更多的開發資源？IBM與英特爾相較，摩托羅拉擬扳倒後者之心甚於其他。經評估，摩托羅拉認為與IBM應有合作空間，與英特爾則是死敵。

摩托羅拉加入聯盟，不但可暫時揮別晶片開發失敗的陰影，也可在晶片製造分一杯羹，進一步取得IBM銅製程的技術轉移，還有晶片開發的強力支援。更重要的是，摩托羅拉從開發、生產晶片的過程，汲取必要經驗，為自己下一顆晶片鋪路。

而結盟後的蘋果電腦，則獲得兩大世界級的廠商，提供處理器技術的更新保證。因為摩托羅拉的68000晶片已後繼乏力，88000晶片也宣告暫停。要確保後續新款機型的發展，不是尋求新的奧援，就是改用x86。雖然，蘋果也曾將麥金塔作業系統改成x86版本。

IBM對蘋果的物件導向操作系統，頗很感興趣。也透過這兩大伙伴，宣示重返個人電腦市場。如果成功了，相關工作如晶片製造、硬體生產、系統整合與組裝，能分的餅可多了。當然，IBM也需要摩托羅拉在產能上的奧援。

雖然威力晶片核心來自IBM的RS-6000，但為了借重摩托羅拉在無線傳輸的設計能力，及減少蘋果電腦操作系統改版的困難，威力晶片的匯排流，仍沿用摩托羅拉的設計方案。

這場世紀對決，會決定新霸主之位誰屬。而因贏者全拿之故，勝出者將全權決定個人電腦軟硬體的新規格。雙方陣營旗鼓相當，營造聲勢相當浩大。而這幾家都是跨國企業，商戰規模不亞於國家間爭戰。媒體大肆報導，兩大陣營也頻調資源，資訊大廠一一選邊站，雙方陣營一字排開，真是等量齊觀，精彩紛呈。

威力聯盟引用學界評比論文，直指x86採用的複雜指令集，已無法應付未

來資訊需求。而媒體也針對 x 8 6 效能低劣，操作介面不便，表態支持威力聯盟。一時，威力聯盟形勢大好。當時英特爾總裁葛洛夫也認為，確實是公司存亡重要關頭。若應對失措，英特爾恐將就此消失，成為歷史名詞。

1 9 9 4 年，蘋果電腦進行一項極重要的系統轉換工作。他們成功地將麥金塔改用威力晶片，稱為威力麥金塔。摩托羅拉旗下的電腦部門，也在同年十月推出了威力堆棧系列電腦。也是 1 9 9 4 年，I B M 將 R S / 6 0 0 0 處理器改用威力晶片，推出工作站級伺服器。法國電腦巨人，布爾公司也來相助。她在 1 9 9 4 年九月，推出搭載威力晶片的 Escala 系列。這是以 U N I X 為操作系統，採用對稱多處理器架構的高檔伺服器。

為了拓展威力晶片的應用範圍，摩托羅拉也朝自動控制領域發展。譬如，美國福特汽車決定，導入由摩托羅拉設計的自控設備。另外，I B M 也在可攜式、嵌入式等領域，推廣威力晶片。但可攜式、嵌入式等領域，一時間難見成效，I B M 本身又有 x 8 6 產品線，兵分多路的緣故，I B M 的耕耘更顯力不從心。

當然，摩托羅拉與 I B M 曾以聯盟力量，扶植臺灣廠商。如 1 9 9 2 年，成立威力聯盟後，臺灣由工研院電通所主導，成立臺灣新個人電腦聯盟。初期成員包括大同、神達、大眾、力捷、旭青、聯電等廠商。

I B M 與摩托羅拉向與臺灣業界交好，為了宣示全力支援，兩家公司聯手在臺灣成立威力晶片技術中心，宣示支持臺廠的決心。I B M 與摩托羅拉認為，藉臺廠彈性、優異的製造能力，可降低硬體成本，加快上市步伐。要使廠商支持，技術資料、技術支援，是消彌障礙的第一步。

不過，由於早期蘋果二號，在臺灣遭到盜拷的不愉快經驗，加上麥金塔在臺市場不大，蘋果電腦遲未選派技術人員進駐。這使得臺灣新個人電腦聯盟，改用微軟系統來做為測試機的操作系統。

後來微特爾，以「漢賊不兩立」為名，要臺廠選邊站，進行堅壁清野。臺灣新個人電腦聯盟運作不暢，廠商紛紛退出，後來只剩力捷一家，投入麥金塔相容機種的生產。

威力聯盟的大好形勢，基於微特爾陣營有長達三年的技術空窗期。三大廠商，擁有這麼多資源，以挑戰者之姿只攻不守，最後竟落得大敗收場。I B M 連年虧損、蘋果電腦股價狂瀉，市佔率倒退。只有摩托羅拉因手機銷量好，勉強逃過空頭襲擊。

也是 1 9 9 4 那年，英特爾推出奔騰晶片，微軟則推出視窗 9 5 操作系統，挾著相容優勢，情勢為之逆轉。英特爾、微軟聯手擊退強敵，躊躇滿志之餘，微特爾帝國更是睥睨於世。

但威力聯盟明明是大家看好的奪標大熱門，為何沒能取得權杖呢？是技不如人？還是主帥夜奔敵營？是我寡敵眾？還是相將不合？是不得民心？或是陣前倒戈？在眾人猜測聲中，威力晶片仍踽踽獨行。

原本外界一直擔心，I B M與蘋果會因舊恨難解，出現面和心不和，甚至相互鬥爭的狀況。孰料反倒是摩托羅拉與I B M，為了晶片技術先有摩擦。加上摩托羅拉消極態度，埋下禍起蕭牆的種子。

第一代規格稱為威力電腦參考平台，但蘋果電腦卻不買帳。與之相容的操作系統，分別是I B M的商用U N I X艾克斯，及微軟公司的視窗新技術。麥金塔操作系統並不支援這個平台。後來連I B M一再宣稱的第二代操作系統，也沒能順利移植過來。在缺乏威力聯盟兩大廠的系統支援，這個平台只好放棄，另起爐灶。

第二代平台則稱為共用硬體參考平台。這個平台儘量使用業界標準元件及開放式的設計，吸引不少有興趣的廠商投入。而蘋果電腦也宣稱將全力支援這個平台，但整個的開發時程延宕許久，迄今還在努力中。

由於軟體開發進度嚴重延宕，三大巨頭只能對這個平台，不斷宣示地支持，以杜絕外界紛擾的流言。可是許多廠商擔心這個平台會重蹈第一代覆轍，這將令全部心血作廢，觀望者眾。初期擬以麥金塔操作系統、視窗新技術為目標，能一舉攻克由兩大操作系統主宰的市場。

這些在規格上的爭拗，抵消自1992年以來，威力聯盟領先的聲勢。而初期聲勢看漲，也造就威力聯盟的驕慢之心，忽略了英特爾堅壁清野的效應。專司系統整合的I B M，及晶片生產主力的摩托羅拉，竟未設計公板及測試機。還有技術服務，供軟硬體廠商使用。諮詢遠不如英特爾在藍盒開發系統，所投注的心力。

當然，不能說完全沒有工具，聯盟也提供這些開發工具：

1. PowerPC Microprocessor Models for Cadence Simulators。
2. Architectural Simulator。
3. Program Development Tools。
4. PowerPC Evaluation Boards。

要知道，x 8 6已風行十餘年，相關技術資料唾手可得，有經驗的人也容易找。新款處理器即使有開發系統，但有問題，軟硬體該找誰諮詢？不教而殺為之虐，當攻城者在城下為之氣結時，三巨頭還不知誰出面呢！

為了節省開發時間，威力電腦採用高階語言來開發操作系統，精簡指令架構的優異效能被折損殆盡。為了因應使用者轉換平台時的疑慮，威力電腦確實為相容性下了不少功夫。但主要軟體一應闕如，使用者轉了資料又有何用？

孫子兵法云：「知己知彼，百戰不殆。」英特爾早年鑽研精簡指令集，也曾試推這類產品。但市場接收度不高，讓英特爾瞭解推出產品，不能只考慮理想性與技術性，還得務實地考慮市場的接受性。若使用者因疑懼相容性，那麼生產者或銷售者得花心力教育、說服使用者。即便精簡指令集在技術可行，當效能提升不顯

著，而使用者疑懼卻如此深，誰又會採用新的技術呢？

但威力聯盟對己方技術優勢頗為自信，新架構、真視窗喊得震天價響，要直攻英特爾、微軟的痛腳。威力聯盟的技術人員甚至認為，三五年之內，英特爾絕做不出精簡指令集，而微軟也拿不出新版的視窗操作介面。就在洋洋得意之際，威力聯軍落入對手指定戰場，喪失主動權。主力反被迫出，要與守城者決一死戰了。

孫子兵法云：「故善戰者，制人而不制於人」。威力聯盟喪失戰場的主動性，受制於英特爾，又無攻城武器，終令前鋒部隊遭到盡殲的命運。

雖然，英特爾推出奔騰晶片，時脈稍遜威力晶片，而視窗 9.5 介面也不如威力麥金塔。但不斷地推陳出新，讓使用者對微特爾有信心。英特爾一如致勝計劃的風格，向消費者承諾會不斷改進，使用者自然樂於觀望，有必要再付費升級。

原本新技術的訴求，卻成了能不能相容。英特爾完全相容，穩中求進的說法，讓使用者怦然心動。選擇新架構帶來的不安與混亂，令使用者厭煩、疑懼，更讓商用使用者拒絕投資。

再一次，藉著市場力量，微特爾力保權杖不失。至於奔騰晶片的技術深度，與精簡指令集相似否，非消費者關心重點。威力聯盟在技術層次窮追猛打，忽略使用者要安心，投資不能痛心。至於層次多高、技術多強，甚至盟主之位誰屬，都不是他們想知道的。威力聯盟錯失逐鹿中原的機會，只有藉著蘋果電腦，保有日漸縮小的地盤，在落日餘暉中，靜賞黃花以待明日！

表面來看，英特爾的複雜指令集勝出。然而微處理器核心早已易手，由精簡指令集與堆棧機擔綱。使用者對此並不在乎，只要資料還在，誰管你軟硬體是什麼。

威力聯盟初期尚留意此點，在相容性做了很多努力。但最後，未備妥操作系統，就貿然與微特爾做技術殊死戰。試圖採用威力晶片的使用者，是因為他們受夠了微特爾的鳥氣。威力晶片的技術新，價格也在接受範圍內，使用者也得到世界級大廠的保證，資訊化的心血不會白費，雖然這個保證不是百分百。

孰料奔騰晶片與視窗 9.5 這麼快就到來，且價格、技術還算討喜，但相容性則無庸質疑。更重要的是，許多軟硬體廠商不必全部重來，只要略做局部修改，便能投產。而商務使用者大量的資訊化投資，也獲得升級後的保證。

就在此時，威力聯盟巨頭不和流言四起，而聯盟散鬆組織，對成員不具約束力，更令外界感到疑懼。生產廠商不轉台，使用者不肯買，主力部隊號令不齊，更令威力聯盟的戰力嚴重受損。

雖然，英特爾發生奔騰浮點運算器的瑕疵事件，IBM 也趁機倒打一耙。但英特爾快速回應，承諾終身保固，很快令危機落幕。

而微軟在市場上公開宣佈要投資，甚至併購蘋果電腦，此舉又令威力聯盟猜忌加深。此役出力最多，受傷最重的，莫過於 IBM 了。前恥未湔，又添後恨，個人電腦權仗沒能收回，威力聯盟權杖卻成雞肋。撫今追昔，正是「成也聯盟，敗也聯盟」啊！

第六講、後浪

清風徐來，水波不興。英特爾經歷數度論劍，終於站上華山之巔，取得市佔第一的稱號。即便精簡指令集、堆棧機等不同核心前來爭奪，英特爾 x 8 6 系列，像有吸星大法般，將對手功力吸盡，屹立頂峰不搖。在後精簡指令機時代，處理器核心再也非純種。複雜指令集、精簡指令集、堆棧機界線，已然泯滅。你中有我，我中有你。這全拜製程進步之賜，故能廣納各方結構，增強晶片功能。

精簡指令集的迷思，卻在此時升起。蘋果電腦所用 G 3、G 4 處理器，其指令個數竟比奔騰 II 還多。而標榜是精簡指令集的晶片，電晶體數量與體積，多半超過奔騰 II。對處理器核心有堅定信念者，若用精簡先生的標準來看，新一代晶片，根本就是異教徒。

精簡指令集增進執行效能的機制，如快取記憶體、管線、超純量、分支預測、暫存器更名、單指令多資料等設計，卻一一被英特爾納入。奔騰晶片問世，行家們直言，這是顆擁有著精簡指令核心，卻披著複雜指令外衣的處理器晶片。

多媒體對晶片而言，是劃時代的需求。奔騰晶片出現，令微特爾帝國再攀高峰。自此以後，英特爾將處理器核心一統。奔騰晶片的主核，就是精簡指令集，堆棧機則是浮點運算器的心臟。而多媒體延伸指令晶片，又是顆複雜指令集。奔騰晶片，將 x 8 6 指令轉成新核心的微指令，其後流程與精簡架構同。英特爾當初投入大量人力，研究精簡指令的努力沒有白費。這時，正好將此技術用在奔騰晶片，並順利投產。

而多媒體延伸指令晶片，就是顆單指令多資料的複雜指令集晶片。單指令多資料指的是，處理器有些特殊指令，它可同時對多組資料進行運算。因為圖形、語音運算量大，如不同座標轉換、矩陣運算等。內建這些運算功能，可減少主處理器及浮點運算器的運算負擔。若新一代晶片有需要，相信也會加入傅利葉函數。

而判斷處理器優劣的指標，須有明確目的才能訂定。如功能、價格、體積、耗能、速度等。譬如，震盪時脈加快，可提高效能；採用先進製程，可縮小晶片體積；暫存器數量、快取記憶體，能增加執行效率等。有目標，再決定架構所屬，及使用那些技術，方為最佳組合。

當微特爾站穩個人電腦市場後，想令個人電腦的性能超越中大型電腦，步步向上進逼。同時，他們也將個人電腦分成商用、家用、教育等市場，不讓 I B M、惠普越雷池一步，並成功地將蘋果電腦困在教育市場。這麼一來，微特爾便以規格

生殺大權，令天下從之，遂行不公平競爭。

英特爾則以市場區隔，防止對手入侵。如處理器的技術、資本，拉高門檻。再依處理器用途，分成桌上型、筆記型、可攜型，以免超微死咬緊跟，或威盛之流用價格猛攻。桌機處理器追求效能快，餘可忽略。筆電處理器，在須在效能、散熱、耗電之間平衡。可攜型用在手機、電書、平板，講究輕巧、耗電、散熱。

英特爾深知掌握規格的重要，他們將規格公開，提供工具套件，讓軟硬體廠商快速上手，開發各類產品。由於生產、應用相對門檻低，生產、開發、維修者眾，消費者才敢放心購買。這一招，奠定英特爾的江湖地位。

由於英特爾是市場領導者，又對市場做有利於己的區隔。不同核心者，即如精簡指令之各聯盟的下場。如是 x 8 6 相容廠商，受英特爾市場、產品區隔，銷量不大，利潤也不高。除了超微趁亂，勉強殺出一條血路。賽瑞仕、國家半導體、威盛，如今安在？

按英特爾遊戲規則，不管怎麼做，也只能成為追隨者，充其量取得老二位置。如不按英特爾的遊戲規則，必須另起爐灶，自訂新規範，威力聯盟就是最好例證。由此可見，微特爾的策略，將反對者或挑戰者，納入體制變成忠誠、合法的抗爭者。微特爾將餅做大，並負責吹哨判定何人犯規。這麼一來，才有足夠資源，確保反對者留在體制內。二十餘年來，個人電腦不斷地成長，讓微特爾有足夠資源分配，更顯其策略成功。

精簡指令集的挑戰以雷聲大、雨點小收場，除因個人電腦成長已見疲態，使用者期望穩定，天生的反對者應在體制外，持續衝撞。倘若只是衝撞，沒有大餅，威脅利誘對勢力消長，就很關鍵了。

奔騰晶片的功能、成本，雖為個人電腦市場接受，但其晶片體積、耗能、散熱，在移動市場，英特爾就面臨障礙了。為了突破，英特爾除了本身研發，也向敵方挖角，甚至向外購買技術。

譬如阿爾發晶片在效能的卓越表現，安謀在省電、效能取得優異成績，正是新一代處理器所亟須的技術。剛從「驚濤裂岸，濁浪排空」走出的英特爾，亦願投入資源，學習他人的驚世之秘。英特爾把從阿爾發晶片及安謀習得的技術，用在提升時脈，省電等方面。如此一來，奔騰、迅馳、強武三顆晶片，在相關領域痛擊對手，得以擴大戰果，保持領先地位。

1992年2月，迪吉多推出的阿爾發晶片，是業界第一顆64位元處理器，同時也創下時脈最快的世界紀錄。這顆晶片在全球五百大超級電腦處理器，有44%機器選用。但曾為迷你電腦的霸主迪吉多，最終被康柏併購。爾後，惠普又併購康柏。因康柏與英特爾關係密切，1994年，新惠普與英特爾合作開發64位元處理器，阿爾發處理器的技術，皆技轉給英特爾。如設計工具、記憶體、轉換器接駁、對稱多處理器、編譯程式及編碼技術等。

在486奔騰等工作表現傑出的柯勞福，負責64位元晶片的開發工作。這個代號蒙西德，從1997年10月始，將打造英特爾跨世紀的矽晶部隊，征戰四方。1999年，蒙西德改名繹天騰，因為進度一直延遲，投產時程一拖再拖。加上後來已無敵手，奔騰系列晶片又大賣，英特爾實在沒有必要，貿然推出新晶片來擾亂自己步調。

不過到了2004年10月，奔騰IV晶片因取消上市計劃，讓執行長克雷格·貝瑞特在美國佛州一個產業論壇上，當眾單膝下跪表示歉意。速度愈來愈快的晶片，令能源消耗大增，也衍生熱當甚至燒燬晶片的問題。英特爾打算採用雙核心架構，降低時脈，因集二核心之力，即便速度較慢，卻能提供較大的處理量。迫使英特爾重新驗證64位元，及啟用雙核心，壓力便來自於超微。

誰也沒有想到，身為個人電腦發起者的IBM，會將硬碟機部門賣給日商。2004年底，更將個人電腦部門賣給中國聯想。後來宣稱要帶領Acer打敗聯想的總經理，新世紀到來，反而成了中國聯想的全球副總裁。不過，IBM已做足宣示，要成為威力聯盟盟主。

IBM為了反擊英特爾，不惜多管齊下，加大推廣威力晶片的力度。首要工作，是與各大廠商進行結盟，特別在亞洲及中國，著力甚深。如2001年，IBM選擇與新力、東芝，合作開發新一代處理器晶片。這顆晶片希望放進平面電視、遊戲機、錄放影機等家電產品，達成數位家庭應用。惜新力在2007年底，把相關設備賣給東芝。新力退出後，東芝成了這一合作案的要角。

為了進一步打開中國市場，IBM也借重中港臺商，滲透進入中國市場。如飛龍3210，就是IBM與相關廠商的產品。當然，IBM也不會忘記要在x86插針。她仍與超微公司，保持密切合作。2005年到期的處理器製造技術協定，在雙方積極合作的意願下，同意展延至2008年。

中國向以自主技術號召國人。但在中國的處理器市場，名為「中國芯」的晶片，係由威盛電子負責設計、銷售。而中科院研發的「龍芯」晶片，其核心則採用密普斯，晶片交意法半導體¹製造、銷售。超微、英特爾、安謀，更是積極搶攻中國市場。

全美達，那挾有超長指令集、長效執行的少年英雄，通過省電、相容的考驗，逕自仰攻，攫取令人驚豔的處理器市佔率。孰料，信心滿滿叫陣的全美達，會在決勝的良率、效能關鍵處，摔了大跟頭！這一摔，令市佔率得而復失，只好先行裁員，轉型圖存。

2005年，全美達由晶片製造商轉型為智財權授權，並與日商合作。2006年10月，再與英特爾打侵權官司。2007年7月，超微買進全美達部份股份。2007年10月，英特爾、全美達，兩造進行庭外和解。英特爾付出二億五千萬美元，永久取得全美達所有專利及專利應用授權。這項聲明表示，將涵蓋全美達現有專利及買進專利。未來十年內，全美達申請的專利，英特爾都有權使

¹ 意法半導體，STMicroelectronics。

用。表面上看，全美達所得甚豐。但可想見，未來十年全美達都不是英特爾的對手。因為，全美達已讓英特爾用錢，請出競逐行列。

一直跟英特爾叫板的威盛，在2007年系統晶片組授權時，吃了悶虧。英特爾這記鎖喉扣，讓威盛連呼叫聲都來不及發出，只得悄悄地轉進低價、嵌入型利基市場。

超微不死，威力猶在。小密處處的英雄年代，處理器江山多嬌！微處理器啊，妳真是說不盡，道不完。欲知後事，得再上一層樓，方能清楚明白。正是：重樓外，一片青山，不知是誰家天下！

附表

常用數值簡寫

英文名稱	簡寫	數值	中譯
peta	P	10^{15}	
tera	T	10^{12}	
giga	G	10^9	
mega	M	10^6	
kilo	K	10^3	
milli	m	10^{-3}	毫
micro	u	10^{-6}	微
nano	n	10^{-9}	奈
pico	p	10^{-12}	
femto	f	10^{-15}	
atlo	a	10^{-18}	
bit	1		位元
nibble	4		半拜
byte	8		位元組
word	16		字組
dword	32		雙字組

參考書目

書名	編著譯作者	出版社	國際標準書號
我看英特爾	虞有澄著，程文燕整理	天下文化	957-621-283-9

Intel 創新之秘	虞有澄著，季安譯	天下遠見	957-621-533-1
深入探索 PowerPC 的革命	陳榮通譯	松崗圖書	957-2222-75-9
圖解電子遊戲史	蔣鏡明、李宜安、許文達 校譯	美商麥格羅·希爾	957-493-937-5
競爭力的探求	蔡明介、林宏文	財訊	957-8390-62-9
Stack Computer	Philip Koopman, Jr	Ellis Horwood Ltd	
Inside the PowerPC revolution	Jeff Duntemann & Ron Pronk	Coriolis Group Books	1-883577-04-7

表 1 處理器大戰簡表

英特爾晶片	位元數	對手晶片	年份	備註
4004	4		1971	電子計算器之用
8008	8		1972	微控制器架構
8080	8	摩托羅拉 6800	1975	摩托羅拉率先推出八位元的微處理器，掀起第一次處理器大戰
8085	8	齊邏 Z80 摩斯 6502 摩托羅拉 6800	1976	6502 與 6800 相容，獲蘋果電腦採用
8086	16	齊邏 Z8000 摩托羅拉 68000	1978	1981 年 IBM 選用做為個人電腦
80286	32	摩托羅拉 68020	1983	麥金塔採用 68020
80386	32	摩托羅拉 68030	1985	麥金塔採用 68030
80486/860	32	摩托羅拉 68040 昇陽 SPARC 矽谷圖形 MIPS	1989	860 係英特爾用在工作站的處理器
Pentium	32	威力聯盟 PowerPC	1993	英特爾迎擊 SPARC、MIPS、PowerPC，為第二次處理器大戰
Pentium Pro	32		1995	英特爾為殲滅 x86 相容廠商，主動發起第三次處理器大戰
Pentium MMX	32		1997	
Pentium II	32		1997	
英特爾處理器完全相容的主要競爭對手				
80286	32	超微 AM286	1988	
80386	32	超微 AM386	1991	另有國家半導體、賽瑞仕等相容產品
80486	32	超微 AM486	1993	
Pentium II	32	超微 K6	1997	超微併購下一代晶片公司，以 Nx686 為基礎，推出 K6 處理器

註：英特爾在 1979~1983 的五年間，推出晶片，其依序是 8088、80186、80286。

表 2 全球半導體業排名

排名	1982	1987	1992	2001	2004
1	德州儀器	恩益禧	英特爾	英特爾	英特爾
2	摩托羅拉	東芝	恩益禧	東芝	三星
3	恩益禧	日立	東芝	意法半導體	德州儀器
4	日立	摩托羅拉	摩托羅拉	三星	英飛凌
5	飛利浦	德州儀器	日立	德州儀器	瑞薩科技
6	東芝	富士通	德州儀器	恩益禧	東芝
7	國家半導體	飛利浦	富士通	摩托羅拉	意法半導體
8	英特爾	國家半導體	三菱	日立	恩益禧
9	富士通	三菱	飛利浦	英飛凌	飛利浦
10	松下	英特爾	松下	飛利浦	飛思卡爾 Freescale

資料來源：Gartner

表 3 精簡指令集與複雜指令集比較表

名稱	精簡指令集電腦	複雜指令集電腦
架構	多暫存器、指令精簡、指令長度固定、依賴軟體、程式龐雜。	暫存器較少、指令豐富、指令長度不定、依賴硬體、程式較精簡。
適用設備	架構簡單、獨立控制的數位設備。	功能強大且多樣化的數位設備。
使用範圍	如列表機控制晶片。	個人電腦、筆記型電腦。
產品／廠商	ARM/安謀、MIPS/視算科技、strong-ARM/英特爾、PowerPC/威力聯盟、SPARC/昇陽	x86/英特爾
主要廠商	英特爾、昇陽、威力聯盟、視算科技	英特爾、超微、威盛、全美達
授權	ARM：飛利浦、英特爾、夏普、德州儀器 MIPS：恩益禧、東芝、凌陽 PowerPC：IBM、摩托羅拉 SPARC：昇陽、德州儀器	英特爾：80186~80386 全美達：Crusoe、Efficeon

表 4 處理器存取資料的方式

名稱	暫存器機	堆棧機	存儲機
優點	處理器現今主流市場。	<ul style="list-style-type: none"> ● 硬體堆疊，操作效能快。 ● 堆疊即暫存器，方便數值運算。 ● 符式語言即高階語言介面，便於應用。 ● 線路簡單。 	直接存取記憶體，程式撰寫方便。
缺點	<ul style="list-style-type: none"> ● 無堆疊，傳遞參數、調用模組等堆疊操作，用軟體模擬。 ● 暫存器有限，做外部記憶體操作，效能低。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 堆疊處理資料，除錯不便。 ● 程式維護複雜。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 記憶體速度慢，處理器須延遲等待。 ● 晶片體積大，線路複雜。
產品	複雜指令集的 x86、精簡指令集的威力晶片。	英特爾奔騰處理器內的浮點運算器。	486 以上晶片，部份功能與此相符。
用途	商用、教育。	航天、國防、科研。	商用、教育

表 5 微處理器性能評比

晶片編號	快取 (KB)	瓦數 (Watts)	速度 (MHz)	指令 架構	位元 (bit)	晶片面積 (mm*mm)	電晶體 (百萬)
PowerPC 620	指令 32 資料 32	30.0	133	精簡	64	311.2	7.0
PowerPC 604	指令 16 資料 16	10.0	100	精簡	32	196.0	3.6
PowerPC 603	指令 8 資料 8	2.5	80	精簡	32	85.0	1.6
PowerPC 601	合用 32	4.0	100	精簡	32	74.0	2.8
T1 SuperSPARC	指令 20 資料 16	14.2	60	精簡	32	256.0	3.1
INTEL Pentium(P54C)	指令 8 資料 8	10.0	100	複雜	32	163.0	3.1
INTEL Pentium	指令 0 資料 8	16.0	66	複雜	32	294.0	3.1
INTEL 486DX2	合用 8	5.0	50	複雜	32	N/A	1.2

表 6 英特爾處理器演進

處理器	西元年	時脈	電晶體數
4004	1971	108k Hz	2,300
8008	1972	200k Hz	3,500
8080	1974	2M Hz	6,000
8088	1979	5M Hz	29,000
80286	1982	6M~12M Hz	134,000
80386	1985	16M~33M Hz	275,000
80486	1989	25M~50M Hz	1,200,000
Pentium	1993	63M~133M Hz	3,100,000

Pentium Pro	1993	150M~200M Hz	5,500,000
Pentium II	1997	233M~300M Hz	7,500,000
Pentium III	1997	450M~600M Hz	9,500,000
Pentium IV	2000	400M Hz 以上	42,000,000

商標聲明：

- 本書所引用之國內外產品，係為促進廠商及用戶利益，並無侵權意圖，特此聲明。
- 內文所提及產品、商標、書刊、軟體等，智財權屬該公司、單位、機構、個人所有。

關鍵查找：

- 本文相關：資訊漫談三部曲、微處理器架構、中央處理器、處理器簡史、資訊散文。