

科學圖書大庫

微處理機及微程式手冊

譯者 周興國

徐氏基金會出版

科學圖書大庫

微處理機及微程式手冊

譯者 周興國

徐氏基金會出版

徐氏基金會科學圖書編譯委員會
監修人 徐銘信 發行人 王洪鎧

科學圖書大庫

版權所有

不許翻印

中華民國六十八年一月十八日初版

微處理機及微程式手冊

基本定價 3.00

譯者 周興國 陸鳥企業公司工程師

本書如發現裝訂錯誤或缺頁情形時，敬請「刷掛」寄回調換。謝謝惠顧。

(67)局版臺業字第1810號

出版者 財團法人 臺北市徐氏基金會 臺北市郵政信箱53-2號 電話 7813686 號
發行者 財團法人 臺北市徐氏基金會 郵政劃撥賬戶第 1 5 7 9 5 號
承印者 大興圖書印製有限公司 三重市三和路四段一五一號 電話 9719739

我們的工作目標

文明的進步，因素很多，而科學居其首。科學知識與技術的傳播，是提高工業生產、改善生活環境的主動力。在整個社會長期發展上，乃對人類未來世代的投資。從事科學研究與科學教育者，自應各就專長，竭智盡力，發揮偉大功能，共使科學飛躍進展，同將人類的生活，帶進更幸福、更完善之境界。

近三十年來，科學急遽發展之收穫，已超越以往多年累積之成果。昔之認為若幻想者，今多已成為事實。人類一再親履月球，是各種科學綜合建樹與科學家精誠合作的貢獻，誠令人無限興奮！時代日新又新，如何推動科學教育，有效造就科學人才，促進科學研究與發展，允為社會、國家的基本使命。培養人才，起自中學階段，此時學生對基礎科學，如物理、數學、生物、化學，已有接觸。及至大專院校專科教育開始後，則有賴於師資與圖書的指導啓發，始能為蔚為大器。而從事科學研究與科學教育的學者，志在貢獻研究成果與啓導後學，旨趣崇高，彌足欽佩！

本基金會係由徐銘信氏捐資創辦；旨在協助國家發展科學知識與技術，促進民生樂利，民國四十五年四月成立於美國紐約。初由旅美學人胡適博士、程其保博士等，甄選國內大學理工科優秀畢業生出國深造，前後達四十人，惜學成返國服務者十不得一。另曾贈送國內數所大學儀器設備，輔助教學，尚有微效；然審情度理，仍嫌未能普及，遂再邀請國內外權威學者，設置科學圖書編譯委員會，主持「科學圖書大庫」編譯事宜。以主任委員徐銘信氏為監修人，編譯委員王洪鎰氏為編輯人，各編譯委員擔任分組審查及校閱工作。「科學圖書大庫」首期擬定二千種，凡四億言。門分類別，細大不捐；分為叢書，合則大庫。為欲達成此一目標，除編譯委員外，本會另聘從事

翻譯之學者五百餘位，於英、德、法、日文出版物中精選最近出版之基本或實用科技名著，譯成中文，供給各級學校在校學生及社會大眾閱讀，內容嚴求深入淺出，圖文並茂。幸賴各學科之專家學者，於公私兩忙中，慨然撥冗贊助，譯著圖書，感人至深。其旅居國外者，亦有感於爲國人譯著，助益青年求知，遠勝於短期返國講學，遂不計稿酬多寡，費時又多，迢迢乎千萬里，書稿郵航交遞，其報國熱忱，思源固本，至足欽仰！

今科學圖書大庫已出版一千餘種，都二億八千餘萬言；尚在排印中者，約數百種，本會自當依照原訂目標，廣續進行，以達成科學報國之宏願。

本會出版之書籍，除質量並重外，並致力於時效之爭取，舉凡國外科學名著，初版發行半年之內，本會即擬參酌國內需要，選擇一部份譯成中文本發行，惟欲實現此目標，端賴各方面之大力贊助，始克有濟。

茲特掬誠呼籲：

自由中國大專院校之教授，研究機構之專家、學者，與從事工業建設之工程師；

旅居海外從事教育與研究之學人、留學生；

大專院校及研究機構退休之教授、專家、學者

主動地精選最新、最佳外文科學名著，或個別參與譯校，或就多年研究成果，分科撰著成書，公之於世。本基金會自當運用基金，並藉優良出版系統，善任傳播科學種子之媒介。尙祈各界專家學人，共襄盛舉是禱！

徐氏基金會 敬啓

中華民國六十四年九月

序

微處理機 (Microprocessor) 掀起了一次小型的工業革命，在資料處理及機械控制方面，它取代以往高價之設備。一般而言，大多數之計算及控制應用並不需要一部最新穎、超級快速、特別昂貴的電子計算機。相反地，我們可以考慮採用一部小型、廉價之裝置以滿足每一種用途之特殊需求。(舉例來說，您決不會購買一部價值百萬美元的電子計算機，而只用於計算營業稅吧！) 即使小型之電子計算機——即所謂迷你計算機——對於普通可能之用途仍嫌太奢侈了些。

近代電子計算機之所以如此昂貴係因其為一種一般目的之機器，其特殊的設計能處理任何可資計算之工作。為了能完成這些廣泛的作業，新式電子計算機必須快速、具有大型記憶體以容納資料及指令，並迅捷地重訂程式以解決新問題。然而在目前不斷增加其需求上，並不要求高速、大型記憶體甚或需要能重訂程式。事實上，這些應用大多數只是單一目的，而非多重用途的，所以在正常情形下，只需要設計一套不變更、固定的程式。

把電子計算機之所有重要的處理元件，密集於一塊或數塊微小的積體電路上，即組成一部微處理機。微處理機包含一部中央處理單元 (Central processing unit) 以進行實際的算術及邏輯作業。其指令永久貯存於單讀記憶體 (Read-only memory) 內，因此微處理機始終記得要執行何種功能？它具有隨機出入記憶體 (Random-access memory) 所以亦能記得改變的資料及輸入輸出情報。因此一部單一目標或專用之微處理機，能以最低廉的價格執行任何您所期望的工作！

對於一位設計工程師而言，您能定規出您特殊的條件，或許借助於一部多用途電子計算機，發展出一套獨特的程式——微程式 (Microp-

rogram) ——以利您的微處理機系統處理需求之作業。您的程式可以永久寫進單讀記憶體內，即成為微處理機中之一部份。或者可以設計用幾片內含不同程式之單讀記憶體的基片 (Chip) 更換插入，以適應不同的需要，增加其靈活性。微處理機系統帶來新穎、簡易的設計觀念。

爲了便捷起見，本書附錄中刊錄了許多製造微處理機及微處理機組件之廠商地址。作者向三家廠商致謝，因其對本書之準備工作提供了最大的助益。它們是：Motorola Semiconductor Products (具有MC 6800 系列微處理機零件) ； Intel Corporation (具有MCS系列之微處理機，共界面以及記憶體裝置) ； National Semiconductor Corporation (具有PACE微處理機) 。對於他們提供多方面的文件及資料，作者致最深的謝意。

Brice Ward

譯 序

近二、三年來，微處理機 (Microprocessor) 在國內漸漸受到重視。在工業界、電子界它展露了其特殊的才華——價格低廉、體積小巧、運用功能不亞於電子計算機——因此國內已運用微處理機來作資料處理 (Data processing)、機械運轉控制、精密電子儀表、家電用品、交通號誌控制機……等。幾乎我們生活所接觸得到的事物，都可交給它來處理。因此，學習微處理機及微程式 (Microprograming) 方面的基本知識與技能，實為刻不容緩的要務。懂得微處理機，才能趕上這個日新月異的科技時代。

本書深入淺出地向讀者介紹微處理機系統，以 MCS-4、MCS-40、MCS-80、MC 6800 為例，說明 CPU、ROM、RAM、指令組 (Instruction set)、系統計時 (System timing) 等要目，使讀者可從中了解微處理機的結構、作業情形。至於微程式方面，對 8080、4040 指令組有詳細的說明、並介紹用機械語言 (Machine language) 及組合語言 (Assembler language) 來訂微程式，以 9 個程式實例幫助讀者體會訂程式的方法。此外，本書介紹一種計算機模倣 (Computer Emulation)，讀者可在紙上建立起計算機的作業，相信對許多無法上線 (On-line) 實驗的讀者會有很大的助益。

譯者憑仗對計算機有濃厚的興趣，加上平時工作中對微處理機方面的資料有時涉獵，因此著手翻譯本書，期望能提供給讀者一份完整精密的微處理機及微程式的文獻。惟譯者才疏學淺，若翻譯有誤或不盡詳細之處，祈各方賢達不吝予以指正，則感激不盡。

譯 者

六十七年九月

目 錄

序

第 一 章 微處理機介紹

何謂微處理機或微計算機.....	1
近代電子計算機發展.....	3
計算器及電子計算機.....	4
基本指令.....	4
電子計算機結構.....	5
趕上微處理機.....	7

第 二 章 基本計算機作業

數位計算機.....	9
中央處理單元結構.....	10
程式指令.....	10
次常式.....	11
指令碼.....	12
算術邏輯單元.....	13
旗標位元.....	14
控制線路.....	14
系統間斷.....	16

第 三 章 微處理機內涵

記憶體貯存系統.....	17
基本機械週期.....	19
程式計數器.....	20
記憶體位址暫存器.....	21
程式指令.....	23
暫存器作業.....	24
增添指令及記憶體容量.....	25

第 四 章 近代微處理機系統

製造方式.....	26
一個偶極實例.....	27
重要定義.....	28
中央處理單元.....	31
單讀記憶體.....	31
隨機出入記憶體.....	35

第 五 章 MCS-4 微處理機系統

三狀態輸出.....	39
MCS-4 中央處理單元.....	39
MCS-4 單讀記憶體	45
MCS-4 隨機出入記憶體	46
MCS-4 系統計時.....	47
MCS-4 作業	48
系統相互連結.....	54
MCS-4 指令組	54

第 六 章 MCS-40 微處理機

4004 中央處理單元	63
4040 中央處理單元	70

第七章 MCS-80 微處理機

串疊器構造.....	84
8080 基本指令週期	89

第八章 MC 6800 微處理機

結 構.....	95
MPU 作業.....	95
MC 6800 指令組	100
其他MC 6800 系列構件.....	107

第九章 記憶系統

隨機出入記憶體.....	111
靜半導體態RAM	113
單讀記憶體.....	118
4001 分隔器可訂程式之單讀記憶體.....	119
4002 隨機出入記憶體及輸出部	122
標準記憶及輸入輸出共界面.....	127

第十章 微程式計劃介紹

軟體及硬體.....	131
8080 指令組	132
程式實例.....	134
摘 要.....	156

第十一章 用機械語言訂微程式

機械語言指令.....	158
4040 指令組	167
計算機模倣.....	186
程式實例1	195

程式實例 2	202
第十二章 用組合語言訂微程式計劃	
組合程式	214
程式實例 3	216
程式實例 4	246
程式實例 5	246
程式實例 6	249
程式實例 7	249
程式實例 8	251
程式實例 9	252
附錄 1 電子計算機術語簡稱	
附錄 2 辭彙解釋	
附錄 3 微處理機製造廠	
附錄 4 微處理機之對照	
附錄 5 MCS-80 伴隨系統列	

第一章 微處理機介紹

我們很容易把一部微處理機 (Microprocessor) 想像為一些積體電路，事實上它不僅是一種特殊的裝置，更是一種新的觀念。一部微處理機為一種處理機，而且一部處理機是一種特殊機械，其設計發展的目的是為了快速處理情報——執行特殊之事務。微處理機具有極大的潛力，因它代表一種無比的力量及一種低廉設計，能適用於廣大多變之工業及通信各種用途上。

何謂微處理機或微計算機

一般人將微處理機及微計算機相提並論，因微處理機內部包含電子計算機所具備之一切算術及邏輯能力。雖然微處理機可能是迷你計算機 (Minicomputer) 構成的主要元件，甚或能用於大型電子計算機或週邊設備 (Peripheral equipment) 內。微處理機具有高等能力，所以能運用於這些用途中，且能代替以往由硬體，分離的邏輯線路而執行其事務 (Task)。

微處理機將是您可寄以厚望的，且能達成任何您要求的工作。微處理機組件製造廠已設計了微處理機線路以及週邊附屬裝置，不但價格低廉，而且運用起來靈活自如。微處理機系統擁有這種特性，可進行各種工作處理及控制作業，且不需要鉅額的代價。

新式大型電子計算機當然能勝任各樣的處理作業，然而它體積龐大且過於昂貴；是特別針對任何可處理之事情而設計。為了增加它靈活性質，使用快速且簡便的方式，就是變更其程式來進行其他控制作業。因此，新式電子計算機係一種普遍用途的電子計算機；其價格之高低取決於其用途範圍大小。

在用途上來說，我們使用單一目的設備之機會遠較多元性設備者來的多。例如，新式微處理機之終端收銀機只需要執行這些作業：販賣物品總金額之計算、計算營業稅、找零錢、甚或用作進行清點存貨；我們不需要用大型電子計算機只執行這樣專用的作業。事實上，我們對於如此一種單目的應用之要求，只要它能執行所有必須之作業，而且價格合宜。微處理機一些卓越的應用範例如下：

微處理機不同於大型電子計算機，基本上而言，前者之管理作業程式於工廠生產時，已封存（Frozen）於設計中，不像可訂程式（Programmable）電子計算機的程式可以改變，不使用分離元件（Discrete-component）之設計，但它也不是以硬體線路連接來訂程式，因這樣的話對工廠來說成本太高而且幾乎不可能變更程式。微處理機之程式通常固定存於一部單讀記憶體（Read-only memory 簡稱ROM），這樣的程式貯存方式不但簡便而且花費不高。再訂程式也方便——只需插進一塊不同的ROM即可！在設計階段時，微處理機仍保有如電子計算機一般的靈活性以及訂程式計劃（Programming）簡易性；對於設計工程師而言，就能輕而易舉地組合成複雜的處理作業了。在製造階段時，微處理機仍保持低成本及操作上的熟練之特性，對日益增多之用途，它能提供令人滿意的表現。微處理機代表最佳的中間產物，適合於無數用途，我們無法否認它是近世紀以來最具革命性的觀念！

新式的微處理機係由兩項技術發展所產生的：大型積體電路（Large-scale integration 簡稱LSI）及低成本半導體記憶體（Semiconductor memory）。LSI使工廠修飾微處理機，使它能循序處理複雜之工作。此外，半導體記憶體，包括單讀記憶體（ROM）及隨機出入記憶體（Random-access memories 簡稱RAMs），為一種價廉且堅實之貯存媒體（Storage medium），用來貯存微處理機程式指令及資料。這樣，只要使用一小塊積體電路（Integrated circuit）就能設計完整的微處理機系統。當然，實際的作業需要具有適宜的微處理機內部操作知識及程式計劃技術的設計工程師或技術專家配合完成。本書的目的即是提供完備之資料，使讀者能了解微處理機作業情形以並能進行其程式。

近代電子計算機發展

本節並非敘述不同機器的歷史，只簡單地說明近三、四十年來這些機器的變遷。我們知道從巴倍奇 (Babbage) 時快速算術機為有用的裝置。那時特別用於天文學及其他科學方面，計算結果頗費時日。

在二次世界大戰時，機器被演進到用機械凸輪，齒輪及差動齒輪上，以計算射擊控制並處理一定形態之航空系統。這些裝置並非世界上最精確者，但確實節省了不少的時間。

戰後，增加了其他方面的需要。成為貿易的時代，IBM (International Business Machines) 居領導地位。事務機器必須能分類、用字母標記，並保存與貿易界有關之地址表及類似的情報。數學計算雖然也很需要，但在整體中只佔一小部份。

過一段時間，依應用範圍開始分為科學用及商業用兩種機器。早期IBM設備使用IBM型卡及何樂里碼 (Hollerith code)。這些卡能在IBM所發展的分類及校勘機器中精巧地處理。它們終於成為所有貯存原始資料及程式 (Raw data and programs) 主要系統之一支。

早期分類機器使用傳導電刷 (Conducting brush) 來“讀” (Read) 卡片上所打出的孔洞；用插線板 (Plug board)、跳線 (Jumper wire) 插入適當位置以進行分類程式。早期許多電子計算機使用相同的板來在卡片上定程式及貯存資料。這種分離式貯存程式及資料技術即即成為有名的哈佛結構 (Harvard architecture)。

所有機器皆朝著一個目標在演進——資料處理 (Manipulate data)。這樣之處理為加、減、乘或除等類之資料處理。資料處理是資料處理系統 (Data processing system) 中最重要的條件之一。

機器日益精良，將機械動作系統改為繼電器 (Relay)，從繼電器改為真空管 (Tube)，從真空管改進為電晶體 (Transistor) 然後演進至積體電路。但其基本需要仍然存在，即為如何進行資料處理。

另外的發展產生了。原先希望保存十進位作業，但不久即了解二進位算術更為經濟實用。在電氣方面開或關 (on/off) 很容易地代表二進位，十進位則不這麼簡單。因此在機器、技術及工程方面開始使用

二進位碼或自然二進位 (Natural binary) 碼諸如八進位 (Octal) 及十六進位 (Hexadecimal) 。

另一件很顯然的事，即為執行特殊問題之常式 (Routine) 所需要實際的速度必須在機器內部建立，以加法為例，不僅加法而且決定進行加法順序及方法之程式，皆須採用電氣式或電子式，以發揮這裝備之最大優點，達到最快速率。

計算器及電子計算機

假如要計算器進行 $341 + 24 + 419$ 這數式，必須先輸入第一個數字，輸入動作是這樣的：先將此數字存於累積器暫存器 (Accumulator register) 並顯示此數字於讀出 (Readout) 裝置上。按「+」鍵後開始進行加法，然後第二個數字輸入，再按「+」鍵即執行加法指令，此加式的結果再貯存至累積器並瞬間顯示出來。最後數字輸入，再按「=」鍵進行最後的加法，將結果貯存至累積器且顯示出來。整個作業需時 25 至 30 秒。這對於具有電子計算機速度之裝置來說，實在浪費太多的時間了。

在速度較慢之電子計算機內，加法約需時 50 微秒 (Microsecond)，意即進行上項加式大約需 150 微秒。一則小算術在計算器上進行一項加法之同時，電子計算機可進行 200,000 加法算式。

欲處理的資料及進行處理的程式皆置於貯存系統內，為了在高速下工作，這些資料及程式必須能在電子速度下能取還 (Retrieval)；這表示此系統必須對這資料行動作特殊的安排，資料須能從一些貯存位置移至累積器，且能從累積器移至原位置或新貯存位置。

基本指令

我們需要資料處理指令及資料行動指令 (Data movement instruction)。前一類包括簡單之指令諸如：加、減、清除 (Clear)、增值 (Increment) 等。第二類包括摘取 (Fetch)、存入 (Store)、輸入 (Input)、輸出 (Output) 及類似之指令。

另有重要之指令可簡單定義為程式控制指令 (Program control

instruction)。如果一部電子計算機完成了一組程式，可由操作員 (Operator) 使之停止，但如果定一個程式來停止電子計算機豈不是更容易？簡單把這個指令命名為停止 (Halt)。大多數電子計算機都具有此一指令。

另外大致有：具條件的跳越 (Conditional jump) 指令及無條件的跳越 (Unconditional jump) 指令。一組特定的程式一直按著程式計數器 (Program counter 簡稱 PC) 所控制之數序 (Numerical sequence) 進行，直到停止或跳越的指令發生才會改變。無條件的跳越只是將一個新的數字塞進 (Jam) PC 內，於是從跳越指定位置位置內調用 (Call) 出下一個指令。有條件的跳越指令含有一個試驗，比如：如果累積器內為零即跳越，如果累積器內為負號即跳越或相類似之條件。如果測試的條件是事實，PC 就會改變或修正；假如不符測試條件，PC 則繼續按順序計數下去。

正如先前所提這些指令皆能在程式控制指令標題 (Heading) 下組合起來。這些指令使貯存程式，通用數字電子計算機與簡單的電算機有天壤之別。

電子計算機結構

如能用 100 字來敘述：“電子計算機是……這就是所謂的電子計算機。”可真不容易。然而我們能用簡單之體制使讀者於瞭解任何一種現代機器的基本結構。

我們將使用前面所討論過的資料行動，資料處理，程式控制指令等原則，並進行建立電子計算機觀念。在一部通用電子計算機內，組成程式之資料及指令皆貯存於程式設計師所指定的同一記憶體內或貯存系統之位置。如此程式設計師只負責確定電子計算機進行資料處理，而不須設計指令。

首先，圖 1-1 為一部一般目的，貯存程式的電子計算機。在此方塊圖內，每件資料，指令皆流經算術邏輯單元 (Arithmetic-logic unit 簡稱 ALU)。當一件記事從輸入 (Input) 帶入即通過 ALU 中之累積器，從記憶體內任何事項也同樣地經過 ALU 到達輸出 (Output