

大 學 用 書

十六數元微處理機

杜德煒 編 著

三民書局印行

十六數元微處理機

杜 德 煒 編 著

學歷：國立台灣大學電機系畢業

美國史蒂文生理工學院電機碩士

經歷：電子計算機程式規劃師

美國矽技術公司研究發展部門

微電子計算機系統設計工程師

美國電機電子工程師學會會員

三 民 書 局 印 行

中華民國七十三年九月初版

◎十六數元微處理機

基本定價捌元肆角肆分

編著者 杜 德 偉

發行人 劉 振 強

出版者 三民書局股份有限公司

印刷所 三民書局股份有限公司

臺北市重慶南路一段六十一號
郵撥：〇〇〇九九九八—五號

行政院新聞局登記證 版業字第〇二〇〇號

序

我衷心感謝三民書局劉振強先生的建議，使我們有機會共同努力，為讀者貢獻一份心力。這些心力灌注出的成果就是包括顯現在你面前這本書在內的微電腦叢書。

我深深地感謝國立臺灣大學(57)電機系留美加同學的支持和贊助。他們提供的寶貴意見和豐富資料，使得這套叢書的內容更充實。

我要感謝所有對這套叢書有幫助的人們，特別是馬利蘭大學中國留學生對這套叢書的貢獻；同時，我衷心感謝妻子的體諒和關懷，使我能付出一份專注的心力。

我們把這套叢書分為四部份。第一部份致力於討論微電腦的基本原理和介紹八數元微處理機，單晶片微電腦，十六數元微處理機和三十二數元微處理機。

在美國，八數元微處理機於七十年代使電子工業起了翻天覆地的變化。它們在我國於八十年代中期應開出更好的花，結出更甜的果。單晶片微電腦和十六數元微處理機在八十年代工業發展中將成為主流。而三十二數元微處理機將為切片上安裝完整的大型電腦開闢新的境界。

第二部份主要討論軟體，包括程式語言，程式規劃，軟體設計和操作系統。

第三部份介紹半導體記憶器，介面切片，控制單位和週邊裝置。

第四部份討論介面技巧，系統設計，資料通訊和網路以及各種實

2 十六數元微處理機

際應用等。

這套叢書具有很強的系統性。編著之初，各冊的內容和相互關係都已有週詳的考慮和適切的安排。同時，也考慮到讀者閱讀的方便，各冊之依賴關係已盡可能地避免。不過，編著過程，錯誤難免，敬請讀者批評指正。

這套叢書各冊依完成之先後順序出版。

美國的時代雜誌每年都要選出一位當年的“風雲人物”(man of the year)，五十幾年來從未間斷。可是，它去年選出的却不是“人”，而是“物”。這個中選的“風雲機器”(machine of the year)就是聲名赫赫的電腦。

以一向密切關注世界政情的時代雜誌之聲譽，破例推選電腦為“風雲人物”，足證電腦對人類和社會影響之一斑。這對我們來說，是一項莫大的鼓舞，鞭策着我們更加地努力。

我們誠懇地希望，這套叢書能夠提供給讀者有用的知識和資料。同時，也希望“風雲機器”電腦能更激勵起大家奮發圖強的雄心和壯志。

杜德煒 謹識

中華民國七十三年

十六數元微處理機 目次

序

第一章 八十年代的微處理機

第一節 概 述.....	1
第二節 高終端微處理機的最新發展.....	5
第三節 結 語.....	18

第二章 基本觀念

第一節 內部結構.....	19
第二節 插腳與訊號.....	28
第三節 定位空間與定位法.....	35
第四節 指令集.....	42
第五節 系統介面和軟體發展.....	49

第三章 8086微處理機

第一節 從8008到8086.....	53
---------------------	----

2 十六數元微處理機

第二節	基本結構	71
第三節	插腳與訊號	92
第四節	通徑結構與操作	110
第五節	插斷系統	120
第六節	定位法與指令集	129
第七節	程式規劃與軟體發展	177
第八節	8088微處理機簡介	216
第九節	結語	236

第四章 MC68000微處理機

第一節	概 述	239
第二節	內部結構	250
第三節	插腳與訊號	263
第四節	通徑操作	269
第五節	特殊處理操作	28 ⁸
第六節	定位法	301
第七節	指令集	318
第八節	與6800族週邊切片介面	342
第九節	結語	356

第五章 Z8000族微處理機

第一節	概 述	369
第二節	內部結構	380
第三節	插腳與訊號	398
第四節	處理機操作	412

第五節	資料型和定位法	443
第六節	指令集	452
第七節	程式規劃技巧	495
第八節	結 語	512

第六章 8086, 68000和Z8000的比較

第一節	內部結構比較	518
第二節	指令集功能比較	539
第三節	評效程式	548

第七章 TMS9900微處理機

第一節	概 述	575
第二節	內部結構	578
第三節	插腳與訊號	595
第四節	輸入輸出與插斷	605
第五節	定位法和指令集	620
第六節	程式規劃注意事項	640
第七節	輔助切片與介面	644

第八章 LSI-11微處理機

第九章 最新發展的微處理機

第一節	NS16000族微處理機	708
第二節	iAPX186/iAPX286	753

4 十六數元微處理機

第三節 TMS99000 族微處理機..... 765

第四節 AMPP CMOS/SOS 微處理機..... 777

第十章 下一代微處理機

主要參考資料

第一章 八十年代的微處理機

第一節 概 述

本書將著重於幾種著名的十六數元微處理機的討論，包括 8086, MC68000, Z8000 和 TMS 9900等。這些微處理機於七十年代末設計成功，現已廣泛地應用於各種電子產品中。隨著軟體發展和週邊輔助切片日臻成熟，這些高性能的微處理機的應用也將隨著日益擴大。在八十年代裏，十六數元微處理機將成為技術進步的象徵。

十六數元微處理機的發展有兩種趨向，一種是在十六數元小型電腦（minicomputer）的結構基礎上往下發展，如德州儀器公司的 TMS 9900，數位儀器公司的 LSI-11，資料通用公司的 Micro-Eclipse 等；另一種是在八數元微處理機的結構基礎上向上發展，如 Intel 公司的 8086，Motorola公司的68000，Zilog公司的Z8000，National Semiconductor公司的 NS16000 等。

由十六數元小型電腦的結構基礎上發展出來的十六數元微處理機一般仍帶有小型機器的某些特性，程式規劃偏向高層語言，其結構不容易為已熟悉八數元微處理機和電子邏輯設計原理的工程師所理解，因此較

少受到工業界的重視。

由八數元微處理機的結構基礎上發展出來的十六數元微處理機一般仍保留與八數元微處理機相匹配的特性，並在某種程度上應用八數元微處理機的週邊輔助切片。

在十六數元微處理機的發展領域中，人們總喜歡把Intel公司的8086說成是第一個十六數元微處理機。事實上，在8086於1978年設計成功投入生產之前，TMS9900和LSI-11等都已應用於產品中。如果拋開這些由小型機器發展出來的微處理機不算，National Semiconductor公司也在較早時就已設計出十六數元微處理機IMP-16和PACE (Processing And Control Element)。不過這兩種微處理機都不能算是成功的設計，該公司鑑於發展十六數元微處理機的重要，現已設計成功一族新的十六數元微處理機NS16000系，包括16000，16016，和16032。

PACE採用PMOS處理技術，基本上是由IMP-16發展而成的單晶片微處理機。它主要由一些暫存器，一個算術邏輯單位，控制邏輯，跳控條件多工器和多位準優先插斷邏輯組成。

PACE的暫存器包括4個資料暫存器 AC_0 到 AC_3 ，一個程式計數器，兩個臨時暫存器和一個狀況和控制旗標暫存器。在4個資料暫存器中， AC_0 是主工作暫存器， AC_1 是次工作暫存器， AC_2 和 AC_3 是頁指標暫存器或輔助資料暫存器。兩個臨時暫存器為控制邏輯用來安設指令集。狀況和控制旗標暫存器也是16數元長，含有5支插斷使能位準旗標 IE_1 到 IE_5 ，超限旗標、進位旗標、鏈結旗標、主插斷使能旗標，8數元資料長度控制旗標和4支一般用途旗標。

除了暫存器外，PACE還有一個可容納十個字的後入先出儲存箱，提供給程式計數器，狀況和控制旗標暫存器或資料暫存器於叫控分程式或插斷執行時儲存位置。

算術邏輯單位負責執行二進位數相加，BCD相加算術運算和〔及〕、〔或〕、〔互斥或〕，補算及移位等邏輯運算。它可以執行 8 數元或 16 數元資料操作。

控制邏輯安排微程式執行，一個微週期需要 2 微秒鐘去執行，而一個典型的機器指令需要 4 到 5 個微週期。控制邏輯也控制條件跳控多工器的操作。條件跳控多工器指定 16 個條件給條件分控指令。

多位準優先插斷邏輯提供一個 6 位準，向量優先插斷結構。當一插斷請求發生時，如果相應的插斷使能，插斷請求保存器被設置。若主插斷使能旗標的狀態為真，插斷就將被產生。

PACE 並不是一個成功的設計，光是採用 PMOS 處理技術這一點，就難以與今日高性能的十六數元微處理機相抗爭。

在七十年代中後期，八數元微處理機的成功應用吸引了設計師們的廣泛注意力。人們尚無太大興趣於十六數元微處理機的研討。

到了七十年代底，在八數元微處理機的競技場上，誰優誰劣的局面基本上已經確定下來。除了在那些優秀的八數元微處理機如 8080，6800，Z80，6502 等的基礎上進行改良和採用 CMOS 處理技術外，新發展的八數元微處理機將極難打入這個市場。但是，八數元微處理機在高性能系統的應用方面有很大的局限。它們的指令執行速度較慢，記憶體定位空間太小（多數限於 64K 組元）。在各行業生產自動化的呼聲中，八數元微處理機無力負起微處理機應負的責任。比如，在工業自動控制系統中，人們仍傾向於小型電腦。

這時候，在小型電腦和微處理機之間存在著一大片空白。製造公司的注意力從兩個方向集中到這片空白上，國家半導體公司在 IMP-16 基礎上改良設計而發展出 PACE，德州儀器公司在小型電腦 990 的基礎上發展出 TMS9900，數位儀器公司在小型電腦 PDP-11 的基礎上發展出

LSI-11，大家都在搶先進入這個空白的市場。但是，這些發展都不能滿足這個市場的需要。LSI-11 借著 PDP-11 的聲勢，略有名望，但它只專用於數位儀器公司的產品和合同產品中。TMS9900 的結構和軟體發展都較難理解。因此在一般情形下人們較願採用他們十分熟悉的 8080 微處理機。PACE 雖具十六數元微處理機之名，但缺乏高性能之實。

Intel 公司在各方矚目下於 1978 年推出了十六數元微處理機 8086。因為 8086 是在 8080 的結構基礎上發展出來的，因此很快就得到應用工程師的肯定。我們將在第三章討論 8086 之時，特別闢出一節來討論 8086 和 8080 之間的關係。對 8080 有所了解的讀者很容易就能了解 8086 的結構，掌握程式規劃和系統設計的技巧。

8086 的成功縮短了微電腦和小型電腦之間的距離。同時，在把八數元微處理機的性能提高到十六數元的境界中擔負起橋樑的作用。

在由八數元微處理機向十六數元微處理機的發展過程，另外兩家重要的製造公司 Motorola 和 Zilog 也隨著 Intel 公司之後於 1979 年設計成功它們的十六數元微處理機 68000 和 Z8000。Z8000 微處理機有兩種，一種是採用 48 枚插腳積體電路包裝的 Z8001，另一種是採用 40 枚插腳積體電路包裝的 Z8002。MC68000 微處理機則採用 64 枚插腳積體電路包裝，這主要是因為 68000 利用位址和資料通徑各自分開而不像 8086 和 Z8000 那樣採用多工位址／資料通徑技術。

Intel, Motorola 和 Zilog 公司在微處理機發展的領域中可說是三足鼎立。它們在這方面的貢獻是十分重大的。目前，這些公司正各展本事，各自努力在 8086, 68000 和 Z8000 的基礎上進行改良。

Intel 公司在 8086 的基礎上向下發展出 8088，向上發展出 iAPX186 和 iAPX286，並在 32 數元微處理機的發展上開創出良好的開端，它於 1981 年推介了該公司發展了五年才得到成功的 32 數元微處理機 iAPX

432。

Motorola 公司則在 68000 的基礎上向下發展出 68008，向上發展出虛構記憶器微處理機 68010 和 32 數元微處理機 68020。

Zilog 公司則以 Z8001 和 Z8002 為基礎，進一步改良後發展出 Z8003 和 Z8004 以及 32 數元微處理機 Z80000。

在發展週邊輔助切片和軟體發展工具方面，三家公司也極盡努力。在這個迅速發展的領域中，就如逆水行舟，不進則退。一點遲疑都行不得的。

第二節 高終端微處理機的最新發展*

高終端微處理機包括 16 數元和 32 數元微處理機，它們正在進佔小型和大型電腦的領域。不管是性能，計算能力，還是記憶器容量和速度正在帶給小型、大型電腦越來越大的威脅。

依據外部資料通徑和內部暫存器寬度，指令集中能力的區別，16 數元微處理機可能比一些 32 數元機器還要更具處理能力。一般說來，高終端微處理機可以劃分為四種類型：

1. 假性 16 數元微處理機。
2. 16 數元微處理機。
3. 假性 32 數元微處理機。
4. 32 數元微處理機。

為了明瞭這種劃分法，讓我們舉個簡單的例子。含有外部 8 數元資料通徑及大部份暫存器為 8 數元長的微處理機被劃分為 8 數元微處理

* 讀者也可在讀第九和第十章時，再回頭來看這一節。

機。假如所有的暫存器都是16數元長，但外部通徑只有8數元。這樣的微處理機被劃分到假性16數元微處理機一類中。其他可以此類推。

大約有一打以上16數元微處理機存在，其中有些被稱為32數元機器，而外部只有16數元資料通徑。

當處理機的結構越來越複雜之際，指令集能力在評估上起著重要的作用。很多16數元微處理機不能執行32數元操作，甚至其內部含有32數元暫存器。

雖然有些16數元微處理機設有指令去執行32數元操作，16數元微處理機中的大部份指令都傾向於16數元的處理。例外情形是那些含有32數元寬的內部暫存器和相對稱的指令集，可以處理8，16和32數元資料的運算。

目前所有的16數元和32數元微處理機都有起碼16數元長的內部和外部資料通徑（表1-1）這些電路提供了硬體和軟體能力的廣泛支持，包括了一些只有在小型和大型電子計算機中才有的特性。諸如虛構記憶器管理（Virtual memory management），浮點數學（floating point mathematics），百萬組元直接定位空間（megabytes of direct addressing space），及高性能之輸入輸出處理機來幫助減輕中心處理單位的負載。

（一）32數元微處理機

在高終端微處理機中，一些最值得敘述的成就是在1981年國際固態電路會議中報告的32數元微處理機。這些包括了Bell Laboratories, Hewlett-Packard 和 Intel 公司的32數元微處理機。事實上，這三者中只有前二者的切片才含有外部32數元資料通徑，Intel的卻使用16數元寬資料通徑。但是，前兩者都尚在研究發展中，並將專用於公司的產品中而非行銷市場。

Bell Labs的32數元微處理機叫做MAC-32，採用CMOS處理技術，

表1-1: 16和32數元微處理機

製造公司	模 型	處 理 技 術	資料 通徑	位址 通徑	生 產 計 劃
DEC	LSI-11/2	NMOS	16	16	專 用
	LSI-11/23	NMOS	16	18	專 用
	ISSCC	NMOS	16	16	專 用
Data General	mN601	NMOS	16	16	庫 存
	mN602	NMOS	16	16	庫 存
Fairchild	9445	I ² L	16	16	小 量 生 產
General Inst	CP 1600	NMOS	16	16	庫 存
Hewlett- Packard	HP-1000	CMOS/SOS	16	20	專 用
Intel	8086	NMOS (HMOS)	16	20	庫 存
	432	NMOS (HMOS)	16	24	樣 品
Motorola	MC 68000	NMOS	16	24	庫 存
National Semi.	NS16016	NMOS	16	16	小 量 生 產
	NS16032	NMOS	16	24	樣 品
Texas Inst.	TMS 9900	NMOS	16	16	庫 存
	SBP 9900	I ² L	16	16	庫 存
	TMS99000	NMOS	16	16	樣 品
Western Digital	Microeng- ine	NMOS	16	16	庫 存
Zilog	Z 8001	NMOS	16	23	庫 存
	Z 8002	NMOS	16	16	庫 存
	Z 8003	NMOS	16	23	樣 品
	Z 8004	NMOS	16	16	樣 品
Ferranti	F100L	CDI	16	16	庫 存
Fujitsu	CMOS	CMOS	16	24	專 用
NEC	PASCAL	NMOS	16	24	專 用
Philips	SP-16C	NMOS	16	16	專 用
Toshiba	T 88000	CMOS/SOS	16	24	專 用
Bell Labs	MAC-32	CMOS	32	32	專 用
Hewlett- Packard	32數元	NMOS	32	32	專 用
IBM	320	MIL	?	?	專 用

其消耗電功率少於 1 瓦特。切片的大小為 400×500 米爾 (1 米爾 = 0.001 英吋)。借助高級電子計算機輔助設計，未來的切片將有實用。MAC-32 的指令集直接支持 C 語言和 Unix 操作系統。這兩者也都是 Bell Labs 發展的。MAC-32 採用最新的包裝法，利用填襯切片載體 (Pad Chip Carrier)。它含有 32 數元內部和外部通徑。

PLA (Programmed Logic Arrays) 提供指令碼和控制內部操作。對那些不允許有任何錯誤的地方，該處理機可以執行三次模組多餘驗核 (Modular Redundancy Checking)。

在電路發展期間，Bell Labs 的研究員首先寫編譯程式來精簡指令，然後發展模擬程式來分析各種交換條件以獲得最好的結構。該微處理機使用兩相外來時鐘訊號，由此時鐘訊號再產生額外的兩相。該設計借電子計算機輔助設計發展工具之助，從電路邏輯圖到切片的產生，整個過程僅用 6 個月的時間。

Hewlett-Packard 公司借用更精密更成熟的技術，其 32 數元微處理機含有 45 萬個電晶體，切片的大小只有 250 平方米爾，採用 1.5 微米線寬的 NMOS 技術和兩層鋁絲內接線，改進了訊號的轉移。該處理機以 18MHZ 的時鐘率操作，其電功率消耗較大，約 7 瓦特。

該公司利用內部管線結構，並將其兩相不重疊時鐘劃分為 3 個 55 毫微秒的機器週期來執行每個指令。其指令集包括了可進行 32×32 數元乘法運算的指令，執行時間只需要 1.8 微秒，而執行 64 數元浮點乘法的運算指令需要 10.4 微秒。處理機結構是以儲存箱為基礎，可以處理虛構記憶體和 IEEE 的浮點數學公式。它可支持多處理和提供五億組元定位空間，它的指令是以段結構為基礎。除外，該處理機是為簡化試驗而設計的，特殊試驗的襯墊和密集除錯的硬體都含在切片上。單片微碼和機器指令有助於驗證超過 200 個指令。