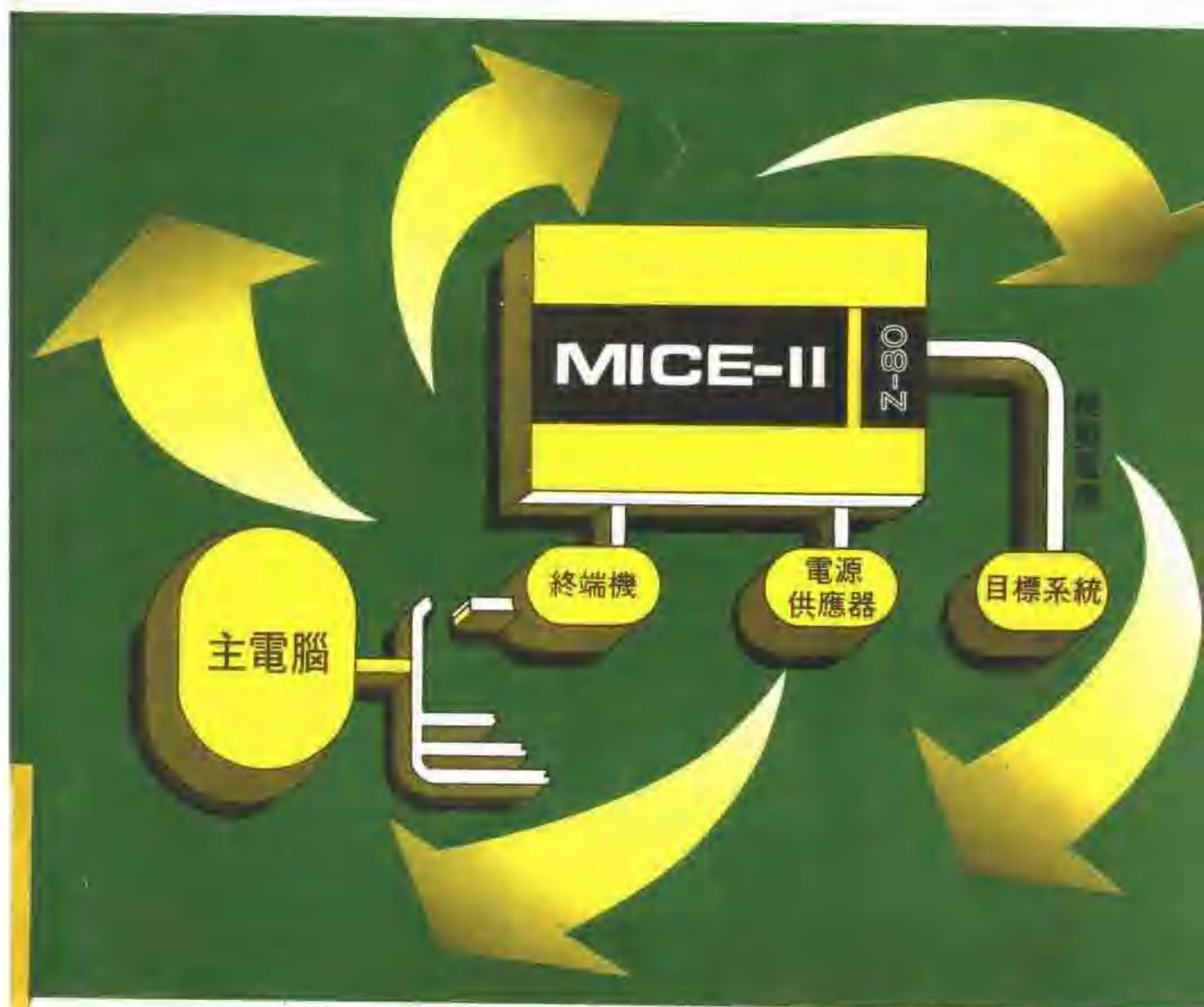


——針對Z-80 CPU——

MICE工作原理 與實習

黃東芳 編著

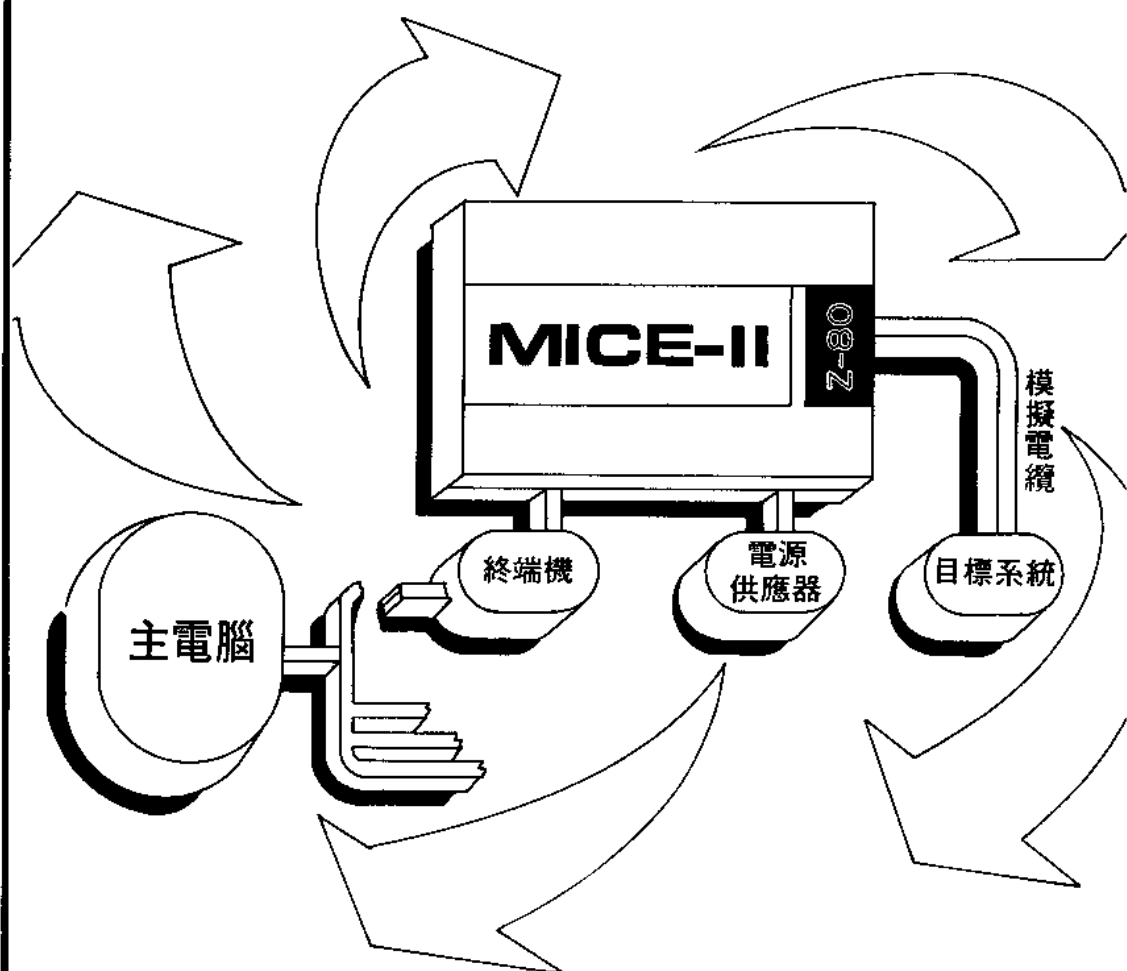


全華科技圖書股份有限公司 印行

——針對Z-80 CPU——

MICE工作原理 與實習

黃東芳 編著



全華科技圖書股份有限公司 印行



全華圖書 版權所有 翻印必究

局版台業字第0223號 法律顧問：陳培豪律師

MICE工作原理 與實習

黃東芳 編著

出版者 全華科技圖書股份有限公司

北市龍江路76巷20-2號

電話：581-1300・541-5342

581-1362・581-1347

郵撥帳號：100836

發行人 陳 本 源

印刷者 傑泰彩色印刷廠

定價 新臺幣 260 元

再版 中華民國72年12月

自序

近年來微算機的教學在國內已相當普及，許多設計者在了解微算機的工作原理後，已具備利用它來開發、設計產品的專業知識和能力；但是在開發的過程中，即使相當的細心，仍或多或少伴隨著錯誤的設計，雖然是一點點小錯誤，很可能會因此而導致成品不工作或工作不正常，故常須花費比設計更多的時間在偵錯！如何有效地找出錯誤的原因，然後加以修正，以節省時間避免浪費，將是設計者進一步追求的課題之一。

若能明確“觀察”成品內部的工作情形，則錯誤的原因是相當容易被發現的。電子產品的內部運作完全以電子流快速流動來達成，純粹靠肉眼是無法直接觀察到的，於是工具的輔助是相當必要的，且由於選擇不適當的工具，或未能充分發揮工具的效能，都足以造成事倍功半的結果！

示波器為傳統電子產品設計過程中不可或缺的利器之一，藉助於它可逐一觀察線路中一、二點週期性的波形變化情形；但是微算機內部非週期性的工作，加上必須同時觀察多點（20～30點或更多）的邏輯信號變化，才可得知其硬體工作情形，進一步分析軟體程式執行的情形如何，顯然示波器不適合微算機的偵錯；而符合以上特性的工具，則以類似ICE，M-ICE的工具為最合適。

MICE已在國人自行開發生產下，較同功能的ICE產品價格便宜。可以預測，微算機產品設計者對其需求是相當迫切的，但是目前關於MICE工作原理的介紹書籍仍相當缺乏，更遑論能有效的使用此工具於微算機的設計中，故將MICE工具做一詳盡介紹，是本書的目標之一。

本書就MICE的發展源由、設計目標加以介紹（第一章）

，然後針對其在微算機硬體、軟體方面所提供的偵錯能力加以說明，並輔以實習（第二、三、四章），接著以專題的方式，綜合軟硬體的實例說明，使得到一整合的觀念（第五章），最後介紹MICE 和各種主電腦的連線情形，將MICE 擴充為一完整的發展系統（第六章）。期望它可以對MICE 的使用者有些許的幫助。

本書得以順利完成，除了要感謝全友電腦公司工作同仁的鼎力幫忙，並提供相當寶貴的資料，另外韋霖、神通、宏碁、全亞電腦公司也給予了相當多的協助。最後更要感謝歷年來師長的教誨、同事的扶持及父母的養育之恩。

技術學院 電子系

黃東芳 1983年8月

目 錄



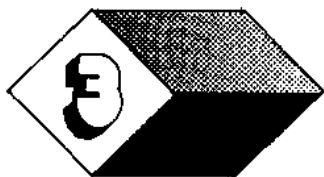
MICE簡介

1-1	MICE 的發展背景及其特點.....	1
1-2	MICE 的設計目標.....	7
1-3	MICE 的結構.....	9
1-4	MICE 的組合方式 (Set up)	11
1-5	MICE 的應用 (Application)	13
1-6	MICE 提供的命令集功能簡介.....	14



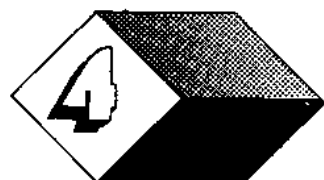
介紹MICE系統具有的 硬體偵錯能力

實習 2-1	介紹MICE 系統的建立程序.....	29
實習 2-2	介紹MICE 系統對位址匯流排線路的偵錯能力.....	36
實習 2-3	介紹MICE 系統對資料匯流排、控制匯流排的 偵錯能力.....	46
實習 2-4	介紹MICE 系統對ROM 記憶線路的偵錯能力.....	71
實習 2-5	介紹MICE 系統對RAM 記憶體體的偵錯能力.....	79
實習 2-6	介紹MICE 系統對輸入線路的偵錯能力.....	95
實習 2-7	介紹MICE 系統對輸出線路的偵錯能力.....	102



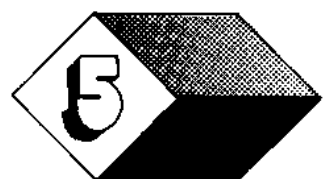
介紹MICE系統的 軟體程式發展能力

- 實習 3-1 介紹MICE 系統本身具有的系統軟體……………114
- 實習 3-2 介紹MICE 系統和電腦系統連線的能力……………137



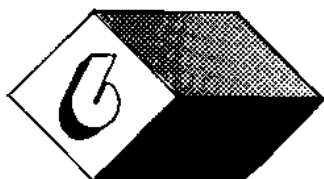
介紹MICE系統具有的 軟體程式測試、偵錯能力

- 實習 4-1 介紹“緊迫釘人”追蹤法—執行一機器週期的
功能……………157
- 實習 4-2 介紹“監督控制”追蹤法(←)—執行可數的步數……167
- 實習 4-3 介紹“監督控制”追蹤法(→)—執行不可數的步
數……………175
- 實習 4-4 介紹MICE - I “監督記錄”追蹤法—具有模
擬邏輯分析儀的功能……………188
- 實習 4-5 介紹MICE - II “監督記錄”追蹤法—具有邏
輯分析儀的功能……………201



專題討論(CASE STUDY)

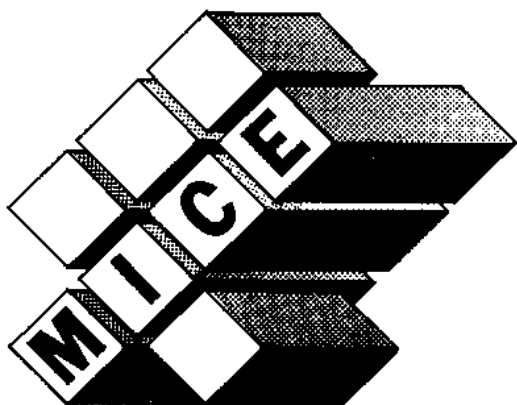
- 5-1 利用MICE 系統做小教授系統的偵錯測試……………211
- 5-2 在小教授系統上做邏輯閘 (Logic Gate) 測
試器……………219
- 5-3 紅、綠燈號誌控制系統的設計……………230



與主電腦(HOST COMPUTER) 連線作業

- 6-1 APPLE-II 個人用發展系統和MICE 的連線……………241

6-2	PDS 微算機發展系統和MICE的連線·····	250
6-3	UDS 2000 微算機發展系統和MICE的連線·····	253
6-4	PA-2400 微算機發展系統和MICE的連線·····	261
附 錄 A	MICE 驅動程式設計剖析·····	265
附 錄 B	小教授微電腦(MPF - 1) 的特性規格及線路 圖·····	297
附 · 錄 C	參考書目·····	315



1

MICE 簡介

1-1 MICE的發展背景及其特點

從事於電子產品設計的工程師們，都有如下的經驗：在產品的開發過程中，即使相當細心的思考、設計，仍然有許多的錯誤存在，（可能是設計上的問題，亦有可能是連線的問題）。故常常必須經歷無數次的修改後，真正原型系統（prototype）才得順利完成。“除錯”在這個步驟中，佔有相當重要的地位。因此，若有好的除錯工具來輔助，則可節省許多設計時間。傳統的除錯工具有：測試燈（test lamp）、三用電表（multi-meter）及示波器（oscilloscope）……等；尤其示波器的精心設計，在類比電路及部份簡單數位電路的除錯、測試中，提供相當好的測試效果。

但是科技發展日新月異，在數位積體電路製造技術方面，有了許多突破性的進展，導致微算機的出現和普及，目前其已成為任何系統控制部份的核心。其主要的特點乃：

1. 萬用性

微算機的動作受指令的控制，同樣的硬體線路，可因不同的程式，而顯現出完全不同的功能，故設計者在已有的功能基礎下，很容易開發、設計出新的產品。

2. 高可靠性、低價格

微算機的硬體近乎完美且具有可程式化（programming）的特性。如果以分離

的邏輯 IC 完成同樣的功能，所需要的人力是相當可觀的，至於價格也是昂貴的，而錯誤發生的比例更是非常的高。故目前不論那一行業的製造者，都採用微算機為主，而設計出應用電路，以獲得高可靠度、低價格的利益。

3. 軟體和硬體可互相取代

微算機產品為軟體程式與硬體線路的適當組合而成。由於軟體程式不論在價格、維護、發展上都較硬體便宜與方便，故在反應速度(response)的允許下，可用軟體取代部份硬體功能。但如果反應速度要求較快時，又可用硬體取代部份軟體程式，使得微算機更具發展潛力，更易為各行業所採用。

4. 以匯流排(BUS)為基本傳送架構

利用許多並排的導線，提供“0”、“1”的邏輯信號傳送，依其信號所代表的意義，又可區分為三種匯流排，即位址匯流排(address bus)、資料匯流排(data bus)以及控制匯流排(control bus)。此種架構，使設計者能很容易的擴充微算機的功能，而不必全盤的修改。

由以上的特點可看出，在微算機產品的開發、設計過程中，除了需要“硬體除錯工具”外，尚需“軟體除錯工具”，才能解決軟、硬兩方面所發生的問題。況且微算機的運作是非週期性，是極快速的，再加上其匯流排間有著複雜的關係存在，故純粹借助於傳統的開發儀器——示波器，已不再能滿足設計者的需求了！

目前關於微算機軟、硬體的除錯工具有很多，大致上可分為兩大類：

(一) 靜態偵錯工具(static troubleshooting tools)

通常拔除被測系統的 CPU 部分，而利用一簡單的硬體電路來模擬 CPU 的基本動作；或加以適當的控制，使 CPU 執行的速度降低，於是可配合示波器、三用電表、或邏輯探針，容易查看設計系統動作次序及結果，得到修改錯誤的線索。

典型的有靜態激發測試器(static stimulus tester, SST)*、靜態程式測試器(static program tester)*……等。

(二) 動態偵錯工具(dynamic troubleshooting tools)

可以讓被測系統的 CPU 全速執行，而能即時(real time)將運作中各匯流排上重要的 0、1 信號先加以收集儲存後，再慢慢由顯示器上顯示當時的信號，以為分析錯誤的線索。

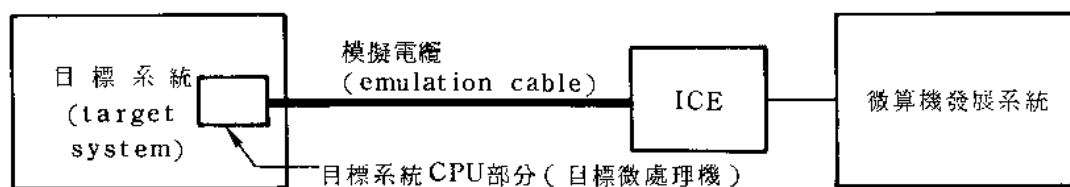
典型的有邏輯分析儀(logic state analyzer)——基本上它是儲存示波器功能的再延伸，常稱之為數位示波器，可同時監督數十個頻道(channel)的邏輯

* 詳細可參考附錄 C 參考書目所列的第 1 本書。

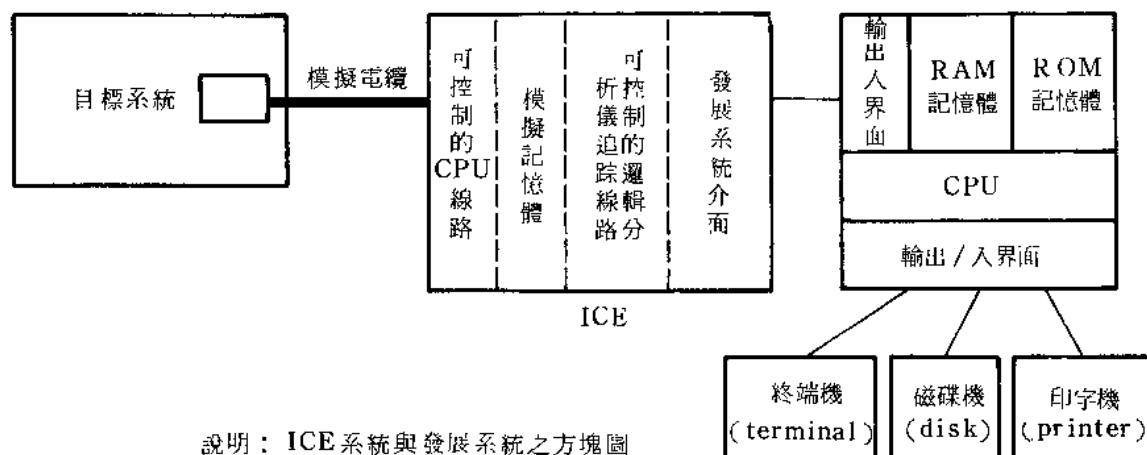
信號，另外也提供前觸發(forward trigger)及後觸發(backward trigger)的功能。故此類工具的特性乃：

1. 有許多的探針，可同時“觀察”許多點的信號變化。
2. 每一測試點僅為0或1的信號變化。
3. 每一測試點可連續儲存數百組到數千組的資料。
4. 取樣資料(sampling data)的儲存速度，可選擇在10 ns ($ns=10^{-12}s$) ~ 1秒之間。
5. 有螢幕配合，以顯示儲存的資料及波形。

ICE(in-circuit emulator)，更進一步結合靜態偵錯工具和動態偵錯工具的設計原理及觀念，而成為微算機產品開發的有力儀器，通常必須配合一發展系統(development system)，於是可輔助設計者在極短的時間內，將複雜的微算機開發產品的軟體、硬體做恰當的整合。



說明：ICE系統、目標系統與發展系統間之關係圖



說明：ICE系統與發展系統之方塊圖

【註1】 發展系統配合的軟體有：

1. 磁碟作業系統(operating system)。
2. 編輯程式(editor)。
3. 組合語言轉譯程式(assembler)。
4. 解組合語言轉譯程式(disassembler)……等。

【註2】 目標系統(target system)為欲開發的微算機系統。

一般完整的ICE必須具備以下的特性：

1. 能模擬CPU基本動作的線路。
2. 可控制的CPU線路；達到降低執行的速度。
3. 具有邏輯分析儀的能力——即時將匯流排的信號儲存。
4. 提供目標系統模擬的記憶體。
5. 提供模擬輸出/入埠的能力。

因此將ICE透過模擬電纜(emulation cable)來取代目標系統(target system)上的CPU後，可達到以下的功能：

(一) 在硬體方面

易於利用示波器、三用電表或邏輯探針來檢查位址匯流排(address bus)、資料匯流排(data bus)、控制匯流排(control bus)、緩衝器(buffer)、解碼器(decoder)、僅讀記憶體(ROM)、讀寫記憶體(RAM)、輸出/入埠……等硬體的信號反應，以找出硬體錯誤的線索。

(二) 在軟體方面

提供一機器週期(machine cycle)的執行，單指令的執行，CPU內各暫存器、記憶體、輸入埠的顯示與更改。更進一步具有斷點(breakpoint)的設置能力，使可隨心所欲執行到某指定的位址，再查看觸發前、後的執行情形，故在軟體偵錯上，提供了相當有力的追蹤功能。

因此，無論是那一種類型的ICE設計，對於軟體、硬體的偵錯或整合，都是一部十分優越的輔助工具；但ICE本身價格的昂貴，再加上必須有特定的發展系統來配合使用，金錢的花費是驚人的！為了降低價格，並在維持產品品質原則下，成立於新竹科學園區內的全友電腦公司，成功的推出低價錢的微算機開發系統——MICE系列(包含第一代——MICE-I及第二代加強型——MICE-II)，使得測試儀器的發展又向前跨進了一大步。

MICE(micro-in-circuit-emulator)的主要特點：

(一) 具備ICE全部的功能

1. 邏輯分析儀功能

- (1) MICE-I——具正、反向監督記錄(Forward/Backward trace)的追蹤能力，以原來執行速度的1/100到1/1000來執行，同時將目標微處理機執行某程式時，各匯流排的信號加以記錄；以利執行後分析。其追蹤記錄緩衝區(trace buffer)，具有256組匯流排信號的儲存。

(2) MICE-II —— 具正、反向監督記錄的追蹤能力，百分之百的即時 (real time) 作業，同時將目標微處理機執行某程式時，各匯流排的信號 (外加 8 個硬體測試點) 加以記錄，以利於執行後分析。其追蹤記錄緩衝區，最多可以有 2048 組匯流排信號的儲存。

2. 追蹤控制的功能

(1) MICE-I —— 設定一斷點 (breakpoint) 的能力，且經過斷點的次數及符合的狀態可任意設定。

(2) MICE-II —— 可任意設定二個斷點，且其中一個經過斷點的次數及符合的狀態可任意設定。

3. 實體界面 —— 在 MICE 的控制下，目標系統 (target system) 仍保留完整的記憶空間及輸出 / 入空間。

4. 分立的模擬記憶體

(1) MICE-I —— 8 K 記憶空間的模擬記憶體 (可模擬 ROM、RAM 或輸出入埠的動作)，提供給目標系統使用，且不因目標系統的工作不正常而干擾其工作。

(2) MICE-II —— 32 K 記憶空間的模擬記憶體，提供給目標系統使用；並可以 32K 為單位來擴充記憶體的容量。

5. 輸入控制線的控制 —— 具有可控制的中斷控制線、hold 線、匯流排要求線 (bus request control line) …… 等，增加 MICE 的除錯能力。

(二) 具備了發展系統大部份的能力

MICE 本身已有行組合語言轉譯程式 (line assembler)、解組合語言轉譯程式 (disassembler) 的設計，使 MICE 可不需要配合昂貴的發展系統，只要透過 RS-232 C 和終端機連接，即可構成一簡單的發展系統。

(三) 體積小，攜帶方便

1. MICE-I ——

(1) 體積：17.5 cm × 7.0 cm × 23.0 cm

(2) 重量：0.9 kg

2. MICE-II ——

(1) 體積：20.0 cm × 8.0 cm × 33.0 cm

(2) 重量：2.0 kg

(四) 價錢便宜

完全國人自行設計、生產，比起同功能的 ICE 便宜許多。又在一微算機產品的生命週期中，MICE 都擔任重要的角色，可避免使用固定系統的缺乏可變性，因而

浪費大量的投資。

(五) 萬用性(universal)

目前的MICE系列，幾乎涵蓋較流行的8位元、16位元的微算機型的MICE。

1. MICE-I——都為8位元微算機型的MICE。

有R6502型MICE、Z-80/Z-80R型的MICE、8048/49/50型的MICE、8085型的MICE、NSC800型的MICE。

2. MICE-II

(1) 8位元微算機型

有R6502型MICE、Z-80R型MICE、8085型MICE、6809/6809E型MICE、NSC800型MICE。

(2) 16位元微算機型

有68000型MICE、8086/8088型(MAX)MICE、8086/8088型(MIN)MICE。

(六) 多變性(versatile)

MICE本身採用模板(module)的設計，功能劃分非常明確，故只要更換其中一片模板及ROM，即可變為另一種微算機型的MICE。

1. MICE-I——包含兩片模板：控制卡板(control board)、個別卡板(personality board)。只要更換其中的個別卡板與控制卡板上的ROM，即可變為模擬另一種微算機型的MICE。

2. MICE-II——包含三片模板：CEP板、RTT板、UEM板。只要更換其中的CEP板，即可變為模擬另一種微算機型的MICE。

(七) 可擴展性(expansable)

1. 簡單的組合(OFF-line)：終端機直接透過RS232C和MICE相連接，而完全使用MICE本身的功能。

2. 和主電腦連線(ON-line)：除了可完全使用MICE本身的功能外，由於MICE提供上送(upload)、下送(download)的命令，大量的資料可以透過RS232C，在主電腦和MICE之間來回傳送，使主電腦的許多資源(硬體：印字機、磁磁機；軟體：組合語言轉譯程式(assembler)編輯程式(editor)……)都為MICE所共用，增強MICE的能力，成為相當完整的發展系統。

(八) 發展工作站的分延(distribution)

當有多個設計人員要分用一發展系統時，很難決定要將這個資源分配給誰使用。多個工作站——多項設備——其耗費驚人！

MICE 可經濟而有效的解決這個問題：當需要大型發展系統做軟體發展時，MICE 可以和主系統連線作業（ON-line）；若只是要做些簡單的除錯工作，則可將系統上的目的程式機器碼下送（down-load）到 MICE 上，然後使 MICE 和主系統分離（OFF-line），而接上一個終端機單獨使用。因為 MICE 本身已擁有夠大的模擬記憶體（MICE-I 具 8 K，而 MICE-II 有 32 K）及組合語言 / 解組合語言轉譯程式，故單獨使用絕不會有問題。

(九) 提高電腦系統的價值(upgrading)

一個便宜的應用電腦系統或個人型電腦，若和 MICE 連線作業，只要花費少許的成本——加上 RS 232C 界面、驅動程式（driver）及一些系統程式，即可提昇為高性能的微算機發展系統。

(十) 強而有力的輸出 / 入命令

不需要設計任何程式，即可執行底下的輸出 / 入命令。

1. 利用輸入命令，讀取（入）任一輸入埠多至 256 次的資料，且每一次讀入的間隔，可從 1 毫秒（ms）到 256 毫秒任意選擇。
2. 利用輸出命令，亦能程式化大部分 LSI 界面 IC。

(十一) 使用便捷的命令集(command set)

強而有力的命令集，使用單一字元操作，極易學習。更可經由“？”（HELP）命令，讓 MICE 顯示它所有的命令。

(十二) 多 MICE 的能力——易於開發多微處理機產品(multiple-microprocessor products)

由於微算機使用於控制、醫療、太空、軍事等的應用日漸廣泛，單微處理機的系統設計已不敷使用者的要求，而漸漸走上多微處理機的系統設計，以應付日趨複雜的微算機應用系統，而多 MICE 系統，即為提供多微處理機系統產品的軟 / 硬體發展、模擬、偵錯及整合的發展工具。它具有同時連接多個 MICE 的能力，可同時模擬多個不同微算機產品或單獨模擬其中任何一個。如此，使用者只要在單一的控制點（如終端機或主電腦系統）上，就能同時和多個不同的 MICE 溝通，不論就經濟效益或使用程序而言，都能讓使用者達到便捷的目的。

1-2 MICE 的設計目標

MICE 的設計目標，在於成為一種能滿足微算機產品整個生命週期中各項需求的標準輔助工具。而使設計者只要使用單一的工具，就能輕易應付產品的計劃、開發以致於經常的維護等過程，減少學習不同工具的麻煩及時間，也節省購置多種儀

期 間	目 標	儀 器 要 求	MICE的功能
(一)計劃期	1. 評估各微處理的功能及適用性。 2. 選擇最適用的微處理機。	1. 易學、易用。 2. 能確切的顯示微處理的功能。 3. 價格低廉。	1. 使用單字命令，易學易記，使用者可在短時間內熟悉所有命令。 2. 只更換MICE內的部分卡板，即成為另一種微處理機的MICE，易於評估各種微處理機，且對各微處理機的MICE具有統一的命令集。
(二)開發期	1. 硬體的除錯。 2. 軟體程式的發展及除錯。	1. 易學、易用。 2. 大量的記憶空間。 3. 高能力的組合語言轉譯程式。 4. 具追蹤的能力，以便進行軟體除錯。 5. 價格低廉。 6. 永久儲存裝置，以暫存設計的程式。	1. MICE-I具8 K模擬記憶體，可映到目標系統64K中的任何8 K範圍；而MICE-II有32 K模擬記憶體。 2. 具執行機器週期的能力，可做硬體的除錯。 3. 具單步執行及前（後）觸發追蹤能力，再配合顯示記憶體及暫存器內含，可做軟體的除錯。 4. 有上送（up-load）、下送（down-load）命令，可和較大的電腦系統連線，以便使用其上各資源——高能力的組合語言轉譯程式及永久儲存裝置。
(三)生產期	1. 產品的整合測試（integrity testing）。	1. 具有整合測試能力。 2. 價格低廉。	1. 可模擬測試產品的功能。 2. 具有整合測試的能力。
轉維護期	1. 現場偵錯（trouble-shooting）。 2. 整合測試。	1. 輕巧、攜帶方便。 2. 多用途。 3. 價格低廉。	1. 體積小（MICE-I：17.5 cm×7 cm×23.0 cm；MICE-II：20.0 cm×8.0 cm×33.0 cm）。 2. 重量輕（MICE-I：0.9 kg；MICE-II：2.0 kg）。

微算機產品生命週期中對儀器的要求及MICE的功能表

器的金錢花費。

微算機產品的生命週期，一般可分為計劃期、開發期、生產期與維護期等四個階段。上表即列出這四個階段中的目標與其對於儀器的要求。此外，亦顯示了MICE在這些階段的用途。當然價格低廉、易學、易用及多用性是管理層面和技術層面共同追求的目標，而MICE的設計目標正符合了這些要求。

【註】 除錯（debug）：

在產品開發期間，為找出錯誤的設計而進行的工作謂之。

測試 (testing) :

在產品生產期間，以各種不同的資料輸入，加以測試成功的產品謂之。

偵錯 (troubleshooting) :

在產品維護期間，由於某些原因，使系統不工作或工作不正常，而進行的工作謂之。

1-3 MICE的結構

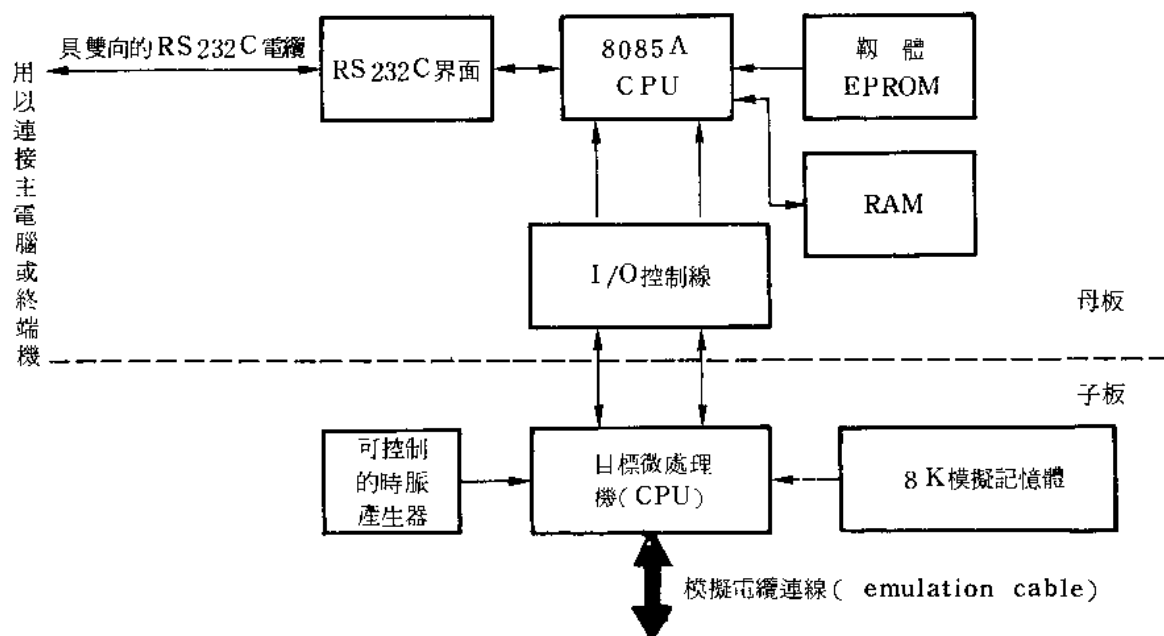
(一) MICE的硬體

1. MICE-I 的硬體架構：

MICE-I 本身包含了一塊以 8085 A 為中心的控制卡板 (8085 A - based control card) 名為 MCP-85，是多目的的控制板，又稱為母板；以及一塊個別卡板 (personality card) 名為 EP- n (n 是被模擬目標微處理機的型號)。

(1) 控制卡板 (母板) :

- ① 8085A 的 CPU
- ② 6.144 MHz 的時脈
- ③ 有 8 K ~ 16 K 容量的 EPROM
- ④ 有 1 K ~ 2 K 的 RAM
- ⑤ 使用 RS232C 的介面，可以連到 MODEM 或者終端機，而傳送速率可以從每秒 110 個位元到 9600 位元。



MICE-I 硬體結構圖