

第3章 計算機組織

目錄

3-1 系統單元

3-2 中央處理器 (CPU)

3-2-1 控制單元 (CU)

3-2-2 算術邏輯單元 (ALU)

3-2-3 暫存器

3-2-4 CPU 的工作原理-以x86 CPU 為例

3-2-5 CPU相關規格

3-2-6 機器語言

3-2-7 機器循環週期

3-3 CPU的設計架構與技術

3-3-1 CISC V. S. RISC

3-3-2 管線

3-3-3 超純量處理器

3-3-4 平行處理

3-4 記憶體

3-4-1 記憶體的種類

3-4-2 記憶體的階層

3-4-3 主記憶體的定址方式

3-5 電腦與週邊通訊

3-6 輸入/輸出的定址方式

3-6-1 隔離I/O

3-6-2 記憶體映射I/O

3-7 輸入/輸出介面

3-7-1 程式控制I/O

3-7-2 中斷式I/O

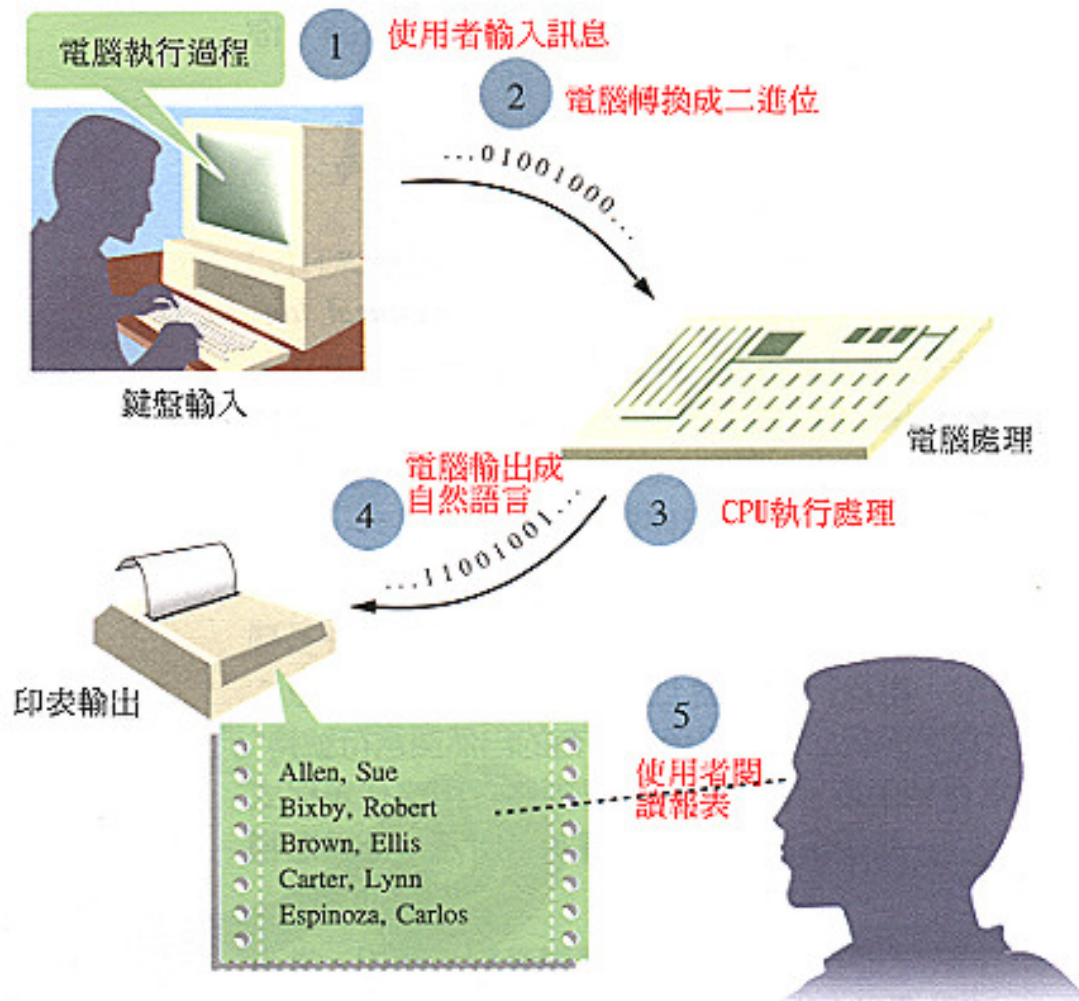
3-7-3 直接記憶體存取 (DMA)

3-8 輸入裝置

3-9 輸出裝置

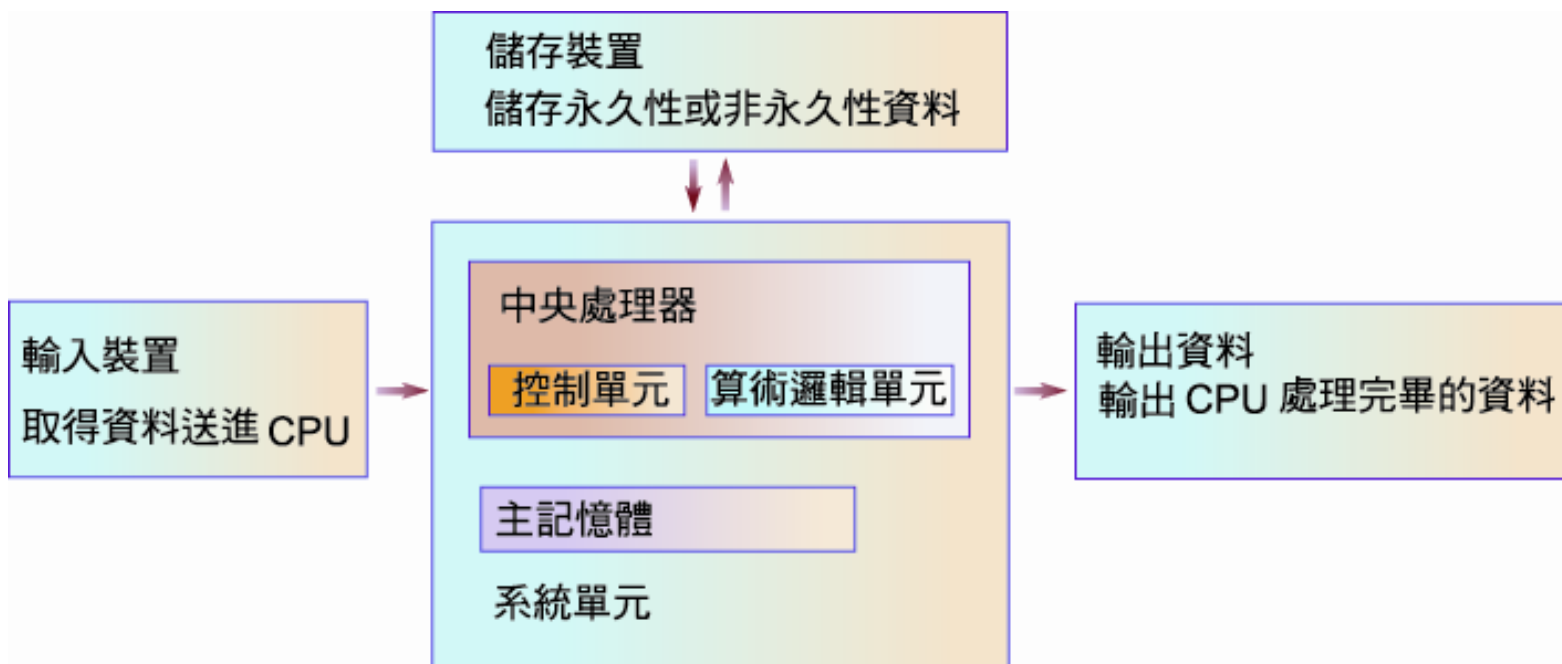
3-10 儲存裝置

電腦執行過程



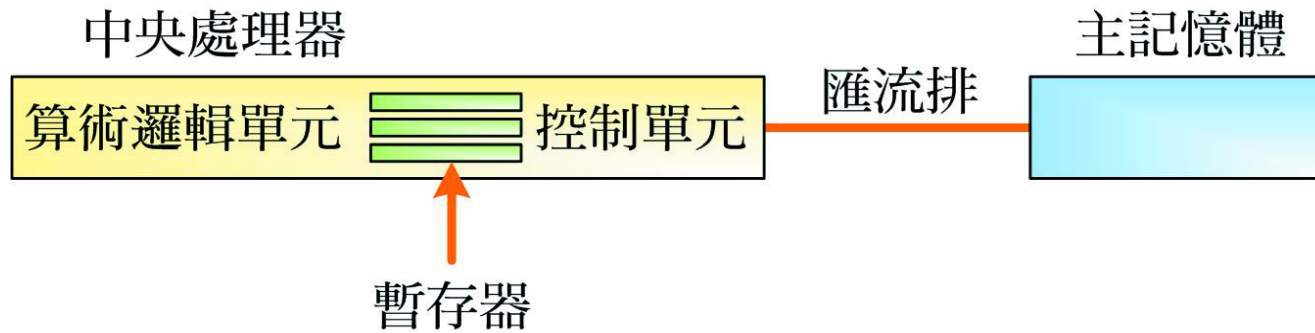
3-1 系統單元

- 電腦的系統單元 (system unit) 包含中央處理器 (CPU) 與主記憶體兩個部分。



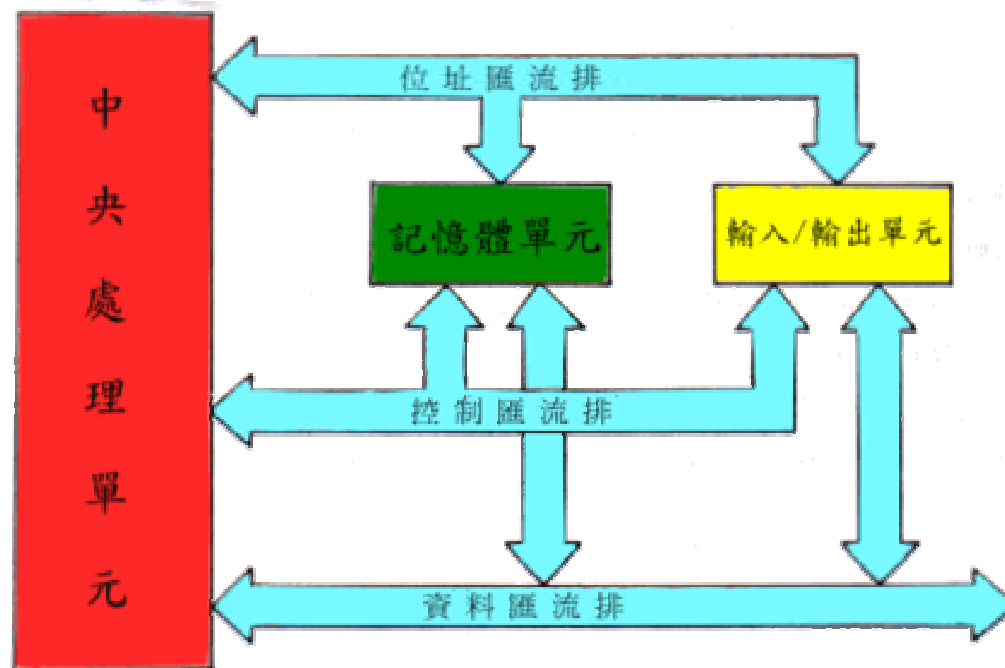
3-2 中央處理器 (CPU)

- CPU 負責算術運算、邏輯運算與程式執行，又稱為「微處理器」(microprocessor) 或「處理器」(processor)。
- CPU是由控制單元、算術邏輯單元及部分的記憶體單元(暫存器)所組成。



中央處理單元

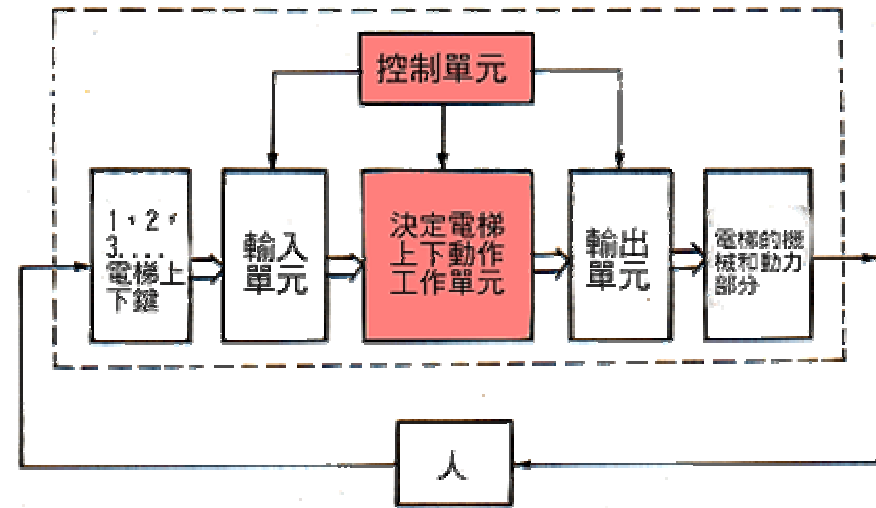
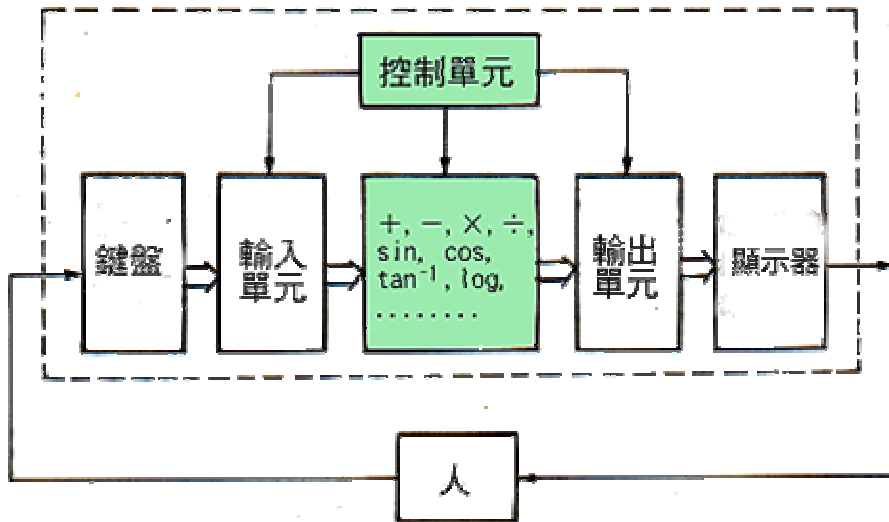
- 中央處理單元(Central Processing Unit, CPU)是電腦中最重要部份，主宰著整部電腦的運作。也是實際用來執行程式解碼、資料處理、邏輯判斷及運算的部門。
- CPU基本組成單位



中央處理單元(續)

- 應用: 常以晶片的方式置入在許多日常生活的設備中，稱為微電腦，如微電腦電冰箱、電梯、計算器、微電腦冷氣機等
- 計算機

電梯



3-2-1 控制單元 (CU)

- 控制單元 (control unit) 是負責控制資料流向與指令流向的電路，它可以讀取並解譯指令，然後產生訊號控制算術邏輯單元、暫存器等CPU內部的元件來完成工作。
- 控制單元的製作方式有下列兩種：
 - 硬體線路控制 (hardwired control)
 - 微程式控制 (microprogrammed control)

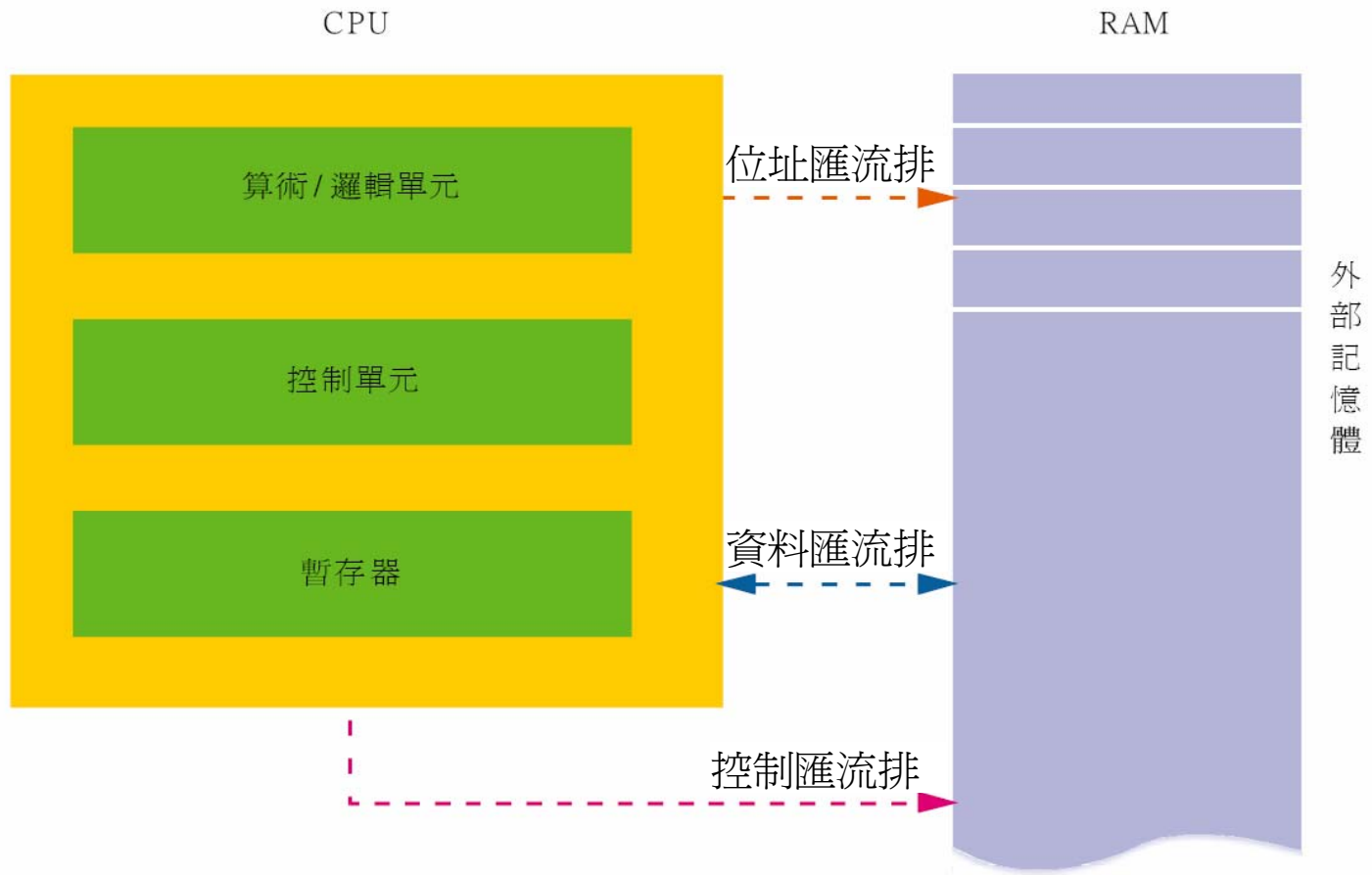
3-2-2 算術邏輯單元 (ALU)

- 算術邏輯單元 (arithmetic/logic unit) 是負責算術運算與邏輯運算的電路。
- 電腦的機器指令有下列三種類型：
 - 資料傳送類型：這類型的指令可以將資料從某處複製或搬移至它處，例如LOAD、STORE。
 - 算術邏輯類型：這類型的指令除了可以進行加、減、乘、除等算術運算之外，還可以進行AND、OR、XOR、SHIFT、ROTATE等邏輯運算。
 - 控制類型：這類型的指令是指示程式的執行，而非進行運算，例如JUMP、BRANCH。

3-2-3 暫存器

- 暫存器 (register) 是位於CPU內部的記憶體，用來暫時存放目前正在進行運算的資料或目前正好運算完畢的資料。
- 要注意的是暫存器和主記憶體不同，暫存器位於CPU內部，主記憶體位於CPU外部，中間透過匯流排來存取，匯流排 (bus) 是主機板上面的鍍銅電路，負責傳送電腦內部的電子訊號。

暫存器



3-2-4 CPU 的工作原理-以x86 CPU 爲例

- CPU 的構造
 - CPU 的構造包含了控制單元 (CU, Control Unit)、算術/邏輯單元 (ALU, Arithmetic / Logic Unit)、暫存器 (Register) 等, 並透過匯流排 (Bus) 來溝通:

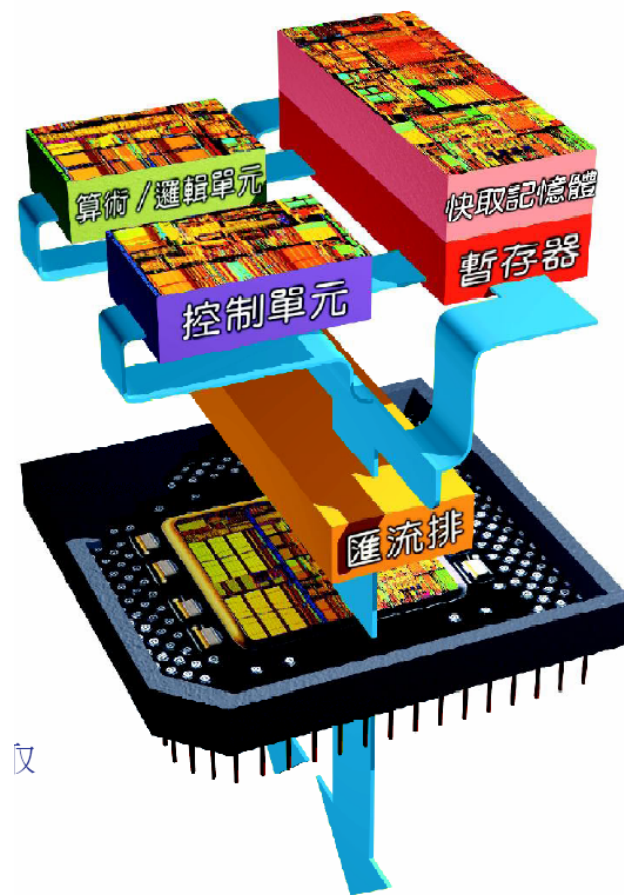


圖 2-2 CPU 內部的組成
(圖片來源：旗立資訊)

x86 系列 CPU 中幾種較常見的暫存器

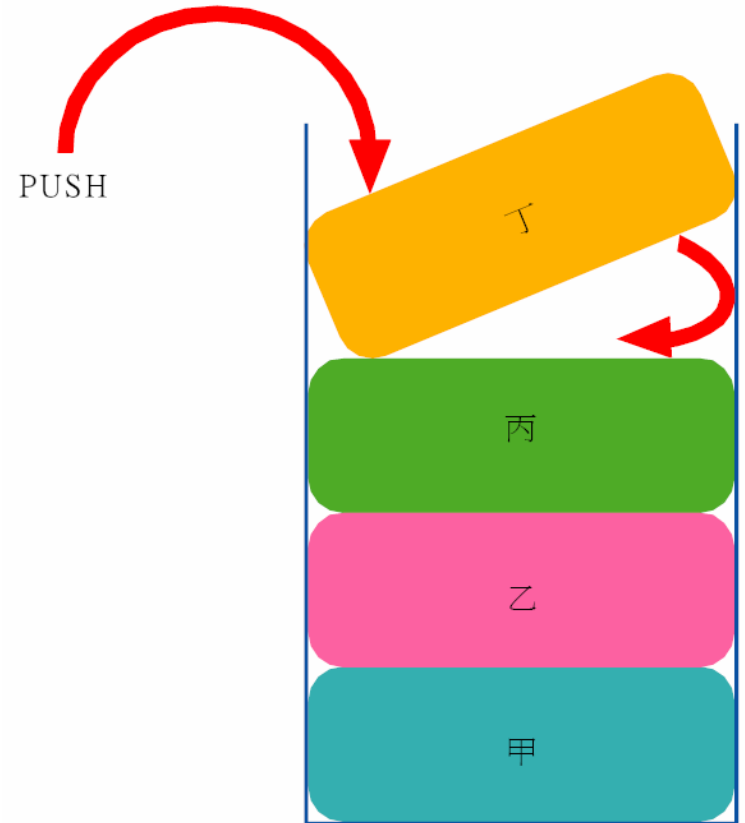
- 一般用途暫存器 (General Purpose Register)
 - ：一般用途暫存器是用來存放運算的資料、指令或位址。
 - 資料暫存器 (Data Register)：資料暫存器即用來存放資料的地方。
 - 累加器：累加器通常會被單獨拿出來介紹，因為累加器是算術/邏輯運算單元中相當重要的部份，是用來存放運算過程及運算結果的資料。

x86 系列 CPU 中幾種較常見的暫存器

- 指令暫存器 (Instruction Register)：通常設置在控制單元內，用來存放目前被執行的指令。
- 程式計數器 (Program Counter)：用來記錄 CPU 下一個要執行指令所存放的位址。

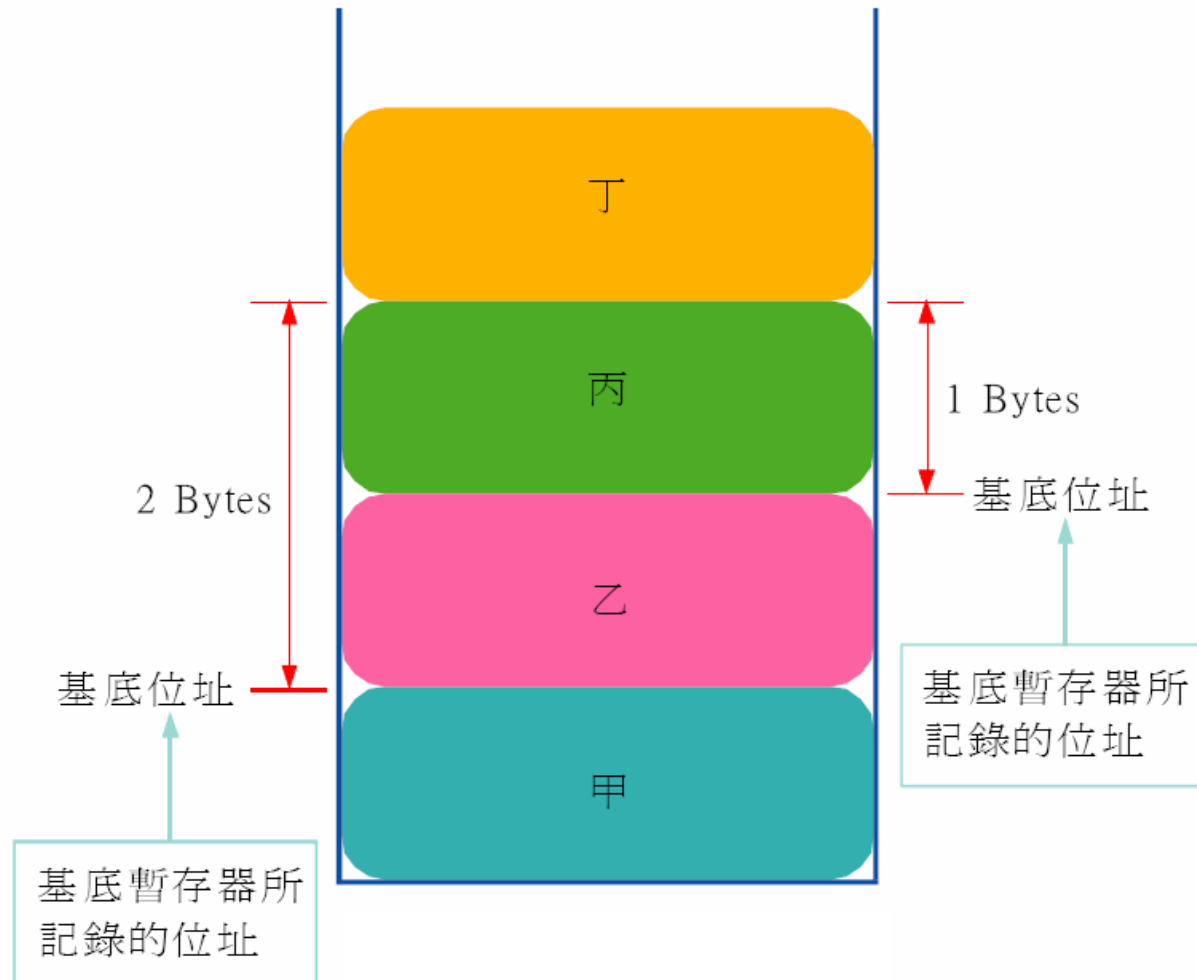
x86 系列 CPU 中幾種較常見的暫存器

- 位址暫存器：用來記錄資料存放在記憶體的位置，也稱為指位器 (Pointer)。
- 堆疊暫存器 (Stack Register)：堆疊暫存器是用來記錄堆疊最頂端位置的暫存器。



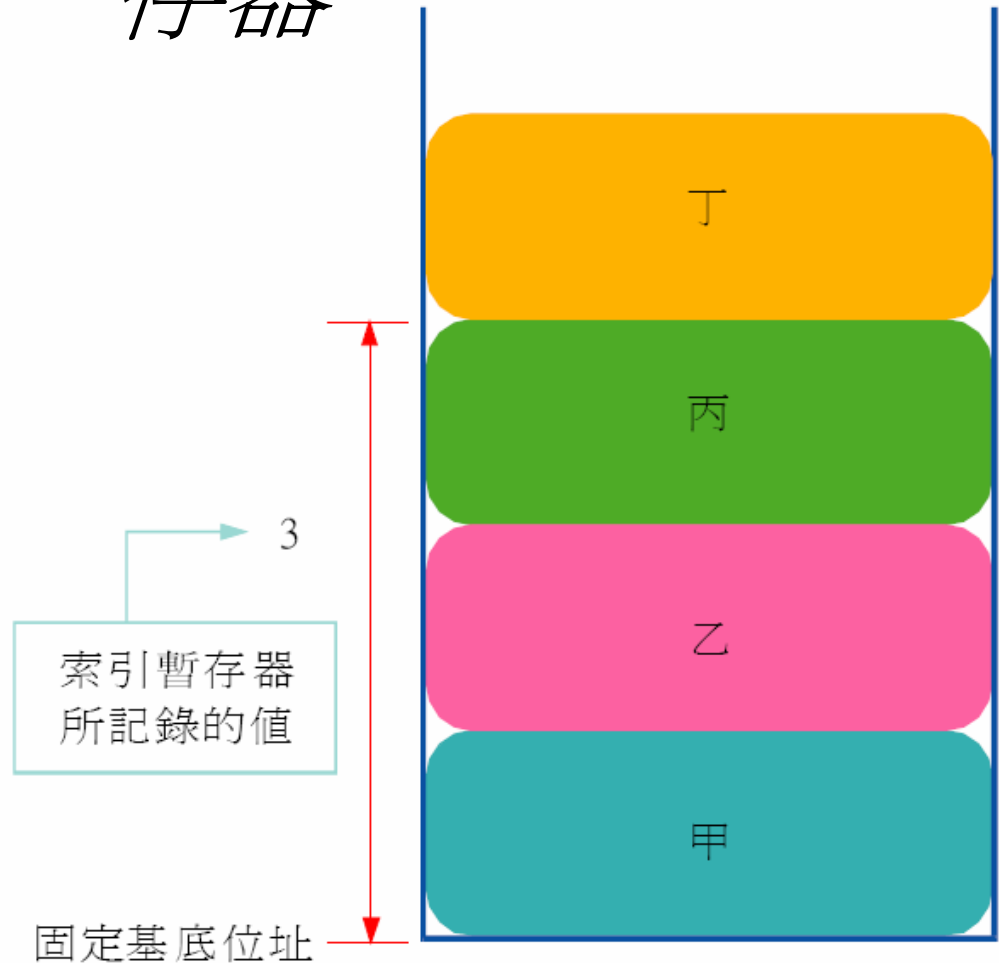
x86 系列 CPU 中幾種較常見的暫存器

- 指令暫存器 (Instruction Register)：通常設置在控制單元內，用來存放目前被執行的指令。



x86 系列 CPU 中幾種較常見的暫存器

- 索引暫存器 (Index Register)：索引暫存器是『索引定址法』在做暫存器定址時使用的暫存器。



x86 系列 CPU 中幾種較常見的暫存器

- 旗標暫存器 (Flag Register)：旗標暫存器是一種比較特殊的暫存器，是用來記錄 CPU 在處理運算時的狀態，或運算之後的狀態。

3-2-5 CPU相關規格

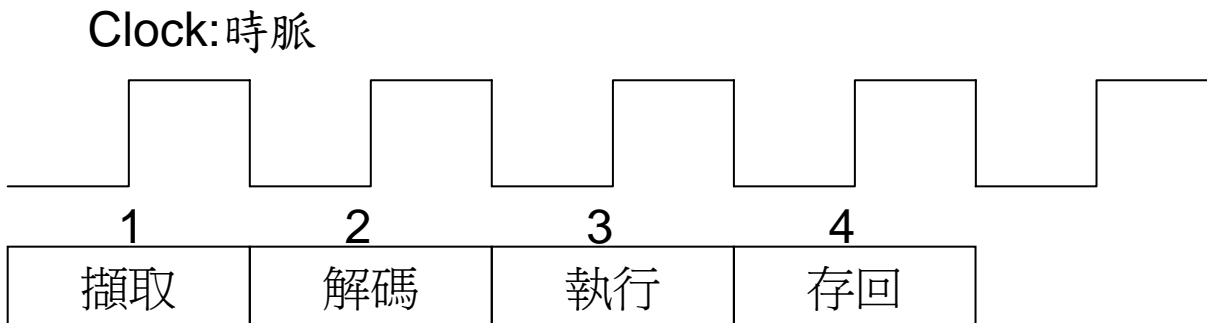
- 用來計量CPU 運算速度的單位稱為 **MIPS** (Millions of Instruction Per Second, 每秒百萬個指令), 意即 CPU 一秒鐘可以執行幾百萬個的指令。
- CPU 的工作時脈
 - 一般描述 CPU 的效能時, 都是以 CPU 運作的「時脈頻率」, 也稱為「工作時脈」來描述, 早期其單位為 MHz (每秒百萬次)
 - CPU 時脈的計算方式如下：

CPU 的內頻 = CPU 的外頻 × 倍頻係數

- **內頻 (Internal Clock)**：是 CPU 內部在工作時的頻率，以 Pentium 4 2.8G 的 CPU 為例，其內頻即是 2800 MHz。
- **外頻 (External Clock)**：是主機板提供給 CPU 的時脈頻率。
- **倍頻係數 (Clock Multiplier Factor)**：以內頻除以外頻，會得到一係數，此係數即稱為倍頻係數，也就是內頻和外頻相差的倍數。

- 時脈 (clock) 是電腦內部一個類似時鐘的裝置，它每計數一次，稱為一個時脈週期 (clock cycle)，電腦就可以完成少量工作。
- 時脈速度 (clock rate) 指的是時脈計數的速度，單位為MHz (百萬赫茲) 或GHz (十億赫茲)，也就是每秒鐘幾百萬次或每秒鐘幾十億次，而時脈每計數一次所經過的時間稱為時脈週期時間 (clock cycle time)。
- 電腦的效能取決於時脈速度、CPI和指令數目等因素。

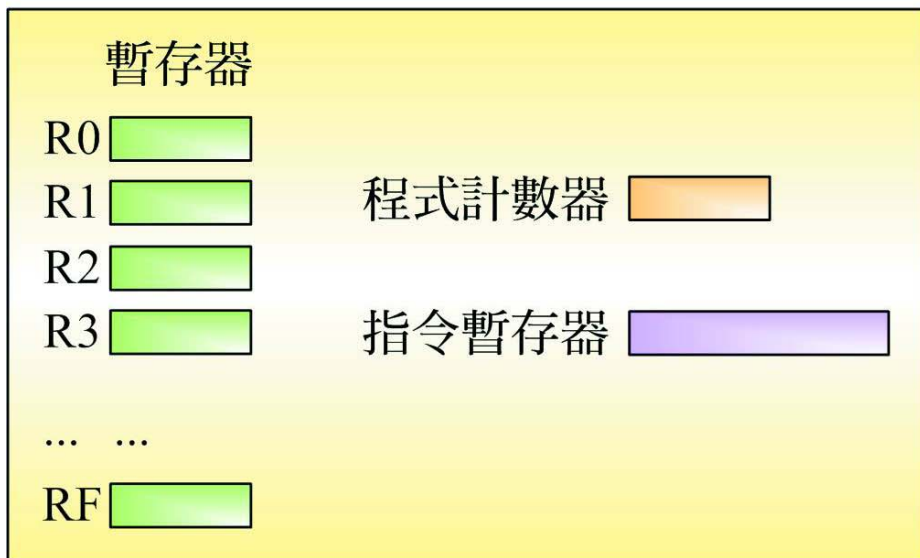
- CPI(clock cycle per instruction)：每個指令所需要的時脈週期，例如四個時脈週期完成一個指令四個步驟(擷取、解碼、執行、存回)。



3-2-6 機器語言

- 機器語言 (machine language) 是程式與電腦溝通的介面，定義了程式可以使用的指令與編碼方式。
- 機器指令 (machine instruction) 的編碼方式通常包含運算碼 (op-code) 和運算元 (operand) 兩個部分，其中運算碼是這個指令所要進行的運算，運算元是這個指令進行運算的對象。

中央處理器



主記憶體



匯流排



前面 4 個位元
為運算碼

後面 12 個位元
為運算元

運算碼	運算元	說明
1	RXY	LOAD指令，將主記憶體位址XY的資料載入暫存器R
2	RXY	STORE指令，將暫存器R的資料儲存到主記憶體位址XY
3	RST	ADD指令，將暫存器S的資料與暫存器T的資料相加，再將結果儲存到暫存器R
4	RST	OR指令，將暫存器S的資料與暫存器T的資料進行OR運算，再將結果儲存到暫存器R
5	RST	AND指令，將暫存器S的資料與暫存器T的資料進行AND運算，再將結果儲存到暫存器R
6	RST	XOR指令，將暫存器S的資料與暫存器T的資料進行XOR運算，再將結果儲存到暫存器R
7	RXY	JUMP指令，若暫存器R的資料與暫存器R0的資料相同，就跳到主記憶體位址XY去執行，否則依序執行
8	000	HALT指令，使程式暫時停止執行，例如機器指令8000是將程式暫停

- 11BA (將主記憶體位址BA的資料載入暫存器R1)
- 12BB (將主記憶體位址BB的資料載入暫存器R2)
- 3312 (將暫存器R1的資料與暫存器R2的資料相加，再將結果儲存到暫存器R3)
- 23B0 (將暫存器R3的資料儲存到主記憶體位址B0)
- 10B0 (將主記憶體位址B0的資料載入暫存器R0)
- 73FF (若暫存器R3的資料與暫存器R0的資料相同，就跳到主記憶體位址FF去執行，否則依序執行)

3-3 CPU的設計架構與技術

- CPU 的指令集

- 指令集 (Instruction Set) 是一群指令的集合；而指令則是CPU 提供的服務。

- CISC 與 RISC

- CISC (Complex Instruction Set Computer) 稱為複雜指令集，是指 CPU 內使用功能較多、較強的指令。使用 CISC 最具代表性的 CPU，即是 Intel x86 系列的 CPU。

– RISC (Reduced Instruction Set Computer)

稱為**精簡指令集**，也就是使用少量、較常用的，且功能較簡單的基本指令，來完成複雜的指令。

– 使用 RISC 的 CPU 通常是非 x86 系列的 CPU，最具代表性的是 IBM、Motorola 與 Apple 共同開發的 PowerPC。

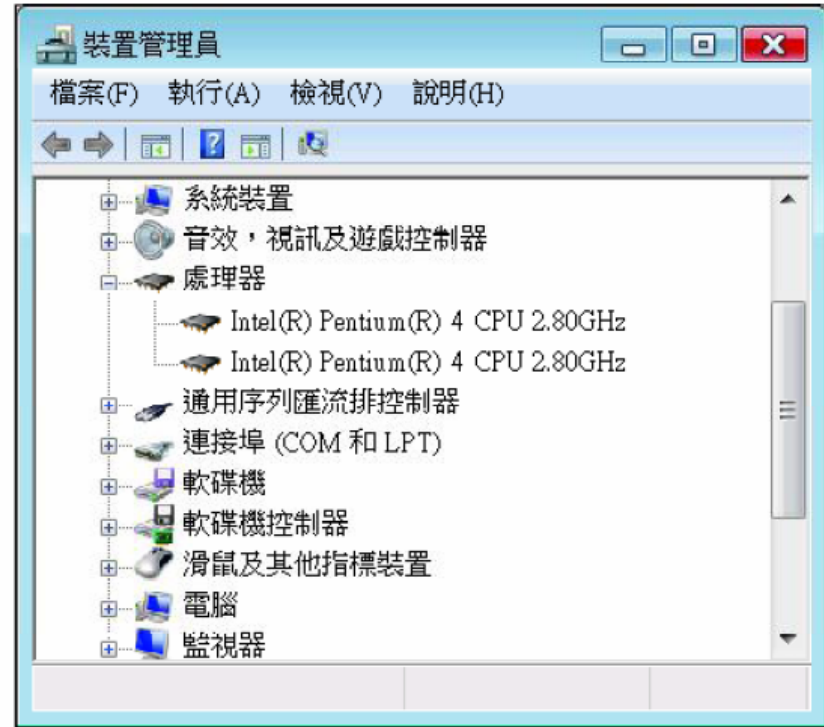
CPU 的規格與技術名詞

- 關於 CISC 和 RISC 的比較整理如下：

	CISC	RISC
使用電晶體數	多	少
製作成本	高	低
內含指令	多,功能較強	少,只有較常用、較基本的功能
所需指令週期	長	短
執行效能	較差	較佳
編譯器	需要功能少,較易開發	需要功能多,不易開發

- Hyper-Threading

- Hyper-Threading 的中文翻譯為『超執行緒』，簡稱為『H.T.』。用比較淺顯的概念來說，Hyper-Threading 就是把 1 個實體的 CPU 『模擬』成 2 顆 CPU、增加處理器運作效率，藉以有效地善用資源、減少系統資源的浪費：



Intel 的超執行緒技術，讓電腦宛如同時有2科CPU在運作

CPU 的規格與技術名詞

- 多核心
 - 雙核心相當於將兩個 CPU (核心) 包裝在單一個 CPU 晶片上。
- 64 位元和 32 位元 CPU 的區別
 - CPU 的位元數, 主要決定於 CPU 一次能處理的字組 (Word) 大小。所謂的 32 位元 CPU, 就是可以處理 32 Bits 的字組; 同樣地, 64 位元的 CPU 就是可以處理 64 Bits 的字組。

微處理器的種類

Intel

- Pentium
- Celeron
- Xeon 和 Itanium

Intel 相容

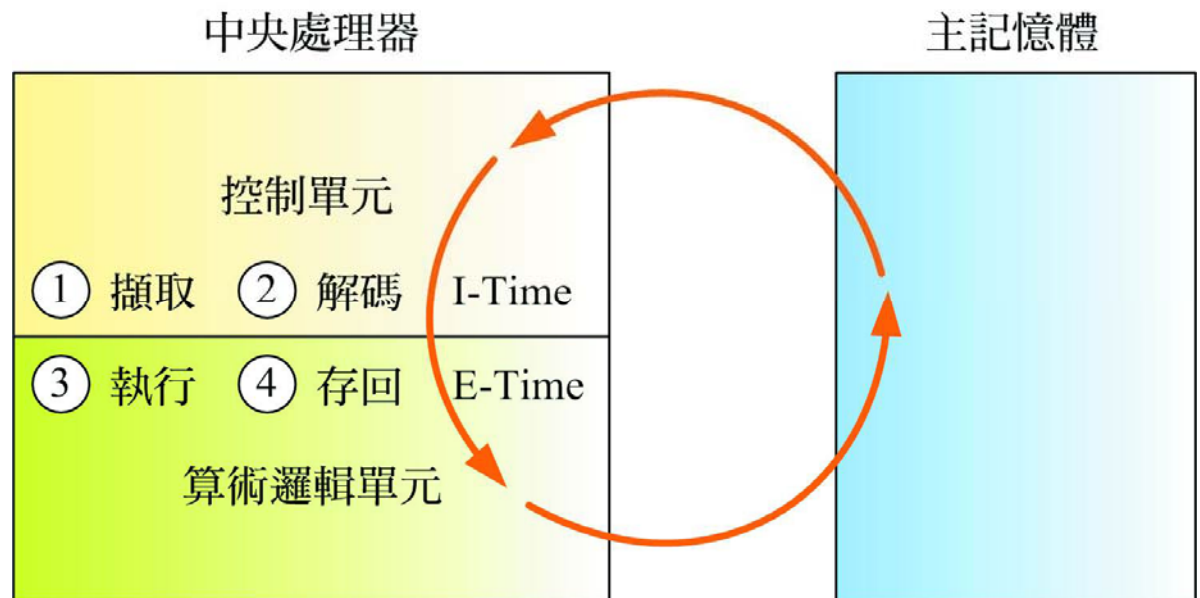
- Cyrix
- AMD

微處理器的種類

- PowerPC
 - 由 Apple、IBM 和 Motorola 所合作設計
 - 主要是用在 Apple Macintosh 個人電腦家族上
 - 它也可以用在伺服器與內嵌式系統中
- Alpha
 - 由 Compaq (康柏) 所製造
 - 用在高階伺服器與工作站上

3-3-1 機器循環週期

- CPU執行一個指令的過程叫做機器循環週期 (machine cycle)，包含下列四個步驟：
 - 指令擷取
 - 指令解碼
 - 指令執行
 - 結果存回



執行程式

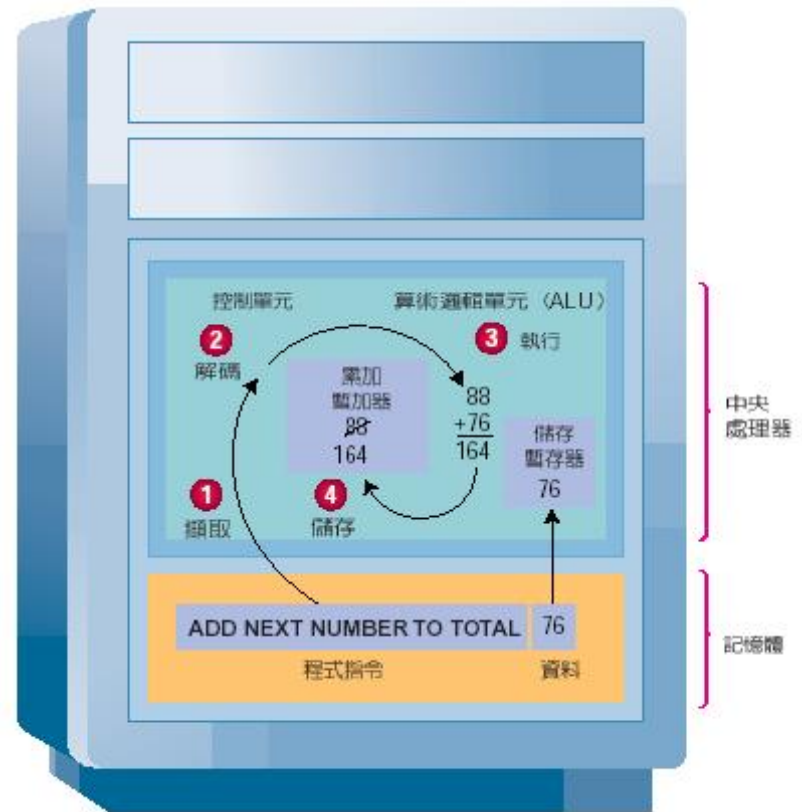
- CU 擷取指令放進記憶體中
- CU 將此指令解碼
- CU 通知硬體相關部分準備採取行動
- 將控制權轉移到硬體的相關部分
- 執行工作
- 控制權回到 CU



機器循環週期

I-time

- CU 從記憶體中擷取 (fetch) 指令，然後放進暫存器中
- CU 將此指令解碼 (decode)，並決定所需要的資料在記憶體中的位置

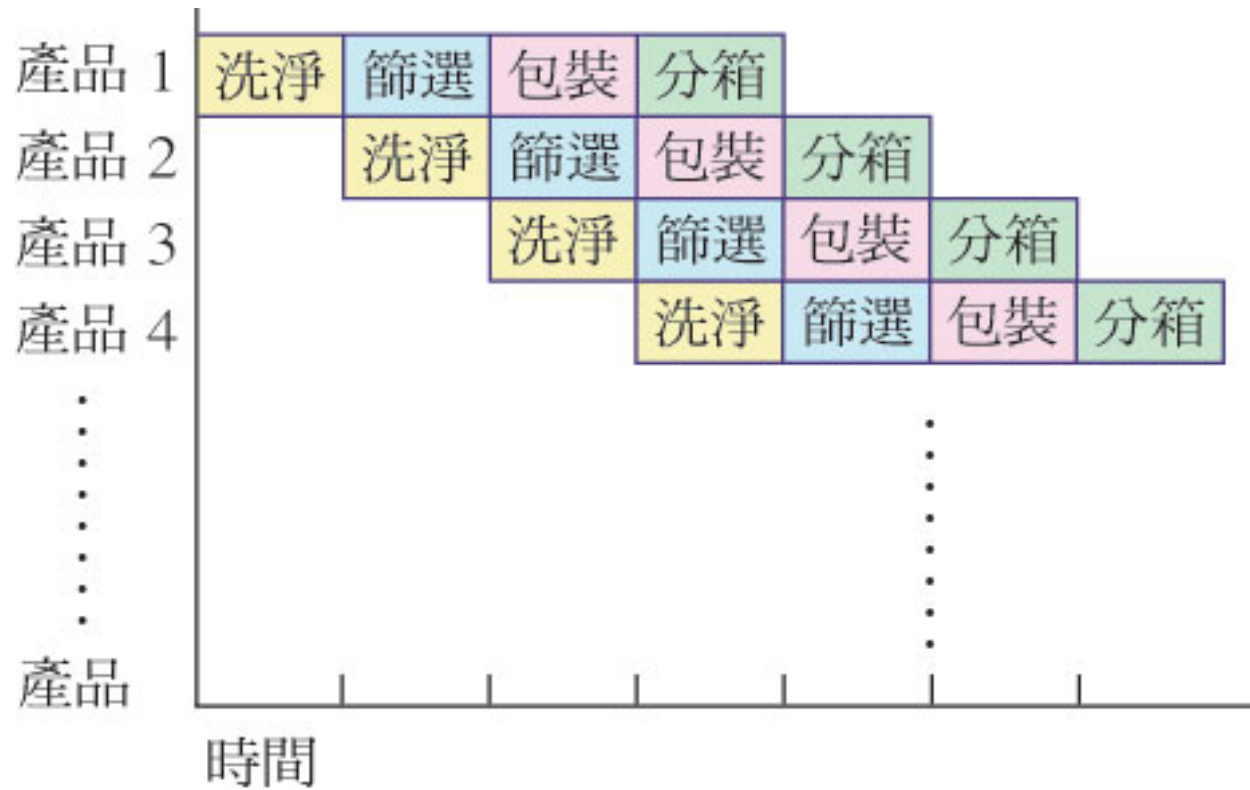


機器循環週期

E-time

- 執行
 - CU 將資料從記憶體搬移到 ALU 內的暫存器中
 - 由 ALU 負責控制與執行指令
 - 控制權回到 CU
- CU 將運算後的結果存放在記憶體或暫存器中

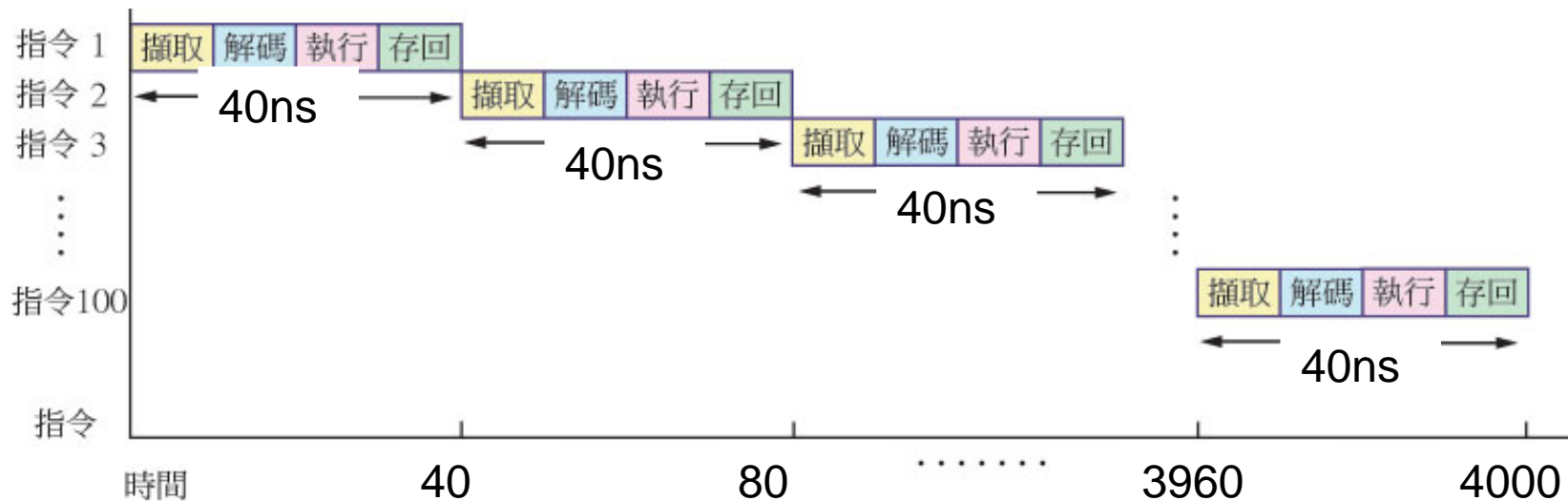
3-3-2 管線



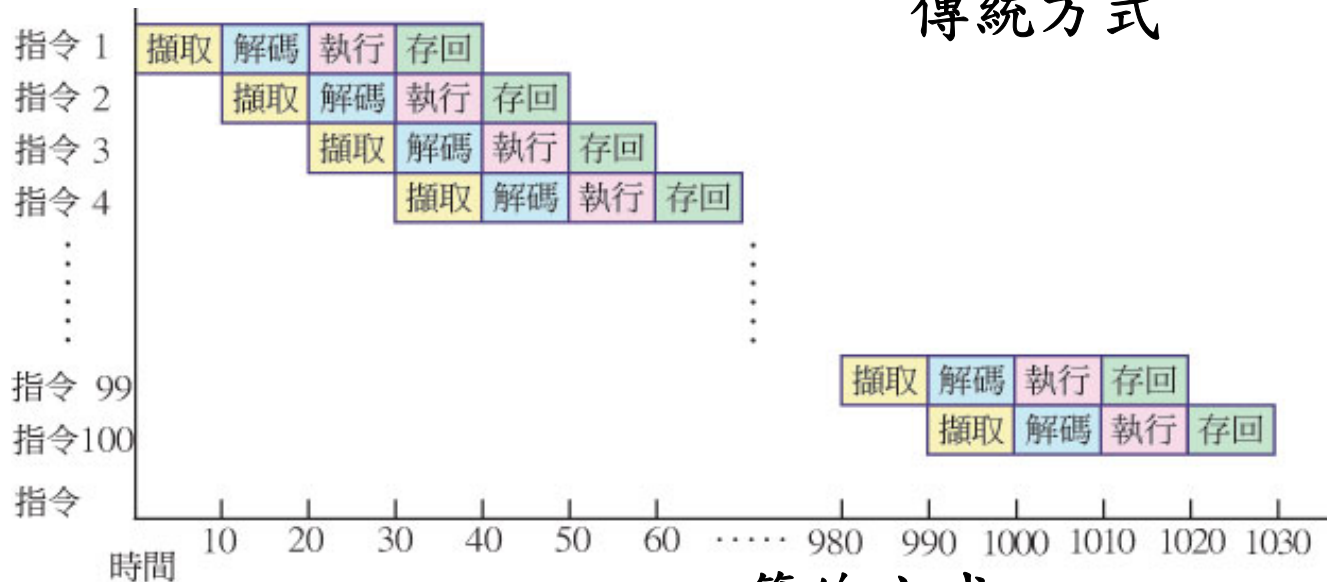
管線

- 為提昇電腦在固定時間的工作量所產生的工作方式。
- 假設工廠的作業方式：**洗淨**、**篩選**、**包裝**、**分箱**。
- 最有效方式是四位員工分別負責前述**四**個步驟。
- 第一位員工洗淨後，交第二位員工篩選。
- 第二位員工篩選後，交第三位員工包裝。
- 第三位員工包裝後，交第四位員工分箱。
- 每位員工只做**上述動作**，直到所有產品做完為止。

傳統方式與管線方式的比較



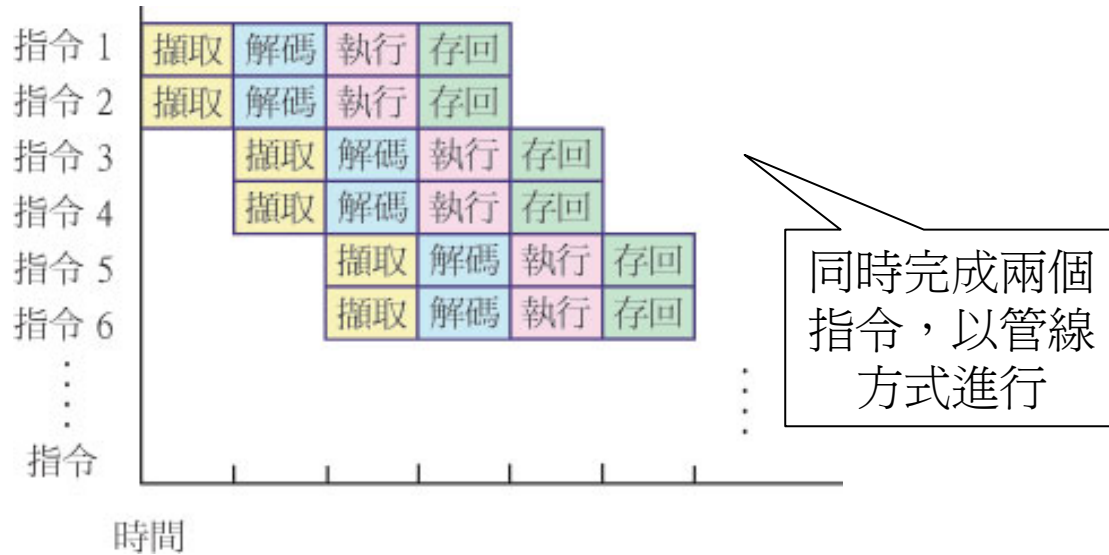
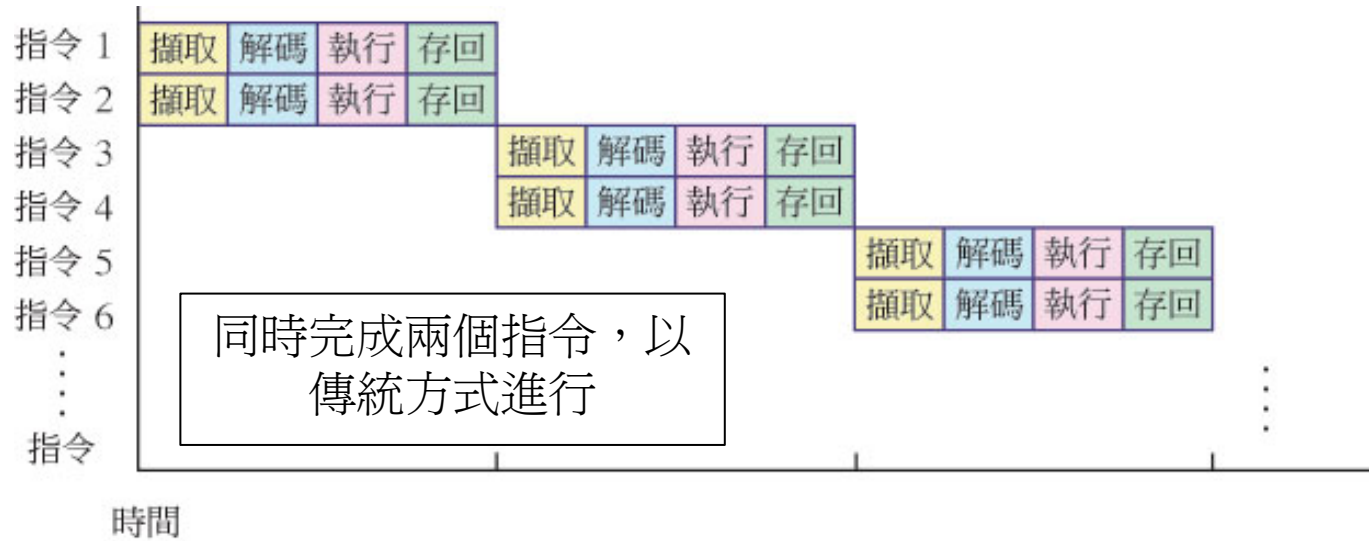
傳統方式



管線方式

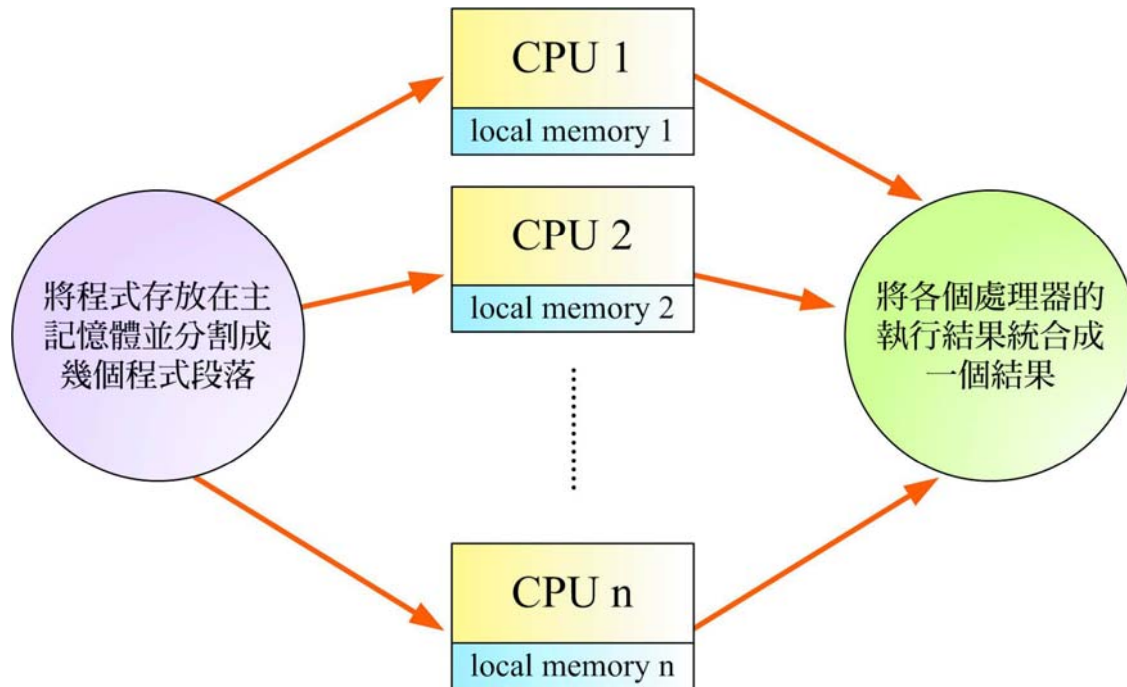
- 假設CPU指令分四個步驟完成，每個步驟所花費時間的為 T 秒。
- 若有 N 個指令，傳統方式則需 $4 \times N \times T$ 。
- 管線方式則需 $(N-1) \times T + 4 \times T$ 。
- 例如： $N=100$, $T=10\text{ns}$,
傳統方式 = $4 \times 100 \times 10 = 4000 \text{ ns}$
- 管線方式 = $99 \times 10 + 4 \times 10 = 1030 \text{ ns}$

3-3-3 超純量處理器



3-3-4 平行處理

- 平行處理是一部電腦裡面有多個處理器，每個處理器都像一個CPU，可以獨立執行工作，至於主記憶體及輸入/輸出裝置則是共用。



3-4 記憶體

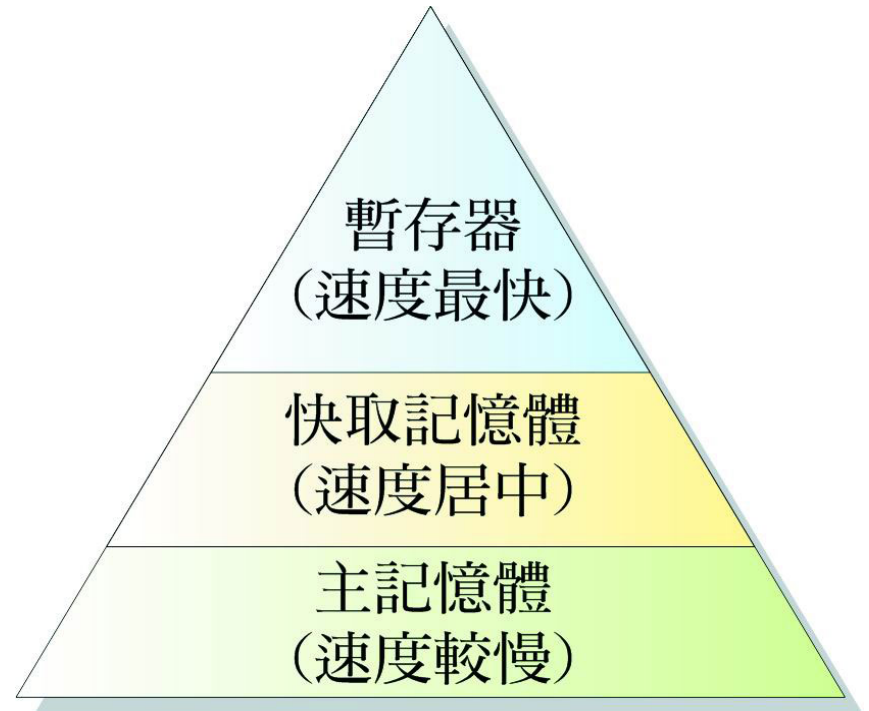
3-4-1 記憶體的種類

- 記憶體有RAM (隨機存取記憶體) 與ROM (唯讀記憶體) 兩種。
- RAM又分成下列兩種：
 - DRAM (dynamic RAM，動態隨機存取記憶體)
 - SRAM (static RAM，靜態隨機存取記憶體)
- ROM又分成下列三種：
 - PROM (programmable ROM)
 - EPROM (erasable PROM)
 - EEPROM (electronically EPROM)

- 揮發性：關閉電源後，RAM所儲存的資料會消失。
- 非揮發性：關閉電源後，ROM所儲存的資料不會消失，所以它用來儲存開機的BIOS。

3-4-2 記憶體的分層

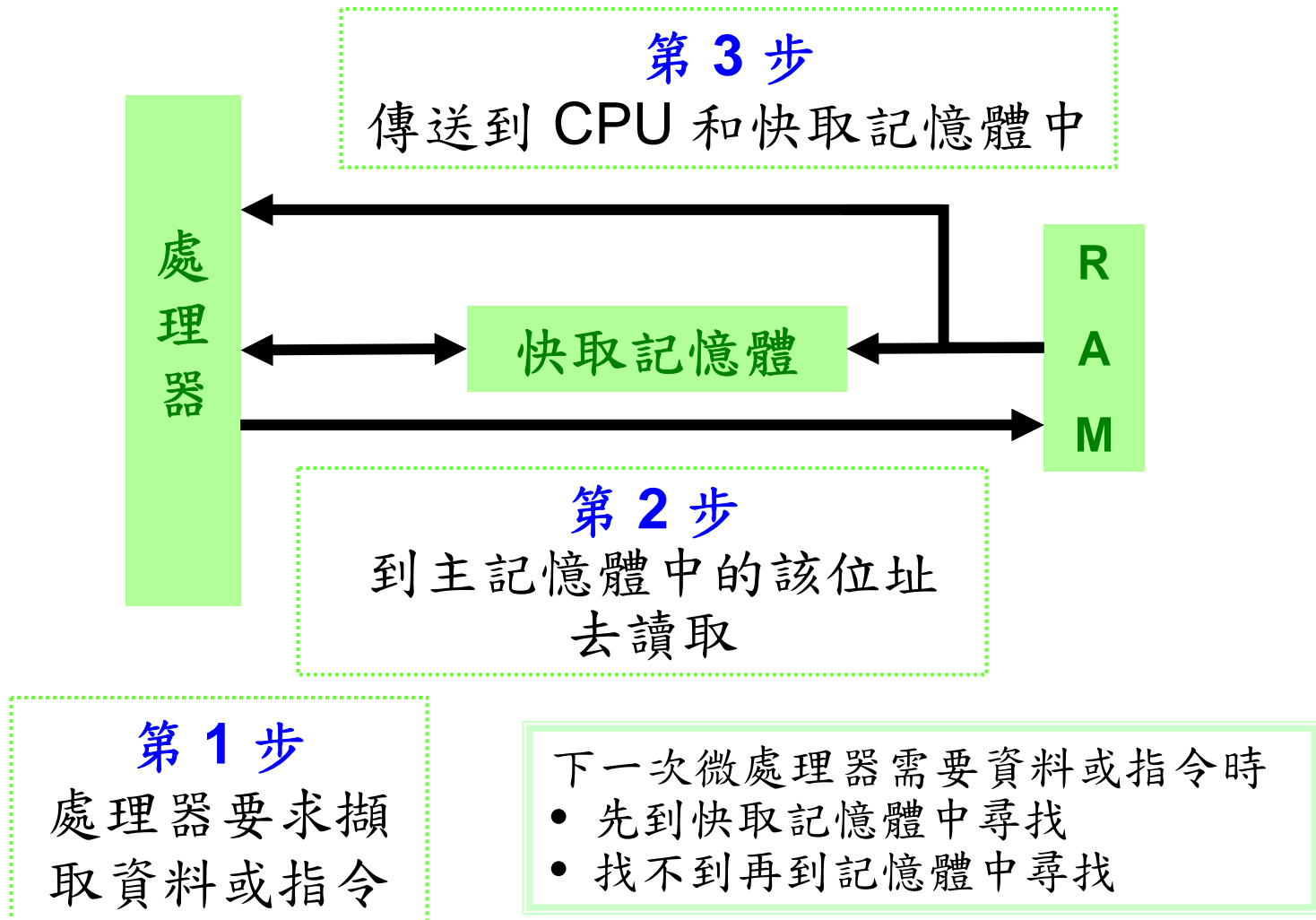
- 暫存器 (register)
- 快取記憶體 (cache memory)
- 主記憶體 (main memory)



快取記憶體(Cache memory)

- 它是一塊小但非常快速的暫存記憶體
- 目的為了加速內部資料和軟體指令的傳輸
- 存放著最近用過或最常被使用到的資料和指令

快取記憶體(Cache memory)

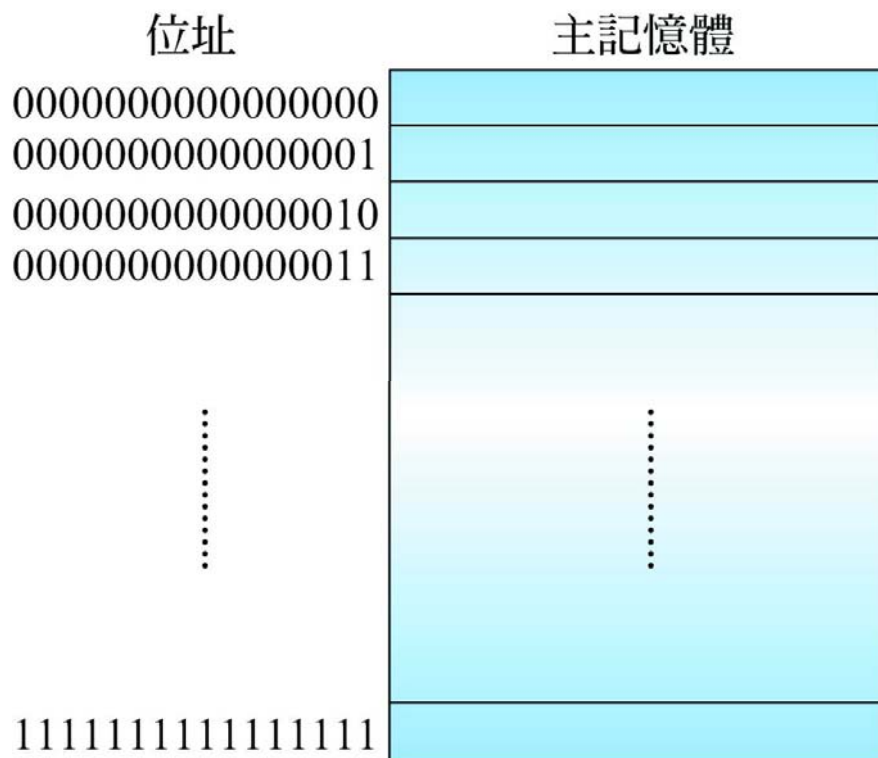


快取記憶體の種類

- 快取記憶體 (cache memory) 是介於CPU與主記憶體之間的記憶體，存取速度較快，成本也較高。快取記憶體又可以分成二至三種層次。
- L1快取 (level 1 cache、internal cache) 內建於CPU晶片，存取速度快，容量小，約32-128KB。
- L2快取 (level 2 cache、external cache)的存取速度較L1快取慢，容量較L1快取大，約256KB-4MB，早期是以獨立晶片的形式插在主機板上，目前大部分亦內建於CPU晶片。
- 有些內建L2快取的CPU還有第三種層次的L3快取 (level 3 cache)，以獨立晶片的形式插在主機板上。

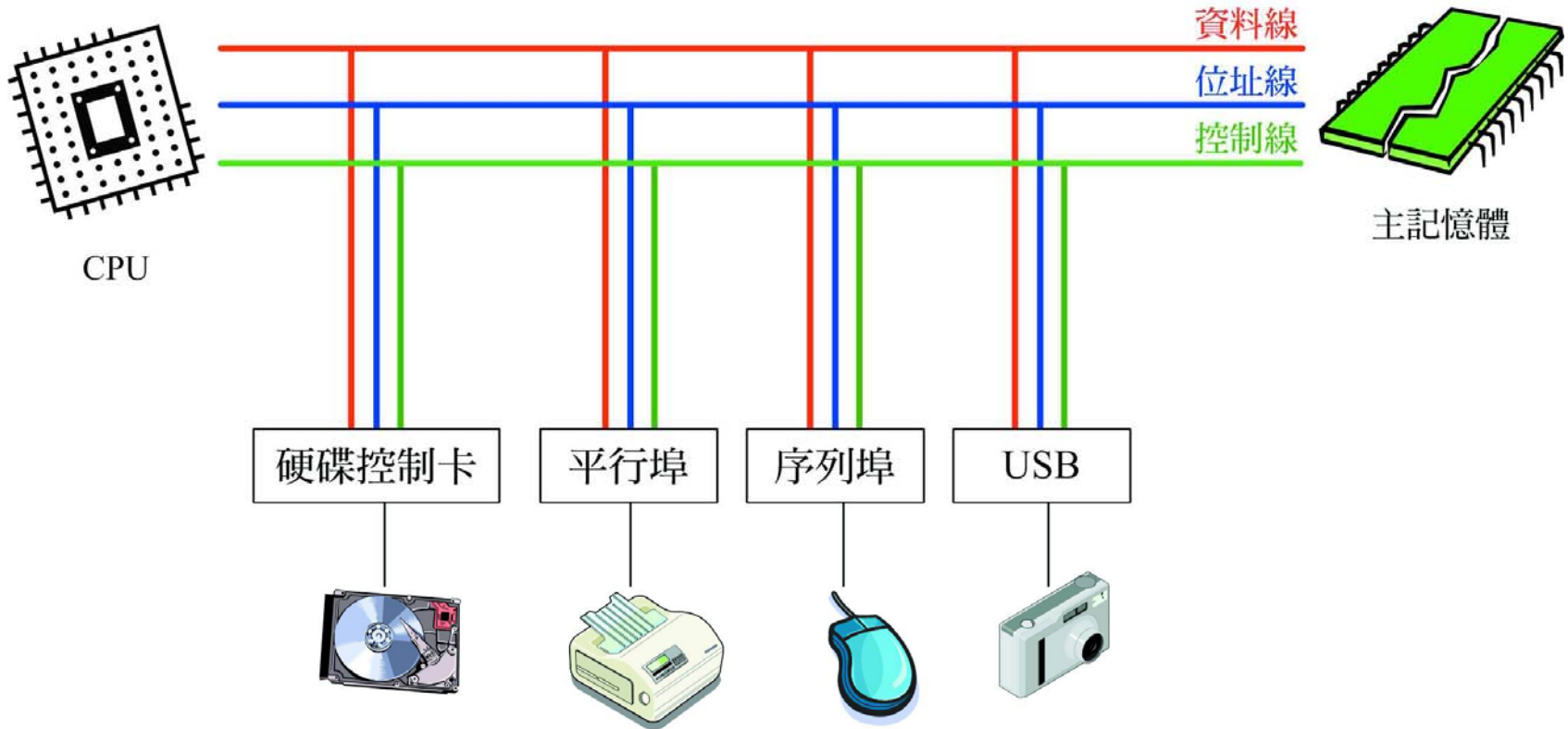
3-4-3 主記憶體的定址方式

- 主記憶體是由許多記憶體單元 (cell) 所組成，不同機器可能有不同數目的記憶體單元，而且記憶體單元的大小也不盡相同。
- 為了加以辨識，每個記憶體單元都有唯一的位址 (address)，同時這些位址是從0開始，依照順序編號。



3-5 電腦與週邊通訊

- 電腦內部的電子訊號是由匯流排進行傳送，由下列三組電路所組成：
 - 資料線 (data line) 負責傳送資料
 - 位址線 (address line) 負責存放主記憶體或週邊的位址
 - 控制線 (control line) 負責發出控制訊號，例如讀取、寫入等
- 匯流排又分為下列兩種：
 - 系統匯流排：負責傳送CPU與主記憶體之間的資料
 - 擴充匯流排：負責傳送CPU與週邊之間的資料



PC 匯流排與連接埠

ISA (EISA)	用在慢速的裝置如滑鼠和數據機上 (8.33MB/sec~33MB/sec)
PCI (PCI-X)	適用於連接高速的裝置如硬碟和網路卡上 (133MB/sec~4.3GB/sec)
AGP	連接記憶體與圖形卡以提供更快速的視訊效能 (266MB/sec ~ 2.1GB/sec)
USB	支援“daisy-chaining”功能，省去需要多張擴充卡的麻煩；可以“熱切換”(hot-swappable) (12Mb/sec ~ 480Mb/sec)
IEEE 1394 (FireWire)	一種高速的匯流排，通常是用在連接視訊設備到你的電腦上(800Mb/sec ~3.2Gb/sec)
PC Card	信用卡般大小的 PC Card 裝置，通常是用在筆記型電腦上

- 3GIO:PCI Express (2.5GB/sec ~80GB/sec)
- 硬碟控制介面、軟碟控制介面、光碟控制介面，如IDE、SATA2。
- PS/2埠：連接PS/2鍵盤與PS/2滑鼠
- 序列埠：一次傳送一個位元，傳輸速度慢，用於滑鼠、數據機、com1、com2等。
- 平行埠：一次傳送多個位元，傳輸速度快，用於印表機、掃描器、LPT1等。

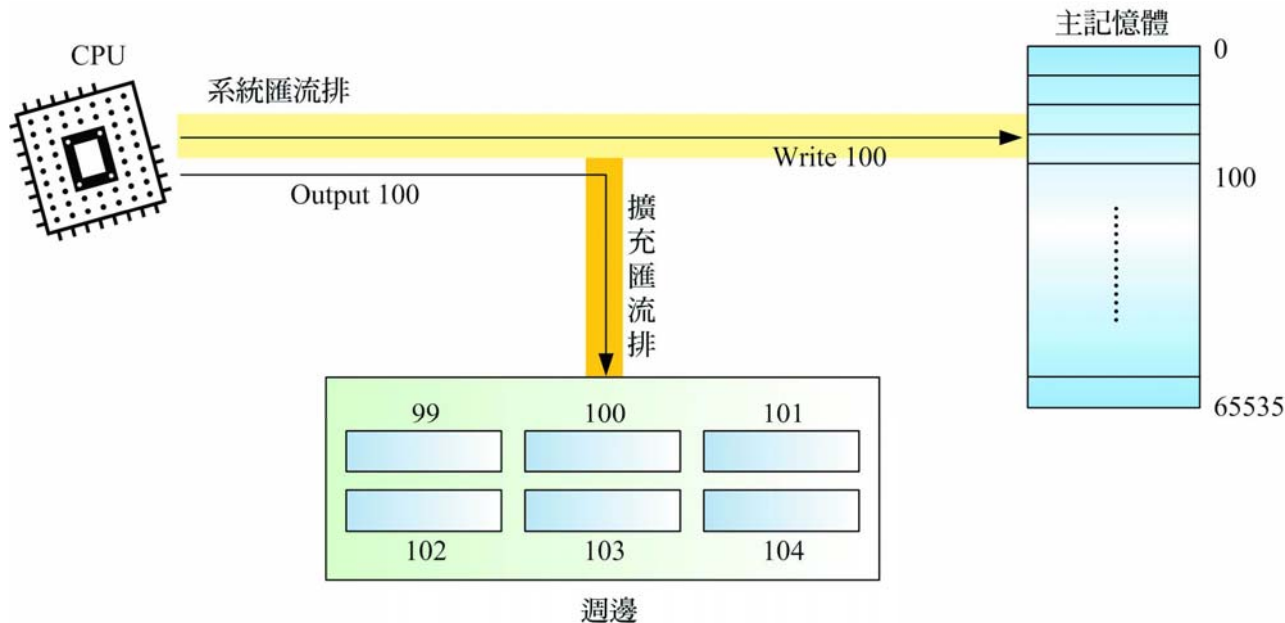
- 紅外線傳輸埠 (IrDA)
 - (1) 距離(1~2m), 速度(9600b/sec~4Mb/sec)
 - (2) 距離(5m), 速度(75K/sec)
- 其它擴充插槽：SCSI 卡、音效卡等



3-6 輸入/輸出的定址方式

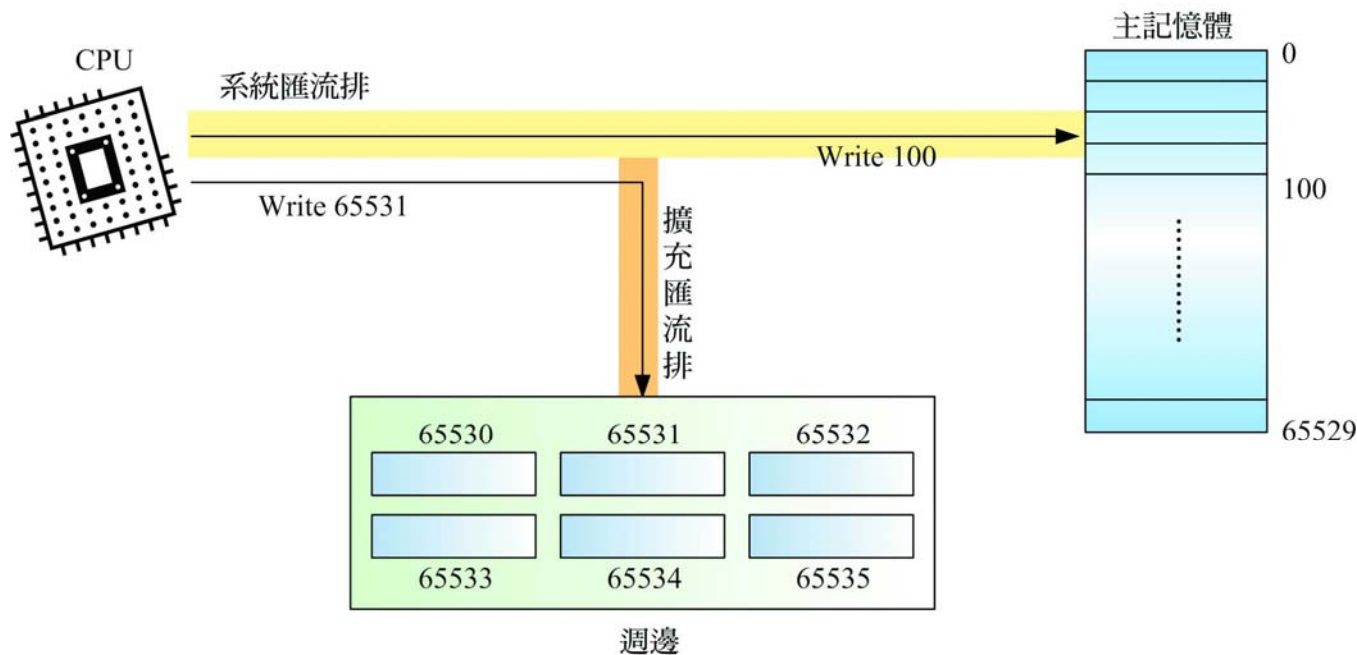
3-6-1 隔離I/O

在隔離I/O (isolated I/O) 中，每個週邊均有唯一的位址，但這些位址卻可能和主記憶體的記憶體單元重複，為了避免混淆，於是得設計兩組不同的指令來進行主記憶體的讀寫及週邊的讀寫。



3-6-2 記憶體映射I/O

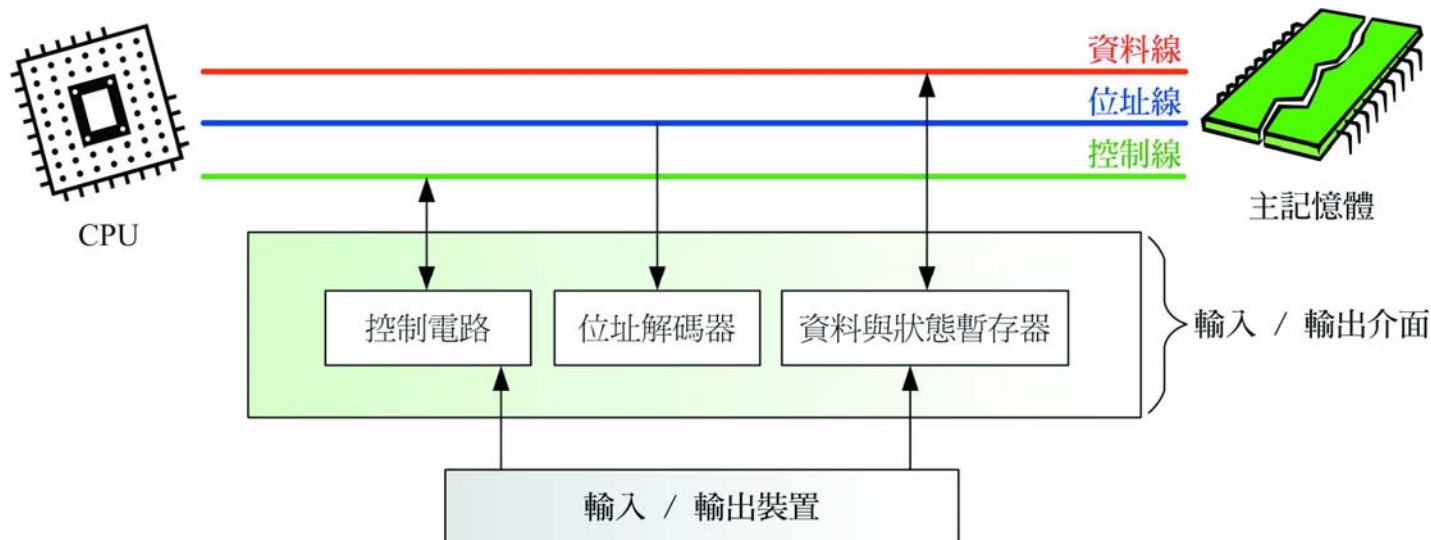
在記憶體映射I/O (memory-mapped I/O) 中，每個週邊均有唯一的位址，這些位址是從主記憶體的部分定址空間配置出來，不會和主記憶體的記憶體單元重複。



3-7 輸入/輸出介面

輸入/輸出介面主要的工作有：

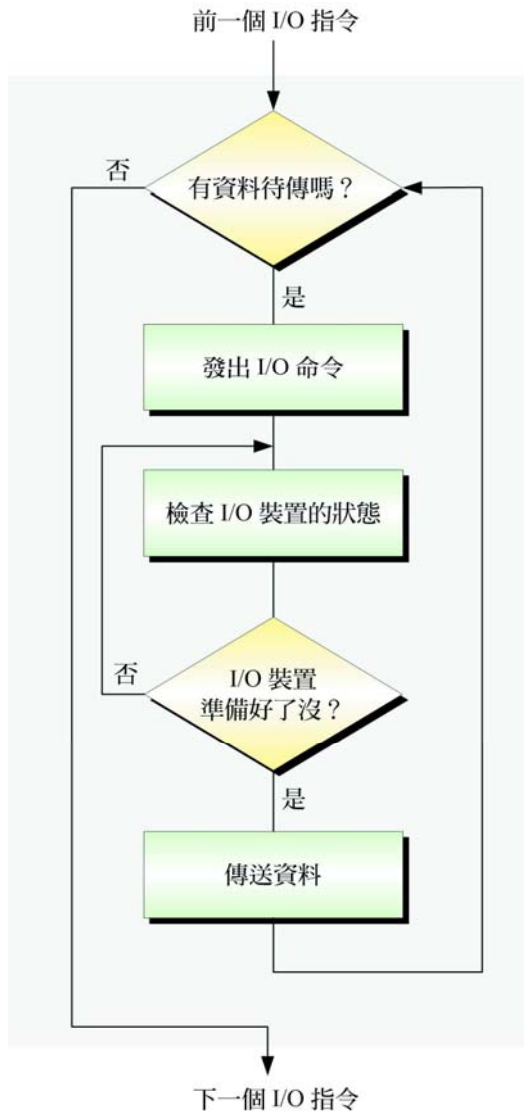
- (1) 與週邊溝通；
- (2) 與CPU和主記憶體溝通；
- (3) 做為資料緩衝區；
- (4) 錯誤偵測與回報。



輸入/輸出資料傳輸方式：

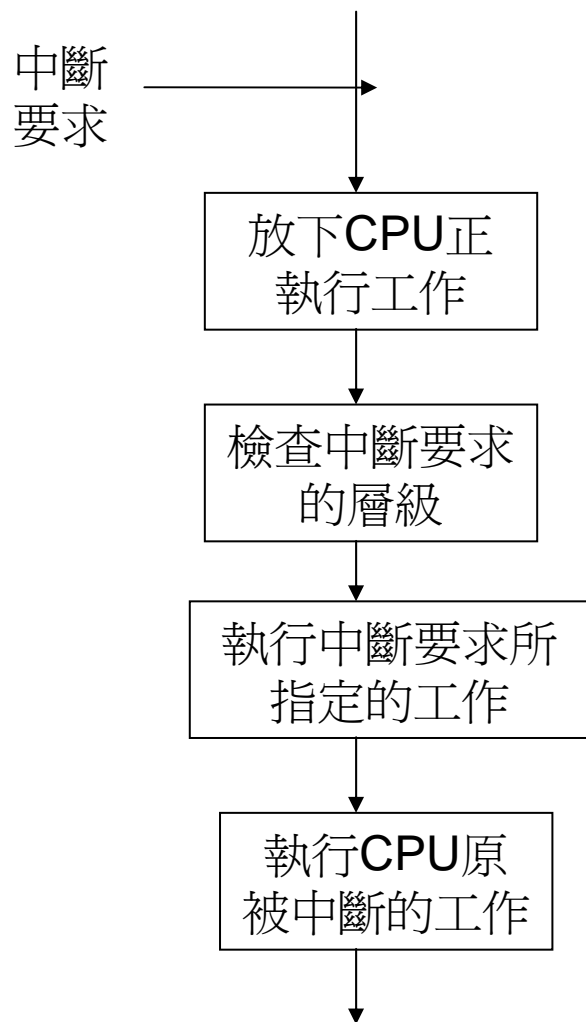
- 程式控制I/O
- 中斷式控制I/O
- 直接記憶體存取 (DMA)

3-7-1 程式控制I/O



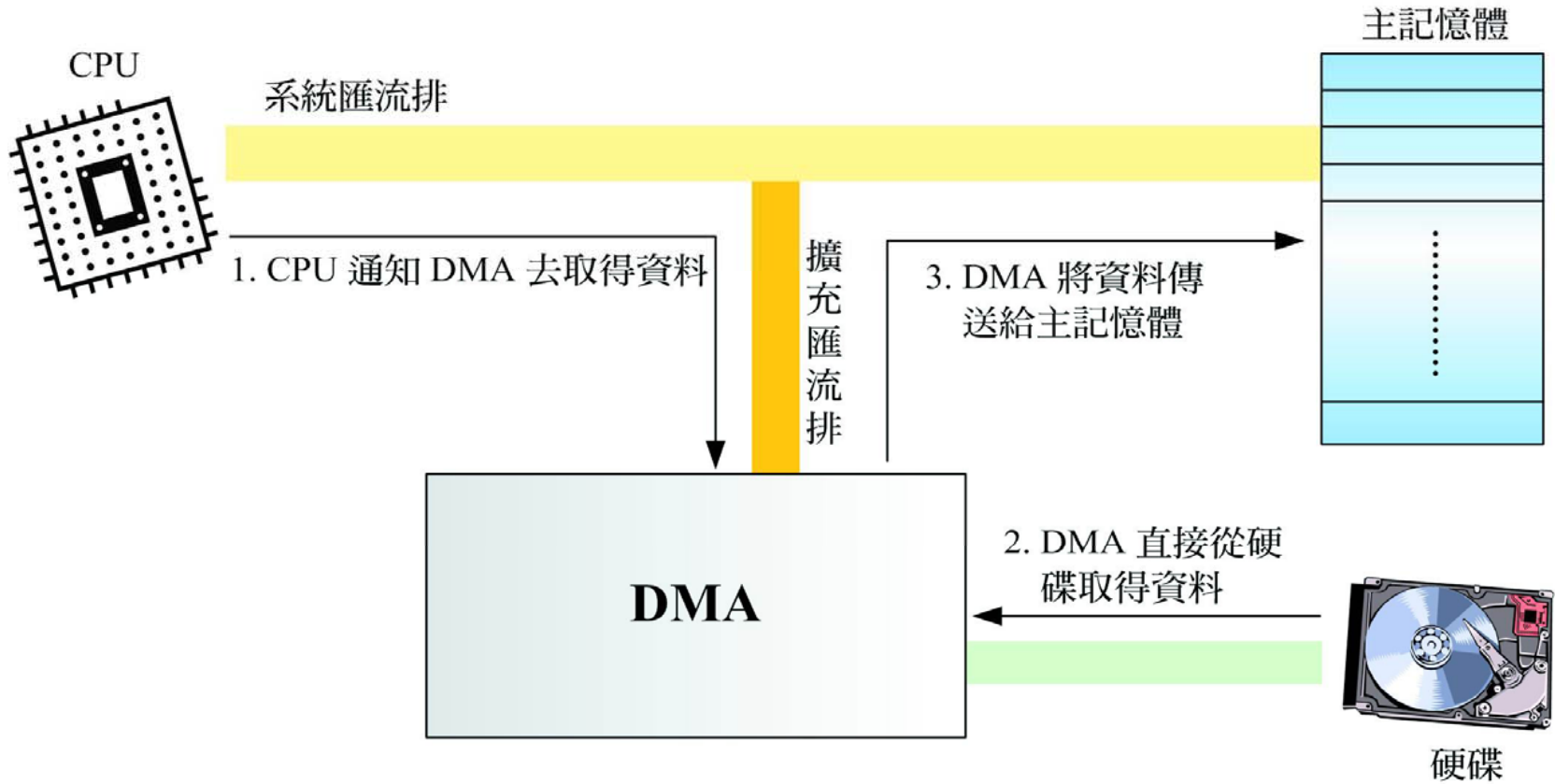
- CPU必備一直詢問I/O介面，才能掌握週邊的狀態。
- 無法執行其他工作。

3-7-2 中斷式I/O



- 當中斷要求，放下CPU正執行工作。
- 檢查中斷要求的層級。
- 執行中斷要求所指定的工作。
- 執行CPU原被中斷的工作。

3-7-3 直接記憶體存取 (DMA)



- 當主記憶體與週邊之間要大量傳送資料時，CPU只要將傳送類型、位址、資料的位元組數目等訊息通知DMA。
- DMA直接由週邊取得資料。
- 傳送給主記憶體。
- 反之亦然，因為不再打擾CPU工作，電腦的效能自然就提高。

3-8 輸入裝置

輸入 (input) 指的是使用者放進主記憶體的資料，其類型如下：

- 軟體 (software)
- 資料 (data)
- 命令 (command)
- 回應 (response)

輸入裝置 (input device) 可以接受外來的資料，然後將這些資料轉換成電腦看得懂的格式，傳送給中央處理器做運算。



3-9 輸出裝置

輸出 (output) 指的是電腦運算的結果，其類型如下：

- 文字 (text)
- 圖形 (image)
- 音訊 (audio)
- 視訊 (video)

輸出裝置 (output device) 可以將電腦處理完畢的二進位資料轉換成使用者可以理解的文字、圖形、音訊或視訊，然後顯示出來。

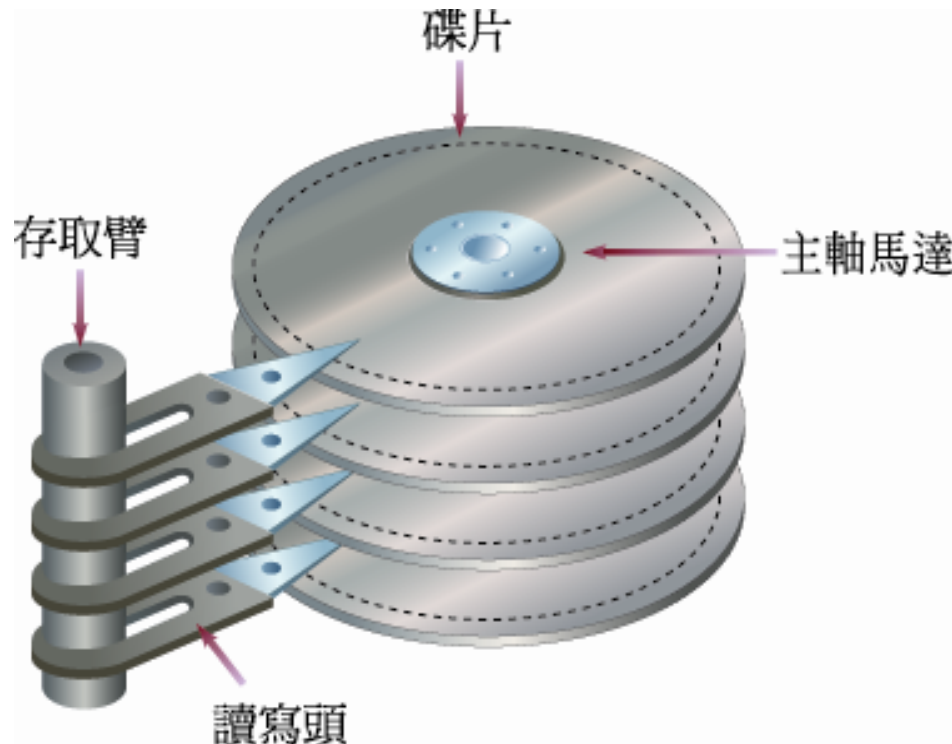


3-10 儲存裝置

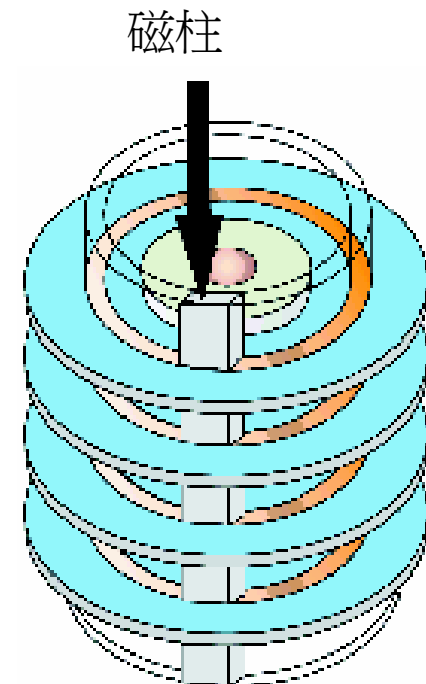
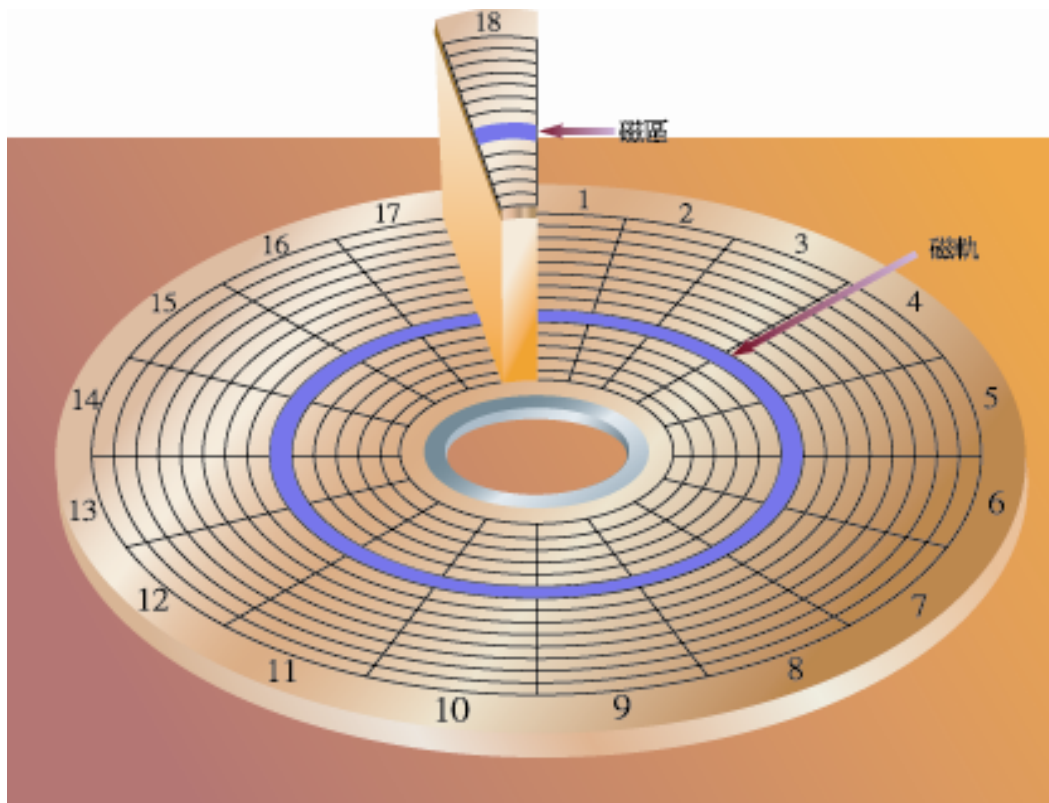
- 儲存裝置 (storage device) 的用途是存放資料、指令或程式，又稱為輔助儲存裝置、大量儲存裝置 或次級儲存裝置
- 線上儲存裝置 V.S. 離線儲存裝置
- 揮發性 V.S. 非揮發性
- 循序存取 V.S. 隨機存取

3-10-1 硬式磁碟機

硬碟的內部構造主要有碟片 (platter)、主軸馬達 (moter)、存取臂 (access arm) 及讀寫頭 (read/write head)。



- 磁軌 (track): 沿碟片上走過一個圓形軌跡
- 磁區 (sector): 一個磁軌分為多個圓弧，每個圓弧，稱為磁區，內含512位元組。
- 磁簇 (cluster): 數個磁區的集合。
- 磁柱 (cylinder): 各碟片上相同磁區的集合。

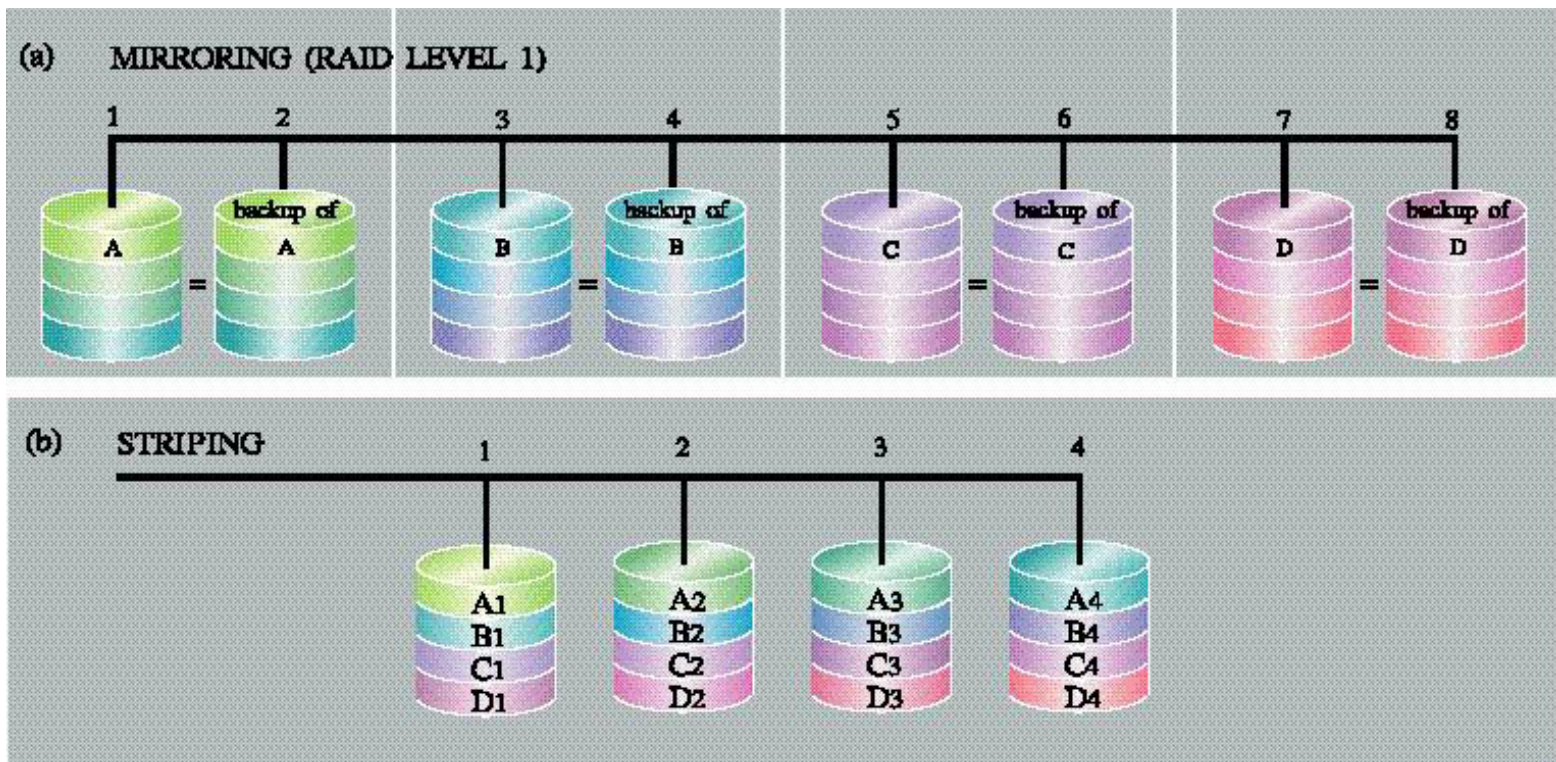


硬碟的規格

- 容量
- 轉速 (硬碟內部主軸馬達轉動的速度，以RPM為單位)
- 平均搜尋時間 (從硬碟找到資料位置所需要的平均時間，以ms為單位)
- 資料傳輸速率 (將資料傳送給電腦的速率，以Mbps為單位)
- 硬碟控制介面 (ATA、Serial ATA、SCSI、USB、IEEE 1394...)

磁碟陣列

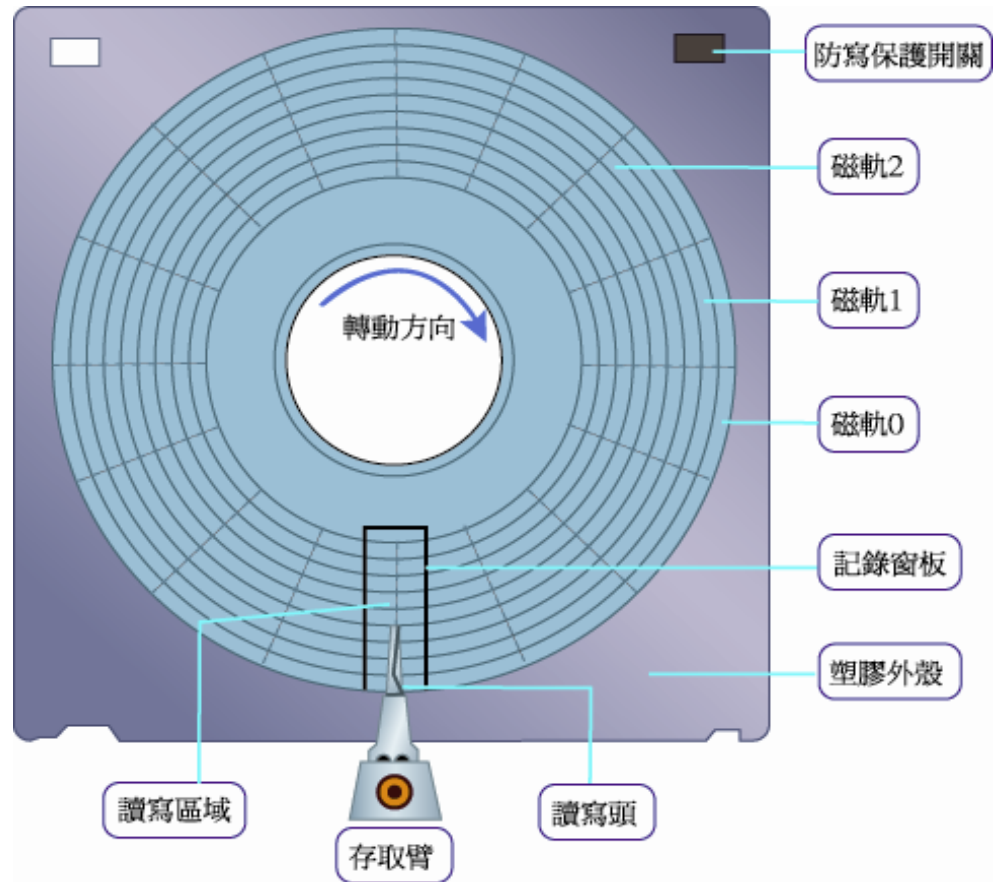
- 鏡射 (mirroring)
- 等量分配 (striping)



3-10-2

軟式磁碟機

軟碟包含軟碟片 (diskette) 和軟碟機 (floppy disk drive) 兩個部分，軟碟片的外殼為塑膠材質，裡面的儲存媒體是一個塗有磁性薄膜的圓形塑膠碟片，而軟碟機則是用來讀寫軟碟片的設備。



3-10-3 高容量磁碟

諸如SONY HiFD、
Imation SuperDisk、
Iomega ZIP均屬於高容量
磁碟



3-10-4 磁帶

- 磁帶是在一條寬度為1/4吋 (6.3mm) 或1/2吋 (12.7mm) 的塑膠帶表面塗上磁性物質來記錄資料，外觀與傳統的錄音帶、錄影帶極為類似。
- 除了容量之外，磁帶所能儲存的資料也可以使用密度為單位，例如CPI表示每吋磁帶可以儲存幾字元，BPI表示每吋磁帶可以儲存幾位元組。
- 磁帶的優缺點。

3-10-5 光學儲存裝置

- 光碟分成光碟片與光碟機兩個部份，光碟片是在聚碳酸酯塑膠上覆蓋一層反射鋁質，藉由不同的反射面，將資料記錄在光碟片。
- 常見的有唯讀光碟CD-ROM、影音光碟VCD、相片光碟、磁光碟MO、CD-R/CD-RW、數位影音光碟DVD等。



DVD的規格可以分成下列幾種：

- DVD-ROM
- MOVIE-DVD
- AUDIO-DVD
- DVD-R/DVD-RW
- DVD+R/DVD+RW
- DVD-RAM

3-10-6 企業儲存系統

企業儲存系統結合了數種儲存技術，包括：

- 伺服器 (server)
- 磁碟陣列系統 (RAID)
- 儲存區域網路 (SAN，storage area network)
- 磁帶庫 (tape library)
- 光碟庫 (optical disk library)

3-10-7 固定狀態儲存裝置

- PC Card (Type I、Type II、Type III三種類型)
- 快閃記憶體卡 (Smart Media、Compact Flash、Memory Stick、xD…)
- 智慧卡 (一種是僅有記憶功能的記憶卡，另一種是有CPU運算與記憶功能的IC卡)

