

# 嵌入式系統在工業控制上的應用

工研院機械所/蔡仰恩

## 摘要

近年來由於嵌入式系統技術的不斷進步，將嵌入式系統應用在工業控制器的開發，使得軟體、硬體的開發成本降低、時間縮短、系統穩定而且讓尺寸更小，展望未來，嵌入式系統將為工業控制器未來發展的趨勢。

## 關鍵詞

Embedded System：嵌入式系統

EPCIO：高整合度運動與輸出入控制

Real-time System：即時系統

## 前言

嵌入式系統已使工業控制器的開發過程中成本降低、時間縮短、系統穩定而且尺寸更小，為工業控制器未來的發展趨勢。本文一開始將介紹嵌入式系統的概念，並就嵌入式系統軟、硬體的架構作簡介，嵌入式系統在工業控制器上的應用為本文的重點，最後提出嵌入式系統的未來展望。

## 本文

### 壹、什麼是嵌入式系統？

我們為了滿足某種特殊功能，以期達到整

體設計的目的，綜合了電腦硬體與軟體，亦可涵蓋機械或是其它的附屬裝置，所整合成的一個系統，即稱為一個嵌入式系統(Embedded System)[1]。

舉凡日常生活中食衣住行育樂各方面所看得到的東西，舉例如下：

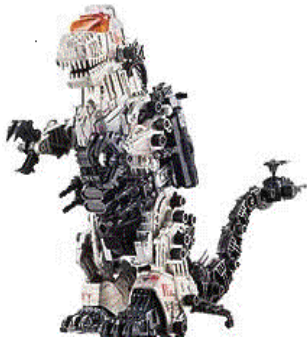


- 一、交通工具方面如太空梭、汽車、輪船、飛機、人造衛星以及交通號誌等。
- 二、餐飲機械方面如製罐機、充填機、包裝機、烤箱、微波爐以及電磁爐等。
- 三、穿著服飾方面如紡紗機、染色機、紡織機等。



- 四、家居用品方面有電視、音響、數位相機等。
- 五、職場工作方面有電腦、個人數位助

理、行動電話等



六、教育、運動器材方面有投影機、跑步機、計分板等。

七、娛樂方面如電玩機、飛行模擬機、智慧型玩偶、機器怪獸等。

八、醫療方面如洗腎機、心律調整器、血壓計等。

九、加工機械方面有晶元切割機、塗佈機、線切割機、塑/橡膠機、金屬成型機等。

圍繞在我們四周，不勝枚舉的例子皆有嵌入式系統。



一般來說，嵌入式系統通常是大型系統的組成元件之一。比如多用途電腦，本身也是由許多的嵌入式系統所組成的。多用途電腦是由鍵盤、滑鼠、顯示卡、數據機、硬碟、光碟機等等零件所湊成的，分開來看，這些裝置都可算是嵌入式系統。每一個裝置都包含了為達成特定功能而設計的處理器及軟體。

然而，若是以一個設計優越的嵌入式系統來說，是不會讓使用者感覺得到其中有處理器及軟體存在的，以下就以嵌入式系統的硬體架

構以及軟體架構來作更詳細的介紹。

## 貳、嵌入式系統的硬體架構

一個典型的嵌入式系統包含處理器、記憶體及週邊輸出、入裝置(圖 1)。

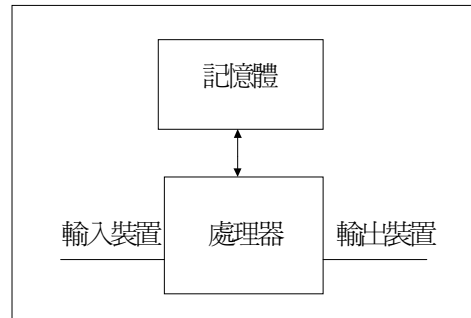


圖 1

### 一、處理器

嵌入式系統最基本的硬體架構為一『處理器』，『處理器』指的是以下三種裝置之中的任何一種：微處理器(microprocessor)，微控制器(microcontroller)以及數位信號處理器(Digital Signal Processor,DSP)。

微處理器(microprocessor)，通常指的是一個晶片，包含一個功能強大的 CPU，此處理器未著重於任何特殊運算的功能。常用的微處理器如 Motorola 的 68K 系列及 Intel 的 80x86 系列。

微控制器(microcontroller)，非常類似微處理器，它適用於特殊的嵌入式系統。微控制器通常包含一個 CPU 記憶體(少量的 RAM、ROM)以及其它的周邊，全都塞在同一顆晶片中。只用一顆晶片就能代替這些電路裝置可以大幅降低嵌入式系統的成本。最常用到的微控制器是 Motorola 的 68HCxx 系列以及 Intel 的 MCS-51 系列(8051、8751 等)。

第三種是數位信號處理器(Digital Signal

Processor，簡稱 DSP)。在 DSP 中的 CPU 被設計用於執行特殊的信號計算：例如影像與聲音通訊的計算，這類計算需要非常高速的運算能力。最常用的 DSP 是 Motorola 的 5600 系列及 TI 的 TMS320Cxx 系列。

## 二、記憶體及週邊裝置

記憶體用於資料、程式碼的儲存及讀取。最常用的週邊裝置就是串列埠及計時器，前者屬於輸出輸入裝置，而後者基本上屬於一種計數器。

嵌入式系統，它的其他硬體設備通常都是獨一無二的，所以我們可以將其製成依特殊應用所訂製的 IC( Application-Specific Generated Circuit，或稱為 ASIC )。甚至製成 SOC(System on Chip)系統晶片。

## 參、嵌入式系統的軟體架構

### 一、作業系統

回顧第一個作業系統的產生，只是為要提供一個虛擬的硬體作業平台，簡化應用程式的編寫，為了達到這個目的，所以作業系統的開發者提供了一堆零散的常式(類似現代的軟體函式庫)，預先處理掉了一些極為基本卻又非常瑣碎的工作，像是把硬體設定到一個預設的狀態、回報硬體的狀態及改變輸出的狀態等功能。

以目前來說，作業系統都已經能將這些功能同放在單一的處理器上執行。每一種功能都只是軟體的一部份，能從軟體區分出來，也能獨立執行。在嵌入式作業系統中，我們也需要將這些軟體拆成許多獨立的部份。拆分工作的目的是要方便嵌入式系統的設計，並讓程式容易瞭解，而且也更容易維護。所以將一個大型

的程式切割成數個小部份，程式設計人員就能容易分別針對各個功能加以設計開發。

然而嚴格來說，在任何的電腦系統中，不論是嵌入式系統或是其它的系統，作業系統並非是絕對必要的元件，它有可能執行與應用程式同樣的功能。如此一來，相當於只有一項工作在執行，讓作業系統介入我們的應用程式似乎是多此一舉；但是通常實用的系統都比我們所舉的程式例子還複雜，此時透過作業系統的好處已是有目共睹，就不用在此多敘述了。

一般來說嵌入式系統之所以迷你，是因為它不需要一些桌上型系統才用的到的功能。例如嵌入式系統通常不會有磁碟機、也沒有顯示圖形的裝置，所以也不需要檔案系統，更不需要圖形使用者界面(Graphical User Interface, GUI)。

### 二、多工系統

嵌入式系統有一個很重要的架構，那就是『多工系統』(Multitasking System)，圖 2。

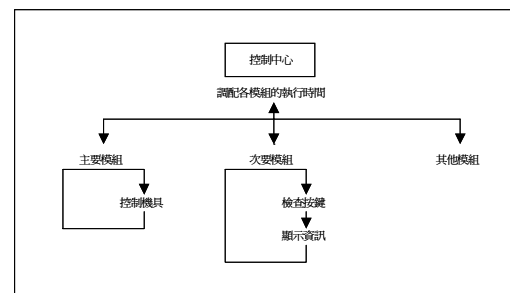


圖 2

多工作業系統能夠讓多個程式在『同時間』內運作，但是事實上，這些工作並不是真的在同時執行，而是採用分時並進的方式在運作；說的明確一點，就是輪流使用處理器。

多工核心最主要的任務就是要去執行『排程』，在軟體的領域中，排程的基本單位叫做 Task。依據一定的法則，在眾多的 Task 之間，可選定一個最適當的 Task 來作為下一個分割

時間 (time sliced) CPU 可以執行的 Task，就叫作『排程』。在眾等待執行的 Task 之中 (通常這些等待執行的 Task 會形成一個叫做 ready list 的串列)，選擇 priority 最高的 Task 設定成為『Running Task』，在下一個 time tick 來臨前擁有 CPU 的執行權利，並可在 Task 內部以單工的方式依序執行；即使有某個 Task 尚未執行完成，若有 priority 更高的 Task 加入 CPU 的執行權競爭行列，這個 Running Task 也得讓出其執行權利，這就是多工核心最基本的機制 [2]。

### 三、即時系統

嵌入式系統另有一個重要的架構，那就是『即時系統』(Real-time System)，圖 3。即時系統必須針對事件即時反應，在極短的時間進行運動與做出決策。錯過期限所導致的後果越嚴重，必須嚴格遵守期限的必要性就增加，並將須嚴格遵守期限的系統稱為『嚴格即時系統』(hard real-time system)。另一方面，一種不需嚴格遵守期限的即時系統稱為『寬鬆即時系統』(soft real-time system)。

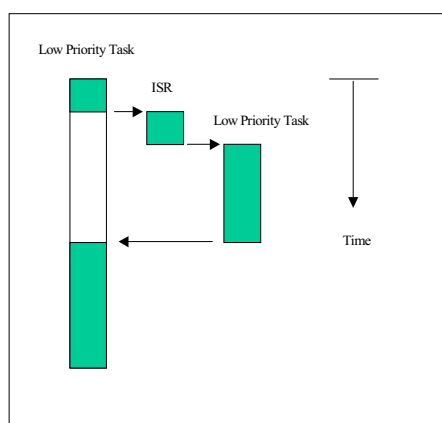


圖 3

即時多工核心運作時，它的每一項功能在執行時所花費的時間是必須可以準確預期，無法明確告知每個工作單元在執行多工同步協

調時最多會耗費多少時間的核心，是會使程式設計者所擔心的不定時炸彈，綜合以上特性的描述，可以大略知道『即時性』幾乎決定了一個多工核心系統的適應性。

### 肆、嵌入式系統在工業控制上的應用

由於自動化產業近年來在國內蓬勃發達，所以此篇文章將以嵌入式系統在工業控制上的應用為探討主題。

就嵌入式系統工業控制器應用於國產機械業，包括硬體部份的：CPU 板、運動板、溫度板、油壓板、I/O 板、電源模組等；及軟體控制模組的：運動控制、PLC、人機介面、溫度控制、油壓控制、通訊等，已有許多成功的例子，由於環境的演變與技術的進步，國產控制器系統的應用領域也不再局限於以往傳統機械領域的工具機產業 (車床、銑床、磨床、放電加工機等) [3] 及產業機械 (橡膠射出成型機、塑膠押出機、彎管機等)，而有逐漸走向新興高科技資訊領域的趨勢，使得自動化控制技術有機會更彰顯其附加價值，現階段應用包含了半導體封裝設備的晶圓切割機、黏晶機、焊線機，以及 TFT/LCD 製造後段之構裝設備等，預測未來應用領域有更擴大的趨勢 [4]。

### 一、PC-Based 工業控制器

嵌入式系統中的 PC-Based 工業控制器，由於國內 PC 製造業發達，而且軟體資源相當豐富，所以國產機械業者在配機運用時，可以節省許多開發的時間，可以使產品快速進入市場，提昇產業競爭力；並於取得國際認證 (如 CE mark) 更具有其競爭優勢，方便進入國際市場 [5]。

### 二、ASIC -Based 工業控制器

嵌入式系統經過過去幾年的技術開發及實戰應用，國內工業控制器的發展，已逐漸收斂呈現清楚的輪廓，在低單價成本取向產品方面，已充分利用國內成熟 IC 產業基礎，發展出高密度 ASIC-Based 硬體，以硬體方式來實踐迴路控制，大幅減少電路板片數及成本，發展出體積小穩定度高的入門等級控制器；在高單價性能取向產品方面，則利用 DSP 快速運算能力以軟體方式來實踐控制，強調彈性與現代控制理論應用，追求高精度高速度控制應用 [6]。

在 ASIC-Based 硬體這部份，機械所資控組先後開發了：高整合度運動與輸出入控制晶片—EPCIO (Exquisite Position Control Input Output) ASIC[7] (圖 4)，包含六軸伺服馬達開

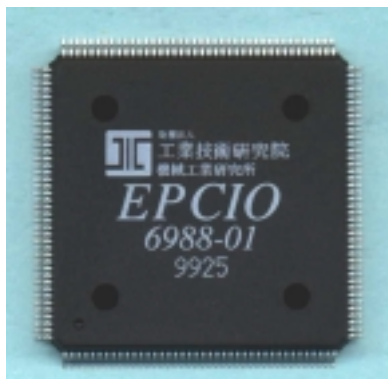


圖 4

或閉迴路) 同動控制、九軸馬達編碼器或手輪計數器、八組數位轉類比(DAC)控制介面、八組類比轉數位(ADC)控制介面、七百六十八點的遠端輸出入點、內建 24 Bits 計時器及 16 Bits 看門狗計時器、內建系統匯流排解碼電路 [8]。

另有高整合度輸出入控制晶片—EDIO (Exquisite Digital Input Output) ASIC[9] (圖 5)，可適應不同需求作硬體成本最佳化。



圖 5

在 PC-Based 工業控制器，將硬體各模組藉由 ISA Bus 來溝通，完成運動、溫控、油壓等目的。而在 ASIC-Based 工業控制器，硬體模組只需一塊卡，藉由 ISA Bus 與 PC 來溝通，即可完成所有的動作。機械所資控組也開發了 6 軸運動控制卡 EPCIO-601 (圖 6)、4 軸運動控制卡 EPCIO-400 (圖 7)，且皆具有 PC/104 介面，可脫離傳統的 PC-Based 工業控制器，



圖 6



圖 7

達到降低成本、縮小尺寸及節省開發時間的目的[10]。

另外有具 PnP 功能的 PCI 界面六軸定位控制板 EPCIO-6000(圖 8)，可供選擇在 PCI Bus 上使用[11]。

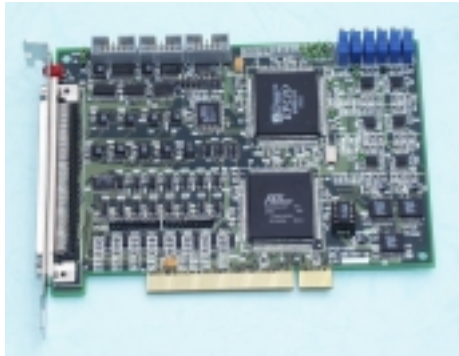


圖 8

控制系統涵蓋運動控制及 I/O 控制系統，在複雜的控制系統中，及需要即時性的中斷要求，機械所資控組也開發了高整合度運動控制器應用軟體[12]。當中斷事件發生，對 CPU 發出中斷，CPU 需即時處理這些中斷源事件，當中斷事件的優先權皆高，控制軟體若要處理外界多中斷源，需達到相當高的 hard real time 等級需求。因此軟體欲即時處理多中斷源需求，將是一大挑戰；由於控制軟體可讀取 latch 中斷源之暫存器，判斷發生的中斷源，再依其不同優先權處理多個即時性中斷事件，盡快完成 EOI (end of interrupt) 讓系統可接受下一個中斷源，且針對個別中斷發生即時處理必要的事件。

針對以上板子強大的功能，本部門提供了一強大的即時運動控制程式庫(圖 9)，此函式庫提供使用者一個使用者介面，使用者不需深入運動控制中複雜的軌跡規劃、定位控制、即時多工環境，透過此使用者介面直接呼叫函式庫即可在圖控軟體或應用系統快速開發整合系統。此函式庫在運動控制上提供點對點、直線、圓、圓弧、螺旋等軌跡的定位控制；在

規劃上接受梯形/S 形加減速曲線、進給速度設定、軟體過行程保護，另針對系統需求，可設定連續路徑及動態強制調整速度。在定位控制部分，提供使用者設定可接受定位誤差範圍、定位確認、齒輪齒隙、間隙補償等功能。

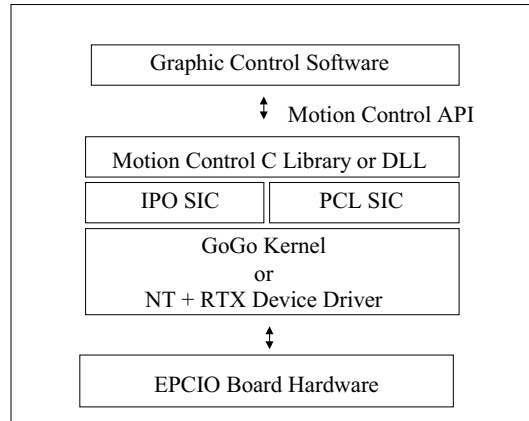


圖 9

此函式庫在運動控制上有著極強大的功能，也提供使用者相當大的設定彈性，當使用者輸入不合理或不予接受的設定值，各函式提供相對應的返回值回應使用者，但若使用者忽略相關設定，此函式庫也提供合理的設定值。

## 伍、未來展望

嵌入式系統隨著 CPU 運算速度的快速發展，以及 ASIC-Based 對工業控制器功能的整合，已使工業控制器的開發成本降低、時間縮短、系統穩定而尺寸更小，當然能提供一個功能強大的即時運動控制程式庫，以提供使用者一簡單好用的使用者介面，更是我們努力追求的目標。

## 參考文獻

[1] Michael Barr , Programming Embedded

Systems in C and C++.

- [2] 范維如、廖素貞，深入淺出話核心，機械工業 193 期，P83。
- [3] 邱志豪、孫金柱，新一代車床控制器及 ASIC-EPCIO 之應用，機械工業 205 期，P188。
- [4] 張昭琳，自動控制技術專輯主編前言，機械工業 205 期，P95。
- [5] 張漢傑、梁瑞芳、呂宗訓、劉興昌、顏家偉，PC-Based 控制器應用於國產機械實例，機械工業 181 期，P115。
- [6] 雷衛台、宋夢沛、唐偉德、洪明亮，DSP-Based 五軸 CNC 控制器設計與開發，機械工業 205 期，P198。
- [7] 曾遠威、賴振國，超級運動控制器 ASIC-EPCIO，機械工業 193 期，P97。
- [8] EPCIO 6988-01 ASIC 開發設計規劃書，1999.06.21，賴振國。
- [9] 馮元掄、陳文泉，分散式輸出入晶片—EDIO ASIC 介紹，機械工業 205 期，P98。
- [10] Jack G. Ganssle, Board-Level Product for Embedded System, Embedded System Programming 2001 Vol. 13. No.9,P185。
- [11] <http://www.epcio.com.tw>。
- [12] 黃美燕，高整合性運動控制軟體設計，機械工業 205 期，P107。