

WINDOWS 平台在 PC-BASED 工控系統之發展及趨勢

前言

由於資訊處理的整合技術高度發展，個人電腦(PC)不再只是辦公室的專用產品，有愈來愈多的廠商投入開發以 PC 為基礎的多功能工業控制器，這種趨勢為傳統的專用控制器帶來莫大的衝擊。為了整合如控制、人機界面(HMI)及生產管理等製造相關程序，通常需要一個具高穩定性、高整合性及豐富資源的作業系統來作為中央控制與協調系統。就這樣微軟(Microsoft)公司的視窗作業系統(Windows O.S.)挾其無與倫比的行銷優勢及策略聯盟，順利當上這一演進潮流的主角。如此一來，不論是使用者、系統整合者或機械製造商，都能利用一些共同的界面技術如 DDE、COM 及 ActiveX 等，將整個生產製造資料連結到現有之 Windows-based 的套裝軟體上，而這些軟體的設計與使用是大家所熟悉的，因此產品開發維護的成本降低與時間縮短是可預期的。

本文將以為什麼選擇視窗作業系統、控制性能及未來趨勢三個主題，就技術面及市場面的角度，來分析未來 PC-based 的工控系統在視窗作業系統之發展趨勢及相關技術課題。

為什麼選擇視窗作業系統？

除了微軟的視窗作業系統外，還有如 OS/2、QNX 及 Unix-like 等作業系統，都可做為 PC-based 工控器的平台，那麼究竟為什麼選擇視窗作業系統呢？從商業的角度來看待這個問題應該可以找到肯定的答案。

微軟視窗作業系統的優點

嚴格來說，目前微軟的視窗作業系統都不算具有即時能力，然而為什麼不選擇傳統的多工即時作業系統(如 QNX、Dr. DOS)來開發應用軟體，而要選擇視窗作業系統呢？關鍵在於利用微軟的視窗作業系統在整體上可獲得更高的利益。

商品的普及性

在今天成本導向的環境下，除非要發展如太空梭這類高科技的系統，才會去針對每個細部元件做設計與製造，否則只要系統所需的元件已經商品化，如通訊元件、繪圖顯示元件、數學分析軟體、資料擷取的硬體與驅動程式等，通

常是直接拿來使用，不會再去重覆設計製造的工作，以節省開發的成本與時間。

以普及性而言，視窗作業系統的確提供了相當多樣的配套商品，但不幸地這些商品都與傳統的即時作業系統不相容。事實上有數以千計的零售商都在銷售這些配套商品，相對地，即使是最受歡迎的即時作業系統，其零售商也不到上述的十分之一。市場調查顯示，愈來愈多的系統整合者因為 third-party 所提供的配套商品而選擇了微軟的視窗作業系統。

Win32 的開發環境

在 PC 的領域中，Win32 API 是程式設計者最常使用的應用程式開發界面，它是一套具有強大功能及彈性的商品，幾乎支援所有應用程式所需要的功能與服務，估計至少有 5 百萬的軟體工程師熟悉 Win32 API 的開發環境，這又遠超過其它作業系統所提供 API 的使用者。由於對 Win32 API 的熟悉，程式設計者自然會選擇視窗作業系統為其開發平台，以節省開發與訓練的成本。

長期實行的配合

在一般消費性 PC 市場，微軟的 Windows NT/98/95 等作業系統可說是已經成為主流標準。然而到目前為止，在即時系統市場上卻仍是處於戰國時代。對一項長期計劃而言，third-party 所提供的開發工具、應用程式及驅動程式等，其長期配合與維護並不見得可靠。因此在即時作業系統計劃執行的成本與風險都要比 PC 作業系統來得高，這導致使用者都希望把這個混亂的市場整合為單一標準，於是大部份的人又把目光焦點集中在視窗作業系統上，微軟也承諾要繼續推動在即時系統的統合工作。對長期執行的計劃而言，重心自然又會轉移到視窗作業系統上。

市場趨勢

選擇視窗作業系統為核心系統的主要原因是因為在商業軟體的平台上，微軟的視窗相關產品即佔了 90%；其次，由於人機界面的設計與操作與一般 PC 幾乎一致，使用者的訓練時間與成本也可降低。以 Timken Bearing 這家公司在 PC 上整合運動控制、資料庫及高層商業系統的經驗，與中高等級的可程式控制器(PLC)比較，在硬體的成本上即節省了 45%。根據 ARC(Automation Research Corp.)的資料統計，1997 年有關微軟的各種視窗及其它作業系統在 PC-based 工控器之人機界面市場的佔有率如圖一所示並敘述如下：

1. Windows 3.1/DOS

Windows 3.1 與 DOS 這兩個作業系統的組合，在 1997 年仍佔了整個人機界面市場的 11%(約 2 千 9 百萬美金)，但在五年以後(2002 年)，將會降至 20 萬美金。

2. Windows 95/98

Windows 95 這個作業系統在 1997 年佔了整個人機界面市場的 21%(約 5 千 5 百萬美金)，到 2000 年以前，Windows 95/98 仍可緩步成長，但在 2000 年以後，由於受到 Windows CE 快速發展的影響，Windows 95/98 之佔有率會開始下降，預估在 2002 年時，其市場總值為 5 千 8 百萬美金。

3. Windows NT

在 1997 年整個人機界面市場使用最多的作業系統就是 Windows NT，佔了 64%(約 1 億 6 千 6 百萬美金)，在未來的五年內，仍會以每年 18% 的比例成長，因此到了 2002 年時，市場總值約為 3 億 8 千 3 百萬美金(佔 78%)。這主要是由於大部分在 Windows 95 與 Windows NT 的人機界面軟體是完全相同的，但由於 Windows NT 具有較佳的穩定度，故在 Windows 95/98 的使用者會轉移到 Windows NT 上來。

4. Windows CE

Windows CE 在 1998 年的人機界面市場總值初步估計為 1 千萬美金，但是在微軟宣稱在 3.0 版 Windows CE 將是一個具有即時性(real-time)的作業系統之後，未來 PC-based 控制器即成為可同時具有視窗型人機界面與控制功能的嵌入式系統(embedded system)。到 2002 年為止，預估其市場總值為 7 千 3 百萬美金，以平均每年 12% 的比例成長。

5. 其它

其它 PC-based 控制器所採用之作業系統如 OS/2、QNX 及一些 Unix 作業系統等，在 1997 年總市值為 7 百萬美金，接下來的五年的市場佔有率將以每年 1% 的速率下降，到 2002 年時，其總市值僅為 3 百萬美金。

控制性能

在談過視窗作業系統在 PC-based 工控器的市場分析之後，接下來我們將以即時性(real-time)與嵌入式操作(embedded operation)兩方面，來探討視窗作業系統在控制上的性能表現。

即時性

一個控制器最基本的要求便是穩定，亦即這個控制器的即時能力要能滿足系統規格。談到即時性，我們有必要對這個在工業控制上愈來愈常使用的字眼

加以說明。一般人的觀念認為所謂『即時』亦即代表整個系統的反應速度相當的快，然而事實上並非如此。以溫度控制器為例，通常是一秒中僅取樣幾次而已，也就是說控制器在一秒之內必須計算其控制法則並執行輸出幾次即可穩定，這對現在的 PC 而言根本稱不上『快』，但是對這個系統而言，控制器能夠準確無誤地在所預先規劃的時間內完成控制所該作的事，就可稱為具有即時性。當然不同的系統有不同的時間規格，圖二即為傳統的系統所需要的即時等級。

強弱即時(Hard and Soft Real-Time)

即時系統通常又可分為強即時與弱即時兩個族群。所謂強即時系統是指不論在任何環境下，所有的控制行為與信號取樣都不容許有失誤的情況發生，整個系統的反應時間都必須達到所要求的規格，核能電廠的反應器控制系統就是一個最常見的例子。所謂弱即時系統則是比較著重於整個系統的『平均』性能，對於偶發的錯誤具有一定的容忍度。換言之，在絕大部份的情況下，系統的反應時間都能達到要求，但在某些場合下，系統無法達到所要求的反應時間，這種情況是被允許的，因為錯誤的發生並不會影響系統的穩定與安全。如利用金融機構的自動櫃員機提領現金，若是偶爾在按下確認鍵之後，鈔票延遲了幾秒之後才送出來，這樣的誤差是可接受的。系統整合者必須考量系統本身特性為強即時、弱即時或非即時，才可以最佳成本進行整合。

目前微軟的視窗作業系統，以 Windows NT 搭配 Intel 的 Pentium 級 CPU 為例，通常只能達到 3~5 ms 的弱即時，對須要 1 ms 反應時間的運動控制而言，不能算是強即時作業系統。但若藉由加掛 third-party 所提供的擴充即時子系統，如 VenturCom 的 RTX、Imagination System Inc. 的 Hyperkernel、Radisys Corporation 的 inTime，即可達到上述的強即時性能。圖三為 RTX 的架構圖，首先 VenturCom 擴充了 Windows NT 的硬體抽象層(HAL)，使得其即時子系統(real-time subsystem)能夠不透過 Windows NT 的 kernel，直接去控制硬體。程式設計者則可利用其提供的即時 API 去開發所需的即時應用程式，其即時響應能力可達 50 us，較原先 Windows NT 所宣稱的數據提升了 100 倍以上。再將利用 Win32 API 開發人機界面，以內部行程溝通(Inter Process Communication, IPC)的機制(如 shared-memory、event 等)，使人機界面與即時應用程式能夠連結，完成控制的任務。

多工(Multitasking)

視窗作業系統是一套多工作業系統，猶記早期還存在著為何要選擇多工，單一 CPU 能不能算是多工等諸如此類的問題，但是當人們漸漸習慣使用視窗環境之後，發現不同的應用程式能夠『同時』在 PC 上執行實在是一件非常方便的事，對多工的爭執也隨之淡化，相信在未來若是多 CPU 組態的 PC 成為主流之後，人們對多工的界定也會更趨於模糊化。

多工機制的管理，是由系統的核心(kernel)所管理的，多工架構的優與否，

足以決定系統即時性能。作業系統為了讓很多的應用程式能夠同時執行，必須有所謂的排程器(Scheduler)來對事先定義好的工作單元(task)進行排程。以 Windows NT 為例，應用程式稱為行程(Process)，但排程器所規劃的最小執行單元卻不是行程，而是執行緒(Thread)。整個多工的排程機制是由底層 Kernel Mode 的 Micro-kernel 模組來執行。其多工排程所採用的法則，是以設定每個排程單元(即執行緒)的優先權值(priority)再加上時間分割(time slice)的原則來進行。優先權值較高的執行緒自然擁有較高的執行權利，若是權值相同的執行緒，則以時間分割的方式，即 CPU 輪流為這些同為最高權值的執行緒服務。除此之外，Windows NT 更使用所謂的動態權值(dynamic priority)方式來平衡目前正在接受使用者輸入的行程(即前景行程，只有一個)與暫不接受使用者輸入的行程(背景行程，可為多數)之執行時間。

基本上 Windows NT 將優先權值分為 0 ~ 31 等共 32 個等級，其中 0 ~ 15 稱為動態範圍(dynamic range)，而 16 ~ 31 則稱為即時範圍(real-time range)。設定在動態範圍的執行緒，在執行一個時間單位(稱之為 Quantum)之中，若無發生 context switch 交出執行權，則在這個時間之後會由 Kernel 將這個執行緒的優先權值自動減一，然後觸發排程機制執行 context switch 再選出優先權值最高的執行緒來執行。但是被設定在即時範圍的執行緒排程方式則又不同，當某個執行緒 X 執行完 Quantum 時間之後，它的優先權值並不會減少，而是被置於相同優先權值串列的最後面，等待所有相同權值的執行緒都執行一次之後(假設在這段時間之內並沒有更高的執行緒被呼叫來執行)，執行緒 X 才又再獲得 CPU 的使用權。

適當的多工機制可提升系統整體的效能，例如當圖形化使用者界面(GUI)與一般執行控制功能的工作單元設定為相同的優先權值時，一項原本平均只需 1.5 ms 的工作，可能因為鍵盤與滑鼠的作用而延遲了 60 ms 才完成；若將此控制功能的工作單元設定為較高的優先權值時，則其最差的情況為 1.9 ms，很明顯地改善了系統的即時性能。然而，多工機制的彈性也為設計者帶來一些隱藏的危機。舉例來說，當一個優先權值非常高的中斷服務常式(ISR)被觸發後，進入等待一個較低的執行緒釋放同步訊號時，這個執行緒因為永遠都無法獲得 CPU 的使用權，系統便進入一個死結(deadlock)的狀況。

中斷(Interrupt)與中斷服務常式(Interrupt Service Routine, ISR)

中斷對即時系統而言是一項非常重要的功能，它代表系統對外來事件處理的能力。在評估系統即時性能時，中斷延遲(interrupt latency)則是相當重要的指標。所謂插斷延遲即為當系統收到硬體的中斷訊號起，到開始執行第一個 ISR 的指令時中間所經過的時間，但是並不包含整個 ISR 執行完的時間。

Windows NT 以先佔式多工(preemptive)的架構來管理 ISR，也就是說當優先權較高的中斷產生時，優先權較低的中斷則會被迫交出 CPU 的使用權，直到優先權較高中斷之 ISR 執行結束為止。為了使 ISR 能夠儘量縮短，Windows NT

利用一種延置程序呼叫(Deferred Procedure Call, DPC)的機制。這個機制的運作模式如圖四所示並說明如下：首先程式設計者將 ISR 區分為時間緊急(time-critical)與非時間緊急(non-time-critical)兩個部份，時間緊急的部份保留在 ISR 中完成，非時間緊急的部份則包裝成 DPC，送至一個 DPC Queue 中等待執行。由於 DPC 的優先權比任何 ISR 都還要低，因此不會影響到 ISR 的執行，如此便可改善插斷延遲的現象。但是有一點要特別注意，送到 DPC Queue 中的執行單元便無優先權高低的機制，完全取決由其先來後到的順序。

嵌入式操作

PC-based 工控器除了要求即時性能外，還有一項要求便是嵌入式操作。由於目前的視窗作業系統，基本上都需要至少 100 M bytes 的空間存放系統，即使在技術上可以用類似 flash ROM 的方式把整個 Windows NT 擺進去，但其硬體的成本可能不是一般工控器所能接受的。此外，視窗作業系統還有開機時寫入資料檔(page files)與登錄(login)的問題，這些對視窗作業系統成為嵌入式 PC-based 工控器的核心都是致命傷。針對這些情況，解決方案敘述如下。

裁剪視窗作業系統

目前經由 third-party 的努力，VenturCom 公司提供一套名為 Component Integrator(CI)的工具，可以將 Windows NT 適當的剪裁，亦即根據工控器的本身需求，僅選取 Windows NT 內所需的元件，如顯示裝置、輸入裝置、網路、CD Rom 與硬碟等，再以 Embedded Component Kit(ECK)來對這些元件做適當的連結，產生新的作業系統。一般而言，經過『瘦身』之後的 Windows NT 大約佔 10~20 M bytes 的空間即可具有圖形化使用者界面與控制的能力，同時 page files 與 login 的問題也不再出現，如此一來便使得視窗作業系統在嵌入式 PC-based 工控器的核心市場上更具有競爭力。

Windows CE 3.0

雖然微軟的 third-party 提供了讓視窗作業系統成為具有即時性與嵌入性的作業系統，但若是能有一個真正適合 PC-based 工控器核心，且同時具有與視窗作業系統的設計環境與配套商品相容的作業系統豈不更好？事實上，微軟宣稱 Windows CE 3.0 就是符合上述需求的作業系統。它具有元件裁剪(scalable)、設置在唯讀裝置(romable)、強即時系統等特性，此外它與大部份的 Win32 API 相容，基於以上種種理由，Windows CE 3.0 在 PC-based 工控器的核心市場一直備受矚目。只要能符合如上述所提及的特性，相信 Windows CE 3.0 將會為 PC-based 工控器帶來一波相當大的衝擊。

未來趨勢

未來 PC-based 工控器軟體開發的趨勢為何？依筆者之見，應該還會朝『作業系統的統一』、『軟體模組化』及『一致的界面』方向發展。

作業系統的統一

目前在 PC-based 工控器的核心市場上仍然沒有所謂的主流商品，即使 Windows CE 3.0 按照所預定的時間上市(事實上已經延遲了)，其它的作業系統也會有所因應。但是隨著時間與市場的考驗，終究會有主流的作業系統產生。屆時對所有從事 PC-based 工控器開發的人員，將可體驗一個更開放與便利的環境。

軟體模組化

如果所有的套裝軟體都能夠元件化與模組化，那麼將來的軟體也能如同一般的商品在便利商店中購買。例如你可以選擇買 A 廠牌或 B 廠牌的文字編輯器，來整合在你所要開發的應用程式中，正如同你可以選擇買 A 廠牌或 B 廠牌的油漆來粉刷你的房子一樣。事實上，不僅應用程式，連作業系統與驅動程式，也都有元件化的趨勢。因此可預見在未來，微軟所推出的 COM/DCOM、OLE/ActiveX 等元件技術將大行其道。

一致的界面

要達到軟體元件化與模組化的目的，除了要有元件化的技術之外，還要製訂一套標準的界面，才能真正達到軟體元件商品化的層次。舉例而言，如圖五所示，市面上有三家廠牌的 ADDA 卡，同時也有三款市場佔有率比較高的人機界面軟體，為了能夠支援所有的使用者，就必須有 9 種不同的驅動程式界面。對程式設計者而言，這無疑是一種不必要的負擔，同樣一件事必須做 9 次，若再加上作業系統的種類，又是另一個倍數成長。若是能夠定義出一套大家都能遵守的標準界面，事情不就簡單得多？

IEC-1131 與 OLE for Process Control(OPC，如圖六所示)的誕生就是為了製訂共同的界面規格，有了這樣的標準界面，對系統整合者而言，所有的模組(包括系統核心)都可以使用，不必擔心相容性的問題；對程式設計師而言，也可簡化應用程式開發的複雜性。然而，究竟是由誰來製訂這樣的標準呢？當然在商場上誰也不服誰，但相信我們可以樂觀地期待，在不久的未來，共同的界面標準將是 PC-based 工控器的主流。

結論

雖然微軟的視窗作業系統仍不是即時架構，但經由不同的技術支援之後，可減少因驅動程式所產生的中斷延遲及調整整個作業系統的即時性能，並成為嵌入性系統。根據摩爾定律(Moore's Law)，CPU 的處理速度每 18 個月將成長一倍，也就是說，視窗作業系統的即時性能每年都會成長。當新的 PC 技術產生時，如 Internet、ActiveX 及 PCI 等，PC-based 工控器將能同步地享受這些技術的好處，再加上視窗環境的高整合性與便利性，Windows-based 的 PC 工控器將是未來的市場主流。