

# PC-based 三軸定位控制研究

## PC-based 3-Axis Positioning Control Design

<sup>1</sup> 賴秋庚 <sup>2</sup> 林銘鴻 <sup>1</sup> 林威志 <sup>3</sup> 蔡青哲 <sup>2</sup> 賴仁傑

<sup>1</sup> 國立勤益科技大學 電機工程系

<sup>2</sup> 國立中央大學 電機工程研究所

<sup>3</sup> 私立逢甲大學 自動控制工程研究所

### 摘要

本研究目的為嘗試結合既有 XYZ 定位平台以及 PC/PCI-based 32 bits 運動控制卡，透過 Borland C++ Builder 軟體撰寫控制程式，做 XYZ 平台的三軸定位控制。進行步驟為利用所選用的多軸運動控制卡 PCI-8164，搭配 MasterCAM 軟體規劃平台運動路徑。再利用 Borland C++ Builder 程式語言工具撰寫介面控制軟體，做為運動控制卡與 PC 間的溝通管道。接著利用界面卡的 DDA 系統，由運動控制卡發出位置脈波訊號給定位機台驅動器，以達到控制 XYZ 三軸系統運動路徑的目的。為驗證控制器與相關系統定位的準確度，本文同時利用在馬達上的編碼器信號當成實際回授位置，執行定位準確度的驗證。整體系統所設計的人機介面易於操作，功能包括有單軸手動位置矯正、運動路徑顯示圖形、原點復歸模式、即時定位軌跡資料顯示等。

關鍵詞：XYZ 定位平台、PC-based 系統、運動控制卡、C++ Builder。

### 一、前言

目前在工具機上的運動控制設計技術已非常成熟，甚多業界也逐漸以工業 PC 取代傳統型的 PLC 來執行運動控制。國內在電腦數值控制(Computer Numerical Control, CNC)機台的設計上已經相當成熟，在結合現有的市售控制器後，國內工具機業者在組裝成品方面，每一年也為國家的經濟貢獻良多。但是目前國內利用 PC-based 執行運動控制系統設計的最大問題在於控制器的設計方面，國內許多業者在控制器設計方面通常採用日本或者德國等國家的控制器，而往往這些的控制器又佔整個 CNC 機器的成本比例相當高，導致業者所能獲得的利潤相當有限。日前在教育部顧問室 95 年度『精密機電整合人才培育計畫』之精密機電產業高峰論壇暨機械系所主管會議中與會的專家、學者以及產業界的代表也明確的指出目前在精密機械這一部份最缺乏控制設計人才。這一個現象也明白的說明了在機電一家的整合環境下，不應該再將機械歸機械，電歸電，而應該讓專攻機械設計的機械人懂電氣控制；也應讓屬於電的科技業人才了解機電整合能讓屬於電的領域更有發揮的地方。因此，利用工業 PC 當成控制與監督系統的主體，加上運動控制卡作為輔助的設計，再結合 CAD/CAM 工具軟體，實現 XYZ 三軸定位控制是本研究的



重點。藉由相關硬體設施的使用，以及 C++ 視窗語言的撰寫，本研究成功的設計出在視窗作業系統下人機介面程式以及執行控制所需的相關聯結系統程式，使 XYZ 三軸平台可以順利依照 GM code 指定做定位動作。同時為驗證定位控制的性能，本研究同時回授位置信號，作為位置即時軌跡顯示及定位準確度驗證。

本論為相關篇幅說明如下，第一章為前言，第二章說明本論文的動機，第三章就相關的設計做說明，第四章為研究結果，第五章為結論。

## 二、研究動機與目的

在前述的說明吾人清楚知道在精密機械製造方面目前非常的缺乏控制器設計方面的人才，自動化精密機具又是提升生產效率及產品精密度不可或缺的重要設備。因此，在過去以人工控制模式操作手動機台或半自動化機台的加工模式，在台灣目前缺乏工人，勞動力不足的情況底下，加上工資的不斷上升，雇主的負擔變得大。是必藉由全面的改用自動化機具來應付克服此些情況。面對中國的低價競爭，除了藉由自動化提高產量之外，同時必須強調產品品質以及精密度，增加產品的附加價值以及被接受度。而首先第一要務，即在於設計所需的自動化機具及其控制系統，擺脫大量受制於外商的困境，建立自主的工業。目前台灣在晶圓代工方面，有著全世界無可取代的地位之原因即在於在相關技術上有著全世界領先而無法被超越的優勢，加上不斷的在研究發展上增強設計能量，相輔相成，創造了國家兩兆雙星之一星，每年為國家創造相當的外匯。因此，在機械業喊著機械業的產值希望成為台灣的第三個達到兆元產值的目標底下，是需要大量的培訓相關的機電控制設計人才，輔助這一個目標的早日達成。

本研究的目標即在機電定位控制的設計研究。吾人在控制器設計方面主要針對以控制 CNC 工具雛型機的 XYZ 定位運動器為主，透過相關的語言程式工具與輔助繪圖軟體完成開發，目的為提供國內 CNC 工具機設計技術的提升。對於 Windows 作業系統底下，使用者可以設計單軸或多軸聯動，也可以單軸手動或自動運轉。最後結合機電整合之安全機制設計，包括極限開關(Limit Switch)等檢知器，達成 CNC 工具雛形機運動控制的定位控制目標。

## 三、研究方法

### (一) 實驗設備介紹

本研究所探討的 XYZ 三軸運動控制定位系統，其硬體方面以 PC-based XYZ 三軸控制平台為主，如圖 1 所示。這一個定位平台包括有 Panasonic 三軸同步交流馬達及驅動器、滾珠導螺桿三軸定位平台、極限與定位開關以及控制電路、信號介面電路、運動控制卡(PCI-8146)暨 PC 電腦等。在 Z 軸上並設計氣壓驅動夾子。定位平台控制軟體則使用 Borland C++ Build 撰寫硬體和人機操作介面兩部分的整合控制程式，而加工路徑製圖部分則利用 Master CAM 作為執行路徑規劃的設計。

#### 1、控制介面電路

XYZ 驅動基板的設置是為配合工具機使用，依據馬達驅動器的位置控制、速度控制、轉矩控制等模式設計出來的印刷電路板(PCB)，其主要功能是在負責做運動控制卡



與馬達控制器之間的橋樑，藉由運動控制卡輸出的脈波信號，經由驅動器對馬達下達命令，進而達到位置控制目的，並可以方便執行信號檢測。驅動器介面資料如圖 2 所示 [13]，驅動器與 PCI-8164 介面卡之間的脈波信號傳輸規劃如圖 3 所示，採用正交 A/B 相脈波信號。

## 2、機構介面電路原理

本機構是三軸運動控制平台，透過馬達與導螺桿接合，組立成可在三維空間運動的機構。在機械部分並配合光遮斷器、極限開關、氣缸等元件運用，增加系統的操作安全性及運動的靈活性。在運動路徑控制的規劃下，對馬達下達定位控制命令，使系統活動在吾人所規劃限制的範圍內。為防止機台出現脫序的狀況，吾人利用極限開關作為保護機制。此保護機制的目的在於，由伺服馬達帶動導螺桿，進而移動定位裝置的範圍限制，簡而易之，就是對馬達做轉動的極限保護，藉以掌握馬達在合理的運動範圍內。以上述為目的，吾人利用數位邏輯中的及閘(AND Gate)之概念，因輸入全為 1 輸出才能為 1 之關係，建構出串級的邏輯對應關係，只要有任一端的保護裝置被啟動觸發(輸出 Low 信號)，馬達便立即停止動作。除了上述的保護機制之外，本機台為降低同時需要多項電源供電的不方便，例如三相/單相交流 220V、直流 24V、12V 及 5V，吾人選定一台電三相 220V 及 110V 的電源，製作出各電源之整流穩壓電路來供電給硬體操作。

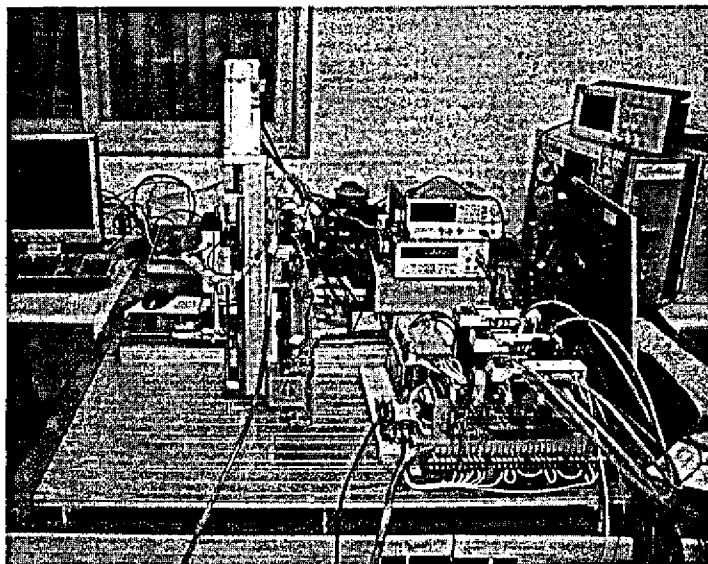


圖 1. PC-based XYZ 三軸定位控制平台

## 3、電氣硬體架構

在圖 4 中，吾人將電腦和 CNC 驅動基板使用訊號線連接，並應用 MasterCAM 軟體設計加工動作路徑並產生 GM Code。吾人再針對 GM Code 做解譯動作以形成加工控制碼。在人機介面操作下，再將加工碼藉由 PCI-8146 運動控制卡輸出至馬達驅動器，再由驅動器驅動無刷伺服馬達作定位控制之動作。GM Code 是由字母、數字等組成的指令碼(NC 加工碼)用來控制工具機的各種動作，這些指令碼被轉成脈波來做主軸與加工件



的定位及速度控制。

在整個電氣硬體架構的系統中，吾人主要利用 Borland C++ Builder 設計控制程式暨人機介面程式，結合 ADLINK 公司的 32-bit PCI-8164 運動控制卡，作為軟體控制與監督的核心。透過 Borland C++ Builder 軟體對 PCI-8164 的控制，並即時接收系統回授信號，加上即時顯示的設計，可達到系統路徑預覽、即時控制、遠端監控、硬體保護等功能[3]。

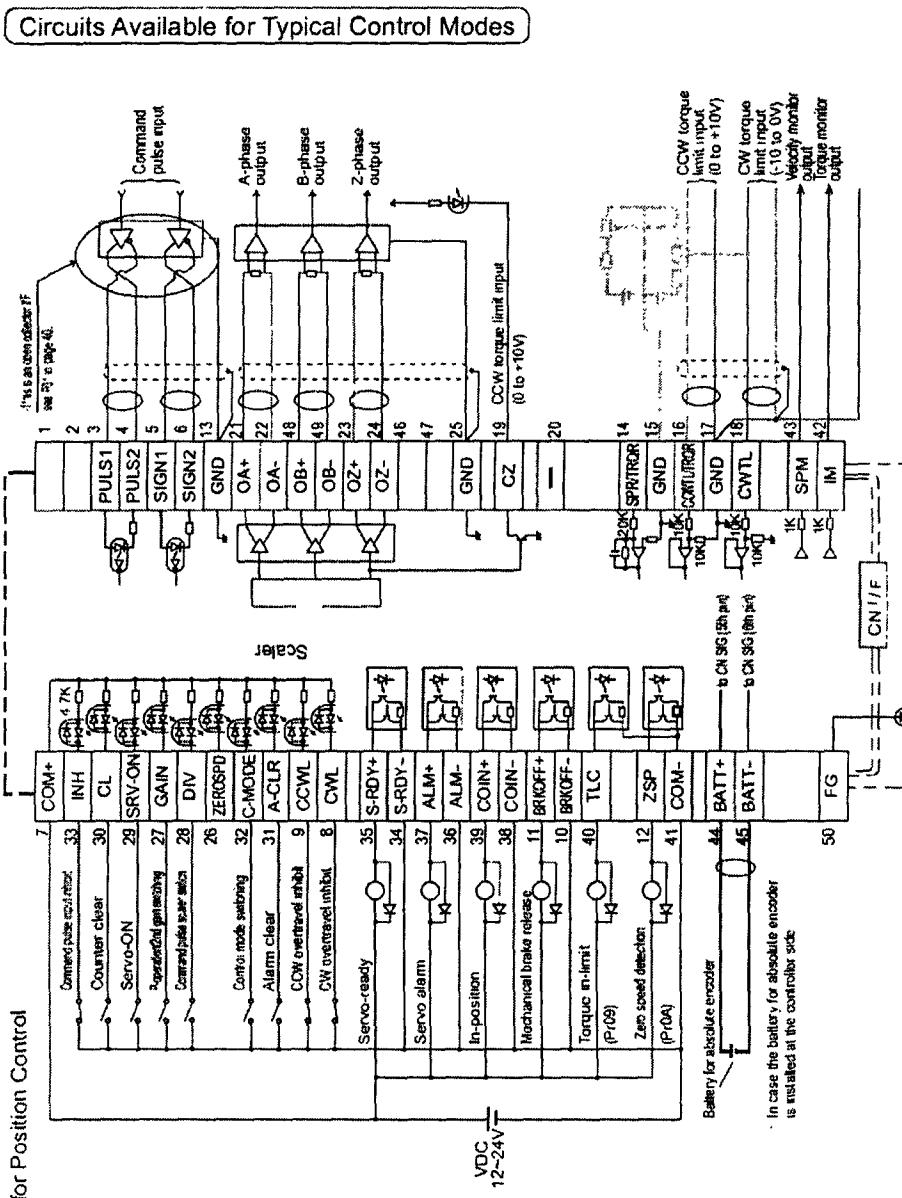


圖 2. 位置模式馬達驅動器介面[13]



Signal	CCW command	CW command
PULS	A-phase	t1 t1
SIGN	B-phase	t1 t1 B-phase advances A-phase by 90 degrees

圖 3. 正交 A/B 相脈波信號[13]

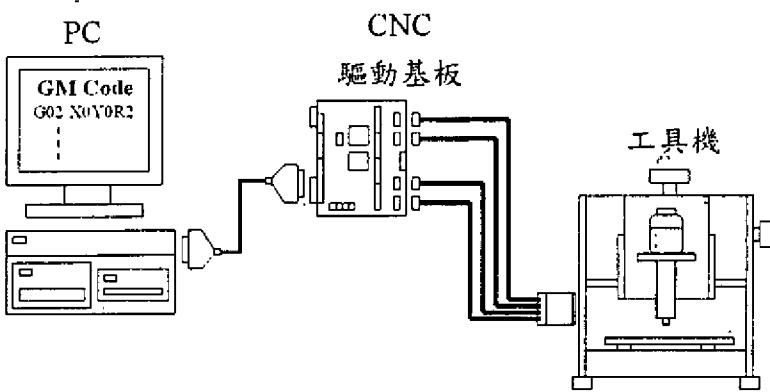


圖 4. 電腦數值控制的組成

#### 4、介面基板

基板是依據驅動器的位置控制、速度控制、轉矩控制等模式而設計出來的介面板。為了容易達到三軸定位目的且方便控制，吾人在驅動器本體設計上採用位置控制模式的設定。

基板之主要功能，是在負責做運動控制卡與馬達控制器之間的橋樑，藉由運動控制卡輸出的脈波信號，經由驅動器對馬達下達命令，進而達到位置控制。圖 5 為基板的實體圖。

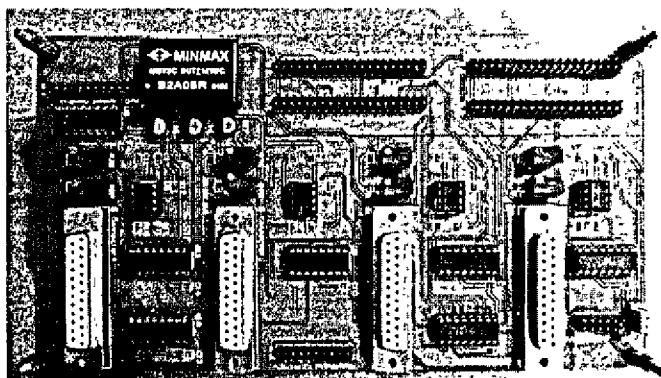


圖 5. 基板實體圖



## (二)XYZ 定位運動控制設計

本研究利用 ADLINK 公司的 PCI-8164 CNC 運動控制卡所提供之運動控制功能構成主要的定位控制器。藉由 PCI-8164 運動控制卡所提供之函式，以 Borland C++ Builder 設計導引路徑，實現定位設計。

### 1、數值積分法(DDA)

DDA (Digital Differential Analyzer)是普遍應用在工具機加工路徑之多軸同動的設計方法。本設計因為受到硬體 PCI-8164 控制卡上 DDA 系統位元限制，曲線的加工需要將加工路徑予以切割成數段。吾人透過相關 CAD/CAM 輔助軟體所提供的 NURBS (Non-Uniform Rational B-Spline)功能將曲線切割轉換成如圖 6 所示之線段。在圖 6 中為利用 DDA 方式將圓弧分成數段直線，此作法可使製圖工作簡單，並可以解析出各種曲線圖形的 NC 加工碼。但此方法會因解析出大量的 NC 加工碼而佔據大量記憶體的容量、以及工具機加減速頻繁的缺點[4-5]。

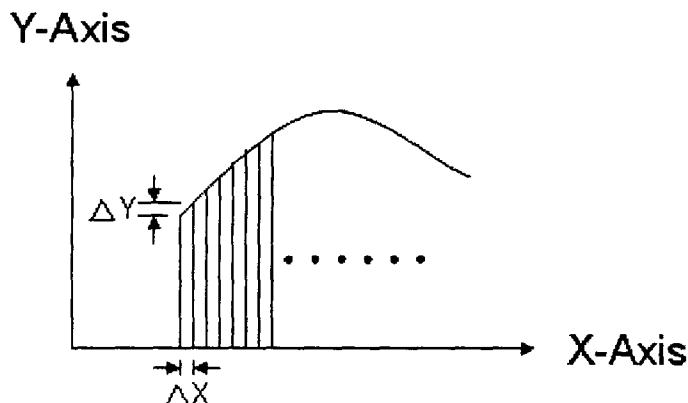


圖 6. 利用 DDA 技術作曲線切割、分段

### 2、直線補間

直線補間是在多軸運動中，在各軸命令脈波數不相同的情況下亦能同時開始運動與同時達到運動目標。如圖 7 為一斜線運動，在 XY 偏移量不相同與相同的初始速率與最大速率下限制下，藉由補間會使兩軸控制在不同加速度，但動作得以同時完成[5]。

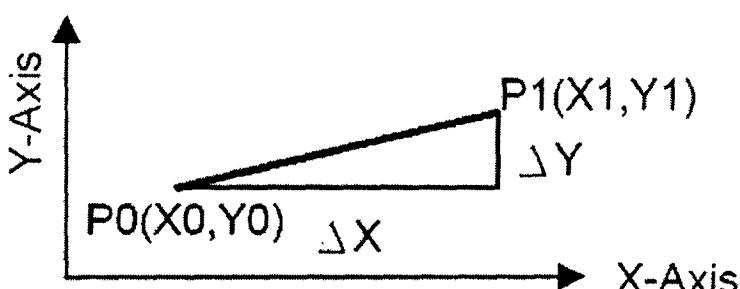


圖 7. 直線補間



### 3、圓弧補間

圓弧補間為在運動路徑中，若有規劃到曲線、弧、圓等具有徑度之線條時，可藉由 DDA 的解析方式將曲線、弧與圓等予以解析，再配合如同直線補間的模式控制其加速度，使各軸運動得以協調，達到多軸構圓、弧等目標[5]。

### 4、預載模式

在運動控制設計中預載模式是重要的一環，如圖 8 所示，系統先後輸入三個運動指令，則控制器會透過此運動控制介面卡中數個暫存器一一存入命令，接著從暫存器 1 讀出執行運動指令，並將暫存器 2 的指令送至暫存器 1，暫存器 3 的運動指令送至暫存器 2，如此循環執行下去，直到所有指令完成[1]。

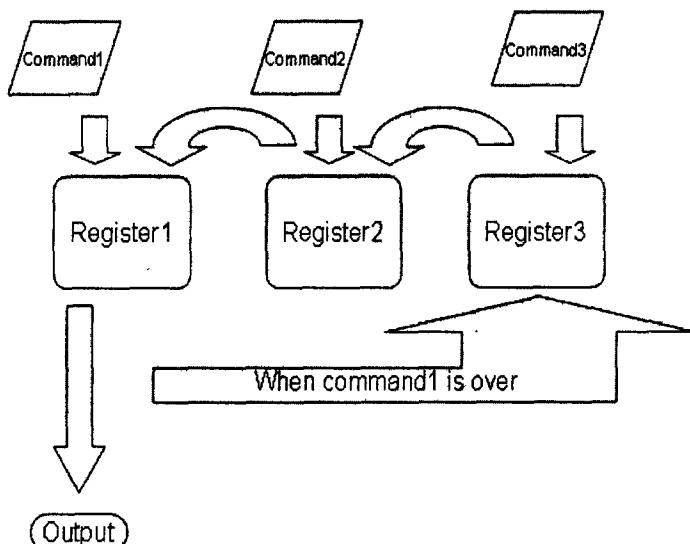


圖 8. 預載模式

### 5、人機介面[5-6]

人機介面其主要功能為監督與控制定位機台之運動。本研究系統開發設計的人機介面功能包含有：(1)單軸試運轉、(2)2 組以 CNC 運動控制卡為主體之 I/O 28-bit 位置脈波計數器、(3)XYZ 定位系統之運動路徑顯示、(4)原點復歸，以及(5)透過 CAD/CAM 輔助軟體所解析之 NC 加工碼及控制碼的解譯。藉由 Borland C++ Builder 設計人機介面，以全自動方式導入 CNC 運動控制卡，按鈕執行全自動運動控制等設計[2, 9, 10]。

圖 9 為執行中之人機介面控制畫面，主要用以顯示說明吾人已經實現 PC-based XYZ 定位控制。在此設計中也包含了手動與自動模式，在系統內部也設計相關極限開關之動作，主要目的為保護工具機之機能[7]。

### 6、同步監控系統

吾人設計軟硬體同步動作系統，使介面擁有一即時監視功能，本功能同時具有加工刀具路徑預覽功能。配合介面上各軸控制，讓介面朝向即時監控系統發展。所謂同步，即將介面上之運動軌跡與實際機台動作達到同時進行效果，如圖 10 與圖 11 所示[11]。



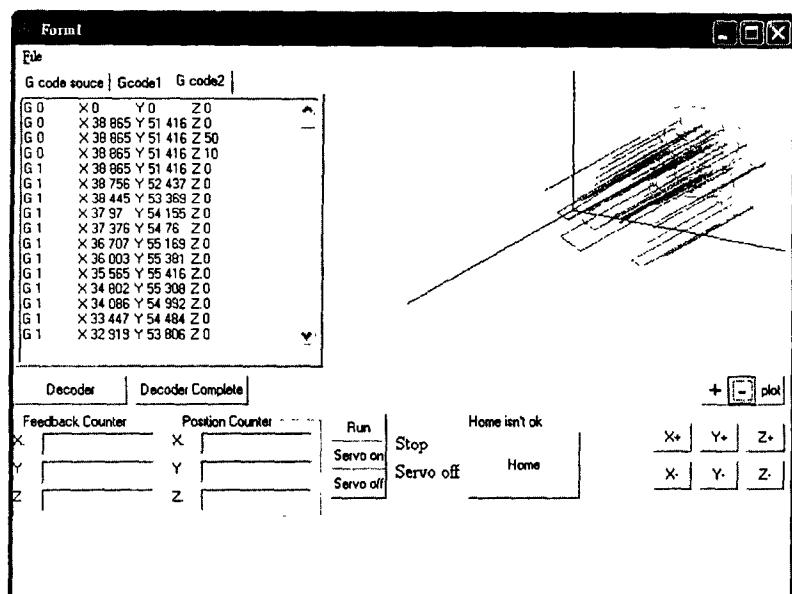


圖 9. 人機介面

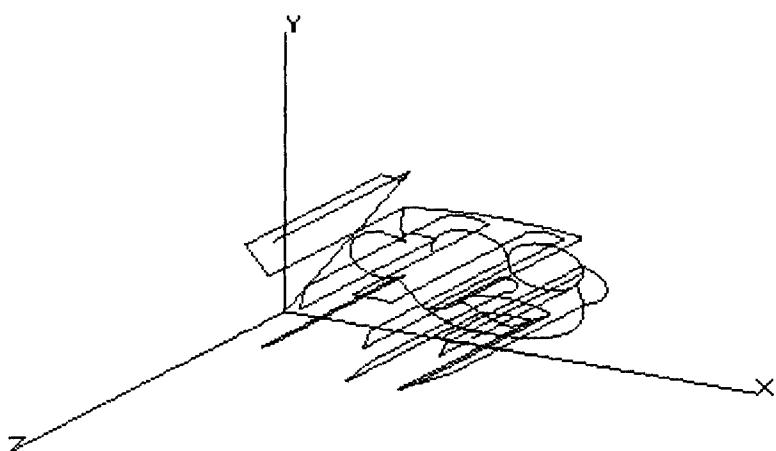


圖 10. 人機介面上之運動軌跡顯示



圖 11. 實際機台動作情況



## 7、系統功能描述

藉由上述運動控制系統以及軟硬體介面的設計，可以達成一個全自動或半自動的定位系統。在圖 12 中列出了吾人所設計定位系統雛型的相關功能。吾人在設計軟、硬體系統時，除了運用現有控制卡所提供之系統軟體所發揮強大的控制能力外，尚輔助搭配了目前硬體架構所規劃的功能，例如在三軸的定位上若是在硬體設備運行到所屬的光遮斷器位置上時，在相對硬體介面上所屬的原點號誌燈則會發亮，以指示出系統狀態。這一些設計用以提供除了電腦本身的自動檢視外，也提供人工系統的即時狀態檢知，幫助在控制電腦失效時仍然可以有一個預知與保護機制。

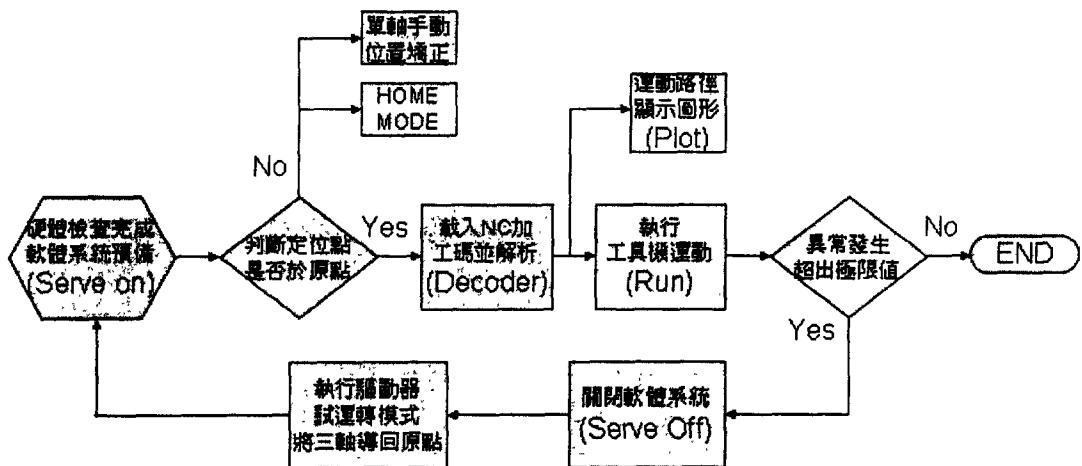


圖 12. 系統功能

## 8、伺服端/客服端系統

現代自動化技術是建立在通訊能力與連結個別生產單元而成，也就是說將自動化組件整合入辦公室網路及公司內部網路中已經日益重要。近年來因乙太網路與無線網路的盛行，希望能藉由與網際網路的結合使本研究達到遠端監控與即時操作的效果，整體工作站架構如圖 13 所示。

Information Technology (IT)是近年盛行的名詞，IT 技術泛指所有管理和處理資訊的各個層面，基本包含傳感技術、通信技術、以及計算機技術。

- 1、傳感技術：這是人的感覺器官的延伸與拓展，最明顯的例子是條碼閱讀器。
  - 2、通信技術：這是人的神經系統的延伸與拓展，承擔傳遞訊息的功能。
  - 3、計算機技術：這是人的大腦功能延伸與拓展，承擔對訊息進行處理的功能。
- 而如何將 IT 技術融入程式開發者的系統也是近年大為探討的問題。

網際網路隨著時間的穿梭佔據電腦運用的大部分，所以本研究考量上加入了相關的觀念。目前達成設計方面吾人使用一台 Hub 的連結，並搭配人機介面來執行如圖 14 與圖 15 所示，建立一客服系統透過 IP Address 與伺服端做連結，可將所想要執行的運動路徑在客服端解析後運用區域網路的概念傳送至伺服端，再由伺服端執行動作，並將相關數據加以回傳。在未來的方向上，主要將伺服端的執行程式建立成一 Web server 工作站，使用者只要透過網際網路連結至工作站即可運用遠端控制技巧來控制機台以達成 Remote control 目標。



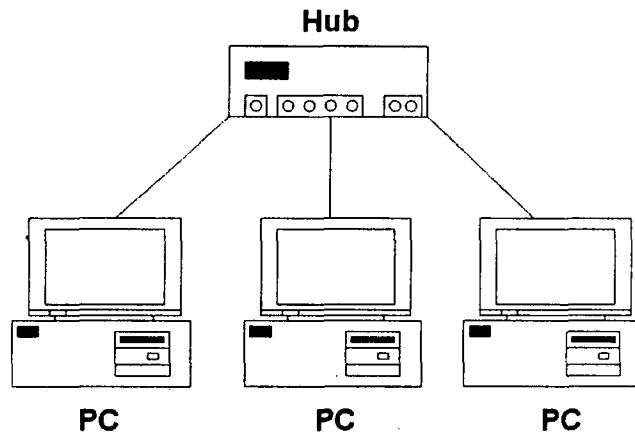


圖 13. 工作站架構

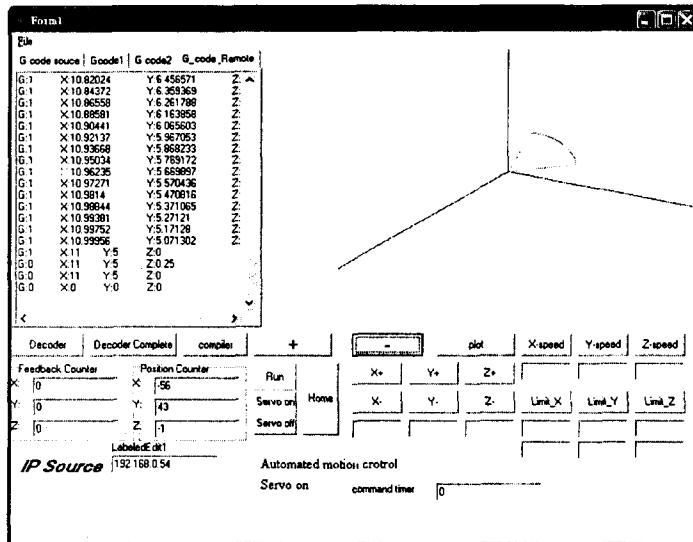


圖 14. 伺服端系統

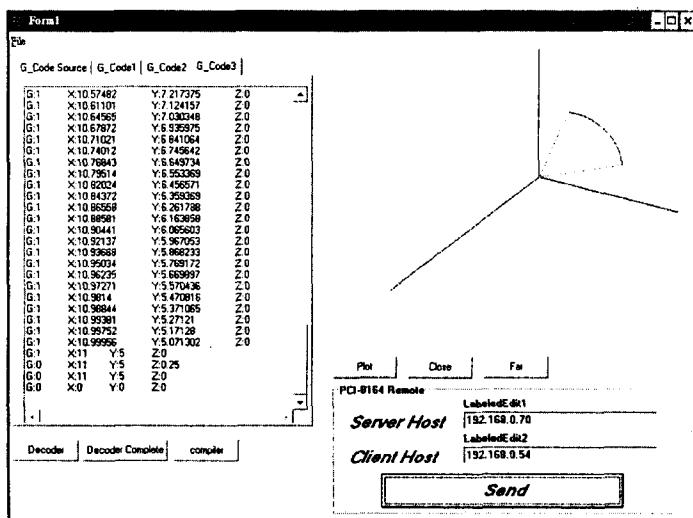


圖 15. 客服端系統



## 四、軌跡定位驗証與探討

軌跡定位的準確性是定位控制器設計必須考量的目標，而 PCI-8164 運動控制卡提供了回授(Feedback)接收之功能，吾人藉由此項功能，同樣是透過運動控制卡所提供之 28-bit 位置脈波計數器計數其脈波訊號，與送至驅動器之脈波訊號做比較，判斷其軌跡定位準確性[8]。

### 1、軌跡定位精度[5]

軌跡定位精度是指從指定之工具機台一基準點開始移動一段距離，將此段距離切成如圖 16 所示若干小段，然後量測每一小點的實際移動距離與標準位移距離的誤差量。其實際步驟則為透過 Borland C++ Builder 撰寫，實現取得運動控制卡發送至驅動器之信號脈波之計數，與透過伺服馬達 Encoder 回授信號脈波之計數，前者為標準位移距離量，後者為實際移動距離量，透過二者比較取得每一小點之誤差量，其數值最大者為軌跡定位精度。

### 2、反覆軌跡定位精度[5]

反覆軌跡定位精度即為決定一運動路徑起始點，並以固定距離執行運動控制，測量出起始點與結束點之脈波數並加以比較。如圖 17 所示，以固定移動距離多次來回運動，並針對一固定量測點進行量測，透過標準位移脈波計數器與實際位移脈波計數器多次取得其最大差量之一半，加上”±”符號即為反覆軌跡定位精度。

### 3、失位誤差軌跡定位精度[5]

失位誤差定義如圖 18 所示，指 CNC 工具機朝向正方向移動一段距離，量測該點數值，並透過標準位移脈波計數器與實際位移脈波計數器計算誤差值，然後再以固定距離以反方向運動做定位量測計算誤差值，然後再以負方向移動一段距離計算誤差值，再以正方向移動固定距離做定點量測計算誤差值，多次反覆動作所平均下來之誤差值為失位誤差。

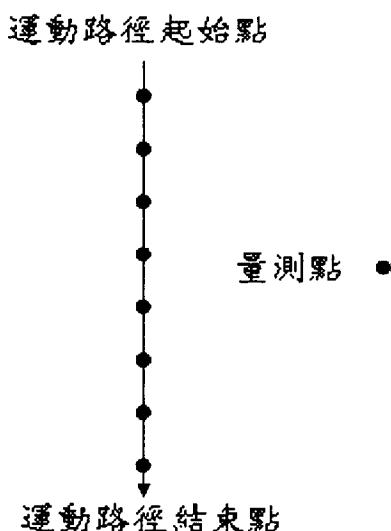


圖 16. 軌跡定位精度示意圖



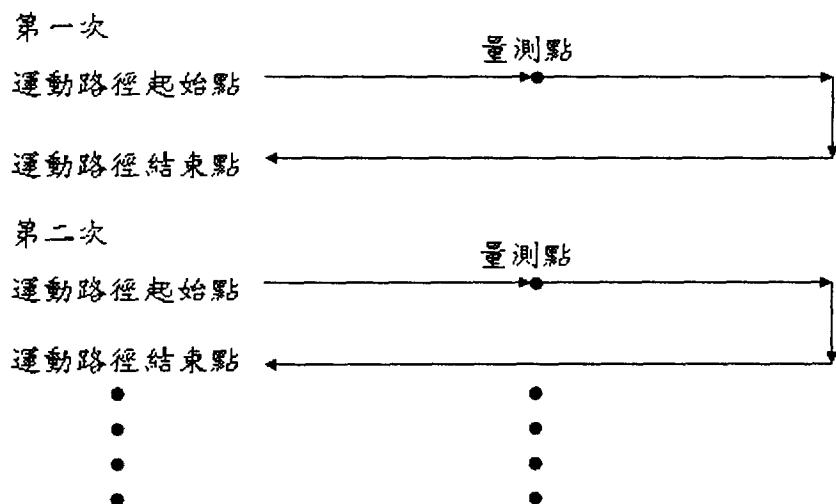


圖 17. 反覆軌跡定位精度示意圖

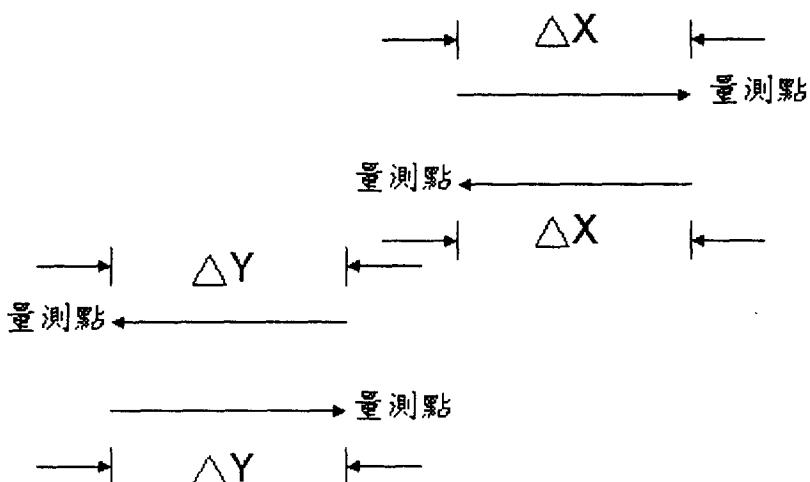


圖 18. 失位誤差軌跡定位精度示意圖

#### 4、實際測試

三種定位精度的實驗測試結果如表 1~3 所示，測試的數據單位以脈波數(Pulse)來表示。在表 1 中為針對單軸控制做軌跡定位精度測試的結果。數據中所有量測之最大誤差皆為 0 pulse，而工業等級控制器規範誤差之標準是 0.001 以下。

表 2 為反覆軌跡定位測試結果數據。通過上述之測試原理，所有量測之最大誤差為 0 pulse，工業級控制器規範誤差標準則為  $\pm 0.0005$  以下。

表 3 為失位誤差軌跡精度之測量結果，其 10 次誤差之平均值為 0 pulse，符合工業級控制器所規範之標準。

透過以上之測試以及數據顯示，吾人所採用來作為定位控制的離型系統可以達到規範之標準，這些結果歸因於在完成控制器設計後，吾人進一步針對可能的雜訊來源進行處理，如在訊號線上選擇可隔離雜訊之訊號線，以及考量回授訊號送回 PCI 卡的方式。



等，使得此一雛型系統能夠達零誤差的水準。當然，就本雛型系統來說，在執行定位精度驗證時，因為系統僅有三軸馬達運轉，在加工主軸上並未裝置任何加工刀具或主軸馬達，沒有加工負載，以及低電路雜訊；同時因為三軸架構採取堆疊形式，X 軸馬達的負載為 Y 軸與 Z 軸馬達暨其導螺桿，在系統位置追蹤控制上響應極其快速，可視為響應沒有延遲。以上說明在本論文中，對於定位精度驗證結果之所以如此理想之可能原因。

表 1. CNC 工具機軌跡定位精度數據

單位： pulse	標準脈波	回授脈波	誤差量
量測 1	20000	20000	0
量測 2	40000	40000	0
量測 3	60000	60000	0
量測 4	80000	80000	0
量測 5	100000	25000	0
量測 6	120000	120000	0
量測 7	140000	140000	0
量測 8	160000	160000	0
量測 9	180000	180000	0
量測 10	200000	200000	0

表 2. CNC 工具機反覆軌跡定位精度數據

單位： pulse	目標標準 脈波	量測標準 脈波	量測回授 脈波
量測 1	200000	100000	100000
量測 2	200000	100000	100000
量測 3	200000	100000	100000
量測 4	200000	100000	100000
量測 5	200000	100000	100000
量測 6	200000	100000	100000
量測 7	200000	100000	100000
量測 8	200000	100000	100000
量測 9	200000	100000	100000
量測 10	200000	100000	100000



表 3. 失位誤差軌跡精度測試數據

單位： pulse	目標標 準脈波	量測回授 脈波	誤差量
量測 1	50000	50000	0
量測 2	0	0	0
量測 3	-50000	-50000	0
量測 4	0	0	0
量測 5	50000	50000	0
量測 6	0	0	0
量測 7	-5000	-50000	0
量測 8	0	0	0
量測 9	50000	50000	0
量測 10	0	0	0

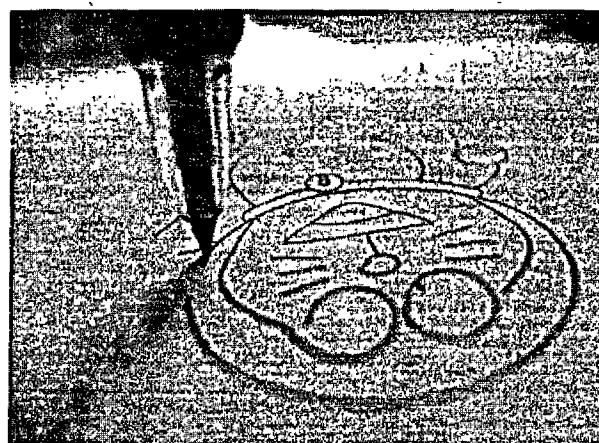


圖 19. 全自動運動控制實現

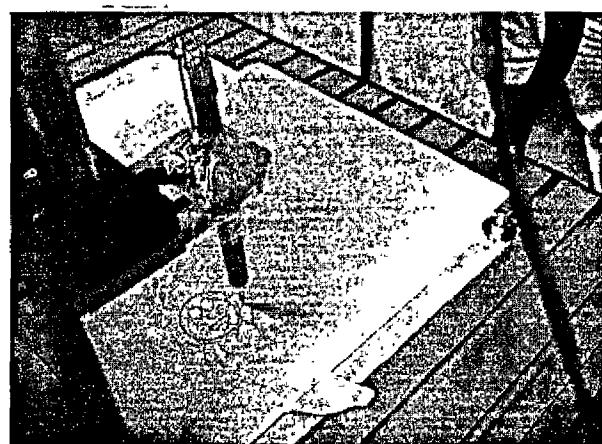


圖 20. 全自動運動控制實現



## 五、研究貢獻

本研究的目的為嘗試結合 XYZ 定位平台以及 PC-based 32 bits 運動控制卡，利用 C++ 程式語言做 CNC 工具機的定位控制研究。進行步驟為利用所選用的 CNC 運動控制卡，搭配相關 CAD/CAM 輔助軟體規劃工具機運動路徑，再選用極方便做介面設計的 Borland C++ Build 程式語言工具做為 CNC 運動控制卡與 PC 的溝通管道與設計，再藉由 CNC 運動控制卡發出脈波訊號以達到控制工具機運動路徑的目的。

藉由 Borland C++ Build 程式語言工具設計的介面功能包括有單軸手動位置矯正、運動路徑顯示圖形、原點復歸模式、28 位元位置脈波計數器等。而人機介面僅使用 Borland C++ 軟體作為介面系統設計。

本文所設計的軟、硬體系統，具有下列特色：

1. 以 32Bit-PCI 運動控制卡作為運動控制中心。
2. 以 CNC 工具機雛形 (Prototype CNC machine) 做為運動控制對象。
3. 軟體介面具有即時加工圖像顯示。
4. 可執行即時監控 CNC 工具機
5. CNC 工具機保護電路。

對於 CNC 工具機的保護動作亦不可少，在本研究中亦加入了硬體保護控制電路以及軟體的工作極限限制功能。軟體的部份為利用絕對坐標偵測目前工作點的位置，據以判斷各軸運動軌跡是否即將超出工作區域範圍，藉由軟體的限制，促使機台的運動不要越過工作範圍。至於硬體 XYZ 軸的限制，主要針對工具機當碰觸 XYZ 三軸之極限開關或發生其他異常，能夠在驅動器與馬達間做斷電保護。

## 六、結論

本研究主要以 ADLINK PCI-8164 運動介面卡透過 Borland C++ Builder 語言程式工具達到對 XYZ 定位系統之運動控制的目的。軟體介面功能包括原點復歸模式、手動校正模式、NC 加工碼解譯、運動路徑顯示、驅動器 Servo 動作控制、保護模式等。硬體介面包括硬體機能保護裝置與介面板等。

當然為達工業級之控制器，吾人也針對所設計之控制器進行軌跡定位精度測量、與控制性能測試探討，主要目的皆為驗證與補償控制器性能。透過誤差的量測與控制性能之測試，其所得之數據可供在軟體、硬體部分做校正之標準，使控制器更加達到有 CNC 工具機運動控制、偵測、校正等正規化條件，以便符合工業級控制器要求。

由於吾人所使用之 CNC 運動控制卡，ADLINK 公司未提供函式之 Source Code，導致在圓、弧、曲線上的設計造成記憶體不足與控制性能無法達到更高之即時性，而且市售之 CNC 運動控制卡價格不斐，約為一部 PC 之價格，所以吾人除了朝向以市售運動介面卡進行應用開發控制器以外，在未來也將朝向針對相關硬體設計，進行自我 PCI 介面卡開發的目標，方法為以 FPGA 作為系統設計的整合，可規劃吾人所需之運動控制動作搭配協調 CAD/CAM 輔助軟體之 NC 加工碼數據，讓吾人解決以市售運動介面卡開發卻



無法清楚知道 Source Code 之問題，同時利用 WinDriver 設計驅動程式軟體，使所設計的硬體介面卡與 PC 之間的溝通無礙。而所設計系統為將來執行相關 PC-based 控制設計的主體。

## 七、參考文獻

1. <http://www.adlink.com>
2. <http://www.borland.com>
3. Panasonic 交流伺服馬達驅動器 MINAS-A 系列 操作說明書。
4. 鍾國峰，93 年 7 月，NURBS 與 DDA 差值器在運動控制上的整合設計，碩士論文，中山大學機械與機電學系。
5. 何昆霖，94 年 7 月，架構在嵌入式 XP 作業系統與 FPGA 的運動控制器系統設計，碩士論文，勤益技術學院資訊與電能研究所。
6. 賴秋庚、林銘鴻、賴仁傑、林威志、蔡青哲，"PC-based CNC Positioning Control Design"，Submitted to The 27th Symposium on Electrical Power Engineering.
7. 賴秋庚、何昆霖，"CPLD-based Digital Circuit Design for PCI Interface Card"， 2004 Chinese Automatic Control Conference.
8. 朱延朗，90 年 7 月，微機電定位平台之機電整合與特性分析，碩士論文，國立雲林科技大學機械工程系。
9. 洪國勝、江國軍、龍國忠、洪月裡，C++ Builder6 程式設計快速上手，旗標出版股份有限公司。
10. 蔡孟凱，雷穎傑，黃昭維，陳錦輝，陳正凱，民國 93 年 11 月， "C++ Builder 6 完全攻略"，金禾資訊股份有限公司。
11. Edward Angel，民國 87 年 12 月，黃加佩 譯，"互動式電腦繪圖與 OpenGL 實作"，儒林圖書股份有限公司，艾迪生維斯理出版有限公司。
12. 張義和，民國 92 年 2 月，"Protel DXP 電腦輔助電路設計快速入門"，初版，全華科技圖書公司。
13. Panasonic AC Servo Motor Driver MINAS A-series Operating Manual.

