

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

泛用型動態虛擬實境操控與運動復健輔助系統研發

子計畫二：動態 VR 運動復健輔助系統之智慧型感測與控制(I)

計畫編號：NSC90-2213-E-009-105

執行期限：90 年 08 月 01 日至 91 年 07 月 31 日

主持人：林進燈 教授 交通大學電控所

計畫參與人員：鍾仁峰、秦群立、周佑霖、陳建宏 交通大學電控所

一、摘要

本計畫為「泛用型動態虛擬實境操控與運動復健輔助系統研發」整合計畫之子計畫二，研發重點在於電動六軸動作平台之設計與分析、運動訓練輔助機制之感測與控制及操作者運動狀況之偵測與分析。以之前本團隊所開發之油壓式六軸動作平台的經驗為基礎，在本子計畫裡，我們將繼續鑽研以馬達驅動(電動式)之六軸動作平台的設計與分析，以為整個動態運動訓練輔助系統的根基平台。我們也將進行平台的硬體機構分析並解決運動學、奇異點、工作空間等問題，以達位置、速度及加速度控制等目的。本子計畫的第二個重點在設計、開發運動訓練輔助機制，以架設在動作平台上，而構成即時動態運動訓練系統的整合機構。我們將朝向泛用型機構設計，以涵括如跑步、划船、騎馬等運動訓練項目。我們也將研發此機構的感測與控制技術。本計畫的第三個研究主題是操作者運動狀況之偵測與分析，藉由非侵入式檢測方式，瞭解運動員的身心狀況(如心跳、運動速度)，以適當控制動作平台及運動訓練輔助機制，達到輔助訓練效果。本子計畫也將發展即時計算環境的軟、硬體，以達到整體系統的即時控制效果。

二、目前研究進度：

針對本子計畫所將陸續完成的三大研究主題，在今年度本子計畫目前朝向電動六軸動作平台的開發與分析、平台嵌入式即時硬體單板之設計與發展、VR

跑步場景之開發、VR 投影技術之探討等。以下就分別針對此幾個方向，來加以說明目前進度狀況。

A. 電動六軸動作平台的開發與分析

在此部分的研究上，由於是要從無到有，所以今年度我們從電動伺服馬達的選定與控制、控制架構的設計、單軸平台的載重分析等，都是目前的研究重心，以下分述如下：

◆ 電動伺服馬達的選定

為得知該採用哪款的伺服馬達，我們假定所欲建構的電動六軸平台載重為 1000 公斤，再乘以 2 倍之安全係數得單軸所需載重為 470 公斤。經計算結果得知所需負載轉矩為 4.25 Nm 與慣性矩為 18.6 Kg·cm²。最後查閱三菱 MELSERVO-J2_SUPER 規格書，選定對應之馬達類型如圖一所示，其為 HC_SFS_153B (2000rpm/min)。



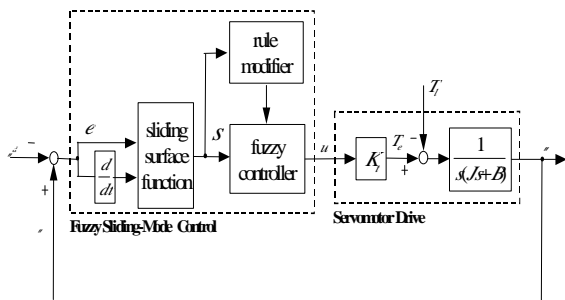
圖一：三菱 HC_SFS_153B 伺服馬達

◆ 電動伺服馬達的控制

在傳統的控制理論，控制器的設計

都是基於數學描述和系統方程式模型，但是在現實世界中，當系統越來越複雜時就很難以數學模型來描述，所以要再使用傳統的控制理論去解決此類問題就顯得極為困難。近年來陸續有研究者將模糊控制器(Fuzzy Logic Control)運用到各種自動控制系統，使控制器加入了日常生活中的語意特質，其中的模糊規則為匯集專家的經驗和操控法則。六軸平台因其數學模式十分難以獲得，故利用傳統的控制理論進行設計控制器時將需花費很多時間調整控制器參數才能獲得不錯的系統響應。為了解決此問題，我們一開始選用利用模糊控制器為基本架構來進行設計。

此外我們還進一步提出模糊滑動模式控制(Fuzzy Sliding-Mode Control)設計方法，我們可藉由滑動表面(Sliding Surface)的提出使模糊規則數目得以減少，以利於設計與分析工作。這裡我們使用模糊滑動模式控制後，將原先模糊控制所需的49條規則減少至7條規則。圖二展示所用之模糊滑動控制伺服馬達系統。



圖二：模糊滑動控制伺服馬達系統

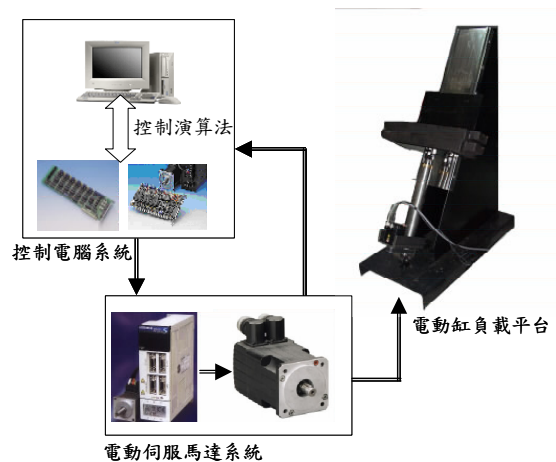
◆ 單軸電動缸載重測試

我們所發展之單軸電動缸控制系統架構圖，如圖三所示，控制演算法則經由控制電腦執行後，經過數位/類比伺服控制卡送出命令電流至驅動電路模組，由驅動電路器送出驅動信號至電動伺服馬達控制馬達正反轉與轉動角度，再經由皮帶帶動整個單軸電動缸測試平台轉換成直線型位置，最後檢測電動伺服馬達的實際位置，作成位置迴授至控制電

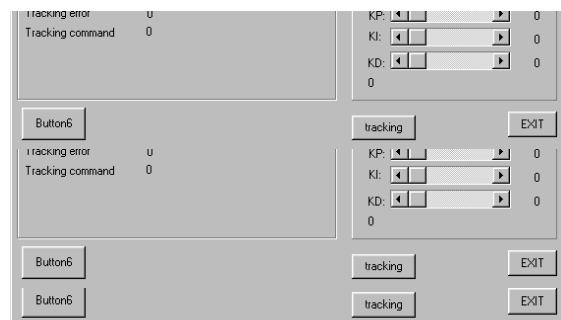
腦以利閉迴路控制法則的執行。整個實驗結果為驗證所設計控制器之系統強健性，我們提供兩個測試條件如下：

- (1) 測試條件一（空載條件）：將馬達轉動直接帶動整個電動缸。
- (2) 測試條件二（負載條件）：在電動缸平台上外加 375Kg 的負載。

這裡我們曾用業界中常用的 PID 控制器來控制整個系統，其實驗結果發現利用 PID 控制器時，不管測試條件一或二均並無法有效地精確追蹤到我們所下之控制命令。為了解決此問題，利用所設計之模糊滑動控制器 (Fuzzy Sliding-Mode Control) 做比較，其實驗結果發現利用模糊滑動控制器時，不管測試條件一或二均可精確地追蹤到我們所下之控制命令。此外為了方便隨時監控電動缸之控制情狀，本子題也發展了一適合且簡易的人機界面，透過這個人機界面可以讓使用者更容易修改控制參數、儲存資料及察看結果，如圖四所示。



圖三：單軸電動缸控制系統架構圖



圖四：單軸電動缸之人機界面執行畫面

B. 嵌入式即時硬體單板之設計與發展

一般控制系統中大多採用 DSP 或 8 位元的單晶片微處理器，然而由於其無法支援作業系統的核心架構，所以用其低階語言編譯出來的控制程式，修改程序非常繁複，使系統發展性大為受限。因此我們採用嵌入式控制系統為核心，以 StrongARM 作為中央處理器，其可支援 open source Linux 作業系統。而開放式的程式碼不但可自由下載，並可依自己的需要修改原始碼並重新編譯，大大增進了整個系統發展應用軟體的效率。

目前我們採用以 Intel StrongARM 處理器為核心的 LART 嵌入式硬體，其中 LART 是由全名 Linux Advanced Radio Terminal 的字首組合而來，為一套消耗不到 1W 功率即可達到 250MIPS 高效能的嵌入式系統硬體套件，其包括一塊主板、週邊裝置擴充板與網路卡，經由 LART 嵌入式硬體模組搭配 ARMLinux 嵌入式作業系統來取代舊有的工業電腦控制方式，此優點不僅可使控制系統體積大幅減少，同時也便於在作業系統上發展新的控制程式與未來控制程式發展更具彈性，而嵌入式系統週邊支援 TCP/IP 網路，使得先前發展的另一塊 Stand Alone 單板-DSP 控制卡無法連接 TCP/IP 網路的困境獲得解決。

接下來依序介紹在此嵌入式單板所發展的一些主題與成果：1. ADDA 傳輸介面。2. 嵌入式動態模擬控制系統。3. 整合成果與比較。

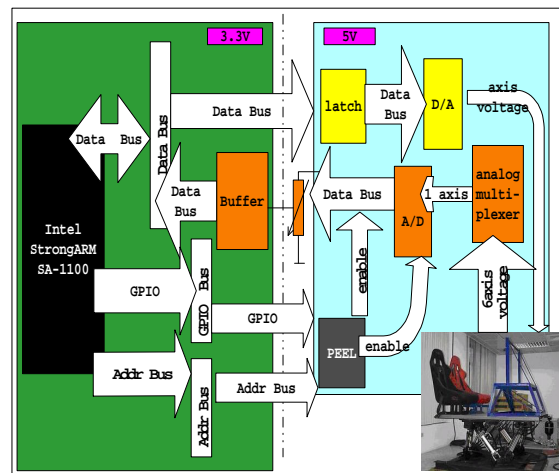
◆ ADDA 傳輸介面

圖五為 ADDA 電路系統方塊圖，由於六軸動作平台是利用類比電壓訊號來控制油壓伺服閥以決定軸伸長量，所以要利用 LART 嵌入式單板控制六軸平台，必須擴充設計六組的類比數位轉換的介面，讓 LART 的數位訊號與平台的類比訊號間做資料的傳遞。

整個 ADDA 電路系統需要提供 5V、+12V、-12V 的工作電壓，而 LART 主板的工作電壓則是在較低的 3.3V，在 5V 和 3.3V 間的訊號傳遞必須加入一個

電壓準位轉換的機制才不會造成電壓過大系統損毀，或是電壓過小資料流失的問題。圖五中虛線右半部代表 LART 主板之工作電壓 3.3V，虛線左半部為 ADDA 電路系統之工作電壓 5V。考慮當 LART 訊號送到 D/A 轉換器時，因為 3.3V 到達 5V 系統之 V_{IH} ，資料閃鎖器(Latch)會把 3.3V 的輸入數位訊號電壓拉到 5V 電壓準位送到 D/A 轉換器；AD 迴授訊號傳回 LART 時，則是將數位訊號用可變電阻分壓降到 3.3V 再由系統讀回。

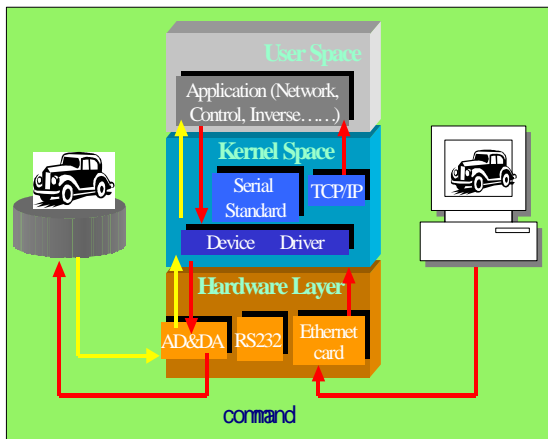
數位轉類比的訊號是由六組 D/A 轉換器分別控制六軸電壓訊號，所以在 D/A 轉換器各需加一組獨立的資料閃鎖器(Data Latch)來鎖住各軸所需的轉換資料。在類比轉數位電路裡，先用一顆類比多工器搭配 SA1100 上的三個 I/O port 來選擇讓第幾軸的類比訊號輸入轉換，因此只需一顆類比轉數位轉換器即可完成六軸電壓轉換動作。另外在這必須考慮的是，A/D 轉換完的輸出 12-bit 數位資料需經由 CPU 的 Data Bus 讀回系統處理，而 CPU 的 Data Bus 乃雙向匯流排，為了避免 CPU 的 Data Bus 在輸入與輸出的值之間沒有協調好互相衝突，所以在 A/D 轉換器和 LART 的 Data Bus 間加上一組三態緩衝器(Tri-State Buffer)，在系統尚未讀取資料前，AD 電路會被系統視為一個高組抗元件。



圖五：ADDA 電路架構圖

◆ 嵌入式動態模擬控制系統

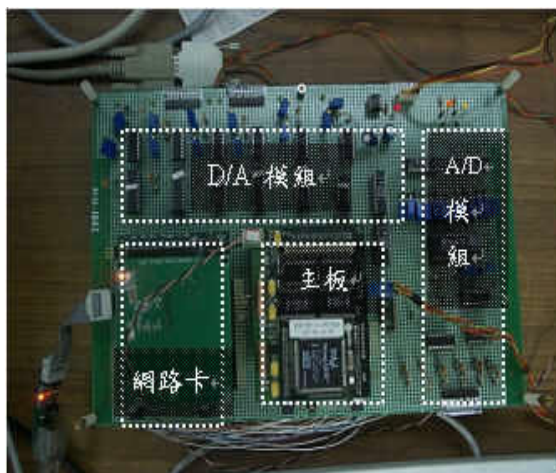
嵌入式動態模擬控制系統的發展主要分成三層的巨觀架構，包括作業系統控管的核心層(Kernel Space)、應用層(User Space)和硬體裝置所屬的硬體層，在數位類比介面卡硬體撰寫完成、網路軟硬機制設置完備後，接著的工作就是整合數位類比介面卡驅動程式並在應用層發展網路連線程式與各種平台控制程式(包括平台之姿態與腳長轉換的Inverse Kinematics、發展模糊位置控制器、奇異點狀況的規避等)。



圖六：軟硬體整合系統架構

◆ 整合成果與比較

圖七展示所完成之嵌入式單板實體，而圖八則是進一步比較以前所用之PC、DSP 單板以及目前所發展的 LART 嵌入式單板之優缺點。



圖七：LART 嵌入式硬體單板

| 控制硬體 | 優點 | 缺點 |
|--------------|--|---|
| 工業電腦 | ◆多種作業系統支援 ◆豐富的通訊介面 | ◆體積龐大 ◆價格昂貴 |
| DSP 控制卡 | ◆較小的體積 ◆電路全為自行設計有完整電路圖與DSP原始程式碼 | ◆與平台只能靠RS232傳輸 ◆程式全用組語發展，移植性不高 ◆記憶體容量受限 |
| LART 嵌入式控制硬體 | ◆豐富的通訊介面 ◆功能強大的ARMLinux作業系統 ◆完整的硬體電路圖與自己設計的ADDA介面卡 | ◆記憶體容量受限 ◆無法直接在單板上編譯程式 |

圖八：控制硬體比較

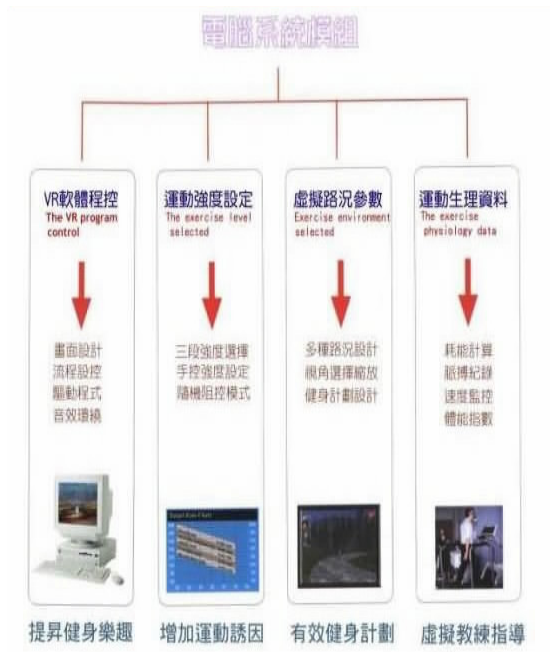
C. VR 跑步場景之開發

隨著電腦科技的快速進步，虛擬實境(VR)這個名詞已從當初人們對它的陌生發展演變而成現今炙手可熱的熱門技術。市場上也出現愈來愈多發展相關的軟、硬體，或者是利用此技術製作發展的商品。而運動器材與虛擬實境的搭配應用更是一項完美的結合，藉由虛擬實境的聲光影像使消費者身歷其境，再搭配軟體對於運動生理學及娛樂效果之輔助功能，讓室內健身運動不再是枯燥無味之運動，而是充滿著新奇、樂趣與資訊的一項新興運動。

這裡此部分由於需要周邊軟、硬體的適當搭配，故除了基於之前 VR 場景開發的功力，積極開發出適當的跑步場景外，更在另一個子計畫目標裡，我們將拍攝真實外面影像(如圖九所示)，以融入 VR 畫面中，而增加真實感。而在與周邊系統的搭配上，除了在平台上適當搭建跑步機，我們更結合運動強度的設定、虛擬路況參觀、運動生理資料等，以增加使用者的興趣及提高此系統各方面的功能(如圖十所示)。



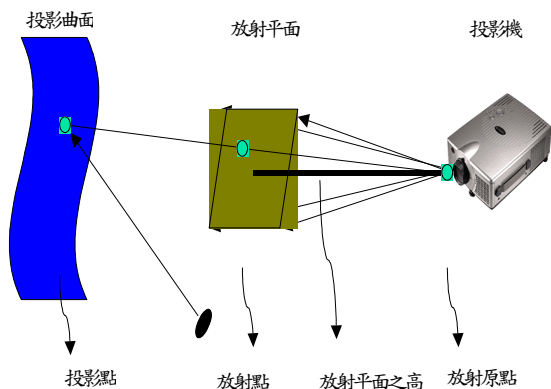
圖九：實際場景之廣角影像



圖十：VR 跑步場景整合系統示意圖

D. VR 投影技術之探討

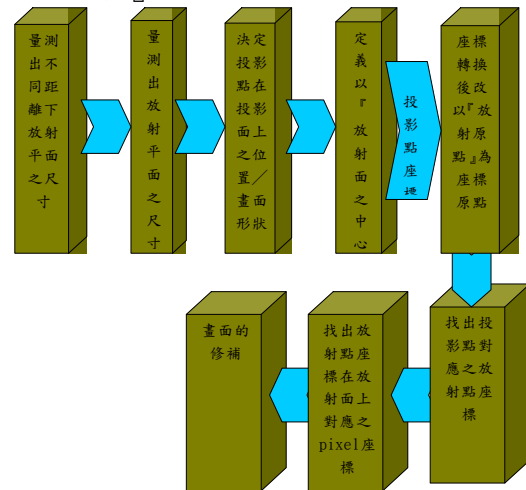
這個部分技術的探討主要是為了在影像投射的呈現上，不會受限於場地、投影機等。故我們首要目標是希望能夠依照場地布置方式改變投影機的所在位置、投射角度；此外更需依照所要投影至投影曲面的影像去決定投影平面所需呈現的畫面，故這裡投影曲面上的影像希望可以是任意形狀，投影曲面也可以隨意選擇(圖十一為投影概念示意圖)。



圖十一：投影概念示意圖

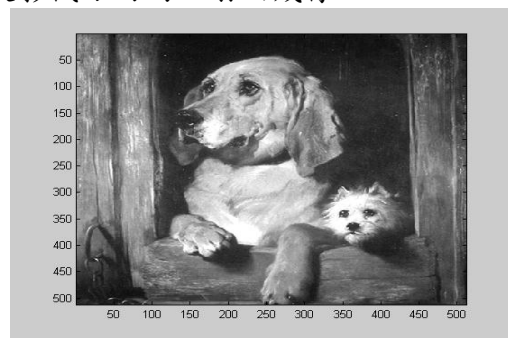
圖十二為我們所發展的投影處理過程流程，而所列出的四點則是此部分我們所達到的主要目標：

- 在任意移動、轉動投影機情況下仍能夠投影出固定形狀的畫面任意選擇投影曲面形狀、曲度後投影出固定形狀的畫面
- 在曲面上投影出『任意預訂形狀畫面』
- 在曲面上投影出『觀測者所要求的畫面形狀』

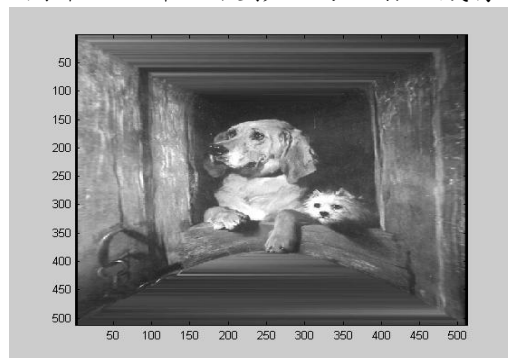


圖十二：投影畫面的處理流程

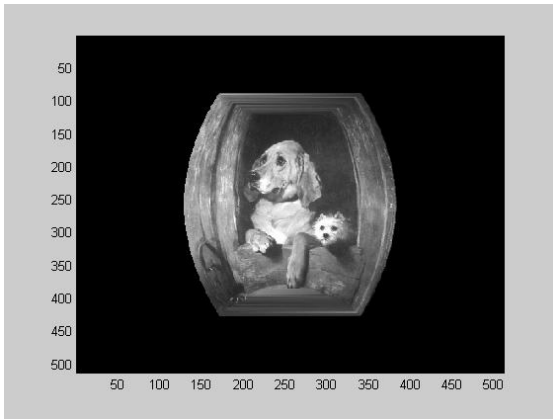
圖十三~十五展示在不同曲面上的放射面成像，圖十六與十七則展示轉動投影機方向的放射面成像。



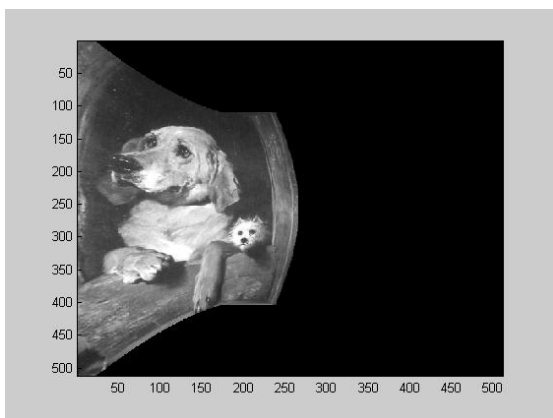
圖十三：平面投影上的放射面成像



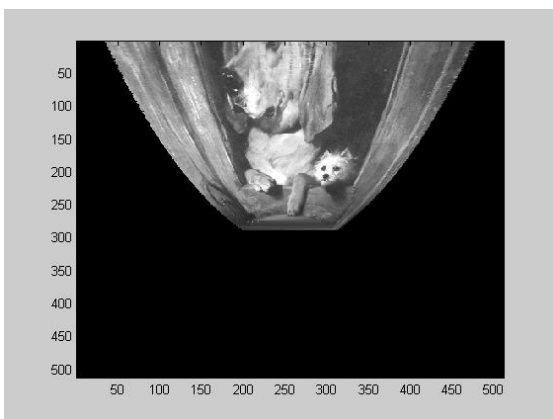
圖十四：圓柱投影上的放射面成像



圖十五：內凹球面投影上的放射面成像



圖十六：投影機向右偏轉時之球面投影



圖十七：投影機向下偏轉時之球面投影