

# 行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

**總計畫：泛用型動態虛擬實境操控與運動復健輔助系統研發**

計畫類別：整合型計畫

計畫編號：NSC92-2213-E-009-015-

執行期間：92年08月01日至93年07月31日

執行單位：國立交通大學電機與控制工程學系

計畫主持人：林進燈

共同主持人：林昇甫，李祖添，張志永，莊家峰

報告類型：完整報告

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 93 年 11 月 1 日

## 泛用型動態虛擬實境操控與運動復健輔助系統研發

計畫類別： 個別型計畫 整合型計畫

計畫編號：NSC 92 - 2213 - E - 009 - 015 -

執行期間：90年08月01日至93年07月31日

計畫主持人：林進燈教授

共同主持人：林昇甫教授

張志永教授

李祖添講座教授

莊家峰副教授

計畫參與人員：

成果報告類型(依經費核定清單規定繳交)： 精簡報告 完整報告

本成果報告包括以下應繳交之附件：

赴國外出差或研習心得報告一份

赴大陸地區出差或研習心得報告一份

出席國際學術會議心得報告及發表之論文各一份

國際合作研究計畫國外研究報告書一份

處理方式：除產學合作研究計畫、提升產業技術及人才培育研究計畫、列管計畫及下列情形者外，得立即公開查詢  
涉及專利或其他智慧財產權，一年 二年後可公開查詢

執行單位：國立交通大學電機與控制工程學系

中華民國 93 年 7 月 日

# 泛用型動態虛擬實境操控與運動復健輔助系統研發

計畫編號：NSC92-2213-E-009-015

執行期限：90.8.1-93.7.31

主持人：林進燈 國立交通大學 教授

執行機構：國立交通大學電機與控制工程研究所

## 一、摘要

本計畫的目標是發展一套運動復健訓練的輔助控制系統，此系統主要是在一個由電腦操控的六軸動作平台上建構走步機或跑步機等運動訓練輔助機制，配合聲光效果建立之虛擬實境，提供使用者一個運動與訓練環境。其主要特色在於運用感測資訊及操作者的選擇，以電腦預測出使用者的體能與身心狀態之型態(Pattern)，進而改變輔助訓練的內容與場景，期可以鼓勵使用者，達到進行運動訓練的積極目的。此系統不但可作為一般人士的運動、健身器材，尤其適合提供給身心殘障人士一個更人性化及具輔助性的復健空間與設備，並達到職業重建的目的。

### 關鍵字

虛擬實境、沖淡演算法、行為轉換、函數型類神經網路、即時系統、電動運動平台、適應性小腦模型控制、動態模擬駕駛系統、OMAP、嵌入式系統、影像為基礎的、成像技術、人臉表情情識、序列人臉影像處理、人性化溝通管道、抽象式觀念表示法、聯想記憶、人臉眼鏡的自動去除、Q-學習

## 二、研究成果

本年度此計畫共以五個子計畫完成各自負責的項目，下面就分別陳述各子計畫的研究成果：

### 子計畫一：動態 VR 運動復健輔助系統之行為轉換與即時模擬研究

#### 一、計畫概述

在本計畫研發的系統中，操控員

透過操控界面下達指令，以操控系統中的虛擬的運動訓練的輔助設備或載具。此操控命令將被輸入所模擬之設備或載具的精確物理模型中，以求得真實情況下系統的反應(包括姿態、速度、加速度、力道等)。這些反應將透過本子計畫的行為轉換與控制模組，而由六軸運動平台、力迴饋模組 (Force feedback) 及虛擬實境顯示器表現出來，以讓操控員獲得身歷其境的感受。這整個系統中，因為行為轉換模組的設計扮演實際環境裡物體運動狀況以及虛擬環境中操控員身體感受之間橋樑，如何讓操控員有身歷其境的感受，有賴於在動態模擬系統發展過程中，適當的人(操控員)機(動態模擬器)溝通界面及迴饋學習技術，以獲得最符合人類感覺的行為轉換模式。

在虛擬實境的運動訓練的輔助動態模擬系統中，當虛擬系統接收到控制命令，而設法產生應有的運動行為描述時，在虛擬實境的顯示以及在模擬運動平台的運動行為，則是要儘可能地模擬並使其有身歷其境的感受，以達到虛擬實境的目的。文獻上之動態模擬有固定平台及動作平台二類，動作平台大部分是在飛機模擬用，動作平台之動作方式若不符合真實情形，比不用還要糟糕。而為了達到此一目標，上述的運動行為描述必須恰當的轉換給虛擬實境運動平台的控制系統。對虛擬實境的顯示而言，由於在顯示部分其為一動畫系統；並在理想上，將盡可能的和真實系統貼近，而且所有之運動行為都是以顯示的方式來呈現，並且由於虛擬實境的顯示的產生是可以由系統再修正，因此在運

動行為的呈現上較容易。因此，本子計畫只要將相關之運動行為提供給顯示子系統即可。Stewart Platform 為一具有六自由度運動能力之機械平台，但其運動範圍受到其工作空間的限制，有些動作是無法達成的，因此為了在其有限空間下模擬出騎馬、飛機、輪船等交通工具時之運動感覺。所以一般是以沖淡演算法(Washout Algorithm)架構出對模擬器的力的感受。

本子計畫主要在於建立所欲模擬之場景及運動項目的精確物理模型，以便當接受子計畫三所傳送之使用者操控指令時，能精確獲得被模擬之運動項目在真實環境下的反應，而經由行為轉換與控制送至子計畫二，在虛擬實境中展現出來。因此本子計畫相當於整個動態虛擬實境運動復健輔助系統的輸入單元。在本研究中，由於真實系統並不是在旁邊實際動作，因此如何真實地精細架構真實系統之模式，以產生逼真的系統反應行為於虛擬實境的動態模擬器中，便是個非常重要的課題。同時由於希望能更精確的反應出行為來，傳統的模式建立可能無法達成如此精確的要求，因此本子計畫將研究如何地綜合利用物理運動定律，輸出、入行為，以及利用子計畫五之技術所擷取的人為修正訊息等，來精確地架構出真實系統模式。本子計畫的另一個研究主題為如何將真實系統之運動行為轉換成模擬器的控制命令，以及如何將無限空間中之運動感受，轉換成有限空間中運動的感受(如在加速度前進所感受之反作用等)。因此本子計畫扮演本計畫中真實世界與虛擬世界的橋樑，它將接受即時模擬單元來的行為狀態，再參考子計畫二所提供的六軸動作平台姿態訊息，以及子計畫二、五所感測的使用者運動狀況資訊後，對子計畫二、三、四發出高階的控制命令，以便使用者可以感受運動項目的姿態變化、力迴饋及場景更新。在模擬系統建立過程中，本子計畫也將接受經由子計畫五來的使用者感

受反應而調整其行為轉換及控制方式。

## 二、沖淡演算法級行為轉換演算法

本子計畫主要在於當虛擬系統接收到控制命令，設法產生應有的運動行為描述以及在模擬運動平台的運動行為，以達到虛擬實境的目的。目前文獻上對於如是的轉換是以 Washout 演算法或稱 Washout Filter 的方式來設計 [1-15]。Washout Filter 的輸入為由數學運動模型所求得的比例力與角速度。所謂的比例力(Specific Force)是指單位質量所受的非重力力。由向量的觀點來看的話，比例力即是慣性加速度與重力加速度之差，因此比例力可定義為  $\vec{f} = \vec{a} - \vec{g}$ 。此比例力的觀念在航太工程中被廣泛的使用，主要的應用是判斷飛行員在飛行過程中是否會遭遇過大的比例力而飛生不可預期的危險，以及飛行載具的機械結構是否足以承受。

在這裡，我們將完整介紹沖淡演算法的架構以及它在整個系統裡所扮演的角色。目前實現沖淡演算法的方法很多，在此我們是採用廣泛被使用的典型沖淡演算法 (University of Toronto Classic Washout Algorithm, UTCWA) [10-12]。Fig. 1 為沖淡演算法的架構，我們將以此架構將模擬器上之一參考點之運動感覺轉換為其在上平台對應點之運動。沖淡演算法其實是一種概念，它主要是利用人類對感覺具有門檻值的特性，適當地將某些頻率成分的線性運動或轉動運動加以濾除，並將持續的比例力感覺用緩慢轉動一傾斜角的方式來實現，這個傾斜角所產生的轉動被控制在人類對轉動感覺的門檻值以下，操作員將不會有明顯的感覺，以避免混淆原本的轉動運動的感受。

人類對轉動運動的感受主要是由來自半球管，而比例力則是來自內耳石。這裡人體運動感覺模型的輸入為我們前面所介紹的比例力與角速度，並且各自獨立的處理與運作，而得到新的人體真正感覺得到的力與轉動運動。人體

對頻率為 0.2 rad/sec~10 rad/sec 的角速度的感覺極為敏銳，當角速度或角加速度較為低頻或為一常數時，感覺較為遲鈍；而對頻率為 0.2 rad/sec~2 rad/sec 的比例力的感覺也極佳，而對持續的加速度感覺則趨於零。沖淡演算法正是利用人類此一特殊的感覺模型所架構出來的。根據上面所述，人體對比例力與角速度之感覺類似一帶通濾波器，但我們在實做上為了將較人體感覺更高頻的部份表現出來，所以我們以高通濾波器來實現。在平移運動(Translation Motion Channel)的部份，將駕駛員在模擬器的數學模型下，所推導出來的力經過運動學轉換成本身的受力，經過一個比例及極限處理器，或稱為 scale block。這個 scale block 的主要作用就跟人體運動感覺模型中的非線性衰減器一樣，其理由是人體對在門檻值以下之比例力感覺較為遲鈍而將之省略，如此可以避免平台之高頻震顫，同時亦可以調變值的大小，並限定此輸入的大小以免超出平台的動作極限，使其值更適合平台。 $\bar{f}_1$  和  $w_1$  為機身座標的作用力描述，而在 washout filter 中，大部分都會將  $\bar{f}_1$  和  $w_1$  轉為慣性座標上的描述(也就是做座標轉換乘以  $L_{1s}$  和  $T_s$ )。如是轉換會使在模擬運動時，較容易回歸原點。可是在慣性座標上，運動及轉動動作軸間二者間有 Coupling 的效應，而在早期的實驗研究中[12]，可以看出這些 Coupling 效應是較可忽略的，比起使用機身座標所產生原點的偏移。將  $\bar{f}_1$  利用轉換矩陣  $L_{1s}$  轉置為慣性座標系的座標向量後加上重力加速度  $\bar{g}^I$ ，最後將之通過一個高通濾波器。此濾波器主要的功用是將比例力中較低頻的部份加以濾除，只保留高頻中人體所以感受得到的部份，且能使平台在原點附近動作以免超過其工作空間，這也是我們使用沖淡演算法最主要的用意 - 確保平台在其原點動作而不至超過其工作空間，並能在有限空間內模擬出人體對動作的感受。接下

來將濾波器的輸出值  $\bar{a}_H$  經過兩次積分以得到我們所要的平台三個軸所對應的動作姿態的值，這個值就是模擬操縱者在模擬器中的受力情形所對應的位移運動。而轉動運動(Rotation Motion Channel)的動作跟平移運動是很類似的。這個角度是模擬操縱者在模擬器中所受到的轉動運動所對應的角度，但輸入平台的角度還必須加上如下所要說明的斜傾座標所產生的傾斜角。

而斜傾座標系(Tilt Coordinate Channel)的作用，主要是用來模擬低頻的受力情形。在模擬器最難實現的模擬狀況之一，就是一段長時間持續加速的過程，因為平台沒有足夠的空間來完成這個動作。但是對人體而言，我們能感受到的也只是一開始加速時身體受到慣性作用，及向後傾與結束加速時身體向前傾的兩種受力情形。而中間這段時間大多是沒有感覺的。但是我們一般可以利用視覺上的效果，來使人認為目前是正在動作的，這個動作就是斜傾座標系利用重力加速度在 X-Y 平面上之分量所製造出來的效果。這就是傾斜座標的作用，傾斜一個角度造成視覺上的假像，並利用重力加速度的分量來模擬低頻的比例力。利用重力加速度來產生傾斜角度  $\bar{b}_L = [q_x \ q_y \ q_z]^T$ ，其中

$$q_x = \sin^{-1}\left(\frac{f_{Ly}}{g}\right) \quad , \quad q_y = -\sin^{-1}\left(\frac{f_{Lx}}{g}\right) \quad ,$$

$$q_z = 0 \quad , \quad \text{而} \quad g \cdot \sin(q_x) = f_{Ly} \quad \text{和} \quad g \cdot \sin(-q_y) = f_{Lx} \quad .$$

再將斜傾座標所產生的  $\bar{b}_L$  與轉動運動所產生的  $\bar{b}_{SH}$  兩向量合起來前， $\bar{b}_L$  還需經過 Rate Limit Block，這個 Rate Limit 最主要的用意是將  $\bar{b}_L$  限制在人體對轉動速度感受不到的角度內，使人身體無法察覺斜傾座標所產生的轉動動作，避免影響轉動運動所產生的動作，而僅是視覺上的模擬。然而斜傾角的改變速率限制上必須要有限制，以免操作者感受到此一斜傾行為。在斜傾角速率限制上，一般為在

pitch 方向為 13deg/s，在 roll 方向為 2deg/s。

在文獻中[7-9]也有提出調適式的 Washout filter 如 Fig. 2 為一調適式之 Washout filter，其概念是根據線上取得的資訊去調整 Filter 中的增益。其主要是將平台的運動和被模擬之運動之間的差異及平台特性的考量來，架構出一性能指標。並經由一最佳化的運算，來找出增益調適的法則，由於指標函數及增益間之關係複雜及即時的需要。一般都是以最陡下降(steepest decent)法來產生。如欲追隨之運動已知，則也可利用最佳控制的概念，來直接尋找最佳之線性 filter [10,11]。此一調適演算法主要的功能，即是要減低錯誤動作方式及使平台儘量維持在原點。而在如 Fig. 2 的架構中，其斜傾處理的計算也有所改變。首先其所利用的信號本身就不一樣。在調適式架中由於是針對慣性座標軸，因此有許多的運動的斜傾反應，也進入角度運動環路中了。因此其在調適的考慮上也變得非常複雜[15]。因此在 [15]中，作者也是出以傳統 Washout filter 架構的調適 Filter。因此本計畫將嘗試在這些方面進行探討的研究，就我們所要研究的輔助系統來探討不同的 Washout 演算法在不同狀況下的效能評估。

在目前交大的 Washout Filter 的參數(針對汽車運動)的非線性衰減器的參數值列於下表一、二、三中。而必需說明的一點是，這些值並非是絕對的，因為每個人對運動的感受程度不同值就會不同，甚至當時的身體狀況、心理狀況與專心程度不同也會影響的這些值，所以表中所列的值僅是參考。我們將以這些參數來當一初始研究的標的，並進而了解在不同狀態下，washout 演算法的調變效果，及若以加強式學習調變參數時，其效能及可變化極限的研究。

而在目前研究中，washout 演算法

大部分都是以前飛機飛行為主要考慮對象。飛行動作平台主要功能是訓練駕駛員，因此針對 Washout 演算法的設計由於被模擬的飛機是不變的，因此可透過不斷的調整及改變使其效果變好，而且由於飛行模擬必須考慮極大的操作範圍，不過其範圍不會突然變動很大，有時候是以數個不同的 Washout 演算法來設計。在本計畫的研究中，由於是屬於地面上的運動，而且根據不同的需求及不同的狀態。因此如何使 Washout 演算法能在這些系統中仍適用，或必須做恰當的轉換是值得探討與學習的。同時由於地面運動體的運動反應一般較快而多變，這是因為運動體的質量小，因此當施於作用力時，其必然能產生較顯著的反應。因此在 Washout 演算法的設計上也變得較困難。由於運動轉換主要的著眼點是操作者感受的正確性，因此取得操作者的回饋來進行系統修正變得相當重要。因此在本子計畫的研究中，也想將操作者的回饋信息用來修正運動轉換的相關機制。

固定平台的虛擬實境主要是靠影像部分來達成，當運動為直線定速時，如是的模擬是相當不錯的，可是當運動路徑是多變的時候，在轉彎加速或上下起伏時，在固定平台上的感受就差很多。若使用動作平台時，由於虛擬系統能設法產生一些相對應的動作反應，使操作者能感受到類似的感受力，此時在輔以影像的虛擬，確實能使虛擬實境達到更逼真的效果。可是當動作平台產生誤動作時，整個系統的感受將是很不好的。因此如何去設計好的動作，便是虛擬實境系統中不可或缺。此一部份的設計一般統稱為 motion cue。然而針對 motion cue 的設計，大致可分為兩類，其一為事先已知運動內容的，例如動態電影院或虛擬歷險等，其所運動的路徑及方式都是事先已經設定好了。因此在實務上大多以經驗法則加上現場測試調整來達成。另一類則是無法事先知道運動的內

容，例如相關模擬操控系統，其運動內容是由現場的命令來驅動的。因此無法以如上述的方式來設計 motion cue。在飛機模擬系統中，大部分則是以前面所討論到的 washout filter 來執行。在我們的研究中，以上兩種行為轉換的 motion cue 我們都將加以探討。在前者由於場景的設計及規劃大致其運動範圍是固定的，而許多反應可能是來自於場景而非運動本身。因此我們將以運動動態電影的分析來架構 motion cue 的經驗法則。

### 三、行為轉換演算法

在我們的國科會研究中，我們取得美新科技一組影片及對應的平台操控命令列，目前我們在探討以資料庫的方式來建立的 motion cue 的對應法則。有關 motion cue 方面，我們也分析了一段雲霄飛車影片，企圖來了解一般在 motion cue 方面的設計概念。所得到的心得如下：軸一主要操控上下的運動，而腳長縮短表示感受向上的力(加速度)，例如轉為下坡運動的起始瞬間。而腳長伸長表示感受向下的力(加速度)，可分為兩種狀況，一是運動轉為上坡的瞬間，其二是一個下坡路段的盡頭，即轉為平地。軸二主要操控左右的運動，而腳長縮短表示向左的力，例如右彎、右側的碰撞或路面右側高起。反之腳長伸長表示向右的力，例如左彎、左側的碰撞或路面左側高起。軸三主要操控前後的運動，而腳長縮短表示受到向後的力，例如加速。而腳長伸長表示受到向前的力，例如減速或是與前方物體碰撞。軸四主要操控以平行車身為軸做旋轉的動作，而腳長伸長表示向左旋轉，例如路面右側突起或是由左側突起路面轉為平地，也可用來輔助左彎。反之，腳長縮短表示向右旋轉，例如路面左側突起或由右側突起路面轉為平地，也可輔助右彎。軸五主要操控以車身的鉛直線為軸的旋轉運動，而腳長伸

長代表逆時針旋轉，例如在左彎時。腳長縮短代表順時針旋轉，例如右彎。軸六主要操控以左右方向為軸的旋轉運動，而腳長縮短代表往下旋轉，例如路面轉為下坡或上坡結束。腳長伸長代表向上旋轉，例如轉為上坡或下坡結束。另外直接以運動的觀點說明腳長的變化；加速為軸三縮短，軸六伸長。減速為軸三伸長，軸六縮短。上坡為軸一伸長，軸六伸長。下坡為軸一縮短，軸六縮短。右彎為軸二縮短，軸五縮短，若是傾斜路面軸四縮短。左彎為軸二伸長，軸五伸長，若是傾斜路面軸四伸長。最後，我們觀察在這段影片中是否有偷偷把腳長拉回原點的動作。我並沒有發現有偷腳長的現象，而是設計者以不超過平台運動範圍內任意設計，因此我們估計並不是每個類似動作發生時乘坐在平台上的人員的感受強度都會一樣。可能發生在影片中這段的加速度比較大但是感受卻比加速度比較小時來的強烈。也就是針對各種模擬主體的運動，我們將建立其相對應的平台運動方式。

### 四、函數型類神經網路 (FFANN)

可是這樣的資料庫再使用上可能會很難，因為 generalization 的能力是相當缺乏的。而且此資料庫的型態是以函數為本質而不是點。在我們的研究中我們將研究利用 Function Artificial Neural Network(FANN) [16-19]來做 Motion cue 資料的建立。而在第一年的研究中，由於其運動體就是操作者，所以其所需要的動作平台的模擬反應較小，而且是可預測的。因此在研究上我們將考慮在我們先前研究中運動轉換資料庫的設計上，運動轉換資料庫主要的概念是針對已知的運動行程(如動態電影院)，直接設計平台動作的方式，由於此部分有些專家的經驗，因此針對如是資料庫，我們可以累積經驗使之成為與被模擬機構及平台機構無關的運動轉換法

則，而為了能達到知識粹取的過程，利用類神經方式的建模是值得探討的，除了其能利用 recognition without definition 的特質，其將知識參數化，也可提供未來進一步學習修正的依據。

而在 motion cue 的記錄方面，我們考慮使用函數型類神經網路來記錄 motion cue。在傳統的類神經網路，通常以點對點的方式在時域當中進行系統的建構。而所建構的網路以適應性網路進行網路鍵結值的學習。近來，一種函數型類神經網路架構已發表出來，函數型網路架構使用數學的方式進行函數對函數的輸出輸入對訓練網路之鍵結值。因為函數型網路使用平行處理之數學計算，可以快速估計出約略所需的輸出鍵結值。由於它優異的函數近似能力，使得我們可以將其運用在系統之頻域響應當中。

FANN 在 1997 年的時候由 Newcomb 及 de Figueiredo 所發表出來的一種類神經網路架構。整個的神經網路架構如 Fig. 3。其突破傳統神經網路以點對點的輸出輸入對的方式訓練神經網路，而改用 function 取代原本以 point 為主要架構。輸入、輸出、鍵節值皆以 function 來表示。而 FANN 在鍵結值修正學習的機制裡為順向傳遞。由圖可見  $u_1(\cdot) \cdots u_n(\cdot)$  為 functional input，若  $u(t) = \{u_1(\cdot) \cdots u_n(\cdot)\}$ ，則  $n$  為它的取樣個數。輸入層與第一層隱藏層所連結的鍵結值為 pattern 的取樣值，進入第一層隱藏層之後，經過 Volterra series 的 model 所產生的值與鍵結函數  $c_1(t) \cdots c_n(t)$  做乘加，所得出結果  $y_1(t) \cdots y_n(t)$ 。其他的應用，還有參考資料[16] - 含未知非線性系統之類神經網路控制，所發展新架構的 FCPBUM，在傳統點對點的類神經網路，為了達到良好的函數近似結果及快速收斂的目的，引用我們所發展的 CPBUM（以契比雪夫多項式為基底的統一模型的類神經網路），在函數的學習上運用

FANN，在學習架構上使用 CPBUM，而達到更多的優點，包含最佳化的近似，及良好的內差能力之外，根據相似度及靈敏度加入了知識拓展的優點。得以克服目前點對點神經網路在未知線性系統軌跡追蹤學習的缺點。另外在 [20]中，作者所提出的 D-FANN 架構。在文中發表一新式函數型類神經架構，唯一非線性適應性時間序列預知器，以 discrete cosine transform basis function 為基底而產生的 filter bank 來做鍵結值，主要用來 model 一些非線性的動態訊號，例如：人類的與音訊號。

而在我們的未來工作之中，可望結而各種演算法，解決如輸入必須為能量有限的輸入（即為非週期且遞減的輸入曲線）的缺點，例如 sin 跟 cos 訊號的學習。藉由前置的離散訊號處理以頻率域替代傳統的時間域學習，並期望在噪音的環境之下由在頻率域作業的優點，而產生抑噪的功能；第二步，並將頻率分解，由 FANN 的近似能力來學習，進而追蹤期望訊號；第三步輸出並轉換為時間域。這個架構可結合訊號處理的優點（高速、抑噪），而達到我們想要的結果。目前 FANN 正處於萌芽時期，其中尚有以上一些缺點必須解決，對於週期性的輸入便無法辨識，還有當期望輸出上下限落差大，FANN 也無法學習，及鍵結值的學習速度也在改進的範圍之中。希望藉由我們提出的架構來改善以上所提之缺點，並提升神經網路的效能。FANN 以函數為輸出及輸入的類神經網路。而為了能進一步粹取出轉換法則，我們也將使用 Function Fuzzy Network (FFN) 的方式來設計。FFN 的架構及其學習效果等，都是本研究所要探討的。

## 五、訓練者修正的加強式學習

在本子計畫的研究中，我們也將從事有關訓練者修正的加強式學習，主要的兩個方向是在建模方面，另一則是



motion cue 的部分，主要的觀念乃是在虛擬實境上，主要是要人的感受。因此當操作者對於系統有認為不好的地方，我們希望能將這一類的感受用於修正系統，對建模部分而言，主要是對反應的不真實性，加以修正，若是能建立這樣的系統，則針對建模部分就可以只要建一個簡單大致的模式，而後透過加強式學習來使得模式反應更逼真，如是未來對不同的系統開發可以不需要每一次都要找一個所要開發系統的建模專家，而只要有一對該系統反應狀況較熟悉的人就可以了。同樣的，在 motion cue 設計的部分，也是如此，只要一感受靈敏的人，針對系統反應的評估，即可設計出較精準而感受逼真的動態模擬系統。

在 motion cue 的部分，我們也考慮到修正的問題。畢竟虛擬實境最重要的還是人的感受。而一般 washout 演算法或 motion cue 設計是去經由設計者調整部分參數來改善。而在調適式的 washout 演算法中則是以指標函數的設計來調整 Filer 的增益值，而我們考慮的是以類似在加強式學習建模的方式，來看是否能利用加強式學習[21-23]的方式來達到調適的目的。而利用加強式學習一個重要的步驟是將系統參數化，然後利用參數改變所產生效果的評估來作為加強式學習參數改變的根據。這一部份我們的研究也是分兩方面來探討。針對 motion cue 資料庫的部分，若是以 FNN 架構資料庫的方式能有不錯的結果的話，系統參數化部分就沒有問題了，此部分的研究不僅可以對我們計畫所要探討的問題加以解決也可應用於動態電影院效果上。而針對 washout 演算法部分，我們當然可以直接套用原調適式的演算法的架構，也就是將原來指標函數的部分，改用加強式學習中的評估網路來達到所需要的效果。若效果的改善若有限時，我們目前也考慮將整個 washout 演算法，利用無模式建模的方式來加以建模。此部分將

會和 motion cue 資料庫的部分極為類似。所以在研究上其研究的價值是相當值得投入的。因為如果建模部分如果成功的話，由於我們將使用 TSK 模糊法則方式來建模。屆時，兩種系統的合併及效能比較的因素的分析等研究將可進行。同時，由於其是無需模式方式的建模，其在多變數的 coupling 效應也較能處理。

在模擬建模方面我們也將著手加強是學習的方式來做操作者回饋系統修正的研究。其主要的觀念在於我們的模式為 TSK 模糊網路，因此其已經參數化了。所以將我們對在運動轉換所提到的語言化加強式模式修正的概念應用於模糊模式的建模式。此系統的開發可以使得未來在改變模擬樑時，不需大費周章來精準建模，而只需建立一大致模式然後經由修正的方式來達到較精準的模式。同時在前面所提到的外差防制的部分在使用模糊網路建模時更是需要考慮的一部份。

在加強式的研究中，初步的架構如 Fig. 4 上，訓練者在運動平台上，針對平台的反應來修正而修正分為部分，其一為 Model 部分，而另一為 motion cue 部分。在做法上，我們要研究訓練者的評估在加強式學習中的效能。而系統對訓練者其評估的不確定性，也是研究所需要析的。這是因為對同樣的狀況，在不同的時候，由於人類感受評估的不精確性，其可能會有不同的評估值。而同時，針對訓練者評估息的定義，也不必然和事先設定的概念一致。因此如何的調適評估信息的歸屬函數，及其在加強式學習中的學習法則，都需要深入的探討與研究。而目前我們加強式學習的架構是以[24]中的系統為基礎，並考慮用 SONFIN[25]的方式來使得每一網路的法則數不需要那麼多，可是由於 SONFIN 的學習在使用 BP 下較慢，而使用 LS 方法其所欲之輸出不知道，這些在研究中我們都將加以探討。最後，由於如上二種加強式學習。在訓練者的

感受上似乎有不可分的現象。目前的概念是先分別探討與學習，以便個別系統能正確做加強式學習，若在分析中能正確分割兩系統效應。則可據以做加強式信號回饋的依據，若不能分割，則可考慮將二系統直接合併。由於加強式學習本來就是可用於較複雜，而不容易數學化的系統而當系統參數化後，其利用 trial-and-error 的特質，也是可以架構出加強式學習系統的。

由於運動轉換主要的著眼點是操作者感受的正確性，因此取得操作者的回饋來進行系統修正變得相當重要，因此在本子計劃的研究中也想將操作者的回饋信息用來修正運動轉換的相關機制。而這樣的系統面臨幾個問題，第一個問題為回饋信息認定的任意性及不精準性，因此如何有效而強健的轉換操作者回饋的信息是需要設計與探討的。第二個則為將運動轉換機制的參數化，以使信息類的加強式學習有操作的標的。而我們在先前的研究中也針對在類神經網路及模糊系統都有探討且有一些成果。因此我們將運動轉換機制(也就是 Washout 演算法及運動轉換資料庫)利用類神經網路或模糊網路加以參數化或部分參數化，進而利用加強式學習來做修正。

再者，當以類神經網路或模糊網路來建立 Washout 演算法及運動轉換資料庫時，我們也必須克服這些網路在使用時，其外插效果的不可預測性。一般系統其外插的可接受，仍是由於其系統是由物理定律或經驗法則所建立的這和類神經網路或模糊網路是不同的，因此我們的研究中也將對此一問題提出解決之道；也就在將轉換機制參數化的同時也建立操作範圍的確立方式，而後將物理定律或經驗法則加於操作範圍外。而在我們的先前研究中，我們也提出混合式建模的概念，此方法則是將知識納入原網路的學習架構中，其效果相當顯著，而在這裡我們所要設計的則完全不同，由於如是的物理定理或經驗法

則將有可能減低原訓練後網路的精準度，因此如何有效而精準的使用這些知識則是我們要研究的課題。

同時，Washout 演算法及運動轉換資料庫為兩種不同的運動轉換處理方式，因此在未來的研究中，我們也將探討這兩者特質及其是否可合併的探討研究，具體的說其一的研究方式是將資料庫中的轉換做去 Washout 的計算，如此資料庫或所謂的轉換法則就可和 Washout 合併動作，另一種作法則是將資料庫法則化及通用化，並將之納入 Washout 演算法中。不過這些方法都有待設計與探討。

在行為的轉換方面，目前文獻上所提到的是利用 washout filter 的方式來處理的。如是的方式是可以將在無限空間中的運動設法在有限空間中呈現，可是在動態模擬器中許多的運動效果並非只是簡單的物理運動定律所能描述的。較多而必要的是若干的特效運動感受，而這些感受則是要利用所謂 motion cue 來設計。而傳統的動態模擬器，由於其設計上也不是利用真實的運動物體的模擬建構來產生虛擬之運動感受，而是去設計不同的 motion cue 來搭配。因此本計劃的研究中即去了解 motion cue 及其效果。而研究主要是提出以訓練的方式來達到對 motion cue 設計的探討。目前主要的構想是利用使用者的回饋信息來修正 motion cue 的內容。而修正的標的則可分為參數修正及段落重分。而由於回饋信息是由使用者所給的，目前探討的學習主要是針對信息的認定，目前簡單作法是利用 reinforcement learning 修正。而信息的內容則是使用者對動態模擬器的動作行為加以評分，而由於必須在 try-and-error 的情形下學習，模擬器動作是由若干 motion cue 所組成而後重覆的操作，因此使用者的評分行為和 motion cue 的修正能產生有義意的比對。而目前我們只考慮到參數修正部分，也就是針對每一段 motion cue，我們以 TSK Fuzzy 模

式表達，因此學習的行為就化約為 membership function 及後件部參數的修正，在這一方面傳統的倒傳學習法被用來修正參數(由於沒有確實想要的輸出值，最小平方差(LS)修正法無法使用)。而在內部加強式信號的產生部分，目前我們是以傳統的 Temporal Difference (TD)預估的方式來進行。由於最近的研究大都使用遺傳演算法，我們也會考慮使用，在未來的研究中我們將更進一步的探討分析其結果，同時也將納入類似 washout filter 的概念以及段落分割之學習方面。

### 六、模糊控制器穩定設計與探討

在我們的前三年的研究中，我們提出了階層式控制的概念，在這些研究中我們探討了利用模糊預估器來做預估控制的階層式控制系統，而在此一新提計畫中，我們打算也將階層式控制用於在運動轉換的動作平台控制上使用，由於一般動作平台的控制，一般是以位置為主，而在我們交大目前已可做速度控制或加速度控制等的平台控制，可是在行為要求上，一般這三種控制都有可能在運動轉換中被要求實現，而且可能同時。因此如何達成這三種要求的控制，由於如是狀態為要求多於可控變數，尋求最佳化的控制便是一可行的方案。所以在本子畫中，我們將延續我們先前的研究，利用階層式控制在運動轉換上的探討，而由於此階層式處理的方式較適用於有運動轉換資料庫的情形，

### 七、即時系統之建構

本計畫所探討的是一實際操作的系統，因此即時性的操作是必要的，為了能有較佳的即時操作，我們提出利用外部 clock 來達到即時的概念，在傳統的 Windows 中由於其插斷其設計不佳使得其不能有即時的操作，而在較

新的 NT 中其已能有好的處理能力，可是由於 HAL 及驅動程式的難撰寫，由其本身系統中去讀取很難做到。而在我們初步的實驗中，利用外部 clock 輔以 Event 方式的插斷處理，在其他計算程式及硬體操作干擾下，其即時精確度仍然可達 360ms，如下表所示。如是精確度是符合我們需要的。因此我們也納入此一方式來達到在 Windows 下的即時操控的目的。

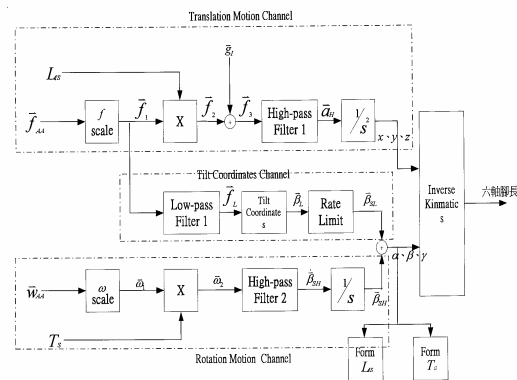


Fig. 1 沖淡演算法架構

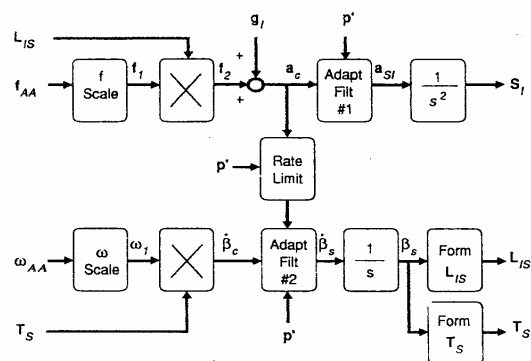


Fig. 2

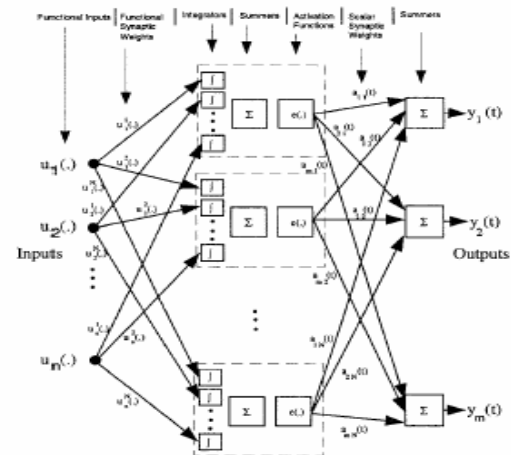


Fig. 3 MIMO FANN 基本架構

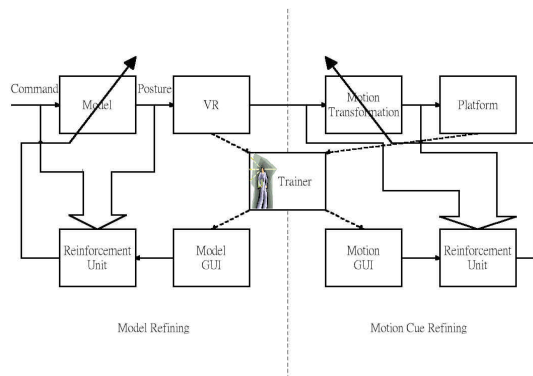


Fig. 4 加強式學習系統架構

表一 平移運動之非線性衰減器之參數

平移運動之非線性衰減器之參數			
	X 軸	Y 軸	Z 軸
Threshold Value $d_T$ ( $m/sec^2$ )	0.17	0.17	0.25
Slope $k_T$	0.5	0.5	0.5

表二 轉動運動之非線性衰減器之參數

轉動運動之非線性衰減器之參數			
	Roll	Pitch	Yaw
Threshold Value $d_R$ ( $deg/sec$ )	3.0	3.6	3.6
Slope $k_R$	0.5	0.5	0.5

表三 濾波器之參數

Transfer function of Filters	$T(z) = \frac{b_0 + b_1z^{-1} + b_2z^{-2}}{1 + a_1z^{-1} + a_2z^{-2}}$		
	High-Pass Filter 1	High-Pass Filter 2	Low-Pass Filter 1
$b_0$	0.0378	0.9565	0.0015
$b_1$	0	-1.9131	0.0030
$b_2$	-0.0378	0.9565	0.0015
$a_1$	-1.9187	-1.9112	-1.8890
$a_2$	0.9244	0.9150	0.8949

### 子計畫二：動態 VR 運動復健輔助系統之智慧型感測與控制

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。在前二年本子計畫的重點之一擬開發一智慧型控制系統於電動動作平台的姿態控制設計，以為整個動態運動訓練輔助系統的根基平台。第二個重點在為了提高系統的穩定度與安全性，系統對外界訊息的反應，必須要更為迅速，以確保在系統出現問題時能立及做出適當的處理，而構成即時動態運動訓練系統的整合機構。第三個研究主題是以 LART 實驗單板的 Intel StrongARM SA-1100 處理器之 Linux 嵌入式系統來取代舊有的 IPC 控制方式。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。第三年本子計畫的第一個重點擬開發一動態模擬駕駛系統以結合動作平台的姿態控制，以為整個動態運動訓練輔助系統的虛擬互動場景。本子計畫的第二個重點在為了提高系統的穩定度與安全性，系統對外界訊息的反應，必須要更為迅速，以確保在系統出現問題時能立及做出適當的處理，而以同時具有 ARM 和 DSP 微處理器之 OMAP 之嵌入式系統，補足以往嵌入式系統運算能力之不足，以達到整體系統的即時控制效果。

針對本子計畫完成的五大研究主題，電動動作平台的控制系統、平台即時作業系統開發、嵌入式即時硬體單板之設計與發展、動態模擬駕駛平台系統、OMAP 嵌入式即時系統之發展等部分。以下就分別針對此幾個方向來加以說明。

#### A. 電動動作平台的控制

近二十年來電氣伺服逐步取代傳統油壓伺服在工業界的應用，因為電氣伺服可靠且容易維護，再加上精度高、成本低等優勢，表四就油壓與電氣作動之優缺點作一簡單的比較。

基於本實驗室過去開發油壓運動平台的經驗，本研究已成功完成電動運動平台的機構設計、加工及驅動系統研究，由於電動運動平台之動態模型十分

複雜度，所以不易使用傳統的控制理論來達成控制的目的，為解決此問題，本研究提出一架構簡單、具快速學習且不需要受控系統動態模型的適應性小腦模型控制器來解決此控制問題，經由實驗結果發現本研究所提出之適應性小腦模型控制器可以有效地準確控制電動運動平台之腳長長度，其方塊圖如 Fig. 5 所示與設計步驟與想法如下簡單描述：

步驟一：

定義追蹤誤差  $e = q_d - q$ ，其中  $q$  代表伺服馬達實際的轉子位置， $q_d$  代表參考模式命令訊號，並定義一滑動表面  $s = \dot{e} + k_1 e + k_2 \int e$ 。

步驟二：

利用一小腦模型控制類神經網路線上學習近似一理想控制器。

步驟三：

依據最佳近似定理我們可得知存在一近似誤差，為了克服此誤差往往使用一切換控制器補償之，但卻因而造成控制力有嚴重的顫抖現象。

步驟四：

使用一個極限值估測器來監測不確定量邊界值，在此定義不確定量邊界值估測誤差為  $\tilde{E}(t) = E - \hat{E}(t)$ 。

步驟五：

適應性小腦模型控制系統設計成

$$u(t) = \hat{u}_{CMAC} + u_{cp}$$

其中  $\hat{u}_{CMAC}$  為主要追蹤控制器用來近似理想控制器；而補償控制器  $u_{cp}$  則被設計來消除理想控制器與小腦模型控制器之間的誤差。

步驟六：

依據李雅普諾夫穩定法則推論而得之線上學習法則

$$\dot{\hat{a}} = h_2 s(t) \hat{F}$$

$$u_{cp} = \hat{E}(t) \operatorname{sgn}(s(t))$$

$$\dot{\hat{E}} = h_1 |s(t)|$$

其中  $h_1$  與  $h_2$  是學習速率。

步驟七：

為了驗證所設計之控制器對於機械參數變化與外來的負載干擾的性能，我們利用方波位置命令來驗證控制器追隨控制角度變化的軌跡來觀測平台的動作是否正確，以驗證我們所發展式的小腦模型控制器設計是否正確，其實驗結果如 Fig. 6 所示。

表四 油壓式/電動式平台控制系統之比較

油壓式平台		電動式平台	
優點:	缺點:	優點:	缺點:
<ul style="list-style-type: none"> <li>•可產生較高之加速度</li> <li>•作動元件尺寸較小</li> <li>•耐用的作動元件</li> <li>•非常高的承載能力</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•有漏油顧慮</li> <li>•效率低造成高性能對環境要求較高</li> <li>•較多的突發狀況-如閥軸卡死</li> <li>•安裝較麻煩需另加油壓單元</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•乾淨</li> <li>•不需另加其它附屬裝備</li> <li>•效率高</li> <li>•維護容易</li> <li>•安裝容易</li> <li>•不用複雜的作動閥</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•加速性較差</li> <li>•作動缸結構複雜</li> <li>•安全裝置十分複雜</li> <li>•複雜的電子設計</li> <li>•系統運作動力需求變化大</li> </ul>

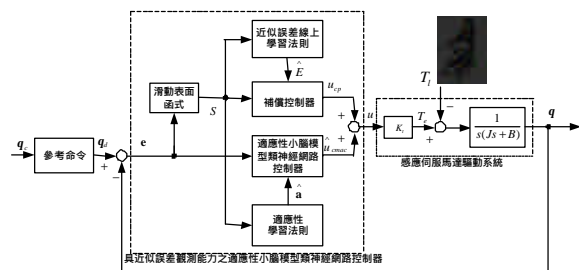


Fig. 5 適應性小腦模型類神經網路控制系統

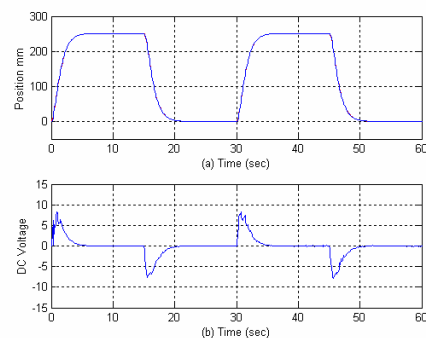


Fig. 6 適應性小腦模型類神經網路控制系統實驗響應圖

## B. 平台即時作業系統

虛擬實境的應用非常的廣泛,例如進行飛行器的模擬,汽車的駕駛訓練,或是一些精密控制的模擬。在一個複雜的虛擬實境模擬系統中,時常需要處理大量的外界訊息,當系統呈現負載的情況時,其中有些重要的訊息必須是不能忽略或是要優先處理的,以保持模擬的精確性,其次,和實際的器具一樣,系統的穩定性、可靠性及安全性都是我們所考量的,為了提高系統的穩定度與安全性,系統對外界訊息的反應,必須要更為迅速,以確保在系統出現問題時,能立及做出適當的處理。故我們希望能提高系統中的即時性作業能力,因此,也確立了即時系統的必要性。以下是我們今年針對虛擬實境控制平台,進行即時性分析與設計的成果。

我們所使用的即時作業系統是建構在 Linux 作業系統之上的微核心模組 Real-Time Application Interface(RTAI),這個微核心負責處理所有與硬體間的動作,針對需滿足即時性的工作,會在這個即時核心的工作空間中處理。其特性包括:

- 即時工作的排程器,可進行不同的即時性排程策略。
- 解析度更高的計時器,可供精密度更高的控制。
- 完全強取式(Preemptive)模式,使得優先權高的工作先處理。
- 豐富的程序間通訊(IPC)機制,如: FIFOs, shared memory, mailboxes。
- 維持 Linux 原有豐富資源,不需重新開發應用程式與裝置驅動程式。

首先,是有關即時控制六軸運動平台的分析,我們進行了即時 (Actuation channel 部份)與非即時 (Monitor channel 部份)工作的分工,細部分工如 Fig. 7 UML 使用者關係圖所示。根據我們模擬系統的流程,大至上可分成五個狀態,分別是 initial, ready, running, shutdown, emergency。以下是五種狀態的在即時控制系統裡狀態轉換關係

圖,如 Fig. 8 所示。

為了達到即時運算、處理的能力,我們將平台的逆向運動學及位置控制部份,放入即時系統核心中工作,另外,分別以週期性與偶發性工作來分派低階 D/A 與 A/D 硬體工作,除此之外,透過即時系統提供的程序間通訊機制,讓使用者空間的監測程式與在即時核心中運作的工作,進行資料通訊。Fig. 9 是虛擬平台即時控制系統的實現架構圖。

為了確保有些關鍵性工作能夠被優先執行,如 Shutdown 的工作,因此,我們進行了工作優先順序的指派動作,表五是有關工作優先權的分配表,其中`1`代表最高,`10`代表最低。

Fig. 10 為透過網路與 FlightGear 虛擬場景結合,實際截取即時控制系統之活動資料的展示,其中的  $Tick\_Time = 100ms$ , 代表的是每隔  $100ms$  即會檢驗是否有其它外部中斷發生,並迅速地做出反應,或著是否有其它週期性工作,即將要執行,則會迅速進行排程動作,以喚醒工作執行,因此,不僅提高了控制系統的反應能力,也增加了週期性工作排程的精度。而圖中  $Period_{D/A} = 100ms$ , 也就是以頻率為  $10kHz$  的速度,進行精確的平台控制。相較於一般的作業系統,就 Linux 而言,其  $Tick$  的時間,標準為  $1ms$ , 此段時間則視系統受負載的程度而有所變動( $1ms \sim 100ms$ ), 故其延遲(Latency)時間,為  $1ms \sim 100ms$ , 因此它所能提供的控制環境,是屬於反應性較差,精確度較低的環境,不適合用來進行精密的虛擬實境模擬。而在本年度成果中,我們為了將來進行一些高精度的控制,如:電動平台的控制,而成功地增加了即時控制系統,且大大提高模擬的精準能力。

表五 Task 之優先順序表

Task	Priority	Comment
Shutdown platform	1	Command-driven
Inverse Kinematics	2	FIFO-driven
Rise up platform	3	Command-driven
Analog Output(D/A)	4	Periodic
Position Control	5	FIFO-driven
Analog Input(A/D)	9	Command-driven
Update	10	Command-driven

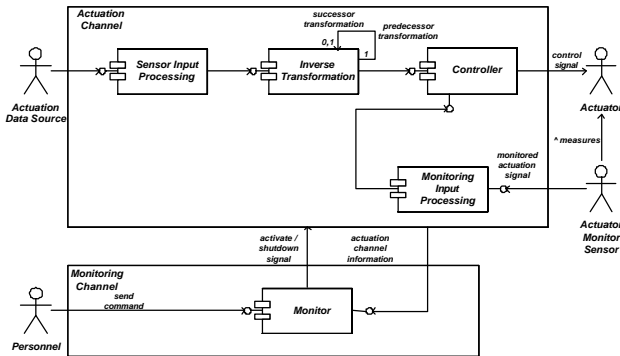


Fig. 7 UML 使用者關係圖

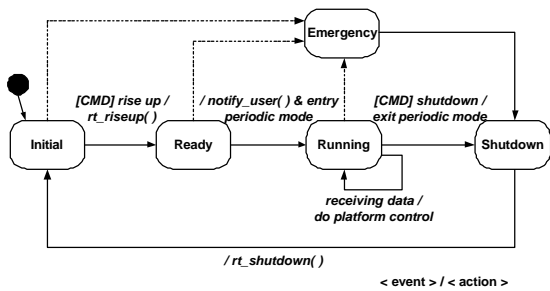


Fig. 8 即時控制系統狀態圖

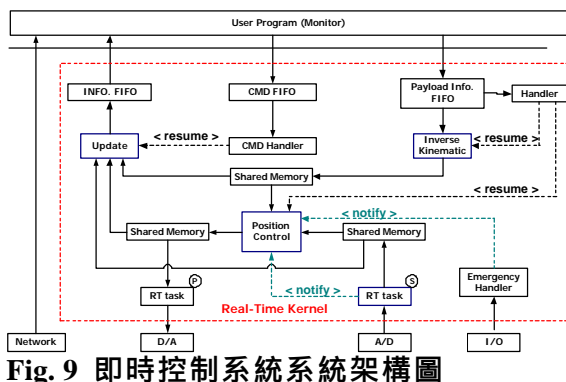


Fig. 9 即時控制系統系統架構圖

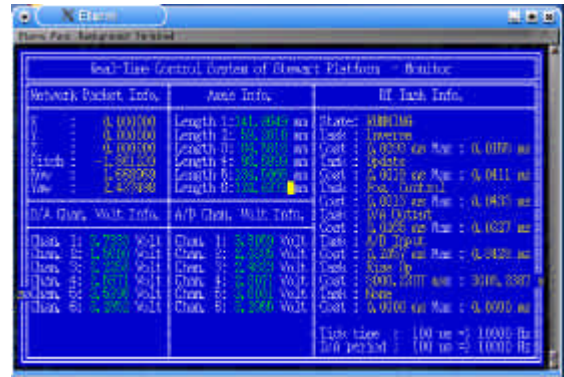


Fig. 10 實驗圖

### C. 嵌入式即時硬體單板之設計

在本計劃中由於在資料傳輸上受限於 RS-232 串列傳輸，同時以 LART 實驗單板的 Intel StrongARM SA-1100 處理器之 Linux 嵌入式系統來取代舊有的 IPC 控制方式，這不僅使控制系統體積大幅減少，也使我們能在 Linux 作業系統上發展新的控制程式，並且可以達到多平台及同步接收資料。而嵌入式系統週邊亦支援 TCP/IP 網路。然而在 LART 實驗單板上並沒有 CAN bus 的控制裝置與 driver 可提供虛擬實境場景的六軸腳長 data 與 LART 實驗單板作為控制資料的連結與傳輸，所以必須另外增加 LART 實驗單的 interface 與 CAN bus 裝置，並且須要建立在 LART 實驗單板上的 CAN bus driver。然而在 LART 實驗單板上亦是沒有 A/D 及 D/A 控制器，所以也必須增加 LART 實驗單的 interface 與 A/D 及 D/A 的控制裝置，並且建立 LART 實驗單板上的 A/D 及 D/A 驅動程式。

在今年進度報告中，我們完成以下的工作：

- A/D, D/A 裝置的製作
- LART 實驗單與 A/D 及 D/A 間的 interface 電路設計
- CAN bus 裝置的製作
- LART 實驗單與 CAN bus 間的 interface 電路設計

詳細細節請見後面之敘述

在嵌入式硬體部分，我們所採用的是 LART 實驗單板，選擇這塊板子的原

因是因為它選擇這塊板子的原因是因為它有豐富的序列傳輸介面，包括 IrDA RS-232, 也有內建 10Base-T 網路，並且支援包括 Linux 嵌入式作業系統，可以發展的嵌入式種類及相關應用程式可謂相當豐富。此塊單板實體圖片如 Fig. 11 所示。

除此之外，所使用的微處理器為 SA-1100，而在 LART 的計畫中亦是使用 Strong ARM 微處理器系列。所謂 LART 計畫是由國外的 Delft University of Technology 所主持的研究計畫，主要研究在消耗不到一瓦特功率而可以達到 250MIPS 指令的 Linux 嵌入式系統。它有一套較為完整的 Linux 嵌入式系統文件及 mailing list，更難得的是它亦將所有的軟硬體公開。因此在未來發展 StrongARM SA-1100 嵌入式系統時可以有較為完整的相關文件可以參考。

在 LART 實驗單板上發展嵌入式系統來控制虛擬實境動態模擬器，並沒有 CAN-Bus 的裝置與驅動程式，因此我們必需要發展 CAN-Bus 的裝置與驅動程式，來作為與 LART 實驗單板的傳輸介面。如此才可以與 LART 實驗單板溝通，接收由虛擬實境場景的六軸腳長 data，然後將腳長轉電壓，控制動態模擬器。其系統方塊圖如 Fig. 12 所示。

在動態模擬器六軸姿態的傳遞方式上，我們將發展 CAN-Bus 通訊協定，因此必須在嵌入式系統上發展 CAN-Bus 驅動程式，A/D 及 D/A 驅動程式；除此之外，還需發展 LART 實驗單板之 CAN-Bus 程式，如此才能以 CAN-Bus 傳遞六軸控制姿態至動態模擬器驅動控制盒上。Fig. 13 為 CAN bus 實際之控制電路板。

LART 實驗單板提供了 GPIO, data bus 與 address bus pin 可作為其他額外的控制裝置使用，同時我們利用 address, data bus 與 read/write 的控制信號 pin, 與 ALTERA 公司所提出的 FPGA 晶片，作為 LART 實驗單板與 CAN bus 裝置間的控制。Fig. 14 為 LART 實驗單

板與 CAN bus 間的 interface 電路方塊圖。



Fig. 11 單板實體圖片

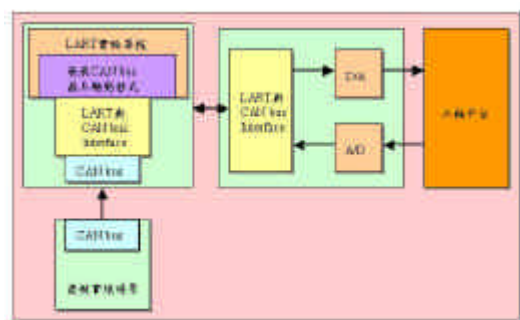


Fig. 12 控制動態模擬器系統方塊圖



Fig. 13 CAN bus 實際之控制電路板

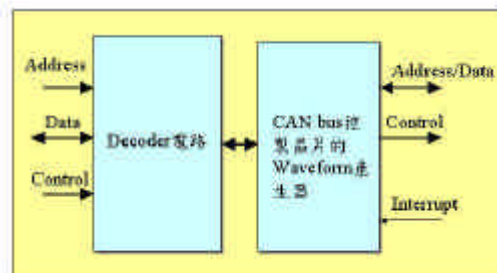


Fig. 14 LART 實驗單板與 CAN bus 之間的電路方塊圖



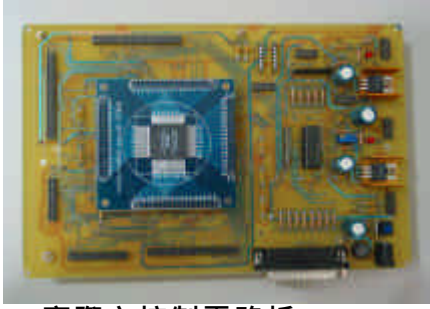


Fig. 15 實際之控制電路板

#### D. 動態模擬駕駛平台

在動態模擬駕駛平台系統的發展上主要探討兩部分，為車輛動態的研究以及虛擬實境場景的建立，以達到更擬真的感覺。

在汽車的動態模型之中，探討了一些有關於汽車轉向、引擎加速及懸吊系統的問題。

在汽車的轉向中，是由前輪轉一角度，後輪跟著一起前進的，而場景程式裡，雖可以得到前輪轉的角度，但是還需要車體真正轉的角度，以及前進的距離。要求得這兩項重要的參數，以車子轉彎的瞬間，移動的軌跡中，分析其幾何的變化來求得。假設汽車轉彎時，是以內側後輪為支點而旋轉，而在前輪順著它自己轉的角度前進的時候，後輪包含支點的輪子也會跟著被拖行一段距離，而後輪所前進的距離及方向，採用近似的方法，假設支點在移動的瞬間，是以筆直朝原來的方向移動一段距離。

用這樣的關係和已知的條件：以瞬時速度外側車輪移動距離為  $v$ ，車輪轉度，加上前後輪距  $l$ ，輪軸長  $w$ 。求出車體真正轉的角度，和支點輪移動的距離  $z$ 。

Fig. 16 為車子右轉的假設圖，以及經過簡化後我們需要的資訊如，接著做輔助線以求得  $z$ ，如 Fig. 17 所示。以四邊形上下兩邊相等，可求得。

$$l \sin \mathbf{b} + w = w \cos \mathbf{b} + v \sin \mathbf{a}$$

$$\sqrt{l^2 + w^2} (\sin \mathbf{g} \sin \mathbf{b} - \cos \mathbf{g} \cos \mathbf{b}) = v \sin \mathbf{a} - w$$

$$\cos(\mathbf{b} + \mathbf{g}) = \frac{w - v \sin \mathbf{a}}{\sqrt{l^2 + w^2}}$$

$$\mathbf{b} = \cos^{-1} \left( \frac{w - v \sin \mathbf{a}}{\sqrt{l^2 + w^2}} \right) - \mathbf{g}$$

以四邊形左右兩邊相等，可求得  $z$ 。

$$l + v \cos \mathbf{a} = w \sin \mathbf{b} + l \cos \mathbf{b} + z$$

$$z = v \cos \mathbf{a} + l - w \sin \mathbf{b} - l \cos \mathbf{b}$$

$$z = v \cos \mathbf{a} + l - \sqrt{l^2 + w^2} \sin(\mathbf{g} + \mathbf{b})$$

從引擎到車輪之間，可分成幾個部分：引擎 變速箱，變速箱 傳動軸，傳動軸 輪軸，輪軸就轉動車輪。在以下分別探討這幾部分中，扭力和加速度的關係。

引擎 變速箱：由引擎開始傳輸至傳動系統之實際扭力必須扣除用來加速所有轉動元件之慣量，在這裡我們只考慮一些主要的元件慣量。應用牛頓第二定律，從引擎輸出扭力  $T_e$ ，扣除用來加速引擎慣量  $I_e a_e$  ( $I_e$  = 引擎轉動慣量， $a_e$  = 引擎之轉動加速度)，而成為變速箱的輸入扭力  $T_c$  為：

$$T_c = T_e - I_e a_e$$

變速箱 傳動軸：變速箱輸出的扭矩會經由齒輪比  $N_t$  而放大，但也會由於齒輪及各軸之慣性損失而有所降低，若變速箱之慣量可由其輸入端之值來決定，其損失可表示成  $I_t a_e$  ( $I_t$  = 變速箱之轉動慣量，轉動加速度和引擎相同)，那麼輸出至傳動軸之扭力  $T_d$  可以下式估算：

$$T_d = (T_c - I_t a_e) N_t$$

傳動軸 輪軸：輸入至傳動軸的扭力，扣除用來加速傳動軸轉動的慣量  $I_d a_d$  ( $I_d$  = 傳動軸之轉動慣量， $a_d$  = 傳動軸之轉動加速度)，經過最終傳動比率  $N_f$  放大後，會等於輸入到輪軸上之扭力  $T_a$ ，此扭力亦會等於地面上之牽引力  $F_x$  之扭矩  $F_x r$  ( $r$  = 車輪半徑)，加上加速車輪及輪軸之轉動慣量  $I_w a_w$  ( $I_w$  = 車輪及輪軸之轉動慣量， $a_w$  = 車輪之轉動加

速度)。

$$T_a = (T_d - I_d a_d) N_f = F_x r + I_w a_w$$

接下來把上列一些式子串起來，讓引擎輸出扭力可以直接和地面上之牽引力做關連，利用齒輪比和加速度的關係把整個式子簡化，其關係為：

$$a_d = N_f a_w \quad a_e = N_t a_d = N_t N_f a_w$$

又由於車輪前進之加速度  $a_x$  為車輪旋轉加速度  $a_w$  乘以車輪半徑  $r$ ，因此可得：

$$F_x = \frac{T_e N_{ff}}{r} - \left\{ (I_e + I_t) N_{ff}^2 + I_d N_f^2 + I_w \right\} \frac{a_x}{r^2}$$

$$\text{其中 } N_{ff} = N_t N_{fo}$$

至於傳動系統諸元件：變速箱、傳動軸、差速器及輪軸，因機械和黏性損失所產生之效率降低，在我們的場景建構之中暫不考慮這個問題。由上列的方程式，可以分成兩部分：(1) 右邊第一項為引擎扭力乘以整體齒輪比，再除以輪胎半徑。此分項代表在地面上之穩態牽引力，以此克服空氣動力及滾動阻力之道路負載力量，用來加速或爬坡。

(2) 右邊第二項代表由引擎及傳動系統各元件慣量所產生之牽引力損失，括弧內之項代表經由元件及車輪間數值齒輪之平方放大後，各元件的慣量。

以場景中的懸吊系統來說，其主要功能在於：(1) 提供垂直的柔度，使得車子在不平坦的道路移動的時候，車子的姿態可以改變的很平順。(2) 對由縱向力(加速、減速)、側向力(轉向)及車身傾斜所產生之負載轉移的影響，做出合適的反應，在懸吊系統上，採用最簡易的方法來模擬它，就是在四個輪子上各加一個彈簧及阻泥來代表它，而加諸在各彈簧上的力為承受車子本身的重力，再加上加速時所產生之力矩的變化。以下分為縱向及橫向負載的轉移來探討。

車子受到縱向力的時候，其受力的關係如 Fig. 18 所示，在此忽略空氣阻力、滾動阻力...等，單純只考慮車子受到縱向加速力、地形坡度 的影響，施加給前輪  $F_f$  及後輪  $F_r$  之力的變化。

各車軸所承受之負載包含一靜態分量，以及受到其他力量的作用所產生之由前輪到後輪(或後輪到前輪)的負載轉移，可由車輪與地面之接觸點之力矩和來求得。假設圖中車子未在傾斜上加速，那麼對 A 點之力矩和為零，如下所示：

$$F_f L + F_x h + W h \sin q - W c \cos q = 0$$

化簡可求得前輪之負載  $F_f$ ：

$$F_f = \frac{(W c \cos q - F_x h - W h \sin q)}{L}$$

後輪之負載  $F_r$  可由 B 點的力矩和來求出：

$$F_r = \frac{(W b \cos q + F_x h + W h \sin q)}{L}$$

如 Fig. 19 所示為車子右轉時受到橫向力作用時的受力情形，與縱向力的分析一樣，考慮轉向加速力及地形傾斜角 的影響，以得到左側車輪  $F_l$  與右側車輪  $F_o$  受到的負載。

左輪之負載  $F_l$  可由 C 點的力矩和來求出

$$F_l = W \cos f \frac{1}{2} + \frac{h}{t} (F_y + W \sin f)$$

右輪之負載  $F_o$  可由 D 點的力矩和來求出

$$F_o = W \cos f \frac{1}{2} - \frac{h}{t} (F_y + W \sin f)$$

在合併的時候，令  $b = c = L/2$ ，除了把兩輪受到的負載除以一半(如縱向方面的前輪，要分給左前輪跟右前輪)之外，對應在同一輪的值相加之後也要再平均。另外，兩邊的式子還必須做一點變化：

縱向負載要部分加上路面橫向的傾斜：

$$W \Rightarrow W \cos$$

橫向負載要部分加上路面縱向的傾斜：

$$W \Rightarrow W \cos$$

合併之後的左前輪的負載  $F_{lf}$  為：

$$F_{lf} = \frac{1}{4} \left[ W \cos f \cos q + \frac{h}{t} (F_y + W \sin f \cos q) - \frac{h}{L} (F_x + W \sin q \cos f) \right]$$

右前輪的負載  $F_{of}$ ：

$$F_{of} = \frac{1}{4} \left[ W \cos f \cos q - \frac{h}{t} (F_y + W \sin f \cos q) - \frac{h}{L} (F_x + W \sin q \cos f) \right]$$

左後輪的負載  $F_{lr}$ ：

$$F_{lr} = \frac{1}{4} \left[ W \cos f \cos q + \frac{h}{t} (F_y + W \sin f \cos q) + \frac{h}{L} (F_x + W \sin q \cos f) \right]$$

右後輪的負載  $F_{or}$  :

$$F_{or} = \frac{1}{4} \left[ W \cos f \cos q - \frac{h}{l} (F_y + W \sin f \cos q) + \frac{h}{L} (F_x + W \sin q \cos f) \right]$$

從這些式子可以看出，在各輪的負載數值上，可分為三個分量。(1) 左邊第一分量為車子靜態負載，為車子本身的重量垂直於路面的分量。(2) 左邊第二項為車子左右兩邊之動態負載，會隨車子轉向及路面傾斜而加到左右兩側。(3) 右邊第一項為車子前後之動態負載，會跟著車子前後加速及路面傾斜而影響前後兩側。

經由推導之後，可以得知在各輪上的負載，與彈簧壓縮  $x$  所產生之力  $kx$  ( $k$  為彈性係數) 及阻泥力  $CV$ ，可推算出懸吊系統震盪之加速度。

在虛擬實境場景的建立上，是運用繪圖函示庫 WTK 構成的，在 WTK 的場景中，要得知一 3D 物件與另一 3D 物件的距離，可以使用 WTK 的函示 `WTnode_rayintersect()`，此函示功能在於給定一個起點座標、偵測方向、及測量物件，從起點循著偵測方向出發，若有碰到偵測物件，則會給一個距離，否則回傳 NULL。在一般場景裡，要得知車子的四個輪子距離地面的高度，需偵測四次，越複雜的地形偵測時間越久。所以在較複雜的地形時，預先建立好地形高度的資料，將可以節省很多運算的時間，使得場景速度可以加快。

我們所建構的地形資料庫是把欲偵測的地形用一方形區域框起來，把這區域平均切割成 1000X1000 個小區域，再紀錄每個小區域的高度。而在決定用多大區域框起來之前，必須先求得上下左右的邊界值，先利用 WTK 提供的函示 `WTnode_getradius()` 得到中心點到最遠端的距離，用此來求出最遠有可能會到達的邊界，接著使用 `WTnode_rayintersect()`，在每一個小區域的上空由高到低偵測是否有地形存在。

量測左邊界之方法為：從中心點出發，有偵測到地形時，就持續向左邊筆直前進，若是偵測到無地形時，先向上

下附近的區域偵測，有地形的時候就繼續從此區域向左邊移動，若是附近都沒有，就從上面最遠的邊界開始向下偵測，若是又碰到地形就繼續前進，若是偵測到最下面的邊界都沒有地形時，其右邊的區域即是最左的邊界了。其他三邊的也是一樣。

找到邊界後，接著就在邊界裡用 `WTnode_rayintersect()`，由高到低求出每一小區域的高度，在得到所有的高度後，如 Fig. 20 (a) 所示有些地區如圍牆、草叢、森林...等，都得不到其高度的資訊，原因在於他們在建構的時候，都沒有使用到水平的面，這樣由高處垂直往下偵測的時候，自然就碰不到了。為了要克服這個問題，必須要從水平的方向再進行高度資料的修正。

在水平偵測方面，分成上下及左右來回的偵測。如 Fig. 20 (b) 以向左為例：由已建好的地形資料庫中，從最右邊開始向左，先找到一凹地，這凹地邊界的定義為，相鄰兩點的高度差距在一距離以上，通常這差這距離會使得車子無法向上通行。接著從凹地最右邊開始，從此地區的高度加上一距離，當作 `WTnode_rayintersect()` 偵測的原點，向左偵測，若是碰到障礙物時，則把偵測原點放到障礙物前幾格做第二次確認，其原點座標一樣是當時的高度加一距離，若是偵測到的距離和障礙物的座標吻合時，即可以把他的高度加到地形資料庫裡，加上高度只要是車子無法通行的高度即可。接著移動到障礙物的後面，向左繼續做重複的動作，直到碰到凹地的最左邊為止，之後再尋找下一個凹地，重複以上的偵測直到地形最左邊的邊界。做第二次的確認動作，可以防止在偵測時碰到坡地或其他特殊的情形，而產生判斷錯誤。

Fig. 21 (a) 是我們採用的場景之一，Fig. 21 (b) 為第二次製作地形高度的結果，顏色從藍到紅為高度愈來愈高，白色的部分是空的部分。而圍牆、草叢、樹林也確實加入到高度資料之

中。

直接偵測場景和使用地形高度資料的比較，在同一部電腦中使用預先建立好地形資料庫的場景，每秒鐘會比直接偵測的多 10-25 個畫數 (frame)，只是在建地形資料的時候會很久，不過只需建立一次，建好之後輸出到檔案之中，下次開啟時就可以直接讀檔輸入了。其缺點是當遇到騎樓、涼亭、地下室...等地形，就會受到限制，必須把地形的 3D 物件做修改，讓他可以偵測到車子可走的地區，若是直接偵測的方法，將不受此限制。

在另一方面，地形高度資料可以讓使用者很快的知道附近的地形，讓他可以多做一些應用，若是要增加多一點的動態方程式在車子上，直接偵測地形的將會變的更慢。

Fig. 22 為開發場景之一的畫面。

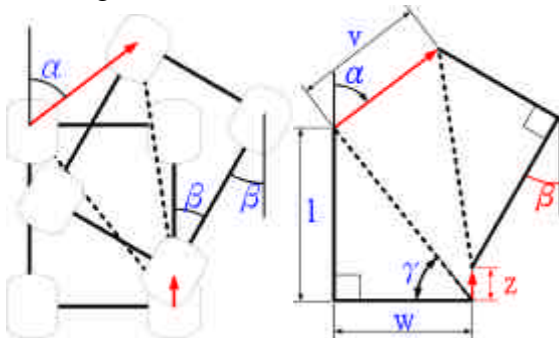


Fig. 16 右轉幾何圖

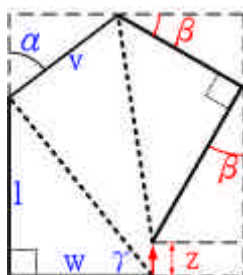


Fig. 17 右轉加輔助線

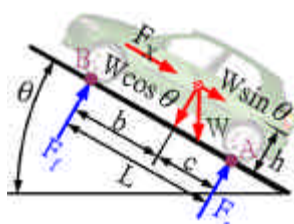


Fig. 18 車身受縱向力關係圖

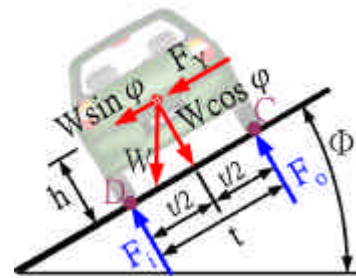


Fig. 19 車身受橫向力關係圖

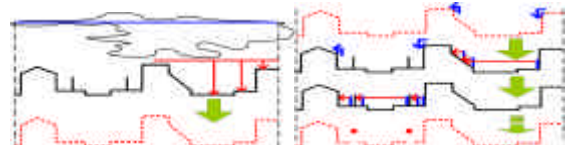


Fig. 20 (a) 測量高度 (b) 二度確認地形

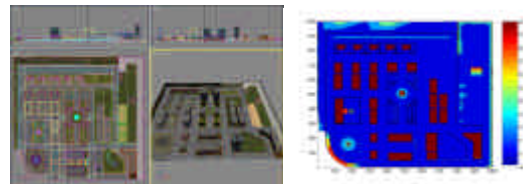


Fig. 21 (a) 場景 3D 圖 (b) 地形資料



Fig. 22 開發場景

### E. OMAP 嵌入式即時系統

在人們的生活中，嵌入式系統應用於訊號處理上十分廣泛，如多媒體語音與影像資訊處理等。為了讓訊號得到較佳的處理，往往需要大量的數學運算，但有鑑於嵌入式系統在運算能力不足，所以採用同時具有 ARM 和 DSP 微處理器之 OMAP 來彌補這個問題。OMAP 是由 TI 針對嵌入式系統所開發的一個具有優秀運算能力的微處理器，使用 OMAP 架構可以使數學運算上更為迅速有效率，且 ARM 和 DSP 可以

同步處理各自不同的行程。

隨著多媒體與無線通訊的發展，訊號處理演算法不斷更新。為了追求更為真實的感受，在多媒體系統上必需做出更為精確的運算。對於腦波生理訊號處理應用，在生理訊號分析技術層面上，運算處理上要求更為嚴苛。就軟體的層面而言，需要一個好的演算法與良好的計算程序；就硬體層面而言，處理器運算之能力亦是關鍵。大型主機，空間大且昂貴，為了縮小體積，嵌入式系統的發展勢必是個趨勢，強調小與省電。一般較有名的嵌入式系統的微處理器架構有 ARM、MIPS 等。雖然這些微處理器相當省電、運算能力不錯且支援多種作業系統，但處理大量的數位訊號資訊上，還是稍嫌不足，為了使系統運算能力更為強大，部分廠商引入了 DSP 微處理器來加強嵌入式微處理器的運算能力。

實驗室早期將既有虛擬實境發展之技術，已經由工業電腦逐漸轉至嵌入式單板電腦(SBC, Signal Board Computer)的應用。DSP 具有優越的計算能力，硬體精簡，高效率，可即時處理大量訊號等特性，但不足的是缺乏作業系統的支援，且 DSP 系統軟體程式移植不易，故採用 LART 嵌入式單板做為開發環境。LART(Linux Advanced Radio Terminal)是以 StrongARM 為微處理器的嵌入式單板，具有不錯的執行效率，體積小，支援多種作業系統，同時具備低成本的優點，採用這種精簡的嵌入式硬體單板可以取代原來的電腦和 DSP 控制卡。就其作業系統而言，是採用 ARM 架構的 ARMLinux，具有 Linux 作業系統開放原始碼的特性，在許多資料整合上，都能得到協助。但隨著演算法複雜度的增加，在運算處理上，以 ARM 架構為主的 StrongARM 微處理器，處理速度漸漸不合所需。

目前為了處理日益複雜的訊號處理的演算法，嵌入式單板勢必面臨大量的特殊運算，但一方面希望在嵌入式單

板上，保有 ARM 處理器的移植性，發展性和作業系統的支援，另一方面，又希望加入 DSP 所擁有的優秀計算能力，因此，採用德州儀器(TI)所發展出的新處理器 OMAP。OMAP 結合了 ARM 和 DSP 的長處，支援多種作業系統，並且在運算上能使用 TI 所開發的 DSP 技術。就嵌入式的作業系統而言，以原先的 ARMLinux 為藍本，加入對 TI DSP 系統的支援，成 DSPLinux。裡面包含了對於 OMAP 處理器上 DSP 部分的驅動，和 ARM 與 DSP 溝通的通道。於此，使得整個系統依然可以擁有開放原始碼的特性進行整合，容易維護開發，並且提升在運算上之能力等優點。

OMAP 為 Open Multimedia Architecture Platform 的縮寫，是一個有雙核心的微處理器，使用 TI-enhanced ARM925 微處理器並結合 TMS320C55x DSP 核心。OMAP 具有高效能平衡以及低功率消耗的能力，且擁有極佳的數值能力。程式開發上，Linux 平台下的跨平台環境(Cross Compiler)開發 ARM 微處理器相容的應用程式。DSP 端的程式開發，則主要是以 TI's CCS(Code Composer Studio)做為開發環境，使用 DSP 多執行緒的作業核心—DSP/BIOS 所提供的功能開發 DSP 應用程式。

基本上 OMAP 架構微處理器內部的 DSP 微處理器核心與 ARM RISC 微處理器核心分別由兩個不同的系統所控制，DSP 微處理器核心是採用 TI 的微核心多工即時的系統，稱為 DSP/BIOS。提供軟體工程師方便開發符合即時運算效率的軟體元件工作。在 ARM 部分，一般常看到的嵌入式作業系統，Linux 和 WinCE 等都有支援，可以用來控制整個系統的運作。由於兩個部分分屬於不同的系統所管理，為了發揮由 ARM 操作和 DSP 運算的分工效能，兩個處理器之間的資料流通就成為研發重點，TI 針對這點提出 DSP/BIOS Bridge 架構，能夠讓應用程式開發人員在雙處理器架構下撰寫程式。

在一般 PC 的 Linux 的環境下開發程式,採用 gcc(GNU Compiler Collection)編譯器(Compiler)。以 ARM 而言,若想要在 x86 環境下開發 ARM 程式需要建立一個跨平台開發的工具 (cross-platform development tool)。對於 ARM 程式的開發,採用 GNU 的工具鏈 (toolchain),對 ARM 平台的 cross-compiler(交叉編譯)—arm-linux-gcc 來進行程式的編譯。arm-linux-gcc 將程式碼針對 ARM 的架構進行編譯,產生出來的執行檔便可以於 ARM 的架構上執行。

CCS (Code Composer Studio)是德州儀器所提供用開發 DSP 程式的軟體,包含了跨平台的開發工具,CCS 提供一個完善的整合發展環境(IDE, Integrated Development Environment)。CCS 包含了程式編譯器、模擬器以及程式除錯器,藉由這些工具可以輕易地開發 OMAP 的應用程式,在撰寫 DSP 的應用元件時,透過 CCS 可以很容易在 DSP/BIOS 上整合支援影像及音訊資料處理的套件。

具有強大運算功能的 DSP 處理器系統中,如何有效地利用 DSP 的資源,並在一複雜的系統中,如何做到即時多工處理,是必定面臨的一個問題。TI 的 DSP/BIOS 發展環境的核心,就提供了一個多執行緒(Multi-thread)的管理系統,讓使用者能在 DSP 上發展出一套嵌入式即時系統(Embedded real-time system)。CCS IDE 裡面 DSP/BIOS 具有即時核心(Real-time kernel)的特性,可以快速且簡便地設計發展出複雜的應用。

OMAP1510 微處理器結合 ARM925T 和 TMS320C55x DSP 處理器,但是要如何將這兩個處理器的功能相互結合應用,是一個問題所在,DSP Gateway 提供了一個解決的管道。DSP Gateway 是一個機制,能使 OMAP1510 微處理器能在 ARM 和 DSP 之間溝通,使得系統能同時使用 ARM 以及 DSP 的資源。如此一來能在 ARM 的架構上建

立一個 Linux 作業系統,同時又可以使用 DSP 的運算能力。將針對「DSP Gateway 架構」、「DSP Gateway Linux API」、「DSP Program」,將 ARM 和 DSP 溝通的機制逐一的說明:

DSP Gateway 主要可分成 DSP Gateway 架構和程式編寫的方式,兩個部分來探討之。其中包括「DSP Driver 與 Linux API」、「Mailbox 傳輸命令機制」與「DSP Gateway BIOS(tokliBIOS)與 DSP APIs」, DSP Driver 與 Linux APIs 包含 ARM 的環境下提供與 DSP 溝通操作的方式及介面。Mailbox 機制,將 ARM 與 DSP 之間操作動作所傳送的 Mailbox 命令做解譯,並且傳送資訊,其中包括傳送的 DSP Task ID、傳送方式以及傳送的 buffer 位置。DSP Gateway BIOS 與 DSP APIs,主要是與 DSP 溝通和 DSP 系統管理機制有關,建構於 TI 的 DSP/BIOS 提供的即時多工的核心和 APIs 所建構而成的。Fig. 23 可用來表示 DSP Gateway 整個架構的關係圖。

DSP 處理器,利用給予不同的 TID(Task ID)來區分不同的工作,達到處理多工(Multi-Tasks)的效果。由表六可以知道在傳送命令時包含 TID(包含在 Command Low 的部分),如此 MPU(MicroProcessor Unit)便能處理混合 TID 的資料。處理器內部 ARM 和 DSP 的資料傳輸是透過內部的 buffer(IPBUF, InterProcessor Buffers)。利用 IPBUF 做處理器內部 ARM 和 DSP 之間區塊(block)資料傳輸的 buffer 時,IPBUF 必須先將 IDs(BID)先定義出來,且 IPBUF 不同於一般的區塊,僅有處理器內部,才可以使用。當使用 IPBUF 傳輸資料時,IPBUF 的所有權亦會隨著資料轉移,跟著轉移至接收者。IPBUF 的 BID 資料亦被定義於 Mailbox 中資料暫存器內,會隨著 Mailbox 傳到 DSP,然後 DSP 便知道要到那一個 IPBUF 去取得,所需要的處理資料。Fig. 24 表示,Mailbox 和 IPBUF 在 ARM 和 DSP 之間的關係。除了表示了資料傳輸之間的關

係外，還可以看出其流程，ARM 端的 user program 要將資料交給 DSP task 處理時，也要將資料傳給 DSP 端。傳輸過程中，一開始要傳送 Mailbox command 和 data 的資訊(BID)給 DSP，同時將要傳送處理的資料寫入 IPBUF，這時在傳送的 data 資訊中將知道 IPBUF 的 BID，並且和命令一起傳送給 DSP task，這時 DSP task 便會知道要去那一個 BID 取得資料來進行處理。

在 Fig. 23 架構圖中的 DSP Gateway driver 的部分，一般而言，使用者想要使用 DSP 工作時只需要存取 DSP task device。DSP device 是利用 devfs 的機制，在使用時才動態產生的系統。建立 DSPLinux 系統時，不需要特別建立這些裝置檔。裝置的溝通是透過作業系統的系統呼叫(System Call)，透過驅動程式，參考裡面的檔案操作(File Operations)定義，來對特定的裝置做輸入輸出 I/O。這些輸入輸出的函式，一般較常用的包括有 open、close、write、read、poll、selet 和 ioctl。

DSP 程式設計者在設計 DSP 工作程式時，必須先對工作的型式做個定義，表六表示了一個 DSP 工作所需要定義的結構。有工作 ID，工作名稱，工作型式，和一些有關於 DSP I/O 及 DSP 功能的函式使用定義。其中 DSP 最大的工作數能到 126(TID 0x00~0xfd)，因為 TID 0xfe 和 0xff 是接收 IPBUF 所有者的資料特別用途。

ARM 和 DSP 分工中，一項重要的部分便是 ARM 和 DSP 的資料傳輸。資料傳輸的型式，所採取的方式是 block send 的方式。但是在傳輸時 IPBUF 的大小有限，一個 IPBUF 僅有 128words 的大小，也就是說，會有資料無法一次傳輸，需要分批傳輸。將資料分一段一段傳輸。定義一個資料封包格式，將傳輸資訊和資訊藉由封包傳輸，可以達到分段傳輸的目的。表七是傳輸封包的定義。Fig. 25 和 Fig. 26 分別是資料傳送和接收的順序圖。

ARM 傳資料給 DSP 了傳輸要分批傳之外，另外，需要注意的一點是 ARM 和 DSP 溝通時如果使用 32bit 大小以上的資料區塊，需要先經過資料位元的置換，這是因為 ARM 和 DSP 資料的堆疊方式不同。TI 的 DSP 為了支援於 Intel-base 的 x86 系列溝通，在設計時是採用 little endian 的模式，但是 ARM-base 是屬於 big endian 的順序，和 DSP 順序不同。整個系統架構和資料傳輸的設計，表示於 Fig. 27。Fig. 27 中，整個順序分別以數字標號表示，1~6 的流程表示，單板收到訊號資料，執行 ICA 程序，將 ICA 運算交由 DSP 處理，DSP 再將處理完的資料更新至 IPBUF 中，7~9 的流程表示，ARM 的部分給予一個接收結果的 Mailbox 命令，然後從 IPBUF 中接收傳回的命令，並且在 10 的地方得到 ICA 分離出的成分。

Fig. 28 為 OMAP 硬體架構圖。

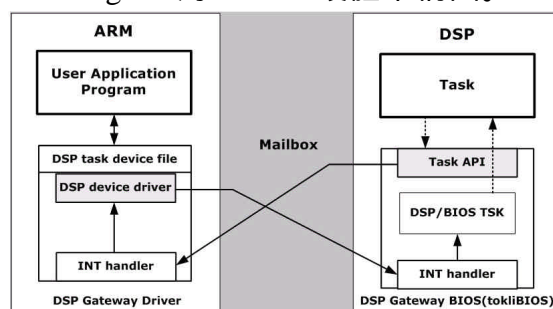


Fig. 23 DSP Gateway 系統架構圖

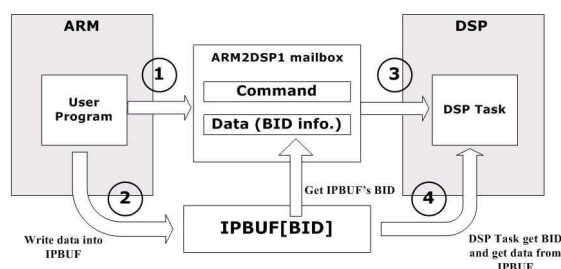


Fig. 24 ARM 與 DSP 命令及 IPBUF 傳輸

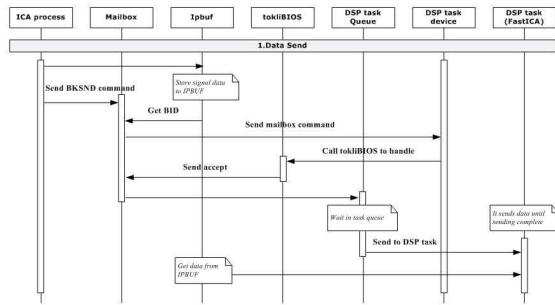


Fig. 25 資料傳送順序圖

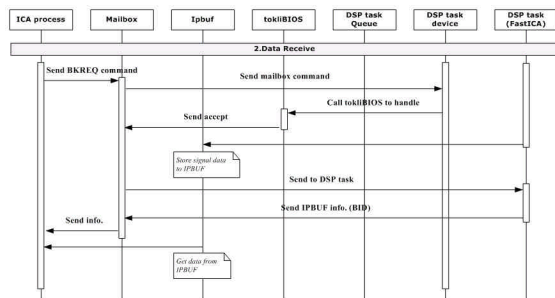


Fig. 26 資料接收順序圖

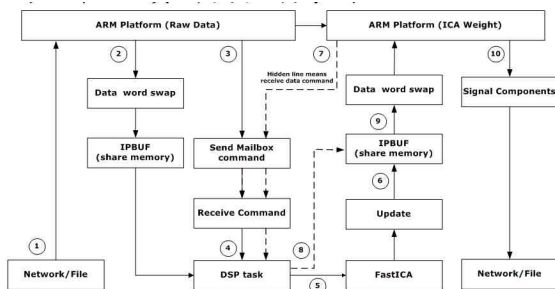


Fig. 27 系統資料傳輸及訊號處理架構圖

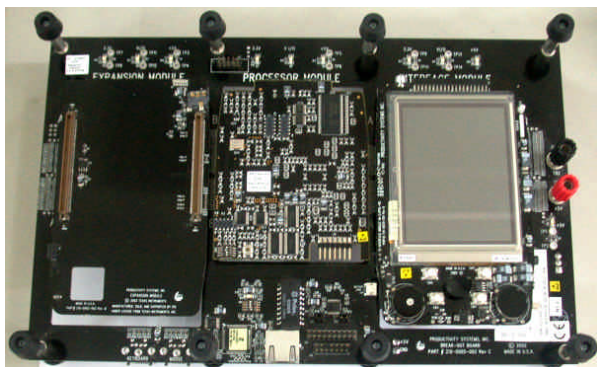


Fig. 28 Innovator Development Kit 的 Break Out Board 配件模組

表六 dsptask 結構

Structure	Data member	Data type	Description
Dsptask	tid	unsigned short	Task ID。DSP 工作的 ID。當工作初始化時，DSP Gateway BIOS 設定 TID。
	name	String	Task name(工作名稱)，亦為 device file 的名稱
	ttyp	unsigned short	Task type，工作的型式設定，例如：BKMD(block transfer for MPU→DSP)
	*rcv_snd()	unsigned short	Task function。DSP Gateway 會呼叫這些函式，回應 ARM 的 Mailbox command。
	*rcv_req()	unsigned short	
	*rcv_tctl()	unsigned short	
*task_attr	struct TSK_Attrs	DSP/BIOS TSK 特性。如果為 NULL，則為預設值。	

表七 資料傳送封包結構

Structure name	Data member	Data type	Description
DATA_T	data_startnum	unsigned short	傳輸資料的起點
	data_endnum	unsigned short	傳輸資料的結束點
	signalnum	unsigned short	第幾筆訊號資料
	finishflag	unsigned short	是否傳輸完成
	signaldata[]	float	訊號資料

### 子計畫三：動態 VR 運動復健輔助系統之互動式實景影像設計與研發

本子計畫主要任務是應用以實際影像為基礎的成像技術和虛擬實境顯像技術，令使用者有身歷其境和賞心悅目的感受，以增加使用者的興趣，而達到提昇訓練的目的。本子計畫分三個年度進行，基本上對每一個系統均是針對其個別特性和需求，進行下列項目之研究：首先確立適合主題之場景，並作實景記錄。其次利用實景影像建立環境模型與研究實景影像銜接合成技術，並由實景影像序列建立立體實景影像且應用於虛擬實境中。同時我們也進行操作者與捲動播放互動關係之研究，探討操作者前進方向與速度和六軸平臺之運動姿態間之關係。最後，針對大量的影像資料研究其有效存取和播放的裝置。

在第一年度當中製造了兩種場景，分別是(1)固定路線、固定速率前進、全平面地形之場景，和(2)固定路線、速率可變、全平面地形的場景。因為影片是拍攝實際場景，所以自然地



有“真實”的感覺而且也可以在離線的情況去模擬跑步者速率的改變，算是可以做到離線狀況的互動，但無法做到即時的互動。第二年度則完成使用者與場景之間，可以預先在路線、速率、地形之中擇一互動的場景，以及能同時對路線和速率即時地互動的場景。

今年(第三年度)計劃執行到此，已經完成了我們當初預設的主要目標。製作出可以讓使用者在線上與虛擬環境在路徑、速度、地形三方面作即時互動的『動態互動式虛擬實境展示系統』。同時本系統整合了使用者、場景影像、以及六軸平臺三者，使得經由三者的合作互動能產生更逼真的感受。

本年度(第三年度)是計劃執行的最後一個年度，在這個階段計畫的預定目標是先製作出「路線可變、速率固定、地形可變」以及「路線固定、速率可變、地形可變」的場景，最後完成「路線可變、速率可變、地形可變」的場景，而且達到可以線上即時互動的需求。在距離計畫結案的前二、三個月之時，本團隊已有相當豐碩的成果，這些成果已達到計畫預設的目標。首先我們根據第二年度的成果加以改進，先後完成路線、地形可以線上即時改變的場景，以及速率、地形可以線上即時改變的場景，最後完成路線、速率、地形都可以線上即時改變的場景。使用者在轉彎處可以選擇任意路線，更可以在任何時刻即時改變行進速率、使用者視野、以及地形的上下坡度。然後我們又將這個較大型、可即時在路線、速率、地形坡度互動的場景與六軸平台整合，亦獲致成功。六軸平台會根據坡度的起伏和路線的變化而產生相關的運動。之後，為了明顯展示場景和六軸平台間的互動關係，本團隊又於新竹南寮漁港取景，製作一個略小於蓮花寺的場景。在這個新的場景中，使用者仍然可以線上、即時轉換路線、加減速率和改變路線坡度，同時可以展示出場景中地形坡度和六軸平台的三種互相配合模式，第一種模式是只

有場景坡度改變、六軸平台坡度不變，使用者由視覺感受到地形的改變。第二種模式是場景不變而六軸平台坡度改變，使用者由六軸平台的上、下坡感受到地形的變化。第三種模式是場景和六軸平台一起變化，讓使用者透過視覺和身體的姿態改變體認到地形的坡度變化。第三種模式可以放大地形變化的程度，適合應用在地形劇烈變化的情況下，而單獨靠影像變化或六軸平台改變仍不足以反映場景地形變化時。

除了場景的製作，另外與六軸平台的整合也必須在本階段完成。我們需要研究場景與六軸平台的互動模式，建立兩者之間適當的互動機制，使得使用者除了在視覺上有真實的感覺外，同時在身體的姿態，腳部的感受上也有類似真實生活經驗中的感覺，達成一個更接近真實情況的虛擬實境。計劃執行至今兩個較大型的場景(蓮花寺及南寮漁港場景)均已經實際與六軸平台連線測試成功，實現一個可以讓使用者在線上即時與場景互動的虛擬實境場景，完成本子計畫的最終目標。

本子計畫是採用以真實影像為基礎的方法，這種方法的優點是影像逼真，其主要缺點是如果要記錄的環境結構複雜，則需要耗用相當大的記憶體儲存空間才能夠完全記錄下這個場景。Hirose[36]等人以 8 部攝影機來拍攝所需的真實影像序列，我們則使用三台一般用途的數位攝影機來拍攝(例如蓮花寺場景)，然後應用影像處理的技術將三個影像結合成個超廣角影像(Fig. 29、Fig. 30)，如此可以簡化器材，降低成本，當然如果要達到相同的影像品質，我們需要使用更多的影像處理技術。在計劃的第一年度，依照本報告所規劃的進度，配合動態跑步機拍攝製造(1)固定路線，固定速率前進全平面地形之場景和(2)固定路線，速率可變全平面地形的場景。影像格式採用目前一般的數位攝影機使用的 AVI [37]格式來儲存動態影像。取景之後，把三台攝影機所

錄得的影像透過 IEEE 1394 介面以 AVI 格式儲存於電腦硬碟。然後把 AVI 影片轉為一連串的靜態影像 (BMP 圖檔) 成為基本素材。接著給定相關點[5]，然後進行裁剪、調整亮度接合成為廣角影像。最後把處理所得的靜態廣角影像序列轉換成為 AVI 影片格式，使用播放軟體播出並利用單槍投影機投射於螢幕上營造出虛擬實境場景。

因為受限於 AVI 格式，第一年度計劃只能達成離線(off line)狀況下的互動，因為速率、路徑或是地形的改變都必須事先在離線狀況下做出選擇，無法符合即時的要求。為此，從第二年度起我們不再使用播映 AVI 影片的方式來展現虛擬實境場景，改為以播放動畫的方式直接播放靜態的影像圖檔序列。如此一來可以避免極耗費時間的 AVI 編碼過程，二來在播放影片的過程中有機會可以加入我們所需要的運算。如果運算的效率夠高、速率夠快，使用者便感覺不到時間遲滯而達到線上(on-line)、即時(real time)的要求。關於使用者與環境的互動方式，我們利用鍵盤輸入來模擬。當使用者對於路線、速率、地形有所選擇或是變動時，透過電腦的鍵盤輸入來告知動態互動式虛擬實境影像展現系統，同時如果有需要，本系統可以把使用者資訊和相關的虛擬實境環境資訊透過電腦的輸出、輸入埠傳送給六軸平台進行姿態的調整。

Fig. 31 所示是交通大學校園內一隅之十字路，我們在這個十字路以單機拍攝了三段影片，分別是直行、右轉彎以及左轉彎(Fig. 32 從左至右)。把這三段影片分解成許多的靜態 BMP 圖檔，然後選出要用的部分對每一個靜態圖檔名加以適當的編碼來區分是屬於直行或右轉彎還是左轉的靜態影像序列。這個小型的動態互動式虛擬實境場景有一個選擇點，使用者在選擇點之前可以選擇左轉、右轉、直行。其中直行是預設(Default)路徑，若使用者在選擇點之前未作出任何選擇，則系統會視為

選擇直行。路線的選擇輸入是經由鍵盤上的按鍵輸入，輸入『R』表示要右轉，而輸入『L』是表示選擇左轉。除了路線選擇之外，這個小型的『動態互動式虛擬實境場景』還可以藉由改變每張靜態圖檔呈現的時間長短達到控制使用者在場景中的虛擬速度。

在上述的小型場景試驗成功之後，我們又拍攝、製作了一個較大型的場景(如 Fig. 33 所示)。此一場景包含一條主要路線以及三個分叉路徑(如 Fig. 34 所示)，其中主要路線來回約達三公里之長。使用者可以選擇預設路徑或者選擇右轉的路徑。同時在行進速度上亦可隨時改變，場景會對此作出即時的反應。為了減少計算量，單一合成場景影像採用三張 352 ×240 的靜態影像接合而成，如 Fig. 35 所示。

在第三年度中首先我們我們把蓮花寺場景加上坡度變化的功能，可以在行進中的任何時候立即讓使用者所見到的場景改變為上坡或者下坡。方法如下:假設平路變為上坡和平路變為下坡均為線性的轉換，即

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ 1 \end{bmatrix} = A \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} \quad (3.1)$$

其中  $[x \ y]^T$  為平路場景上某一像素的座標，而  $[x' \ y']^T$  是相關像素在上坡(或下坡)場景時的座標，A 則為轉換矩陣。只要我們知道轉換矩陣 A，就可以計算出某點的新座標，繼而決定新的場景。轉換矩陣之決定可以用 Fig. 36 的裝置求得。此裝置中有一個測試圖和一部可以調整水平俯仰角度的照相機系統。分別調整向機為水平，上仰，下俯視取得三張影像，然後測量出足夠相關點的座標，在利用式 (3.1) 即可求出模擬上下坡所需的轉換矩陣。把原使影像上的像素點之齊座標 (homogeneous coordinate) 和轉換矩陣相乘即可得到此像素在模擬上坡或模擬下坡影像中之

相關座標 從而計算出模擬上坡影像或模擬下坡影像(如 Fig. 37 所示)。

至此，一個可以讓使用者在線上即時改變路線，速率以及坡度的場景已經完成，場景部分的工作基本上已可完全達到預設目標，接著我們著手於場景與六軸平台的整合。六軸平台根據六個參數來控制它的姿態，這 6 個參數一般命名為  $x$ 、 $y$ 、 $z$ 、 $p$ 、 $h$  和  $r$ 。 $(x, y, z)$  為六軸平台的座標，原點即是六軸平台的起始點。 $p$  是六軸平台的仰角，正值表示上仰，負值表示下俯。 $h$  參數是左右水平的控制參數，而  $r$  參數則是順時針旋轉角度。同樣正值為順時針轉，而負值為逆時針旋轉。六軸平台啟動之後會不斷讀取這六個參數，並調整其姿態。場景與六軸平台間之通訊採用網際網路，即 TCPIP 的架構。在這個場景，六軸平台的系統中包含兩部電腦，其中控制場景的是主電腦(Host)，而控制六軸平台的是代理人電腦(Client PC)。主電腦必須透過網際網路不斷地傳送配合當時場景，六軸平台應有的六個姿態參數給六軸平台的控制電腦，讓他去調整六軸平台姿態以符合要求。在蓮花寺的場景中，我們按照當地真實的地勢起伏來設計傳送給六軸平台的參數。目前是在拍攝完成解成 BMP 檔之後，再把六個參數寫入每一個圖檔當中的六個 Bytes。當程式執行到展示這個圖檔時，就順便把這六個參數讀出，然後透過 TCPIP 傳送給六軸平台電腦，把參數存入 BMP 圖檔中需要耗用相當長的時間，因為整個場景的圖檔相當多。將可以考慮直接以全球衛星定位系統在拍攝場景時同步紀錄下地形資訊，或者利用照相機軌跡估測的方法計算出攝影機運動的立體軌跡，進而決定六軸平台的姿態參數。蓮花寺場景因為本身地勢、路線的變化相當豐富，又不會太過劇烈，所以在場景的坡度變化上，只提供視覺上的改變並沒有讓六軸平台也跟著變化，六軸平台仍是照著原先設計的姿態來變化。為了突顯場景與六軸平

台互動的關係，我們又到新竹南寮漁港拍攝另一場景，如 Fig. 38 所示。

在南寮漁港的場景中，原先蓮花寺場景的功能仍然保留(改變速度、轉換路線、改變坡度等)，另外對於場景坡度變化與六軸平台姿態互動的關係，設計個三類六種選擇。第一類是如蓮花寺之功能，即場景變化而六軸平台維持不變。第二類是場景不變，但六軸平台改變坡度，使用者憑身體姿態改變感受到地形變化。第三類是場景影像與六軸平台配合改變，讓使用者同時在視覺與身體姿式上感受到地勢的變化，如此可以放大變化的程度，給使用者較強烈的感受。每一類均有上坡和下坡兩種選擇，故共有六種坡度變化選擇。

在第三年度當中，我們根據前一年所設計的架構，將場景以靜態影像序列(BMP 圖檔)的方式儲存並以動畫的方式播放。先後完成路線和地形可以線上即時改變的場景，以及速率和地形坡度可以線上即時改變的場景，最後完成了使用者可以在線上即時改變路線、速率和地形的場景。除了場景的製作，另外與六軸平台的整合也已經完成。我們研究場景與六軸平台的互動模式，建立兩者之間適當的互動機制，使得使用者除了在視覺上有真實的感覺外，同時在身體的姿態，腳部的感受上也有類似真實生活經驗中的感覺，達成一個更接近真實情況的虛擬實境。兩個較大形的場景(蓮花寺及南寮漁港場景)均已經實際與六軸平台連線測試成功，實現一個可以讓使用者在線上即時與場景即時互動的虛擬實境場景，完成本子計畫的最終目標。



Fig. 29 (a)左側攝影機影像、(b)中央攝影機影像、(c)右側攝影機影像



Fig. 30 接合並做亮度調整之廣角影像



Fig. 31 交通大學校園一隅之十字路



Fig. 32 (a)直行穿越十字路；(b)右轉；  
(c)左轉。



Fig. 33 較大型『動態互動式虛擬實境  
場景』拍攝環境；新竹縣蓮花寺。



Fig. 34 較大型『動態互動式虛擬實境  
場景』結構簡圖。



Fig. 35 較大型『動態互動式虛擬實境  
場景』支路接合調整後的靜態影像之  
一。



Fig. 36 計算轉換矩陣之裝置。



Fig. 37 (a)原始影象和(b)模擬上坡影象(c)模擬下坡影象



Fig. 38 新竹南寮漁港場景。

#### 子計畫四：動態 VR 運動復健輔助系統之人機溝通介面及使用者情緒瞭解

本子計畫藉電子攝影機隨時紀錄

操控者臉部，藉影像處理技術，偵測出操控者之情緒狀態，並建立操控者與模擬器間的人性化溝通管道，以將操控者的使用感受忠實的告知子計畫一與二進行模擬器的控制變數轉換及後續階層式控制法則之設計，本子計畫已發展出一套即時之人情緒狀態判定系統藉線上拍攝操控者臉部影像序列，由影像處理技術偵測出操控者之臉部變化，進而推敲操控者快樂、生氣、與中性情緒狀態，它的效果經過驗證可達 92% 辨識率；另為更配合國人常有帶眼鏡之情況，今年度特別處理人臉自動眼睛偵測及眼鏡消除，加入已完成之人機系統中，可適合於有或無帶眼鏡使用者。在人機系統溝通與對映方面，我們設計出一套感覺概念交流所須之對映對映網路的裝置來進行，我們以 Kosko 之模糊關聯網路 Fuzzy Associate Memory 設計之，我們以適應性的局部訓練法則及口袋演算法觀念，所設計的二階聯想記憶 (Second-Order Associative Memory)，具有最大吸引範圍。

動態模擬系統之動態感覺，決定了虛擬實境之逼真程度，但如何表示動態模擬系統使用者之感覺概念，並傳遞給行為轉換與控制模組(子計畫一)及六軸運動平台、力回饋模組(子計畫二、三)做適當的參數調整與控制，是本計畫之重點。為了表示使用者的感覺概念，道，以將操控者的使用感受忠實的告知子計畫一與二進行模擬器的控制變數轉換及後續階層式控制法則之設計，並藉此以改善整個控制迴路及調整參數的方法，而提高了模擬器的真實性，本計畫可視為整個模擬器系統的高階回授單元。本計畫之兩個主要子題：計畫將發展出一套即時之人情緒與注意力狀態判定系統，及能與機器系統做抽象式觀念感覺溝通與對映之方法，下面是我們在這一年的計畫中，對以上兩方面所法提出來實現方法的描述。

#### (1) 人類表情與注意力的辨識

人類表情與情緒的辨識此子系統第一部份為臉部特徵的選取。臉部特徵的選取對於辨識人臉和臉部表情是很重要的。人類臉部有些明顯的特徵如眼睛、嘴巴、眉毛、臉部輪廓等等。在本計畫中，我們擷取眉毛、眼睛及嘴巴作為主要的特徵。我們定義 30 個臉部特徵點；來描述這三個臉部特徵的位置和形狀。臉部快樂、生氣、與中性情緒狀態表情我們藉由一放射狀函數基礎之神經網路辨識，它的效果經過驗證可達 92% 辨識率，此部份已在第一年完成與報告。

在人機系統溝通與對映方面，我們正在進行以觀察臉部影像序列，偵測使用者之感覺與精神狀態，精神不濟或昏昏欲睡時，機器會提出暫停機台操作之警告，以策安全。我們以眼睛縮小閉合時間比例 (PERCLOS) 及眨眼頻率 (Blink Duration) 兩種特徵參數，偵測精神不濟或昏昏欲睡之程度，我們再利用模糊積分(fuzzy integral)的概念，發展出上述兩種證據跡象資訊整合的技術，以增加偵測的可靠度。經測試偵測精神不濟或昏昏欲睡之正確率可達 90%。

## (2) 人機系統溝通與對映法

人機系統溝通與對映之法 Takagi 等人係利用關聯網路 (Associate Memory; 簡稱 AM ) 設計之赫比式 (Hebbian) 學習方法來建構之對映傳遞之關係，但 AM 之兩對映是由(0,1)之串列對映至(0,1)之串列，與上述之感覺對應，為 0 1 間的任意實數對映，我們以某一層的觀念節點的節點活性度值組表示一個感覺概念，以機電整合受控體之物理量為輸入層，感覺概念的溝通與學習可由函數大約化之對映方法來執行感覺概念之交流，以使電腦有感覺概念意識與溝通的能力，而對於觀念節點溝通所需之函數大約化，我們設計出一套對映網路的裝置來進行，亦即在受控機器中建立並學習某一感覺概念交流所須之對映網路。第一年我們以

Kosko 之模糊關聯網路 Fuzzy Associate Memory 設計，以二階非對稱式雙向聯想記憶 (Second-Order Asymmetric Bidirectional Associative Memory) 實現；第二年我們以傳統二階對稱式雙向聯想記憶 (Second-Order Bidirectional Associative Memory) 實現，並訓練儲存圖樣能有最大的吸引範圍，已經證明出我們所提出的局部訓練法則效果優於其他主要的 AM 的設計 [46-48]。

## (3) 戴眼鏡使用者自動眼睛偵測及眼鏡去除方法

眼睛偵測在各種應用上扮演一個很重要的腳色，例如：人類臉部辨識、眼睛注視的方向、昏睡偵測和其他人類與電腦相互關係的應用。雖然已經有很多方法提出來解決這些偵測的問題，但似乎遺漏人們戴眼鏡的問題。再加上東方人，尤其是華人，有很多戴眼鏡者。因此處理戴眼鏡的問題是相當迫切且需要的。

在這些應用上，我們今年特別針對眼鏡對精神不濟或昏睡偵測系統與臉部辨識系統所造成的干擾問題來做處理。在昏睡偵測系統中，我們利用影像處理的技術來測量眼睛的閉合並且計算 PERCLOS 與眨眼頻率。然而當一個駕駛員戴著眼鏡時，因為眼鏡鏡框與眼睛重疊，造成系統無法正確的偵測到眼睛的位置。而且戴眼鏡是最常阻礙到一個經由臉部辨識系統來做個人識別的問題。我們所提出的自動眼鏡去除方法有助於正確地偵測到眼睛的位置並且消除這些的阻礙。以下為自動眼睛偵測及眼鏡去除方法之說明。

### (3a) 人類表情與情緒的辨識

在一張影像中搜尋人的位置是辨識所有人類相關動作的第一個步驟。這裡我們是採取 Chai *et al.* 所提出的方法。此方法是有以下四個步驟。

步驟 A：顏色分割。此步驟的目

的是為了將輸入影像的像素值分類成皮膚與非皮膚兩個區域。在 YCrCb 彩色空間中，我們定義且測試出  $R_{C_r} = [133; 173]$  與  $R_{C_b} = [77; 127]$  分別為 Cr 和 Cb 所對應皮膚顏色的範圍。當  $(x,y)$  的 Cr 與 Cb 的值屬於  $R_{C_r} = [133; 173]$  而且也屬於  $R_{C_b} = [77; 127]$  的範圍，則分割結果  $O_A$  等於 1，其他則等於 0，其中  $x = 0, \dots, M/2-1, y = 0, \dots, N/2-1$  而 M 與 N 分別影像的高度與寬度。**步驟 B：強度規則化。** 此步驟的目的是為了考量在步驟 A 中所產生的雜訊干擾，這些雜訊可能因為一些未偵測到的臉部特徵，像是眼睛、嘴巴，而造成在臉部區域出現一些小的空洞，或是背景中有著與皮膚顏色相同的物體所產生的雜訊。因此我們利用形態學中的膨脹來填補臉部的空洞，利用侵蝕去除背景中的物體所造成的雜訊。**步驟 C：幾何修正。** 此步驟的目的是利用垂直與水平掃描來消除  $O_B(x, y)$  中零星分佈的結構。**步驟 D：輪廓抽取。** 最後一個步驟的目的是為了從步驟 C 中所得到的輸出圖，利用步驟 A 的邊緣資訊，將所偵測到臉部範圍還原出來。經過上述的四個步驟處理後，即可正確且有效的將臉部的輪廓擷取出來。Fig. 39 為測試某人臉部影像經過上述的四個步驟所得到的結果。

### (3b) 眼睛偵測與眼鏡去除

在參考論文[58]中，其方法是找到一些介於兩眼間的“between-eyes”而不是直接去偵測眼睛的位置。在“between-eyes”左右兩側包含了眼睛與眉毛，故此處是屬於比較黑暗的部分，相反的在其上下兩側包含了額頭跟鼻梁，故此處是屬於比較明亮的部分。此篇論文是利用一個 circle-frequency filter 來找到“between-eyes”的位置。假設以  $(x, y)$  為圓心來作一個圓，其圓上的素  $k F_n k^2$  稱為 circle-frequency-n filter 的輸出。根據傅立葉轉換的特性，可知當  $n = 2$  時，會產生一個高值，稱為

circle-frequency filter 或是 CF-filter。接著再利用以下的兩個條件，來搜尋“between-eyes”的位置。

眼鏡的鼻樑架是最常見的眼鏡特徵，藉由“between-eyes”與眼睛位置的資訊來找到“between-eyes”周圍的區域與兩眼中心的位置，可以從邊界存在的範圍裡找到眼鏡的鼻樑架。再利用梯度邊緣偵測的方法，我們可以在每一點  $(x, y)$  求出梯度的大小與相位，若有一個垂直方向的像素個數的數目超出一個固定的臨界值，則可判定眼鏡存在。

如果眼鏡存在，我們必須去除眼鏡的干擾進而找到眼睛的位置並量測眼睛的閉合狀況，再來應用在昏睡偵測系統上。首先我們必須計算出眼睛的範圍，這樣才能去除眼鏡所造成的干擾。基於這樣的論點，我們將 HSI 與 RGB 彩色空間所作的梯度邊緣偵測資訊以及在 YCrCb 彩色空間所偵測到非皮膚顏色的區域作結合。我們再對戴眼鏡的邊緣圖作侵蝕的動作，則此邊緣圖將會被分成很小的片段。之後藉由計算每一個部分之間的標準誤差，選取最小的標準誤差且是最大相連的部分，由此部分即可輕易的將眼睛從眼鏡的輪廓中區分出來。接下來，我們將眼睛部分的像素值以皮膚顏色的像素值來取代。為了使還原的更自然，我們利用 modified fuzzy rule-base (MFRB) filter 將眼鏡的像素值作平滑的動作並且使其更接近沒戴眼鏡的影像。Fig. 40 為測試某人臉部眼鏡去除，經過與沒經過 MFRB filter 步驟所得到的影像比較結果；Fig. 41 為測試某人眼鏡去除，影像經過上述的各個步驟所得到的結果，由 Fig. 40、41 的結果可看出所提出的眼鏡去除方法良好，具體可行。

一理想的虛擬實境系統，應能隨時掌握操控者的情況與感受，並能讓操控者與系統模擬器做直覺性的溝通，而讓使用者有完全沈浸其中的感受，因此研究發展任何虛擬實境技術時，使用者與機器系統之間的互動與溝通為相當重

要的一環。本子計畫藉電子攝影機隨時紀錄操控者臉部，藉影像處理技術偵測出操控者之情緒狀態，並建立操控者與模擬器間的人性化溝通管道，以將操控者的使用感受忠實的告知子計畫一與二進行模擬器的控制變數轉換及後續階層式控制法則之設計，並藉此以改善整個控制迴路及調整參數的方法，而提高了模擬器的真實性，本計畫可視為整個模擬器系統的高階回授單元。本子計畫已發展出一套即時之人情緒狀態判定系統藉線上拍攝操控者臉部影像序列，由影像處理技術偵測出操控者之臉部變化，進而推敲操控者快樂、生氣、與中性情緒狀態，它的效果經過驗證可達 92% 辨識率。另外，我們以眼睛縮小閉合時間及眨眼頻率兩種特徵參數，偵測精神不濟或昏昏欲睡之程度，本偵測系統提出非接觸式之使用者是否昏睡及精神不濟的判定技術，可增加單一特徵參數正確率 12%，整合正確率達 95%。在人機系統溝通與對映方面，我們以模糊 SOAM 設計，實現感覺概念交流所須之對映網路，模擬證明我們所提出的局部訓練法則效果優於其他主要的 AM 設計。另為更配合國人常有帶眼鏡之情況，今年度特別處理人臉自動眼睛偵測及眼鏡消除，加入已完成之人機系統中，可適合於有或無帶眼鏡使用者。

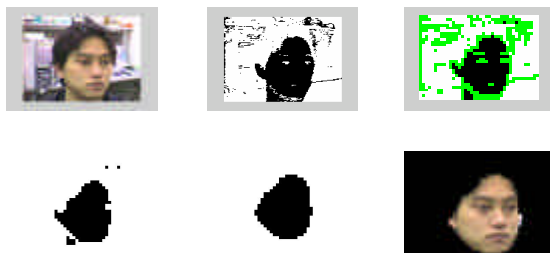


Fig. 39 人類表情與情緒的辨識



Fig. 40 有( b)無( a)使用 MFRB filter

## 去除眼鏡之結果範例

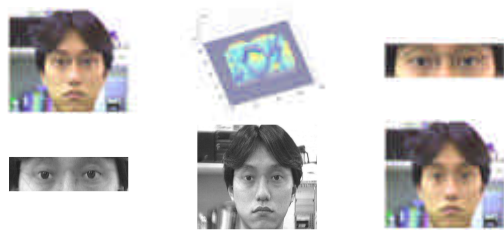


Fig. 41 眼鏡去除範例

## 子計畫五：VR 運動復健輔助系統之智慧型教導系統

本計畫提出一智慧型教導系統，以指導使用者操作技巧。第一年已提出一模糊系統及其監督式學習法則，以承接專家的操作運動技巧。在第二年中，我們已發展出一新的基因學習方法用以訓練模糊網路。經由合適值的給定，在不需專家提供操作資料的情況下，機器本身可經由自我學習而成為一專家，進而教導一新的使用者，整個學習架構如 Fig. 42 所示。在第三年，我們更已發展出一加強式學習法則來訓練模糊系統。此方法結合了線上分群，Q-學習法及基因法則。在此方法下，機器本身只需外在的“好”與“壞”兩個指標，便能經由模糊系統的學習，而成為一專家，此架構如圖 Fig. 43 所示。三年內所提方法，並以分別發表於三篇 IEEE 期刊中[59]-[61]。



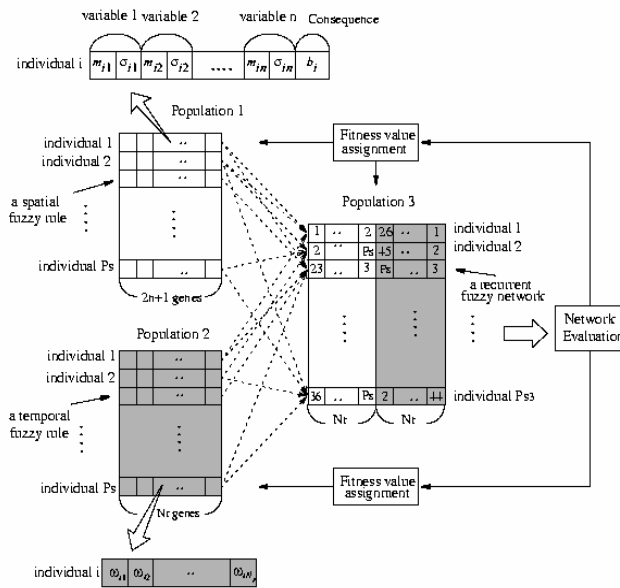


Fig. 42 子計畫五所提出設計之學習架構

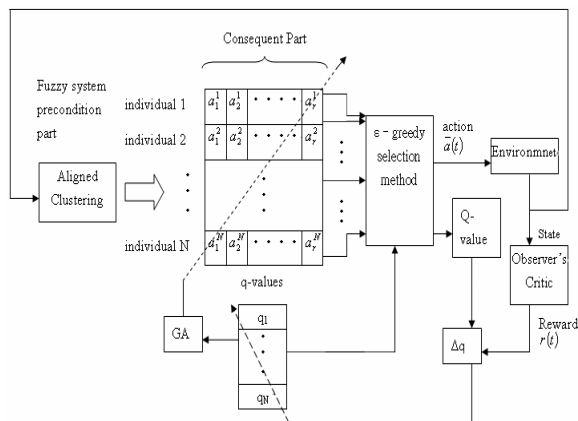


Fig. 43 子計畫五所提出設計之學習架構

### 三、參考文獻

1

[1] C. A. Avizzano, F. Barbagli, and M. Bergabasco, "Washout filter design for a motorcycle simulator," *Proc. of 2000 IEEE SMC Conf.*, vol. 2, pp. 995-1000, 2000.

[2] M. Idan and M. A. Nahon, "Offline comparison of classical and robust flight simulator motion control," *Journal of Guidance, Control, and Dynamics*, vol. 22, no. 5, pp. 702-709, 1999.

[3] W. Wu and M. Cardullo, "Is there an optimum motion cueing algorithm? Pilot and aircraft simulators," *AIAA*,

### Modeling and Simulation Technology Conf., 1997.

[4] S. F. Schmidt and B. Conrad, "Motion drive signals for piloted flight simulators," *NASA CR-1601*, 1970.

[5] M. Baarspul, "The generation of motion cues on a six-degrees-of-freedom motion system," *Rept. LR-248*, Dept. of Aerospace Eng., Delft Univ. of Technology, The Netherlands, 1977.

[6] R. V. Parrish, *et al.*, "Coordinated adaptive washout for motion simulators," *Journal of Aircraft*, vol. 12, no. 1, pp. 44-50, 1977.

[7] R. V. Parrish and D. J. Jr., Martin, "Comparison of a linear and nonlinear washout for motion simulators utilizing objective and subjective data from CTOL transport landing approaches," *NASA TN D-8157*, 1976.

[8] D. Ariel and R. Sivan, "False cue reduction in moving flight simulators," *IEEE Trans. On Systems, Man, and Cybernetics*, vol. 14, no. 4, pp. 665-671, 1984.

[9] R. Sivan, J. Ish-Shalom, and J.-K. Huang, "An optimal control approach to the design of moving flight simulators," *IEEE Trans. On Systems, Man, and Cybernetics*, vol. 12, no. 6, pp. 818-827, 1982.

[10] L. D. Reid and M. A. Nahon, "Flight simulator motion-base drive algorithms: Part 1: Developing and testing the equations," *UTIAS Rept. 296*, Univ. of Toronto, Canada, 1982.

[11] L. D. Reid and M. A. Nahon, "Flight simulator motion-base drive algorithms: Part 2: Selecting the system parameters," *UTIAS Rept. 307*, Univ. of Toronto, Canada, 1985.

[12] L. D. Reid and M. A. Nahon, "Flight simulator motion-base drive

- algorithms: Part 3: Pilot evaluation,” *UTIAS Rept. 319*, Univ. of Toronto, Canada, 1986.
- [13] L. D. Reid and M. A. Nahon, “The response of airline pilots to variations in flight simulator motion algorithms,” *Journal of Aircraft*, vol. 25, no. 7, pp. 639-646, 1988.
- [14] M. A. Nahon and L. D. Reid, “Simulator motion drive algorithms—A designer’s perspective,” *Journal of Guidance, Control, and Dynamics*, vol. 13, no. 2, pp. 356-362, 1990.
- [15] M. A. Nahon and L. D. Reid, “Adaptive simulator motion software with supervisory control,” *Journal of Guidance, Control, and Dynamics*, vol. 15, no. 2, pp. 376-383, 1992.
- [16] D. A. Panagiotopoulos, R. W. Newcomb, and S. K. Singh, “Planning with a functional neural-network architecture,” *IEEE Trans. on Neural Networks*, vol. 10, no. 1, pp. 115-127, January 1999.
- [17] D. A. Panagiotopoulos, S. K. Singh, T. R. Darden, and R. W. Newcomb, “Hardware oriented semistate descriptions of functional artificial neural networks,” *IEEE Trans. on Neural Networks*, vol. 2, pp. 1197-1198, 1994.
- [18] D. A. Panagiotopoulos, S. K. Singh, and R. W. Newcomb, “VLSI implementation of a functional neural network,” *1997 IEEE International Symposium on Circuits and Systems*, Hong Kong, pp. 701-704, June 1997.
- [19] L. V. Zyla and R. J. P. de Figueiredo, “Nonlinear system identification based on a Fock space framework,” *SIAM J. Contr. Optimization*, vol. 21, no. 6, pp. 931-939, Nov. 1983.
- [20] T. Eltoft and R. J. P. de Figueiredo, “A DCT-based D-FANN nonlinear adaptive time series prediction,” *IEEE Trans. on Circuits and Systems-II: Analog and Digital Signal Processing*, vol. 47, no. 10, 2000.
- [21] Shun-Feng Su, Sheng-Hsiung Hsieh, and Chen-Chia Chuang, “On the Study of Embedding Fuzzy Concept in Reinforcement Learning,” scheduled to appear in *Journal of the Chinese Institute of Engineers*, vol. 24, no. 4, 2001.
- [22] C. T. Lin and M. C. Kan, “Adaptive fuzzy command acquisition with reinforcement learning,” *IEEE Trans. on Fuzzy Systems*, vol. 6, no. 1, pp. 102-121, 1998.
- [23] C. T. Lin and Y. C. Lu “A neural fuzzy system with linguistic teaching signals,” *IEEE Trans. on Fuzzy Systems*, vol. 3, no. 2, pp. 169-189, 1995.
- [24] Shun-Feng Su and Sheng-Hsiung Hsieh, “Embedding fuzzy mechanisms and knowledge in box-type reinforcement learning controllers” to appear in *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B: Cybernetics*, 2002.
- [25] C. F. Juang, and C. T. Lin, “An on-line self-constructing neural fuzzy inference network and its applications,” *IEEE Trans. on Fuzzy Systems*, vol. 6, no. 1, pp. 12-32, 1998.
- [26] C. T. Chiang, and C. S. Lin, “CMAC with general basis functions,” *Neural Networks*, vol. 9, pp. 1199-1211, 1996.
- [27] Y. H. Kim, and F. L. Lewis, “Optimal design of CMAC neural-network controller for robot manipulators,” *IEEE Trans. Syst., Man, and Cybern.*, vol. 30, pp. 22-31, 2000.
- [28] W. Q. D. Do and D. C. H. Yang, “Inverse dynamics analysis and simulation of a platform type of robot”, *Journal of Robotics Systems*, Vol. 5, pp. 209-229, 1988.
- [29] G. Lbret, K. Liu and F. L. Lewis, “Singularities and dynamics of a Stewart platform manipulator”, *Journal of Intelligent and Robotics System*, Vol. 8, No. 3, pp. 287-308, 1993.

- [30] Thomas D. Gillespie 著, 車輛運動力學, 林筱增譯, 成陽出版社, 台北, 2002年5月。
- [31] Toshihiro Kobayashi, Kiyotaka Takahashi, *Linux DSP Gateway Specification* Rev2.0, Nokia Corporation, November 13 2003.
- [32] *Innovator Development Kit for the OMAP Platform User's Guide*(SPRU667), Texas Instruments.
- [33] *Innovator Development Kit for the Texas Instruments OMAP™ Platform Deluxe Model User's Guide*, Texas Instruments.
- [34] *TMS320 DSP/BIOS User's Guide* Rev B(SPRU423B), Texas Instruments.
- [35] *TMS320C55x Optimizing C/C++ Compiler User's Guide* Rev E(SPRU281E) Texas Instruments.
- [36] Ohta Y. and Tamura H., *Mixed Reality- Merging Real and Virtual Worlds*, Springer-Verlag, pp. 183-197, 1999.
- [37] McGowan J.F., *AVI Overview*, <http://www.jmcgowan.com/>.
- [38] Salvi, J., Armangué, X., and Pagès, J."A survey addressing the fundamental matrix estimation problem," In *Proceedings of the International Conference on Image Processing*, Vol. 2, 7-10, pp. 209 –212, 2001.
- [39] Seitz S.M. and Dyer C.R., "View Morphing," <http://www.cs.wisc.edu/~dyer/vision.html/>.
- [40] Maitre H. and Wu Y., "A Dynamic Programming Algorithm for Elastic Registration of Distorted Pictures Based on Autoregressive Model," *IEEE trans on Acoustic, Speech, and Signal Processing*, Vol. 37, No. 2, pp. 288-297, February 1989.
- [41] Armangué, X. and Salvi, J., "Overall view regarding fundamental matrix estimation," *Image and Vision Computing*, Vol. 21, pp. 205 –220, 2003.
- [42] Su C.-K. and Lin S.-F., "A Method for Improving the Accuracy of Fundamental Matrix Estimation by Using Camera Calibration Matrices," 2003. (This paper was submitted to the *International Journal of Computer Vision*.)
- [43] Tina Y. Tian, Carlo Tomasi, and David J. Heeger, "Comparison of Approach to Egomotion Computation," *Computer Vision and Pattern Recognition*, 1996. *Proceedings CVPR '96*, 1996 IEEE Computer Society Conference on , 18-20 June 1996 pp.315 – 320
- [44] Dimitrios Tzovaras, Nikos Grammalidis, and Michael G. Strintzis, "3-D Camera Motion Estimation and Foreground/ Background Separation for Stereoscopic Image Sequences," *Optical Engineering*, Vol.36, No.2, pp.574-580, February 1997.
- [45] <http://www.bmva.ac.uk/1997/papers/049/node2.html>.
- [46] T. Wang, X. Zhuang, and X. Xing, "Designing bidirectional associative memories with optimal stability," *IEEE Trans. on Syst. Man, Cybern.*, vol. 24, pp. 778-790, May. 1994.
- [47] C.-S. Leung, L.-W. Chan, and E. Lai, "Stability and statistical properties of second order bidirectional associative memory," *IEEE Trans. on Neural Networks*, vol. 8, pp. 267-277, Mar. 1997.
- [48] H. Shi, Y. Zhao, and X. Zhuang, "A general model for bidirectional associative memories," *IEEE Trans. on Syst. Man, Cybern. B*, vol. 28, pp. 511-519, Aug. 1998.
- [49] S. B. Cho and J. H. Kim, "Combining multiple neural networks by fuzzy integral for robust classification," *IEEE Trans. Syst., Man, Cybern. B*, vol. 25, no. 1, pp 113-120, 1995.
- [50] K. Ogawa and M. Shimotani, "Drowsiness detection system," *Technical Report of Mitshbish Electric*, Mar. 1997.
- [51] H. Sako and A. V. W. Smith, "Real-time facial expression recognition based on features' positions and dimensions," in *Proc.*

- IEEE Int. Pattern Recognition Conf.*, 1996.
- [52] C. D. Wylie *et al.*, “Commercial motor vehicle driver fatigue and alertness study,” *Project Report* (Report No. FHWAMC-97-002), Washington, D. C: Federal Highway Administration Office of Motor Carriers, Oct. 1996.
- [53] D. Chai and K. N. Ngan, “Face segmentation using skin-color map in videophone applications,” *IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol.*, vol. 9, pp. 551–564, 1999.
- [54] R. L. Hsu, M. A. Mottaleb, and A. K. Jain, “Face detection in color images,” *IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell.*, vol. 24, pp. 696–706, 2002.
- [55] S. A. Sirohey and A. Rosenfeld, “Eye detection in a face image using linear and nonlinear filters,” *Pattern Recognition*, vol. 34, pp. 1367–1391, 2001.
- [56] G. C. Feng and P. C. Yuen, “Multi-cues eye detection on gray intensity image,” *Pattern Recognition*, vol. 34, pp. 1033–1046, 2001.
- [57] R. Thilak Kumar, S. Kumar Raja, and A. G. Ramakrishnan, “Eye detection using color cues and projection functions,” in *Proc. IEEE Int. Conf. Image Processing*, 2002, vol. 3, pp. 24–28.
- [58] S. Kawato and J. Ohya, “Two-step approach for real-time eye tracking with a new filtering technique,” in *Proc. IEEE Int. Conf. Syst., Man, Cybern.*, 2000, vol. 2, pp. 1366–1371.
- [59] C.F. Juang, “A TSK-type recurrent fuzzy network for dynamic systems processing by neural network and genetic algorithms,” *IEEE Trans. Fuzzy Systems*, Vol.10, No. 2, pp. 155-170, April, 2002.
- [60] C. F. Juang, “A hybrid of genetic algorithm and particle swarm optimization for recurrent network design,” *IEEE Trans. Syst., Man, and Cyber., Part B: Cybernetics*, Vol. 34, No. 2, pp. 997-1006, April, 2004.
- [61] C. F. Juang, “Combination of on-line clustering and Q-value based GA for reinforcement fuzzy system design,” accepted to be published in *IEEE Trans. Fuzzy Systems*.
- [62] C.F. Juang and C.T. Lin, “An on-line self-constructing neural fuzzy inference network and its applications,” *IEEE Trans. Fuzzy Systems*, Vol.6, pp. 12-32, Feb. 1998.V. Gorrini and H. Bersini, “Recurrent fuzzy systems,” *Proc. IEEE Int. Conf. Fuzzy Systems*, pp. 193-198, 1994.
- [63] Zhang and A. J. Morris, “Recurrent neuro-fuzzy networks for nonlinear process modeling,” *IEEE Trans. Neural Networks*, Vol. 10, No. 2, pp. 313-326, 1999.
- [64] C. F. Juang and C. T. Lin, “A recurrent self-organizing neural fuzzy inference network,” *IEEE Trans. Neural Networks*, Vol. 10, No. 4, pp. 828-845, 1999.
- [65] D. E. Goldberg, *Genetic Algorithms in Search Optimization and Machine Learning*. Reading, MA:Addison-Wesley, 1989.
- [66] J. Kennedy and R. Eberhart, “Particle swarm optimization,” *Proc. of IEEE Int. Conf. on Neural Networks*, Perth, Australia, pp. 1942-1948, Dec., 1995.