

多功能虛擬實境動態模擬系統-子計畫一(2/2)：
虛擬實境動態模擬系統中之行為轉換及階層式控制法

Behavior Transform and Hierarchical Control
in Virtual Reality Dynamical Emulator

計畫編號: NSC 89-2218-E-009-091

執行期限: 89/08/01 - 90/07/31

主持人: 李祖添 講座教授; 共同主持人: 蘇順豐 副教授

參與人員: 陳松雄、蕭志清、林保村、洪宏淵

國立交通大學電機與控制系、國立臺灣科技大學電機系

一. 摘要

在虛擬實境的動態模擬系統中，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。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的顯示系統以及運動平台的控制系統。本子計畫以階層式的智慧控制概念來追求更高階而抽象之控制目標，也就是說將六軸運動平台的運動控制當成低階控制系統，而我們的系統則是設法設定控制輸入以使運動行為更符合需求。而高階系統部分為一模糊控制器，因此在本年度的研究中我們也探討了線上穩定模糊控制器的設計。而在高階系統中，由於模糊預估器的存在，我們也提出了一全補償式的穩定模糊控制器之設計法。另一重要的因素是操作者的力感受，而力感受則大部分是由加速度所形成的反作用力和離心力所造成的。而在實際上，由於可事先規劃，而再建入軌跡時，直接以 motion cue 的方式來修改平台的動作以達到虛擬感受的目的。然而這些 motion cue 為一堆軌跡段，無法以傳統的點對點的網路來架構，因此我們也探討了以頻域為輸入的函數型類神經網路，以便對 motion cue 區段的紀錄與參數化。

Abstract

In the research of virtual reality dynamical emulation systems, the reaction of the considered system must be truly emulated. In this project, we were aimed at transferring the behaviors of the considered

system in the simulated space into the behaviors of the emulated space. In order to achieve virtual reality in the display and in the motion of the platform, a hierarchical structure of intelligent controllers is adopted in our research. This controller takes the tradition controller as a lower controller and is aimed at achieving more versatile and abstract goals by generating suitable control input for the lower control system. Such an intelligent controller consists of two elements, a fuzzy predictor and a fuzzy logic controller. Due to the use of fuzzy controllers in the high level control, we have proposed an online stable fuzzy learning controller to fulfill the role. Besides, due to the existence of the fuzzy predictor, we also studied fuzzy control design directly based on fuzzy models. A full-compensated fuzzy controller is then proposed. For the motion cue survey, we have also proposed a frequency based function neural networks for modeling motion cues. Due to the use of frequencies as primary keys, the system possesses more robust properties in coding trajectories. With this network, motion cues trajectories can be parameterized and then reinforcement learning for motion cues can become possible.

二. 計畫緣由與目的

本計畫是在發展一個多功能的虛擬實境動態模擬系統，經由虛擬實境的技术與運動模擬器的結合，以逼真地模擬實際場景與設備或載具的運動行為。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。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的顯示系統以及運動平台的控制系統。本子計畫將以階層式的智慧控制概念來追求更高階而抽象之控制目標，也就是說將六軸運動平台的運動控制當成低階控制系統，而我們的系統則是設法設定控制輸入以使運動行為更符合需求。而高階系統部分為一模糊控制器，因此在研究中我們也探討了線上穩定模糊控制器的設計。而在高階系統中，由於模糊預估器的存在，我們也提出了一全補償式的穩定模糊控制器之設計法。

另一重要的因素是操作者的力感受，而力感受則大部分是由加速度所形成的反作用力和離心力所造成的。也就是在目標之設定上以更多樣化的目標來求最佳化。因此本計畫期望透過對目標的更多樣的設計而來達到較好的虛擬實境感受。一般而言在研究上，此部份的實現是利用 washout filter 的方式來實現，而在實際上，由於用於動態電影院，所以可事先規劃，而再建入軌跡時，直接以 motion cue 的方式來修改平台的動作以達到虛擬感受的目的。然而這些 motion cue 為一堆軌跡段，無法以傳統的點對點的網路來架構，因此我們也探討了以頻域為輸入的函數型類神經網路，以便對 motion cue 區段的紀錄與參數化。

三.研究方法及目前成果

第一年主要的研究為階層式控制器的理論探討及預估器的建立及分析比較。在第二年的主要研究為學習方法上，我們將針對不同的方法來分析。探討的方向分為線上學習及離線學習兩部分。在線上學習方面，目前我們是以模糊系統[1]及以小腦模式運算 (CMAC) [2,3]為基礎

的線上學習系統。並提出信用分配的觀念，以學習頻率來當可性度據以做誤差修正比例的分配參考。如是簡單的學習改變，確實增加了 CMAC 的學習速率。在第三年的研究為主要模糊控制上及如何將 motion cue 加以參數化。

Adaptive linearization controllers have been shown to have nice control performance. However, two functions in the controllers are derived from the considered system. Thus, those controllers can only work for known systems. In this project, we proposed a fuzzy modeling approach to model those two functions. The proposed approach is called the direct adaptive model reference fuzzy control. In this approach, the considered dynamic nonlinear model can be unknown. Different from previous adaptive fuzzy controllers, our approach does not need any auxiliary operations on input trajectories and on system states. With this property, our approach can be used to track any trajectory, even a trajectory not previously known. The proposed controller and the weight update laws only need system states and the current desired output without using any their derivatives. The Lyapunov stability theorem is used to derive controller parameters update laws, which ensure the system states remain bounded and the plant output asymptotically tracks an arbitrary piecewise reference trajectory. The proposed method is successfully applied to an unstable nonlinear system and a chaotic system. This method has been applied to control an unstable nonlinear system to track a piecewise trajectory and to control a chaotic system to track a sinusoidal reference trajectory and a triangular reference trajectory. The computer simulation showed that the proposed scheme could perform a successful control [4]. When compared to previous approaches, our approach can have better learning and control performance in those examples for all used trajectories.

This project also proposed a method of designing state feedback controllers for affine TSK fuzzy models. Various control design techniques have been proposed for TSK fuzzy models in the literature. Most of them are in a trial-and-error fashion. Those

approaches are to design trial controllers first and then check their stability by some criteria. If the condition is not satisfied, the controller is resigned. Besides, most used TSK fuzzy models are homogeneous TSK fuzzy models, in which no constant terms are allowed in consequence functions. Moreover, for those approaches, even though the controller can satisfy the stability criterion, the control performance is still not anticipated. In this project, we proposed the so-called full-compensated control design technique, in which the controller is designed to compensate all rules so that the desired control performance can appear in all rules. This kind of approach is to treat all fuzzy rules as variations of a central rule and such variations are individually dealt with in the robust control sense. In this approach, the controller is separated into two parts. The first one is to move the eigenvalues of the central rule to the desired locations. The second one is to compensate the uncertainties individually residing in all rules. The design procedure is simple and effective. The stability analysis becomes the Lyapunov theorem for linear systems. Such an approach not only can result in the use of various control design techniques but also can guarantee desired performance of the closed-loop system. Various examples are conducted in the paper. Some of them even cannot be solved by other approaches. All results showed good control performances as desired [5].

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体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。在 washout filter 上，一般在飛行模擬時都是擺在機頭的固定位置，畢竟飛機和人體的重量相差非常大，所以調

整 washout location 所造成的影響也不大，因此目前在飛行模擬方面都是固定的常數。現在關於的研究不局限於飛機，也越來越多關於汽車，甚至於機車的研究，由於這些交通工具的重量比飛機小的多，washout location 很難用固定的點，因為這麼做不合實際狀況。在騎機車時往往會改變身體的姿勢，這個時候運動的軌跡也會跟著改變。目前關於這方面的問題常常還是設固定常數，就是假設駕駛者的身體垂直於車身，所以還有很大的改善空間。關於 motion cue 不管是即時或是離線的表演，都很難做到很好的瞬間動作改變，因為平台的工作空間限制。在離線的部分可以設計動作，所以問題可以解決。而在即時的方面，飛機的模擬以往都做的還不錯，我想是因為飛機的動作比較呆板，變化少，只有在起飛和降落的時候動作有較大的變化，在飛行時動作是很平穩的。然而若要將汽車作動態模擬所遇到的問題就大很多，汽車會緊急煞車，急轉彎，遇到險惡的路面等等。motion cue 不管在即時或是離線的設計往往都是憑經驗 即使即時是用 washout filter，但是 filter 的參數的調整，filter 的設計卻沒有一定標準，依所要模擬的狀況而設計，我想是因為上述的問題還沒有很好的解決方法，所以只能用實驗測試的方式設計 filter。

力感受則大部分是由加速度所形成的反作用力和離心力所造成的。而在實際上，由於可事先規劃，而再建入軌跡時，直接以 motion cue 的方式來修改平台的動作以達到虛擬感受的目的。然而這些 motion cue 為一堆軌跡段，無法以傳統的點對點的網路來架構，因此我們也探討了以頻域為輸入的函數型類神經網路，以便對 motion cue 區段的紀錄與參數化。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。長久以來，頻域的脈衝特性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，學習演算法在進行學習時容易發生學習時間過長且落入區域性最小值之中。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。由於它優異的使得傳統性的點對點網路難以學習，在這當中還有頻域之中的複數特性（大小及相位）需要比較精確的比例才能使系統之輸出正確還原。我們以函數型網路為網路主體，運用其良好函數近似能力去趨近受建構系統之頻率響應；進行系統分析之後，此時的網路已經近似於受控體，加上複數型學習網路機制，適當地調整複數鍵結值並且保持相位的正確。為使學習可以達到所期望的輸出，列舉三種複數網路學習機制，其中兩種傳統學習法並不能正確還原受建構系統時域輸出。因此我們依照系統所需還原及複數網路特性去打造另一種學習法，結合原有之函數型神經網路主體，為頻域中之混合式函數型類神經網路。經由模擬的結果可以明顯驗證函數型網路在頻域展現出比時域更優良的性能，加以學習機制的參與網路，頻域中混合式函數型網路表現出速度快、高近似度、以及強健度的效果[6]。

四. 結論與討論

在虛擬實境的動態模擬系統中，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。本子計畫將以階層式的智慧控制概念來追求更高階而抽象之控制目標，也就是說將六軸運動平台的運動控制當成低階控制系統，而我們的系統則是設法設定控制輸入以使運動行為更符合需求。在階層式控制中，我們以模糊預估器之建立[1]來產生對控制輸入之可能結果並加以評估。而高階系統部分為一模糊控制器，因此在本年度的研究中我們也探討了線上穩定模糊控制器的設計，而我們所提出的穩定模糊控制器也確實比現存的其他穩定模糊控制器有較佳的結果。而在高階系統中，由於模糊預估器的存在，我們也提出了一全補償式的穩定模糊控制器之設計法，其不僅有相當好的控制結果，而且其設計法也可利用其他

對線性系統的控制設計法來達成所要的系統性能。另一重要的因素是操作者的力感受，而力感受則大部分是由加速度所形成的反作用力和離心力所造成的。而在實際上，由於可事先規劃，而再建入軌跡時，直接以 motion cue 的方式來修改平台的動作以達到虛擬感受的目的。然而這些 motion cue 為一堆軌跡段，無法以傳統的點對點的網路來架構，因此我們也探討了以頻域為輸入的函數型類神經網路，以便對 motion cue 區段的紀錄與參數化。而我們所提出的以頻域為輸入的函數型類神經網路也確實比原來的函數型類神經網路有較強健的記錄軌跡能力。

五. 參考文獻

- [1] 蕭志清, *具調適能力之階層式智慧型控制器*, 國立台灣工業技術學院電機工程技術學程碩士學位論文, 1993.
- [2] C. S. Lin and C. T. Chiang, "Learning Convergence of CMAC Technique," *IEEE Trans. on Neural Networks*, vol. 8, no.6, pp.1281-1292, 1997.
- [3] T. Tao and S. F. Su, "CMAC-Based online learning for robust controllers," *Proc. of 1998 R.O.C. Automatic Control Conf.*, pp. 447-452, Apr., 1998.
- [4] S.-S. Chen, S.-F. Su, and T.-T. Lee, "Stable direct adaptive model reference fuzzy control of nonlinear systems," submitted to *IEEE Trans. On Fuzzy Systems*.
- [5] C.-C. Hsiao, S.-F. Su, and C.-C. Chuang, "Full-compensated control design for affine TSK fuzzy control systems," submitted to *IEEE Trans. On Fuzzy Systems*.
- [6] 洪宏淵, *Mixed-mode Functional Artificial Neural Networks in The Frequency Domain*, Master Thesis, Dept. of Electrical Eng., National Taiwan University of Science and Technology, 2001.
- [7] S.-H. Hsieh, *On The Study of Embedding Fuzzy Concept and Prior Knowledge in Reinforcement Learning*, Master Thesis, Dept. of Electrical Eng., NTUST, 1997.
- [8] R. S. Sutton, "Learning to Predict by the Methods of Temporal Differences," *Machine Learning*, vol. 3, pp. 9-44, 1988.
- [9] T. Takagi and M. Sugeno, "Fuzzy identification of systems and its application to modeling and control," *IEEE Trans. on Systems, Man, Cybernetics*, vol. 15, no. 1, pp. 116-131, 1985.