

國科會八十六年度「科學教育研究專題研究計畫
智慧型控制實驗模組之研製與教學改進計畫(III)

Improvement on Experiment Education of Intelligent Control (III)

計畫編號：NSC87-2512-S-009-006-EE

主持人：林進燈教授

執行機關：國立交通大學電機與控制工程研究所

摘要

智慧型控制方法乃結合人工智慧與控制方法的一種技術。其作法是將人類的思考模型或是經驗知識以模糊規則庫或類神經網路的形式，結合於控制系統中以達成控制之目的。然而由於智慧型控制器往往極度依賴專家的知識與經驗以及不斷的錯誤嘗試。因此對智慧型機電控制教育而言，適當而充分的實驗教材是相當重要的。本專題計畫之目的即在發展一套有趣且普及化的智慧型控制教材，包括第一年度我們開發了一個模糊類神經網路控制模組，而第二年度則配合子計畫四、五所建立的吊車機構，成功的建立吊車定位控制的模糊經驗法則，並發展完成模糊定位控制器。第三年度我們更進一步發展了多目標模糊控制系統，使控制器能同時達成複雜多變的多目標控制的效應。在實際應用上，我們成功同時完成吊車系統的多目標控制”定位控制”與”擺動角度控制”的效果，且規畫了兩個實驗並已完成兩個實驗講義的編撰。

關鍵詞：模糊控制、智慧型吊車系統、多目標模糊控制系統。

Abstract

Intelligent control is a model-free control technology that combines artificial intelligent and control methodologies. It achieves control purposes based on expert knowledge and

experience expressed in the form of (fuzzy) IF-THEN rules or neural networks. However, the design of intelligent controller usually relies heavily on expert knowledge and trial-and-error processes control. As a result, proper laboratory experiments are imperative to the education of intelligent control. The goal of the project is to develop a series of attractive and popular teaching experiments on intelligent control. In the first year, we developed a neuro-fuzzy control module. In the second year, according the crane developed in Subproject Four and Five, we designed a fuzzy control for XY-axis position control of a crane. Furthermore, in the third year, we developed a multiobjective fuzzy control system to achieve complicated multiple objectives at once. For practical applications, the multiobjective fuzzy control system has been used successfully to achieve the position control and swing angle control of the crane system. We also designed two experiments and finished the writing of the handout for these experiments.

Key words: Fuzzy logic control, crane, multiobjective fuzzy control system.

簡介

近年來，智慧型控制已廣泛且成功的應用在各類的控制問題上。這是因為傳統控制對數學模型的依賴性。而大部份的機電整合

系統又都具有一定的複雜度，往往很難以精確的數學模型描述，因此應用智慧型控制可避免對系統數學模型的依賴性，而藉由實際的操作經驗來建立其控制規則。然而由於智慧型控制器往往極度依賴專家的知識與經驗以及不斷的錯誤嘗試。因此對智慧型機電控制教育而言，適當而充分的實驗教材是相當重要的。故本專題計畫之目的即在發展一套有趣且普及化的智慧型控制教材

本專題計畫第一年成功的開發出一個模糊類神經網路控制模組，這使得使用者能在友善的視窗介面下，有效的建構模糊系統與智慧型控制器。在實際應用上，也成功的完成對非線性的吊車模擬的控制，且規畫了兩個實驗與實驗講義之撰寫以利使用者的驗證。而專題的第二年度，重點則擺在實際硬體機構與控制器的開發，因此首先我們配合子計畫四、五建立一個吊車機構，再藉由模糊控制理論成功的建立吊車定位控制的模糊經驗法則，並發展完成模糊定位控制器。我們亦規畫了兩個實驗與實驗講義之撰寫以利使用者的驗證。

在前兩年度，我們已完成基礎智慧型控制的軟硬體教材。而第三年度裡，希望能進一步開發出更複雜而有效率的控制器。因此提出了一個多目標模糊控制系統，使設計出來的控制器能同時達成複雜多變的多目標控制的效應。在實際應用於第二年所開發出來的吊車硬體系統，我們開發的多目標控制器希望能對吊車系統同時達到”定位控制”與”擺動角度控制”的效果。我們亦規畫了兩個實驗並已完成兩個實驗講義的編撰以利使用者的驗證。

多目標模糊控制系統

這個章節我們將介紹所提出的多目標模糊控制系統(Multiobject Fuzzy Control System, MFCS)與其重要構成物件”類神經模糊結合器(Neuro-Fuzzy Combiner, NFC)”如圖二所示，我們提出的多目標模糊控制系統(MFCS)的架構基本上是如同圖一的閘級結構，其由類神經模糊結合器(NFC)來實現一個

軟性開關(Soft Switch)的功用。在我們提出的MFCS中，我們利用NFC來結合n個低階控制器。此n個低階控制器在圖二中被標示成模組(module) 1到n。在每個時刻，每個模組從環境接收一個輸入向量 I_i 並產生一個控制訊號 f_i 當成NFC的輸入以利更進一步的處理。這裡有個假設需先成立，就是每個低階控制器必須是已被設計好來達成多重目標中的某個特殊目的。因此根據現階段所得到的控制效應，NFC扮演著組合n個低階控制器的動作 f_i ，然後產生一個適當的輸出 f 給受控系統，而使整個系統最後能同時達成多種控制目的。接下來我們將專注於NFC的設計方式。

如圖二所示，這NFC由兩個物件”模糊關聯網路(Fuzzy Context Network, FCN)”與”整合單元(Integration Unit)”所組成。首先模糊關聯網路(FCN)根據每個時刻裡的n個控制狀態訊號 E_i 而決定一組適當的權重(weight) w_i 給n個低階控制器所產生的動作。這裡控制狀態訊號 E_i 指出目前時刻每個需求的目標所受控的情況，其定義為

$$E_i = \text{degree of distance of goal}_i$$

任何適當的距離量測方式皆能在此使用。再來藉由FCN所產生的權重訊號 w_i 決定了適當的獎勵值給n個低階控制器的動作後，整合單元(Integration Unit)將做以下的線性權重加成(linear weight summation)來結合n個低階控制器的動作而獲得一個最後動作 f 來當成對受控體的控制訊號：

$$f = \sum w_i \times f_i \text{ 或 } \sum w_i$$

這FCN功用基本上是發現在控制狀態訊號 E_i 與低階控制器所產生的動作之獎勵訊號 w_i 間動態的映射關係(dynamic mapping)。很明顯對處理多目標控制的問題，這種映射關係一定是高度非線性且複雜多變的。這是因為不同的目標必定存在不同的優先權(priorities)，且彼此間亦有一定程度的相關聯性。舉個例來說，在時刻t得到一個小訊號 E_i ，表示對於第i個目標而言還離成功的目

的有一段距離，此時一般的作法會在 $t+1$ 時刻，給低階控制器所產生的動作之獎勵訊號 w_i 較大之值，而希望此目標能加速達成。然而由於多重目標間存在一定程度的優先權與相關聯性，因此有時反而會在 $t+1$ 時刻給個較小的獎勵訊號 w_i 。我們對這問題的解決方式有好幾種[1~2]，最簡單而直覺的方式就是利用專家的知識與經驗將模糊規則庫建立而完成模糊控制器。接下來我們提出一種階層式(hierarchical)設計方式，將專家知識與經驗加入其中，來建構多目標模糊控制器。

類神經模糊結合器之階層式設計方式

如同在上一章節所描述的，提出的多目標模糊控制系統(MFCS)其主要構成物件為類神經模糊結合器(NFC)。而設計 NFC 的主要癥結點在於設計模糊關聯網路(FCN)。故這一章節我們將敘述如何以階層式(hierarchical)的設計方式來建構 FCN。

這提出的階層式 FCN 設計方法是參考 Berenji[3] 所提出的階層式模糊控制器設計方法。Berenji 的方法原本也是用來設計具有多重目標的控制器。在其作法裡，假設優先權(priority)順序能在目標間被指定。則首先我們讓 n 個想要一同達到的目標之優先權順序為 g_1, g_2, \dots, g_n 。舉個例來說，在控制吊車機構的問題裡，我們可以讓控制吊車快速到達定位的目標的優先權擺在第一位，而讓考慮行進間的吊車之載重物晃動角度的優先權擺在第二位。再來假定輸入的變數 x_i 相關聯於想達成的目標 g_i ，我們用下面步驟導出控制的規則：

步驟一：

假設模糊法則 R_1 相關聯於最高優先權目標，而模糊法則可寫成如下形式：

IF x_1 is A_1 , Then z is C_1

步驟二：

接下來對 $i=2, \dots, n$ 陸續形成模糊法則 R_i 。這些模糊法則的形式都類似於步驟一的型態，除了需加入接近前一個目標的考慮，也

就是說 IF g_{i-1} is approximately achieve AND x_i is A_i , Then z is C_i 。我們可在上式等式左邊加入更多的 precondition 部份，而看出目標 g_i 與 g_{i-1} 相互影響的關聯性。以同樣吊車的例子來說，首先我們規畫出模糊規則來考慮吊車快速移動到定位的問題，再來考慮保持行進間的吊車之載重物晃動角度問題時，模糊法則的 precondition 部份可將”吊車是否快要移動到定位”的條件加進去。

上面提出的設計觀念可以拿來設計我們的多目標模糊控制器(MFCS)中的模糊關聯網路(FCN)。這裡控制器設計的過程將變為簡單化許多，這是因為我們能針對每個需求的特殊目標獨立來設計 MFCS 中的每個低階控制器(low level controller)，且在設計 FCN 過程中我們有考慮到每個目標間的互相關聯性。這階層式 FCN 設計方法的基本觀念是讓 FCN 在低階控制器產生的動作間作軟性的切換而嘗試著先達到高優先權的目標。當高優先權的目標接近達成後，FCN 以同樣的方式一一考慮較低優先權的目標。再次拿吊車機構為例，假設控制狀態訊號 E_1 和 E_2 ，其分別針對第一個控制目標” g_1 為使吊車快速到達定位”而第二個控制目標” g_2 為保持載重物晃動角度”。而低階控制器亦假設已被設計好來分別達成各自目標 g_i ，則建構 FCN 的模糊規則庫可被設計如同圖三所示。在這裡 FCN 的輸入是控制狀態訊號 E_1 和 E_2 ，而輸出為低階控制器產生動作之權重值 w_1 和 w_2 。另外對 E_1 和 E_2 而言所對應的模糊歸屬函數集合分別為”N(近, Near)”, ”Z(中, Medium)”, ”F(遠, Far)” 與 ”N(負, Negative)”, ”Z(零, Zero)”, ”P(正, Positive)”; 對 w_1 和 w_2 而言所對應的模糊歸屬函數集合皆為”S(小, Small)”, ”M(中, Medium)”, ”L(大, Large)”。在這例子裡，我們假設如果 E_1 =Near，則表目標 g_1 幾乎已經達成了。而如果 E_2 =Zero，則表目標 g_2 幾乎已經達成了。注意這裡模糊歸屬函數的定義可為高斯函數或三角形函數，

其定義域變化的範圍可視為均分輸入與輸出值域的範圍。而輸入值域 E_i 一般訂為[-1~1]之間，輸出值域則訂為[0~1]之間。

從圖三中的模糊規則庫可看出，當第一個目標未達到時，也就是 $E_1 \neq \text{Near}$ ，則 FCN 將對第一個低階控制器產生的動作做正面的獎勵($w_1 = \text{Large}$)，而同時第二個低階控制器產生的動作將會被壓抑($w_2 = \text{Small}$)。我們亦可觀察到第二個低階控制器產生的動作只有當第一個目標達成時($E_1 = \text{Near}$)，系統才會做出正面的獎勵($w_2 = \text{Large}$)。在這相同時刻，第一個低階控制器產生的動作將會被壓抑($w_1 = \text{Small}$)。另外當兩個目標都被達成時($E_1 = \text{Near}$ 與 $E_2 = \text{Zero}$)，此時 FCN 將給兩個低階控制器產生的動作相同的獎勵值($w_1 = w_2 = \text{Medium}$)。接下來我們以吊車系統為實驗平台，提出兩組實驗結果來驗證我們的方法。

實驗結果

這裡我們以吊車系統為我們的實驗平台，提出了兩個實驗來驗證我們理論的可行性。第一個實驗參考 Fliess[4]裡提出的吊車數學模型，配合著文章裡所給的吊車規格，用電腦模擬出我們所要的結果。第二個實驗則是參考現有的吊車硬體機構，探討如何做個修改而實際將多目標控制器應用在硬體機構上。

<實驗一>

詳細的吊車數學模型請參考 Fliess[4] 論文。至於吊車的一些規格定義如下：(1) 吊車本身重 5000kg 而載重物亦是 5000kg。(2) 載重物晃動角度 θ 在 $-30^\circ \sim 30^\circ$ 。(3) 輸出力 f 在 $-00^6 \sim 000^6 N$ 。而為了應用 MFCS 去解決吊車的兩個目標控制問題(定位與擺動角度控制)，首先 E_1 和 E_2 兩個控制狀態訊號定義如下：

$$E_1 \stackrel{def}{=} gX_1 \text{ gtn} - X_{desired} \text{ mx}_{desired}$$

$$E_2 \stackrel{def}{=} X_2 \text{ gtm} 30^\circ$$

其中 $X_1 \text{ gtn}$ 是吊車目前的位置， $X_{desired}$ 是我們想要吊車到達定點的位置而 $X_2 \text{ gtm}$ 是載重物擺動的角度 θ 。控制狀態訊號 E_1 指出第一個控制目標的狀態，也就是移動吊車到所指定的定點位置 $X_{desired}$ 。控制狀態訊號 E_2 指出第二個控制目標的狀態，也就是維持吊車載重物的晃動角度在一定範圍內。這裡兩個訊號分別被正規化成[-1~0]與[-1~1]的範圍間，而當 E_i 接近於零時表示第 i 個控制目標快達成了。注意我們正規化控制狀態訊號 E_1 成[-1~0]而不是[-1~1]範圍的原因是在於我們不希望移動吊車到想定位的位置後，讓吊車超過和在這定位的附近來回震盪。

另外在設計 MFCS 的 NFC 前，我們必須先設計好兩個低階控制器來個別達成位置控制與角度控制的目的。這裡因為各個低階控制器的目標已被獨立出來，其設計方法簡單而直覺，可用傳統的 PID 控制，當然了，模糊控制亦可被用於此處。圖四與圖五分別指出其設計好的控制器只掌管個別的控制目的，這裡我們用的是模糊控制器。如圖四中的位置控制器只負責將吊車移至定位，而到達定位後並沒有讓吊車的載重物的晃動情況降至最低。還有圖五中的角度控制器負責控制吊車載重物的角度，但對最後吊車位置為何並不在乎。經過這些前置處理工作後，我們就可運用圖三的模糊規則庫建立 NFC 中的 FCN 架構。當然了到此就可成功的完成多目標模糊控制系統(MFCS)。如圖六中所示，我們針對四個不同的 $X_{desired}$ 的目標 ($X_{desired} = 25\text{m}, 50\text{m}, 75\text{m}, 100\text{m}$)，一一達成對系統的多目標控制。

<實驗二>

在第二個實驗，我們想進一步探討所提出的多目標模糊系統的可塑性。首先我們若針對不同結構的吊車平台(如第二年所建構的吊車平台)時，所需變動的只是低

階控制器的設計與控制狀態訊號 E_2 (E_2 的定義中 30° 可改變成你所想要吊車載重物晃動的最大角度變化值)，最重要的 FCN 模糊規則庫仍可使用。再來若應用在其他不同機構，如倒立單擺實驗中，希望達到移動單擺機構到定點與保持單擺倒立的兩個目標時，則除了需對個別低階控制器提出設計方式與重新定義控制狀態變數 E_i 外，最重要我們要融合專家的知識與經驗，考慮目標間優先權與相互影響的關係，而設計出 FCN 的模糊規則庫[1]。

討論

本年度的計畫，目的在於提出一個多目標控制系統，希望能達成更複雜多變的多目標控制。而由<實驗一>與<實驗二>我們確實驗證了所提出系統的實用性。但由這兩個實驗，我們亦知這個系統有個最大缺點，就是需要運用專家的知識與經驗，但這也是一般模糊控制的問題所在，在參考文獻[1~2]中有提到有關這方面的解決方法。

參考文獻

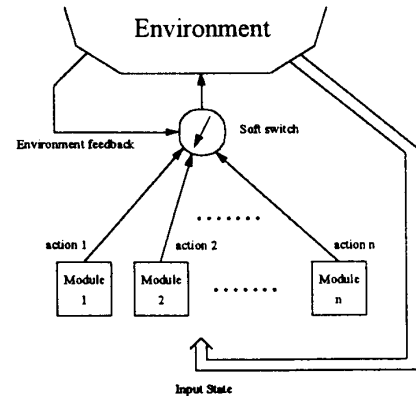
[1] I-Fang Chung and Chin-Teng Lin, "A Neuro-Fuzzy Combiner for Multiobjective Control," 1997 中華民國第五屆模糊理論與應用會議, pp. 48-53.

[2] I-Fang Chung and Chin-Teng Lin, "A Reinforcement Neuro-Fuzzy Combiner for Multiobjective Control," 1998 年海峽兩岸交通大學電子與信息工程學術研討會.

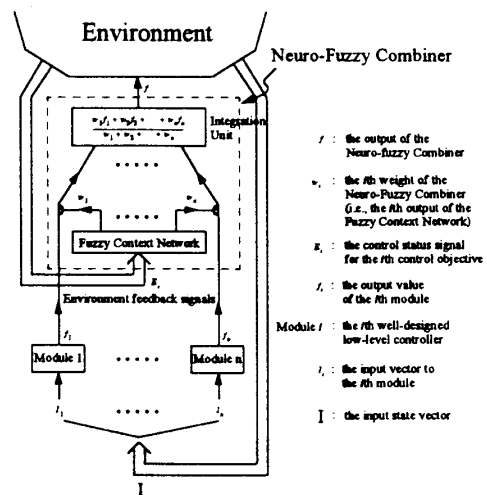
[3] H. R. Berenji, Y. Y. Chen, C. C. Lee, J. S. Jang and S. Murugesan, "A Hierarchical Approach to Designing Approximate Reasoning-Based Controllers for Dynamic Physical Systems," *Sixth Conference on Uncertainty in Artificial Intelligence*, Vol. 8, No. 5, pp. 362-369, 1990.

[4] M. Fliess, J. L'evine and P. Rouchon,

"A Simplified Approach of Crane Control via a Generalized State-Space Model," *IEEE Proc. of the 30th Conference on Decision and Control*, Brighton, England, pp. 736-741, December 1991.



圖一：閘級架構



圖二：多目標模糊控制系統

		F	M	N
E_1	N	L	L	S
	Z	L	L	M
	P	L	L	S

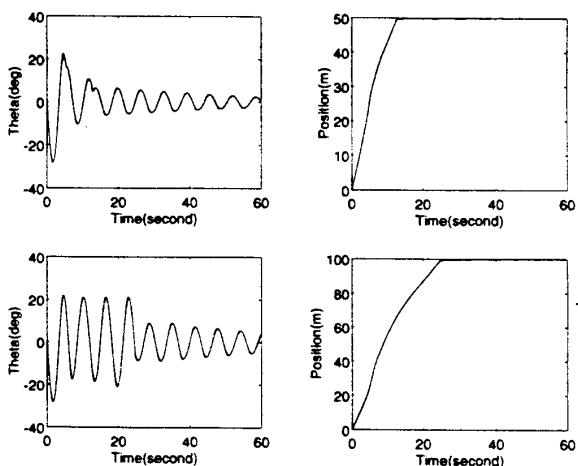
		F	M	N
E_2	N	S	S	L
	Z	S	S	M
	P	S	S	L

(a)
(b)

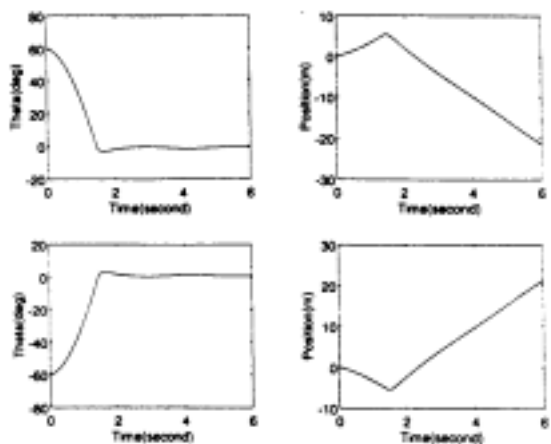
圖三：在吊車系統中，建構模糊關鍵網路 (FCN) 之模糊規則庫。(a) w_1 之模糊

規則庫。(b) w_2 之模糊規則庫。

圖六：吊車之多目標模糊控制器實驗結果



圖四：吊車系統之位置控制器實驗結果



圖五：吊車系統之角度控制器實驗結果

