

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

子計畫一：非線性未知系統之智慧型多目標決策與控制研究

計畫類別：整合型計畫

計畫編號：NSC92-2213-E-009-009-

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：李祖添

計畫參與人員：林洋霆 林添睦 李明橋 范詠健 羅雅齡

報告類型：完整報告

報告附件：出席國際會議研究心得報告及發表論文

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 93 年 11 月 1 日

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

計畫編號：NSC 92-2213-E-009-009

執行期限：92年08月01日至93年07月31日

主持人：李祖添 教授 國立交通大學電機與控制工程學系

計畫參與人員：林洋霆 林添睦 李明橋 范詠健 羅雅齡

一、中文摘要

非線性未知系統的多目標最佳化控制一直是控制領域一個比較困難的問題。本子計畫為期三年，研究內容包含探討用類神經網路來解決多重目標最佳化決策與控制的問題。本子計畫提出一種以觀測器為基礎的適應性模糊-類神經系統可達到輸出追蹤的目的，其可以用於一組非線性未知動態系統的最佳控制問題求解。其次，吾人將再設計一個上層的模糊-類神經系統，來解決多重目標最佳化決策與控制的問題，結果將與其他方法做一比較。

本計畫為「智慧型車輛之控制、感測與資訊處理技術研發」之子計畫一，研發重點為針對一個未知的非線性系統，發展出一套可以從事多重目標智慧型最佳決策控制的方法，俾作為智慧車決策與控制之重要參考。

關鍵詞：非線性、多目標決策與控制、模糊-類神經控制

Abstract

This project is the subproject no. 1 of the group project "Research on Control, Sensing and Information Technology of Intelligent Vehicles". This project is focused on the development of an algorithm for intelligent multi-objective optimal decision and control of unknown nonlinear dynamical systems. The developed results will serve as a major tool of the decision and control of an

intelligent vehicle.

Major research works of this three-year project include the development of a hierarchical structure for solving the proposed multi-objective decision and control problem. First, the observer-based output feedback control law and update law to tune on-line the adjustable vectors of the adaptive fuzzy-neural controller for output tracking for a class of unknown dynamical systems is developed. Then, a multi-layer fuzzy-neural system, serving as the upper level coordinator and decision making purpose, is properly design to fuse the n-actions determined by the n low-level adaptive fuzzy-neural controller to determine the optimal action acting on the plant at each time step. The simulated annealing will be compared with those obtained by other different approaches.

Keywords: nonlinear, multi-objective decision and control, fuzzy-neural control

二、緣由與目的

自從車輛被發明之後就一直扮演著人類日常生活中一項不可或缺的交通工具，然而近幾年來隨著車輛數量的大幅成長，駕駛員所可能遇到的行車疲勞之負擔與行車安全之威脅也相對地越來越高，車輛的行車安全考量問題就顯得日益重要，所以本計畫積極地尋求如何將先進的科技運用在車輛上以提昇車輛行駛時的安全性，以

求能夠減少事故以及傷亡的發生。近年來智慧型運輸系統 (Intelligent Transportation Systems, ITS) 持續受到國內、外各界廣泛地注意與討論，各國亦投入可觀的資源進行 ITS 的研發、測試、應用與推廣等工作 [1, 2]。整體而言，發展 ITS 旨在運用先進科技於既有的運輸系統，使有限的運輸資源作最有效的利用，以增進「行」的便利，提昇人民生活品質。

根據內政部警政署統計，歷年來台灣地區每年因交通事故而死亡的人數皆維持在三千人左右，而受傷人數亦在三千人左右，分析其肇事原因，百分之九十七以上是駕駛不當所致，這些交通事故不僅造成個人及家庭的負擔，更是社會有限醫療資源及國家生產力的損失，同時也說明了對於先進安全車輛的重要性與需求的急迫性。

目前國外方面關於先進安全車輛的發展比較卓越成果的有美國、歐洲與日本等地，其中美國的國家高速公路安全局 (NHTSA, National Highway Traffic Safety Administration) 在 1968 年首先提出車輛安全強化 (ESV, Enhanced Safety of Vehicle) 的計畫，在受到歐洲各國、日本及澳洲的響應後，目前已經成為定期舉辦的國際性研討會。歐洲各國在先進安全車輛方面並沒有由政府主導的研發計畫，大多是由各大車廠自行進行開發的工作，近幾年來 VOLVO、SAAB、BMW、BENZ... 等車廠所發表的主動式車體控制 (ABC, Active Body Control)、各種型式的安全氣囊... 等安全裝置，都是車輛先進安全裝置商用化的代表 [3-5]，其目的主要在透過特殊軟硬體之建立與整合，提供車外交通路況之即時資訊，減少車輛事故之發生，並提高道路上行駛汽車之安全性。

非線性未知系統的多目標最佳化控制

一直是控制領域一個比較困難的問題。其困難主要表現在幾個方面，一是被控對象沒有可利用的數學模型，僅能依據經驗或其輸入輸出數據對它進行認識；二是系統各個控制目標不能用精確解析式子進行定量描述；三是系統的運行狀態有很多不確定性。上述三方面的困難使得已有的基於模型的多目標最佳化理論不能有效解決。多目標最佳化問題在目標函數和限定條件都有確切解析式表示時已有不少較新的解決方案，如最優平衡集 [6]，加權 Pareto 邊界 (Weighted Pareto front) [7]， ε -約束方法 (ε -constraint) [8] 等。為了擺脫經典求解方法的困難與限制，借助於電腦的強大計算能力，遺傳算法被廣泛用於複雜多目標最佳化 [9]。

本子計畫主要針對無確切數學模型的多輸入多輸出被控對象的模糊控制器進行多目標最佳化控制設計問題進行討論。目標仍是在問題的求解域內找到一個最好的折衷解，使得各個目標都能取得可能環境條件下的最優方案。借用 Pareto 非次解的思想，本子計畫提出了多目標最佳化控制問題的 Pareto 規則基和近 Pareto 控制算法。給出了輸入輸出具有單調關係和時間慣性關係的一類常見被控系統的 Pareto 規則基的建立方法，該方法用數學語言描述了多目標人工控制的折衷經驗。其度量思想為控制響應對目標的支援度僅取決於其控制動作發生以後的動態過程，而與控制動作執行以前的狀態無關。

三、研究方法

3.1 多目標控制問題的基本觀念

對於僅能得到部分資訊的多輸入多輸出非線性系統，一般只能通過輸入輸出量及其響應過程的觀測對其進行認識。對此系統用狀態方程表示法已不能奏效，為了

能有效的描述這類系統的動態特性，有必要引入系統觀測量和系統狀態轉移過程函數概念。首先我們明確一些容易混淆的概念如下：

1. 系統控制量（即被控對象的輸入量）：表徵對被控對象施加控制動作的量，它的改變將影響被控對象的輸出。簡稱控制量。

2. 系統輸出量（即被控對象的輸出量）：是被控制的量，其大小將隨著系統控制量大小的改變而改變。

3. 系統給定值（點）：是指希望系統輸出量所達到的目標值。

4. 偏差：系統輸出量與系統給定值之差，稱為系統的偏差。

系統給定值、系統的輸出量、偏差及偏差對時間的各階導數、系統輸出曲線的一些特徵參數都籠統稱為系統觀測量，觀測量在實際系統中均可通過測量而得到。觀測量論域中的點稱為系統的狀態。

在以電腦為核心的智慧控制系統中，控制量的輸出變化通常是以跳變（階躍變化）形式給出的，系統的輸出軌跡受控制量跳變序列與時間 t 的制約。在系統的輸入輸出精確模型難於得到時，可從定性的角度研究其輸入輸出特性。為了能較為確切地描述這類系統如下：

有 q 個控制量為 $\mathbf{u}=(u_1, \dots, u_q)$ 與 r 個輸出量為 $\mathbf{S}=(S_1, \dots, S_r)$ 的受控系統 \mathbf{P} ，設初值為 \mathbf{u}_0 的控制量 \mathbf{u} 的跳變序列為 $\mathbf{u}_0, \mathbf{u}_1, \dots, \mathbf{u}_n$ ，即在時刻 t_k ，控制量 \mathbf{u} 由 $\mathbf{u}=\mathbf{u}_{k-1}$ 跳變到 $\mathbf{u}=\mathbf{u}_k$ ， $k=1, \dots, n$ ，輸出量 \mathbf{S} 從初始值（點） $\mathbf{S}(t_0, \mathbf{u}_0)$ 開始的響應過程可用時間 t 、控制量 \mathbf{u} 及綜合擾動量 ξ 的函數向量 $\mathbf{S}(t, \mathbf{u}, \xi | \mathbf{u}_0, \mathbf{u}_1, \dots, \mathbf{u}_n)$ 描述，稱之為被控系統 \mathbf{P} 在控制量跳變序列 $\mathbf{u}_0, \mathbf{u}_1, \dots, \mathbf{u}_n$ 作用下的響應過程描述函數向量，簡稱為過程函數。

由於擾動量可歸併到輸入量考慮，故

可將 $\mathbf{S}(t, \mathbf{u}, \xi | \mathbf{u}_0, \mathbf{u}_1, \dots, \mathbf{u}_n)$ 簡寫為 $\mathbf{S}(t, \mathbf{u} | \mathbf{u}_0, \mathbf{u}_1, \dots, \mathbf{u}_n)$ 。若 $\exists \delta > 0$ ， \exists 整數 $k \geq 0$ 使得 $\mathbf{S}(t, \mathbf{u}_k | \mathbf{u}_0, \mathbf{u}_1, \dots, \mathbf{u}_n)$ 在 $t \in (\tau - \delta, \tau]$ 或 $[\tau, \tau + \delta)$ 內保持不變，則稱 τ 為一個 \mathbf{P} 的一個平衡點，稱 $\mathbf{S}(\tau, \mathbf{u}_k | \mathbf{u}_0, \mathbf{u}_1, \dots, \mathbf{u}_n)$ 為一個平衡狀態，記作 $\mathbf{S}(\mathbf{u}_k)$ 。很多系統，當控制量固定在任意點處，系統通常會出現平衡點，如恆端電壓電烤爐箱體內的溫度，恆載恆端電壓牽引電動機的轉速，而有些系統的平衡點一般在控制量取某些特定控制點時出現，如汽車僅當方向盤所指方向與車體平行時，對任意油門和剎車位置車子的速度才會出現平衡點。

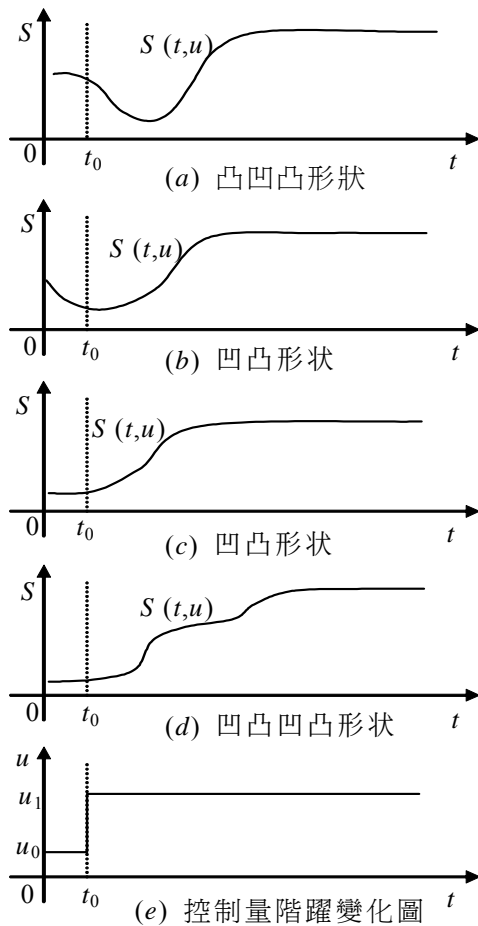
假設若控制點 \mathbf{u} 能使系統 \mathbf{P} 達到平衡點，則用 $\mathbf{S}(\mathbf{u})$ 表示控制量取值為 \mathbf{u} 時所對應的系統輸出量 \mathbf{S} 的平衡值（所以與時間 t 無關）。此後本子計畫僅討論只要保持控制量不變系統便會在有限時間內達到平衡狀態的被控系統。實際上，系統的某個輸出量在不同狀態下具有不同的時間慣性，令

$$T = \sup \{ \tau | \xi \in \Xi, \mathbf{u}_0, \mathbf{u}_1, \dots, \mathbf{u}_n \in U, \forall t > t_n + \tau, \mathbf{S}_k(t, \mathbf{u} | \mathbf{u}_0, \mathbf{u}_1, \dots, \mathbf{u}_n) = \mathbf{S}_k(\mathbf{u}_n) \}$$

為系統從任何狀態到達平衡狀態所需的最大動態時間。它給出了一個足夠長的時間段，用於判別控制量施加之後的系統動態特性。

觀察輸入輸出具有單調慣性關係的系統，可發現下列共性：無論輸入量是連續變化還是階躍變化，其輸出狀態的過程總是連續的；當系統輸出處於上升（或下降）態時，採用使輸出向相反方向轉變的控制動作，系統輸出仍可能維持一段時間的上升（或下降）態勢；在控制量某個階躍改變作用下，視系統輸出在控制量改變時刻的趨勢，輸出的幾種常見情況如圖一中(a), (b), (c)所示（注意曲線的凹凸性），而圖(d)所示的情況，即向同一方向的變化速度出現接連兩個以上“逐漸增大到逐漸減小”

的過程，是不常見的，這種情況不在本計畫的考慮之列；在相同狀態下控制量分別採取兩個不同跳變，則其後產生的兩個過程輸出在任何時刻都保持同樣的不等關係；系統的慣性對輸入量具有濾波作用；系統具有自平衡功能，即當控制量保持不變時系統輸出經慣性時間 T 後會自動達到平衡狀態，其最終的平衡值將取決於控制量序列的最後一項；從控制量發生跳變時刻開始，系統在到達最終平衡值之前沒有平衡點。

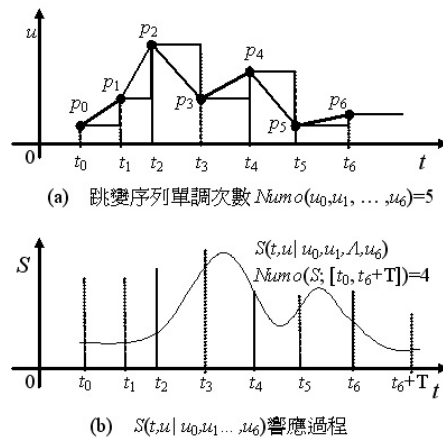


圖一：控制量階躍改變引起的輸出情況示意圖

綜合考慮各種現象，對上述系統定性的給出下述定義。為了書寫與敘述方便，下述定義中僅考慮單輸入單輸出系統，對於多輸入多輸出系統，僅需考慮其中一個

輸出量且固定其他的控制量而只允許其中一個控制量變動即可。

圖二給出了控制量跳變序列 u_0, u_1, \dots, u_6 的單調次數與該控制量列作用下的單調慣性過程示意圖。其中，圖(a)給出了控制量的跳變過程和對應的折線，點 p_k 的座標為 $(t_k, u_k), k=0, \dots, 6$ 。圖 (b) 中給出了輸出量 S 在 u_k 作用下的響應曲線。由於慣性作用，其濾掉了圖 (a) 中從點 p_5 到 p_6 出現的響升現象 $Numo(u_0, \dots, u_6)=5$ ， $Numo(S; [t_0, t_6+T])=4$ ，因而，後者的單調區間數少於前者的單調次數。



圖二：跳變序列響應過程示意圖

對於多輸入多輸出實際應用系統，在控制策略上一般總是採用分時或是採用分段方式將控制分解為單輸入單輸出系統。其具體實現過程一般是將系統狀態引導到某個狀態時，將某些輸入鎖定在某個固定值上，而只通過調整其中一個控制量，對系統進行精細調整。因而，從控制的微觀過程上看，多輸入多數出系統可看作是單入單出系統的時序組合。

3.2 模糊系統

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運用到各種自動控制系統，模糊邏輯控制器中的模糊規則為匯集專家的經驗和操控法則。一些陸續的研究也證明了模糊邏輯控制器在面對系統具有不確定性、時變性和非線性等複雜狀態時皆能提供傳統控制器無法達到的效果[10-13]。模糊控制器過程中還密切觀注著系統狀態響應過程的種種特徵數據（變化趨勢、變化速度、“時間-輸出”曲線的形狀特徵等）。倘若過程發生異常情況，將採用異常處理措施給予矯正，所以人工經驗規則可表述為：若狀態 x 為 $x(t)$ 且控制量 u 取 $u(t, T_i)$ 則應有正常的響應過程且預期狀態為 $x(t+T_i)=g(x(t), u(t))$ ，否則應按異常處理。據此可抽象為如下的全息控制規則：

If x is $x(t)$ then u is $u(t, T_i)$ so that
Chara(g) \in Normal and $x(t+T_i)=g(x(t), u(t))$
otherwise
 u is $u'(t', T'_i)$

其中， $u(t, T_i)$ 表示時刻 t 的控制量， T_i 表示預期的作用時間，Chara(g)表示過程之特徵， g 表示過程函數，Normal 表示正常過程特徵集， $u'(t', T'_i)$ 表示過程異常時採取的控制量， t' ， T'_i 分別表示異常出現的時間和 u' 的預期作用時間。上述全息規則中最為重要的是三條資訊：系統狀態與控制量之間的模糊對應關係、規則的作用時間以及對作用時間後目標狀態的預測。據此，我們引入更容易用數學語言描述的擴展規則的概念。

不同的控制規則一般具有不同的作用時間。利用不完全觀測量資訊描述的人工經驗規則使用過程中，以時間為代價換取規則對結果狀態的預測功能。每條規則的響應域，實際上是完全資訊空間中的一個區域在規則使用的、不完全資訊空間上

的投影域，而位元於那個完全資訊空間區域中的且在規則中未使用的那些資訊的作用是可以忽略的，或著是已知的。每條規則中附加上其作用時間，是為了保證每條規則的結果狀態位元於規則未使用的資訊不起作用的、或作用為已知的、完全資訊空間中的區域內。簡言之，在規則的響應域和結果域中，規則未使用的資訊是不起作用的。比如，僅依靠偏差大小描述的兩條控制規則移交控制權時，必須在第一條規則作用下系統輸出趨勢為已知時（一般為輸出平穩時）方可使用第二條規則，此時，偏差的一二階變化率的作用是已知的，並且規則未使用它們。每條規則的作用時間，應該大於等於規則輸出作用下使系統輸出趨勢變為已知所需的最小時間。僅依靠規則進行控制的人工系統中，啓用某一條規則時，依據兩個條件：一個是上條規則作用時間到，另一個規則對當前系統狀態具有最大響應強度。

3.3 多目標控制問題的數學模型

多目標最佳化控制器設計問題，實際上是尋求一種控制算法，使得從任一系統狀態出發，控制器可自動找到一條系統狀態轉移過程 $S(t, u_k | u_0, u_1, \dots, u_n)$ ，使一組目標都達到可能達到的最好水平。該狀態轉移過程對應於一組時變的系統狀態和控制動作的序列。在目標函數中，有些是即時的，有些則是過程的階段性指標，它不僅與時間有關，與歷史也密切相關，如在汽車自動駕駛控制系統中，幾個顯然的目標有安全、舒適、速度快，油耗量低等，其中速度和兩個指標可認為是即時的，而舒適與油耗則與整個控制過程相關。因而，系統達到目標的程度主要取決於系統響應過程 $S(t, u | u_0, u_1, \dots, u_n)$ 的特性。考慮到實用性，對動態過程的考察一般應在有限時間內完成，因而假定對應的控制量序列是有

限的。

目標向量函數是對問題的優化目標的數學描述，通常表述為若干優化目標的一個和式。目標函數的選取必須正確體現對問題的整體優化要求。例如，如上所述，當解空間包含不可行解時，目標函數中應包含對不可行解的罰函數項，借此將一個有約束的優化問題轉化為無約束的優化問題。一般地，目標函數值不一定就是問題的優化目標值，但其對應關係應是顯明的。此外，目標函數式應當是易於計算的，這將有利於在優化過程中簡化目標函數差的計算以提高演算法的效率。令目標向量函數為：

$$g(S(t, u | u_0, u_1, \dots, u_l)) = (g_1(S(t, u | u_0, u_1, \dots, u_l)), \dots, g_n(S(t, u | u_0, u_1, \dots, u_l)))$$

其限定條件為

$$h_1(S(t, u | u_0, u_1, \dots, u_l)) \geq 0, \dots,$$

$$h_p(S(t, u | u_0, u_1, \dots, u_l)) \geq 0$$

$$h_{p+1}(S(t, u | u_0, u_1, \dots, u_n)) = 0, \dots,$$

$$h_{p+q}(S(t, u | u_0, u_1, \dots, u_n)) = 0$$

記這些求解條件所確定的控制量 u 的求可行域為 Ω ，設某種綜合折衷運算為

$$\lambda: R^n \rightarrow R^1$$

$$\forall x = (x_1, \dots, x_n) \in R^n, x \square \rightarrow \lambda(x) \in R^1$$

則最佳化問題歸結為求控制量序列

$$v_0, t_1, (v_1, t_2), \dots, (v_l, t_{l+1})$$

使得

$$\lambda(g(S(t, v | v_0, v_1, \dots, v_l))) = \max_{u_1, \dots, u_l \in \Omega} \lambda(g(S(t, u | u_0, u_1, \dots, u_l)))$$

其中 $v_k \in \Omega, k=1, \dots, l$ 。

3.4 多目標最佳化的模糊系統控制

從上面的最佳化模型可知，當被控系統資訊不完全時，作為目標函數中間變數的過程響應函數 $S(t, u | u_0, u_1, \dots, u_n)$ 不能有明確的定量表示。因而，常規的多目標規劃求解方法無法直接應用。為了得到一種比較合理的解決辦法，從模糊控制複雜過程的

經驗可知，複雜系統的經驗控制規則往往正是一些綜合最佳化過程的體現。借助於經驗總結的過程，下面將給出一種基於多目標最佳化的模糊控制器規則基最佳化過程的方法。首先討論，規則基已折衷最佳化的情況下，模糊控制算法折衷最佳化的特性。然後根據討論的結果，建立一種規則基折衷最佳化的方法。

假設被控系統 P 的觀測量論域為 $X = X_1 \times \dots \times X_n$ ，控制量論域為 U ，設 P 的第 j 個控制規則形如

$$R_j: \text{If } x_1 \text{ is } A_{j1} \text{ and } x_2 \text{ is } A_{j2} \text{ and } \dots \text{ and } x_n \text{ is } A_{jn}$$

$$\text{Then } u \text{ is } C_j$$

其中 $A_{jk} \in F^*[X_k]$ ， $C_j \in F^*[U]$ ， $j=1, \dots, q$ ， $k=1, \dots, n$ 。定義稱 $\mathfrak{R} = \{R_1, \dots, R_q\}$ 為 P 的一個規則基，如果 $\forall x = (x_1, \dots, x_n) \in X$ ， $\exists R_j \in \mathfrak{R}$ 使得 $A_j(x) \neq 0$ 。若 $A_j(x) \neq 0$ 則稱 R_j 為輸入 x 的擊活規則，也稱 R_j 在 x 處響應；稱 $\text{supp}A_j$ 為規則 R_j (或模糊狀態 A_j) 的響應域，又記為 $\text{supp}R_j$ ，並稱 $A_j(x)$ 為規則 R_j 在 x 處的響應強度；類似地，稱 $\text{supp}A_{jk}$ 為 A_{jk} 的響應域；若 x_0 滿足 $A_j(x_0) = 1$ 則稱之為規則 R_j 的輸入基點，類似的，若 u_0 滿足 $C_j(u_0) = 1$ ，則稱之為規則 R_j 的輸出基點。

假設系統狀態 x_1, x_2 對應於最佳化控制目標的 Pareto 控制量分別為 u_1, u_2 ，狀態 x 按字典序界於 x_1, x_2 之間，若按控制算法 f 所得到的控制量按字典序也界於 u_1, u_2 之間，則稱控制算法 f 為近 Pareto 最佳化控制算法。

對於系統設定點為恒定點的定點恒值控制系統，在輸出遠離設定值時主要考察系統的上升（下降）速度，而在距設定點較近時則比較注重超越在上次施加控制量的改變量的能量耗散趨向已知時，才進行新的控制量調整。據此我們提出一種依據經驗的對常用目標規則支援度的度量方法。其基本思想是將已有規則基中各規則的支援度用實測曲線的最佳可能曲線進行

度量。設控制量論域為 U 為某個閉區間，取 $v_i \in U$ 且 $v_i < v_{i+1}$, $i=0, \dots, m$ 。令

$$\Lambda = \{(S(t, u | u_0, u_1, \dots, u_n)) | u_i \in \{v_0, \dots, v_m\}\}$$

則 Λ 表示系統的一簇輸出曲線，控制週期為 τ ，示意圖如圖三所示。合理選定 v_i 使得輸出的平衡狀態分配均勻。簡記 $y(t) = S(t, u | u_0, u_1, \dots, u_n)$, $t_k = k\tau$, $k=0, \dots, n$ 。對於設定值 y_0 ，令

$$e(t_k) = y(t_k) - y_0$$

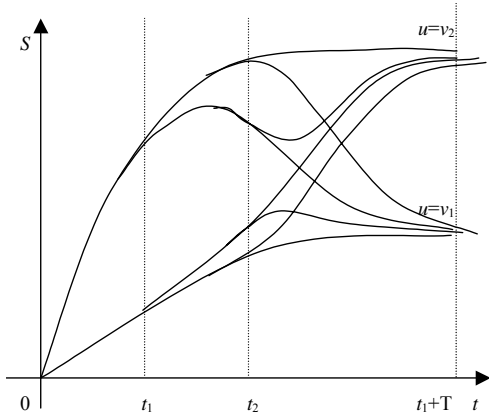
$$\Delta e(t_k) = d(e(t_k))/dt$$

$$\Delta u(t_k) = u_k - u_{k-1}$$

$$\Xi = \{(e(t_k), \Delta e(t_k); \Delta u(t_k)) | k=0, 1, 2, \dots, n,$$

$$y(t) \in \Lambda\}$$

觀察上式可很清楚看出， Ξ 是所有 $S(t, u | u_0, u_1, \dots, u_n)$ 與 $t = k\tau$, $k=0, 1, 2, \dots, n$ ，相交處的狀態與控制量改變量的 3 維有序數組的集合。



圖三：兩個控制量位置的所有系統輸出曲線圖

選擇 $g(S(t, u | u_0, u_1, \dots, u_n))$ 為系統的一個目標函數， $\forall a = (e(t_k), \Delta e(t_k); \Delta u(t_k)) \in \Xi$ ，稱 $g(a) = \max_{S \in \Lambda} \{g(S(t, u | u_k, u_{k+1}, \dots, u_n)) | S(t, u | u_k, \dots, u_n)\}$
 $= y_0 + e(t_k)$, $S'(t, u | u_k, \dots, u_n)$
 $= \Delta e(t_k)$

為點 a 對目標函數 g 的支援度。此式子有兩方面的意義，一是對於狀態輸入和控制量輸出取匹配點 a 時，控制響應對目標 g 的支援度僅取決於其控制動作發生以後

的動態過程，而與控制動作執行以前的狀態無關；另一方面它是具有相同狀態和控制量改變量初值條件的過程對目標支援度的最大值。

對於設定值為 $y_0 \pm \delta$ 單調慣性系統，其中 δ 表示容許誤差。常見的幾個控制目標函數可規定如下。令上升時間、上超越量、下超越量和安定時間的目標函數分別用 $h_i(S(t, u | u_k, u_{k+1}, \dots, u_n))$ 表示， $i=1, 2, 3, 4$ 。用 $g_i(S(t, u | u_k, u_{k+1}, \dots, u_n))$, $i=1, 2, 3, 4$ ，分別表示控制點 $a = (e(t_k), \Delta e(t_k); \Delta u(t_k))$ 處對目標函數 h_i ， $i=1, 2, 3, 4$ ，的支援度，定義為

$$g_1(S(t, u | u_k, u_{k+1}, \dots, u_n)) = \frac{1 - h_1(S(t, u | u_k, u_{k+1}, \dots, u_n))}{n\tau + T}$$

$$g_2(S(t, u | u_k, u_{k+1}, \dots, u_n)) = \frac{1 - h_2(S(t, u | u_k, u_{k+1}, \dots, u_n))}{\Delta M}$$

$$g_3(S(t, u | u_k, u_{k+1}, \dots, u_n)) = \frac{1 + h_3(S(t, u | u_k, u_{k+1}, \dots, u_n))}{\Delta M}$$

$$g_4(S(t, u | u_k, u_{k+1}, \dots, u_n)) = \frac{1 - h_4(S(t, u | u_k, u_{k+1}, \dots, u_n))}{(n-k)\tau + T}$$

其中 ΔM 是可能的最大超越量的絕對值。

四、結果與討論

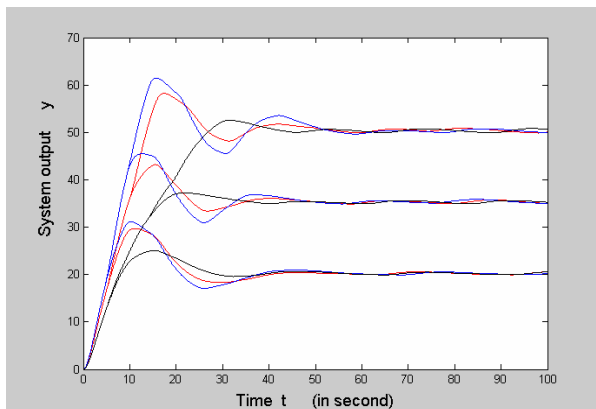
依據控制週期，在各輸出週期點上，按各改變量增量對控制量進行改變，並記錄動態過程到 $t_k + T$ 為止。按此步驟繼續下去，直到記錄完所有可能的輸出曲線。最後可得一個輸出曲線網，利用該曲線網，可按 g_1, g_2, g_3, g_4 確定任一節點的單目標支援度，取定一折衷映射之後，可計算出每個節點處在不同控制量作用下的折衷優越度的方法可找到每個節點的條件 Pareto 最佳控制量，它對應於一條多目標下的廣義 Pareto 最佳輸出曲線。

將所有節點處的狀態與控制量改變量

分別作為規則的輸入輸出基點，因而所得到的規則是一條近似 Pareto 規則，將這些規則擴充成單調規則基，則該規則基即為一近似的 Pareto 規則基。

利用提出了多目標最佳化控制問題的 Pareto 規則基和近 Pareto 控制算法。給出了輸入輸出具有單調關係和時間慣性關係的一類常見被控系統的 Pareto 規則基的建立方法，給出了一種控制目標與系統響應過程的數學關係表示方法。利用系統過程回應函數，建立了常見控制目標的基於上升時間、超越量、安定時間、及其它限定條件的下的 Pareto 規則的度量方法。

圖四為利用所設計之多目標模糊控制方法針對不同優先權之三個定位點控制響應圖。從模擬中可以看出均可以有效地控制到所需之命令位置。



圖四：模擬結果

五、計畫成果自評

研究結果表明，由本子計畫所設計之模糊類神經控制多目標決策系統，對於單調慣性系統，在一組實用條件下可以保證任何界於想臨控制規則輸入基點的輸入狀態所對應的控制量也界於兩規則輸出基點之間。對應的系統輸出也界於兩規則基點所對應的輸出之間，從逼近角度可以認為，在基於該規則基的控制算法之下，系統輸出響應過程具有 Pareto 逼近功能。

目前本研究之成果符合預期結果，理

論發展與實際製作皆完成目標。對於參與之工作人員，使熟悉多目標決策與控制系統設計之訓練，並有報告及論文撰寫能力，將近三年內，本研究已有成果將後續整理發表於研討會及期刊。

六、參考文獻

- [1] 毛治國，「智慧化運輸系統的特性與我國的推動策略」，台灣地區運輸系統智慧化推動策略研討會論文集，民國八十七年十月。
- [2] IVHS America, A Comparison of IVHS Programs in the United States, Japan & Europe through 1993, IVHS America, Washington, D.C., U.S.A., 1994.
- [3] Federal Highway Administration, Transportation Planning and ITS: Putting the Pieces Together, U.S. Department of Transportation, Washington, D.C., U.S.A., 1998.
- [4] Testuro Butsuen, Tohru, Ken-ichi Okuda, "Introduction of the Mazda Advanced Safety Vehicle", Technical Research Center, Mazda Motor Corporation, Japan.
- [5] Fukashi Sugawara, Hiroshi Ueno, et al, "Development of Nissan ASV", Nissan Motor Co., Ltd. Japan.
- [6] E. A. Galperin, and M. M. Wiecek, "Retrieval and use of the Balance set in multiobjective global optimization," Computer Science & Mathematics with Applications 37 (1999) 111-123.
- [7] D. Cvetkovic, and I. C. Parmee, "Preferences and their application in evolutionary multiobjective optimization," IEEE Transactions on Evolutionary Computation, 6 (2002)

42-57.

- [8] J. S. Dhillon, and D. P. Kothari, "The surrogate worth trade-off approach for multiobjective thermal power dispatch problem," *Electric Power Systems Research* 56 (2000) 103–110.
- [9] M. K. Krokida, and C. T. Kiranoudis, "Pareto design of fluidized bed dryers," *Chemical Engineering Journal* 79 (2000) 1–12.
- [10] E. H. Mandani, "Applications of fuzzy algorithms for simple dynamic plants," *Proc. of IEEE*, vol. 121, pp. 1585-1588, 1974.
- [11] C. C. Lee, "Fuzzy logic in control systems: fuzzy logic controller-Part I and II", *IEEE Trans. on System, Man, and Cybernetics*, vol. 20, pp. 404-435, 1990.
- [12] C. S. Ting, T. H. S. Li and Kung, "An approach to systematic design of the fuzzy control system," *Fuzzy Sets and Systems*, vol. 27, pp. 151-166, 1996.
- [13] L. X. Wang, *A Course in Fuzzy Systems and Control*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1997.