

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

以 DSP 基礎建立即時模糊類神經網路之研究 Studies of DSP-based Real-time Fuzzy Neural Networks

計畫編號：NSC 87-2213-E-129-003

執行期限：86 年 8 月 1 日至 87 年 7 月 31 日

主持人：王偉彥 新埔工商專校 電子科

一、中文摘要

一般模糊類神經網路 (Fuzzy Neural Networks) 需要先經由學習過程加以訓練隸屬函數及權重因子；而且目前整個類神經網路架構也大都以軟體模擬方式實現，如此對於實作及應用上就較不切實際。因此，我們將藉由 DSP 處理器其強大算術運算及快速資料處理的功能，並配合其週邊電路，自行設計一整合電路系統，以實作一模糊類神經網路。無論基於製作成本的考量，或實際應用的可行性，此一 DSP 型態的模糊類神經網路將具有實用價值。

關鍵詞：模糊類神經網路、DSP 處理器

ABSTRACT

A fuzzy neural network needs to be trained through a learning process, so that suitable membership functions and weightings can be obtained. However, most of the neural networks are only simulated by using computer software, which are not practical for real applications. It is therefore our objective to design an integrated circuit system based on a DSP processor with powerful arithmetical capabilities and fast data processing, and relevant peripheral devices

to implement the fuzzy neural network. In terms of implementation cost and feasibility for practical applications, this DSP-based fuzzy neural network will be more practical and usable.

Keywords : Fuzzy neural network, DSP processor

二、緣由與目的：

模糊理論應用方面，隸屬函數是作為具體定量分析之關鍵所在。一般大多採用機率或統計為基礎來決定隸屬函數；然而運用這些方法所得之隸屬函數，一旦於實際應用上發現某些定義域的隸屬度不適用時，由於其數學模式已定，若欲加以修正便有所困難。在此我們將經驗上所得之數值，利用最小平方誤差近似法換算成 B-spline 曲線的控制點，再由調整這些控制點即可精確地近似出所需要的隸屬函數。由於 B-spline 曲線具有局部控制的特性，因此用於實際應用時若發現某些點的隸屬度不適用時，可以局部修正而不影響已經滿足的點。因此比傳統的隸屬函數更具有調整彈性及實用性，對於一個模糊控制器的實現有著實質上的貢獻。

自從數位信號處理器 (DSP) 晶片發展成功問世後，數位信號處理技術就愈形重要。藉由 DSP 晶片本身的創新硬體結構，使其具有彈性、快速的數學處

理能力，因而廣泛使用於通訊、語音、影像、多媒體及控制系統等多項應用。由於模糊類神經網路本身即為一複雜數學模型，若要實際實現它確實有所困難。因此，我們嘗試使用DSP來實作，由於DSP運算速度夠快，將可產生即時（real time）的功效。本計劃之研究實作將可完成下列功能：

- (1) 以DSP處理器執行程式的方式，實作完成B-spline函數作為模糊邏輯控制器之隸屬函數。
- (2) 完成一具有獨立完整的DSP型態之模糊類神經網路。
- (3) 以gradient descent方法作為模糊類神經網路之學習演算法。
- (4) 可在PC上設定不同訓練次數所得之隸數函數數值及權重值，並將之傳送予DSP模糊類神經網路去執行。
- (5) 可將不同訓練次數(0次、100次、500次、2100次)所得之輸出結果傳至個人電腦，而以數值表格或曲線圖方式，顯示此模糊類神經網路之輸入與其輸出的關係。

期望藉由本研究實作可提供另一種模糊類神經網路之設計型態，同時可將之實際使用於各式的應用系統中。

三、結果與討論

1. 實作電路結構

在 DSP 硬體電路方面，其結構如圖 1 所示。記憶體電路部份，可分為資料記憶體和程式記憶體，主要作為模糊類神經網路推論程式與資料的儲存；信號輸入及輸出部份，可分為 A/D 和 D/A 轉換，A/D 轉換器透過通道選擇開關將代表不同定義的類比信號取入，再將之轉換成數位信號送至 DSP 作推論處理，而

處理完成的資料則透過 D/A 轉換器轉換成類比信號，如此完成一次的推論控制。為了使週邊的設備能夠與 DSP 的速度相配合，於是使用時序等待(Wait-state)產生電路，其與控制邏輯電路配合，來作為 8255、A/D C、D/A C 的解碼和時序等待。最後，可利用 8255 將推論完成的資料與 PC 電腦作交握式連絡(Handshaking)傳輸，並透過 PC 的人機介面把實際推論的資料顯示出來，也可與理論的資料值作比較。

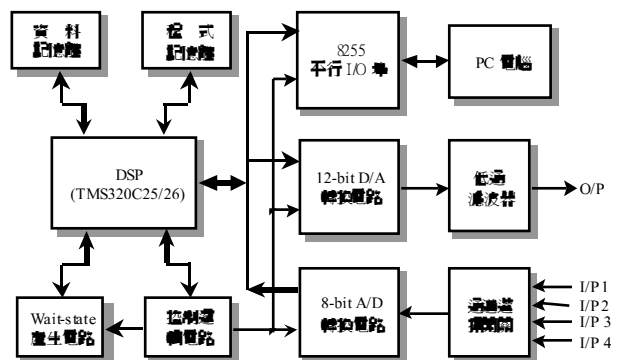


圖 1 DSP 模糊類神經電路

2. 研究結果

在 DSP 模糊類神經電路上發展完成 BMF 模糊類神經網路之演算法後，將個人電腦藉由平行埠與 DSP 模糊類神經電路連接，此時 PC 上的人機介面程式，便成為控制、設定 DSP 學習器執行運算，或接收執行結果的主要顯示操作介面。以下我們便就學習訓練結果，及不同學習訓練次數推理所得之輸出結果作一說明。

2-1. 學習訓練結果

由於 BMF 模糊類神經網路之學習訓練相當耗時，若與其推理部份結合一起處理，則整個以 DSP 來實作，就較無法彰顯即時產生輸出結果的效能。因此，目前學習訓練的部份暫時是離線分開

(off-line) 來進行。我們嘗試將一些實驗數值輸入，經由學習演算法分別進行0次、100次、500次及2100次的學習訓練，而學習訓練過程中將會不斷調整修正隸屬函數，直至得到理想合適的隸屬度。圖2～圖5將分別顯示8個隸屬函數中的某一個隸屬函數在經過0次、100次、500

次及2100次學習訓練後所得之結果值。從學習訓練後的結果，我們可發現採用B-spline作為隸屬函數的模糊類神經網路，其所需要的學習訓練次數大約在500次左右就已接近精確值，故所需學習訓練次數較其他隸屬函數的學習訓練次數要少了許多。

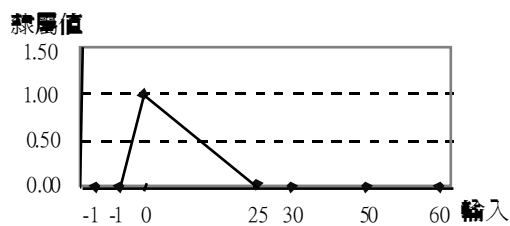


圖2 學習0次所得之隸屬函數

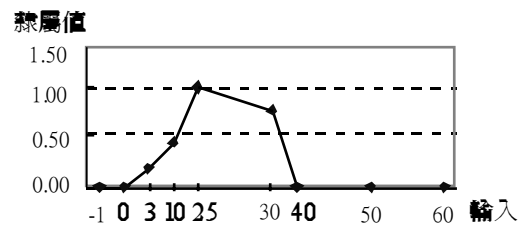


圖3 學習100次所得之隸屬函數

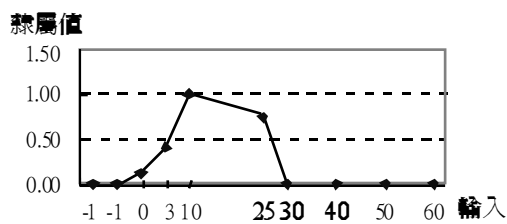


圖4 學習500次所得之隸屬函數

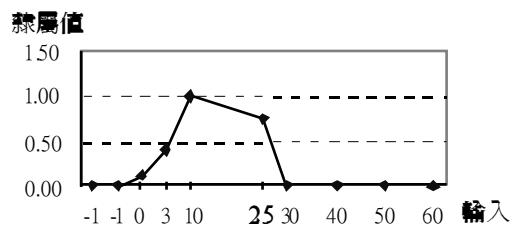


圖5 學習2100次所得之隸屬函數

2-2. 輸出結果

在此我們分別將0次、100次、500次及2100次的學習訓練所得之隸屬數值及權重數值載入DSP模糊類神經電路中，當有外部輸入時，便可由DSP進行推理，並可即時產生輸出結果（分別如圖6～圖9所示）。從不同的輸出結果也發現：採用學習訓練500次之數值而進行推理所得之輸出結果已非常近似標準的期望輸出值。這樣的結果將來就可適用於許多實際的控制應用，例如自走車當輸入為車子與障礙物的距離，則經由此一DSP型態模糊類神經網路之推理，便可正確輸出方向盤轉動的角度。

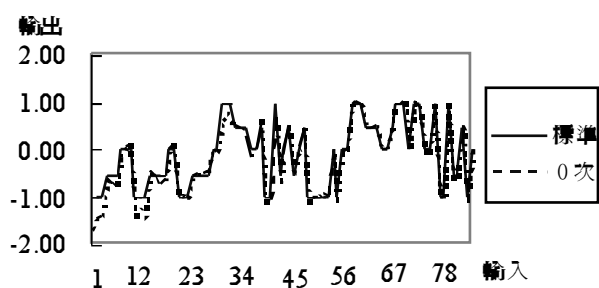


圖6 學習0次所得之輸入、輸出曲線

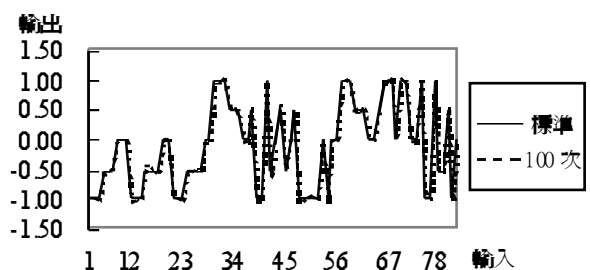


圖7 學習100次所得之輸入、輸出曲線

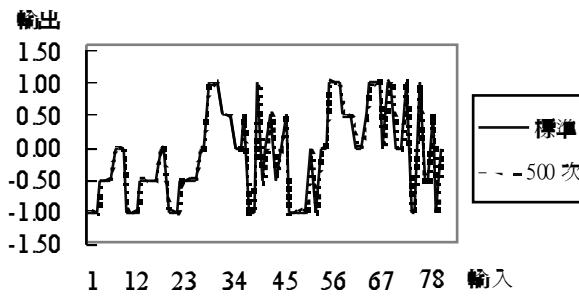


圖8 學習500次所得之輸入、輸出曲線

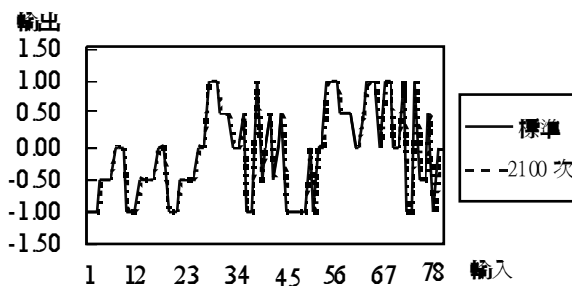


圖9 學習2100次所得之輸入、輸出曲線

四、計劃結果自評

本計劃提出了以最小平方誤差法近似的B-spline函數來表示模糊集理論中的隸屬函數，其學習效果會比傳統上藉由調整隸屬函數內的參數，然後再作整體改變的方式來得較佳，而且實際以DSP處理器將之實現，可算是理論上的突破。從實際的實作研究過程中，我們可得到以下幾項結論：

- (1). 本計劃所用學習訓練次數有0次、100次、500次及2100次，經訓練之後可發現當訓練 500次所產生之誤差即已很小。因此，採用B-spline作為隸屬函數的模糊類神經網路，其所需要的學習訓練次數是較其他隸屬函數的學習訓練次數為少。
- (2). 採用B-spline作為隸屬函數的模糊類神經網路，適合未來作為發展線上即時

調整隸屬度及權重之模糊控制器的實作應用。

- (3). 使用DSP來實作，具有較佳的修改彈性，十分方便於應用系統的設計發展，亦由於DSP運算速度夠快，若再能搭配快速的週邊元件（如 A/D、D/A 轉換器等），便可產生real time的應用功效。
- (4). 自行設計研製整個DSP電路，以實現BMF模糊類神經控制器，如此將可適用於實際的應用中。

五、參考文獻

- [1] Chi-Hsu Wang, Wei-Yen Wang, Tsu-Tian Lee, and Pao-Shun Tseng, "Fuzzy B-spline membership function (BMF) and its applications in fuzzy-neural control," *IEEE Transactions on Systems Man and Cybernetics*, Vol. 25, No. 5, pp. 841-851, May 1995.
- [2] Wei-Yen Wang, Tsu-Tian Lee and Ching-Lang Liu, "Function Approximation Using Fuzzy Neural Networks with Robust Learning Algorithm," the Proceedings of **National Symposium on Automatic Control**, pp. 283-288, 1996.
- [3] Yie-Guang Leu, Tsu-Tian Lee and Wei-Yen Wang, "On-Line Tuning of Fuzzy-Neural Network for Adaptive Control of Nonlinear Dynamical Systems," **IEEE Trans. on System Man and Cybernetics Part B**, Vol. 27, No. 6, Dec 1997
- [4] 鐘文政, "DSP TMS320C25原理與實習應用," 長高電腦圖書, 1st Ed., Chap. 2 ~ Chap. 5, Mar 1995

- [5] Texas Instruments, "*DSP TMS320C2x User's Guide*," Texas Instruments Incorporated, Ver. C, Jan 1993