

模糊類神經網路應用在二維信號源方向之估測

A Fuzzy Neural Network Approach for 2-D Direction Finding in Multipath Environment

計畫編號：NSC 88-2213-E-009-126

執行期限：88年8月1日至88年7月31日

主持人：鄧清政 國立交通大學電機與控制工程學系

E-mail: ccteng@cn.nctu.edu.tw

計畫參與人員：李慶鴻 國立交通大學電機與控制工程學系

E-mail: chlee@mail.lhit.edu.tw

一、中文摘要

本計畫將探討如何利用模糊類神經網路(Fuzzy Neural Network, FNN)來估測在二維多路徑環境(Multipath Environment)中的訊號源方向。在未來的一年裡，我們將感知元件矩陣的輸出訊號事先經過精確的運算處理，作為 FNN 的輸入；接著再經過 FNN 的運算，輸出便是我們估測的信號源方向。我們預期如果提供足夠的訊號源方向之資訊，利用 FNN 高精確度的近似能力即可估測出訊號源之方向。在過去大都利用各種演算法來解決此一問題，本計畫所提出的方法將可省去許多運算的時間與過程。

關鍵詞：模糊類神經網路、信號源尋找

Abstract

This project will present a fuzzy neural network (FNN) approach for estimating two-dimensional (2-D) direction of a radiating source in coherent multipath environments via a 2-D passive sensor array. Outputs of the array are preprocessed by a judiciously constructed reference-point pre-processing scheme to produce proper inputs for an FNN. The FNN, then, uses these preprocessed outputs to produce the estimate of the source direction. Based on the high accuracy approximation of the FNN, the preprocessed outputs preserve enough information about the source direction and then FNN can map the preprocessed outputs into the source direction. Then, the FNN approach will exhibit good estimation performance. By the way, we hope to find that the FNN approach drastically outperforms the spatial smoothing 2-D MUSIC algorithm.

Keywords: Direction finding, Multipath, Fuzzy neural network

二、緣由與目的

近年來整合模糊推理系統(Fuzzy inference system)與人工類神經網路(Artificial neural network)在工程問題上的應用引起了廣泛的注意，例如林與李利用一個以類神經網路為基礎的模糊邏輯系統，將之應用在控制與判定系統上[1]，在[2]中，鄧又將之做修改而得到一個簡易的四階層的模糊類神經網路(4-layerfuzzy neural network)，雖然簡易卻可成功地建立一模型參考控制架構(model reference control structure)，另外又利用 FNN 的高度近似能力來求得以增益餘量與相位餘量為規格之 PID 控制器參數[3]。在信號源方位估計方面，在上一個計劃中我們利用所提出的模糊類神經網路來作信號源的定位與追蹤，並且有豐碩的成果；另外，在文獻[4-6]中，類神經網路也被應用在此問題上。

在本計畫中，我們進一步探討如何利用簡易的四階模糊類神經網路(FNN)，來處理二維多路徑環境中信號源方向尋找的問題，利用 FNN 的高精確近似能力與平行運算機制，我們將能夠迅速而準確地估測出高速移動的信號源方向。如此我們將不須使用繁複的特徵結構法(如：MUSIC [7], ESPRIT [8], MODE[9], weighted subspace fitting [10])，即可即時的估算出信號源方位，尤其當感知元件陣列較大時，節省了許多運算的過程與時間。接著，我們將簡略說明二維多路徑環境中信號源方向的尋找問題。所謂多路徑環境係指信號源所發射的信號，經由不同路徑行進到接收的感

知陣列，此現象經常發生在多用戶的行動通訊系統，水底之聲納系統與低角度的雷達追蹤系統上。在多用戶的行動通訊系統中，信號經由海底或水面的反射產生多路徑現象；在低角度的雷達追蹤系統中，信號源在海面飛行時，海面成為一個反射面，因而產生多路徑現象。在過去的文獻中[4,5,6]，類神經網路成功的應用在海面上多路徑的低角雷達追蹤上，進而估計出信號源的垂直高度。這是一個一維的信號追蹤問題，本計畫嘗試利用 FNN 將結論推廣至二維的信號方位估測。

雖說我們可利用傳統的 MUSIC(Multiple Signals Classification)，在高解析與低信號雜頻比(SNR, Signal to Noise Ratio)下，使用特徵解構法(EVD, eigen value decomposition)來尋找二維多路徑環境中的信號源方向，但是當感知陣列較大時，其龐大的運算使之無法在現實環境中實現，這即是此方法的最大缺點(計算量大)；因為它們必須在所有的可能解上做二維的搜尋，因此並不適用在即時的追蹤上。

整體而言，本計畫利用 FNN 製作一對映系統，用來估計二維多路徑環境中遠場移動的信號源方向，我們探討如何利用模糊類神經網路 FNN 的高精確近似能力與平行運算機制來實現此一對映系統，並適當地應用在信號源方向的估測上。

三、研究方法及進行步驟：

首先我們介紹多路徑環境中信號源定位與追蹤之數學模型，並提出應用模糊類神經網路解決此問題的方法，最後我們將此方法應用在二維信號源之方向估測問題。

考慮一個移動信號源正發射出窄頻信號，並為一被動感知元件(passive sensor)所組成之二維陣列所接收，這些感知元件、信號源與反射面位置如圖一所示；一般而言為了簡化問題，在此我們考慮兩個反射面(reflector)，因此感知元件接收到來自不同路徑(三條)的信號，一是直接路徑，我們將之表示為 ray_s ，其他的是透過反射面 reflector₁, reflector₂ 的信號，表示為 ray_1 與 ray_2 ，經由 ray_1 路徑傳至感知元件的對應信號源為 image₁；相對的，路徑 ray_2 對應之信號源為 image₂。

感知陣列所接收到的資料可以表示為下式：

$$x(t) = A \cdot s(t) + A_1 \cdot s(t) \cdot \dots + A_2 \cdot s(t) \cdot \dots + n(t)$$

其中 $x(t) \in C^{p \times 1}$ 是信號資料向量 $n(t)$ 是雜訊向量、 $A \in C^{p \times 1}$, $A_1 \in C^{p \times 1}$, $A_2 \in C^{p \times 1}$ 分別為三個方向向量 (source, image₁, image₂)；另外， $s(t)$ ，表信號源發射的信號大小， \dots , \dots 分別為反射面的反射係數(reflection coefficients)。因此， $A \cdot s(t)$ 是 ray_s 所造成的陣列輸出， $A_1 \cdot s(t)$ 是 ray_1 引起的， $A_2 \cdot s(t)$ 則是 ray_2 所造成的。在此我們定義 λ 為信號波長， (x_i, y_i) 是第 i 個感知元件的位置， $(\angle_s, \angle'_s) = (\cos r, \cos s)$ 。 r, s 為信號源(source)與感知元件間對 x 軸與 y 軸之夾角；同樣的，亦可針對 image₁ 與 image₂ 得到 (\angle_1, \angle'_1) 與 (\angle_2, \angle'_2) 。因此， A, A_1 ，與 A_2 這些向量的第 i 個元素為

$$a_i = \exp\left\{j \frac{2\pi}{\lambda} (x_i \angle_s + y_i \angle'_s)\right\},$$

$$a_{1i} = \exp\left\{j \frac{2\pi}{\lambda} (x_i \angle_1 + y_i \angle'_1)\right\},$$

$$a_{2i} = \exp\left\{j \frac{2\pi}{\lambda} (x_i \angle_2 + y_i \angle'_2)\right\}。$$

在此我們假設信號 $s(t)$ 與雜訊 $n(t)$ 均是複數隨機程序(complex random process)，平均值為零且兩者之間為不相關(uncorrelated)。令 σ^2 是信號 $s(t)$ 之協方差或能量(covariance or power)，而 $\tau^2 I$ 為雜訊 $n(t)$ 之協方差或能量矩陣 (τ^2 為每一個感知元件上的雜訊能量， I 是單位矩陣)。因此可得

$$R \equiv E[x(t)x(t)^T]$$

$$= \sigma^2 \{AA^H + \|\dots\|^2 A_1 A_1^H + \|\dots\|^2 A_2 A_2^H + 2\text{Re}[A\dots^H A_1^H] + 2\text{Re}[A\dots^H A_2^H] + 2\text{Re}[A_1\dots^H A_2^H]\} + \tau^2 I$$

其中 $\text{Re}[\cdot]$ 表示實數部份， $E[y]$ 為 y 的平均值， $(\cdot)^H$ 為矩陣的轉制。在問題中我們由一群已知的信號資料 $x(t)$ ，稱之為 $\{x(t_1), x(t_2), \dots, x(t_N)\}$ ，來估算出 (\angle_s, \angle'_s) 。

我們已知 2-D MUSIC 法可以用來解決二維的方向尋找問題，但是在多路徑環境中，MUSIC 法必須估測三個信號源方向並由其中找出一個為信號源位置。事實上，我們所要估計的僅一信號源，而反射信號

則可用來改善估測效果，本計畫將研究如何利用模糊類神經網路(FNN)(如圖二)。來實現這一的想法，並估算出 (ζ_s, ζ'_s) ，也就是將 $\{x(t_1), x(t_2), \dots, x(t_N)\}$ 輸入至一個由模糊類神經網路所建構的系統，而此系統將輸出 (ζ_s, ζ'_s) 的估計值。

這樣的系統必須利用上述所得的經驗來估計 (ζ_s, ζ'_s) ，並即時地估計出兩個參數 (ζ_s, ζ'_s) ，本計畫將利用模糊類神經網路FNN的高精確近似能力與平行運算機制(如此才能具備即時的功能)，嘗試建立此一估計器來達成這樣的目的，我們將FNN估計器的簡單方塊圖表示如圖三。

四、計劃結果

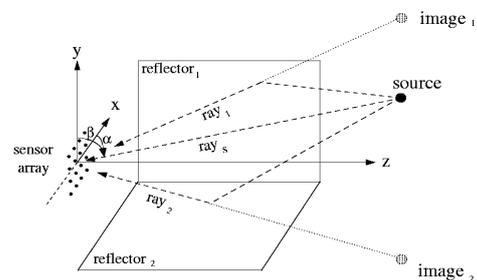
本此我們將所提出的FNN估測方法與2D MUSIC演算法做模擬與比較，以下模擬中我們採取 4×4 的感知元件陣列，如圖一與圖二， $x=100, y=-100$ 。放射狀感知元件距離中心500單位， $\zeta < 0, \zeta' > -0.1$ ，我們希望建立一個FNN估測器來估測信號源方向，其變數變化範圍為 $-0.1 < \zeta < 0.1, -0.1 < \zeta' < 0.1$ 。圖四與圖五為模擬比較結果，其中圖四是在沒有雜訊的情形下估測結果；圖五再雜訊比為20分貝的情況下之結果(o: 信號源實際位置；x: FNN, +: 2D MUSIC)，由結果觀察出來，FNN估測器可以成功的估測出信號源之方向，且優於2D MUSIC演算法。

五、參考文獻

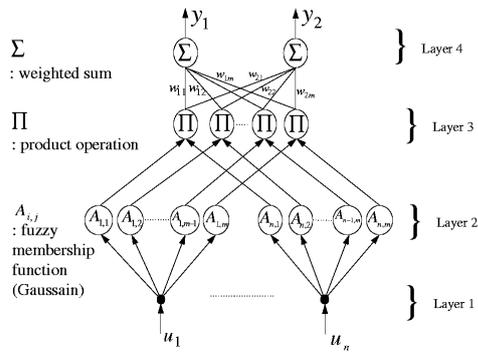
- [1] C. T. Lin and C. S. G. Lee, "Neural-network-based Fuzzy Logic Control and Decision System," *IEEE Trans. on Computers*, Vol. 40, No. 12, pp. 1320-1336, 1991.
- [2] Y. C. Chen and C. C. Teng, "A Model Reference Control Structure Using a Fuzzy Neural Network," *Fuzzy Sets and Systems*, Vol. 73, pp. 291-312, 1995.
- [3] S. Y. Chu and C. C. Teng, "Tuning of PID controllers based on gain and phase margin specifications using fuzzy neural network," *Fuzzy Sets and Systems*, Vol. 101, pp. 21-30, 1999.
- [4] H. L. Sonthall, J. A. Simmers, and T. H. D'Donnel, "Direction Finding in Phased Arrays with a Neural Network

Beamformer," *IEEE Trans. on Antennas Propagat.*, Vol. 43, No. 12, pp. 1369-1374, 1995.

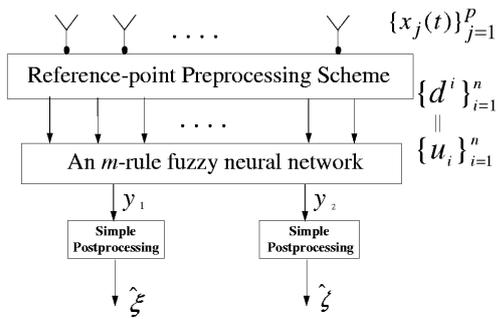
- [5] T. Wong, T. Lo, H. Leung, J. Litva, and E. Bosse, "Low-angle Radar Tracking Using Radial Basis Function Neural Network," *IEE Proceedings-F*, Vol. 140, No. 11, pp. 323-328, 1993.
- [6] T. K. Y. Lo, H. Leung, and J. Litva, "Artificial Neural Network for AOA Estimation in a Multipath Environment over the Sea," *IEEE J. Ocean Eng.*, pp. 555-562, 1994.
- [7] R. O. Schmidt, "Multiple emitter location and signal parameter estimation," *IEEE Trans. on Antennas Propagat.*, Vol. 34, pp. 276-380, 1986.
- [8] R. Roy and T. Kailath, "ESPRIT-Estimation of signal parameter via rotational invariance," *IEEE Trans. on Acoust., Speech, Signal Processing*, Vol. 37, pp. 984-995, 1989.
- [9] P. Stoica and K. C. Sharman, "Novel eigenanalysis method for direction estimation," *IEEE Proceedings*, Vol. 137, pp. 19-26, 1990.
- [10] M. Viberg, B. Ottersten, T. Kailth, "Sensor array processing based on subspace fitting," *IEEE Trans. on Signal Processing*, Vol. 39, pp. 2346-2448, 1991.



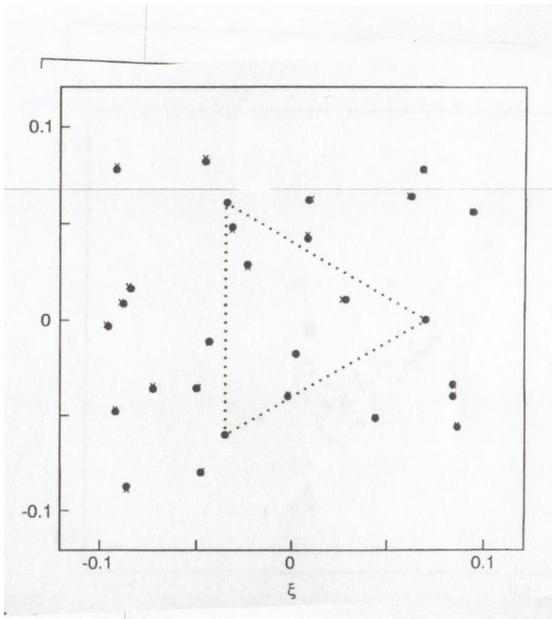
圖一：多路徑環境描述



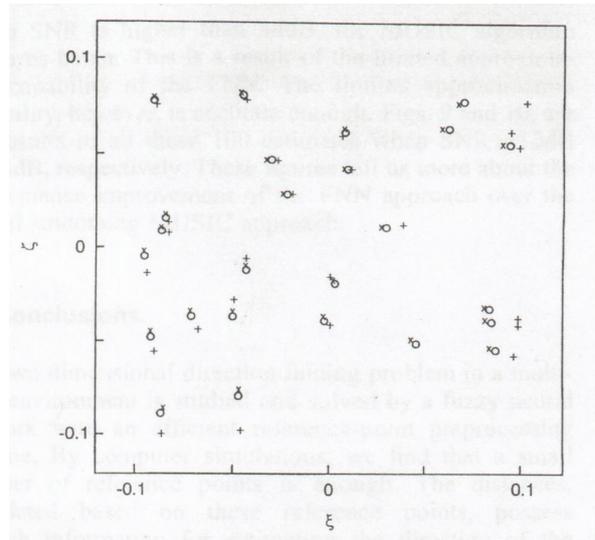
圖二：模糊類神經網路架構



圖三：基於 FNN 之二維方向估測器架構



圖四：模擬比較結果(無雜訊)



圖五：模擬比較結果(雜訊比 20dB)