

# 信號源定位追蹤：利用模糊類神經網路

## Signal Source Localization and Tracking Using Fuzzy Neural Network

計劃編號：NSC88-2218-E009-126

執行期限：87/08/01- 88/7/31

主持人：鄧清政 (E-mail: ccteng@cn.nctu.edu.tw)

國立交通大學 電機與控制工程系 教授

一、中文摘要(關鍵詞：模糊類神經網路、信號源定位、信號源追蹤)

本計畫探討如何利用模糊類神經網路(Fuzzy Neural Network, FNN)達成訊號源定位與追蹤的目的，我們著重於近場(near filed)的信號與多路徑環境(multipath environment)中的信號源。在近場信號源的定位與追蹤上，將建立 FNN 水平角估計器估測信號源的水平角度，並建立 FNN 距離估計器估測信號源距離。在多路徑環境中，我們將考慮遠距離信號源，並以 FNN 建立水平與垂直角度的估計器。基於 FNN 的平行運算機制，本計畫所提出的方法將可應用在即時信號源的追蹤上。

英文摘要(**Keywords**: Fuzzy neural network, signal source localization, tracking)

In this project, we explore the problem of using fuzzy neural networks (FNNs) to locate and track a moving target, which radiates narrow band signal that impinge in a array of sensors. We consider near-field moving target as well as far-field 2-dimensional target in multipath environments. We also develop FNN-based azimuth/ elevation direction estimator for tracking a 2-D moving target in multipath environments. Since the FNN is inherently a parallel computational mechanism, it is suitable for on-line processing.

二、緣由與目的

近年來整合模糊推理系統與人工類神經網路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]裡，陳與鄧又將之作修改而得到一個簡易的 4 階層的模糊類神經網路(4-layered fuzzy 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)。在[3,4]中，類神經網路也被應用在遠方信號源方位估計之問題上。

本計畫將進一步探討如何利用 FNN 來處理更複雜的信號定位與追蹤問題。所謂的更複雜是指，信號源由遠處移動至近處，或方向的估測由單一的水平角度估測增加到估計水平與垂直兩個角度。總而言之，近距離信號源定位與信號源水平/垂直定位皆須估計兩個獨立參數；較之遠方信號源定位只估計一個獨立參數為複雜。在信號源水平/垂直定位方面，我們亦探討複雜的多路徑(multipath)問題。

底下分別介紹近距離信號源定位追蹤問題與遠距離信號源水平/垂直定位追蹤問題。

### 【近距離信號源定位與追蹤】

所謂近距離是指感知元件陣列(sensor array)與信號源的距離有限，乃至於信號的波前在陣列所在之處不能以直線代之，此弧形波前可用來估計水平角與距離。在[5]中，Huang 和 Barkat 提出一個修改的 2-D MUSIC 法則和一個最大可能性的估計器(Maximum likelihood estimator)來估計近距離信號源的水平角度與距離。這兩種方法的最大缺點是計算量大；因為他們必須在所有的可能解上作兩維搜尋，因此並不是用在即時的追蹤。另外在[6]中，Lee, Chen

與 Yeh 介紹了一種遠處逼近法(Far-field approximation, FFA)來處理近處信號源的水平方位估計。然而這方法，只適用於均勻分布且線性的陣列(uniformly spaced and linear)，而且當信號源移動至較近的區域時，估計值是有偏差的。另外 FFA 法則也不提供距離的估計。於是乎我們嘗試用模糊類神經網路來解決此問題。利用模糊類神經網路建立陣列輸出與信號源水平方向與距離的對映(mapping)，由於模糊類神經網路是個一般的對映機制，因此信號源水平方向與距離可以得到一個正確的估計，而由於模糊類神經網路是一個平行運算機制，在本計畫中我們將之應用在移動信號的即時追蹤上。

#### 【多路徑環境中信號源的水平/垂直定位】

所謂多路徑係指信號源所發射的信號，經由不同路徑進入接收的感知陣列，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，信號經常為地形地物所反射而產生多路徑現象；水底聲納系統中，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[4,7]中，類神經網路成功的應用在海面上多路徑的低角度雷達追蹤上，進而估計出信號源的垂直高度。本計畫使用模糊類神經網路來估計出多路徑環境中的水平與垂直高度。

整體而言，本計畫製作一多輸入雙輸出的對映系統，用來估計近距離信號源的水平角度與距離。或用來估計多路徑環境中信號源的水平與垂直高度，以下我們將探討如何利用模糊類神經網路來實現多輸入雙輸出的對映系統，並適當的用在信號源的定位與追蹤上。

### 三、研究方法

首先我們介紹近距離信號源定位與追蹤的數學模型，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多路徑中信號源水平與垂直方位估計。

#### 【近距離信號源定位與追蹤之數學模型】

考慮一個移動信號源正發射出窄頻信號，為一  $p$  個被動感知元件所組成的陣列所接收，這些感知元件的位置是可以任意排列的（如圖一所示）。因為信號源與陣列的近距離使得在陣列所在的位置，信號的波前是弧形而非直線，在這樣近距離的假設下，第  $i$  個感知元件在時間  $t$  的輸出為

$$x_i(t) = a_i(r, \theta) \cdot s(t) + n_i(t), \quad i = 1, \dots, p.$$

上式中  $r$  是信號與陣列中心的距離， $\theta$  為角度， $s(t)$ ， $n_i(t)$  分別指信號源發射之信號的大小與雜訊， $a_i(r, \theta) \cdot s(t)$  指第  $i$  個感知元件在此信號源的照射下的輸出，其中

$$a_i(r, \theta) = \frac{c_i}{z_i} \exp(-j \frac{2\pi}{\lambda} z_i),$$

上式中  $\lambda$  是波長、 $z_i$  是信號源第  $i$  個感知元件的距離、 $c_i$  是第  $i$  個感知元件的增益係數。我們假設  $c_i = 1, i = 1, \dots, p$ 。另外，如圖一所示：

$$z_i^2 = r^2 + d_i^2 - 2rd_i \cos \phi_i$$

$$\phi_i = \theta_i + \theta.$$

我們將研究如何利用 FNN 估計  $\theta$  與  $r$ 。也就是將  $\{x_i\}_{i=1}^p$  輸入至一個由 FNN 所建構的系統，而此系統將輸出  $\theta$  與  $r$  的估計值。

#### 【以 FNN 為基礎的近距離移動追蹤器】

這追蹤器需要即時地估計出兩個參數  $\theta$  與  $r$ ，本計畫利用 FNN 的平行運算能力建立兩種以 FNN 為基礎的估計器來達成這樣的目的：一是以 FNN 為基礎的角度估計器，另一個是以 FNN 為基礎的距離估計器。事實上根據我們的初步研究顯示用一個 FNN 來同時估計  $\theta$  與  $r$  不可行的，所以我們才設計此兩種估計器。其中以 FNN 為基礎的角度估計器是與距離無關的。於是乎，不管距離為何，FNN 角度估計器皆可估計出正確的角度。

圖二是 FNN 角度估計器方塊圖，其中

$$u_{2i-1} = \operatorname{Re}\left[\frac{x_i}{x_{i+1}}\right]$$

$$u_{2i} = \operatorname{Im}\left[\frac{x_i}{x_{i+1}}\right], i = 1, \dots, p.$$

再者，

$$\theta = \frac{\theta_{\max} - \theta_{\min}}{2} xy + \frac{\theta_{\max} + \theta_{\min}}{2}$$

$\theta_{\max}, \theta_{\min}$  是信號源角度的最大最小可能值。一旦角度估計之後，距離就可被估計了。一個 FNN 距離估計器適用於一個特定的角度範圍，圖三是 FNN 距離估計器的方塊圖，其中在輸出我們使用  $r^{1/k}$  的原因是當角度固定時，距離越遠陣列輸出的變化越

小，即  $\left.\frac{du_i}{dr}\right|_{r \text{ is small}} \gg \left.\frac{du_i}{dr}\right|_{r \text{ is large}}$ 。這種現象可

能導致 FNN 距離估計器難得有效地對映  $\{u_i\}_{i=1}^n$  到  $r$ 。然而  $k$  的使用使得

$$\left.\frac{du_i}{dr^{1/k}}\right|_{r \text{ is small}} \approx \left.\frac{du_i}{dr^{1/k}}\right|_{r \text{ is large}}$$

於是  $\{u_i\}_{i=1}^n$  與  $r^{1/k}$  的對映關係可由 FNN 實現之。

結合 FNN 角度估計器與距離估計器，我們得到如圖四的近距離信號源追蹤器。

### 【多路徑信號原水平與垂直定位】

這個問題一樣需要估計兩個參數，水平角度與垂直角度。圖五是此問題的示意圖。其中信號經由路徑傳播至感知陣列， $\text{ray}_s$  是直線路徑， $\text{ray}_1$  是由反射面  $\text{reflector}_1$  所反射產生的路徑； $\text{ray}_2$  是由反射面  $\text{reflector}_2$  所造成的。於是陣列的輸入可表示成

$$x(t) = A \cdot s(t) + A_1 \cdot s(t) \cdot \rho_1 + A_2 \cdot s(t) \cdot \rho_2 + n(t)$$

其中  $A(t) \cdot s(t)$  是  $\text{ray}_s$  所造成的陣列輸出， $A_1(t) \cdot s(t)$  是  $\text{ray}_1$  所引起的， $\rho_1$  是  $\text{reflector}_1$  的反射係數；同樣的  $A_2(t) \cdot s(t)$  是  $\text{ray}_2$  所引起的， $\rho_2$  是  $\text{reflector}_2$  的反射係數。另外  $A, A_1, A_2$  是陣列的方向向量，向量中的第  $i$  個元素是

$$a_i = \exp\left\{j \frac{2\pi}{\lambda} (x_i \xi_s + y_i \varsigma_s)\right\}$$

$$a_{1i} = \exp\left\{j \frac{2\pi}{\lambda} (x_i \xi_1 + y_i \varsigma_1)\right\}$$

$$a_{2i} = \exp\left\{j \frac{2\pi}{\lambda} (x_i \xi_2 + y_i \varsigma_2)\right\}$$

其中  $(x_i, y_i)$  是第  $i$  個 sensor 的座標， $(\xi_s, \varsigma_s) = (\cos \alpha, \cos \beta)$ ， $\alpha, \beta$  是與  $x, y$  軸的夾角。

接著將以上述所得的經驗來估計  $\xi_s$  與  $\varsigma_s$ ，重點將著重在  $\xi_s$  與  $\varsigma_s$  是否可分別估計如同估計近距離信號源位置時估計  $\theta$  與  $r$  一樣。

#### 四、結論

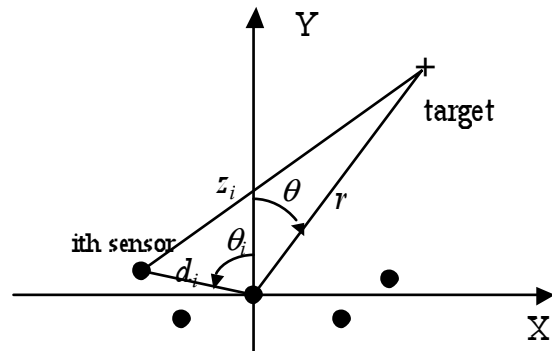
本計畫提出一個如何利用模糊類神經網路 FNN 達成訊號源定位與追蹤的目的之方法，在本計畫中我們著重於近場的信號與多路徑環境中的信號源定位與追蹤。首先，在近場信號源的定位與追蹤上，我們建立了一個 FNN 水平角估計器估測信號源的水平角度，並建立 FNN 距離估計器以估測信號源距離。接著，在多路徑環境中，我們亦考慮了遠距離信號源，同樣的使用 FNN 建立水平與垂直角度的估計器並成功的完成估測出水平與垂直角度。最後，基於 FNN 的平行運算機制，本計畫所提出的方法可應用在即時信號源的追蹤上。

圖六為模擬結果，其中虛線為目標物移動軌跡，實線部分為 FNN 所估測知結果，星號(\*)則是感知元件所在位置。由模擬結果可以驗證本計畫所提出的方法是非常可行的。

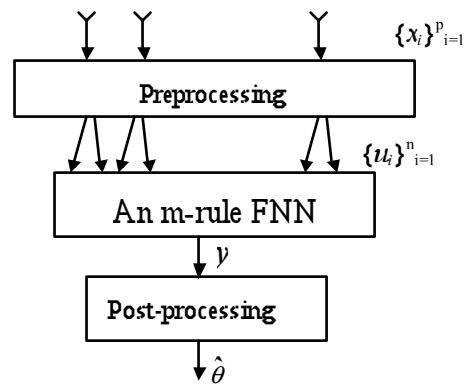
#### 五、參考文獻

- [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] H. L. Sonthall, J. A. Simmers, and T. H. D'Donel, "Direction Finding in Phased Arrays with a Neural Network Beamformer," *IEEE Trans. on Antennas Propagat.*, Vol. 43, No. 12, pp. 1369-1374, 1995.
- [4] T. Wong, T. Lo, H. Leung, J. Litva, and E. Bosse, "Low-angle Radar Tracking Using Radial Basis Function Neural Network," *IEE Proc.-F*, Vol. 140, No. 11, pp. 323-328, 1993.
- [5] Y. D. Huang and M. Barkat, "Near-field Multipath Source Localization Passive Sensor Array," *IEEE Trans. on Antennas Propagat.*, Vol. 39, No. 7, pp. 968-975, 1991.
- [6] J. H. Lee, Y. M. Chen, and C. C. Yeh, "A Covariance Approximation Method for Near-field Direction-finding Using a Uniform Linear Array," *IEEE Trans. on Signal Processing*, Vol. 43, No. 5, pp. 1293-1298, 1995.

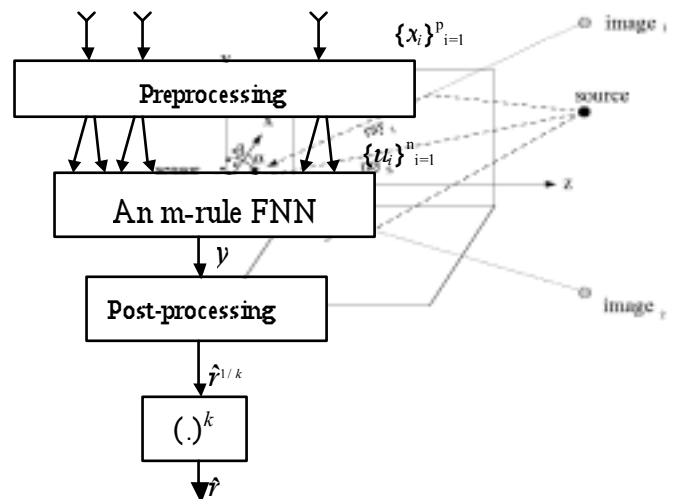
- [7] T. K. Y. Lo, H. Leung, and J. Litva, "Artificial Neural Network for AOA Estimation in a Multipath Environment over the Sea," *IEEE J. Ocean Engg.* Pp. 555-562, 1994.



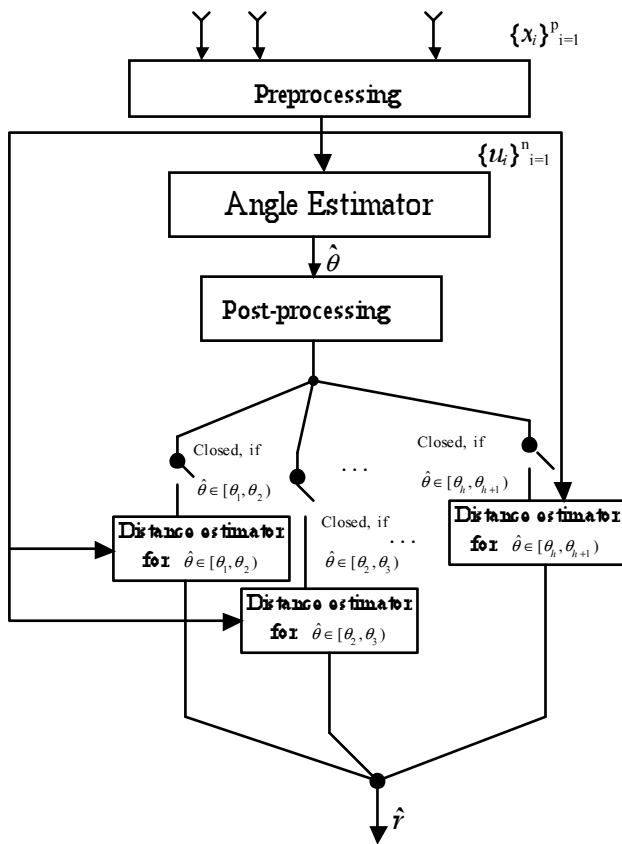
圖一



圖二

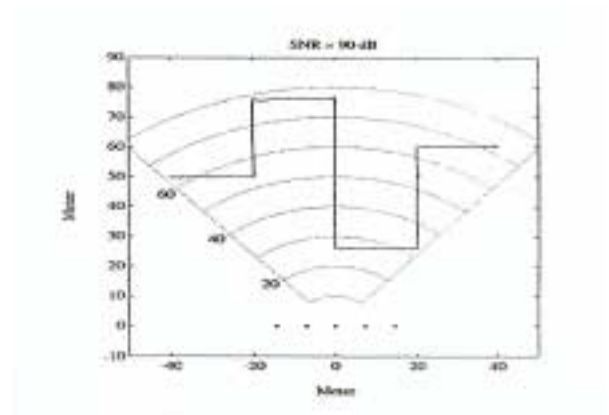


圖三



圖四

圖五



圖六