

# 人工智慧應用於載具外形及艙內空間之設計

閻建政<sup>1</sup>、王紀瑞<sup>2</sup>、陳德煒<sup>3\*</sup>、賀增原<sup>3</sup>

<sup>1</sup>銘傳大學商品設計學系

<sup>2</sup>建國科技大學自動化工程系暨機電光系統研究所

<sup>3</sup>國防大學理工學院動力及系統工程學系

## 摘 要

軍艦外形所呈現之雷達截面積將容易成為攻擊目標。因此，本文分為二個部分。首先，探討水面艦外形所反射雷達截面積，並且雷達截面積輸入類神經網路去預測雷達偵測率；藉由改變軍艦上層結構之側壁角度，分析不同雷達截面積對偵測率之影響。接著，利用模糊理論分析改變後之側壁角度，對艙內空間縮減之影響。分析的誤差值均在百分之五左右，可以得知結果不但注重軍艦的匿蹤效果，同時兼顧艙內空間影響，供往後軍艦在外形初步設計參考。

**關鍵字：**外形匿蹤，類神經網路，模糊理論

## Using Artificial Intelligence to Warships Shape and Cabin Space of Designs

Chien-Cheng Yen<sup>1</sup>, Wang Jee-Ray<sup>2</sup>, Der-Wei Chen<sup>3\*</sup>, and Tzeng-Yuan Heh<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Department of Product Design, Ming Chuan University

<sup>2</sup>Department of Automation Engineering & Institute of Mechatronic Systems, Chienkuo Technology University

<sup>3</sup>Department of Power Vehicle and Systems Engineering,  
Chung Cheng Institute of Technology,  
National Defense University

## Abstract

The radar cross section (RCS) of current surface battleship is getting more vulnerable. This paper divides into two parts. First of all, the RCS value for the surface warships shape is studied, and applies the RCS value into neural network to predict the detection probability of radar. By changing the side wall angle of warships superstructure, the changed RCS value is analyzed to impact the influence of detection probability. Then the cabin space is considered after changing the side wall angle of warships superstructures by applying the fuzzy theory. This paper not only promotes the stealth effect of warships, but also considers the cabin space. So it can provide the reference of the preliminary shape design of warships under the mean error value below about 5 percent.

**Keywords:** Shape Stealth, Neural Network, Fuzzy Theory

文稿收件日期 98.8.4; 文稿修正後接受日期 98.10.23; \*通訊作者

Manuscript received August 4, 2009; revised October 23, 2009; \* Corresponding author

## 一、前言

作戰軍官是根據目標反射雷達電磁波，所產生截面積大小而辨識目標。從事這方面研究有許多專家學者。1965年 Crispin、JR.與 Maffett[1]提出整合各種簡單物體雷達截面積之方法，去估測軍艦或飛機等雷達截面積的技術。軍艦雷達截面積的發展，包含數值理論的計算與實驗數據量測的建立。1974年 Skolnik[2]利用雷達掃描頻率與軍艦排水量等參數作為計算雷達截面積之經驗公式。1980年 Ewell 與 Zehner[3]以雙向雷達截面積及相關接收信號方程式用於計算軍艦雷達截面積，並比較單向雷達截面積之差異及建立量測校正技術。1990年 Tice[4]綜合各種雷達截面積測量技術，提出計算軍艦雷達截面積之完整方法。2004年 Liu 與 Jin[5]利用有限元素法及值域分析法計算巨型軍艦之雷達截面積。

在匿蹤技術上，亦有多位學者嘗試改變外形，以降低雷達截面積，進而增加軍艦戰場存活率。1994年沈世海[6]提出美國將F-117A匿蹤飛機之技術應用在小水線面雙體型設計(Small Waterplane Area Twin Hull, SWATH)之特殊軍艦構型，使其能夠避開雷達搜索。1998年陳信宏與黃仁志[7]提出匿蹤技術是現今軍艦設計發展的重要趨勢，藉著降低艦體的雷達截面積，提升對抗雷達導引攻艦飛彈時的存活率，並且利用驗證過的雷達截面積計算軟體(RCS Analysis and Visualization System, RAVIS)，以量化方式去探討雷達截面積對軍艦匿蹤影響。2007年黃智威[8]利用高頻結構性模擬軟體(High Frequency Structural Simulator, HFSS)研究船體結構對於雷達散射截面積影響，並且發現船身採用內傾式結構可降低雷達截面積大小，將散射波反射至空氣中能減少敵方雷達偵測訊號，有效實現匿蹤技術。上述方法運用於匿蹤設計上有很大的助益，但是卻無法表現雷達偵測率(Probability of detection, Pd)縮減情形。有鑒於此，本文率先利用類神經網路對上層結構之側壁內傾角度、雷達截面積、雷達偵測距離等參數進行學習與預測，旨在瞭解側壁內傾角度改變時同時對雷達截面積縮減，以及雷達偵測率變化之情況。接著藉由模糊理論，研究側壁內傾角度改變後，對於空間影響。期望結合類神經網路與模糊理論在側壁內傾角度改變條件下，探討雷達截面積與空間彼此關係，俾利提供未來軍艦

在初步設計時，有關匿蹤設計與艙內空間佈置之參考。另外文中各類參考數據均從公開文件及書面資料獲得，所有資料均為學術上之探討，同時，結合類神經網路與模糊理論之數學模式架構，彼此相互的關係如圖1所示。

本文各章節分別為第二節為類神經網路之介紹，主要說明作用原理及涵義。第三節為模糊理論之內容，第四節模糊模式的建立。第五節為結果與討論。最後則將結果做一結論及對未來冀望。

## 二、類神經網路

### 2.1 倒傳遞類神經網路架構

倒傳遞類神經網路是一種具有學習能力的多層前授型網路，是目前類神經網路學習模式中最具代表性，應用最普遍的模式。1958年Rosenblatt發展的感知器僅為單層網路的結構，無法解決非線性的問題。直到1986年David Rumelhart及James McClelland等研究平行分散式訊息處理方式，進而提出著名的倒傳遞類神經網路(Back-Propagation Neural Network, BPNN)，這種含有隱藏層的學習演算法，實現多層網路的構想，同時解決大量權重的方法。

### 2.2 倒傳遞類神經網路訓練

預測經過匿蹤設計後，不同雷達偵測距離的條件下，在240、200及150公里所對應的偵測率。首先利用倒傳遞類神經網路針對各噸位軍艦之雷達截面積(RCS)實施訓練，並預測雷達偵測率。接著改變角度，分別以10°、15°、20°、25°及30°五種不同內傾角度分析雷達偵測率。

雷達截面積與雷達偵測距離4次方成正比( $\sigma \propto R_{max}^4$ )，且偵測距離又與雷達偵測率有以下方程式[9]：

$$Pd = \int_{V_T}^{\infty} \frac{R}{\psi_0} \exp\left(-\frac{R^2 + A^2}{2\psi_0}\right) I_0\left(\frac{RA}{\psi_0}\right) \quad (1)$$

其中 $V_T$ 為電壓門檻值， $\psi_0$ 為雜訊均方根值， $R$ 為過濾器輸出之信號振幅， $A$ 為反射信號振幅， $I_0$ 為修正係數。為了可以同時表達不同的角度對雷達截面積對偵測率之計算，因此應用倒傳遞類神經網路來預測雷達截面積與偵測率大小。

首先以雷達截面積作為訓練、驗證及測試數據集，並且參考王慶華[10]在不同雷達偵測距離下，雷達截面積及偵測率關係。然後對應雷達偵測率為目標數據集，建構倒傳遞類神經網路。將獲得的訓練、驗證及測試數據集輸入建構完成之倒傳遞類神經網路進行訓練，網路之最佳平均誤差率為 $7.76867 \times 10^{-10}$ ，可以瞭解倒傳遞類神經網路已完成訓練。

### 2.3 倒傳遞類神經網路測試與分析

完成訓練後，進一步執行網路測試，將網路測試後的輸出與實際值比較，結果如表1。表1顯示使用倒傳遞類神經網路設計，其誤差值均位於百分之5左右，可以接受。接著使用 $10^\circ$ 、 $15^\circ$ 、 $20^\circ$ 、 $25^\circ$ 及 $30^\circ$ 五種不同內傾角度設計，改變雷達截面積內傾角度。五種內傾角度經由網路模擬如表2所示。表2表示經過內傾 $10^\circ$ 的角度匿蹤設計之後，則雷達截面積縮減為 $1,000 m^2$ ，偵測率降為約0.20，即為一艘排水量約500噸級軍艦，若艦上配備保護性干擾彈（雷達截面積為 $2,000 m^2$ ）的話，則只需發射一顆保護性干擾彈，其產生之雲幕即可使軍艦免於敵人攻擊[11]，而且一般雷達偵測率要大於0.50才能有效判斷所獲得的訊號為目標物[10]。

## 三、模糊理論

### 3.1 輸入與輸出語彙變數

軍艦具有匿蹤造型，主要是形容軍艦外形有良好的對比，例如：“傾斜明顯”，從這句話可以包含四個部份：名稱(Name)、種類(Class)、範圍(Range)及程度(Degree)。在歸屬函數中名稱便是傾斜，種類可用很明顯、明顯及不明顯。範圍則是很明顯在歸屬函數中 $x$ 軸所分布的區間。程度則是各種種類的模糊集合中歸屬函數的形狀，本文歸屬函數的形狀為三角形。除了傾斜之外，其餘的因素尚考慮“船寬”及“艙間高度”，這些為輸入因素。這些因素轉換為輸出艙內空間[12]。

由圖2可知內傾角度、船寬、上層結構高度及艙內空間具有以下數學關係式(船長係以建造設計時制訂，此均以單位船長進行運

算)：

$$S = \frac{[B + (B - 2 \times H \times \tan(\alpha))] \times H}{2} \times L = [B \times H - H^2 \times \tan(\alpha)] \times L \quad (2)$$

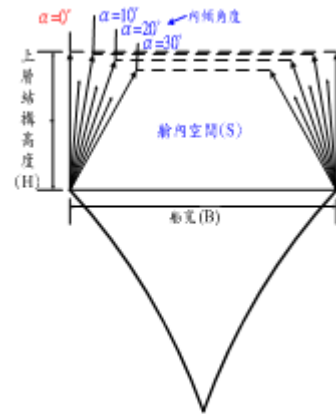


圖2 軍艦艙內空間改變情形。

考慮軍艦上層結構側壁角度及艙內空間的變化，此以內傾角度、船寬及上層結構高度作為模糊邏輯之輸入變數，以決定艙內空間之輸出，並用MATLAB做為工具。

### 3.2 輸入與輸出模糊規則

完成模糊邏輯輸入與輸出之語彙變數、模糊集合及歸屬函數定義之後，接著經由經驗法則訂定相關之模糊規則，以多種語彙型式之條件來形容，因此為複合模糊命題(Compound Fuzzy Propositions)，並且語彙的組合是用「且」(and)及相互之間最多可得 $R^{45}$ 條模糊規則，敘述如下：

$R^1$ ：若 $\alpha$ 是 $S$ ，且 $B$ 是 $N$ ，且 $H$ 是 $L$ ，則 $S$ 是 $N$ ；(規則1：若內傾角度是小的，且船寬是狹窄的，且上層結構高度是低的，則艙內空間是狹窄的)

$R^2$ ：若 $\alpha$ 是 $S$ ，且 $B$ 是 $N$ ，且 $H$ 是 $M$ ，則 $S$ 是 $M$ ；

(規則2：若內傾角度是小的，且船寬是狹窄的，且上層結構高度是適中的，則艙內空間是適中的)

### 3.3 模糊推論與解模糊化

訂定模糊規則後，接著將輸入推論至輸出，即所謂的模糊推論句。模糊推論是模糊邏輯之核心，其作用為模擬人的邏輯思考，將系統之模糊輸入變數藉由近似推理運算而得到

結論，也就是模糊輸出變數。

解模糊化過程主要目的是將各種模糊集合轉換為明確值，此所用的方法為重心解模糊法，公式如下：

$$y^* = \frac{\int_y yB'(y)dy}{\int_y B'(y)dy} \quad (3)$$

其中分母代表經過模糊推論完成後所得 $B'(y)$ 的面積，整個分式計算出來的值便是該面積的重心，整理軟體所執行的結果如表3。

#### 四、模糊模式的建立

考慮船艦上層結構側壁角度及艙內空間的變化，本文以內傾角度、船寬及上層結構高度作為模糊邏輯之輸入變數，以決定艙內空間之輸出是自然合理的選擇，其模糊邏輯之輸入與輸出模式如圖3所示。前命題語彙變數為內傾角度 $\alpha$  (Introversive Angle)、船寬 $SB$  (Ship Breadth)及上層結構高度 $SH$  (Superstructure Height)，後命題語彙變數為上層結構空間 $SS$  (Superstructure Space)，並且分別定義其模糊集合，對每一個語彙變數，選擇一個適當的歸屬函數(Membership Function)，如下所述：

$$\alpha = \{S, MS, M, MB, B\} \quad (4)$$

$$SB = \{N, M, W\} \quad (5)$$

$$SH = \{L, M, H\} \quad (6)$$

$$SS = \{EN, N, M, C, EC\} \quad (7)$$

其中各符號的意義：

$S$  (Small)，小的；

$MS$  (Medium Small)，中小的；

$M$  (Medium)，適中的；

$MB$  (Medium Big)，中大的；

$B$  (Big)，大的；

$N$  (Narrow)，狹窄的；

$W$  (Wide)，寬闊的；

$L$  (Low)，低的；

$H$  (High)，高的；

$EN$  (Extremely Narrow)，非常狹窄的；

$C$  (Commodious)，寬敞的；

$EC$  (Extremely Commodious)，非常寬敞的。

#### 五、結果與討論

經由 MATLAB 軟體，執行模糊推論相關輸入與輸出的關係如表3，可以瞭解有下列狀況：

狀況1：

當內傾角度為 $20^\circ$ ，船寬為13.8m，上層結構高度2.5m，則上層結構空間是適中的，如圖4中紅線所代表的趨勢。利用軟體在現有的架構下，可以瞭解不同條件的狀況，如以下狀況2至狀況4。

狀況2：

當內傾角度為 $26^\circ$ ，也就是輸入的條件僅改變內傾角度，其餘的條件不變，船寬為13.8m，上層結構高度2.5m，則可以看出上層結構空間僅佔適中76%，如圖4。

狀況3：

當內傾角度為 $20^\circ$ ，船寬為15m，上層結構高度2.5m，也就是僅有船寬改變，其餘輸入項沒有改變，則可以看出上層結構空間僅佔適中的60%，以及佔寬敞的40%，如圖5。

狀況4：

當內傾角度為 $20^\circ$ ，船寬為13.8m，上層結構高度2.8m，也就是僅有上層結構高度改變，其餘輸入項沒有改變，則可以看出上層結構空間僅佔適中的42%，以及佔寬敞的58%，如圖6。

藉由以上的說明將可以瞭解到模糊邏輯串連語彙式形容詞，亦就是形容空間的語彙（非常狹窄的、狹窄的、適中、寬敞的、非常寬敞的）與設計建造數據（內傾角度為 $20^\circ$ ，船寬為13.8m，上層結構高度2.5m）彼此之間的關聯。

#### 六、結論

利用類神經網路預測縮減後之軍艦雷達截面積在雷達偵測上的數據，發現從最基本的內傾角度 $10^\circ$ 至最新發展之 $30^\circ$ ，經由網路模擬出來的偵測率(Pd)均明顯下降，這樣的結果顯示軍艦艇外形之訊跡如採用匿蹤設計的

話，將可以有效躲過敵人雷達追蹤與武器系統的攻擊。

經過匿蹤設計之軍艦，會伴隨產生一個不容忽視的情形，亦就是側壁角度向內傾斜後將擠壓艙內空間，進而限制艦上人員與各種設備之佈置。所以軍艦採用外形匿蹤設計後，必須考量相關艙內空間之規劃，俾利人員及武器設備發揮最大效能。因此運用模糊理論進行分析。

應用類神經網路預測軍艦在雷達截面積縮減下之雷達偵測率，當預測出來的偵測率結果符合造艦設計匿蹤需求之後，接著需考慮軍艦艙內空間之改變情形，即將軍艦外形匿蹤設計後之內傾角度與軍艦寬度、高度，應用模糊理論作進一步評估，並且將經過模糊邏輯與規則處理後之參數，回饋至軍艦建造設計上，以利調整艙內空間規劃與整體匿蹤效果。本文應用類神經網路作為軍艦外形訊跡匿蹤之分析與探討，並且結合模糊理論作為艙內空間最佳化之評估與研析，冀望能提供在國艦國造政策下軍艦建造設計之參考與運用。

## 七、參考文獻

- [1] Crispin, J. W., and Maffett, A. L., "Radar Cross-Section Estimation for Simple Shapes," *Proceeding of the IEEE*, Vol. 53, No. 8, pp. 833-848, 1965.
- [2] Skolnik, M. I., "An Empirical Formula for the Radar Cross Section of Ships at Grazing Incidence," *IEEE Transaction on Aerospace and Electronic System*, Vol. AES-10, pp. 292, 1974.
- [3] Ewell, G. W., and Zehner, S. P., "Bistatic Radar Cross Section of Ship Targets," *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, Vol. OE-5, No. 4, pp. 211-215, 1980.
- [4] Tice, T. E., "An Overview of Radar Cross Section Measurement Techniques," *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, Vol. 39, No. 1, pp. 205-207, 1990.
- [5] Liu, P., and Jin, Y. Q., "The Finite-Element Method with Domain Decomposition for Electromagnetic Bistatic Scattering from the Comprehensive Model of a Ship on and a Target Above a Large-Scale Rough Sea Surface," *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Vol. 42, No. 5, pp. 950-956, 2004.
- [6] 沈世海，"美海軍隱密艦"，*海軍學術月刊*，第 28 卷，第 6 期，第 71-73 頁，1994。
- [7] 陳信宏，黃仁志，"軍艦外形對雷達截面積影響之研究"，*新新雙月刊*，第 26 卷，第 6 期，第 131-144 頁，1998。
- [8] 黃智威，載具對電磁散射與輻射特性影響之研究—以軍艦及汽車為例，國立成功大學系統及船舶機電工程研究所碩士論文，台南，2007。
- [9] Skolnik M. I., *Introduction to Radar System*, McGraw-Hill Book Company, London, pp. 15-29, 1980.
- [10] 王慶華，"艦艇隱形技術及其應用展望（中）"，*海軍學術月刊*，第 30 卷，第 8 期，第 45-54 頁，1996。
- [11] 王慶華，龔彥彰，"水面艦船隱形技術及其對海軍戰略之影響"，*海軍學術月刊*，第 29 卷，第 2 期，第 20-31 頁，1995。
- [12] 賀增原、吳楓偉，"應用感性工程與模糊理論於載具構型之探討"，第十七屆國防科技學術研討會，桃園八德，第 107-114 頁，2008。

## 八、圖表彙整

表1 倒傳遞類神經網路輸出值誤差分析

雷達偵測距離 R (公里)	艦艇雷達截面積 值 (平方米)	雷達偵測 率(Pd)	網路模擬輸 出值(Pd)	誤差值 (%)	平均誤差值(%)
240	10000	0.94	0.9681	2.9872	4.30915 (準確度 95.6909%)
	5000	0.83	0.7993	3.7048	
	3000	0.64	0.6089	4.8640	
	2000	0.5	0.4847	3.062	
	1750	0.42	0.4094	2.5333	
	1500	0.33	0.3511	6.3818	
	1200	0.26	0.2772	6.6308	
200	10000	0.98	0.974	0.599	5.5602 (準確度 94.4398%)
	5000	0.94	0.9566	1.7681	
	2000	0.78	0.7629	2.1962	
	1500	0.66	0.6945	5.2242	
	1000	0.5	0.5393	7.858	
	750	0.38	0.3662	3.6237	
	600	0.26	0.2844	9.4	
	500	0.2	0.2276	13.8	
150	5000	0.99	0.9934	0.3414	4.2634 (準確度 95.7366%)
	1000	0.83	0.819	1.3217	
	500	0.6	0.6383	6.38	
	400	0.47	0.4577	2.6277	
	350	0.4	0.4123	3.07	
	300	0.3	0.3269	8.9567	
	250	0.26	0.2414	7.1461	

表2 五種內傾角度之雷達截面積縮減值與雷達偵測值

Rd (km)	RCS 值 (m <sup>2</sup> )	10°角 RCS R 值	Pd 值	15°角 RCSR 值	Pd 值	20°角 RCSR 值	Pd 值	25°角 RCS R 值	Pd 值	30°角 RCSR 值	Pd 值
240	10000	1000	0.20234	720	0.14758	580	0.11945	370	0.07637	300	0.06177
	5000	500	0.11015	360	0.07938	290	0.06380	185	0.04019	150	0.03226
	3000	300	0.07111	216	0.05088	174	0.04069	111	0.02530	90	0.02015
	2000	200	0.05128	144	0.03647	116	0.02903	74	0.01782	60	0.01407
	1750	175	0.04401	126	0.03119	101.5	0.02477	64.8	0.01509	52.5	0.01185
	1500	150	0.03671	108	0.02591	87	0.02050	55.5	0.01235	45	0.00963
	1200	120	0.02792	86.4	0.01956	69.6	0.01537	44.4	0.00906	36	0.00696
200	10000	1000	0.53710	720	0.36122	580	0.24746	370	0.20648	300	0.19241
	5000	500	0.23083	360	0.20665	290	0.18735	185	0.17564	150	0.16634
	2000	200	0.18392	144	0.16305	116	0.15106	74	0.13838	60	0.13063
	1500	150	0.16522	108	0.14875	87	0.14051	55.5	0.11506	45	0.10038
	1000	100	0.14654	72	0.13242	58	0.12404	37	0.09014	30	0.07963
	750	75	0.13786	54	0.11425	43.5	0.09718	27.75	0.07757	22.5	0.07360
	600	60	0.12918	43.2	0.09632	34.8	0.08496	22.2	0.07347	18	0.06942
	500	50	0.10205	36	0.08739	29	0.07853	18.5	0.06942	15	0.06135
150	5000	500	0.62254	360	0.42422	290	0.30488	185	0.18364	150	0.16584
	1000	100	0.10714	72	0.10173	58	0.09610	37	0.06525	30	0.06029
	500	50	0.09215	36	0.06437	29	0.06087	18.5	0.03774	15	0.03569
	400	40	0.07116	28.8	0.05688	23.2	0.04281	14.8	0.03369	12	0.02765
	350	35	0.06416	25.2	0.04384	20.3	0.04007	12.95	0.02867	10.5	0.02462
	300	30	0.05817	21.6	0.04138	17.4	0.03674	11.1	0.02585	9	0.02156
	250	25	0.04352	18	0.03792	14.5	0.03271	9.25	0.02353	7.5	0.01957

表3 輸入與輸出的關係

Input			Output
內傾角度( $\alpha$ )	船寬( $B$ )	上層結構高度( $H$ )	上層結構空間( $S$ )
20	13.8	2.5	24.15
26	13.8	2.5	24
內傾角度( $\alpha$ )	船寬( $B$ )	上層結構高度( $H$ )	上層結構空間( $S$ )
20	15	2.5	24.4
20	13.8	2.8	24.51

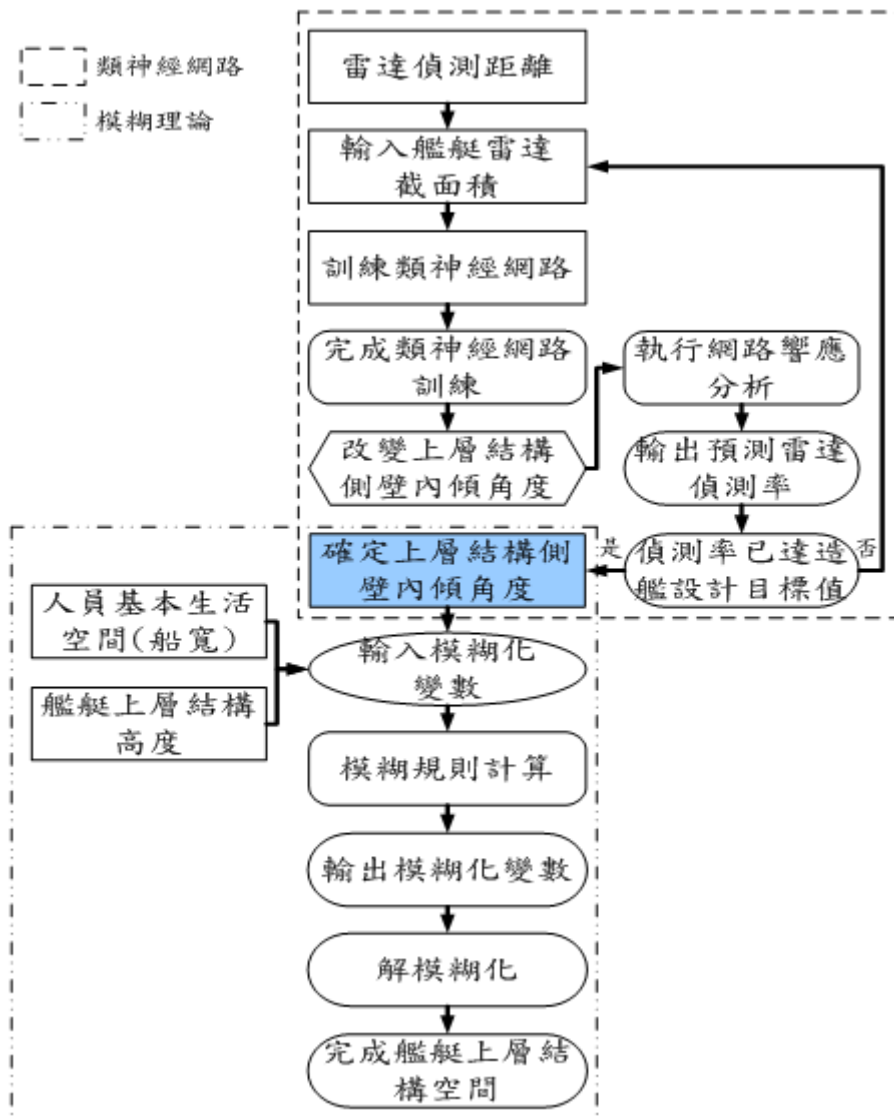


圖1 類神經網路與模糊理論相互關係。



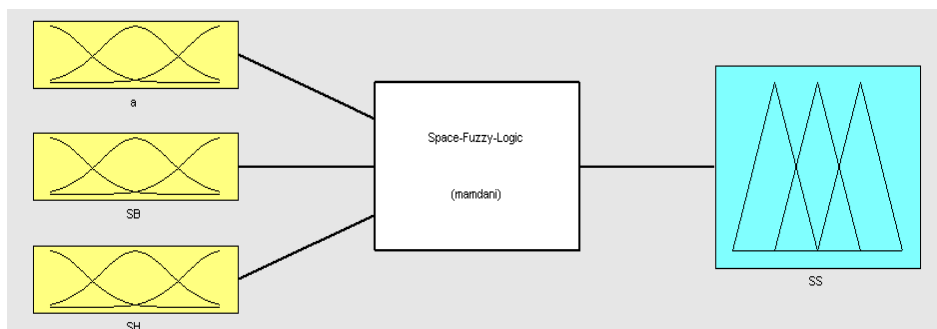


圖3 模糊邏輯之輸入與輸出模式。

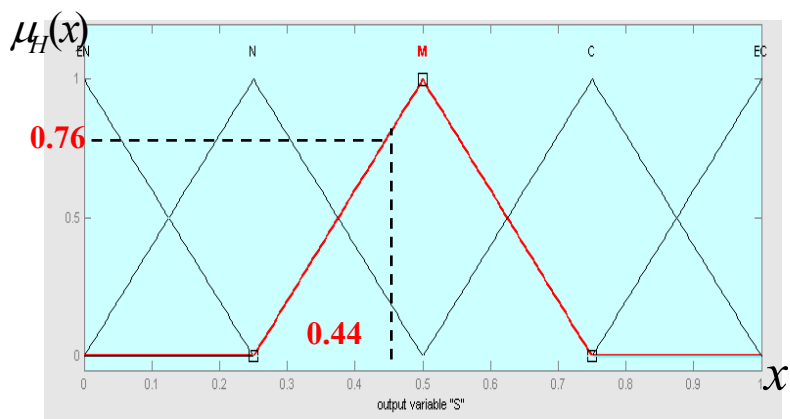


圖4 狀況2結構空間模糊集合。

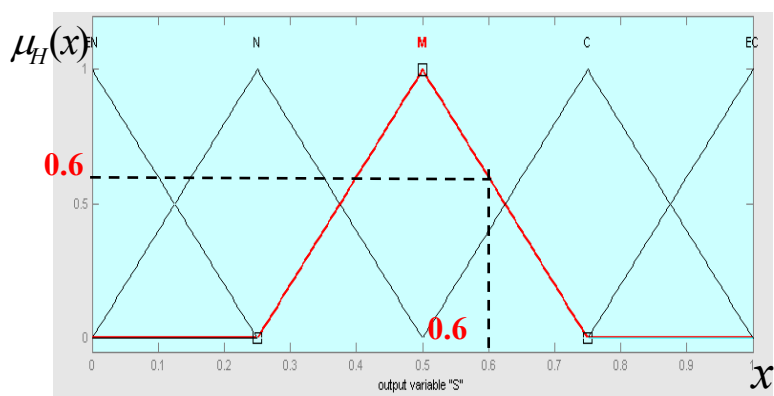


圖5 狀況3結構空間模糊集合。

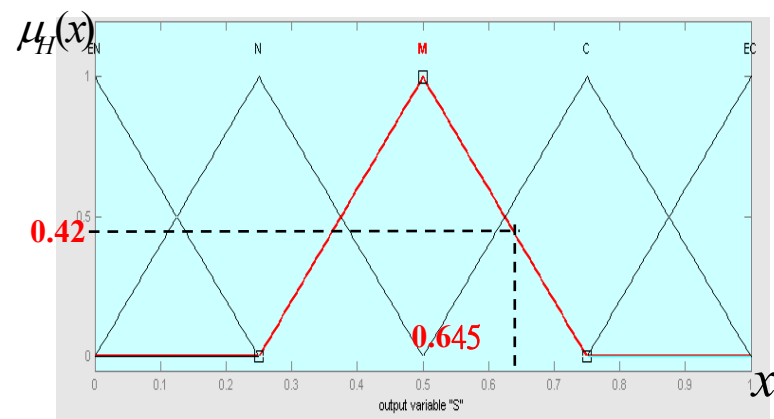


圖6 狀況4結構空間模糊集合。

閻建政等  
人工智慧應用於載具外形及艙內空間之設計