

應用模糊理論與類神經網路於數位內容文字與背景配色視認性之研究

Harmonious Visibility to Colors Combination with Letters and Backgrounds in Digital Contents by Neural-Fuzzy Study

林振陽* 陳明熙** 高瑞陽***
Jenn-Yang Lin* Ming-Shi Chen** Jui-Yang Kao***

*南華大學應用藝術與設計學系 教授
**環球技術學院商務科技管理系 講師
***國立雲林科技大學設計學博士班 博士生

摘要

數位內容產業在現今資訊時代是一項重要的產業，同時也是大多數生活的一部份，舉凡媒體溝通、教育學習、育樂或者是資訊傳達等，都與數位內容息息相關。有鑒於數位內容中不良的文字與背景配色，會導致該數位內容被識別或認知上的障礙，本研究應用模糊理論與類神經網路的方法來建立一個推論系統，該系統得以依據輸入的背景顏色來推論一個文字顏色，使得這兩個顏色的搭配讓數位內容文字媒體有高度的視認性。本研究建立的系統利用模糊理論來推論輸入色的色域歸屬，不同色域的顏色有不同的預測模型，而這些模型是由完成訓練的類神經網路所建構，最終再經過解模糊化的程序來獲得特定的背景顏色。本研究進行兩階段的色彩學實驗，最終以多媒體的形式建立了應用系統，經實際操作確實能有效地推論出高度視認性的配色。

關鍵字：視認度、模糊系統、類神經網路

Abstract

Digital content has become an important industry as information age, which closely connects most aspects with media communication, learning & education, leisure entertainment and information transmission of life at all. For ill match colors with letters and background of digital content will cause obstacles to visibility and legibility. Based on inference system building with fuzzy theory and neural networks, this research sets up a method with colors input by backgrounds to infer the colors from letters. Then contribute to these two parts of digital contents, which attained to a harmonious colors combination of highly visibility. Utilizing this inference of neural-fuzzy model by watching different inputs of membership to the hue gamut, each hue gamut reacts to a different predicting model for itself. As it had been trained by neural networks, specific colors of background will obtained by de-fuzzy process. After these two steps of color experiments, a practical user interface of multimedia has been built on an application system. Reiterating tests to the user interface ultimately, valid inference to legibility and visibility of match colors as it used to be.

Keyword : Visibility, Fuzzy System, Neural Network

一、前言

1. 研究動機

數位內容產業業經行政院列為六年國家重點計畫「兩兆雙星核心優勢產業計畫」中之推動要項，並於九十一年五月十三日通過「加強數位內容產業發展推動方案」，期結合各相關部會資源與力量共同建構適合台灣數位內容產業發展環境與法規，吸引投資與國際合作、豐沛產業創新與管理人才之供給、健全產業發展金融輔助機制以鼓勵創業與接單運作、加速重點領域數位內容產業技術與產品之發展、協助廠商提昇國際行銷能力與競爭力。

台灣的數位內容業在 2002 年創下 1,537 億台幣的產值，預計未來三年的平均成長率為 20%，在 2006 年以前達成年產值 3,700 億台幣的目標。目前台灣共有 1,700 家數位內容公司，至 2006 年可望增至 3,000 家以上。截至 2002 年底止，數位內容業的從業人員為 3.3 萬人，預計至 2006 年將增加 4 萬個新工作機會。

數位內容產業概略可分為：數位遊戲、電腦動畫、數位學習、出版典藏、影音內容、行動應用服務、內容軟體、網路服務等八大領域。涵蓋了，電腦動畫、數位遊戲、數位學習、行動應用及服務、資料傳輸與視訊會議、互動電視、電子資料庫、數位出版、數位廣播、數位音樂、多媒體軟體和服務等。這些不同領域的數位內容產業有一個共同的特性，就是以顯示器來呈現，而絕大部分是由電腦螢幕或相似的顯示器來呈現。

數位內容大多以多媒體來表現，但還是有共通的特性，那就是都包含文字這個媒體，文字內容在數位內容多媒體之中佔據極大的比例。本研究即針對數位內容的文字與其背景在配色上的視認性 (Legibility) 進行研究。

2. 問題陳述

儘管數位內容產業所涵蓋的領域十分廣泛，其內涵亦有所差異，但是數位內容各領域仍有其共同點，例如內容本身是透過電腦螢幕或相似的顯示器來呈現，而且各類數位內容都包含了文字媒體。本研究想要探討的問題是針對媒體在電腦螢幕上呈現視認性的問題，電腦螢幕色彩視認性的議題雖然已有許多研究進行探討，但是針對文字顏色與背景顏色視認性的問題則較少討論全彩的色彩範圍，以全彩的色彩範圍作為輸出及輸入的研究可以說是少之又少。本研究所發現的問題陳述如下：

(1) 電腦螢幕文字色彩與背景色彩視認性研究，所探討的顏色範圍很少涵蓋全彩的範圍，因此對於數位內容的應用其實用性較差。

(2) 數位內容設計在配色部分，大多仰賴設計者的專業素養主觀地進行，在視認性的議題上缺法客觀評估或檢驗的方法與機制。

(3) 進行數位內容設計時，設計者較專注背景色的設計，以營造整體畫面的色彩感覺，文字色彩則以其視認性為主要考量，線行軟體並無快速產生具有高度視認性色彩的機制，導致設計者必須主觀地、費時地調配具有高度視認性的色彩。

(4) 數位內容的建立不侷限在受過色彩學訓練的設計師，未受色彩學訓練的數位內容生產者，往往無法設計出具有高度視認性的文字與背景配色。

3. 研究目的

本研究目的在探討數位內容中的文字色彩與其背景色彩應如何配色，方能具有好的視認性，最終找出 X 背景色應對到 Y 文字顏色的關係式，即 $f: X \rightarrow Y$ 中的 f 公式 (關係式)，這個方程式或計算模式將可以作為數位內容製作軟體的一部份功能，協助設計者快速有效的調配具有高度視辨性的配色。本研究有幾個特點分別說明如下。

(1) 本研究探討兩個顏色之間的視辨性關係，是一個相對的色彩差異，並非絕對的色彩差異，因此實驗用的監視器影響因素可以忽略。

(2) 實驗的進行採用受測者調色的方式，而不是在特定的顏色中挑選，可以避免主觀因素及認知上的差異。

(3) 本研究探討的是視辨性的議題，而非主觀喜好的問題，因此可將受測者之主觀因素降至最低。

(4) 本研究將色彩分析成色相(H)、彩度(S)及明度(B)三要素，分成兩階段來探討，以降低變數的複雜程度。第一階段採取模糊理論推論模式，將 H 值分個成 12 等分來討論，第二部份採取監督式學習神經網路模式，將實驗所得數據進行類神經網路學習樣本，使得該神經網路具有正確分類的功能。

4. 研究架構

本研究目的在建立一個模糊推論的運算機制，當給定一個背景顏色時，可以推論出一個文字顏色，使得該文字顏色在這個背景顏色之中能有良好的視辨性。本研究將建構一個模糊推論系統，透過兩個色彩實驗來建立模糊歸屬函數與訓練類神經網路，其中的推論規則以訓練完成的類神經網路來進行預測，本研究架構圖如圖 1 所示。

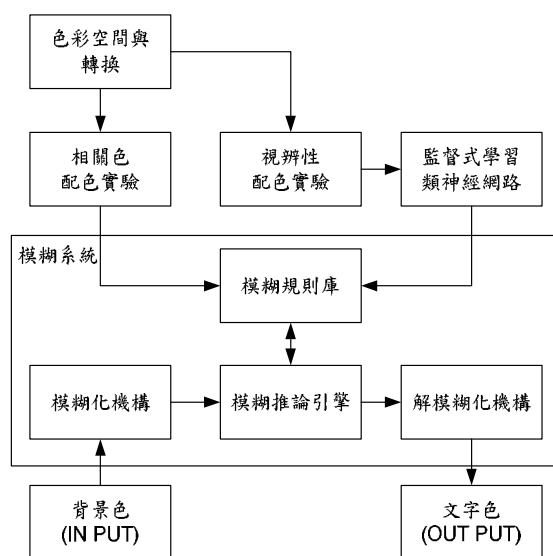


圖 1. 研究架構圖

二、文獻探討

本研究在探討數位內容中文字色彩與背景色彩的配色，並且針對其顏色搭配的視認性發展一個客觀的評估模式，研究中並且考慮一般人所熟悉的色彩模型與電腦螢幕顯色的色彩模型之間的差異，因此本章將探討文獻包含色彩視認性、色彩模型、色彩空間轉換、模糊系統以及類神經網路等。

1. 色彩視認性

所謂視認性 (legibility) 根據 Schanda (1993) 對視認性所下的定義為「一個字元或符號，可以很容易地被辨認出其視覺特性」，視認性通常也跟易讀性 (readability) 有關聯，易讀性根據 Mills and Weldon (1987) 指出易讀性通常都指的是文章涵意可以被理解的程度。

文字與背景色彩的配色，對於以電腦螢幕作為顯示器的數位內容而言，在使用者辨視該內容時確實是一個重要影響因素 (陳美琪，民國 91 年)，色彩三原素中的色相、彩度與明度其影響視認性的情形也不盡相同，也就是說在不同色相的情況之下彩度與明度的影響效果不同。

2. 色彩模型與色彩空間轉換

由於描述色彩的方式眾多，因此進行色彩系統相關研究時，經常需要建立多種不同色彩模型來描繪和重現色彩，其中較常用的模型有 RGB (紅色、綠色、藍色) - 放射光譜、CMYK (青色、洋紅、黃色、黑色) - 吸收光譜、CIE (國際照明協會) 所制訂的 L^*a^*b 以及輔助重現色彩的 HSB (色相、飽和度和明度) 模式等。本研究將使用的色彩模型有 RGB 及 HSB 兩種。

3. RGB 彩色模型

RGB 彩色模型也稱為加色模型，色彩來源於紅、綠、藍 3 種基本色 (三原色) 的不同亮度的疊加，故稱加色模型。它主要用來描述發光設備，如顯示器、電視機、掃描儀等裝置所表現的顏色。模型中，紅、綠、藍 3 種基色光分別用 256 個階調值度量，其值為 0 到 255，每一個通道都指定一個數值描述其階調，不同階調數值的這 3 種光的組合，便形成色彩豐富的顏色空間，例如 RGB 數值均為 255 時則組合可產生白光；當 R 的值為 255 而 G 與 B 的值為 0 時，則可模擬出純紅的效果來；RGB 數值均為 0 時則像素顯示為黑色；RGB 數值皆相同時，像素顯示不同程度的灰色。

RGB 彩色模型其中的每一個原色其數值範圍為 0 到 255，因此必需使用 8 位元 (Bit) 來記憶，三個原色共需使用 24 位元，這樣的色彩模型可以表達的顏色種類為 2^{24} 種顏色共計一千六百多萬種，因此也稱之為 24 位元色彩深度或者是全彩。

4. HSB 色彩模型

以 RGB 三原色光的亮度來定義色彩，是根據科學 (物理) 的看法來的。一般人通常不這樣看待色彩。人們習慣使用標準顏色 (Hue) 為基準，調和白色來稀釋它的濃度，以色彩學術語來說就是改變色彩的飽和度 (Saturation)；調和黑色降低它的反光的強度，以色彩學術語來說就是改變色彩的亮度 (Value 或 Brightness)，這樣來調混出適當的顏色。這表示顏色的方法，在電腦應用裡即為所謂的 HSV (或 HSB) 色彩座標。RGB 和 HSB 同為色彩的兩種座標系統，它們之間可以透過數學公式來轉換。

在 HSB 的色彩座標中 H 代表某些顏色的「色相」，類似於角度一樣，其值為 0 (度) 到 360 (度)，0 度的顏色和 360 度一樣為紅色。而 S 和 B 都是百分比值，數值是從 0 到 100。而 S 和 B 的值都是 100 的時候，表示沒有稀釋 (參入白色) 也沒有變暗 (參入黑色)，因此保留了 H 的原色。所以當 S 和 B 數值都是 100 的時候，連續調整 H 的值其變化會行成 360 度一圈的原色。

5. HSB(V) 色彩模型轉換成 RGB 色彩模型

在本研究色彩學實驗中，受測者調整的是 HSB 的值，但是數位內容在軟體中呈現則以 RGB 表現，因此受測者給定的值必須轉換成 RGB 在螢幕顯示。在 HSB 色彩模型轉換成 RGB 色彩模型的計算公式中，包含一些判斷公式，因此本研究以 JAVA 語言將之撰寫成程式語法來表示，內容如下：

```

void HSVtoRGB( float *r, float *g, float *b, float h,
float s, float v )
{
    int i;
    float f, p, q, t;
    if( s == 0 ) { // achromatic (grey)
        *r = *g = *b = v;
        return;
    }
    h /= 60; // sector 0 to 5
    i = floor( h );
    f = h - i; // factorial part of h
    p = v * ( 1 - s );
    q = v * ( 1 - s * f );
    t = v * ( 1 - s * ( 1 - f ) );
    switch( i ) {
        case 0:
            *r = v;
            *g = t;
            *b = p;
            break;
        case 1:
            *r = q;
            *g = v;
            *b = p;
            break;
        case 2:
            *r = p;
            *g = v;
            *b = t;
            break;
        case 3:
            *r = p;
            *g = q;
            *b = v;
            break;
        case 4:
            *r = t;
            *g = p;
            *b = v;
            break;
        default: // case 5:
            *r = v;
            *g = p;
            *b = q;
            break;
    }
}
    
```

6. RGB 色彩模型轉換成 HSB 色彩模型

RGB 色彩模型轉換成 HSB (V) 色彩模型可由公式來完成 (Karin, 1998)

$$H = \cos^{-1} \left\{ \frac{\frac{1}{2} [(R - G) + (R - B)]}{\sqrt{(R - G)^2 + (R - B)(G - B)}} \right\} \tag{1}$$

$$S = 1 - \frac{3}{R + G + B} [\min(R, G, B)]$$

$$V = \frac{R + G + B}{3}$$

其中 H 表示色相值, S 表示彩度值, V 表示明度值。

7. 模糊理論

1965 年加州柏克萊大學 L. A. Zadeh 教授在「Information and Control」期刊上發表「模糊集合論」(Fuzzy Sets)指出在現實世界中,絕大多數的事物是無法依明確的二分邏輯法加以判斷的,例如:「好」、「壞」、「大」、「小」...等自然語詞都具有邊界不明的模糊概念,這種強調具有「亦此亦彼的模糊概念集合」便稱之為「模糊集合」(Lee, 1990)。

相對於明確集合以明確函數來描述元素與集合間的關係,模糊集合則是以歸屬函數(Membership Function)來描述論域 X 中的元素 x 對應於一個模糊集合 A 的關係並與以量化,其歸屬函數 $\mu_A(x)$ 可以定義如下:

$$\mu_A(x) \in [0, 1] \tag{2}$$

歸屬函數表示元素 x 對應於模糊集合 A 的值,稱為歸屬度(Membership Grade),歸屬度是一個介於 0 和 1 之間的數值,當歸屬度愈大時代表元素 x 屬於模糊集合 A 的程度愈高,反之亦然。

模糊系統(fuzzy system)已廣泛地應用於自動控制、圖樣識別(pattern recognition)、決策分析(decision analysis)、以及時序信號處理等方面。模糊系統的基本架構如圖 2 所示,其中主要的功能方塊包括:1. 模糊化機構、2. 模糊規則庫、3. 模糊推論引擎、以及 4. 去模糊化機構(蘇木村,民國 92 年)。

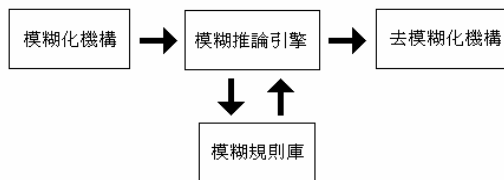
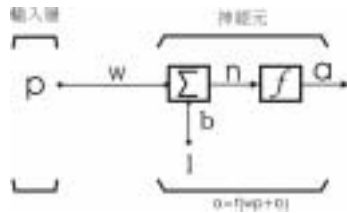


圖 2. 模糊系統架構圖

8. 類神經網路

類神經網路 (Artificial Neural Network, ANN), 係模仿生物神經網路的資訊處理系統,其基本運作方式為使用大量且簡單的相連人工神經

元，來模仿生物神經網路的計算能力 (Hirasawa etc., 1999)。由於類神經網路是模仿生物神經元運作模式所發展出來的人工智慧系統，具有學習能力、儲存能力、容錯性、歸納能力、與平行處理等，其資訊處理方式與生物神經運作相類似，故已在許多領域被應用於傳統的規則性運算法則或統計方法無法處理的非規則性問題，並獲得相當的成功。神經元運作模式如圖 3 所示。



P 為輸入輸入值
w 為權重值
b 為閾值
a 為輸出值

圖 3. 單個神經元模式(葉怡成, 1998)

多層的類神經網路基本架構如圖 4 所示。主要分為輸入層(Input layer)，輸出層(Output layer)和隱藏層(Hidden layer)。隱藏層的神經元個數和層數可以自行決定，隱藏層數越多、隱藏層的神經元越多，越能處理非線性程度高的問題，但是其計算量相對也越大(Hearn and Baker, 1986)。

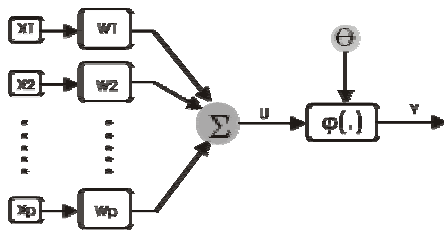


圖 4. 多層類神經網路(Michalewicz, 2001)

類神經網路能利用所獲得的資訊來改善本身的性能此過程為「學習」(Learning)，為了建立類神經網路能應付實際應用中的問題，對它進行訓練(Training)是必要的，神經網路學習就是從應用環境中選出具有代表性的訓練範例(Training Sample)或樣本(Patterns)，提供給神經網路學習藉以建立學習法則，直到達到應用目標的要求為止。

著名的類神經網路模式眾多，依據神經網路學習類型來分類，大致可分為四大類(Kohonen, 1988)：

- (1) 監督式學習網路(Supervised Learning Network)：從問題領域中取訓練範例（有輸入變數，也有輸出變數），並從中學習輸入變數與輸出變數的內在對應規則，以應用於新的案例（只有輸入

變數值，而須推論輸出變數值的應用)。例如：感知機網路(Perceptron)、倒傳遞網路(Back-Propagation Network, BPN)、機率神經網路(Probability Neural Network, PNN)、學習向量量化網路(Learning Vector Quantization, LVO)、反傳遞網路(Counter-Propagation Network, CPN)。

- (2) 非監督式學習網路(Unsupervised Learning Network)：從問題領域中取訓練範例（只有輸入變數），並從學習範例的內在聚類規則，以應用於新的案例（有輸入變數值，而須推論它與哪些訓練範例屬於同一聚類的應用），例如：自組織映射圖網路(Self-Organization Map, SOM)、自適應共振理論網路(Adaptive Resonance Theory Network, ART)。
- (3) 聯想式學習網路(Associate Learning Network)：從問題領域中取訓練範例（狀態值的改變），並從中學習範例的內在記憶規則，以應用於新的案例（只有不完整的狀態值的改變，而需推論其完整的狀態變數值的應用），例如：霍普菲爾網路(Hopfield Neural Network)、雙聯想記憶網路(Bi-direction Associate Memory, BAM)。
- (4) 最適化應用網路(Optimization Application Network)：類神經網路除學習應用外，還有一類特殊應用—最適化應用，對一問題決定其設計變數值，使其在滿足設計限制下，使設計目標達最佳狀態的應用。設計應用與排成應用屬之，此類應用的網路架構大都與聯想式學習網路架構類似，如：霍普菲爾—坦克網路(Hopfield-Tank Neural Network)、退火神經網路(Annealed Neural Network)。

三、 研究方法與步驟

本研究配色實驗分為兩個部份，第一部份為色域實驗，第二部份視辨性配色實驗。其中色域實驗主要目的在建立色相 H 值的模糊歸屬函數，使得任何一個顏色可以歸屬到本研究所定義的色域，進而進行模糊推論。視辨性配色實驗主要目的在產生具有高度視辨性的配色樣本，作為非監督式學習類神經網路的訓練樣本，訓練完成的類神經網路將作為模糊系統中規則庫的演算法則。

這兩個部份實驗採動態網頁方式來進行，為了讓受測者可以任意且及時地調配出實驗所指示的色彩，實驗用的動態網頁內嵌 Flash 動畫來讓受測者調色，調色完成之後將其數值 (HSB) 記錄在網路資料庫之中，以便日後分析。由於採取網頁互動多媒體的方式來進行實驗，因此受測者可以任意地調出全彩範圍的顏色，並且所做的調色動作可以獲得的即時的回饋，也就是說受測者所做的每一個細微

的調色動作，測試網頁可以即時將這樣的調色變化結果呈現出來，讓受測者更容易且精準地調出實驗所指定的顏色。研究的步驟流程如圖 5 所示。

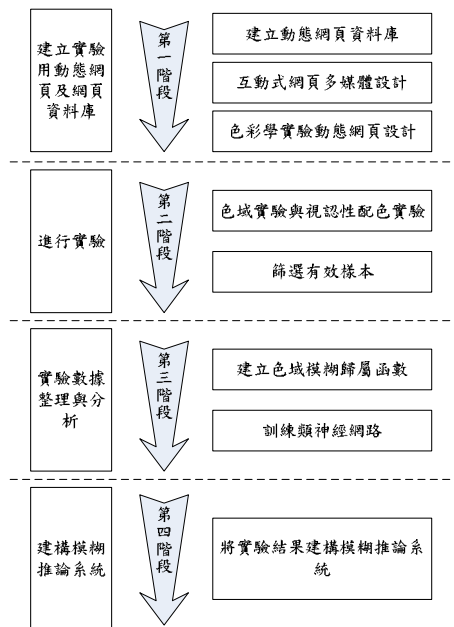


圖 5. 研究流程圖

1. 色域實驗

這個實驗的目的主要在建立一個模糊推論 (Fuzzy Reasoning) 的模糊規則。在前測實驗中，本研究嚐試將色相 (值域範圍為 0 度到 360 度) 分成 6 等份 (間隔 60 度) 及 9 等份 (間隔 40 度)，結果發現兩兩相鄰的實驗色 (色相) 無法有明顯的重疊，這樣的結果將造成模糊規則無法涵蓋所有的色相值域。因此，本研究將色相分為 12 等分來進行色域實驗，亦即每隔 30 度進行一個色域實驗，配合語意式變數的概念，本研究模糊推論將有 12 個語意變數，色相措詞集 $H(x)$ 定義為：

$$H(A) = \{0, 30, 60, \dots, 330\} \quad (3)$$

其中數值代表其色相值

H_0 表紅色， H_{30} 表橘色， H_{60} 表黃色， H_{90} 表黃綠色， H_{120} 表綠色， H_{150} 表青綠色， H_{180} 表青色， H_{210} 表青藍色， H_{240} 表藍色， H_{270} 表靛色， H_{300} 表紫色， H_{330} 表洋紅色，共計 12 個色相措詞。

色域實驗的結果將可獲得每一個色相措詞的模糊歸屬函數。因此 H_A 的歸屬函數 (membership function) 可表示如公式所示。

$$\mu_{H_A}(x) = \begin{cases} 0 & x < \alpha_{H_{A1}} \\ \frac{x - \alpha_{H_{A1}}}{\alpha_{H_{Am}} - \alpha_{H_{A1}}} & \alpha_{H_{A1}} < x < \alpha_{H_{Am}} \\ \frac{\alpha_{H_{Am}} - x}{\alpha_{H_{Au}} - \alpha_{H_{Am}}} & \alpha_{H_{Am}} < x < \alpha_{H_{Au}} \end{cases} \quad (4)$$

其所代表的歸屬函數圖形如圖 6 所示。

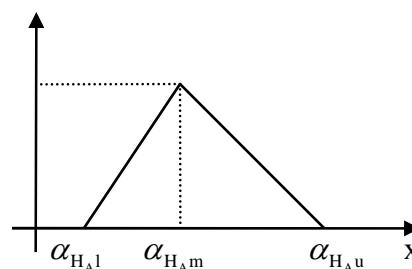


圖 6. 三角形歸屬函數

任何一個色彩歸屬不同色域的歸屬函數值總和應相等，在本研究中將之設定為 1，可利用公式來完成。

$$\mu_{H_A}(x) = \frac{\mu_{H_A}(x)}{\sum_{A=0}^{330} \mu_{H_A}(x)} \quad (5)$$

因此任何一個色彩的色相值 x 可由上述公式計算其在不同色域的歸屬程度。色彩在色相這個屬性的變化連續的，本研究透過色域實驗將色相分成 12 個色域，並且應用模糊理論來推論，可以順利推論任何一個顏色歸屬於實驗色域的歸屬函數值 (歸屬程度)。本研究所定義的 12 個色域，色域名稱以及其色彩相關數值如表 1 所示。

表 1. 各色域之 $\alpha_{H_{Am}}$ 顏色表

色域	H	S	B	RGB
紅色	000	100	100	#FF0000
橘色	030	100	100	#FF7F00
黃色	060	100	100	#FFFF00
黃綠色	090	100	100	#80FF00
綠色	120	100	100	#00FF00
青綠色	150	100	100	#00FF80
青色	180	100	100	#00FFFF

色域	H	S	B	RGB
青藍色	210	100	100	#0080FF
藍色	240	100	100	#0000FF
靛色	270	100	100	#8000FF
紫色	300	100	100	#FF00FF
洋紅色	330	100	100	#FF007F

色域實驗進行時由系統給定一個色域名稱及該色域之中間顏色 ($\alpha_{H_{Am}}$)，受測者參照這個顏色來調配出該色域所涵蓋的顏色範圍，在這個部份的實驗中受測者必須為 12 個色域分別給定其色域範圍才算有效樣本。進行色域實驗所用的互動式網頁多媒體如圖 7 所示。

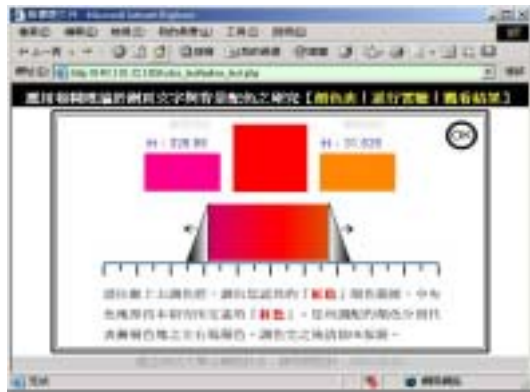


圖 7. 色域實驗所使用之互動式多媒體網頁

本實驗取得 12 位經過色彩學訓練的設計系研究生進行實驗的結果，將 12 位受測者所調配的顏色取其平均值，所獲得各色域模糊歸屬函數如表 2 所示。

表 2. 各色域三角形模糊歸屬函數值

色域	$\alpha_{H_{Al}}$	$\alpha_{H_{Am}}$	$\alpha_{H_{Au}}$
紅色	339	0	22
橘色	13	30	44*
黃色	43*	60	71*
黃綠色	70*	90	111
綠色	89	120	145
青綠色	135	150	166*
青色	165*	180	194
青藍色	195	210	241
藍色	211	240	261

色域	$\alpha_{H_{Al}}$	$\alpha_{H_{Am}}$	$\alpha_{H_{Au}}$
靛色	258	270	283*
紫色	282*	300	320*
洋紅色	319*	330	346

註：*表示色域之間沒有重疊修正後的數值。
將表 2 的實驗結果製作成連續的歸屬函數圖可以表示如圖 8 所示。

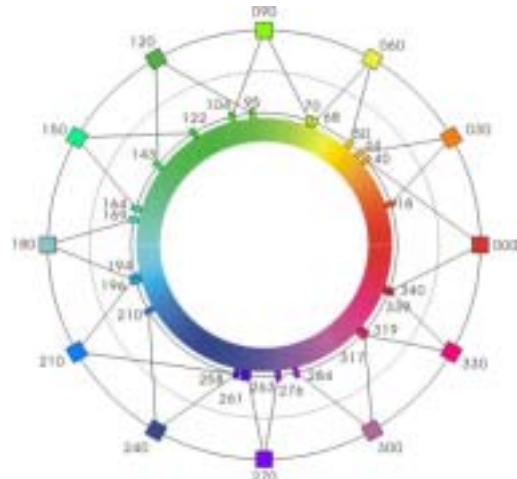


圖 8. 全部色域歸屬函數圖

2. 視辨性配色實驗

本階段實驗依照研究所定義的 12 個色域來進行，每一個色域分別在該色域取樣若干顏色來進行實驗，在同一個色域所取樣的實驗色彩，其色相值是固定的，即為第一階段實驗所定義的語意變數所代表的色相；而彩度與明度值則是變動的，依照高高度高彩度、高高度低彩度、低高度高彩度及低高度低彩度等原則，分別取四個顏色來進行實驗。實驗進行時由系統自動產生不同的背景色，再由受測者調出具有高度視辨性的文字顏色，實驗所得結果將用來訓練類神經網路。

在視辨性配色實驗中每一個色域由系統產生 4 個背景顏色，加上無彩度顏色，系統總共產生 54 個不同的背景顏色，實驗中出現的背景顏色如表 3 所示，受測者必須完成 54 個配色才算是一個有效的實驗樣本，實驗所用的互動式網頁多媒體如圖 9 所示。

表 3. 視辨性配色實驗背景顏色表

色彩名稱	H	S	B	RGB
紅色_1	000	100	100	#FF0000
紅色_2	000	15	100	#FFD9D9
紅色_3	000	100	40	#660000
紅色_4	000	50	50	#804040
橘色_1	030	100	100	#FF7F00
橘色_2	030	15	100	#FFECD9
橘色_3	030	100	40	#663300
橘色_4	030	50	50	#806064
黃色_1	060	100	100	#FFFF00
黃色_2	060	15	100	#FFFFD9
黃色_3	060	100	40	#666600
黃色_4	060	50	50	#808040
黃綠色_1	090	100	100	#80FF00
黃綠色_2	090	15	100	#ECFFD9
黃綠色_3	090	100	40	#336600
黃綠色_4	090	50	50	#608040
綠色_1	120	100	100	#00FF00
綠色_2	120	15	100	#D9FFD9
綠色_3	120	100	40	#006600
綠色_4	120	50	50	#408040
青綠色_1	150	100	100	#00FF80
青綠色_2	150	15	100	#D9FFEC
青綠色_3	150	100	40	#006633
青綠色_4	150	50	50	#408060
青色_1	180	100	100	#00FFFF
青色_2	180	15	100	#D9FFFF
青色_3	180	100	40	#006666
青色_4	180	50	50	#408080
青藍色_1	210	100	100	#0080FF
青藍色_2	210	15	100	#D9ECFF
青藍色_3	210	100	40	#003366
青藍色_4	210	50	50	#406080
藍色_1	240	100	100	#0000FF
藍色_2	240	15	100	#D9D9FF
藍色_3	240	100	40	#000066
藍色_4	240	50	50	#404080
靛色_1	270	100	100	#8000FF
靛色_2	270	15	100	#ECD9FF
靛色_3	270	100	40	#330066
靛色_4	270	50	50	#604080
紫色_1	300	100	100	#FF00FF
紫色_2	300	15	100	#FFD9FF
紫色_3	300	100	40	#660066

色彩名稱	H	S	B	RGB
紫色_4	300	50	50	#804080
洋紅色_1	330	100	100	#FF007F
洋紅色_2	330	15	100	#FFD9EC
洋紅色_3	330	100	40	#660033
洋紅色_4	330	50	50	#804060
黑色	0	0	0	#000000
白色	0	0	100	#FFFFFF
灰_20	0	0	20	#333333
灰_40	0	0	40	#666666
灰_60	0	0	60	#999999
灰_80	0	0	80	#CCCCCC



圖 9. 視辨性配色實驗所使用之互動式多媒體網頁

3. 倒傳遞類神經網路建構與訓練

本研究視辨性配色實驗中背景顏色由系統指定，將作為輸入顏色，使用者必須為每一個背景顏色調配出一個前景顏色，使得該前景與背景顏色搭配的結果具有良好的視認性，受測者所調出的前景顏色將作為輸出顏色。研究所採用的類神經網路是屬於監督式學習的類神經網路，即倒傳遞類神經網路（Backpropagation networks），研究中所定義的每一個色域，將個別建立一個類神經網路，利用實驗所獲得的配色作為訓練樣本，訓練完成的類神經網路，其隱藏層中的權重值，即可做為模糊推論系統中的推論規則運算公式。本研究共定義了 12 個色域，因此也將建立 12 個相同架構的類神經網路，分別將 12 個色域的實驗數據作為訓練樣本來訓練每一個類神經網路。

本研究使用 MATLAB 軟體來建構類神經網路並且進行訓練及模擬，最終將類神經網路各層權重值輸出，作為模糊推論中的推論法則。所建構的類神經網路輸入層有兩個神經元即為背景顏色的彩度值與明度值，隱藏層有三個神經元而輸出層有三個神經元即前景顏色的色相值、彩度值以及明度

值，整個神經網路架構如圖 10 所示。

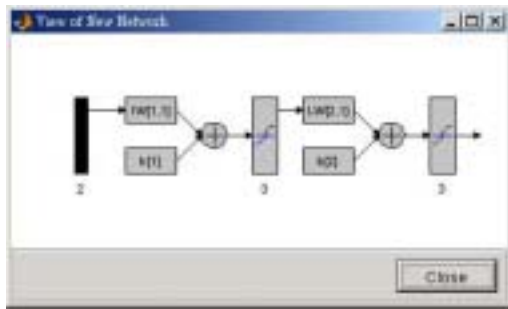


圖 10. 本研究所建構之類神經網路架構圖

經由第二階段視辨性配色實驗所獲得的實驗數據，以系統所給定的背景顏色作為輸入，受測者所調出的前景顏色作為輸出來訓練神經網路，所獲得訓練結果皆有明顯的收斂其誤差亦控制在 0.5 以下的水準，以紅色色域為例訓練學習指標如圖 11 所示其誤差為 0.262595。12 個色域訓練完成其誤差值如表 4 所示。

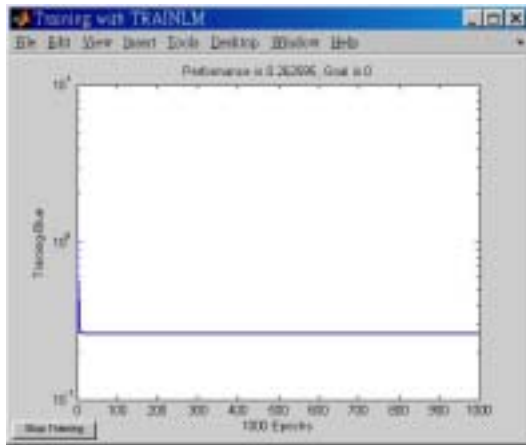


圖 11. 紅色色域訓練學習指標圖

表 4 12 個色域其個別類神經網路訓練完成之誤差值

色域	誤差值	色域	誤差值
紅色	0.262595	青色	0.175537
橘色	0.215185	青藍色	0.256145
黃色	0.418193	藍色	0.305713
黃綠色	0.330773	靛色	0.337841
綠色	0.270419	紫色	0.228776
青綠色	0.180122	洋紅色	0.314455

12 個訓練完成的類神經網路，將其權重值輸出。

四、 研究結果與分析

將第一階段色域實驗的結果設計成網頁多媒體來檢驗，當使用者輸入任何一個顏色時，系統皆能正確推論該顏色歸屬於哪一個色域，並且顯示其歸屬函數，模糊歸屬函數推論網頁如圖 12 所示。

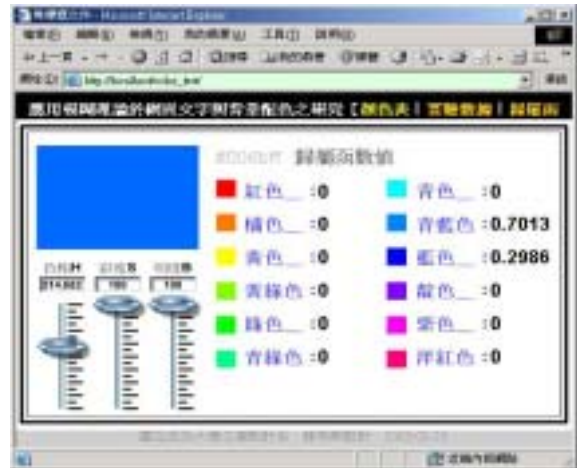


圖 12. 色域歸屬函數推論

第二階段視認性配色實驗的結果用來訓練類神經網路，依照錯誤率數據顯示 12 個色域的類神經網路皆獲得良好的訓練，因此直接在 MATLAB 軟體中進行模擬測試，對於每一個神經網路任意給予 25 個輸入值並將其輸出值匯出，可以獲得 25 組的配色，將這些配色以網頁的方式呈現如圖 13 所示。

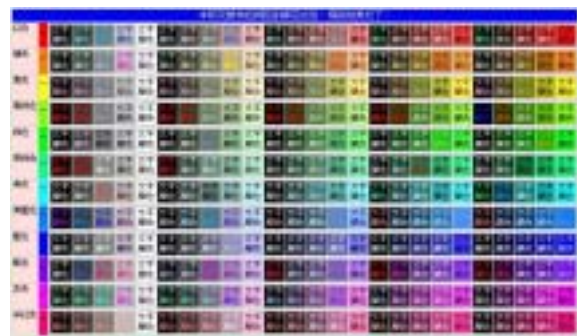


圖 13. 訓練完成之類神經網路模擬結果

本研究所建立之倒傳遞類神經網路輸入層有兩個神經元分別代表背景顏色的彩度值與明度值，隱藏層有三個神經元，輸出層有三個神經元分別代表前景顏色的色相、彩度及明度等，這樣的類神經網路結構可以圖 14 來表示。

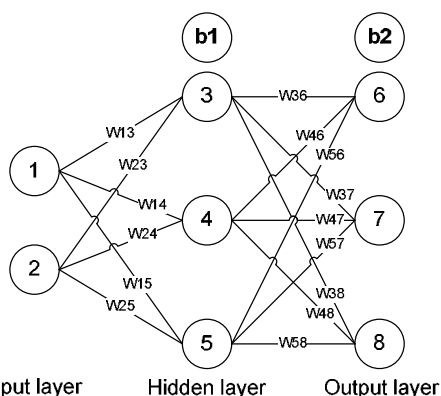


圖 14. 本研究所建構的倒傳遞類神經網路架構示意圖

其中神經元 1 代表背景色的彩度值、神經元 2 代表背景色的明度值、神經元 3 至 5 為隱藏層神經元、神經元 6 代表前景色的色相值、神經元 7 代表前景色的彩度值、神經元 8 代表前景色的明度值而 b1 及 b2 分別代表神經網路第一層及第二層的閾值，神經元與神經元之間的連線 W_{ij} 則代表神經元 i 對於神經元 j 的權重值，因此輸入值與輸出值之間的關係可以用下列公式來表示：

$$Net3=W13*X1+W23*X2+b3 \quad (6)$$

$$Net4=W14*X1+W24*X2+b4 \quad (7)$$

$$Net5=W15*X1+W25*X2+b5 \quad (8)$$

$$H3=2/(1+\exp(-2*Net3))-1 \quad (9)$$

$$H4=2/(1+\exp(-2*Net4))-1 \quad (10)$$

$$H5=2/(1+\exp(-2*Net5))-1 \quad (11)$$

$$Net6=W36*H3+W46*H4+W56*H5+b6 \quad (12)$$

$$Net7=W37*H3+W47*H4+W57*H5+b7 \quad (13)$$

$$Net8=W38*H3+W48*H4+W58*H5+b8 \quad (14)$$

$$Y1=2/(1+\exp(-2*Net6))-1 \quad (15)$$

$$Y2=2/(1+\exp(-2*Net7))-1 \quad (16)$$

$$Y3=2/(1+\exp(-2*Net8))-1 \quad (17)$$

其中 X1 為背景顏色彩度值（輸入）

X2 為背景顏色明度值（輸入）

b3 到 b5 為神經網路第一層的閾值

b6 到 b8 為神經網路第二層的閾值

Y1 為前景顏色色相值（輸出）

Y2 為前景顏色彩度值（輸出）

Y3 為前景顏色明度值（輸出）

$\exp(\text{number})$ 為以自然對數 e 為底的 number 次方

在第一階段色域實驗所建立的模糊推論系統中，將第二階段實驗結果分析所獲得的類神經網路訓練結果匯入，並設計成網頁多媒體來檢驗，當使用者輸入任何一個顏色時，系統皆能正確推論該顏色歸屬於哪一個色域並顯示其歸屬函數，且推論出具有高度視辨性的前景顏色，模糊推論系統網頁如圖 15 所示。



圖 15. 模糊推論系統網頁

五、 結論與建議

任意一個背景顏色 A 對應到一個文字顏色 B，當 A 與 B 的配色具有高度視辨性時，B 的顏色應該不是唯一的，其集合在色彩空間裡應該是一個連續相鄰的範圍，本研究的目的不在尋找該範圍的全部集合，而是尋找一個落在該範圍的一個點（顏色）。在未來的研究中，如能求得該範圍的全部集合，將更能有效的提供設計師配色時的參考。

本研究成果顯示，透過模糊推論與類神經網路的技術使得色彩推論的範圍可以順利涵蓋全彩的範圍，這樣的結果預期可以應用在：

1. 可以設計成為軟體的一個功能，使得使用者在從事數位內容設計時，可以獲得有效的配色建議。
2. 可以應用在系統平台之上，當使用者選擇或計算出一個背景顏色時，可以順利推論出具有高度視辨性的前景顏色。
3. 當數位內容的背景色彩是動態時，可以即時地改變前景的顏色，以維持數位內容的良好視認性。

由於本研究做了一些前提假設，有些作法還屬於嘗試階段，經過研究歷經的過程，發現一些缺失以及研究有所遺漏的問題，可供後續研究繼續發展改進。

六、 參考文獻

1. 李文政，結合基因演算法與 SIRMs 模糊控制器於倒單擺系統控制，國立中山大學機械與機電工程學系碩士論文，民國 93 年。
2. 涂育璋，應用類神經網路模式與基因演算法則於品質設計之研究，國立成功大學工業設計學系碩士論文，民國 92 年。
3. 陳美琪，LCD 文字與背景色彩組合對高齡者視

- 認性之影響，雲林科技大學視覺傳達設計系碩士論文，民國 91 年。
4. 張智星，MATLAB 程式設計【入門篇】，清蔚科技股份有限公司，台北，民國 93 年。
 5. 葉怡成，網神經網路-模式應用與實作，第五版，儒林圖書出版社，台北市，民國 87 年。
 6. 闕頌廉，應用模糊數學，科技圖書股份有限公司，台北，民國 90 年。
 7. 蘇木春，張孝德，機械學習：類神經網路、模糊系統以及基因演算法則，全華科技圖書股份有限公司，台北，民國 88 年。
 8. C.C. Lee, "Fuzzy Logic in Control Systems: Fuzzy Logic Controller-Part 1,Part2", IEEE Transaction on Systems, Man and Cybernetics, Vol.20, No.2, pp.404-434, 1990.
 9. C. Dou and J. A Macedo, "Complex System Inference-Control and Fuzzy Logic Modeling", International Journal Control, Vol.65, No.5, pp.373-378, 1995.
 10. Hearn, D. and Baker, M.P., Computer Graphics, Prentice Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 1986.
 11. Hirasawa, K., Hu J., Murata, J., Jin C., Etoh, H. and Katagiri, H., "Universal learning networks with varying parameters," Journal of Neural Networks, vol.2, pp. 1302-1307, 1999.
 12. Karin S., and Ioannis P. (1998), "A novel method for automatic face segmentation, facial feature extraction and tracking," Signal Processing:Image Communication, Vol. 12, pp. 263-281.
 13. Michalewicz, Z., Genetic Algorithms + Data Structures= Evolution Programs, Springer, 2001.
 14. N. H., K. N. P., and A. N. V. (1999), "Automatic location and tracking of the facial region in color video sequences," Signal Processing:Image Communication, Vol. 14, pp. 359-388.
 15. T. Suzuki, T. Furuhashi, S. Matsushita, H. Tsusui,"GA Search for Fuzzy Models under Multiple-Criteria", IEEE International Fuzzy Systems Conference Proceedings, Vol.3, pp.1427-1431, 1999.