

色彩數量與面積因素影響圖像複雜度之量化研究

魏碩廷* 楊清田**

* 國立台灣藝術大學視覺傳達設計學系
e-mail:shuo_ting_wei@yahoo.com.tw

** 國立台灣藝術大學視覺傳達設計學系
e-mail:t0009@mail.ntua.edu.tw

(收刊日期:94年07月22日;接受日期:95年11月24日)

摘要

本研究旨在利用視覺搜尋 (visual search)、複雜度測量 (complexity measure) 的方法, 驗證「色數」與「色面積」因素如何影響圖像的複雜度, 並據以提出適當的複雜度量化公式。結果顯示, 色數為 6 色以下時, 圖像複雜度的知覺明顯受到色數變化的影響, 6 色以上時則影響不顯著。色面積差異量越小, 則受試者覺得圖像越複雜, 兩者成線性關係。另外, 根據 Shannon 熵公式的應用所計算出的樣本圖像複雜度值與受試者的實驗數據之相關係數, 本研究提出兩種適當的量化公式: (1) $H_1 = -\sum_{i=1}^n p_i \cdot \log_2 p_i$, 其

中 $p_i = \frac{|S_i|}{|S|}$ 、 S 為圖像內所有元素組成的集合, S_i 為第 i 種顏色的元素所組成的集合。(2)

$H_2 = -\sum_{i=1}^n \sum_{j=i}^n p_{ij} \cdot \log p_{ij}$, 其中若 $i = j$ 則 $p_{ij} = \frac{C_2^{|S_i|}}{C_2^{|S|}}$ 、若 $i < j$ 則 $p_{ij} = \frac{|S_i| \cdot |S_j|}{C_2^{|S|}}$ 、 S 為圖像內所有元素組成的集合, S_i 為第 i 種顏色的元素所組成的集合。 H_1 的計算著重描述圖像中各個元素對複雜度的影響, H_2 則著重描述元素間彼此的關聯對複雜度的影響。

關鍵詞: 圖像複雜度、視覺搜尋、反應時間、複雜度測量、熵

一、前言

色彩在圖像的傳達上具有相當廣泛的影響力, 例如不同的色調、明暗及彩度會影響我們觀看圖像的情緒[1], 人對色彩的喜好會影響我們對圖像的凝視時間及順序[2]、色彩的前進後退效果會影響我們對圖像的凝視歷程、色彩的色差會影響我們對圖像的辨識能力 (即圖像的視認性) [5]、用色的多寡會影響我們對圖像的視認性[3]等等。就視認性而言, 色彩即以多種層面影響著圖像的視認性, 除上述的色差因素、色數因素之外, 圖像的色彩相對面積與色塊組成的結構亦為重要因素。

從視認性的定義來看, 一般指的是印刷文字閱讀上的易讀性 (legibility), 亦即可區辨性 (discriminability) [4]; 就人體工學而言, 指的是視標判讀的難易程度; 就心理學而言, 指的是視讀產生疲勞與否的程度[8]; 就色彩學而言, 如上所述, 指的是色彩的明視度 (visibility), 亦即在同樣的光線下、大小、形態也相同的東西, 放在同一個距離, 看起來會有容易看見與不易看見的差別[6]。從這些領域對視認性的定義來看, 皆有「辨別困難度」之意。

辨別困難度與對象物的複雜度有密切關係，我們從複雜度測量 (complexity measure) 的定義來看，複雜度與困難度有關：複雜度量化的意義應該非常接近於可靠的困難度 (difficulty) 測量，包含建構一個物體的困難度、描述一個體系的困難度、達到一個目標的困難度、完成一件任務的困難度等 [19]。因此我們可以說，圖像的複雜度與圖像給人的辨別困難度有密切的關係，而圖像給人的辨別困難度又與圖像的視認性有關 (如圖 1)，亦即複雜度越高的圖像，其內容的辨別困難度就越高 (視認性越低)。

因為圖像複雜度影響著圖像的視認性，又色彩因素扮演了不可或缺的角色，因此本研究擬以「色數」與「色面積差異」兩種因素為研究的對象，參酌反應時間 (choice reaction time) 的實驗方法，找出兩因素與圖像複雜度的函數關係及兩因素之交互作用情形，並參酌複雜度測量 (complexity measure) 研究中所引入的資訊理論 (information theory)，提出色數與色面積差異兩種因素影響圖像複雜度的量化公式。

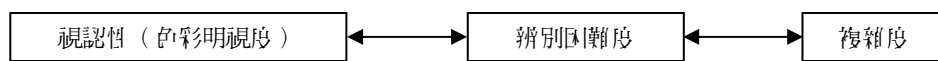


圖 1 圖像的複雜度與辨別困難度與視認性之關係

二、文獻探討

依據研究目的，本研究的方法上必須從兩個角度切入主題，其一，從個體知覺的角度，即驗證人對圖像複雜度知覺的反應；其二，從圖像結構的角度，即找出「色數」與「色面積」兩種因素對圖像複雜度的量化方法。

從個體知覺的角度來看，自 1980 年 Treisman 和 Gelade 的研究開始，視覺搜尋 (visual search) 已成為最廣為使用的測驗方式，用於測量視覺認知與注意力的研究上 [18]，而這個測驗方式通常分為兩種，其中之一就是「反應時間 (reaction time, 以下簡稱 RT)」 [28]，過去許多關於 RT 的實驗結果都指向同一個事實，越複雜的刺激，會引起越長的時間反應 [9, 20, 26]，因此，就同為測量個體對刺激的複雜度知覺的本研究而言，視覺搜尋的反應時間應是較為適當的實驗方法。

另外，從圖像結構的角度來看，刺激物的複雜度如何度量就成了這個部分所要探求的目標。複雜度的研究是一門在許多領域都相當活躍的研究項目，然而到目前為止，卻仍然還沒有一個精準且嚴格的定義作為共識。然而在這眾多領域所追求的複雜度測量中，經常問到三種問題：(1)有多難描述？(How hard is it to describe?)、(2)有多難產生？(How hard is it to create?)、(3)組織的程度為何？(What is its degree of organization?) [20]，這些問題分別有對應的複雜度演算法則，但大多出自於 Shannon 資訊理論的應用。至於在視覺的複雜度量化領域中，多關注在場景的複雜度 (scene complexity) 及形狀的複雜度 (shape complexity)，並已發展一套演算法則，也都出自於資訊理論的應用，因此就同為視覺的複雜度量化問題上，本研究也擬從 Shannon 的資訊理論著手，找出適當的計算方法來描述「色數」與「色面積」兩因素所造成的圖像複雜度，使之能與個體對圖像複雜度的知覺契合。

以下，即就視覺搜尋在色彩因素方面的研究，以及視覺的複雜度量化研究分別探討。

2-1 視覺搜尋

自然界中，某些視覺的特徵元素可以很容易地被人類的視覺系統偵測到，例如「萬綠叢中一點紅」的那一點紅就很容易被偵測到；在某些狀況下，某些特徵元素並不會讓人類的視覺系統很快速地偵測到，例如在隨意改變方向的 L 字中，找到一個隨意改變方向的 T 字 [14]。視覺搜尋的研究，即在探求人類的視覺系統與外在視覺特徵元素的關連，也就是在釐清什麼樣的特徵元素會使人毫不費力地一眼看出，什麼樣的情況下又會使人費力地搜尋。Huang, L. 指出，視覺搜尋測驗的困難度影響了搜尋的效率 (即 RT 的

變化) [17]，因此雖然本研究的目的並非去探求「色數」與「色面積」因素對於人的視覺搜尋之影響，但受試者對各受試樣本的 RT 結果將指向該樣本的搜尋困難度，根據第一章陳述的邏輯，搜尋的困難度將指涉該樣本的圖像複雜度。

Jeremy M. Wolfe 指出，長久以來，視覺搜尋的研究結果分為「平行的視覺處理 (parallel processing)」以及「有次序的視覺處理 (serial processing)」，直到 1980 年 Treisman 和 Gelade 的研究提出「特徵整合理論 (Feature Integration Theory, 簡稱 FIT)」以後，這兩種視覺尋找的差別才成為著名的理論 [27]。「有次序的視覺處理」呈現的結果是：干擾物的增加會導致 RT 增加，也就是這樣的情況下，人是需要費心去尋找；「平行的視覺處理」呈現的結果是：干擾物 (distractors) 增加並不會導致 RT 增加，也就是人可以毫不費力的情形下區辨視覺特徵，例如色彩、形狀、動作等因素，皆會導致「平行的視覺處理」的結果。然而 80 年代末期至今，「平行」與「有次序」的区分正逐漸被後來的研究打破，取而代之的是以 RT 與 set-size (每個實驗樣本所呈現的元素個數) 的斜率所界定的語彙：1. 非常無效率的 (very inefficient) — 斜率 $\gg 30$ msec/item；2. 無效率的 (inefficient) — 斜率 $\sim 20-30$ msec/item；3. 頗為有效率的 (quite efficient) — 斜率 $\sim 5-10$ msec/item；4. 有效率的 (efficient) — 斜率 ~ 0 msec/item。

在色彩因素上，有一連串的研究結果顯示，因應色差的太小，會使的視覺搜尋的結果從無效率的搜尋變化到有效率的搜尋。這個部分的研究成果，有助於本研究在規範受試樣本時所需使用的色彩，且在實驗結果的呈現上，也可以與先前研究相互比對。

在 Carter, R. C. 1982 年的實驗設計中，要求受試者在許多三位數的數字中，尋找某一指定的三位數，並藉由操作這些數字的顏色，觀察搜尋時間與顏色之間的關連。研究顯示，(1)與目標 (某一指定的三位數) 同色的干擾數字增加時，RT 明顯增加 (increased dramatically)，成線性關係；(2)與目標的顏色充分相近的干擾數字增加時，RT 也隨之增加；(3)與目標的顏色不相近的干擾數字增加時，RT 不變 [12]。此結果可以說明色彩因素在視覺搜尋中，是一個很重要的線索，決定了目標是否能毫不費力地搜尋到，而我們也可以從這三個研究結果看出，色彩的同、近似、對比會對人的搜尋效率造成影響，然而，色彩與視覺系統的搜尋機制又有什麼關連呢？

Nagy, A. L. 等在 1990 年的研究中，要求受試者在干擾色塊之中尋找目標色塊，目標物與干擾物之間唯一的差異就是色彩，研究者操作兩者之間的色彩以作為實驗的變因。結果顯示，當色差較小時，色差與 RT 的 log 值成負斜率的線性關係，指向「有次序的視覺處理」，而當色差較大時，色差與 RT 的 log 值無關 (斜率為 0)，指向「平行的視覺處理」；其次，針對「達到平行視覺處理所需的色差」命題中，研究者發現，若需達到平行視覺處理的結果，其色差範圍 (在 CIE(x,y) 色彩空間上的橢圓範圍) 遠比 j.n.d. 來的人，研究者將這個範圍稱之為「色彩的前理解恰辨差 (Preattentive Just Noticeable Difference of Color, 簡稱 p.j.n.d.)」 [22]。這個結果雖然僅適用於干擾色的色塊皆為同一顏色，但對於色差因素與視覺搜尋效率之間的關連，已有了一個較為明確的量化結果。

D'Zmura 在 1991 年的研究中指出，色差因素是否影響視覺搜尋的速度主要取決於目標色與干擾色在 CIE(x, y) 色彩空間的結構。若目標色落在兩個干擾色的連線中，則 RT 會跟著干擾色的增加而增加，指向有次序的視覺處理，若目標色不落在兩個干擾色的連線中，則 RT 不變，指向平行的視覺處理 [13]。然而這個結論在 1996 年 Bauer, B. 等人的研究中指出上述結論的潛在混淆，並指出上述現象的邊界情況，即：上述的「串線」效果 (導致有次序的視覺處理) 會因為兩個干擾色的色差增大而逐漸消失；此外，目標色不落在兩個干擾色的連線時，視覺搜尋的結果也會因目標色與干擾色連線的距離而有所改變 [9]。

視覺搜尋在色彩因素的研究，多關注在色差問題上，本研究為使色差因素不致影響受試者的 RT 結果，在樣本色彩的設定上，將考量到前述 Nagy, A. L. 等人所界定之 p.j.n.d，使色彩間之色差變化與受試者的 RT 值無關，以取得顯著的色彩差異。此外，其他因素的視覺搜尋研究中，與本研究的實驗設計相關的尚有「呈現的總元素個數 (set-size)」，Palmer, J. 的研究顯示，無論是簡單的或較為複雜的視覺搜尋測驗，刺激物的 set-size 都會對 RT 造成影響 [24]。因此在本研究的實驗設計上，亦會將 set-size 的因素

加以控制。

2-2 視覺的複雜度測量

「世上所有萬物都彼此互相連結，且相互交換彼此的影響。宇宙平衡的韻律乃基於相互性。」[29]，完形心理學亦認為「部分的總和不等於全體」，一幅畫面、一個圖像的資訊進入我們的大腦後，人對於刺激的整體反應乃基於刺激元素之間的交互作用，以及刺激整體與人的「經驗」的交互作用，並非僅有各刺激元素單獨的影響。複雜度的測量，即建立在既有的數學基礎上，建構一套能夠描述某一事件、某一現象、某一組織、某一畫面之複雜程度的演算法。前面提到，大多數對於複雜度的測量，都應用自 Shannon 的資訊理論，因此在這一節，將概述 Shannon 的資訊理論及兩個視覺複雜度測量的例子。

1948 年，Shannon, C. 所發表的〈A mathematical theory of communication〉標示了資訊理論的開端，在論文中，他定義了一些資訊量的測量方法，並說明了資料壓縮與傳輸的基本法則[26]。首先他問到：「我們能不能定義一個量化方式，使之能夠測量在某種感覺上，有多少資訊是被某一處理過程所產出，或者，這些資訊以什麼樣的比率產生？」在求得這個答案的過程中，他假設有一個「由 n 個可能項目所組成的集合 S 」，並已知這些項目 (s_i) 的發生機率分別為 p_1, p_2, \dots, p_n 。我們僅能知道這個集合各個項目發生的或然率，但我們能不能測量這個集合有多少選擇性存在於選擇某個項目的過程中？或者，我們能不能測量選擇結果的不確定性有多少？

如果這個測量（稱之為 $H(p_1, p_2, \dots, p_n)$ ）的運算是合理的，則必須滿足下列性質：

1. 在 p_i 中， H 必須是連續。
2. 如果所有的 p_i 都相等，即 $p_i = \frac{1}{n}$ ，則 H 對應於 n 必須是單調漸增函數 (monotonic increasing)。此

等同於「項目個數增加，使的集合中的選擇性增加，或使的選出結果的不確定性增加」的概念。

3. 在集合中，如果一次選擇被拆成兩次連續的選擇，則原來的 H 值必須是兩次選擇的 H 值加權後的和。

如圖 2 所示，(a) 的集合有三種或然率： $p_1 = \frac{1}{2}, p_2 = \frac{1}{3}, p_3 = \frac{1}{6}$ ，(b) 部分的第一次有兩個相同的或然

率： $p_1 = \frac{1}{2}, p_2 = \frac{1}{2}$ ，第二次也分為兩個或然率 $p_1 = \frac{2}{3}, p_2 = \frac{1}{3}$ ，因此兩邊 H 值關係為：

$H(\frac{1}{2}, \frac{1}{3}, \frac{1}{6}) = H(\frac{1}{2}, \frac{1}{2}) + \frac{1}{2} H(\frac{2}{3}, \frac{1}{3})$ ，式中 $H(\frac{2}{3}, \frac{1}{3})$ 項的係數為 $\frac{1}{2}$ 的原因是該項所對應的第二次選擇發生的機率僅佔全部的 $\frac{1}{2}$ 。

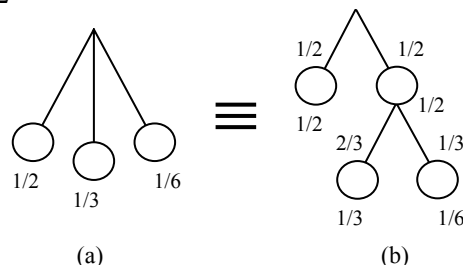


圖 2 熵 (entropy) 的歸組特性 (grouping property)

Shannon 推導出滿足上述條件的 H 公式為：

$H = -K \sum_{i=1}^n p_i \log p_i$ ，其中 K 為計算數常數，並稱此公式為「熵 (entropy)」，而在 $K=1$ 且 \log 以 2 為底的話，資訊量則是以 bits 為測量單位。

Shannon 熵是一個典型的資訊測量公式，這個公式可以詮釋許多概念，例如用來詮釋不確定性 (uncertainty)、熱力學熵數 (thermodynamic entropy)、平均使人驚訝的程度 (average surprise)、是非題答對題目的困難度、編碼 (coding) 等等[17]。

從最初 Shannon 對於「熵」的概念來看，熵的值代表了一個整體 (即上述的集合 S) 中各個現象、因素、物件 (即上述的各項目 s_i) 之間的關連 (即上述各項目發生的機率 p_i)。而以視覺的角度來看，當眼睛打開時，大量的視覺資訊映入視網膜，物體本身、物與物之間的相對位置、物體的形態、色彩、質感、光線反射物體表面之後的呈現，以及這些呈現出來的整體與人的先驗的交互作用等種種，都影響了我們對這個景象的認知，當然包含對於複雜度的認知，例如，在 Feixas, M. 等人的研究中，資訊理論測量 (information theory measure) 和交集資訊 (mutual information) 已經被用來測量場景能見物的複雜度[16]，甚至應用到 3D 場景的複雜度測量[15]，而資訊理論測量與交集資訊就是用來量化一個系統的結構及關連性[25]；另外，在形態複雜度的研究上，Page, D. L. 等也應用 Shannon Entropy 來測量 2D 圖形與 3D 立體結構的複雜度[23]，其基本概念為：多邊形輪廓所包含轉折角度的資訊量多寡，將影響多邊形的複雜度，即一個多邊形輪廓中，相對度數轉折角度越多的話，圖形將越顯複雜 (如圖 3)。

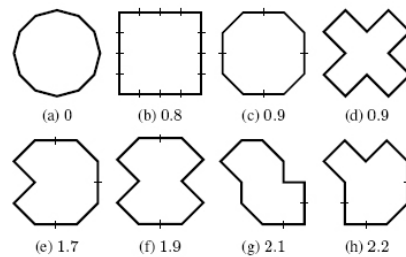


圖 3 多邊形與其複雜度值。以相對輪廓轉折角的個數與出現比率算出的複雜度，對稱圖形 (上排) 複雜度明顯比不對稱圖形 (下排) 低。

2-3 小結

Bricker, P. D. 提到，第一個應用資訊測量 (information measures) 到 RT 實驗的研究者是 Merkel, J.，他發現 RT 與刺激數量的關係為「負加速的漸增函數 (negatively accelerated increasing function)」，而 Shannon 對於資訊量定義的特性 (對數函數) 剛好使得後來研究 RT 的實驗者將其定義應用到 RT 的實驗結果上，而推論出：RT 與刺激的資訊量成比較的線性關係[11]。然而在圖像的「色數」與「色面積」兩個因素所導致的圖像資訊量，是否也與受試者的 RT 有相同的關係？

對於色彩影響圖像複雜度因素的研究方法，本章提及的視覺搜尋 (visual search) 與複雜度測量 (complexity measure) 提供了兩個不同的觀點，前者以個體對刺激的知覺為其量測對象，後者以刺激內的元素關連為其量測對象。因此，本研究除了驗證「色數」與「色面積」兩個因素對圖像複雜度的影響之外，更將比對兩種不同觀點下的研究結果，觀察是否呈現比較的線性關係，並期使個體在「色數」與「色面積」的因素下，對刺激的複雜度知覺能夠以適當的公式描述 (如圖 4)。

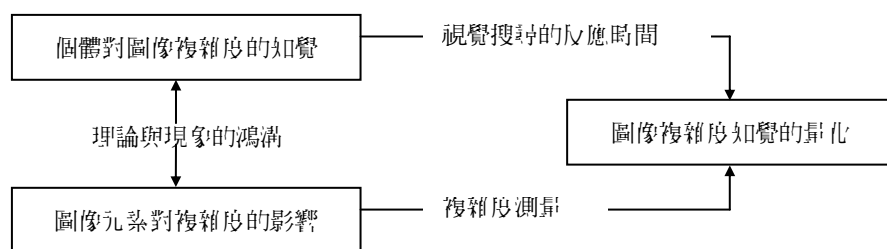


圖 4 兩種對複雜度的不同觀點所採行的研究方式

三、實驗設計

3-1 實驗變數

本實驗旨在探討多色平塗畫面的情況下，色數與色面積差異程度對圖像複雜度之影響為何，因此本實驗變數的定義上，自變項為「色數」與「色面積差異量」，依變項為「圖像複雜度」。

1. 自變項：色數方面，共分為 8 種水準，依序為 2、4、6、8、10、12、14、16 色，其中，色數定義為：在 CIE (x,y) 色彩空間中，色數大於 Nagy, A. L. 所界定的 p.j.n.d，用以得到顯著色差，使色差因素不致影響受試者的 RT 結果。色面積差異量方面，共分為 5 種水準，定義為各樣本之色面積的標準差，例如某色數為 4 的樣本，其四種顏色的色面積比例為 61:13:13:13，則色面積差異量則為 61、13、13、13 的標準差，值為 24。相異色面積的比例越接近，其標準差越小，水準數越大。
2. 依變項：以受試者對圖像的複雜程度知覺為依變項，此一變項的操作型定義為：受試者在各樣本圖形上搜尋給定色塊的反應時間，反應時間越長，圖像的複雜度越高；反應時間越短，圖像複雜度越低。

3-2 實驗準備

3-2.1 受試樣本結構

色彩不易從形狀中解放出來，吾人能感知色彩是由於大腦計算該表面與鄰近表面的色光波長比率之後所感知，而不同的色光波長比率形成了邊界，邊界形成就免不了形狀的產生。然而，從近幾年來的研究顯示，在環境控制下，人觀看抽象的色塊圖（如蒙德里安的作品）的腦部活動多半集中在視覺腦的 V1 及 V4 區，若觀看具象圖形，則除了 V1 和 V4 區之外，顳葉及其深處的海馬也會有反應，而此處與記憶有密切關係[30]。因此，抽象色塊圖較能夠單純激發人對色彩的感知。

為了排除受試者對具象圖形的先驗因素、樣本的形態因素所造成的影響，以及配合一般平面設計普遍採用的長寬比例（接近 2:3），實驗樣本結構為 10*10 方陣的抽象色塊圖形，由 100 個矩形色塊之隨機排列構成（如圖 5），每一個矩形色塊的長寬皆為 24*36pxls，整個方陣長寬為 240*360pxls，此樣本結構將呈現於 14 吋 LCD 螢幕上，與受試者距離約 45 公分，視角在 12.7° 以內。另外，依據自變項之水準（色數分為 8 種水準、色面積差異量分為 5 種水準），受試樣本共有 40 個，數據如表 1。

表 1 各樣本之色面積標準差

		各色面積差異水準之標準差				
		1	2	3	4	5
用 色 數	2	69.296	52.326	35.355	18.385	0
	4	48	36	24	12	0
	6	38.375	28.577	18.779	8.9815	0.5164
	8	32.527	24.448	16.371	8.298	0.5345
	10	28.46	21.437	14.414	7.3937	0
	12	25.403	19.109	12.816	6.5273	0.4924
	14	22.984	17.235	11.475	5.7359	0.3631
	16	21	15.674	10.344	5	0.4472



圖 5 受試樣本結構

3-2.2 色彩選取

色彩選取以 Munsell 色彩體系為選色標準。首先，以 5R、5YR、5Y、5GY、10GY、5G、5PB、1P、5P、5RP 共 10 種色相為基礎，各選擇兩種不同明度的最高彩度色彩為樣本選色時的色樣，此 20 色之中，兩兩色對的色差至少都大於 Nagy, A. L. 所界定的 p.j.n.d。為了驗證 20 色的兩兩色配對皆不致因為色差因素導致 RT 的變化，我們對各個色配對做兩次的 RT 測試，第一次以 A 色為尋找目標，B 色為背景，第二次以 B 色為尋找目標，A 色為背景，共有 $C_2^{20} \times 2$ 種測試情形。在圖 6 的 3 位受過辨色力測驗及視力

計常的受試者的結果中，我們發現 RT 值並不因色配對的不同而有很大的改變，大致都在 0.6 到 0.8 秒之間，且與黑色目標、白色背景的 RT 測驗結果相近，因此這 20 色的色樣之間的色差因素並不影響 RT 值的變化。

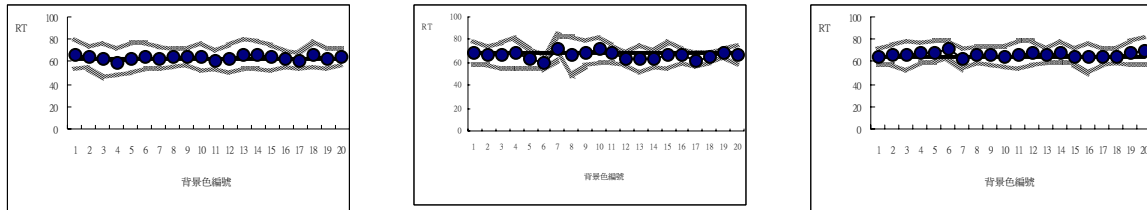


圖 6 三位受試者在各色配對的 RT 測試中的 RT 結果。橫座標為 20 種背景色，縱座標為 RT；折線與圓點為各背景色對應其他 19 種目標色的平均 RT 時間；虛線為每一個標準差的範圍；實線直線為白底黑目標情形下的 RT 值。

其次，利用 GretagMacbeth i1 螢幕色彩校正器校正實驗用螢幕至色溫 6500K、伽馬值 (Gamma) 2.2，再以 GretagMacbeth 所提供的 Munsell Conversion 換算程式(註 1)，將此 20 色色樣所對應的 RGB 值及 L*a*b*值找出。RGB 值用來呈現螢幕色彩、L*a*b*值用來計算兩兩色差，作為樣本選色時的參考，使各樣本的平均色差能盡量接近。Munsell 記號與對應之 RGB 值如表 3，對應的 RGB 值僅適用於本實驗用螢幕。

其次，利用色差公式 $\Delta E_{ab} = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2}$ 計算出 20 色的兩兩平均色差 99.34 之後，隨機取出第一色樣，編號為 2，再依色樣編號 2、13、6、12、9、18、4、19、3、15、7、16、10、14、11、20 之順序，逐次增加樣本所需的色數，此選取之順序可確保各樣本之平均色差能接近 99.34。各樣本之平均色差計算公式為： $\Delta E = (\sum_i^a \sum_j^a \Delta E_{ij}) / 2C_2^a$ ，其中 a 為色數、 ΔE_{ij} 為第 i 色與第 j 色之色差。八種色數水準的平均色差如表 2。

最後，依據前述之樣本結構與色彩選取方法，以 Visual Basic 軟體寫成的樣本生成器，將選取出的色樣以隨機方式填入樣本結構，形成 40 個受試樣本。如圖 7 所示。

表 2 八種色數水準的平均色差與其標準差

色數	平均色差	色數	平均色差
2	99.07	10	101.7
4	93.26	12	101.7
6	102.0	14	100.7
8	97.3	16	98.1

標準差：2.99

表 3 本研究選取之 20 種色彩的 Munsell 記號及對應的 RGB 值與 L*a*b*值

No	色樣	Munsell	RGB 值	L*a*b*值	No	色樣	Munsell	RGB 值	L*a*b*值
1	■	5R 5/18	243,13,63	51.36, 78.02, 39.08	11	■	5G 8/11	31,229,161	81.54, -60.84, 19.85
2	■	5R 3/11	145,17,45	30.63, 52.72, 21.88	12	■	5G 6/9	20,168,120	61.85, -48.49, 15.21
3	■	5YR 7/12	252,149,56	71.61, 31.42, 64.09	13	■	5PB 6/14	25,151,250	61.47, 2.75, -57.91
4	■	5YR 5/11	185,100,16	51.57, 29.72, 57.97	14	■	5PB 4/11	14,98,169	41.03, 4.24, -45.27
5	■	5Y 8/11	234,199,37	81.48, -2.71, 78.14	15	■	1P 4/26	135,5,237	40.46, 80.38, -84.52
6	■	5Y 6/9	175,145,20	61.8, -0.41, 64.01	16	■	1P 6/16	160,125,251	61.35, 40.83, -58.04
7	■	5GY 8/12	178,216,17	81.56, -34.47, 79.72	17	■	5P 5/26	197,18,248	50.92, 88.55, -73.01
8	■	5GY 6/9	129,159,38	61.86, -27.50, 57.70	18	■	5P 7/14	213,146,252	71.32, 43.12, -42.65
9	■	10GY 8/17	13,234,44	81.65, -79.75, 72.46	19	■	5RP 5/18	228,33,140	51.27, 77.52, -10.28
10	■	10GY 6/13	27,171,45	61.93, -61.43, 53.53	20	■	5RP 7/11	250,139,181	71.44, 46.20, -3.40

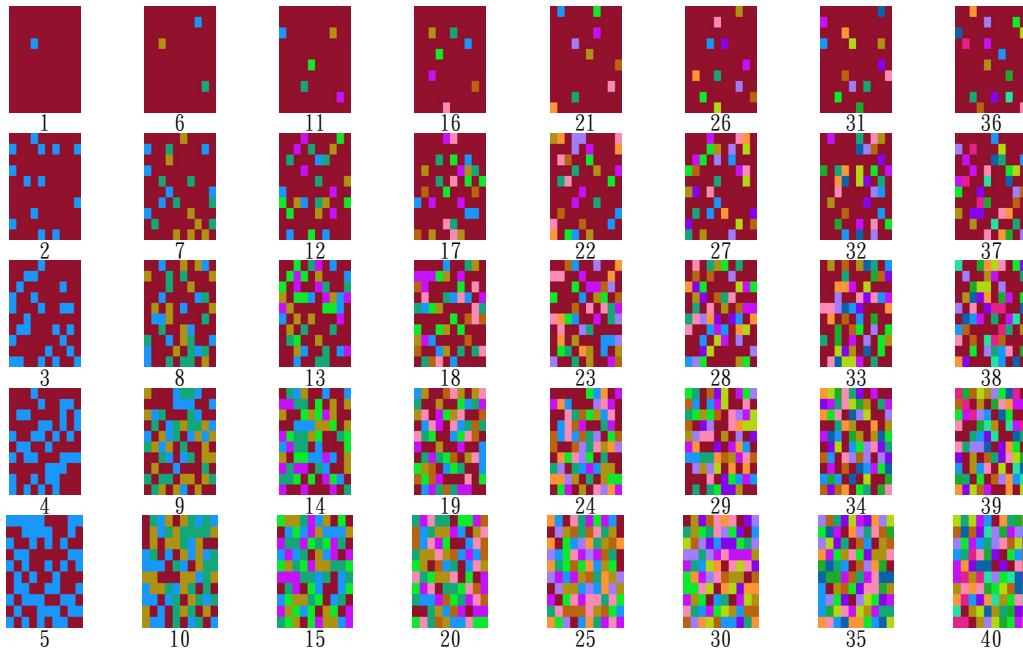


圖 7 本研究之 40 個受試樣本。水平方向為 8 種「色數」水準，垂直方向為 5 種「色面積差異量」水準

3-2.3 環境設置與儀器設備

實驗環境在暗室中，如圖 8 所示，其中 a 為受試者，b 為遮光罩，用來遮斷殘餘光線，c 為受試者下 P 倚靠之結構，用以固定受試者與螢幕之相對位置，受試者距離受測端螢幕約 45 公分，垂直視角約 26.7°。水平視角約 35.1°，d 為受測端螢幕，為 14 吋 LCD，解析度 1024*768，校正過螢幕色彩，e 為控制端電腦，用來觀測、記錄受試資料，f 為控制端滑鼠，g 為受測端滑鼠，提供受試者操作之用，h 為可調高低座椅，i 為遮光布簾，功能與 b 同。

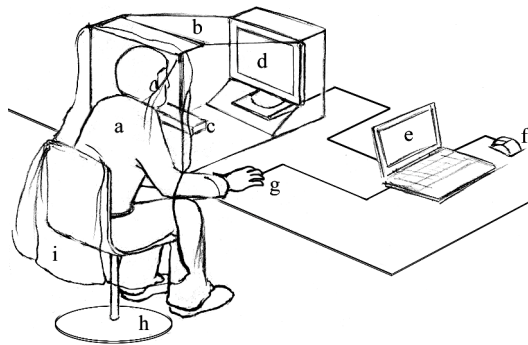


圖 8 實驗環境圖

3-2.4 實驗流程控制與資料處理方法

受試方面以 Visual Basic 程式撰寫（程式方面如附錄二 (B)），操作流程共分為兩部分：首先，受試者的眼睛適應暗處環境之後，在 240*360pxls 的矩形範圍內，儘速點選隨機變換位置的 24*36pxls 黑色色塊共 21 次（如圖 9(a)），此時電腦會記錄這 20 個間隔中，滑鼠移動的平均花費時間，並在實驗結束後顯示，此數據用來排除每個受試者操控滑鼠敏捷度的個別差異；其次，為正式實驗部分，受試者依據指導語，依亂數順序在各受試樣本中，儘速尋找給定的目標色塊（24*36pxls），並以滑鼠點選該目標色塊以進行下題，共 40 題（如圖 9(b)），電腦會記錄每題從開始到點選所花費的時間，以及題目的亂數序列，並在實驗結束後顯示（如圖 9(c)），每位受試者必須進行兩次的完整實驗過程。

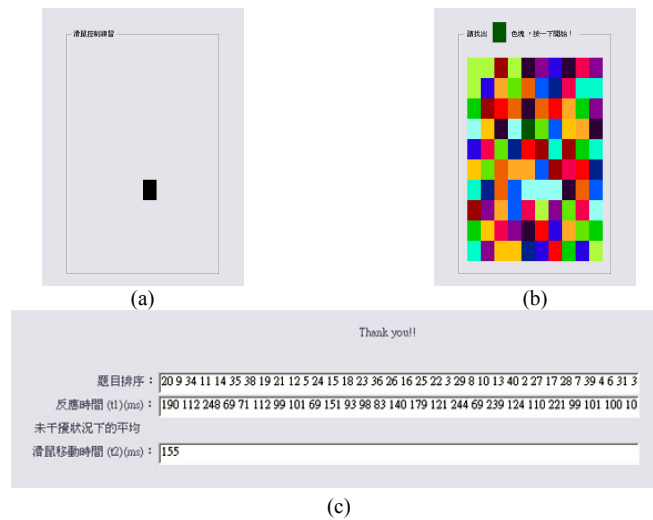


圖 9 實驗介面圖（局部：全尺寸為 14 吋、1024*768 大小，此局部位於畫面正中央，其餘部分均為灰色背景）。(a)記錄受試者移動滑鼠平均時間之畫面；(b)正式實驗之畫面；(c)實驗結束後之數據顯示。

數據分析部分的處理流程如下：

- (1)將每一個受試者的 80 筆數據除以個人的滑鼠移動平均時間，得到「排除操控滑鼠個別差異」的新數據，稱為複雜度反應值。
- (2)比較所有受試者各各個受試樣本的數據表現，將超過兩個標準差的數據排除。
以 SPSS10.0 統計軟體作性別因素的獨立樣本 T 檢定、受試者前後兩次測驗的相依樣本 T 檢定、「色數」與「複雜度反應值」及「色面積差異水準」與「複雜度反應值」的回歸分析、「色數」與「色面積差異水準」之交互作用。
- (3)計算 40 個樣本的嫡，並與「複雜度反應值」作回歸分析。

3-3 受試者

本研究之受試者以台灣藝術大學大學部及研究所學生為對象，共 36 人，男女各半，平均年齡為 22.11 歲，標準差 1.94，無近視或近視有矯正，每位受試者在實驗開始前都必須接受石原氏色覺異常檢查表 (Ishihara chart) 檢驗，以確認無辨色力異常。受試者資料如表 4。

表 4 受試者性別與平均年齡

性別	人數	平均年齡 (標準差)	總平均年齡 (標準差)
男	18	22.22 (2.02)	22.11 (1.94)
女	18	22.0 (1.91)	

3-4 實驗步驟

實驗開始時，受試者首先使眼睛適應實驗環境之光線，並調整座椅高度至適當位置再蓋上遮光布簾，確認無光線滲入後，實驗者將螢幕顯示切換到兩端螢幕皆開啓的狀態，請受試者自由練習滑鼠操作至熟練，接著呈現受試介面。受試者依照程式設計的步驟逐步完成實驗，並重複再做一次，最後實驗者將該受試者的兩組資料（共 40*2=80 筆資料）轉寄到 Excel，以利後續統計分析。

四、圖像樣本的複雜度演算

目前，單元對於「色數」與「色面積差異量」的定義規範下，已經設計出 40 個圖像樣本，對應到 8 種不同的色數以及 5 種不同的色面積差異水準，本章擬就這 40 個樣本，利用 Shannon 熵的計算公式，分別以兩種不同的參數定義，計算這 40 個樣本的圖像複雜度。

首先，由於本研究著重「色數」與「色面積差異量」兩個因素，因此本圖像複雜度的計算上，我們將圖像樣本與 100 個色塊的關係視為集合與元素之間的關係，並直接將公式 $H = -\sum_{i=1}^n p_i \cdot \log p_i$ 的 n 定

義為「色數」， p_i 定義為「第 i 種顏色的色塊數佔全部色塊數的比率」。其次，基於元形心理學「部分的總和不等於全體」的立場，我們也關心在不同的色數與不同的色面積差異量之下，色塊之間彼此的關連與相互作用是不是也會影響到複雜度的變化，是不是更能貼近個體對圖像的複雜度知覺，因此本第二種複雜度的計算上，我們將圖像樣本中的 100 個色塊兩兩配對，在色數為 n 的情形下，將有 $C_2^n + n$ 種不同的色彩配對，且有 C_2^{100} 個總配對數，因此 Shannon 熵中的 n 定義為「不同的色彩配對數」，值為 $C_2^n + n$ ， p_i 則定義為「每種色彩配對數所佔總配對數的比率」。

為了不使兩種不同定義下所計算出來的圖像複雜度發生混淆，因此本研究將前者的複雜度計算以 H_1 稱之，後者以 H_2 稱之。從定義來看， H_1 的計算著重在描述圖像中各個色塊對複雜度的影響， H_2 則著重在描述色塊間彼此的關聯對複雜度的影響，以下分別說明演算方法。

4-1 H_1 演算方法

設色數為 n，令 S 為圖像樣本內所有色塊組成的集合， S_i 為第 i 種顏色的色塊所組成的集合，Pr 為「n 種顏色各自的色塊個數與總色塊個數比率」所成的集合，則：

$$S = \left\{ \bigcup_{i=1}^n S_i \right\} \quad |S| = \sum_{i=1}^n |S_i| \quad \text{Pr} = \left\{ p_i \mid i \in \mathbb{N}, i \leq n, p_i = \frac{|S_i|}{|S|} \right\} \quad H_1 = -\sum_{i=1}^n p_i \cdot \log_2 p_i$$

以第 18 號樣本為例（如圖 10），此樣本的色數為 8 色，各元素的個數分別為 53、6、6、7、7、7、7、7，總和為 100，因此：

$$\begin{aligned} \text{Pr} &= \left\{ \frac{53}{100}, \frac{6}{100}, \frac{6}{100}, \frac{7}{100}, \frac{7}{100}, \frac{7}{100}, \frac{7}{100}, \frac{7}{100} \right\} \\ H_1 &= -\left(\frac{53}{100} \cdot \log_2 \frac{53}{100} \right) - \left(\frac{6}{100} \cdot \log_2 \frac{6}{100} \right) - \left(\frac{6}{100} \cdot \log_2 \frac{6}{100} \right) - \left(\frac{7}{100} \cdot \log_2 \frac{7}{100} \right) \\ &\quad - \left(\frac{7}{100} \cdot \log_2 \frac{7}{100} \right) - \left(\frac{7}{100} \cdot \log_2 \frac{7}{100} \right) - \left(\frac{7}{100} \cdot \log_2 \frac{7}{100} \right) - \left(\frac{7}{100} \cdot \log_2 \frac{7}{100} \right) \\ &= 2.32 \end{aligned}$$

即求得該樣本的複雜度值為 2.32。依此演算過程，即可得到 40 個圖像樣本的 H_1 值，整理如表 5。

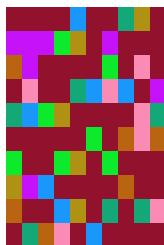


圖 10 第 18 號受試樣本，共 8 色，各色之色塊個數為：53、6、6、7、7、7、7、7。

表 5 40 個受試樣本的 H_1 值

H_1	色面積差異水準				
	s1	s2	s3	s4	s5
2	0.08	0.56	0.81	0.95	1
4	0.24	1.07	1.58	1.89	2
6	0.4	1.39	2.04	2.44	2.58
8	0.56	1.6	2.32	2.79	3
10	0.72	1.78	2.55	3.08	3.32
12	0.88	1.96	2.76	3.32	3.58
14	1.04	2.13	2.96	3.54	3.81
16	1.2	2.29	3.13	3.74	4

4-2 H_2 演算方法

設色數為 n，總色塊配對數為 C_2^{100} ，S 為圖像樣本內所有色塊組成的集合， S_i 為第 i 種顏色的色塊

所組成的集合，Pr 為「 $C_2^n + n$ 種色塊配對情形的個別配對數與總色塊配對數之比率」所成的集合，其中 C_2^{100} 為圖像樣本中，100 個色塊選出 2 個色塊的組合數， C_2^n 為 n 種色數中，選出 2 色的組合數。則：

$$S = \left\{ \bigcup_{i=1}^n S_i \right\}, |S| = \sum_{i=1}^n |S_i| \quad \text{Pr} = \{p_{ij} \mid i, j \in \mathbb{N}, i \leq j \leq n\}$$

$$\text{若 } i < j, \text{ 則: } p_{ij} = \frac{|S_i| \cdot |S_j|}{C_2^{100}} \quad \text{若 } i = j, \text{ 則: } p_{ij} = \frac{C_2^{|S_i|}}{C_2^{100}}$$

$$H_2 = -\sum_{i=1}^n \sum_{j=i}^n p_{ij} \cdot \log_2 p_{ij}$$

以第 8 號樣本為例（如圖 11），色數為 4（編號為 1、2、3、4），其中 1 號色有 61 個色塊，2、3、4 號各有 13 個色塊，總和為 100，而此樣本相異的色配對有 1-1、1-2、1-3、1-4、2-2、2-3、2-4、3-3、3-4、4-4，共有 $C_2^4 + 4 = 10$ 種，每一種色配對都有各自的配對數，若為同色配對（1-1、2-2、3-3、4-4），則配對數為 C_2^a ，其中 a 為該色的色塊數；若為異色配對（1-2、1-3、1-4、2-3、2-4、3-4），則配對數為 $a \times b$ ，其中 a 為某色的色塊數， b 為另一色的色塊數。將這 10 種配對數分別除以總色塊配對數 C_2^{100} 之後，即為 Pr 集合中的元素。因此在 8 號樣本中：

$$\text{Pr} = \left\{ \frac{C_2^{61}}{C_2^{100}}, \frac{61 \times 13}{C_2^{100}}, \frac{61 \times 13}{C_2^{100}}, \frac{61 \times 13}{C_2^{100}}, \frac{C_2^{13}}{C_2^{100}}, \frac{13 \times 13}{C_2^{100}}, \frac{13 \times 13}{C_2^{100}}, \frac{C_2^{13}}{C_2^{100}}, \frac{13 \times 13}{C_2^{100}}, \frac{C_2^{13}}{C_2^{100}} \right\}$$

$$H_2 = -\left(\frac{C_2^{61}}{C_2^{100}} \cdot \log_2 \frac{C_2^{61}}{C_2^{100}} \right) - \left(\frac{61 \times 13}{C_2^{100}} \cdot \log_2 \frac{61 \times 13}{C_2^{100}} \right) - \left(\frac{61 \times 13}{C_2^{100}} \cdot \log_2 \frac{61 \times 13}{C_2^{100}} \right) - \left(\frac{61 \times 13}{C_2^{100}} \cdot \log_2 \frac{61 \times 13}{C_2^{100}} \right)$$

$$- \left(\frac{C_2^{13}}{C_2^{100}} \cdot \log_2 \frac{C_2^{13}}{C_2^{100}} \right) - \left(\frac{13^2}{C_2^{100}} \cdot \log_2 \frac{13^2}{C_2^{100}} \right) - \left(\frac{13^2}{C_2^{100}} \cdot \log_2 \frac{13^2}{C_2^{100}} \right)$$

$$- \left(\frac{C_2^{13}}{C_2^{100}} \cdot \log_2 \frac{C_2^{13}}{C_2^{100}} \right) - \left(\frac{13^2}{C_2^{100}} \cdot \log_2 \frac{13^2}{C_2^{100}} \right) - \left(\frac{C_2^{13}}{C_2^{100}} \cdot \log_2 \frac{C_2^{13}}{C_2^{100}} \right)$$

$$= 2.58$$

即求得該樣本的複雜度為 2.58。依此演算過程，即可得到 40 個圖像樣本的 H_2 值，整理如表 6。

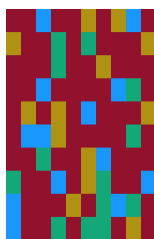


圖 11 第 8 號受試樣本，共 4 色，各色的色塊個數為：61、13、13、13。

表 6 40 個受試樣本的 H_2 值

H_2	色面積差異水準				
	s1	s2	s3	s4	s5
2	0.14	0.89	1.24	1.43	1.50
4	0.42	1.78	2.58	3.06	3.24
6	0.71	2.35	3.41	4.09	4.33
8	0.99	2.73	3.94	4.75	5.11
10	1.27	3.08	4.38	5.30	5.73
12	1.55	3.40	4.78	5.76	6.24
14	1.83	3.70	5.15	6.18	6.67
16	2.11	4.01	5.48	6.57	7.05

五、研究結果與討論

5-1 性別因素與受試者信度

性別因素方面，40 個樣本中，編號第 14、30、34、35 的受試樣本在性別因素上達到差異顯著性（ p 分別為 .003、.036、.035、.016），其餘皆不顯著，且受試者的平均 C 值在性別因素上的差異並不顯著。

($p=.085$)，因此性別因素對本實驗的影響並不明顯。

受試者的前後兩次測驗中，36 位受試者皆未達到差異顯著水準 (表 8)，且前後兩次測驗的各受試者平均 C 值成高度正相關 (correlative coefficient = .904, $p=.00$)。從統計量來看，受試者的實驗數據多具穩定性。

表 7 40 個樣本的 C 值性別因素的差異顯著性 (independent t-test)

樣本編號	差異顯著性	樣本編號	差異顯著性	樣本編號	差異顯著性	樣本編號	差異顯著性	樣本編號	差異顯著性
S1	.241	S2	.350	S3	.191	S4	.191	S5	.731
S6	.819	S7	.592	S8	.565	S9	.958	S10	.124
S11	.493	S12	.119	S13	.971	S14	.003*	S15	.075
S16	.372	S17	.598	S18	.687	S19	.085	S20	.061
S21	.696	S22	.609	S23	.820	S24	.833	S25	.720
S26	.074	S27	.302	S28	.558	S29	.746	S30	.036*
S31	.163	S32	.959	S33	.453	S34	.035*	S35	.016*
S36	.177	S37	.612	S38	.853	S39	.080	S40	.366

表 8 36 位受試者前後兩次測驗之差異顯著性 (paired t-test)

受試者編號	差異顯著性	受試者編號	差異顯著性	受試者編號	差異顯著性	受試者編號	差異顯著性
1	.331	10	.431	19	.808	28	.330
2	.625	11	.714	20	.151	29	.214
3	.923	12	.307	21	.481	30	.676
4	.179	13	.523	22	.352	31	.453
5	.051	14	.817	23	.231	32	.273
6	.502	15	.354	24	.065	33	.836
7	.532	16	.845	25	.359	34	.642
8	.101	17	.779	26	.564	35	.130
9	.219	18	.415	27	.976	36	.064

5-2 色數因素對圖像複雜度之影響

圖 12 為色數與圖像複雜度反應值 (C) 之關係圖，其中 40 個散佈點表示每個受試者 36 位受試者的實驗數據下的平均複雜度反應值，不考慮色面積差異。方塊點表示在每一種色數下，5 種不同數據的平均。從平均數據來看，我們可以發現色數為 6 以下時，圖像的複雜度隨著色數的增加而增加，而色數在 6 以上時，複雜度增加的情形並不明顯。

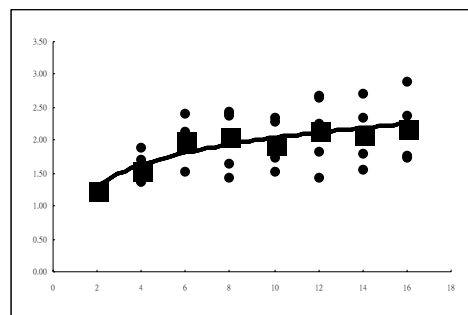


圖 12 色數與圖像複雜度反應值 C 之關係，圓點為 40 個樣本的複雜度反應值，方點為 8 種色數情形下的複雜度反應值。方點資料的回歸函數為對數函數， $R=.8958$ ；圓點資料回歸函數之 $R=.3961$ 。

5-3 色面積因素對圖像複雜度之影響

圖 13 為色面積差異水準與圖像複雜度反應值 (C) 之關係圖, 其中 40 個散佈點表示每個受試樣本在 36 位受試者的實驗數據下的平均複雜度指標, 不考慮色數的差異。方塊點表示每一種色面積差異水準下, 8 種不同數據的平均。從平均的數據來看, 色面積差異水準與圖像複雜度之間的關係接近線性關係, 即水準數越高, 圖像複雜度越大。

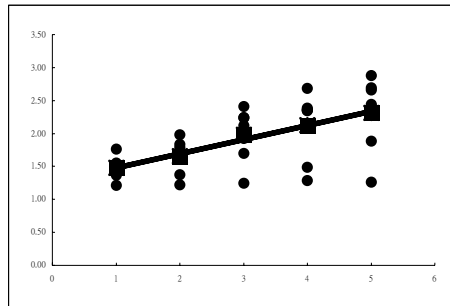
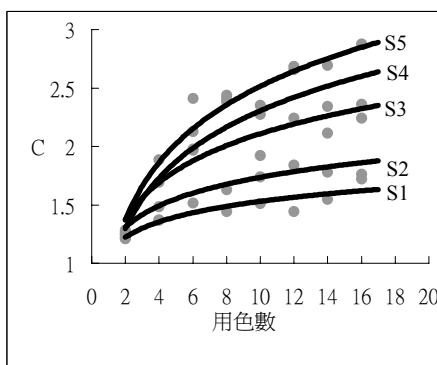


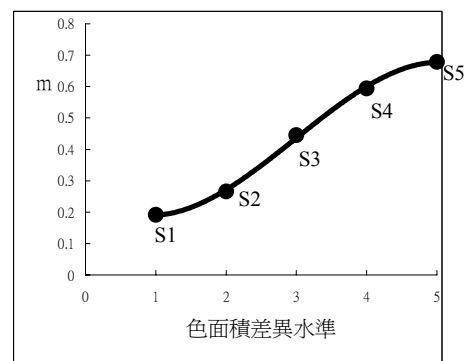
圖 13 色面積差異水準與圖像複雜度反應值 C 之關係, 圓點為 40 個樣本的複雜度反應值, 方點為 5 種色面積差異情形下的複雜度反應值。方點資料的回歸函數為線性函數, $R=.9855$; 圓點資料回歸函數之 $R=.4145$ 。

5-4 色彩數量因素與色面積因素之關聯性

個別分析 5 種色面積差異水準下的色數對 C 值之影響, 可以發現色面積差異水準在 2 到 3 到 4 的情形下, 色數因素影響圖像複雜度的程度較明顯, 而色面積差異水準在 1 到 2 以及 4 到 5 時, 色數因素影響圖像複雜度的程度較不明顯, 呈現二次函數關係。我們在各色面積差異水準下的色數與 C 值關係散佈圖中, 分別求得對數回歸函數 $y_i = m \cdot \ln(x_i) + b$, 其中 $i \in \{1, 2, 3, 4, 5\}$ 、 x_i 為各 i 值的色數、 y_i 為各 i 值對應於 x_i 的 C 值、 m 為 $\ln(x_i)$ 項係數、 b 為常數, 在回歸函數中 m 即代表影響程度 (圖 14(a))。在圖 14(b) 中可以發現, 色面積差異水準與「色數影響 C 值的程度」成二次函數關係。



(a)



(b)

圖 14 (a) 各色面積差異水準下的色數與 C 值之對數函數圖。(b) 各色面積差異水準之色數與 C 值對數回歸函數的係數 (m) 關係圖。

個別分析 8 種色數之下的色面積差異水準對 C 值之影響, 可以發現色數越多, 色面積差異水準之因素影響圖像複雜度的程度越明顯, 但差異性越趨緩和, 兩者的關係為對數關係。我們在各色數之下的色面積差異水準與 C 值關係散佈圖中, 分別求得線性回歸函數, 其線性回歸函數的斜率 (m) 即代表影響程度 (如圖 15(a))。在圖 15(b) 中可以發現, 色數與「色面積差異水準影響 C 值的程度」成對數關係, 相同地, 色數 6 為一個分界點, 在色數為 6 以下時, 色面積差異影響 C 值的程度隨著色數有顯著的提升, 而在色數為 6 以上時, 色面積差異影響 C 值的程度增加率隨色數增加而趨於緩和。

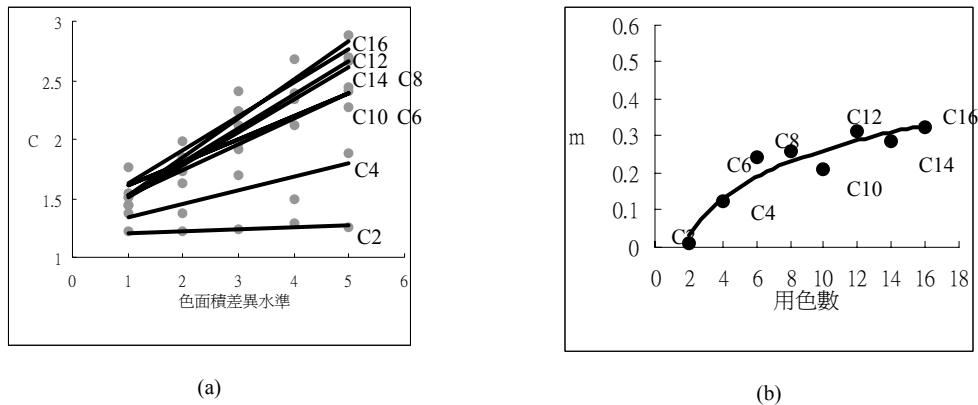


圖 15 (a) 各色數之色面積差異水準與 C 值之線性回歸圖。(b) 各色數之色面積差異水準與 C 值線性回歸函數的斜率(m)關係圖。

5-5 色數與色面積影響圖像複雜度之量化可行性

前一單元，我們用兩種不同的觀點看圖像的複雜度，其一著重於描述各色塊對圖像複雜度的影響，其二著重於描述色塊間彼此的關聯對複雜度的影響，並分別以 H_1 及 H_2 稱之。在 40 個圖像樣本的 H_1 與 C 值以及 H_2 與 C 值散佈圖中，我們發現兩種定義下的複雜度值皆與 C 值呈線性關係（如圖 16），相關係數的檢定呈高度正相關（如表 9、10），此一結果說明了在「色數」與「色面積差異」因素下，各元素本身所產生的複雜度與各元素之間的關聯性所產生的複雜度皆與個體對圖像的複雜度知覺有密切關係。此外，這個結果也呼應了 Bricker, P. D. 所言，即「研究 RT 的學習，將 Shannon 的資訊量定義引用到 RT 的結果，而得到『RT 與刺激所含的資訊量成正比』的結論」[11]。

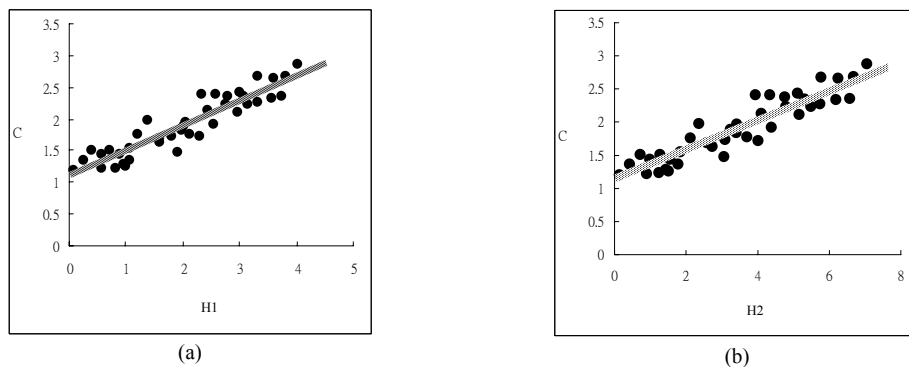


圖 16 (a) 40 個受試樣本的 H_1 與 C 值散佈圖

(b) 40 個受試樣本的 H_2 與 C 值散佈圖

表 9 40 個樣本的 C 值與 H_1 之相關係數

		C	H_1
C	Pearson Correlation		.924*
	Sig. (2-tailed)		.000
	N	-	40
H_1	Pearson Correlation	.924*	
	Sig. (2-tailed)	.000	-
	N	40	

表 10 40 個樣本的 C 值與 H_2 之相關係數

		C	H_2
C	Pearson Correlation		.927*
	Sig. (2-tailed)		.000
	N	-	40
H_2	Pearson Correlation	.927*	
	Sig. (2-tailed)	.000	-
	N	40	

六、結論

本研究以圖像結構類別中的用色數以及色面積差異兩個可能因素為例，以個體知覺的角度出發，驗證人對圖像複雜度知覺的反應。實驗結果發現性別因素對於圖像複雜度知覺的影響並不顯著；在用色數因素上，色數的增加會使複雜度的知覺提高，然而當 6 色以上時，色數的增加對複雜度的知覺影響並不明顯，函數關係為 log 函數；在色面積因素上，色面積差異量越小，則複雜度知覺越大，函數關係為線性關係。在兩個因素的交互作用上，發現在不同的用色數中，色面積因素影響複雜度知覺的程度也不同，用色數增加時，色面積因素對複雜度的影響越大，然而同樣地，當 6 色以上時，用色數的增加對於色面積影響複雜度的程度不會有太大的影響，函數關係為 log 函數；而在不同的色面積差異水準下，用色數影響複雜度知覺的程度也不同，色面積差異水準與「色數影響複雜度的程度」成三次函數關係。

接著，從圖像結構的角度出發，找出「用色數」與「色面積」兩種因素對圖像複雜度的兩種量化方法：其一，著重在描述圖像中各個色塊對複雜度的影響；其二，著重在描述色塊間彼此的關聯對複雜度的影響。在這兩種不同定義下的 40 個圖像複雜度值與實驗的複雜度知覺反應值的相關係數中，兩者都呈現高程度相關。從研究結果推論，在僅有「用色數」及「色面積」兩種因素的變因下，個體對圖像的複雜度知覺可以利用 Shannon 熵來加以量化。

註釋

- 註 1. http://www.gretamacbeth.com/index/products/products_color-standards/products_books-for-designers/products_munsell-conversion.htm

參考文獻

1. 王秀如、管仲昇，2004，“情緒的語詞及色彩聯想研究”，〈2004 色彩學研討會論文集〉。
2. 李天任等，2004，“凝視與色彩喜好關係之初探”，〈2004 色彩學研討會論文集〉。
3. 孫志誠、嚴貞，2001，“招牌色彩意象與視認性探討－以新莊市中正路為例”，〈新世紀色彩學國際學術研討會論文集〉。
4. 訥勝雄等著，1991，〈人因工程學〉，揚智文化，台北。
5. 陳永良著，1996，“古近似均勻的色彩空間中適構色彩對比之尺標”，清華大學工業工程研究所博士論文。
6. 楊清田著，1996，〈造形原理導論〉，藝風堂出版社，台北。
7. 楊清田、魏碩廷，2004，“海報設計之數位化色彩解構－以 TPDA 發現亞洲台灣海報作品為例”，2004 色彩學研討會論文集。
8. 魏朝弘著，1973，〈守造形〉，眾心圖書公司，台北。
9. Bauer, B. et al., 1996, “Visual search for colour targets that are or are not linearly separable from distractors”, *Vision Research*, Vol.36(10), pp.1439-1465.
10. Brebner, J. T. & Welford, A. T., 1980, “Introduction: an historical background sketch”, *Reaction Times*, Academic Press. New York.
11. Bricker, P. D., 1955, “Information measurement and reaction time: A review”, *Information Theory in Psychology: Problems and methods*, Edited by Henry Quastler Glencoe Ill, Free Press.
12. Carter, R. C., 1982, “Visual search with color”, *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, Vol.8(1), pp.127-136.
13. D’Zmura, M., 1991, “Color in visual search”, *Vision Research*, Vol.31, pp.951-966.
14. Egeth, H. & Dagenbach, D., 1991, “Parallel versus serial processing in visual search: further evidence from subadditive effects of visual quality”, *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, Vol.17(2), pp.551-560.
15. Feixas, M. et al., 1999, “An information theory framework for the analysis of scene complexity”, *Computer Graphics Forum*, Vol.18(3), pp.95-106.
16. Feixas, M. et al., 1999, “Information theory tools for scene discretization”, *Rendering Techniques '99* (proceedings of the 10th Eurographics Workshop on Rendering, Granada Spain).
17. Feldman, D., 1998, “A Brief Introduction to: Information Theory”, *Excess Entropy, and Computational Mechanics*, College of the Atlantic Press.
18. Haug, L. & Pashler, H., 2005, “Attention capacity and task difficulty in visual search”. *Cognition*, Vol.94, pp.B101-B111.
19. Li, W., 1991, “On the relationship between complexity and entropy for Markov chains and regular languages”, *Complexity System*, Vol.5(4), pp.381-399.
20. Lloyd, S. & Pagels, H., 1988, “Complexity as thermodynamic depth”, *Annals of Physics*, Vol.188, pp.186-213.
21. Luce, R. D., 1986, “Response Times: Their Role in Inferring Elementary Mental Organization”, Oxford University Press. New York.
22. Nagy, A.L. & Sanchez, R. R., 1990, “Critical color differences determined with a visual search task”, *Journal of Optical Society of America (A)*, Vol.7(7), pp.1209-1217.

23. Page, D. L., et al., 2003, "Shape analysis algorithm based on information theory". *Proceedings of the International Conference on Image Processing*, Vol.1, Barcelona, Spain.
24. Palmer, J., 1994, "Set-size effects in visual search: the effect of attention is independent of the stimulus for simple tasks", *Vision Research*, Vol.34(13), pp.1703-1721.
25. Rigau, J. et al., 2000, Scene Visibility Complexity in Flatland, IIA-00-03-RR Institut d'Informàtica i Aplicacions, Universitat de Girona (Girona, Spain).
26. Shannon, C.E., 1948, "A mathematical theory of communication", *The Bell System Technical Journal*, Vol.27, pp.379-423, 623-656.
27. Teichner, W. H. & Krebs, M. J., 1974, "Laws of visual choice reaction time", *Psychological Review*, Vol.81(1), pp.75-98.
28. Wolfe, J. M., 1998, Visual Search, Attention, University College London Press.
29. Yogananda, P., 1954, Autobiography of a Yogi. Calif, Self-Realization Fellowship.
30. Zeki, S., 1999, Inner Vision, Oxford University Press.

Quantification of Pictorial Complexity Contributed by Factors of Color Number and Relative Area

Shuo-Ting Wei* Chen-Tien Yang**

* Graduate School of Plastic Art, National Taiwan University of Arts
e-mail:shuo_ting_wei@yahoo.com.tw

** Department of Visual Communication Design, National Taiwan University of Arts
e-mail:t0009@mail.ntua.edu.tw

(Date Received : July 22, 2005 ; Date Accepted : November 24, 2006)

Abstract

The main purpose of this study aimed to investigate the relationship between two factors (color number and relative area) and pictorial complexity through visual search approach, and the appropriate quantification of the relationship was also concluded via complexity measure approach. The results indicated positive relationship between color number and pictorial complexity when the number of different colors used in a picture is less than 6. The increasing rate becomes graded while more than 6 colors are involved. Besides, the relationship between difference of color areas and complexity value was inverse proportion. Finally, 2 appropriate quantifications were proposed in this study: (1) $H_1 = -\sum_{i=1}^n p_i \cdot \log_2 p_i$, where $p_i = \frac{|S_i|}{|S|}$, S the set of all elements, S_i the set of elements of i^{th} color. (2) $H_2 = -\sum_{i=1}^n \sum_{j=i}^n p_{ij} \cdot \log p_{ij}$. If $i = j$, then $p_{ij} = \frac{C_2^{|S_i|}}{C_2^{|S|}}$. If $i < j$, then $p_{ij} = \frac{|S_i| \cdot |S_j|}{C_2^{|S|}}$. S is the set of all elements, and S_i is the set of elements of i^{th} color. Quantification H_1 focuses on describing the influence of elements to pictorial complexity, and H_2 focuses on describing the influence of relationship between each pair of elements to pictorial complexity.

Keywords: Color, Pictorial complexity, Visual search, Reaction time, Complexity measure, Entropy

