

國立交通大學

理學院網路學習學程

碩士論文

適性指標－多媒體學習中
一種基於視覺認知理論的引導方式

Adaptive Pointer— a Cognitive Guide in Multimedia Learning
based on Visual Cognition Theory

研究生：林煜庭

指導教授：陳明璋 教授

中華民國九十七年一月

適性指標－多媒體學習中一種基於視覺認知理論的引導方式
Adaptive Pointer－a Cognitive Guide in Multimedia Learning
based on Visual Cognition Theory

研究生：林煜庭

Student：Yu-Ting Lin

指導教授：陳明璋

Advisor：Ming-Jang Chen

國立交通大學
理學院網路學習學程
碩士論文

A Thesis

Submitted to Degree Program of E-Learning of College of Science

National Chiao Tung University

in partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of

Master

in

1996

Degree Program of E-Learning

January 2008

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國九十七年一月

適性指標：多媒體學習中一種基於視覺認知理論的引導方式

學生：林煜庭

指導教授：陳明璋 博士

國立交通大學理學院網路學習碩士在職專班

摘要

先前的研究中，Patricia D. Mautone 與 Richard E. Mayer (2001) 已經將「信號原則 signaling principle」列入他們的多媒體設計理論。在他們的實驗中接收教材引導信號的學生比沒有接收引導信號的學生在 Transfer Test 中呈現顯著較佳的表現。本文作者繼續上述的研究並提出一種多媒體學習中認知引導的機制：適性指標。

適性指標是一種激發式動態呈現方式，目的是希望能讓學習者知道如何能更有效地學習教材內容。適性指標與原始的信號原則不同之處在於適性指標具有運動特徵的效果，尤其是突然出現的新物件以及突然發生的新運動。上述兩個運動特徵已經被證實是由刺激物引發並且是以由下而上的方式吸引注意力。

本研究有兩個主要目的。第一，從視覺認知理論尋找適性指標有效的證據。我們開始先說明前注意處理歷程的概念，並且將已經被驗證屬於前注意處理的視覺特徵依照形狀特徵、顏色特徵、深度特徵與運動特徵加以分類整理。第二，我們實作了一個不等組前後測的準實驗設計來研究適性指標在數學學習的效果。

結果發現接受適性指標教材的學生在 Retention Test 與 Matching Test 的表現都明顯優於接受沒有適性指標教材的學生。所有三個測驗的結果與視覺認知理論、類比遷移以及認知負荷理論的預期一致。基於上述的結果，我們建議適性指標是一個多媒體學習理論可能需要考慮的因素。

Adaptive Pointer: a Cognitive Guide in Multimedia Learning based on Visual Cognition Theory

Student : Yu-Ting Lin

Advisor : Dr. Ming-Jang Chen

Degree Program of E-Learning
National Chiao Tung University

英文摘要 Abstract

In previous studies by Patricia D. Mautone and Richard E. Mayer (2001) , they added a signaling principle to their collection of multimedia design principles. In their experiments, students who received signaling generated significantly more solutions on transfer test than students who did not receive signaling. The authors continued the above studies and proposed a mechanism for cognitive guidance in multimedia learning: adaptive pointer.

Adaptive pointer is a kind of dynamic presentation based on triggered animation that can help learners process their materials more efficiently. The difference between the original signaling principle and the adaptive pointer is the effect of motion, especially the abrupt onset of objects and motions. These features appear to capture attention in a stimulus-driven, bottom-up fashion.

There were two aims in this study. First, to find evidence for the effects of adaptive pointer from visual cognition theory. We begin with an overview of preattentive processing, and then organized the features identified as preattentive into a number of categories based on form, color, depth, and motion. Second, to conduct a quasi-experimental design using nonequivalent groups to study the effects of adaptive pointer during math-learning.

Results showed that students who received adaptive pointer performed significantly better during the retention test and the matching test than those who did not receive adaptive pointer. And the outcomes were consistent with visual cognition theory, analogical transfer and

cognitive load theory. Based on these results, we suggest that adaptive pointer is a considerable factor in multimedia learning.



誌謝

本論文能順利完成，首先感謝指導教授陳明璋博士的細心指導。陳老師的諄諄教誨與循循善誘，使我在研究的過程中如沐春風，在此致上最高的敬意與謝意。同時也要感謝專班主任陳永富教授與黃大原教授在百忙中詳閱並於口試時提供寶貴意見，在此一併致謝。

研究期間承蒙專班同學國立竹南高中李政豐老師的鼓勵與支持，李老師的熱心協助讓我在研究的路程中有了新的契機，由衷感謝。也感謝同一團隊的同學邱建偉、李進福、蘇柏奇、李政憲老師在研究上給予資料的協助與精神上的支持，夥伴間的相互扶持與知識共享，真是溫暖的研究環境。

感謝臺中市黎明國中的同仁給予我的支持。許顏輝校長、閻世鈞主任，以及教務處的同仁蔡栢奇、盧柄君與陶淑玲老師在行政工作上給我許多的協助，非常感謝。陶老師熱心協助英文摘要的撰寫，讓我深深感激在心。

如果沒有許多視覺認知科學以及教育心理學專家的研究，本論文是不可能產生的。在此感謝威爾教授（Colin Ware）以及梅伊爾教授（Richard E. Mayer）的兩本重要著作對本文的啟發，「Information Visualization」以及「Multimedia Learning」確實是本研究的重要基礎。

最後，感謝親愛的太太偉瑛、妹妹彥君與親愛的父母親，特將此論文獻給疼愛我的您們。

煜庭 謹識

中華民國九十七年一月

目次

摘要.....	i
英文摘要.....	ii
誌謝.....	iv
目次.....	v
表目錄.....	ix
圖目錄.....	xi
第一章 緒論.....	1
第一節 研究背景.....	1
一、 數學簡報系統的發展.....	1
二、 簡報軟體的問題.....	2
三、 多媒體學習理論.....	6
第二節 研究目的.....	6
第三節 研究方法.....	7
一、 適性指標在視覺認知科學的理論基礎：.....	7
二、 適性指標學習效果實驗：.....	7
第四節 適性指標的定義.....	8
第二章 適性指標與多媒體學習理論.....	9
第一節 多媒體學習理論.....	9
一、 Multimedia Learning 的定義.....	9
二、 Multimedia Learning 的三個認知假設.....	10
三、 Multimedia Learning 的五個認知步驟.....	15
第二節 認知負荷理論.....	19
一、 認知負荷的來源.....	19
二、 降低外在認知負荷的教材設計方式.....	21
第三節 多媒體學習理論之設計原則.....	29
一、 多媒體學習理論的十項教材設計原則.....	30
二、 適性指標與多媒體學習設計原則.....	38
第三章 適性指標的視覺認知理論基礎.....	43
第一節 視覺訊息的前注意處理歷程.....	43
一、 注意瞬脫效應.....	43
二、 視像記憶的證據.....	45
三、 前注意處理歷程的存在.....	47
四、 基本視覺特徵的檢定方式.....	48
第二節 特徵整合理論.....	54

一、 理論架構.....	54
二、 現象解釋.....	55
第三節 引導搜尋理論.....	60
一、 理論架構.....	60
二、 基本視覺特徵如何引導注意力.....	63
三、 由下而上的引導表徵 (Bottom-Up guidance)	69
四、 由上而下的引導表徵 (Top-Down Guidance)	70
五、 活化圖 (The Activation Map)	71
六、 現象解釋.....	71
第四節 注意力投注理論.....	73
一、 理論架構.....	73
二、 知覺描述階段 (perceptual description)	75
三、 選取階段 (selection)	76
四、 進入 VSTM 階段 (visual short-term memory)	78
五、 交互選擇相似性 (interalternative similarity)	79
六、 顯示畫面內部相似性 (within-display similarity)	81
七、 現象解釋.....	82
第五節 偵測突出目標物.....	85
一、 單一元素假說.....	88
二、 空間整合假說.....	89
三、 不規則偵測假說.....	89
四、 事件相關腦電位研究.....	90
第六節 樣式知覺.....	92
一、 接近法則 (Proximity)	94
二、 相似法則 (Similarity)	94
三、 連接法則 (Connectedness)	95
四、 連續法則 (Continuity)	95
五、 對稱法則 (Symmetry)	96
六、 封閉法則 (Closure)	97
七、 共同命運法則 (Common Fate)	99
第四章 適性指標的視覺特徵.....	103
第一節 形狀特徵 (FORM)	103
一、 FORM-Orientation、Length、Width.....	104
二、 FORM-Size.....	105
三、 FORM-Curvature.....	106
四、 FORM-Blur.....	108
五、 FORM-Added marks.....	110
第二節 顏色特徵 (COLOR)	115

一、	COLOR-Hue	118
二、	COLOR-Intensity	140
第三節	深度特徵 (DEPTH)	154
一、	DEPTH-Stereoscopic depth	154
二、	DEPTH-Convexity & Concavity	162
第四節	運動特徵 (MOTION)	164
一、	MOTION-New object	168
二、	MOTION-Transient	215
三、	MOTION-Looming	217
四、	MOTION-Jitter motion	218
五、	MOTION-New motion	219
六、	MOTION-Flicker	222
七、	MOTION-Coherence	224
八、	MOTION-Direction	226
第五章	適性指標學習效果實驗	233
第一節	實驗教材之設計說明	233
一、	第一張投影片	235
二、	第二張投影片	236
三、	第三張投影片	237
四、	第四張投影片	239
五、	第五張投影片	240
六、	第六張投影片	241
七、	第七張投影片	243
八、	第八張投影片	244
九、	第九~十三張投影片	246
十、	第十四張投影片	247
第二節	實驗方法 (Method)	248
一、	參與者與設計 (Participants and design)	248
二、	實驗工具 (Materials and apparatus)	251
三、	實驗流程 (Procedure)	252
第三節	結果與討論 (Results and Discussion)	252
一、	Retention Test	252
二、	Matching Test	257
三、	Transfer Test	264
四、	綜合討論	274
第六章	結論	279
第一節	適性指標在視覺認知科學的理論基礎	279
一、	視覺搜尋理論的支持	279

二、 基本視覺特徵的實驗證據.....	282
第二節 適性指標基於視覺認知科學的設計原則.....	284
第三節 適性指標與學習效果.....	289
一、 實驗結果與相關理論一致.....	289
二、 實驗發現.....	290
三、 研究建議.....	290
參考文獻.....	293
附件一 Retention Test 試卷.....	307
附件二 Matching Test 試卷.....	309
附件三 Transfer Test 試卷.....	313



表目錄

表 1-1 PowerPoint 每頁包含文字數量之分析，引自(Tufte, 2003).....	2
表 1-2 Bullet Point 條列呈現的使用時機分析.....	4
表 4-1 形狀特徵的種類.....	103
表 4-2 unique hue 的 RGB 值(Spooky, 2006).....	116
表 4-3 顏色特徵的種類.....	118
表 4-4 色相特徵在應用上需考慮的因素.....	118
表 4-5 Color-Hue-[strategy] 之效果分析.....	120
表 4-6 使用 RGB 值計算 hue angle 的公式(contributors, 2007b).....	123
表 4-7 Focal color 與 Unique color 的一致性(MIYAHARA, 2003).....	124
表 4-8 色彩強度特徵在應用上需考慮的因素.....	140
表 4-9 深度特徵的種類.....	154
表 4-10 Nakayama 與 Silverman 的實驗架構(Nakayama & Silverman, 1986)	156
表 4-11 Stereoscopic depth 在應用上需考慮的因素.....	157
表 4-12 Convexity & Concavity 在應用上需考慮的因素.....	163
表 4-13 運動特徵的種類.....	164
表 4-14 Yantis 與 Jonides Abrupt Visual Onset 實驗 b 的結果(Yantis & Jonides, 1984).....	171
表 4-15 MOTION-New object 需考慮的因素.....	173
表 4-16 MOTION-New object-[original location]需考慮之因素編碼.....	184
表 4-17 new object 與 luminance change 的相關論文.....	188
表 4-18 inhibition of return 涉及的因素編碼.....	194
表 4-19 CIOH 實驗一之結果(Folk et al., 1992).....	198
表 4-20 CIOH 實驗二之結果(Folk et al., 1992).....	199
表 4-21 Reading Color Names 的實驗結果(Stroop, 1935).....	203
表 4-22 Naming Colored Words 的實驗結果(Stroop, 1935).....	204
表 4-23 DRIVER 運動一致性實驗各組平均回應時間統計表(DRIVER et al., 1992).....	225
表 4-24 運動一致性實驗中受測者對各組採用的視覺搜尋策略分析 ...	225
表 4-25 Movement-Filter Theory 實驗一反應時間統計表(McLeod et al., 1991).....	227
表 4-26 Movement-Filter Theory 實驗二各組搜尋策略分析(McLeod et al., 1991).....	228
表 4-27 Movement-Filter Theory 實驗二各組反應時間統計表(McLeod et al., 1991).....	229

表 4-28 Movement-Filter Theory 實驗三各組反應時間統計表(McLeod et al., 1991)	230
表 5-1 實驗學校二年級數學科成績分析	250
表 5-2 研究流程與時間配置表	252
表 5-3 Retention Test 的平均正確率統計表	254
表 5-4 Retention Test 之 Independent Samples T-test 分析表	255
表 5-5 Retention Test 之 One-Way ANOVA 分析表	255
表 5-6 Matching Test 的平均正確率統計表	260
表 5-7 Matching Test 之 Independent Samples T-test 分析表	261
表 5-8 Matching Test 之 One-Way ANOVA 分析表	262
表 5-9 Transfer Test 之題目與其涉及的數學觀念分析表	264
表 5-10 實驗組與控制組前測總分平均與後測總分平均分析表	269
表 5-11 實驗組與控制組前測總分與後測總分 Independent Samples T-test 分析表	269
表 5-12 實驗組各題前測與後測之 paired samples t-test 分析表	270
表 5-13 控制組各題前測與後測之 paired samples t-test 分析表	270
表 6-1 形狀特徵之分類編碼表	282
表 6-2 顏色特徵之分類編碼表	283
表 6-3 深度特徵之分類編碼表	283
表 6-4 運動特徵之分類編碼表	284

圖目錄

圖 1-1 多螢幕簡報投影技術示意圖(吳依恂, 2006).....	3
圖 1-2 條列式呈現的例子(蔡學鏞, 2005).....	3
圖 1-3 適性指標的實例—底色強調指標	8
圖 2-1 聽覺/文字通道示意圖(R. E. Mayer, 2001)	10
圖 2-2 視覺/圖像通道示意圖(R. E. Mayer, 2001)	10
圖 2-3 口述文字、印刷文字、圖片在雙通道內的運作方式(R. E. Mayer, 2001)	11
圖 2-4 「選擇相關文字碼」認知歷程示意圖	15
圖 2-5 選取相關圖像碼的實例	16
圖 2-6 選取相關圖像碼時分別選取左方灰色三角形和右方灰色三角形	16
圖 2-7 「選擇相關圖像碼」認知歷程示意圖	16
圖 2-8 「組織相關文字碼」認知歷程示意圖	17
圖 2-9 將選取的圖像碼之間建立關聯	18
圖 2-10 「組織相關圖像碼」認知歷程示意圖	18
圖 2-11 「整合文字與圖像表徵」認知歷程示意圖.....	19
圖 2-12 分散注意力效果的設計方式	26
圖 2-13 整合式的設計能避免分散注意力效果	26
圖 2-14 Redundancy Effect 會增加認知負荷.....	28
圖 2-15 Multimedia Principle 之實例	30
圖 2-16 符合 Spatial Contiguity Principle 之實例.....	31
圖 2-17 不符合 Spatial Contiguity Principle 之實例.....	31
圖 2-18 Temporal Contiguity Principle 的實例.....	32
圖 2-19 Coherence Principle 3 的實例與適性指標的作用.....	33
圖 2-20 Modality Principle 與適性指標	34
圖 2-21 採用 Signaling Principle 時需要考慮視覺搜尋非對稱性.....	37
圖 2-22 適性指標可彈性的顯示或隱藏訊息	39
圖 2-23 適性指標可引視覺物件的發群化作用改善距離因素的影響	40
圖 2-24 Temporal Contiguity Principle 的實例之回顧.....	40
圖 2-25 適性指標可協助改善 Temporal Contiguity Principle 所遭遇的圖層問題.....	41
圖 2-26 Coherence Principle 3 之實例回顧.....	41
圖 3-1 RSVP 的字母串流(Raymond et al., 1992)	44
圖 3-2 是否注意目標對 X 辨認的影響(Raymond et al., 1992)	45
圖 3-3 Sperling 實驗的字母陣列(Sperling, 1960).....	46

圖 3-4 George Sperling 視像記憶實驗結果(Sperling, 1960).....	46
圖 3-5 前注意階段決定質感辨識的例子，修改自(Treisman, 1985).....	47
圖 3-6 特徵搜尋比結合搜尋快(Treisman & Gelade, 1980)	49
圖 3-7 搜尋非對稱性－具有垂直線段(Treisman & Souther, 1985; J. M. Wolfe, 2001).....	50
圖 3-8 搜尋非對稱性－具有彎曲度的變化(Kristj et al., 2001; J. M. Wolfe, 2001)	50
圖 3-9 圓形中具有垂直線段的搜尋非對稱檢定(Treisman & Souther, 1985)	51
圖 3-10 線段長度「長對短」以及「短對長」的搜尋非對稱性	51
圖 3-11 單一正向編碼特徵(a)與相互替代特徵(b)	52
圖 3-12 相互替代特徵可能造成預期之外的指標（右方淡灰色 B）	53
圖 3-13 提示對特徵搜尋與結合搜尋的影響	53
圖 3-14 特徵整合理論架構圖(Treisman & Gormican, 1988).....	54
圖 3-15 兩種特徵搜尋	55
圖 3-16 結合搜尋(葉素玲, 1999b).....	56
圖 3-17 相似目標物的搜尋	57
圖 3-18 視覺搜尋的非對稱性(Treisman & Souther, 1985)	57
圖 3-19 Rapid conjunction search.....	58
圖 3-20 特徵抑制假說(Treisman & Sato, 1990)	58
圖 3-21 已知目標與未知目標的結合搜尋	59
圖 3-22 Ariely 實驗所採用的原點集合與測試圓點	60
圖 3-23 引導搜尋理論架構(J. M. Wolfe, 2006).....	61
圖 3-24 線段方向性差異的偵測(Foster & Ward, 1991)	62
圖 3-25 RSVP 實驗一所用的刺激物畫面(Shih & Sperling, 1996).....	64
圖 3-26 RSVP 實驗一的程序架構(Shih & Sperling, 1996).....	65
圖 3-27 RSVP 實驗一的結果(Shih & Sperling, 1996).....	66
圖 3-28 RSVP 實驗二所用的刺激物畫面(Shih & Sperling, 1996).....	67
圖 3-29 RSVP 實驗一與實驗二結果比較圖(Shih & Sperling, 1996).....	68
圖 3-30 引導表徵的快速切換可能影響搜尋的效能	68
圖 3-31 局部對比產生由下而上的引導表徵(J. M. Wolfe, 2006).....	69
圖 3-32 由上而下的引導表徵	70
圖 3-33 容易辨認卻不易被找到的 T	72
圖 3-34 容易被找到的 T	72
圖 3-35 改變盲效應 Change blindness (MacAskill, 2004)	73
圖 3-36 紅色圓圈成爲引導表徵(MacAskill, 2004).....	73
圖 3-37 快速的結合搜尋	74
圖 3-38 搜尋效率曲面分析圖(Duncan & Humphreys, 1989)	74

圖 3-39 目標物與干擾物具有明顯差異，搜尋作業速度很快	75
圖 3-40 干擾物之間非常相似，搜尋作業速度較慢	75
圖 3-41 Sperling 的短期記憶模型(Sperling, 1967).....	76
圖 3-42 Baddeley 工作記憶示意圖，引自(Schneider <i>et al.</i> , 2006).....	77
圖 3-43 相似度很高的干擾物經常會同時被排除	78
圖 3-44 顯示畫面內部相似性的實例	81
圖 3-45 在左圖發現目標物「十」比確認右圖不含目標物「十」更容易.....	82
圖 3-46 Homogeneity Coding 使得「目標物缺乏」的確認速度非常快..	82
圖 3-47 Homogeneity Coding 也能加快已知目標物的搜尋.....	83
圖 3-48 Homogeneity Coding 能突顯目標物與干擾物的區隔邊界.....	84
圖 3-49 群化的異質範圍中搜尋仍然很快	84
圖 3-50 紅色以及大小是有效的引導表徵，5 和 2 的形狀 差異則不是(J. M. Wolfe & Horowitz, 2004).....	85
圖 3-51 lateral masking 的實例(Wertheim <i>et al.</i> , 2006).....	87
圖 3-52 lateral masking 與刺激物密度有關(Wertheim <i>et al.</i> , 2006).....	87
圖 3-53 單一元素假說	88
圖 3-54 空間整合假說	89
圖 3-55 不規則偵測假說	90
圖 3-56 Target present (虛線) 與 Target absent (實線) 的 N2p 波以及 P3 波(Schubo <i>et al.</i> , 2007)	90
圖 3-57 比較同質干擾物，群化異質干擾物以及異質干擾物的 N2p 波以 及 P3 波(Schubo <i>et al.</i> , 2007)	91
圖 3-58 N2pc 波的實例(Schubo <i>et al.</i> , 2004)	92
圖 3-59 樣式知覺(Ware, 2004)	93
圖 3-60 宏碁電腦的微笑曲線(施振榮, 2004).....	93
圖 3-61 接近法則(Ware, 2004)	94
圖 3-62 相似法則	95
圖 3-63 連接法則(Ware, 2004)	95
圖 3-64 連續法則 (物體範圍)	96
圖 3-65 連續法則 (關聯性)	96
圖 3-66 對稱法則(Ware, 2004)	97
圖 3-67 封閉法則 (取自 <i>Coherence in Thought and Action</i> 之封面) (Thagard, 2002).....	98
圖 3-68 封閉法則 (common region)	98
圖 3-69 封閉原理 (common region 可有效描述元素之間的關係)	99
圖 3-70 顏色與質感所構成的 common region 有較佳的效果(Ware, 2004).....	99
圖 3-71 共同命運法則(Brooks, 2002)	100
圖 4-1 Line 的三種基本視覺特徵.....	104

圖 4-2 Line Orientation 視覺搜尋實驗結果(Treisman & Gormican, 1988)	104
圖 4-3 基本視覺特徵的使用需考慮視覺非對稱性	105
圖 4-4 Size 基本視覺特徵	105
圖 4-5 Large 或 Small 都有可能標示目標物的位置	106
圖 4-6 Curvature 基本視覺特徵	106
圖 4-7 曲率越小搜尋非對稱性越明顯(Treisman & Gormican, 1988)	107
圖 4-8 具有 Curvature 特徵較容易被辨認為目標物	108
圖 4-9 Blur 基本視覺特徵(K. Robert et al., 2001)	108
圖 4-10 模糊程度越高，目標偵測效能越好(K. Robert et al., 2002b)	109
圖 4-11 Blur 應用在文字編輯器的關鍵字搜尋	110
圖 4-12 1. FORM-Added marks-pointer 的實例	111
圖 4-13 替目標物添加指標符號具有搜尋非對稱性(Treisman, 1985)	111
圖 4-14 underline 的使用要考慮搜尋非對稱性的影響	112
圖 4-15 外框式 common region 可強調目標物(Ware, 2004)	112
圖 4-16 外框式 common region 可將適當的目標物群化	113
圖 4-17 外框式 common region 能有效引導注意力(Theeuwes et al., 1999)	113
圖 4-18 外框式 common region 的使用要考慮搜尋非對稱性	114
圖 4-19 底色質感式 common region 的使用要考慮搜尋非對稱性	114
圖 4-20 紅色的櫻桃很容易在綠葉中被發現	115
圖 4-21 三種視錐細胞的光譜敏感曲線(Smith & Pokorny, 1975; Valberg, 2001)	116
圖 4-22 unique hue	116
圖 4-23 從生理學的角度解釋對立補色理論(Ware, 2004)	117
圖 4-24 紅色飽和度由低到高的變化(Few, 2006)	118
圖 4-25 紅色亮度由低到高的變化(Few, 2006)	118
圖 4-26 Halverson 與 Hornof 設計的待搜尋畫面	119
圖 4-27 Berlin and Kay 提出顏色在語言上的優先順序(Ware, 2004)	122
圖 4-28 Terry Regier 所採用的顏色座標(Regier et al., 2005)	123
圖 4-29 焦點顏色選取次數之等高輪廓線圖(Regier et al., 2005)	123
圖 4-30 顏色類別邊界與 color triangle (Ware, 2004)	124
圖 4-31 CIE 測定的 RGB color-matching functions (contributors, 2007a)	126
圖 4-32 CIE 測定的 XYZ color-matching functions (contributors, 2007a)	127
圖 4-33 CIE XYZ color space (Ware, 2004)	127
圖 4-34 CIE xy chromaticity coordinates 的轉換原理(Hoffmann, 2006)	128
圖 4-35 CIE 1931 color space chromaticity diagram (contributors, 2007a)	129
圖 4-36 MacAdam ellipse (contributors, 2007c; 李允立, 2007)	130
圖 4-37 MacAdam 實驗測量各方向的恰可察覺色差(MacAdam, 1942)	130

圖 4-38 CIE XYZ 與 CIE LUV 上的 MacAdam ellipse 比較 (李允立, 2007)	131
圖 4-39 linear separation (Christopher, 1996)	132
圖 4-40 凸包的圖形定義	133
圖 4-41 Bauer 所使用的刺激物在 CIE LUV 的分布狀況(Bauer et al., 1999)	133
圖 4-42 Bauer 的 convex hull test 實驗結果	134
圖 4-43 linear separation 的明顯實例(Ware, 2004).....	134
圖 4-44 連續性對比	135
圖 4-45 同時性對比(Arend <i>et al.</i> , 2007).....	135
圖 4-46 Zaidi 實驗所使用的目標區域面積皆相同(Zaidi et al., 1991).....	136
圖 4-47 同時性色彩對比受目標區與背景區的面積比例影響	137
圖 4-48 在指標周圍添加黑框或白框降低色彩對比效果	138
圖 4-49 面積大小影響顏色辨認的難易度	138
圖 4-50 模擬色盲人士所看到的三原色(維基百科編者, 2007).....	139
圖 4-51 Rosenholtz 提出搜尋非對稱性的例子	139
圖 4-52 Theeuwes 實驗所使用的刺激物(Theeuwes, 1995)	141
圖 4-53 Theeuwes 實驗的結果分析圖	141
圖 4-54 背景區會影響目標區的亮度辨認	143
圖 4-55 明度差異越大對比越顯著	143
圖 4-56 目標區面積大小影響同時性亮度對比的強度	144
圖 4-57 Crispening Effect	144
圖 4-58 三原色亦都有 Crispening Effect 的現象	145
圖 4-59 白色背景的灰階辨認效果較佳	145
圖 4-60 Crispening Effect 可增強目標物與干擾物的區隔性	145
圖 4-61 Crispening Effect 可用來區隔明度的差異	146
圖 4-62 藍黃對比與紅綠對比的空間敏感度受明度影響	147
圖 4-63 高空間頻率與低空間頻率	147
圖 4-64 a 圖 contrast 比 b 圖 contrast 大	148
圖 4-65 對比低限	149
圖 4-66 Mullen 實驗所用的雙色光柵(Mullen, 1985).....	150
圖 4-67 Mullen 實驗的對比敏感函數分布圖(Mullen, 1985).....	151
圖 4-68 左圖為負向對比，右圖為正向對比(Scharff & Ahumada, 2002).....	151
圖 4-69 空間敏感度在適性指標的應用	152
圖 4-70 顏色特徵的一維群化與二維群化(Ware, 2004).....	153
圖 4-71 顏色特徵二維群化的應用	153
圖 4-72 Nakayama 與 Silverman 實驗的呈現方式(Nakayama & Silverman, 1986)	155

圖 4-73 M-C 結合搜尋作業示意圖.....	155
圖 4-74 Nakayama 與 Silverman 的實驗結果(Nakayama & Silverman, 1986)	157
圖 4-75 連續性影響圖層區隔的辨認	158
圖 4-76 明度大小的順序影響圖層的上下(Masin, 2000).....	158
圖 4-77 y 明度越高，右方越容易辨認為上層(Masin, 2000).....	159
圖 4-78 b 明度越高，右方越容易辨認為上層(Masin, 2000).....	159
圖 4-79 個別區域的質感差異影響圖層辨識(Watanabe & Cavanagh, 1996)	160
圖 4-80 重疊區域與周圍的質感差異影響圖層辨識(Watanabe & Cavanagh, 1996)	160
圖 4-81 立體深度可用來描述物件	161
圖 4-82 立體深度可用來指引注意力	161
圖 4-83 D'Zmura 實驗所使用的刺激物(D'Zmura <i>et al.</i> , 1997).....	162
圖 4-84 D'Zmura 實驗所觀察的結果(D'Zmura <i>et al.</i> , 1997).....	162
圖 4-85 陰影對比程度對搜尋速度的影響(D'Zmura <i>et al.</i> , 1997).....	164
圖 4-86 Yantis 與 Jonides 實驗一所使用的刺激物(Yantis & Jonides, 1984).....	169
圖 4-87 Yantis 與 Jonides Abrupt Visual Onset 實驗 a 的結果(Yantis & Jonides, 1984)	170
圖 4-88 Yantis 與 Jonides 實驗 b 所使用的刺激物(Yantis & Jonides, 1984).....	171
圖 4-89 Yantis 與 Jonides 實驗 c 所使用的刺激物(Yantis & Jonides, 1984).....	172
圖 4-90 Yantis 與 Jonides Abrupt Visual Onset 實驗 c 的結果(Yantis & Jonides, 1984)	172
圖 4-91 動畫之「滑鼠啟動位置」影響視線凝視點	174
圖 4-92 Spivey 與 Geng 實驗所使用的刺激物與畫面之設計(Spivey & Geng, 2001).....	176
圖 4-93 Spivey 與 Geng 實驗的結果(Spivey & Geng, 2001).....	176
圖 4-94 視線位置影響視覺記憶檢索的實驗畫面(Sacks & Hollingworth, 2005).....	177
圖 4-95 Moreno 與 Mayer 實驗所設計的畫面(Moreno & Mayer, 1999a).....	178
圖 4-96 Moreno 與 Mayer 實驗的結果(Moreno & Mayer, 1999a).....	178
圖 4-97 問題二所探討的適性指標三種設計方式	179
圖 4-98 Adler、Bala 與 Krauzlis 實驗所設計的畫面(Adler <i>et al.</i> , 2002).....	180
圖 4-99 Adler、Bala 與 Krauzlis 實驗的結果(Adler <i>et al.</i> , 2002).....	181
圖 4-100 兩圓連心線與半徑關係的兩種呈現方式	182
圖 4-101 Treisman 與 Zhang 物件位置與連結的實驗畫面(Treisman & Zhang, 2006)	183
圖 4-102 Treisman 與 Zhang 的實驗結果(Treisman & Zhang, 2006)	183

圖 4-103 Yantis 與 Jonides 使用的刺激物 offset 變化較少(Yantis & Jonides, 1984)	185
圖 4-104 Miller 所使用的刺激物(Miller, 1989).....	185
圖 4-105 Miller 使用的刺激物 offset 變化較多(Miller, 1989).....	185
圖 4-106 直線切割平面問題可使用 offset 的方式呈現	186
圖 4-107 影響 new object 的各項因素比較.....	187
圖 4-108 Enns 實驗所採用的刺激物(Enns et al., 2001).....	189
圖 4-109 Enns 實驗的結果(Enns et al., 2001).....	189
圖 4-110 IOR 能增進視覺搜尋效能(Wright, 1998).....	190
圖 4-111 回向抑制實驗示意圖(Wright, 1998).....	190
圖 4-112 回向抑制實驗結果(Klein, 2000).....	191
圖 4-113 saccade-induced IOR 的實例	192
圖 4-114 stimulus-induced IOR 的實例	192
圖 4-115 「矩形刺激物提示」與「中央箭頭提示」對照圖.....	193
圖 4-116 stimulus-induced IOR 應用在適性指標的設計	194
圖 4-117 適性指標涉及 CIOH 的案例.....	195
圖 4-118 CIOH 實驗一示意圖(Folk et al., 1992).....	197
圖 4-119 CIOH 實驗二示意圖(Folk et al., 1992).....	198
圖 4-120 目標物之提示具有干擾物之特徵	200
圖 4-121 干擾物之提示具有關鍵特徵	200
圖 4-122 目標物之提示具有關鍵特徵的優點與限制	201
圖 4-123 提示物的設計應避免採用待搜尋物件的視覺特徵	201
圖 4-124 Stroop effect 干擾目標物的辨認.....	202
圖 4-125 引發 stroop effect 的設計方式	202
圖 4-126 Stroop effect 實驗一 Reading Color Names 示意圖(Stroop, 1935).....	203
圖 4-127 Stroop effect 實驗二 Naming Colored Words 示意圖(Stroop, 1935)	204
圖 4-128 Stroop effect 實驗一與實驗二之統計對照圖(Stroop, 1935)	204
圖 4-129 頂點為 6 的低關聯性圖形(Vanderplas & Garvin, 1959).....	205
圖 4-130 MacLeod 與 Dunbar 實驗所採用的刺激物示意圖.....	206
圖 4-131 naming the shapes 經 20 小時訓練後明顯變快(MacLeod & Dunbar, 1988).....	206
圖 4-132 整合性與區隔性的研究(MacLeod, 1998)	207
圖 4-133 四種引發 Stroop-like effect 的實例(MacLeod & MacDonald, 2000)	208
圖 4-134 整合程度越高越容易引發 Stroop-like effect	208
圖 4-135 negative priming 影響學習者對目標物的感受	209
圖 4-136 Neill 實驗所設計的畫面(Neill, 1977).....	210

圖 4-137 採用不同型態的適性指標並且只標示目標物	210
圖 4-138 New object 配合 feature-map inhibition 的設計方式	211
圖 4-139 visual marking 影響遮罩給讀者的感受	212
圖 4-140 Visual Marking 實驗示意圖(Humphreys <i>et al.</i> , 2004)	213
圖 4-141 Visual Marking 實驗模擬畫面(Watson & Humphreys, 1997)	214
圖 4-142 Visual Marking 實驗結果(Watson & Humphreys, 1997)	214
圖 4-143 適性指標可採用已存在的物件發生明度瞬變的設計方式	216
圖 4-144 明度瞬變實驗示意圖(Franconeri Steven <i>et al.</i> , 2005)	216
圖 4-145 明度瞬變實驗結果(Franconeri Steven <i>et al.</i> , 2005)	217
圖 4-146 Looming 的實驗示意圖與實驗結果(Franconeri & Simons, 2003)	217
圖 4-147 Receding 的實驗示意圖與實驗結果(Franconeri & Simons, 2003)	218
圖 4-148 jitter motion 的實驗示意圖與實驗結果(Franconeri & Simons, 2003)	218
圖 4-149 motion onset 實驗一(Richard A. Abrams & Christ, 2004)	219
圖 4-150 motion onset 實驗二(Richard A. Abrams & Christ, 2004)	220
圖 4-151 motion onset 實驗三(Richard A. Abrams & Christ, 2004)	220
圖 4-152 new object onset 與 new motion onset 實驗示意圖(Christ & Abrams, 2006)	221
圖 4-153 new object onset 與 new motion onset 實驗結果(Christ & Abrams, 2006)	221
圖 4-154 「進入擦去」動畫具有 new object 以及 new motion 的特性.	222
圖 4-155 Flicker 訊號比 Continuous 訊號有更短的反應時間(Berg <i>et al.</i> , 2007)	222
圖 4-156 視角較大時 Flicker 訊號的效果仍比 Continuous 訊號好.....	223
圖 4-157 DRIVER 運動一致性實驗畫面示意圖(DRIVER <i>et al.</i> , 1992) ..	225
圖 4-158 Movement-Filter Theory 實驗一示意圖(McLeod <i>et al.</i> , 1991) ..	227
圖 4-159 Movement-Filter Theory 實驗一示意圖(McLeod <i>et al.</i> , 1991) ..	230
圖 5-1 實驗第一張投影片	235
圖 5-2 實驗第二張投影片	236
圖 5-3 實驗第三張投影片	238
圖 5-4 實驗第四張投影片	239
圖 5-5 實驗第五張投影片	241
圖 5-6 實驗第六張投影片	242
圖 5-7 實驗第七張投影片	243
圖 5-8 實驗第八張投影片	244
圖 5-9 實驗第八張投影片	246
圖 5-10 實驗第八張投影片	248
圖 5-11 Retention Test 1 的關鍵投影片 (第 14 張)	253

圖 5-12 Retention Test 2 的關鍵投影片 (第 4 張和第 7 張)	254
圖 5-13 Retention Test 3 的關鍵投影片 (第 8 張)	254
圖 5-14 Retention Test 正確率長條圖	256
圖 5-15 Retention Test 正確率折線圖	256
圖 5-16 Matching Test 1 的關鍵圖形與解答 (投影片 12、13)	257
圖 5-17 Matching Test 2 的關鍵圖形與解答 (投影片 8)	258
圖 5-18 Matching Test 3 的關鍵圖形與解答 (投影片 2)	258
圖 5-19 Matching Test 4 的關鍵圖形與解答 (投影片 7)	259
圖 5-20 Matching Test 5 的關鍵圖形與解答 (投影片 6)	259
圖 5-21 Matching Test 6 的關鍵圖形與解答 (投影片 14)	260
圖 5-22 Matching Test 正確率長條圖	263
圖 5-23 Matching Test 正確率折線圖	263
圖 5-24 Transfer Test 1 作圖型答案	267
圖 5-25 Transfer Test 2 作圖型答案	267
圖 5-26 Transfer Test 3 作圖型答案	268
圖 5-27 Transfer Test 4 作圖型答案	268
圖 5-28 Transfer Test 前後測平均分數分組對照圖	271
圖 5-29 Transfer Test 前後測平均進步分數分組對照圖	272
圖 5-30 Matching Test 結果回顧圖	273
圖 5-31 適性指標有可能協助突顯 schematic relations	274
圖 5-32 通過原有交點時新增直線會減少一個形成交點的機會	274
圖 5-33 效果不顯著的第 7 張投影片	275
圖 5-34 造成實驗組與控制組在 Matching Test 2 得分發生顯著差異的投影片 8	276
圖 6-1 適性指標的設計需符合注意力投注理論	280
圖 6-2 單一特徵的指標最容易辨認與描述	285
圖 6-3 顏色通道擁擠時可改採形狀通道	286



第一章 緒論

第一節 研究背景

本節從「數學簡報系統的發展」、「簡報軟體的問題」以及「多媒體學習理論的相關研究」三個角度來說明本研究之背景。

一、數學簡報系統的發展

傳統課堂授課以黑板、粉筆為主要的教學工具，存在許多教材製作與呈現的限制。相形之下，資訊科技能運用廣泛的媒體素材，並且教材具有可修改的特性，再加上強大的視覺呈現能力，使得資訊融入的教材製作環境具有許多超越傳統教材製作環境的優點。國立交通大學網路學習專班從民國九十二年開始，由陳明璋博士策劃，發展了數學簡報系統「MathPS」軟體，改善了 PowerPoint 在製作數學教材功能與彈性不足的缺點，方便教學者設計教學教材檔案(邱建偉, 2005)。此軟體以教師授課為導向，選擇了非常普及的微軟 PowerPoint 軟體為平台以期縮小數位落差，定位、作圖與互動按鈕的功能設計更增添了教師呈現教材的方式。藉由此高效能工具軟體的輔助，可望大幅提高教材的品質與產能，並讓教材具有在課堂授課「適性呈現」的特性。

基礎於認知科學與多媒體學習理論，陳明璋博士提出激發式動態呈現 (Trigger-based animation) (Chen & Tan, 2007)，配合視覺化 (visualization) 的方式希望能降低教材外部認知負荷，將結構化的關聯 (schematic relations) 在學習者的面前加以突顯出來，協助學習者進行 active learning。為配合這個設計理念的重要演進，MathPS 也正式更名為 AMA (activate mind attention) 系統。

本研究即是在 AMA 系統所建構的教材製作環境以及 Trigger-based animation 教材設計理念下進行「適性指標 (adaptive pointer)」之視覺認知科學與學習效果研究。

二、簡報軟體的問題

基於 PowerPoint 高度普及的特性，已有許多專家對其優缺點進行探討。分析 The Cognitive Style of PowerPoint (Tufte, 2003)的論述，我們可以歸納出 PowerPoint 在呈現上的問題有「畫面資訊容量不足」、「Bullet Point 條列呈現的限制」、「缺乏雙碼型態的資料呈現」以及「不易解釋高關聯性的內容」四個主要問題。「適性指標」的研究即是希望藉由激發式動態呈現的設計方式來克服若干上述問題。

1. 畫面資訊容量不足

以 The Cognitive Style of PowerPoint(Tufte, 2003)此英文文件的第 5 頁為例，其版面大小為 A4，採左右兩欄式排版，在大約排滿整個版面後可容納 3753 個英文字元，內含 595 個英文單字。相形之下，PowerPoint 每一頁畫面所能容納的資料明顯較少(表 1-1)。

表 1-1 PowerPoint 每頁包含文字數量之分析，引自(Tufte, 2003)

分析對象	每頁平均字數
波音公司對哥倫比亞號太空梭事故所做的 PowerPoint 報告	97
2003 年 3 月 Google 最常被搜尋的 189 份 PowerPoint 檔案 (共 1460 張投影面)	40
1997 年到 2003 年之間出版的 28 本 PowerPoint 教科書 (內含 28 個 PowerPoint 檔案，共 654 張投影片)	15

由於每一頁畫面資訊容量不足，迫使簡報製作者經常將文字敘述拆解成過多的片段，並且文字敘述過度壓縮的結果造成了簡報製作者縮減不該縮減的文字，也影響了聽講者的理解。此外，以頁為單位的內容呈現方式會因「換頁」而影響了閱讀的連貫性。每頁資訊容量的不足也會造成整份簡報看起來有意義的內容不多，乏善可陳。

對於畫面資訊容量不足的問題，目前有兩種改善方式。一是採用左右兩欄式的排版增加容量，並且配合互動式頁面切換來改善連貫性，而這種頁面切換涉及了適性指標在「頁面定位」方面的理論。另一種是利用「多螢幕簡報投影技術」使用多個螢幕一次放映兩個或三個頁面，讓前一頁的訊息在換頁後能持續保留。此方式能直接提昇畫面的資訊總容量(吳依恂, 2006)。

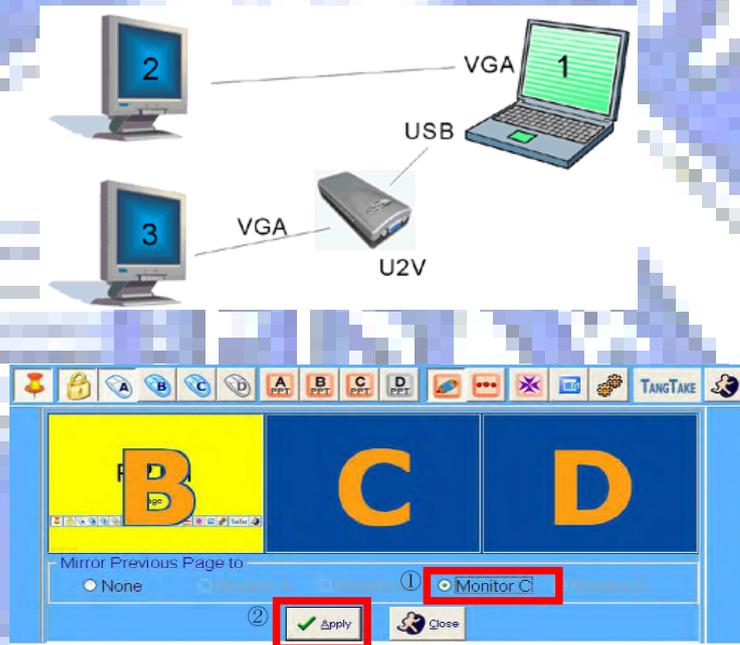


圖 1-1 多螢幕簡報投影技術示意圖(吳依恂, 2006)

2. Bullet Point 條列呈現的限制

首先，我們列舉 Bullet Point 條列呈現的例子，如圖 1-2 所示。

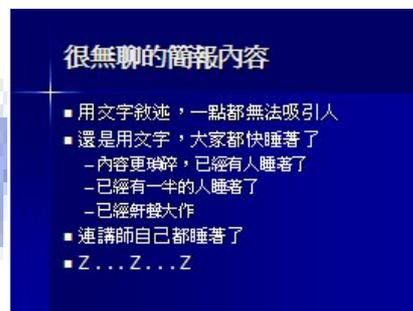


圖 1-2 條列式呈現的例子(蔡學鏞, 2005)

Bullet Point 條列呈現適合表達具有時間循序性 (sequence)、重要優先級 (priority) 以及簡單隸屬關係 (simple membership) 的項目資料，不利於統計資料分析以及科學符號的使用，並且一組條列式資料僅能呈現上述關係的其中一種(Tufte, 2003)。我們不應將所有內容一味地套用 Bullet Point 條列呈現，請見表 1-2。

表 1-2 Bullet Point 條列呈現的使用時機分析

Bullet Point 條列呈現實例	說明																								
<p>購物流程說明</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 步驟一：瀏覽與搜尋商品 ● 步驟二：查看商品細節 ● 步驟三：查看網路購物車 ● 步驟四：選擇送貨與付款方式 ● 步驟五：訂單確認 	<p>時間循序性</p> <p>若內容有時間上的先後順序，可使用 Bullet Point</p>																								
<p>四則運算的優先順序</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 第一優先：由左而右依序運算 ● 第二優先：括號內的先算 ● 第三優先：括號優先順序為小、中、大 ● 第四優先：先算乘、除 ● 第五優先：後算加、減 	<p>重要優先級</p> <p>若內容有重要性的等級之分，可使用 Bullet Point</p>																								
<p>網路的分類</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 網路分類[依結構] <ul style="list-style-type: none"> ● 匯流排拓模 ● 環狀拓模 ● 星狀拓模 ● 樹狀拓模 ● 網狀拓模 ● 網路分類[依規模] <ul style="list-style-type: none"> ● 區域網路 ● 都會網路 ● 廣域網路 	<p>簡單隸屬關係</p> <p>若內容有簡單的隸屬關係，可使用 Bullet Point</p>																								
<p>不利於統計資料的分析</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 雄獅 營收10,008百萬元、成長率31%、排名111 ● 東南 營收9,141百萬元、成長率19%、排名121 ● 康福 營收7,090百萬元、成長率20%、排名146 ● 易飛網科技 營收3,610百萬元、成長率19%、排名256 ● 鳳凰國際 營收1,550百萬元、成長率23%、排名467 	<p>本例利用表格更恰當</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>公司^o</th> <th>營收^o (百萬元)^o</th> <th>成長率^o (%)^o</th> <th>千大 排名^o</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>雄獅^o</td> <td>10,008^o</td> <td>31^o</td> <td>111^o</td> </tr> <tr> <td>東南^o</td> <td>9,141^o</td> <td>19^o</td> <td>121^o</td> </tr> <tr> <td>康福^o</td> <td>7,090^o</td> <td>20^o</td> <td>146^o</td> </tr> <tr> <td>易飛網科技^o</td> <td>3,610^o</td> <td>19^o</td> <td>256^o</td> </tr> <tr> <td>鳳凰國際^o</td> <td>1,550^o</td> <td>23^o</td> <td>467^o</td> </tr> </tbody> </table>	公司 ^o	營收 ^o (百萬元) ^o	成長率 ^o (%) ^o	千大 排名 ^o	雄獅 ^o	10,008 ^o	31 ^o	111 ^o	東南 ^o	9,141 ^o	19 ^o	121 ^o	康福 ^o	7,090 ^o	20 ^o	146 ^o	易飛網科技 ^o	3,610 ^o	19 ^o	256 ^o	鳳凰國際 ^o	1,550 ^o	23 ^o	467 ^o
公司 ^o	營收 ^o (百萬元) ^o	成長率 ^o (%) ^o	千大 排名 ^o																						
雄獅 ^o	10,008 ^o	31 ^o	111 ^o																						
東南 ^o	9,141 ^o	19 ^o	121 ^o																						
康福 ^o	7,090 ^o	20 ^o	146 ^o																						
易飛網科技 ^o	3,610 ^o	19 ^o	256 ^o																						
鳳凰國際 ^o	1,550 ^o	23 ^o	467 ^o																						
<p>不利於科學符號的表達</p> <ul style="list-style-type: none"> ● $X^2+Y^2=1$ ● $\frac{1}{2}x^2+3=\frac{1}{5}y^2$ ● $123456=1.23456 \times 10^5$ ● $\sqrt{\frac{1}{2}x^2+3}=\frac{1}{5}$ 	<p>不必使用 Bullet Point</p> $x^2 + y^2 = 1$ $\frac{1}{2}x^2 + 3 = \frac{1}{5}y^2$ $123456 = 1.23456 \times 10^5$ $\sqrt{\frac{1}{2}x^2 + 3} = \frac{1}{5}$																								

除了使用上的限制之外，Bullet Point 經常會把資料過度的分割，這會有礙於對內容整體意義的解釋、分析與比較。由於許多內容的細節說明被簡化，這也增加了閱讀的困難。此外，條列式的敘述經常只是平凡地將事實作簡短的陳述，讀者除了覺得無趣以外，有時也會有一種被強迫灌輸教條的感覺。適性指標的研究即是希望能改善 Bullet Point 的缺點，以更彈性有效的方式來讓讀者了解教材內容。

3. 缺乏雙碼型態的資料呈現

由於 PowerPoint 的繪圖功能未臻完善，所以圖解、圖像、因果關係圖的使用較少。大部分的內容與論證都是藉由文字敘述的方式呈現。由於圖像資料的呈現不足(Tufte, 2003)，使得 PowerPoint 教材普遍缺乏雙碼型態的訊息接收，此現象並不符合多媒體學習理論所建議的教材設計原則(R. E. Mayer, 1999, 2001)。若我們把焦點關注在數學教材上，可發現 PowerPoint 繪圖功能不敷數學教材設計與製作之需求，無法處理複雜的構圖(蘇柏奇, 2006)，一個理想的解決方案是使用 AMA 系統來改善 PowerPoint 的繪圖功能。

AMA 系統提供了「幾何構圖」以及「複雜構圖」兩大構圖環境。幾何構圖環境是由「Geometer」內的幾何作圖功能所建立，針對線、弧、圓以及三角提供許多的基本幾何作圖功能，大大的提高 PowerPoint 幾何繪圖的能力。

複雜構圖通常指的是下列四種狀況的處理：(陳明璋, 2006)

1. 視覺可分辨，但無法或不易使用滑鼠定位的物件；
2. 定位上不容易操作，如旋轉角度、移至定位、縮放調整；
3. 物件數量較多，操作費時；
4. 需要簡單程式設計的圖形。

透過原形複製、定線複製、定框複製、定點複製以、定角複製線鏡射以及點鏡射，我們能利用物件的局部結構所衍生的定位訊息達到準確定位的效果(蘇柏奇, 2006)。藉由上述 AMA 系統「幾何構圖」以及「複雜構圖」環境的幫助，我們能精準地繪製教學所需的圖形，降低圖像資料呈現所需的成本。進一步的，若能配合適性指標的設計，將有助於授課者引導學習者以雙碼型態的方式吸收教材內容。

4. 不易解釋高關聯性的內容

PowerPoint 雖然有互動性的動畫功能，但是操作不易，因此常見的 PowerPoint 檔案往往只有單向循序播放的放映模式。因受限於此放映模式，演講者對高關聯性的內容更加難以解釋。基本上，簡報軟體應該要能讓演講者盡情發揮，但現實的狀況卻是因為軟體功能的不足無法提供演講者在視覺導引上應有的彈性而遷就不理想的呈現方式。

高關聯性的內容經常伴隨較高的認知負荷量，我們可以藉由「適性指標」協助導引聽講者的視覺注意力，進而降低外部認知負荷，幫助聽講者對高關聯性內容的理解。「不易解釋高關聯性的內容」這個問題其實就是「適性指標」的研究重點。

三、多媒體學習理論

隨著多媒體學習理論 (multimedia learning) 以及認知負荷理論 (cognitive load theory) 豐富的研究成果，Mayer 與 Sweller 等多位學者已經提出許多具有認知心理學理論與實驗基礎的教材設計原則 (Mautone & Mayer, 2001; R. E. Mayer, 2001; R. E. Mayer *et al.*, 1996; R. E. Mayer & Moreno, 2003; R. E. Mayer *et al.*, 1999; Moreno & Mayer, 1999a; Sweller *et al.*, 1998)。這些實務上有效而重要的原則讓多媒體教材設計有明確的脈絡可循，相關的實驗更提供了對「教材品質」進行量化評估的典範。基於多媒體學習理論的研究成果，適性指標的研究能夠得到教材設計方面基礎性的支持。尤其 Mautone 與 Mayer 2001 年發表的信號原則 (signaling principle) 更是與適性指標有密切的關聯 (Mautone & Mayer, 2001)，詳細說明請見第二章。

第二節 研究目的

本研究有兩個主要目的。第一，從視覺認知理論尋找適性指標有效的證據。我們開始先說明前注意處理歷程的概念，並且將已經被驗證屬於前注意處理的視覺特徵依照形狀特徵、顏色特徵、深度特徵與

運動特徵加以分類整理。第二，我們實作了一個不等組前後測的準實驗設計來研究適性指標在數學學習的效果。

在兩個主要目的之外，我們也對「信號原則」與「適性指標」的關聯與差異做進一步的探討，並建議「適性指標」應列入多媒體學習理論在教材設計上應考慮的因素。

第三節 研究方法

基於本研究的兩個主要目的，我們採用「文獻研究法」與「準實驗研究法」進行研究，並探討視覺認知科學與多媒體學習理論相互之間的關係。

一、適性指標在視覺認知科學的理論基礎：

本議題採用「文獻研究法」，從視覺認知科學（visual cognition theory）、認知神經科學（cognitive neuroscience）以及資訊視覺化（information visualization）等領域尋找支持適性指標有效性的相關文獻。研讀的文獻主要集中在「視覺搜尋理論」、「基本視覺特徵」以及「注意力引導機制」三個方面。

二、適性指標學習效果實驗：

本議題採用「準實驗研究法」，以 Mayer 等多位學者之多媒體學習理論相關研究為範例(Mautone & Mayer, 2001; R. E. Mayer, 1999, 2001; Moreno & Mayer, 1999a)進行適性指標學習效果實驗，並對實驗所進行的 Retention Test、Matching Test 以及 Transfer Test 進行分析探討。我們將實驗數據與已知的類比遷移理論及認知負荷理論互相對照，檢視是否具有的一致性。對於信號原則與適性指標的差異，我們也在此實驗作初探性的研究。

第四節 適性指標的定義

在此，我們將本研究的「適性指標」作以下的定義：適性指標是一種視覺物件，此物件具有協助視覺搜尋以及引導注意力的特性，並且在呈現過程中，演講者能適性地以互動方式操控此物件。

前述的「互動方式」指的是負責視覺呈現的系統平台能對演講者的輸入訊息做出「回應」，例如按一下滑鼠或是按下鍵盤的某個鍵。而「回應」指的是改變指標物件的視覺特徵，例如由隱藏轉變成顯示、由顯示轉變成隱藏、改變顏色、改變大小、改變形狀或是移動位置。

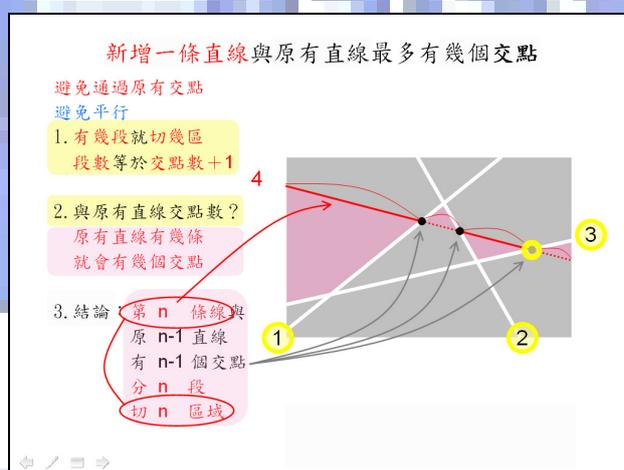


圖 1-3 適性指標的實例—底色強調指標

從使用的角度來看，適性指標有以下四個主要用途：

1. 訊息分離。
2. 注意力的轉移與集中。
3. 樣式 (pattern) 的發現。
4. 關聯的探索。

本研究對於適性指標的實作是以 PowerPoint 配合 AMA 系統所建構的教學環境為基礎。然而，適性指標的概念並不限於特定開發工具，教材內的視覺物件只要合乎定義，就可稱為適性指標。由於適性指標必須符合「協助視覺搜尋」以及「引導注意力」的特性，其視覺特徵必須強烈到足夠讓被強調的內容從整個頁面突顯出來，我們將在第三章與第四章從視覺認知科學的角度作進一步的探討。

第二章 適性指標與多媒體學習理論

適性指標是一種課堂授課時協助引導學習者了解教材內容的機制，直接涉及了「多媒體學習理論」與「認知負荷理論」對教材設計的研究。本章從這兩個領域的研究出發，探討影響學習的重要因素，並分析 Mautone 與 Mayer 所提出的「信號原則 (signaling principle)」(Mautone & Mayer, 2001)與適性指標的關係。進一步的，我們將說明「視覺認知科學」的文獻研究對適性指標的重要性。

第一節 多媒體學習理論

基於先前研究成果的累積，多媒體學習 (Multimedia Learning) 已經形成一個學科領域 (R. E. Mayer, 2005)。由於本領域相關研究日益廣泛，包含線上教學呈現 (online instructional presentations)、互動式課程 (interactive lessons)、e 化課程 (e-courses)、模擬遊戲 (simulation games)、虛擬實境 (virtual reality)、電腦支援之課堂授課教材呈現 (computer-supported in-class presentations) (R. E. Mayer, 2005)。接下來的探討將以「課堂授課」及「適性指標」關係較密切的研究為主。

一、Multimedia Learning 的定義

依照 Mayer 的定義，multimedia 指的是教材內容採用「文」(words) 與「圖」(pictures) 兩者兼用的呈現方式。在此，「文」指的是教材以語言文字型態 (verbal form) 呈現，包括印刷文字 (printed text) 與口述文字 (spoken text)。「圖」指的是教材以圖像型態 (pictorial form) 呈現，包括靜態圖片：例如插圖 (illustrations)、圖片 (graphics)、照片 (photos) 或地圖 (maps)；或是動態圖片：例如動畫 (animation) 或錄影 (video) (R. E. Mayer, 2001)。而 multimedia learning 指的就是使用「文」與「圖」的學習方式 (R. E. Mayer, 2001)。

二、Multimedia Learning 的三個認知假設

多媒體學習理論在發展的過程中基於三個認知假設：

- (1) 「雙通道假設」 (Dual-Channel Assumption)
- (2) 「有限容量假設」 (Limited-Capacity Assumption)
- (3) 「主動處理假設」 (Active-Processing Assumption)

以下，我們對這三個假設做進一步的探討。

1. 雙通道假設 (Dual-Channel Assumption)

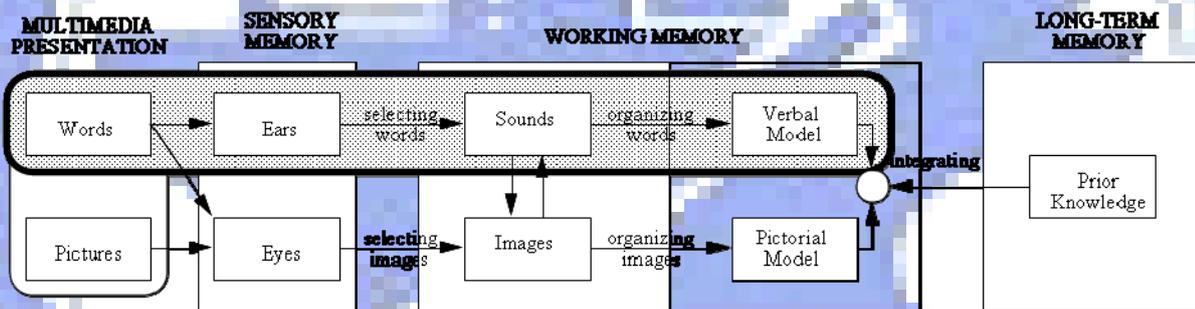


圖 2-1 聽覺/文字通道示意圖(R. E. Mayer, 2001)

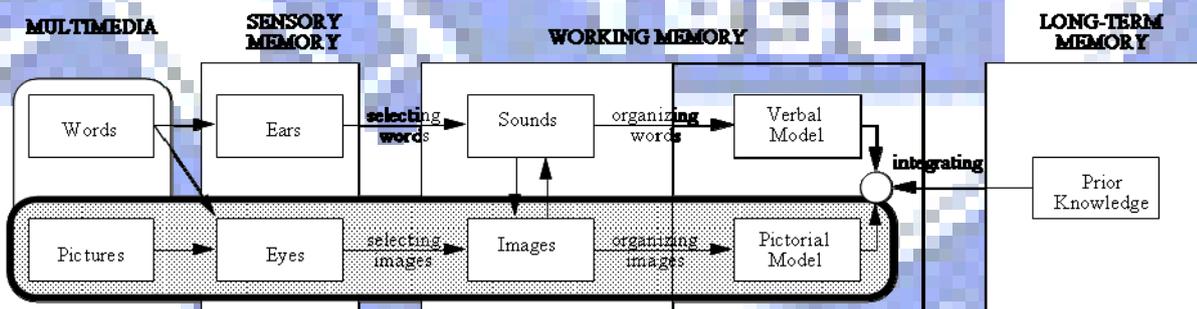


圖 2-2 視覺/圖像通道示意圖(R. E. Mayer, 2001)

我們需要從兩個不同的角度來了解雙通道假設。首先，從感官形式 (sensory modality) 的角度來看，雙通道假設是指人類對於以視覺呈現的素材 (視覺訊息) 及以聽覺呈現的素材 (聽覺訊息) 有不同的訊息處理通道。當視覺訊息 (例如插圖、動畫、影片或螢幕文字) 被

呈現到眼睛時，人類以視覺通道（visual channel）處理這類訊息（如圖 2-2）；當聽覺訊息（口述講解或非語文相關的聲音）被呈現到耳朵時，人類以聽覺通道（auditory channel）處理這類訊息（如圖 2-1）(R. E. Mayer, 2001)。感官形式觀點的雙通道假設與 Baddeley 的「視覺空間描繪版(visuospatial sketchpad)」以及「語音迴路(phonological loop)」在概念上是一致的(Baddeley, 1997)。

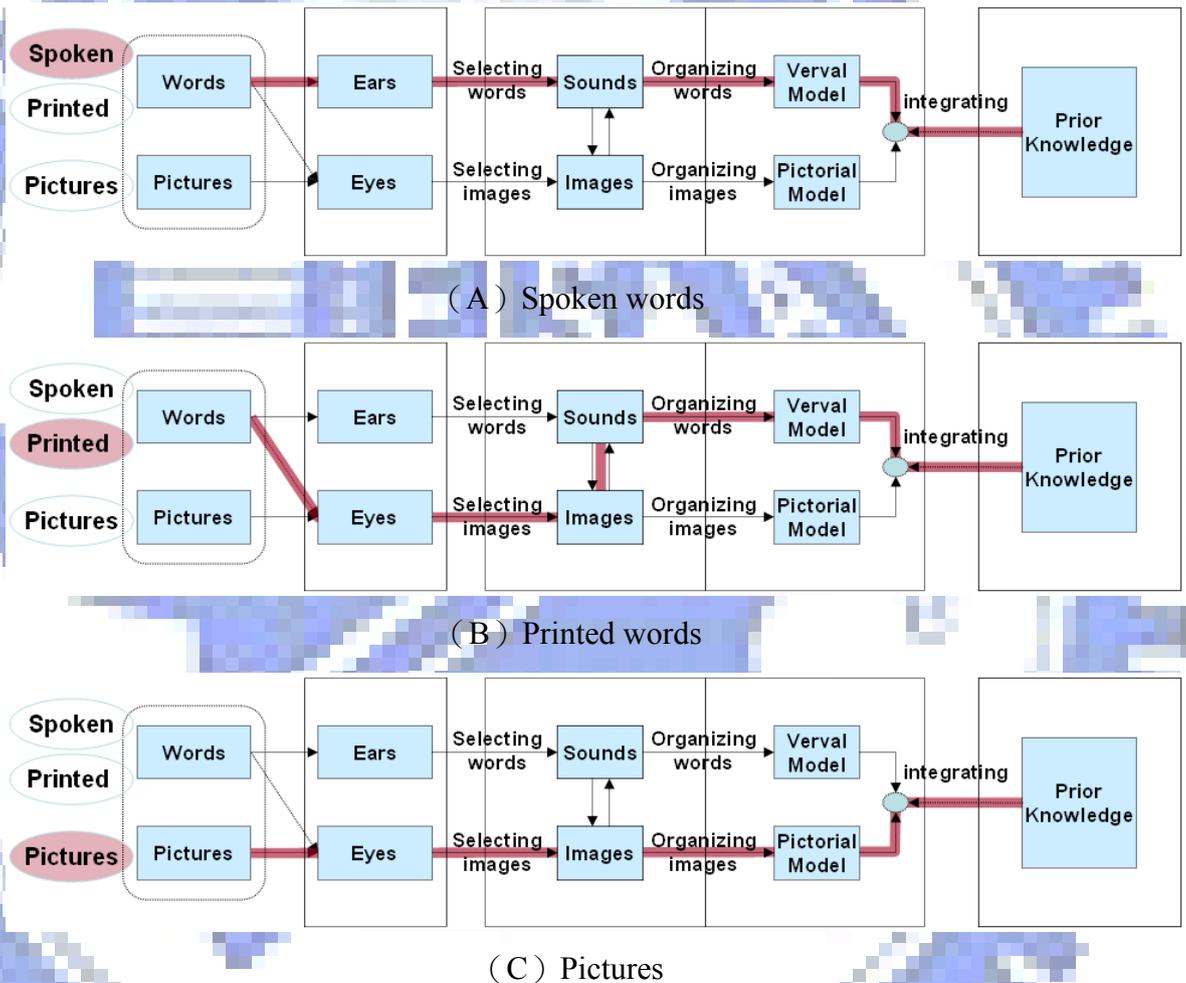


圖 2-3 口述文字、印刷文字、圖片在雙通道內的運作方式(R. E. Mayer, 2001)

「感官形式」觀點著重於區別訊息是從視覺通道或聽覺通道進入認知系統。與前者不同的，「呈現模式」(presentation mode) 觀點則是著重於區別進入的訊息是「文字型態 (verbal)」(口述文字或印刷文字) 或是「非文字型態 (nonverbal)」(圖片、影片、動畫或背景音樂)。這種區分方式是基礎於 Paivio 的雙碼理論 (dual-coding theory) (Eysenck & Keane, 2000; R. E. Mayer, 2001; Sternberg, 2003)。從「呈現模式」的角度來看，雙通道假設關注的是訊息進入工作記憶時是採用圖像型態 (pictorially based) 或是文字型態 (verbally based) (R. E. Mayer, 2001)。

由於感官形式與呈現模式兩個觀點都很重要，Mayer 於是將雙通道假設的兩個通道定為「聽覺/文字通道 (auditory / verbal channel)」以及「視覺/圖像通道 (visual / pictorial channel)」(R. E. Mayer, 2001; R. E. Mayer & Anderson, 1991)。值得注意的，「文字」並不一定從聽覺通道進入，而「圖像」也不一定從視覺通道進入。分析口述文字 (spoken words)、印刷文字 (printed words) 以及圖片 (pictures) 三種素材在雙通道內的運作方式 (如圖 2-3)，我們可以發現訊息可能在運作的過程中保持在原來的通道 (如 spoken words、pictures)，也可能穿越到另一個通道 (如 printed words)。這是因為印刷文字一開始是從視覺通道 (visual channel) 進入，然而經過 selecting image 的程序之後轉換成語言型態的訊息，進而穿越到文字通道 (verbal channel) 繼續整個運作過程。

2. 有限容量假設 (Limited-Capacity Assumption)

有限容量假設指的是在視覺通道或聽覺通道中一次所能處理的訊息量是有限的。以視覺通道為例，當圖像訊息進入視覺通道時，僅有少部分被注意的影像通過視像記憶 (iconic memory) 並透過視覺空間描繪版 (visuospatial sketchpad) 的運作保留在工作記憶中 (Baddeley, 1997)，心理學家 John Anderson 指出視像記憶保存視覺刺激的時間僅僅約一秒的時間 (Byrnes, 2004)。上述的記憶歷程涉及視覺短期記憶 VSTM (visual short-term memory) 的研究 (VSTM 指的是訊息已經從 iconic memory 進入 working memory，而尚未存入 long-term memory)，我們將在第三章之 attentional engagement theory 作更進一步的探討。

另一方面，當一段口述文字或聲音進入聽覺通道時，也是僅有部分被注意的文字 (words) 通過回聲記憶 (echoic memory) 並透過語音迴路 (phonological loop) 的運作保留在工作記憶中。這種紀錄往往不是逐字完整的的記錄，這涉及了 Baddeley 工作記憶的相關研究 (Baddeley, 1997)。一般來說，語音迴路的容量是由回聲記憶消退之前我們所能覆誦的量來決定 (Byrnes, 2004)，而回聲記憶所能維持的時間大約是兩秒 (Eysenck & Keane, 2000)。聽覺短期記憶 (訊息已經通過 echoic memory 進入 working memory，而尚未存入 long-term memory) 的容量非常有限，大約只能維持七個項目，能保留的時間也很短，通常不到 30 秒 (Squire & Kandel, 2001)。

值得注意的，在語音迴路中被覆誦的單字長度越長，能回憶的項目數就越少，並且，被覆誦的單字不論是以聽覺的方式或是視覺的方式呈現，都會使用到語音迴路(Eysenck & Keane, 2000)。此外，另一個支持有限容量假設的證據來自「不相關言語效果」(unattended speech effect)。

「不相關言語效果」指的是聽覺性的材料若參雜不相關的或未獲注意的言語，會因佔用了部分語音迴路的容量而影響了被注意的言語之回憶。有學者認為這是因為所有的聽覺性材料都會進入語言儲存(Eysenck & Keane, 2000)。相對的，視覺性的材料因為是以視覺管道進入語音迴路，所以比較不會有不相關言語效果(Baddeley, 1997)。

同樣的，對視覺空間描繪版(visuospatial sketch pad)來說，受試者在注意「容易視覺化的訊息」時，若被要求同時操作另一個視覺作業(亮度判斷)，將會對原注意對象發生嚴重干擾。同樣的操作對於「不易視覺化的訊息」卻沒有產生明顯的干擾(Eysenck & Keane, 2000)。這表示視覺雜訊確實會影響視覺化訊息在視覺空間描繪版的儲存效能，這也從視覺的角度支持了有限容量假設。

有限容量假設突顯了認知資源的珍貴，讓我們必須以審慎的態度進行教材的設計。我們不應讓學習者將注意力投注在不相關的資訊，或是造成學習者進行無效率的認知程序(R. E. Mayer, 2001)。這個概念涉及了「認知負荷理論」(Sweller et al., 1998)，我們將在隨後的內容加以探討。

3. 主動處理假設 (Active-Processing Assumption)

主動處理假設認為學習者會主動從事認知處理並建構以過往經驗為基礎的一致且連貫的心智表徵。主動認知處理包括下列三種功能：

- (1) 投注注意力 (paying attention)
- (2) 組織進入訊息 (organizing incoming information)
- (3) 整合進入訊息與現存知識 (integrating incoming information with other knowledge)。

由於主動認知處理的目標是建構一致且連貫的心智表徵，我們可以從「知識結構 (knowledge structure)」來進一步探索主動認知處理的實際運作型態。Cook 與 Mayer 在 1988 年的研究已經確認了五種知識結構的感知能力能增進概念型內容 (conceptual information) 的理解，這五種知識結構是「因果程序」(Process)、「比較對照」(comparison)、「綜合歸納」(generalization)、「列舉項目」(enumeration)、「階層分類」(classification) (Cook & Mayer, 1988; R. E. Mayer, 2001)。

學習者了解教材內容的過程往往涉及了上述五種知識結構型態，這也突顯了多媒體學習在設計上的兩個重要精神：(R. E. Mayer, 2001)

- (1) 教材內容的呈現應該具有一致與連貫的結構
- (2) 教材的訊息應該提供學習者建立知識結構的相關指引 (guidance)

綜合以上的探討，我們可發現主動認知處理涉及了三個重要歷程：「選擇相關素材」(selection of relevant material)、「組織選取素材」(organizing selected material) 以及「整合選取素材與現存知識」(integrating selected material with existing knowledge)。在「選擇相關素材歷程」，學習者將注意力投注在適當的外部文字與圖像，並將相關的訊息汲取進入認知系統的工作記憶區。接著，在「組織選取素材歷程」，認知系統建立選取素材之間的結構化關聯 (structural relation)，例如上述的五種基本知識結構 (process, comparison, generalization, enumeration, and classification)。再接下來，進入「整合選取素材與現存知識歷程」，認知系統活化長期記憶內 (long-term memory) 的先備知識 (prior knowledge) 並將其帶入工作記憶以建立選取素材與先備知識之間的連結 (connection) (R. E. Mayer, 2001)。

由上述我們了解主動認知處理涉及了三個重要歷程，不過在實際的運作上必須配合雙通道假設 (Dual-Channel Assumption) 以及「文字」與「圖像」雙碼的架構，因此在下一小節中，主動認知處理的三個重要歷程將以五個認知步驟加以解釋。

三、Multimedia Learning 的五個認知步驟

多媒體學習理論將三個認知歷程以五個認知步驟來加以解釋，這五個步驟分別是：

- (1) 選取相關文字碼 (Selecting Relevant Words)
- (2) 選取相關圖像碼 (Selecting Relevant Images)
- (3) 組織選取文字碼 (Organizing Selected Words)
- (4) 組織選取圖像碼 (Organizing Selected Images)
- (5) 整合文字碼與圖像碼表徵 (Integrating Word-Based and Image-Based Representations)

本小節我們將以實例說明上述五個步驟。

1. 選取相關文字碼 (Selecting Relevant Words)

原始實例：

三年甲班共有學生 42 人，某測考試及格同學平均分數為 67 分，不及格同學的平均分數為 52 分，且全班平均分數為 62 分，求及格人數是？

選取相關文字碼：

全班共有學生 42 人，某測考試及格同學平均分數為 67 分，不及格同學的平均分數為 52 分，且全班平均分數為 62 分，求及格人數是？

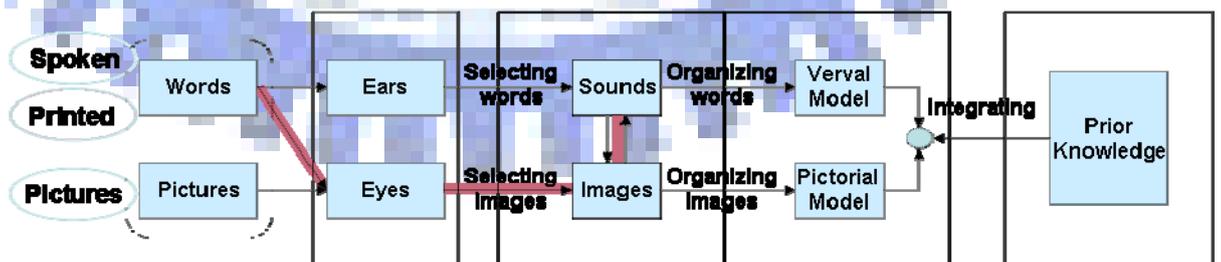


圖 2-4 「選擇相關文字碼」認知歷程示意圖

2. 選取相關圖像碼 (Selecting Relevant Images)

原始實例：請問圖中兩條虛線長度是否相等？

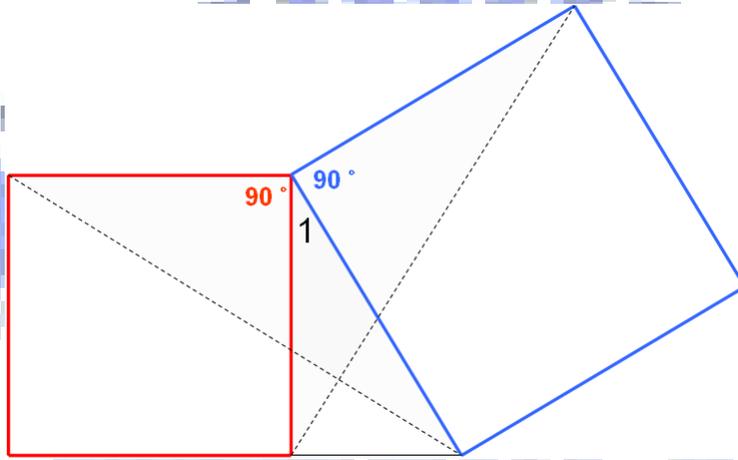


圖 2-5 選取相關圖像碼的實例

選取相關文字碼：

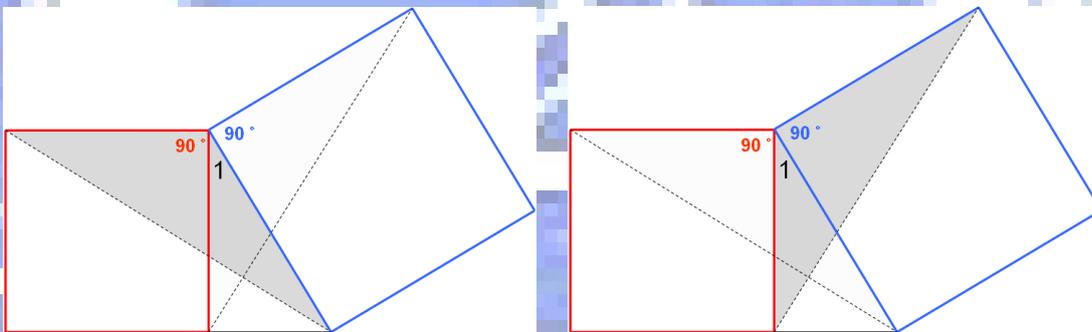


圖 2-6 選取相關圖像碼時分別選取左方灰色三角形和右方灰色三角形

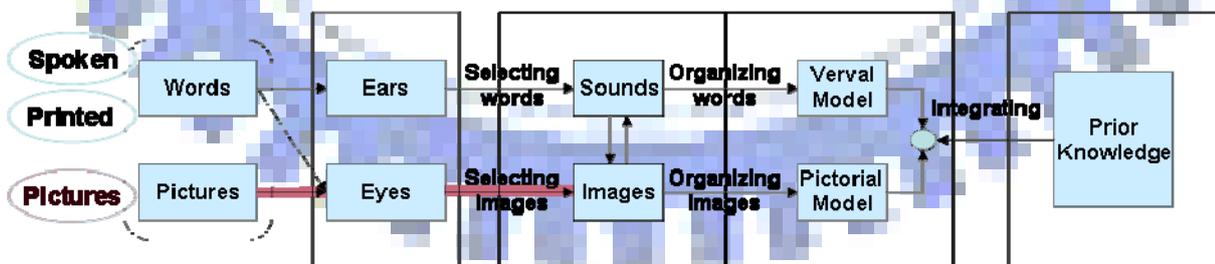


圖 2-7 「選擇相關圖像碼」認知歷程示意圖

3. 組織選取文字碼 (Organizing Selected Words)

選擇相關文字碼：

全班共有學生 42 人，某測考試及格同學平均分數為 67 分，不及格同學的平均分數為 52 分，且全班平均分數為 62 分，求及格人數是？

組織選取文字碼：

- (1) 全班共有42人分成及格和不及格
- (2) 及格同學總分等於及格同學平均乘以及格人數
- (3) 不及格同學總分等於不及格同學平均乘以不及格人數
- (4) 全班總分等於及格同學總分加不及格同學總分

本例中工作記憶內的文字碼採用「階層分類」(classification)的「知識結構 (knowledge structure)」加以組織(Cook & Mayer, 1988)。組織選取文字碼的認知歷程如圖 2-8 所示。

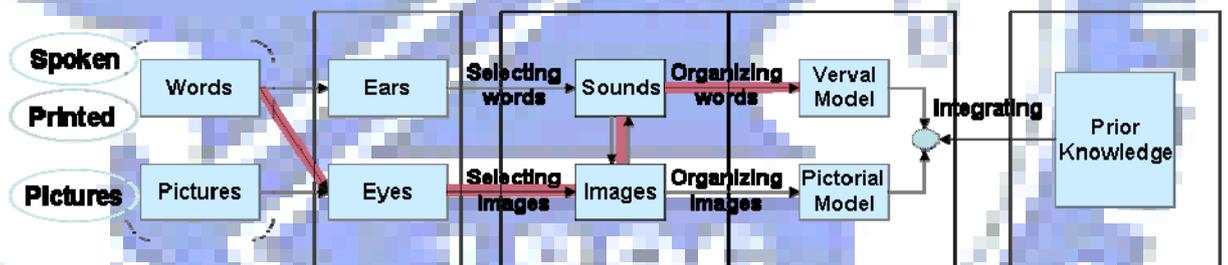


圖 2-8 「組織相關文字碼」認知歷程示意圖

4. 組織選取圖像碼 (Organizing Selected Images)

圖像碼的選取涉及了「由上而下 (Top-Down)」的「注意力配置控制」(內生性控制 endogenous control) 以及「由下而上 (Bottom-Up)」的「非自發性視覺引導」(外成性控制 exogenous control)，其中，「非自發性視覺引導」由知覺系統接收外來刺激後自動發生，比較不會耗用認知資源。這種由下而上選取圖像碼進而加以組織的方式可說是本研究中「適性指標」的核心議題。

圖 2-9 中左方灰色三角型和右方灰色三角形分別被選取後，在「組織選取圖像碼」此步驟建立兩這之間的關聯。兩者有相等的紅色邊，有相等的藍色邊，而且中間的夾角都是 $90^\circ + \angle 1$ 。本例中工作記憶內的圖像碼採用「比較對照」(comparison)知識結構加以組織(Cook & Mayer, 1988)。組織選取圖像碼的認知歷程如圖 2-10 所示。

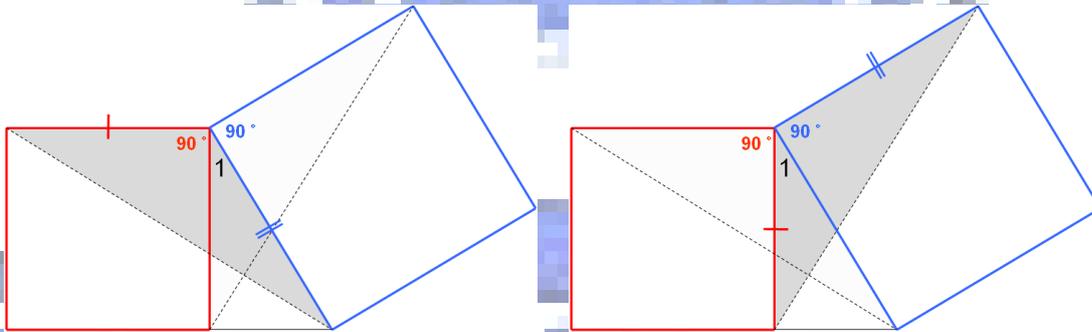


圖 2-9 將選取的圖像碼之間建立關聯

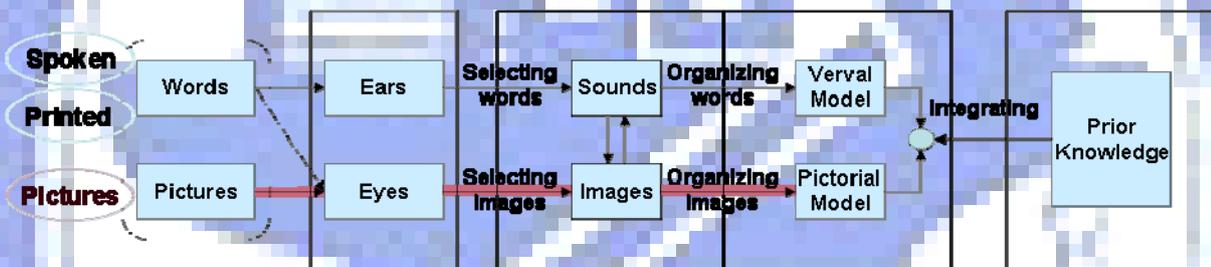


圖 2-10 「組織相關圖像碼」認知歷程示意圖

5. 整合文字與圖像表徵 (Integrating Word-Based and Image-Based Representations)

整合文字與圖像表徵是一個非重要的步驟，因為在此步驟「文字」與「圖像」表徵會建立相互的關聯，並且與活化的先備知識形成連結 (R. E. Mayer, 2001)。以圖 2-9 為例，左方三角形的「紅邊」等於右方三角形的「紅邊」，左方三角形的「藍邊」等於右方三角形的「藍邊」，兩個三角形的「夾角」相等，這樣的文字敘述事實上已經整合了形容圖像的「文字碼」。再加上與先備知識「SAS 全等性質」形成連結，學習者可以了解到兩個三角形是全等的，圖中兩條虛線的長度也就對應相等了。整合文字與圖像表徵認知歷程如圖 2-11 所示。

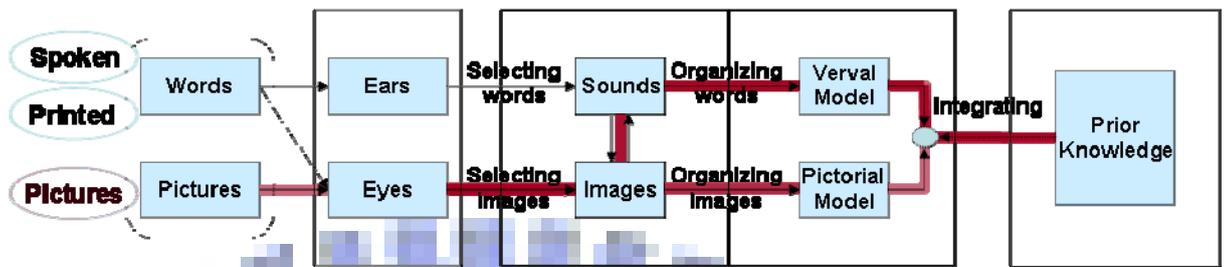


圖 2-11 「整合文字與圖像表徵」認知歷程示意圖

在五個認知步驟的探討之後，接下來，讓我們回顧多媒體學習理論的有限容量假設 (Limited-Capacity Assumption)，這個假設突顯了認知資源的珍貴，教材設計者應盡量避免浪費學習者的認知資源，這方面的研究主要涉及了認知負荷理論。

第二節 認知負荷理論

Sweller 在 1998 年的論文詳細說明了認知負荷理論的架構，認知負荷的來源以及涉及教材設計的相關原則 (Sweller et al., 1998)。李進福與蘇柏奇 2006 年的論文已對此議題加以研究 (李進福, 2006; 蘇柏奇, 2006)。本節將探討與教材設計關係較密切的「外在認知負荷 (extraneous cognitive load)」與「增生認知負荷 (germane cognitive load)」，並說明多媒體學習理論與外在認知負荷的關係。

一、認知負荷的來源

1. 內在認知負荷 (intrinsic cognitive Load):

內在認知負荷並不會因教材呈現方式的不同而改變，主要是受到教學內容中元素 (elements) 間相關聯的程度而影響，也就是教材內容本身的難易程度。當學習者在面對低關聯的教材，不需將大量的元件同時置入工作記憶區中，內在認知負荷較低；而在面對高關聯的教材時，學習者必需將大量的元件同時置入工作記憶區中，如此將造成較高的內在認知負荷。此外，另一個影響內在認知負荷的因素是學習者

的先備知識。相同的學習內容對於不同學習經驗者來說，將會造成不同程度的內在認知負荷(Sweller et al., 1998; 李進福, 2006; 蘇柏奇, 2006)。

2. 外在認知負荷 (extraneous cognitive load) :

資訊的呈現方式與組織方式不同，對資訊接收者來說會造成不同程度的負荷，這樣的負荷稱為「外在認知負荷」。由於外在認知負荷的降低，可藉由資料呈現、資訊組織等方面的設計加以控制。所以教材設計者應致力於降低外在認知負荷，讓學習者更能善用有限的工作記憶區來處理與學習內容相關的資訊(Sweller et al., 1998; 李進福, 2006; 蘇柏奇, 2006)。

3. 增生認知負荷 (germane cognitive load) :

增生認知負荷指的是藉由教學設計以吸引學生專注在學習內容的認知過程或基模建構。適當的教材呈現方式，不但可以降低外部認知負荷，同時也幫助學習者專注於學習內容與建構基模。常用的增生認知負荷策略如「針對解題示例 (example) 提問」或是「未完成的解題示例 (incomplete)」(Sweller et al., 1998)。

增生認知負荷為外在認知負荷的一種，雖然會增加學習者的負荷感，但卻可協助基模的建構，但只有在總認知負荷量（內在認知負荷與外在認知負荷之總和）未超出學習者的能力範圍時，適當的引入「增生認知負荷」才有意義(Sweller et al., 1998; 李進福, 2006; 蘇柏奇, 2006)。

同時結合「降低外在認知負荷」以及「增加增生認知負荷」涉及了注意力的重新導向(redirecting attention)，學習者的注意力必須從「與學習不相關的程序 (not relevant to learning)」中退出（降低外在認知負荷），並直接投注到與學習相關的程序中（增加增生認知負荷），特別是將注意力投注到基模的建構(Sweller et al., 1998)。這個注意力重新導向的過程涉及了適性指標「引導注意力」的能力，我們將在本章後面的內容探討這個教材設計的重要議題。

二、降低外在認知負荷的教材設計方式

認知負荷理論除了說明認知負荷的來源，並提供了一系列具有實驗支持的教材設計原則，這些原則有一個共同的目的－降低外在認知負荷。

1. 自由目標效果（The Goal-Free Effect）

自由目標效果的目的是在於降低「方法－目的分析（means-ends analysis）」所造成的認知負荷。首先，我們介紹 means-ends analysis 的相關概念。

means-ends analysis 是一種「解答問題」的機制。對於熟悉的問題，人會透過概念性理解（形成基模）、自動化基本技能（基模自動化）、與領域特定策略等等方法，這些是被稱為是專家的問題解決策略，這些策略都可以提高解決問題的效率。這種策略是人在處理問題的時候會優先考量的。但是在解決陌生，不熟悉的問題的時候，我們無法透過以上的策略解決問題，而只能使用通用的問題解決策略，這種方法往往不限定適用的領域，因此也被稱為「領域廣泛之問題解決方法」。(Gagne *et al.*, 1998)。方法－目的分析（means-ends analysis）即屬於領域廣泛之問題解決方法，此方法是透過預期目標反推回解決問題的方法。means-ends analysis 的步驟如下：(Gagne *et al.*, 1998; Sweller, 1989)

- (1) 找出目標（the goal）；
- (2) 確認已知條件（the givens）；
- (3) 找出目標與已知條件之間的差異或關係；
（differences or relations between the goal and the givens）
- (4) 找出一個與該差異相關的運作歷程，此即方法；
（problem-solving operators that relate to the relations between the goal and the givens）
- (5) 重複執行該運作歷程以減少其差異，直到問題解決為止。
（any subgoals that have been set up and their relations to the goal, the givens, other subgoals, and other relations.）

雖然目標導向的 means-ends analysis 是一種有效的問題解決策略，但這個策略對學習來說卻不同樣有效。Sweller 與 Levine 在 1982 年的實驗中發現，採用不預設目標的學習方式能更快的學習整個問題的結構 (more rapid learning of the structure of the problem)，並且能減少錯誤 (Sweller & Levine, 1982)。可能的原因是，進行 means-ends analysis 可能會讓學習者投注大量的認知資源到不適當的解題觀點中，而這種高認知負荷的狀態會妨害基模習得 (schema acquisition) 以及法則自動化 (rule automation) (Sweller, 1989)。在進一步的研究中 Sweller 等人發現透過「自由目標問題 (goal-free problems)」以及「示例效果 (worked example effect)」能夠減少 means-ends analysis 被使用的機會，進而降低認知負荷 (Sweller, 1989)。

在此，我們列舉一個國中數學教材上 Goal-Free Effect 的案例：

原始問題：

利用配法可將方程式 $3x^2 + ax + b = 0$ 轉化成 $\left(x + \frac{5}{6}\right)^2 = \frac{109}{36}$ 的型態，求 a, b 。

Mean-End Analysis：

分析目標：將 $3x^2 + ax + b = 0$ 化成 $\left(x + \frac{5}{6}\right)^2 = \frac{109}{36}$ 的型態。

分析方法：使用配方法。

$3x^2 + ax + b = 0$ $x^2 + \frac{a}{3}x = -\frac{b}{3}$ $\left(x + \frac{a}{6}\right)^2 = \frac{a^2 - 12b}{36}$	\rightarrow	<p style="text-align: center;">比較下列兩個式子</p> $\left(x + \frac{a}{6}\right)^2 = \frac{a^2 - 12b}{36}$ $\left(x + \frac{5}{6}\right)^2 = \frac{109}{36}$
---	---------------	---

最後，我們可發現 $a = 5$ ， $a^2 - 12b = 109$

$$5^2 - 12b = 109 \Rightarrow b = -7$$

以上是由原始題目所提供的線索採用「方法－目標」分析所得到的解法，接下來，我們來看另一種不受限於題目所提供的訊息的方法。

Goal-Free Effect :

不管題目說的目標與方法，先把 $\left(x + \frac{5}{6}\right)^2 = \frac{109}{36}$ 乘開來看看：

$$\left(x + \frac{5}{6}\right)^2 = \frac{109}{36} \Rightarrow x^2 + \frac{5}{3}x + \frac{25}{36} = \frac{109}{36}$$

$$\Rightarrow 3x^2 + 5x - 7 = 0$$

和題目比對 $3x^2 + ax + b = 0$

可得 $a=5$, $b=-7$

在此，我們的目的並不是要說明 Mean-End Analysis 與 Goal-Free 哪一種方法較好，而是要突顯出若目標過於被強調，且方法也明顯的被提示，會限制學習者的思考方式。如果學習者耗用太多的認知資源在方向錯誤的 Mean-End Analysis 上，則不利於對學習內容的掌握與概念的建立。

2. 示例效果 (Worked Example Effect)

在前一小節，我們以配方法的實例說明了 Goal-Free Effect。有趣的是，「配方法」也是降低認知負荷的教材設計方式－「示例效果」的一個明顯例子，因為配方法是步驟化很明確的程序性知識，可以歸類為 Cook 與 Mayer 五種知識結構中的「因果程序」(Process) 結構(Cook & Mayer, 1988)。Worked Example 已經在多個實例的研究被認為是有效的(Carroll, 1994; Sweller & Cooper, 1985; Ward & Sweller, 1990)，進一步的，Cooper 與 Sweller 認為 Worked Example 對於基模習得 (schema acquisition) 以及法則自動化 (rule automation) 都有幫助(Cooper & Sweller, 1987)。

以下，我們將「配方法」的教材分別以 Mean-End Analysis 與 Worked Example 兩種不同的方式加以呈現，並探討 Worked Example 的效果。其中，配方法的 Mean-End Analysis 方式以國立編譯館於民國 88 年出版的國民中學數學教科書第三冊的內容為依據(李恭晴 *et al.*, 1999)；而 Worked Example 則是本文作者與數學科教師同仁探討的教學實例。

原始問題：

解一元二次方程式 $2x^2 + 3x - 1 = 0$

Mean-End Analysis：

利用等量除法公理，先將方程式 $2x^2 + 3x - 1 = 0$ 的平方項係數變成1：

$$x^2 + \frac{3}{2}x - \frac{1}{2} = 0 \quad (\text{等號兩邊同時除以 } x^2 \text{ 項的係數 } 2)$$

再利用等量加法公理，得

$$x^2 + \frac{3}{2}x = \frac{1}{2} \quad (\text{等號兩邊同加 } \frac{1}{2})$$

再將 $x^2 + \frac{3}{2}x$ 配成一個完全平方式：（把上式等號兩邊同時加上 $\left(\frac{3}{4}\right)^2$ ，

使得等號左邊為完全平方式）

$$x^2 + 2 \cdot x \cdot \frac{3}{4} + \left(\frac{3}{4}\right)^2 = \frac{1}{2} + \left(\frac{3}{4}\right)^2$$

$$\text{即 } \left(x + \frac{3}{4}\right)^2 = \frac{17}{16}$$

由平方根的概念，可得

$$x + \frac{3}{4} = \pm \sqrt{\frac{17}{16}}$$

我們把上例歸類為 Mean-End Analysis，是因為其詳述每一步驟的方法與依據的原理，最後達成以平方根的方法達到解出未知數 x 的目標。

Worked Example Effect：

$$2x^2 + 3x - 1 = 0$$

$$\text{[首項 1]} \quad x^2 + \frac{3}{2}x - \frac{1}{2} = 0$$

$$\text{[常數右]} \quad x^2 + \frac{3}{2}x = \frac{1}{2}$$

$$\text{[湊平方]} \quad x^2 + 2 \cdot \frac{3}{4}x + \left(\frac{3}{4}\right)^2 = \frac{1}{2} + \left(\frac{3}{4}\right)^2$$

$$\text{[開根號]} \quad x + \frac{3}{4} = \pm \sqrt{\frac{17}{16}}$$

配合四個突顯配方法主要步驟的口訣，整個配方法的程序能以 worked example 的方式清楚呈現。依照 Sweller 的看法，解題過程的示

例可以讓學習者很快瞭解到整個問題的結構，並且避免因耗用大量的認知資源造成基模習得與法則自動化受到干擾(Sweller, 1989; Sweller et al., 1998; Ward & Sweller, 1990)。

3. 完成問題效果 (Completion Problem Effect)

示例效果雖然能降低認知負荷，卻有兩個缺點。首先，「完整的示例」經長無法引起學習者的仔細學習的欲望；第二，過度使用示例效果會抑制學習者對問題產生新的、有創造性的想法(Sweller et al., 1998)。此外，相關研究也發現，學習者經常對 worked example 僅僅是短暫的用眼睛瞄一下，並且能力較高者傾向詳細完成 worked example，能力較低者則是在遇到類似問題時才仔細的學習 worked example。另一方面，因為學習示例的時候須要將「原始問題」以及「解決示例」的訊息同時放入工作記憶，可會造成認知負荷過重。

完成問題效果指的就是在 worked example 只給出部分的解題程序，而不是完整的解答，然後請學習者完成整個解題過程。進一步的，若一份教材的示例一開始提供完整的解法，然後逐漸減少（學習者要完成的部份逐漸增加），最終達到僅提供問題學習者就能完整解答的境界，這樣的教材設計策略稱為「完成策略(completion strategy)」(Sweller et al., 1998)，相關實驗支持採用完成策略的教材設計確實有助於學習。

4. 分散注意力效果 (Split-Attention Effect)

在認知負荷理論與多媒體學習理論都提到了「分散注意力效果」會影響學習效果(R. E. Mayer, 2001, 2005; Sweller et al., 1998)。Ayres 與 Sweller 認為，教材會造成分散注意力的現象往往是因為學習者需要將注意力分別投注在時間因素上或空間因素上被分割的資訊，而在整合多重來源的訊息時會耗用大量的認知資源(R. E. Mayer, 2005)。為了分別時間因素與空間因素的影響，多媒體學習理論將分散注意力效果分為「Spatial Contiguity Principle」以及「Temporal Contiguity Principle」兩個原則來加以探討。本小節將基於認知負荷理論在空間不連續所造成的分散注意力效果之論述，以國中數學教材內的「三角形外角定理」進行實例說明。

三角形外角定理是在說明某一外角會等於此外角的兩個內對角之和。首先，我們來觀察空間不連續的教材設計方式（如圖 2-12）。

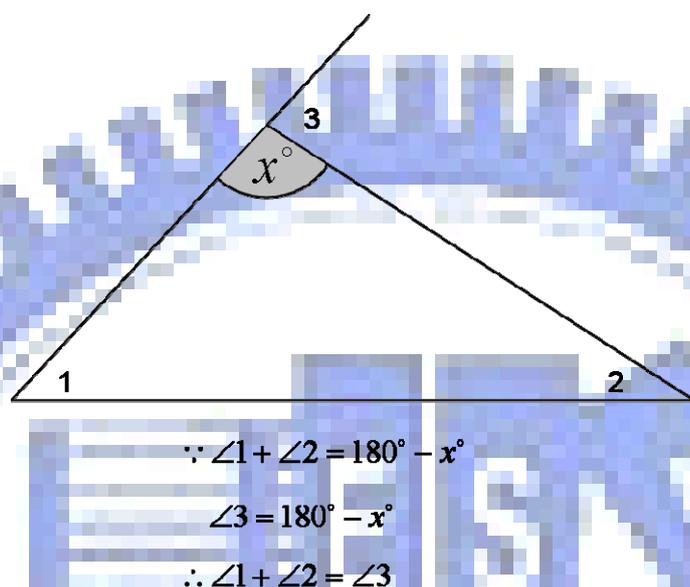


圖 2-12 分散注意力效果的设计方式

雖然圖 2-12 下方的數學式是典型的 worked example，但是實際的學習效果卻不符合示例效果的預期。這是因為教材設計時沒有把相關的訊息整合在一起，造成學習者需要先將下方的文字敘述放入工作記憶，然後在上方圖示中搜尋文字敘述所指的幾何物件，這個過程會使用大量的認知資源。如果採用整合式的设计，就能避免這一類的外部認知負荷（如圖 2-13）(Sweller et al., 1998)。

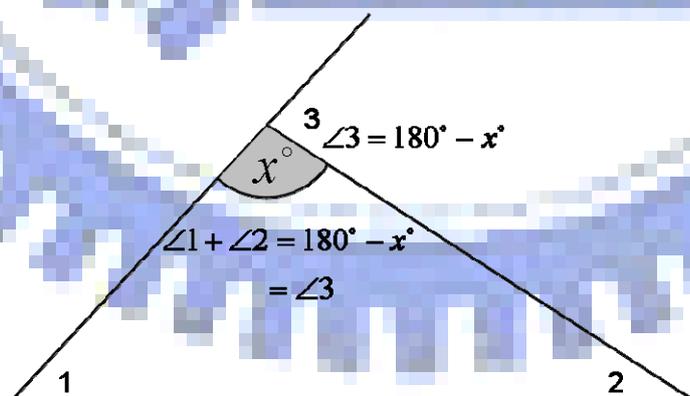


圖 2-13 整合式的设计能避免分散注意力效果

除了「認知負荷理論」與「多媒體學習理論」的相關實驗證實了 Split-Attention Effect 會影響學習者對教材內容的了解，若我們從視覺認知科學的角度來看，視線投注在物件所在位置亦有助於此物件相關視覺記憶的提取（visual memory retrieval）(Sacks & Hollingworth, 2005)，相關的研究在第四章的「運動特徵」中有進一步的探討（本文此原則編碼為 MOTION-New object-[original location]）。

在 1995 年，Mousavi 與 Sweller 發現「文字」與「圖像」雙重視覺訊息所造成的分散注意力效果可以利用「文字」呈現改採聽覺通道的「口述文字」而改善，這涉及了多媒體學習理論的雙通道假設，並突顯了一個教材設計上的重要效果：「形式效果（Modality Effect）」(Mousavi *et al.*, 1995)。

5. 形式效果（Modality Effect）

多媒體學習理論的三個假設認為工作記憶除了容量有限之外，還分成兩個通道在運作。圖像訊息進入視覺通道時透過視覺空間描繪版（visuospatial sketchpad）保留在工作記憶，而聲音訊息進入聽覺通道時是透過語音迴路（phonological loop）保留在工作記憶(Baddeley, 1997)。認知負荷理論同樣也考慮到了工作記憶的兩種運作型態，並提出「形式效果」。

形式效果指的是教材含有圖像與文字的情形下，文字採用「口述文字」會比採用「印刷文字」有更好的效果(Mousavi *et al.*, 1995)。這是因為「圖像」與「印刷文字」都是從視覺通道進入工作記憶，多重來源的視覺訊息會引發分散注意力效果；而口述文字是由聽覺通道進入工作記憶，可以和視覺通道的「圖像」同時經由不同的通道進入工作記憶，避免分散注意力效果(Mousavi *et al.*, 1995; Sweller *et al.*, 1998)。這個重要的結果在 1998 年由 Mayer 與 Moreno 再次證實，並成為多媒體學習理論雙通道假設的有力證據(R. E. Mayer & Moreno, 1998)。

6. 累贅效果（Redundancy Effect）

分散注意力效果關注的是學習者在整合多重來源的訊息時是否會

耗用大量的認知資源，然而，另一個我們應該要思考的問題是：每一個訊息是否真的有存在的必要？訊息之間是否真的需要整合？。由於多重訊息的整合往往需要花費認知資源，對於不需要整合的訊息若在教材設計時能予以省略，將可得到降低認知負荷的效益。

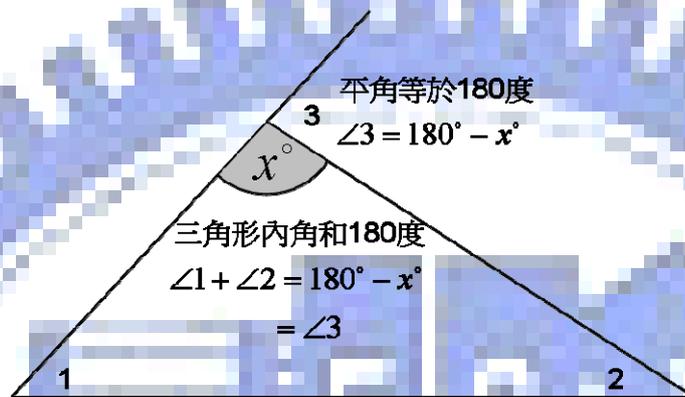


圖 2-14 Redundancy Effect 會增加認知負荷

延續之前探討的三角形外角定理之實例，若我們將「平角等於 180 度」以及「三角形內角和 180 度」這兩個「印刷文字訊息」也加入圖形中一起整合，熟悉相關幾何性質的讀者應該會發現「印刷文字訊息」非但不必要，甚至會造成干擾，增加整合訊息時的認知負荷，此即典型的 Redundancy Effect 案例。

由上面的討論我們可以發現，當訊息需要整合時教材設計應優先考慮 Split-Attention Effect，當訊息沒有整合的必要時，教材設計應優先考慮 Redundancy Effect。一個核心的議題是：如何判斷個別的訊息是否真的有存在的必要，是否需要整合？

認知負荷理論給了上述問題一個適當的觀點：當個別訊息能獨自被理解（can be understood in isolation）時，就不需要整合；若無法獨自被理解（cannot be understood in isolation），就需要整合(Sweller et al., 1998)。進一步的，若有兩組個別訊息都能獨立被了解，並且兩者表達的內容相同，則其中一組就應該被省略，否則會造成累贅效果。

有趣的是，個別訊息能否獨自被理解和學習者的先備知識有關。McNamara 等人在 1996 年的研究發現，關於教材內容「額外的說明文字」對不熟悉該領域的讀者有幫助，但卻不利於熟悉該領域的讀者

(McNamara *et al.*, 1996)，Sweller 與其研究夥伴在 1998 年的實驗也發現類似的結果(Yeung *et al.*, 1998)。因此，在教材設計時我們應該要先了解學習者所具有的先備知識，然後再依其先備知識來判定優先考慮 Split-Attention Effect 或是 Redundancy Effect 的影響。

值的注意的，認知負荷理論之 Redundancy Effect 與多媒體學習理論之 Redundancy Effect 並不完全相同。認知負荷理論之 Redundancy Effect 涉及了多媒體學習理論之 Coherence Principle，而多媒體學習理論之 Redundancy Effect 則關注於雙通道假設中，在有口述文字的情形下，不應再添加字幕（一種不應被整合並且可以省略的訊息來源）。

7. 變化效果 (Variability Effect)

學習者在進行解題的練習時，變換不同的問題狀態和情境，將有助於基模的建立與發展，(李進福, 2006)，並且能協助學習者延伸或限制習得基模的適用範圍。問題的變化雖然可能造成更大的認知負荷，但這一類的認知負荷屬於增生認知負荷，只要外在認知負荷較低，認知負荷總量未超出學習者的能力範圍就可以採用(Sweller *et al.*, 1998)。並且 Variability Effect 能增進學習者的學習遷移，有能力面對同一本質問題的多樣型態。

第三節 多媒體學習理論之設計原則

多媒體學習理論和認知負荷理論一樣關注於降低外部認知負荷的教材設計原則(R. E. Mayer, 2001)。在 2001 年，Mayer 依據多項研究的實驗結果提出了七項教材設計原則，隨著多媒體學習 (multimedia learning) 的研究日益廣泛，Mayer 於 2005 年再次歸納提出十項教材設計原則，並在融合相關的研究加以組織之後編輯「The Cambridge Handbook of Multimedia Learning」一書(R. E. Mayer, 2005)。接下來，我們將以例說明 Mayer 的十項設計原則，並在下一節探討本文的焦點：「適性指標」與多媒體學習教材設計原則之間的關係。

一、多媒體學習理論的十項教材設計原則

1. Multimedia Principle

原則：

教材設計採用文字與圖像並用的學習效果會比僅採用文字好。

以下列舉支持此原則的相關文獻：(R. E. Mayer, 1999, 2001, 2005; R. E. Mayer & Gallini, 1990; R. E. Mayer et al., 1999; Moreno & Mayer, 1999b)。

說明：

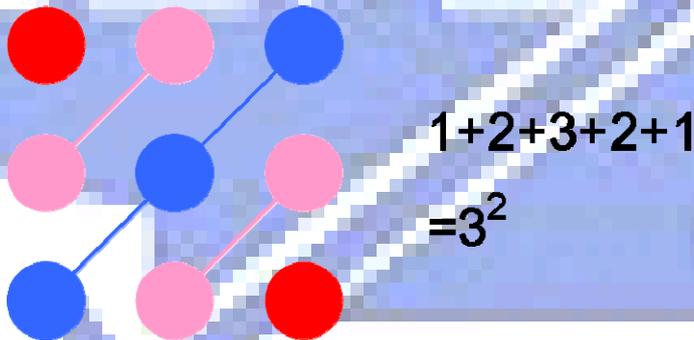


圖 2-15 Multimedia Principle 之實例

2. Spatial Contiguity Principle

原則：

相關文字與圖像在畫面中位置接近會比位置遠離的學習效果好。

以下列舉支持此原則的相關文獻：(R. E. Mayer, 1989, 2001, 2005; Moreno & Mayer, 1999a; Sweller, 1989; Sweller et al., 1998; Tarmizi & Sweller, 1988; Ward & Sweller, 1990)。

說明：

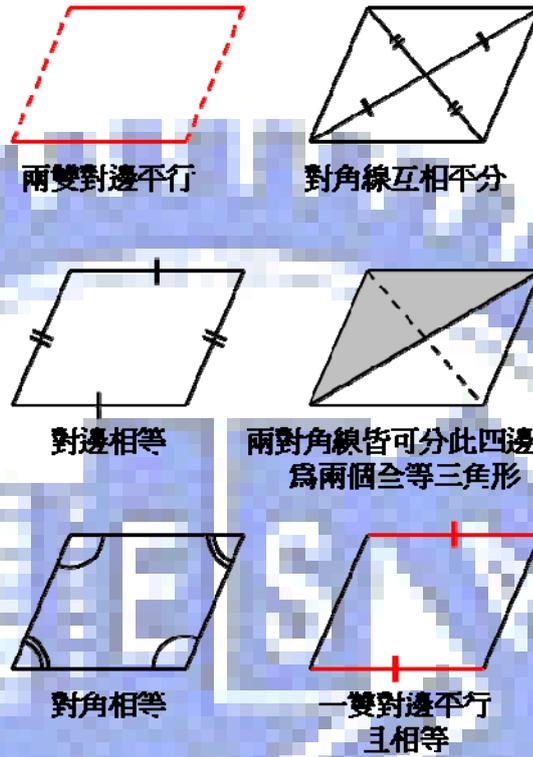


圖 2-16 符合 Spatial Contiguity Principle 之實例

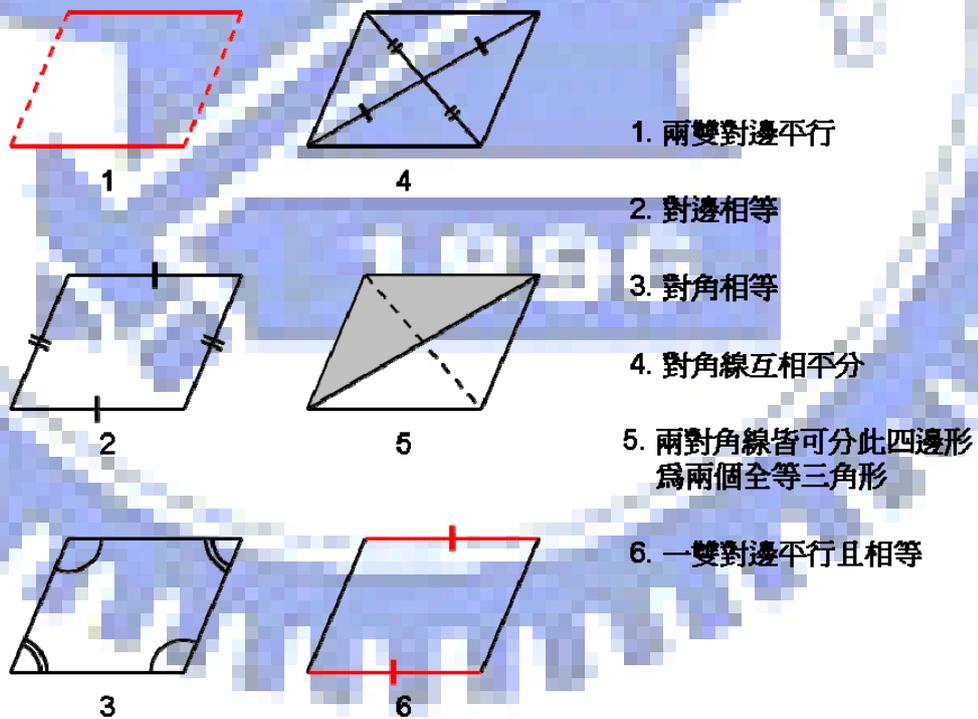


圖 2-17 不符合 Spatial Contiguity Principle 之實例

3. Temporal Contiguity Principle

原則：

相關的文字與圖像同時呈現比接續呈現的效果好。

以下列舉支持此原則的相關文獻：(Baggett, 1984; R. E. Mayer, 2001, 2005; R. E. Mayer & Anderson, 1991, 1992; R. E. Mayer et al., 1999; R. E. Mayer & Sims, 1994; Moreno & Mayer, 1999a)。

說明：

如圖 2-18 所示，若在圖像呈現之前開始解說左方和右方兩個三角形全等的因素，學習者很難想像口述文字所描述的圖形；而若在圖像呈現之後（到下一個沒有此圖像的畫面）接著以口述文字說明前一畫面內兩個三角形為何全等，則學習者必須要努力回憶前一畫面的圖像才能順利理解授課者要表達的內容。

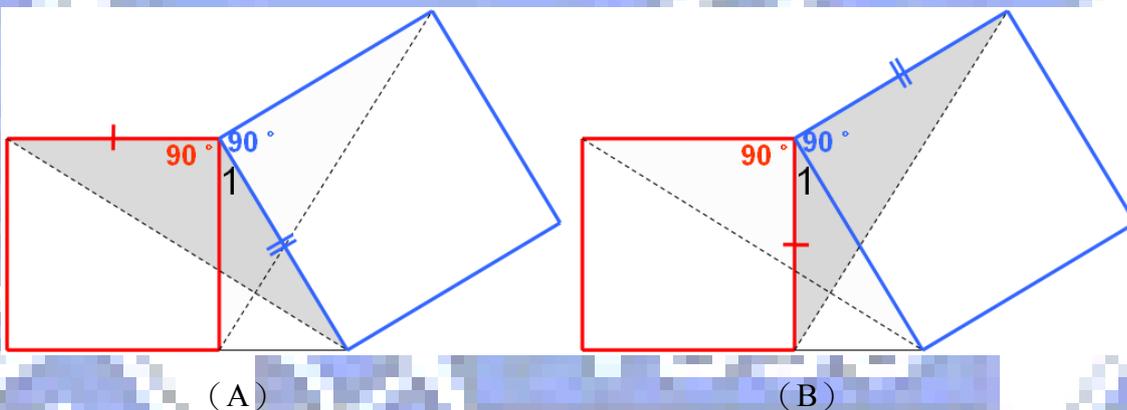


圖 2-18 Temporal Contiguity Principle 的實例

大部分的研究都關注於相關的「文字」與「圖像」應同時呈現的議題(Baggett, 1984; R. E. Mayer & Anderson, 1991; R. E. Mayer et al., 1999; Moreno & Mayer, 1999a; Mousavi et al., 1995)，「圖像之間應該同時呈現」似乎是很直觀地被認同而未受到關注。想像圖 2-18 之 (A) 與 (B) 若不同時呈現，學習者將不易在工作記憶內將兩個圖像「比較對照」(comparison) (Cook & Mayer, 1988)。然而，此教材的設計一定需要 (A) 與 (B) 兩個圖像嗎？(A) 與 (B) 之間的距離是否會造成分散注意力效果？如何克服這樣的教材設計瓶頸？我們將在下一節採用適性指標的方式重新檢視此問題。

4. Coherence Principle

原則：

與主題不相關的文字、圖像或聲音若能加以排除，學習效果較好。

此原則可細分成下列三個子原則：

- (1) 不相關的文字與圖像會降低學習者的學習效果。
- (2) 不相關的聲音或音樂會降低學習者的學習效果。
- (3) 不必要的文字若從教材中省略會增進學習者的學習效果。

以下列舉支持上述三個原則的相關文獻：(Chandler & Sweller, 1991; Harp & Mayer, 1997, 1998; R. E. Mayer, 2001, 2005; R. E. Mayer et al., 1996; R. E. Mayer *et al.*, 2001; Moreno & Mayer, 2000a)。

說明：

相較於子原則 (1) 和 (2)，子原則 (3) 與認知負荷理論所提出的 Redundancy Effect 很接近，是一個比較不直覺的結果。大部分的人往往認為多餘的訊息對學習有益，至少沒有壞處(Sweller et al., 1998)。在此我們針對子原則 (3) 提出實例。

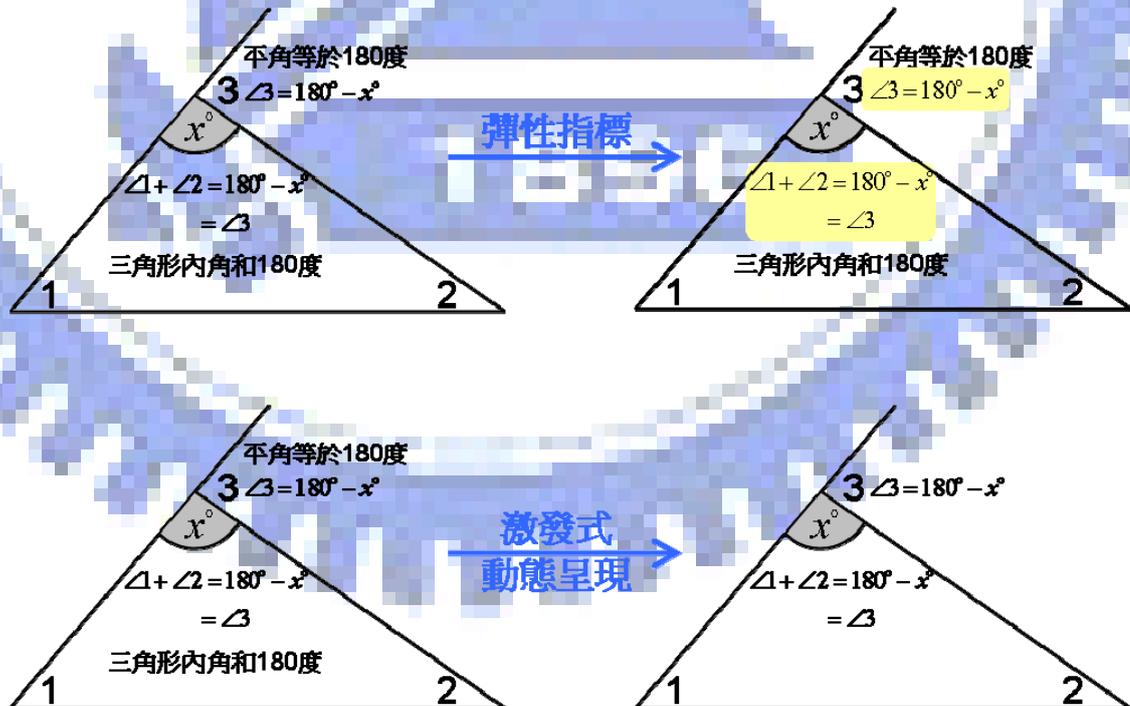


圖 2-19 Coherence Principle 3 的實例與適性指標的作用

圖 2-19 分成上下兩組，分別說明「適性指標」與「激發式動態呈現」對子原則（3）的相關設計方案。圖的左方都是會造成 Coherence Principle 3 的設計方式，依照認知負荷理論之 Redundancy Effect，不需要整合的訊息應該予以省略。然而，在課堂授課的情境下，很可能面臨某些學習者先備知識不足的狀況，這些原本是多餘的訊息對於先備知識不足的學習者卻是必須的(McNamara et al., 1996; Yeung et al., 1998)。適性指標在此狀況能適時提供教材設計的彈性，「底色質感式 common region」可採用由下而上的 new object onset 視覺特徵適性化地突顯重點，改善整合多餘訊息所造成 Redundancy Effect；而激發式動態呈現(Chen & Tan, 2007)則能夠以更靈活的方式直接將多餘訊息彈性地予以顯示或隱藏，直接消除 Redundancy Effect 的因素。

5. Modality Principle

原則：

文字訊息以口述文字的方式呈現會比印刷文字有更好的效果。

以下列舉支持上述原則的相關文獻：(R. E. Mayer, 2001, 2005; R. E. Mayer & Moreno, 1998; Moreno & Mayer, 1999a; Mousavi et al., 1995)。

說明：

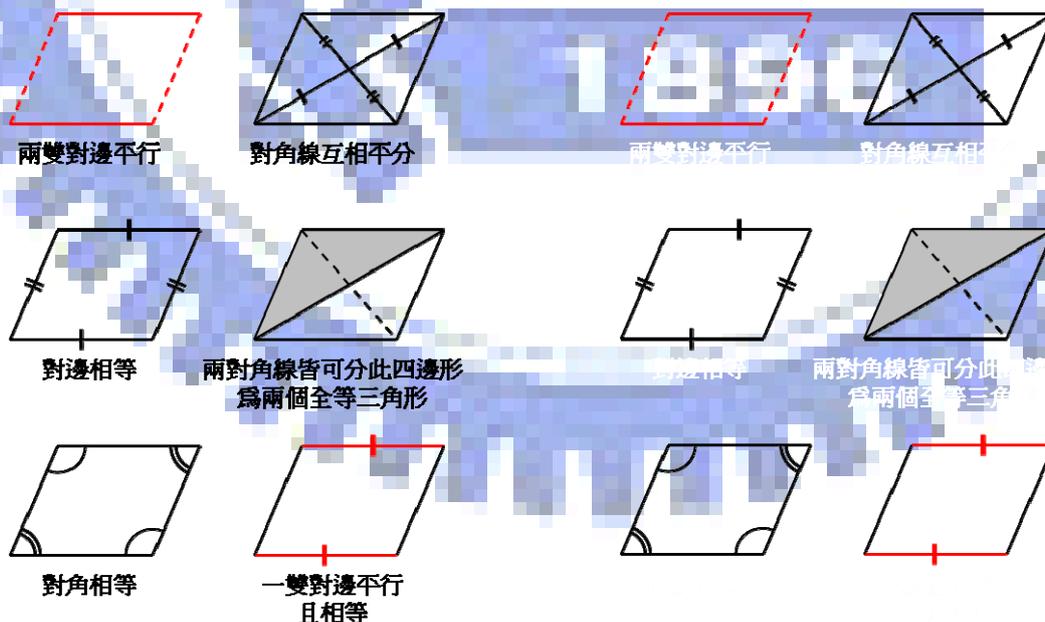


圖 2-20 Modality Principle 與適性指標

Modality Principle 是一個基於雙通道假設的設計原則，強調文字訊息採用口述文字的方式呈現會有較佳的效果。在課堂授課的情境下，教師使用口述文字本來就是典型的狀況(R. E. Mayer, 2005)。然而，因為口述文字是稍縱即逝的，若沒有適時地經由語音迴路進入工作記憶(Baddeley, 1997)，學習者很可能根本沒有接收到訊息（如圖 2-20 右方圖示），此時適性指標恰可扮演適性化居中協調的角色。當學習者聽得很清楚或是需要進行「增生認知負荷」的教學時，我們可以暫時把文字訊加以隱藏；當學習者的工作記憶負荷過重（需記憶的項目過多）或是已經超過語音迴路的維持時間（通常不到 30 秒）(Squire & Kandel, 2001)時，我們可以適時地將文字訊息利用 new object onset 的視覺特徵加以顯示，讓視覺通道繼續協助整個認知歷程的運作。

6. Redundancy Principle

原則：

學習者從「具有動畫與口述文字」的教材比「具有動畫、口述文字與字幕」的教材能得到更好的學習效果。

以下列舉支持上述原則的相關文獻：(Richard A. Abrams & Christ, 2004; Kalyuga *et al.*, 1999; R. E. Mayer, 2001, 2005; R. E. Mayer *et al.*, 2001)。

說明：

多媒體學習理論的 Redundancy Principle 和 Modality Principle 同樣是基於雙通道假設的設計原則。由於口述文字與字幕的內容完全相同，考量 Modality Principle 的效應，此時字幕可被視為不需整合並可省略的訊息來源，依照認知負荷理論的 Redundancy Effect，在此情況下教材設計不應包含字幕。適性指標對此原則的作用與對 Modality Principle 的作用非常相似，都是採用適性化的方式依課堂授課的需要啟動視覺通道協助聽覺通道完成認知歷程的運作（如圖 2-20）。

7. Personalization Principle

第 7~9 項原則是 2005 年 Mayer 新增的三項多媒體學習設計原則 (R. E. Mayer, 2005)，隨著相關研究的累積，新的教材設計因素逐漸被

發現並經實驗確認會影響學習效果。

原則：

教材的用語採用口語化 (conversational style) 的方式會比採用形式化 (formal style) 的方式得到更好的學習效果。

以下列舉支持上述原則的相關文獻：(R. E. Mayer, 2001, 2005; R. E. Mayer *et al.*, 2004; Moreno & Mayer, 2000b, 2004)。

說明：

由於本文關注的是教師課堂授課環境的教材設計，並非線上學習、線上遊戲或虛擬實境，並且教師可以與學習者進行「真實」而非「虛擬」的對話，因此很自然的就能符合 **Personalization Principle**。

8. Interactivity Principle

原則：

學習者可以控制教材呈現的步調時 (have control over the pace of the presentation) 學習效果會比較好。

以下列舉支持上述原則的相關文獻：(R. E. Mayer & Chandler, 2001; R. E. Mayer *et al.*, 2003; Moreno *et al.*, 2001)。

說明：

依照有限容量假設，學習者在工作記憶能維持運作的訊息是有限的，所以若學習者擁有控制教材呈現步調的能力，將可依照自己的狀況調整學習速度，避免認知負荷因訊息太多而過高。同樣的，由於本文關注的是教師課堂授課環境的教材設計，教師可以依全班學習者的狀況適時調整進度，以適性指標協助訊息的整合 (降低 **Split-Attention Effect**) 並減少雜訊 (降低 **Redundancy Effect**)。因此，適性指標 (激發式動態呈現) 可賦予教師對教材進度與呈現方式充份的控制力，從授課者的角度符合 **Interactivity Principle** 的精神。

9. Signaling Principle

原則：

多媒體教材若含有可強調教材內容組織結構與重點的提示 (cues)，學習效果較好。

以下列舉支持上述原則的相關文獻：(Harp & Mayer, 1998; Mautone & Mayer, 2001; R. E. Mayer, 2001, 2005)。

說明：

Signaling Principle 能降低外在認知負荷是因為適當的提示能引導學習者將注意力投注在重要的教材內容上，如此可以避免學習者的注意力被不相關或不重要的內容吸引，造成認知資源不必要的浪費。理念上，Signaling Principle 與適性指標在目標上都是要降低外在認知負荷，只是採用的方式有所不同，其差異我們將在下一小節做進一步的探討。Signaling Principle 常用的方式為「突顯標題 (heading)」與「強調關鍵訊息 (key information)」(R. E. Mayer, 2005)，如圖 2-21 所示。

FORM-Added marks-underline

值得注意的，運用外加底線強調目標文字時，必須考慮搜尋非對稱性。要強調一個段落的重點，應該將重要的句子外加底線，而不是讓重要的句子缺乏底線。

FORM-Added marks-underline

值得注意的，運用外加底線強調目標文字時，必須考慮搜尋非對稱性。要強調一個段落的重點，應該將重要的句子外加底線，而不是讓重要的句子缺乏底線。

圖 2-21 採用 Signaling Principle 時需要考慮視覺搜尋非對稱性

在視覺認知科學中，圖 2-21 的例子是屬於靜態的視覺特徵，不具操作的彈性，並且需要注意視覺搜尋非對稱性(Treisman & Souther, 1985; Ware, 2004; J. M. Wolfe, 2001)。從這個案例可以發現，教材設計若需要對學習者的注意力加以引導，我們必須對視覺認知科學中的視覺搜尋理論以及基本視覺特徵做進一步的研究，相關探討請見本文第三章與第四章。

10. Individual Difference Principle

原則：

多媒體學習設計效果對先備知識較少的學習者影響較大，對先備知識較多的學習者影響較小；並且，對心像能力較佳者影響較大，對心像能力較差者影響較小。

以下列舉支持上述原則的相關文獻：(R. E. Mayer, 1999, 2001, 2005; McNamara et al., 1996; Moreno & Duran, 2004; Yeung et al., 1998)。

說明：

在多媒體學習理論之 **Coherence Principle** 以及認知負荷理論之 **Redundancy Effect** 都提到了先備知識會影響學習者對教材的感受，先備知識充足的學習者認為是累贅的敘述對於先備知識不足的學習者可能是必須整合的重要訊息。**Individual Difference Principle** 除了提醒我們教材設計一定要考慮學習者的先備知識，並且肯定了「同時對某些人是必要而對其他人是多餘」的訊息採用適性指標賦予其彈性顯示或隱藏的能力是必須的，相關實例如 **Coherence Principle** 之圖 2-19。

心像能力 (**spatial ability**) 指的是產生 (**generate**)、維持 (**maintain**) 與操作 (**manipulate**) 內心視覺圖像 (**mental visual image**) 的能力，(Downing *et al.*, 2005; R. E. Mayer, 2001; M. Robert & Chevrier, 2003)，心像能力可以藉由練習來改善 (Sternberg, 2003)。因此，**Individual Difference Principle** 除了說明多媒體學習的設計原則對低先備知識且高心像能力的人效果最好之外，亦指出「課前訓練 (**pretraining**)」的重要。對於「先備知識不足」的學習者可以在課前訓練先補足其先備知識；若教材對於心像能力的需求較高，則可要求學習者在完成課前訓練內相關心像技能 (**spatial skills**) 的訓練之後，再進行正式課程 (R. E. Mayer, 2001)。

二、適性指標與多媒體學習設計原則

從前一小節中，我們發現適性指標對 **Spatial Contiguity Principle**、**Temporal Contiguity Principle**、**Coherence Principle**、**Modality Principle**、

Redundancy Principle、Signaling Principle 以及 Individual Difference Principle 所探討的教材設計問題可能可以提供改善的方法。因本文屬初探性研究，本小節先進行相關因素的歸納與探討，進一步的理論與實驗分析有待後續的研究。

1. 適性指標與 Spatial Contiguity Principle

依據 Spatial Contiguity Principle，相關文字與圖像在畫面中位置接近會比位置遠離的學習效果好。然而，在教材設計的實務上往往會有兩個問題：(1) 圖像附近沒有足夠的空間容納所有的文字訊息；(2) 文字訊息影響圖像的辨認；(3) 兩個訊息在畫面中有距離，並且無法接近。

適性指標可開 (onset) 可關 (offset) 的特性恰可解決此問題。教師在課堂授課的環境中可依學習者的學習狀況適時以適性指標「顯示文字訊息」，也可在不需要時「隱藏文字訊息」，這讓文字訊息呈現時所需要的總空間大為減少，並且可避免學習者在關注圖像時被文字訊息干擾 (如圖 2-22)。

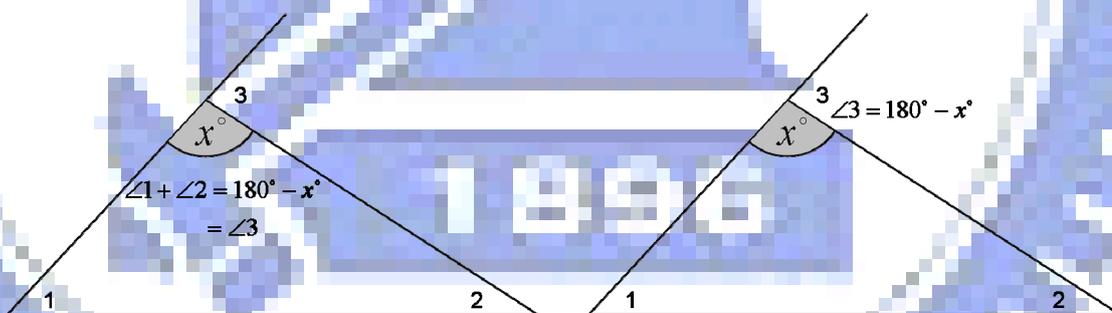


圖 2-22 適性指標可彈性的顯示或隱藏訊息

至於第 (3) 個因素，我們可以藉由適性指標引發視覺物件的群化作用來加以改善。例如對同弧的圓周角相等，但是這兩個圓周角可能相距甚遠，如果原來題目的條件就是這種情形，我們也不應因教材設計的因素就改變教材的本質而故意拉近兩個圓周角的距離。此時適性指標配合格氏塔群化原理的設計就能改善距離所造成的影響 (如圖 2-23)。

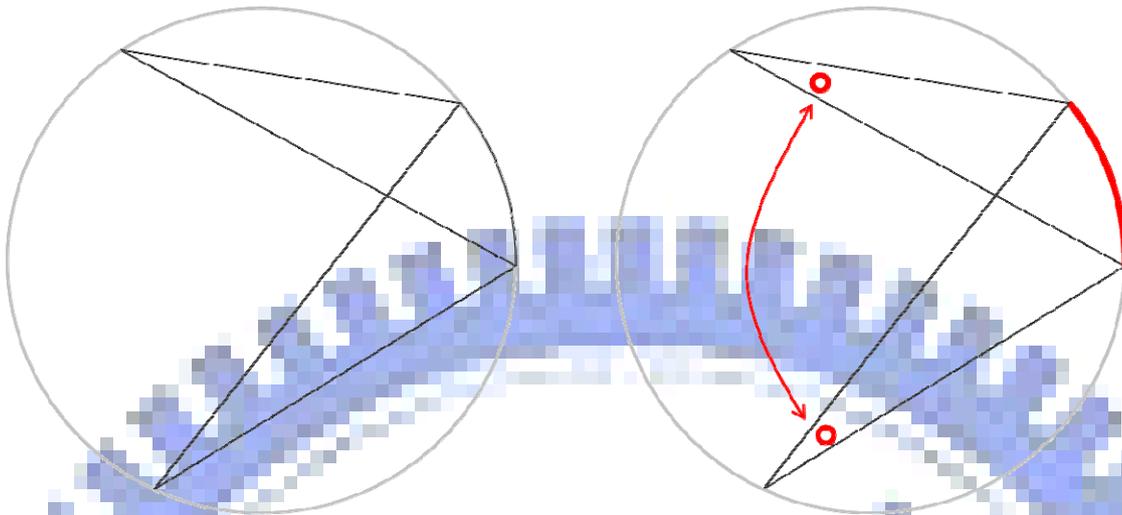
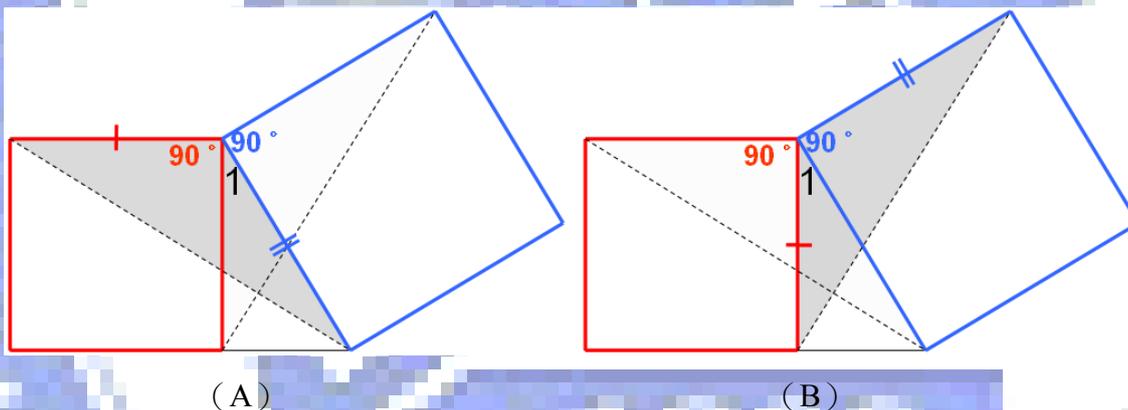


圖 2-23 適性指標可引視覺物件的發群化作用改善距離因素的影響

2. 適性指標與 Temporal Contiguity Principle



(A)

(B)

圖 2-24 Temporal Contiguity Principle 的實例之回顧

首先，我們回顧在 Temporal Contiguity Principle 所學的實例，這樣的呈現方式固然可以符合 Temporal Contiguity Principle，卻不符合 Spatial Contiguity Principle 的精神。事實上，之所以需要兩個圖像來表達其中的觀念，往往是因為「圖層重疊」所造成的困擾。

由於適性指標可以適性化地開關，並且 new object onset 可以強烈的引導學習者看到目前授課者口述文字說明的物件，並且可以在必要時將不必要的訊息加以隱藏 (offset)。進一步的，若配合色彩群化原理、共同命運法則以及運動一致性 (MOTION-Coherence)，適性指標可以在很接近的位置呈現兩個可區隔的圖層 (如圖 2-25)，改善因無法呈現重疊的圖層所造成的距離遙遠因素 (如圖 2-24)。

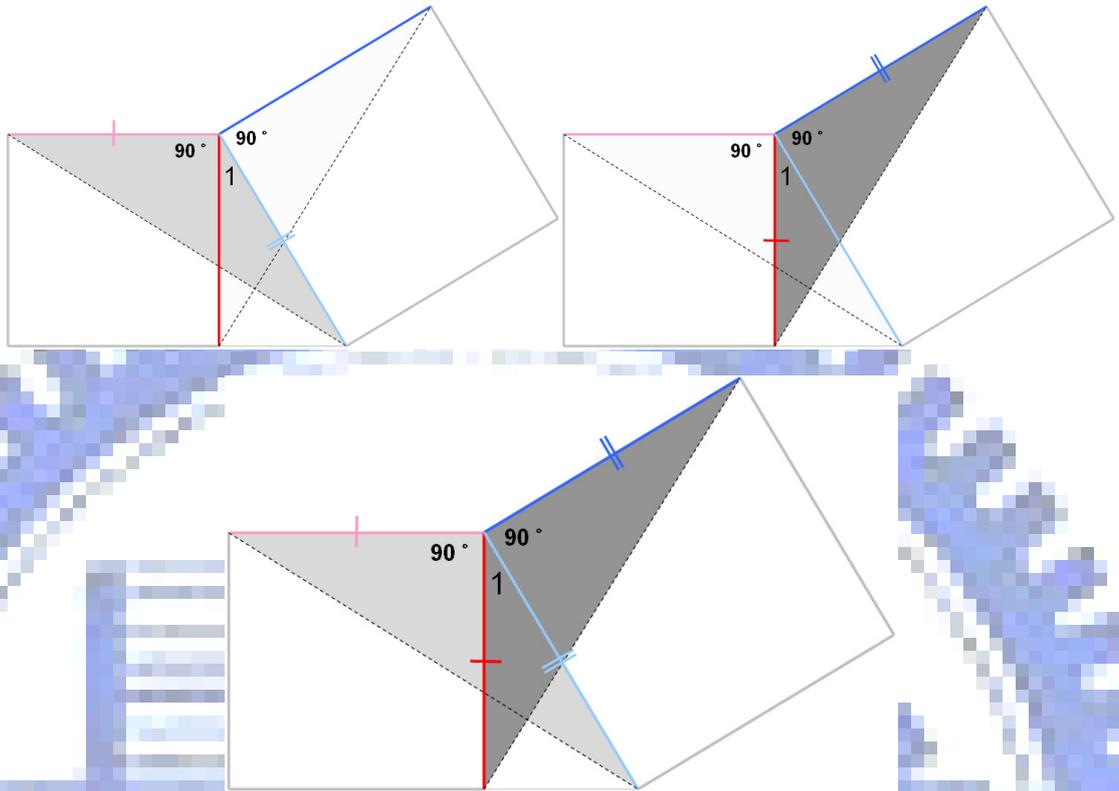


圖 2-25 適性指標可協助改善 Temporal Contiguity Principle 所遭遇的圖層問題

3. 適性指標與 Redundancy Effect 相關之原則

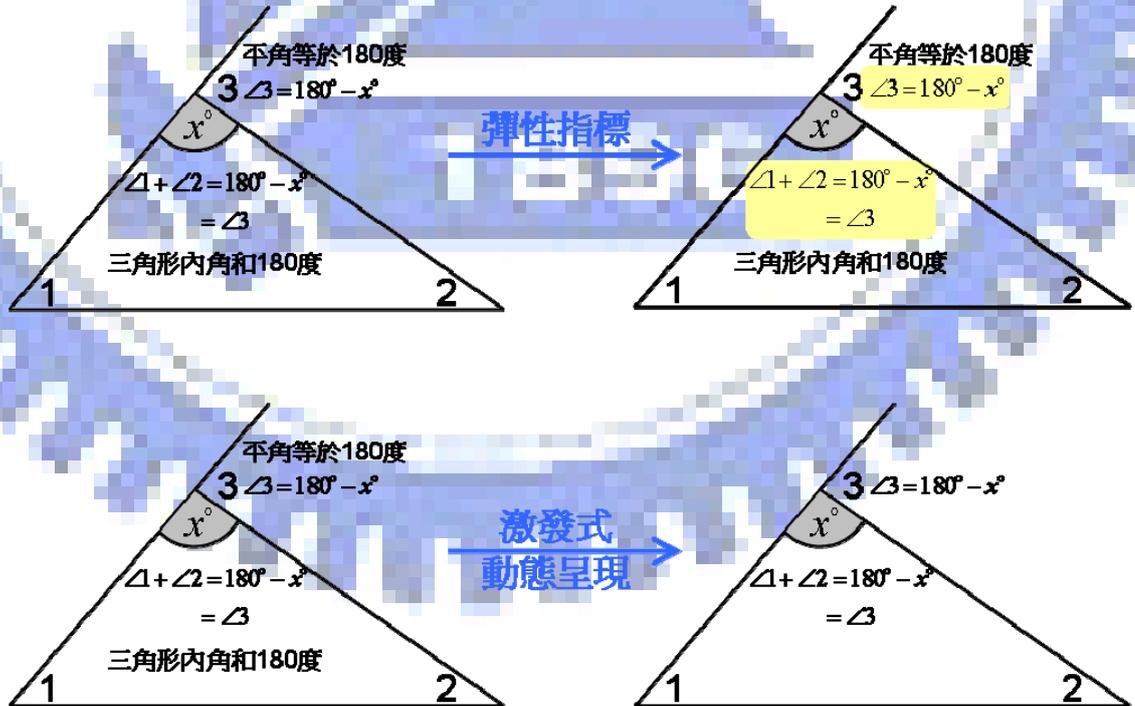


圖 2-26 Coherence Principle 3 之實例回顧

在此，Redundancy Effect 是認知負荷理論的累贅效果，與此相關的多媒體學習設計原則有 Coherence Principle、Modality Principle、Redundancy Principle 以及 Individual Difference Principle。回顧 Coherence Principle 3 之實例（如圖 2-26），適性指標的設計可以依據 Individual Difference Principle 所指出的先備知識因素做出適當的回應，面對高先備知識的學習者可隱藏多餘訊息，而面對低先備知識的學習者則顯示必須訊息（多餘與必需是由不同的學習者而決定），這亦符合 Coherence Principle 3 的精神。並且，在著重口述文字時，可以將文字訊息關閉，符合 Modality Principle 與 Redundancy Principle 的精神。值得注意的，當學習者感受到要在工作記憶內保持口述文字的內內容已經很吃力時（認知負荷過重），可以適時開啓文字訊息，由視覺通道協助認知歷程的處理，充分發揮雙通道的效能。在此，我們也提出一個觀點：「應該隨時注意雙通道的運作狀況，讓雙通道能相互支援」，固守著某種單一原則往往不是面對多重影響學習的因素最好的策略。

4. 適性指標與 Signaling Principle

依據 Signaling Principle，多媒體教材若含有可強調教材內容組織結構與重點的提示（cues），學習效果較好。適性指標與 Signaling Principle 的目標相同，理念也都是希望經由適當的提示能引導學習者將注意力投注在重要的教材內容上，如此可以避免學習者的注意力被不相關或不重要的內容吸引，造成認知資源不必要的浪費。然而，適性指標卻與原始 Signaling Principle 存在一個關鍵的差異，此差異即「對學習者注意力的引導方式」。

原始 Signaling Principle 使用的提示是靜態的，無法「動態引導」與「重新導向」學習者的注意力。此外，Signaling Principle 採用的機制大多為由上而下，學習者必須自發性的將注意力投注在 Signaling Principle 所強調的重點。然而，適性指標所採用的機制大多是由下而上，學習者會因為本能的反應非自主性的將注意力投注在適性指標所標示的位置，這是因為兩者採用的視覺提示物有本質上的差異，適性指標使用的視覺特徵必須依據視覺認知科學的研究以決定其有效性。另一個關鍵是，適性指標使用的 new object onset（突然出現的新物件）已經被證實幾乎不受周圍環境（明度、形狀、顏色）的影響，是一個廣效性的視覺特徵，亦即可以適用在大多數的教材內容；而 Signaling Principle 所採用的底線與粗黑體則較易受到周圍環境的影響。

第三章 適性指標的視覺認知理論基礎

我們先從前注意視覺訊息處理歷程的觀點來說明視覺認知科學對適性指標的基礎支持，接著本章將從「特徵整合理論」、「引導搜尋理論」、「注意力投注理論」以及「偵測突出目標物」的角度來探討與適性指標相關的視覺搜尋理論。由於「樣式知覺」對於「群化」與「關聯」的建立非常重要，我們也將涉及此一領域的格式塔心理學原理。

第一節 視覺訊息的前注意處理歷程

相對於週遭環境中的大量視覺訊息，僅有少量的一部分會吸引個體的注意力並予以進一步的處理。由於注意力的資源有限，我們隨時隨地都在進行訊息的選擇，並將注意力集中在被選取的訊息上。注意力的瓶頸可從「注意瞬脫效應」(attentional blink) 的到證實。另一方面，未被注意的訊息很快的會從感官中消退，此一概念在 Sperling 證實視像記憶(iconic memory)的存在後得到有力的支持(Sperling, 1960)。

「視覺訊息的前注意處理歷程」涉及了注意力以及視覺搜尋的理論與研究。本節將探討前注意處理歷程(pre-attentive processing)的存在證據以及基本視覺特徵的檢定方式，之後並探討「特徵整合理論」、「引導搜尋理論」、「注意力投注理論」以及「偵測突出目標物(Detecting pop-out target)」的相關研究。

一、注意瞬脫效應

視覺注意力具有容量瓶頸，並且從訊息接收到完成物件辨認需要一個短暫的運作時間，在此時間內其他的視覺訊息會被抑制而非常難以辨認，這個現象稱為注意瞬脫效應(attention blink)。「快速視覺序列呈現」(rapid serial visual presentation, RSVP) 的研究明確的揭示此效應的存在(Raymond *et al.*, 1992)。RSVP 要求受測者觀察由字母所形成的串流，並紀錄受測者辨認目標字母以及目標後一至三個字母的正

確率，重要結果如下：

1. 回應延後

目標字母以白色呈現，其他的字母以黑色呈現（如圖 3-1）。實驗發現受測者的目標辨認正確率相當高，而從目標之後的第一個字母正辨認正確率就下降了。目標後第五個字母最常被受測者判定是目標後的第一個字母，而第八個字母最常被判定為目標後的第二或第三個字母(Raymond et al., 1992)。這個實驗顯示了要辨識快速呈現的順序並不容易，並且相較於字母更新的速度，回應的速度有延後的現象。

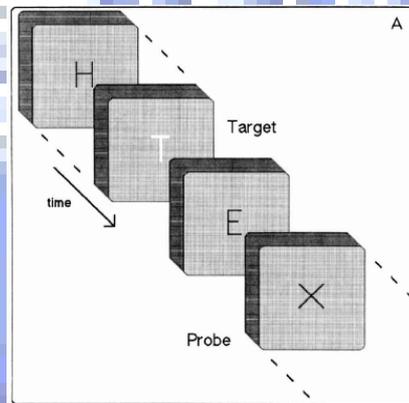


圖 3-1 RSVP 的字母串流(Raymond et al., 1992)

2. 注意力的影響

在 RSVP 的實驗中發現，受測者是否使用注意力會對於結果產生明顯的差異。實驗組要求受測者回答白色目標字母的名稱，並且判斷字母串流中是否存在「X」字母；控制組則僅要求判斷字母串流是否有「X」字母，結果發現當 X 出現在白色目標字母後的一到六個字母時，實驗組對於 X 是否出現的辨識率明顯較低，這表示了白色字母所引發的注意力（目標辨認程序）抑制了其後 X 的辨認程序。

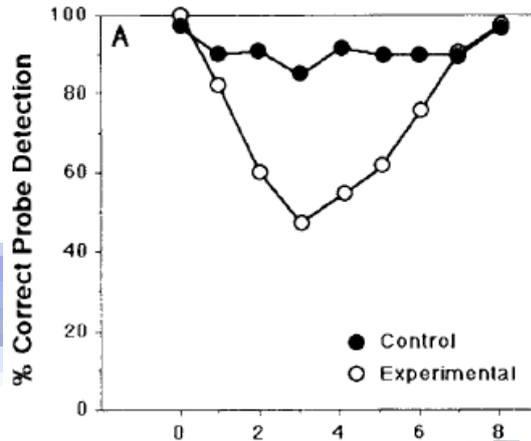


圖 3-2 是否注意目標對 X 辨認的影響(Raymond et al., 1992)

3. 物件辨認運作時間

若在前述的 RSVP 實驗的白色目標字母出現後安排一個空白時間（不呈現任何字母），然後再繼續呈現字母串流，會發現 X 的偵測率不受是否需要辨認白色字母名稱的影響，亦即在一定的時間後，目標物件的辨識程序已經完成，不會再影響其他的視覺辨識。綜合以上的說明，視覺注意力從訊息接收到完成物件辨認需要一個短暫的運作時間，在完成辨認前對其他訊息的抑制作用也就形成了訊息通過的瓶頸，學者稱此為 AB 瓶頸(J. M. Wolfe, 2006)。

二、視像記憶的證據

最早發現視像記憶 (iconic memory) 存在的證據，是來自於 George Sperling 的實驗。Sperling 請實驗參與者觀察一個含有英文字母的陣列，並且採用兩種策略來回報所看到的字母。第一種是「全報報告程序」，需要受測者報告看到的每一個字母；第二種是「部分報告程序」，只需要報告看到的字母的其中一部分。部分報告程序的設計是利用減少受測者回報量來降低因記憶消退而產生的誤差。

K L B	X M R J	T D R	7 I V F
Y N X	P N K P	S R N	X L 5 3
		F Z R	B 4 W 7

圖 3-3 Sperling 實驗的字母陣列(Sperling, 1960)

實驗過程中，受測者並非看到字母陣列後馬上回報答案，而是在某個特定的延宕時間之後才被提示要回報。結果發現部分報告程序的優勢在延宕時間為 0.3 秒時就大幅減少，在延宕 1 秒時幾乎就完全消失 (Sternberg, 2003)。這個結果為視像記憶的存在性提供了證據，而且也顯示視像記憶保存的時間非常的短暫，未被注意的訊息很快的會從感官中消退。

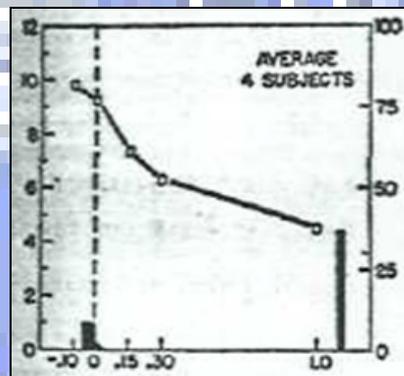


圖 3-4 George Sperling 視像記憶實驗結果(Sperling, 1960)

另一個視像記憶的線索是視覺感官記憶的「可抹除性」，我們稱之「後向視覺遮蔽」(backward visual masking)。Averbach 和 Coriell 發現將一個遮蔽刺激放置於另一個先前出現過的目標刺激的位置上，若兩者的時間間隔小於 100 毫秒，會發生影像重疊；若超過 100 毫秒，則遮蔽刺激會抹除目標刺激；若更久一些，待目標刺激已經存入短期記憶時，遮蔽刺激就失去干擾的作用(Sternberg, 2003)。這個實驗亦再次說明了被擷取的訊息隨即進入短期記憶，而未被擷取的訊息將很快的從視像記憶中消退。

三、前注意處理歷程的存在

視覺系統對於某些視覺特徵的辨識具有自動化、不需集中注意力的特性，並且採用平行的方式同時掃描整個視野；而其他的視覺運作則需要集中注意力，並且以序列的方式被執行(Treisman, 1985)。Neisser 於 1967 年首先將視覺歷程區分成前注意 preattentive 階段以及注意 attentive 階段(葉素玲, 1999b)，其中前注意階段涉及基本視覺特徵的登錄過程，並決定了質感辨識以及圖地區隔(Treisman, 1985)。

前注意處理歷程的存在性可從質感辨識以及視覺搜尋的相關實驗得到驗證。質感辨識的例子如圖 3-5，若我們快速的觀看此圖(a)，會看到圖形中央的黑色十字，而忽略了右方及下方黑色方陣中各有一個五邊形；但若將圖案不同的黑色方陣獨立出來，我們可以很快發現其中有一個黑色五邊形(圖 b)。

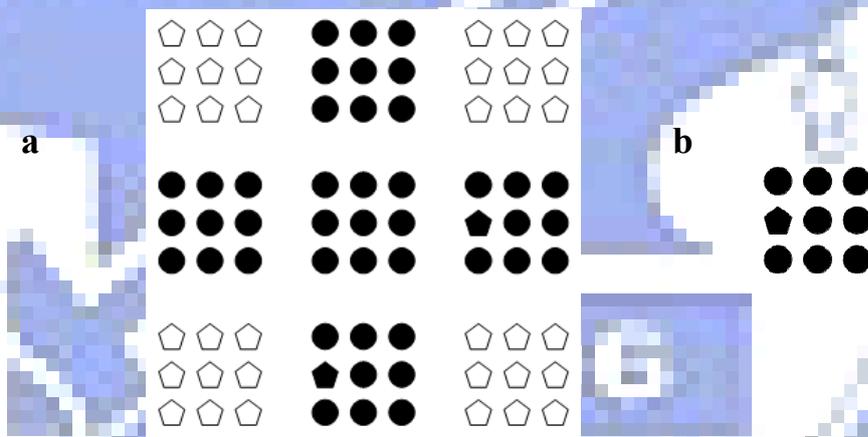


圖 3-5 前注意階段決定質感辨識的例子，修改自(Treisman, 1985)

另一方面，視覺搜尋的研究亦提供了前注意處理歷程存在的證據，並且此類研究與適性指標的功能—「協助視覺搜尋以及引導注意力」有更密切的關係。其中最關鍵的，就是基本特徵(elementary feature)的檢定方式與檢定結果。依照 Cavanagh 的說明，基本特徵必須能毫不費力的將目標物與干擾物區隔開來，也就是搜尋作業所需的時間必須和顯示畫面內的物件數量多少無關(Cavanagh *et al.*, 1990)。許多檢定基本特徵的實驗同時也證實了視覺系統確實會對某些視覺特徵採取自動化的平行處理方式，亦支持了前注意處理歷程的存在性。

四、基本視覺特徵的檢定方式

我們可透過對下列各個向度的分析來找到基本特徵線索：

1. 搜尋時間與畫面大小的斜率；
2. 搜尋非對稱性；
3. 練習的效果；
4. 提示目標物位置的效果。

1. 搜尋時間對畫面大小的斜率 (the slope relating search to display size)：

Treisman 於 1980 年分析了九個實驗來支持特徵整合理論 (Treisman & Gelade, 1980)。在此份研究報告中發現，特徵搜尋速度優於結合搜尋，亦即當目標物可完全被單一的視覺特徵界定時，搜尋目標的時間非常快，並且不受干擾物數量的影響。

相對於特徵搜尋 (feature search) 所花費的時間並不因干擾物的增加而變長，結合搜尋 (conjunction search) 的回應時間則會隨著搜尋項目變多而呈現線性增加 (Treisman & Gelade, 1980)。因此，搜尋時間對畫面大小 (搜尋項目的數量) 的斜率就提供了判別基本特徵的重要依據，當斜率接近零時，表示搜尋作業是前注意階段的特徵搜尋，目標物的特徵是基本特徵；而斜率呈現陡峭的趨勢時，搜尋作業是注意階段的結合搜尋，目標物的特徵不是基本特徵。

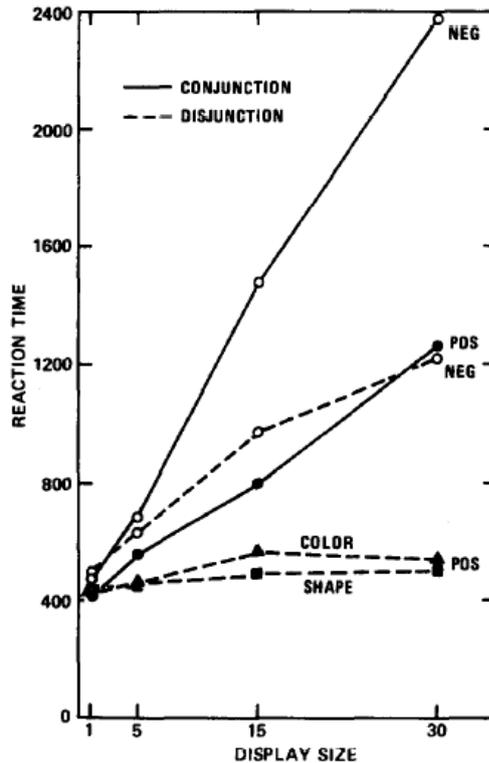


圖 3-6 特徵搜尋比結合搜尋快(Treisman & Gelade, 1980)

2. 搜尋非對稱性 (search asymmetry) :

在視覺搜尋作業中，目標物與干擾項必須有差異，而此差異可由「具有特徵」—目標物具有干擾項所沒有的某個特徵來界定；亦可由「缺少特徵」—目標物缺少所有干擾項都具有的某個特徵來界定。然而，實驗的結果顯示，目標物「具有特徵」比「缺乏特徵」的搜尋速度來得快，前者採用平行式搜尋，後者採用序列式搜尋。這說明了視覺系統對此一特徵能有效的偵測，故搜尋非對稱性也就成為檢定某一特徵是否是基本特徵的重要方法。

許多明顯的搜尋非對稱性實例相繼被提出，例如 Treisman 的研究：在一群圓形中具有垂直線段會比缺乏垂直線段容易搜尋(Treisman & Souther, 1985) (圖 3-7)；以及 ÁRNI KRISTJÁNSSON 的研究：具有彎曲度變化會比缺乏彎曲度變化容易搜尋(Kristj *et al.*, 2001)(圖 3-8)。

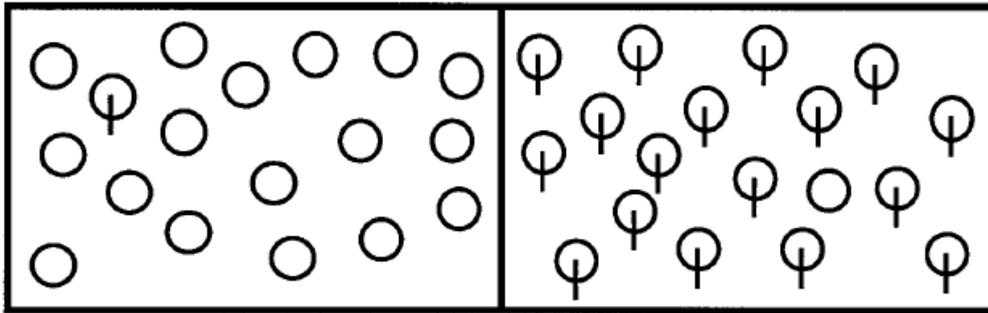


圖 3-7 搜尋非對稱性－具有垂直線段(Treisman & Souther, 1985; J. M. Wolfe, 2001)

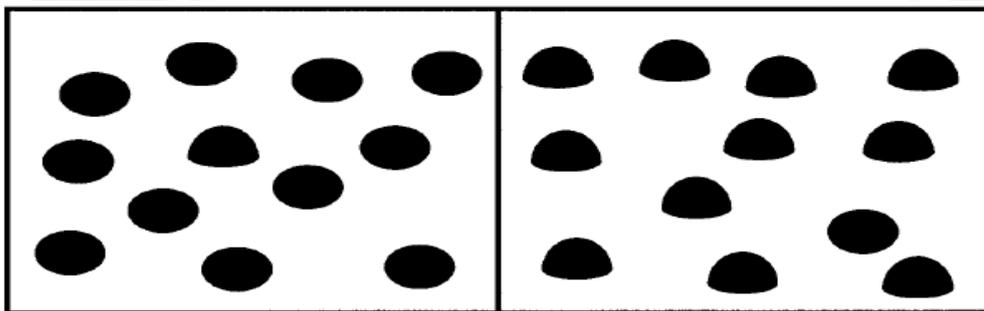


圖 3-8 搜尋非對稱性－具有彎曲度的變化(Kristj et al., 2001; J. M. Wolfe, 2001)

經檢測「外加線段」、「顏色」、「封閉性」以及「彎曲度變化」的具有特徵搜尋都比缺少特徵搜尋更快(Treisman & Souther, 1985; J. M. Wolfe, 2001)。就「具有特徵」的搜尋而言，通常可發現其搜尋時間對畫面大小的斜率接近零，故其搜尋方式應為平行式的特徵搜尋。然而，如何判斷「缺少特徵」的搜尋就是序列式的結合搜尋呢？主要檢定的方法是測量搜尋目標所需時間是否隨著干擾物的變多而呈現線性增加。更進一步的，可以設計正向(Positive)以及反向(Negative)的實驗來驗證此搜尋作業是否具有自我終結性(self-terminating)。在正向實驗中顯示畫面必存在目標物，受測者只要搜尋到目標物就馬上回應；反向實驗則不存在目標物，受測者必需辨認過所有的搜尋項目後才能判定這個畫面並不含目標物。如果一個序列搜尋反向實驗的斜率大約是正向實驗斜率的兩倍，則我們可說此序列搜尋具有自我終結性，因為這代表正向實驗的搜尋不用辨認所有的項目，以機率的觀點來看大約只要辨認一半數量的項目就能找到目標物，所以其斜率大約是反向實驗的一半(Treisman & Souther, 1985)。

Treisman 對「圓形中具有垂直線段」這個視覺特徵加以實驗，發現具有特徵的搜尋不論是正向或反向的實驗，其搜尋時間對畫面大小的斜率接近零，而缺少特徵的搜尋則可檢定為具有自我終結性的序列

搜尋（如圖 3-9）。這不但說明「外加線段」是基本特徵，更為「前注意處理歷程的存在性」提供有力的證據。

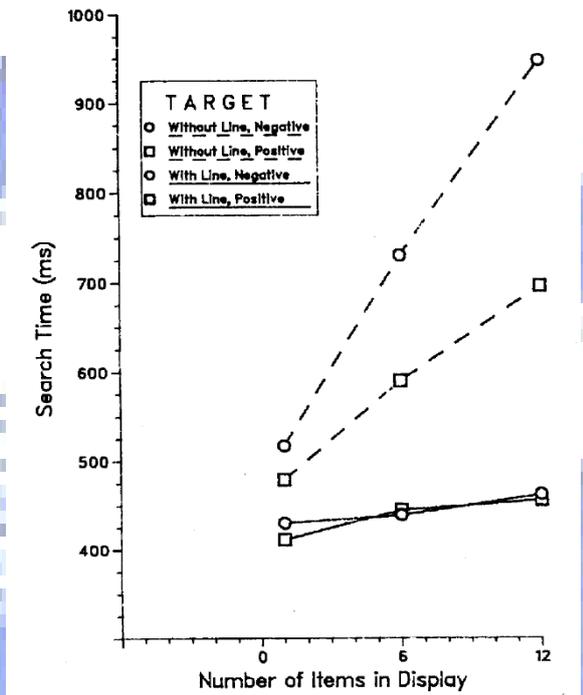


圖 3-9 圓形中具有垂直線段的搜尋非對稱檢定(Treisman & Souther, 1985)

某些搜尋非對稱性並不是以「具有」和「缺少」來表現，而是以特徵量「較多」或「較少」的方式來比對。例如「較長線段在一群較短線段中」比「較短線段在一群較長線段中」容易搜尋（如圖 3-10）。

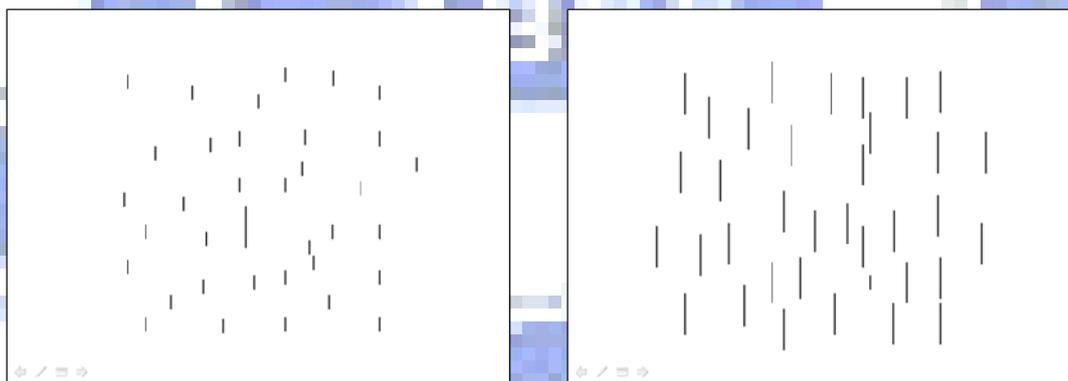


圖 3-10 線段長度「長對短」以及「短對長」的搜尋非對稱性

搜尋非對稱性已經成為檢定基本特徵的重要方法(J. M. Wolfe, 2001)。更重要的，具有搜尋非對稱性的基本特徵亦被稱為單一正向編

碼特徵 (single positively coded features)；不具搜尋非對稱性的基本特徵被稱為相互替代特徵 (substitutive features)。

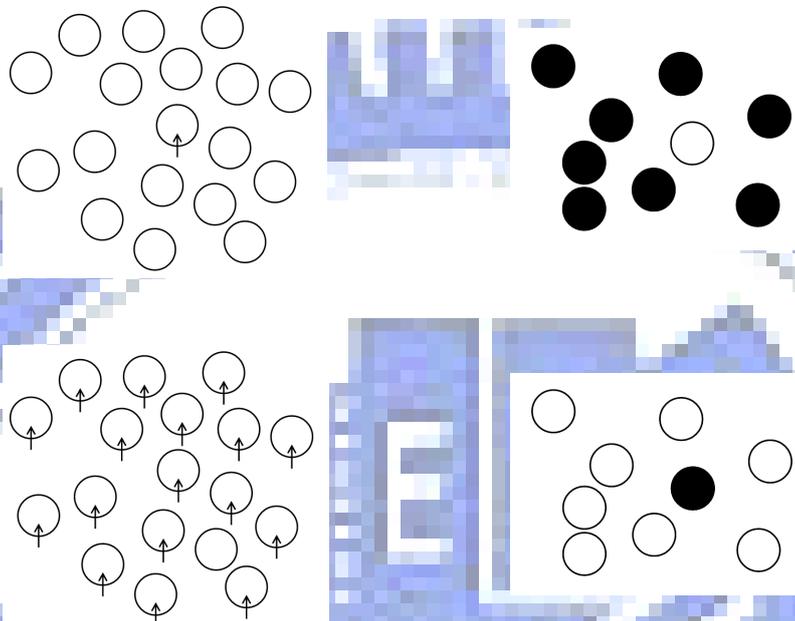


圖 3-11 單一正向編碼特徵(a)與相互替代特徵(b)

「相互替代特徵」指的是具有此特徵與缺少此特徵的兩個狀況恰好是成對的基本特徵，檢測兩者的搜尋時間對畫面大小之斜率都會接近零。如圖 3-11(b)上圖缺乏黑色填滿可視為是具有白色填滿的基本特徵，下圖則是具有黑色填滿的基本特徵，兩者都是正向編碼特徵。而「單一正向編碼特徵」的意義是，僅具有此特徵時才可視為是正向編碼特徵，當缺乏此特徵時，並沒有另一個成對的基本特徵會出現。如圖 3-11(a)上圖具有箭頭可視為是正向編碼特徵，而下圖並不因目標物對這個箭頭特徵的缺乏而界定出另一個基本特徵。箭頭的出現是圖 3-11(a)上圖唯一的基本特徵，故其具有單一性。

對適性指標來說，若採用的基本特徵是「相互替代特徵」，需注意此特徵在缺少（按鈕關閉）時是否會扮演另一個基本特徵的角色，以避免預期之外的指標出現於畫面中（如圖 3-12）。若採用的是單一正向編碼特徵，因其具有搜尋非對稱性，故較不為會有此現象發生。

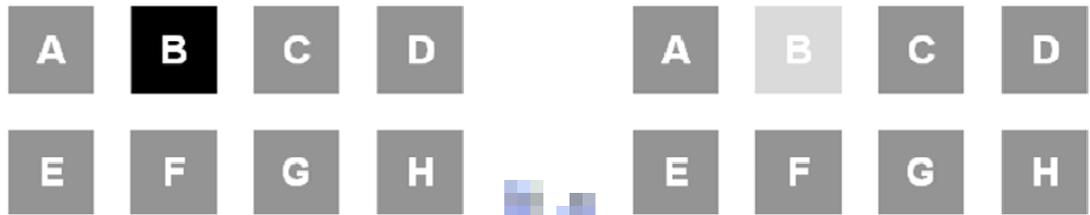


圖 3-12 相互替代特徵可能造成預期之外的指標（右方淡灰色 B）

3. 練習的效果（effects of practice）：

在涉及顏色與形狀的結合搜尋實驗結果發現，視覺搜尋的速度並未因練習次數的增加而變快，這表示要藉由練習而產生「快速且平行」的處理機制並不容易。未經練習卻能平行快速處理的特定視覺特徵可能是因為有內在神經系統的支持(Treisman & Gelade, 1980)，這也讓「練習效果不明顯」成為檢定基本特徵的參考依據。

4. 提示的效果（effects of cue）：

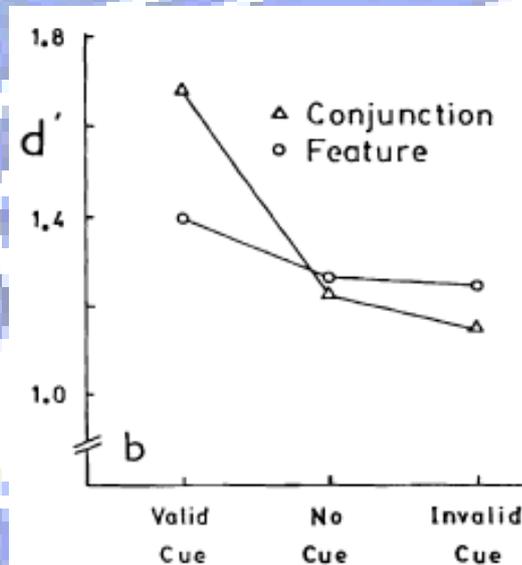


圖 3-13 提示對特徵搜尋與結合搜尋的影響

預先提示目標物的位置也能對辨認基本特徵提供幫助。特徵搜尋發生在前注意處理階段，在不需集中注意力的狀況下就能自動的以平行的方式處理；結合搜尋則需要集中空間位置注意力，將注意力探照燈以序列的方式掃描每個搜尋項目所在的位置。由此加以推論，我們

可以預期對結合搜尋而言，正確與錯誤的位置提示對搜尋正確率會有很大的影響；而對於特徵搜尋則影響較小。Treisman 的實驗證實了上述推論(Treisman, 1985)，讓「提示效果的大小」成為檢定基本特徵的有用參考。

第二節 特徵整合理論

一、理論架構

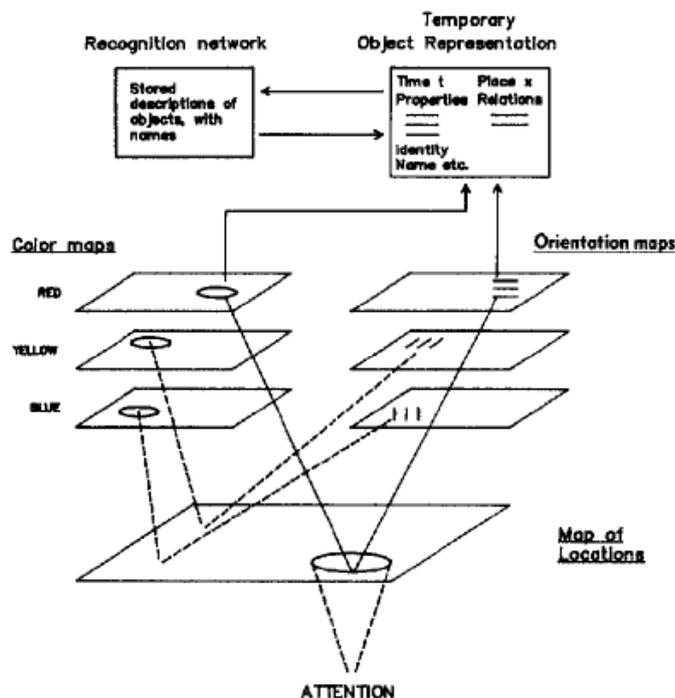


圖 3-14 特徵整合理論架構圖(Treisman & Gormican, 1988)

特徵整合理論 (Feature Integration Theory) 是由 Treisman 所提出 (Treisman & Gelade, 1980)。在這個理論中，存在一個快速的初始平行歷程可將不同型態的基本視覺特徵分別登錄在不同的特徵圖 (feature map) 中，例如色彩圖 (color maps)、方位圖 (orientation maps) (葉素玲, 1999b)。進一步的，色彩圖並非將所有的色彩視覺訊息登記在同一張特徵圖中，而是將不同的顏色登記在不同的色彩圖，而由所有的色彩圖來建構色彩這個維度的視覺訊息。同樣的，不同方位的視覺訊息

會登記在不同的方位圖中，例如水平方位圖、斜角方位圖以及垂直方位圖，如圖 3-14 所示。

位置圖 (Map of Locations) 亦稱為主要位置地圖 (Master map of locations)，因為位置圖不僅記錄了位置的訊息，更關係到注意力介入視覺搜尋的過程。注意力「探照燈」以序列的方式對主要位置地圖內每個被記錄的特定位置做掃描，而且若一個位置正被掃描，則所有關於這個位置的各個特徵圖所記錄的的訊息都會被注意力探照燈存取進入短期記憶，並將各個特徵進行結合 (Treisman & Souther, 1985)。在此，特徵整合理論假設主要位置地圖除了紀錄位置訊息之外，也包含了這個位置涉及哪些特徵圖的索引資料。當注意力探照燈掃描到這個位置時，便可依照索引資料存取與這個位置相關的特徵圖。

整體來說，特徵整合理論包含兩個階段—前注意階段以及注意階段。前注意階段能以快速且平行的方式將各種基本視覺特徵登錄在適當的特徵圖中，而在注意階段則是由注意力探照燈循序地進行掃描，並將同一位置的特徵結合起來，整合成一個完整的物體訊息 (葉素玲, 1999b)。

二、現象解釋

特徵搜尋 (Feature search)：

目標物與干擾物在某一個視覺特徵有明顯的差異時，搜尋速度非常快，並且不受干擾物數量的影響。

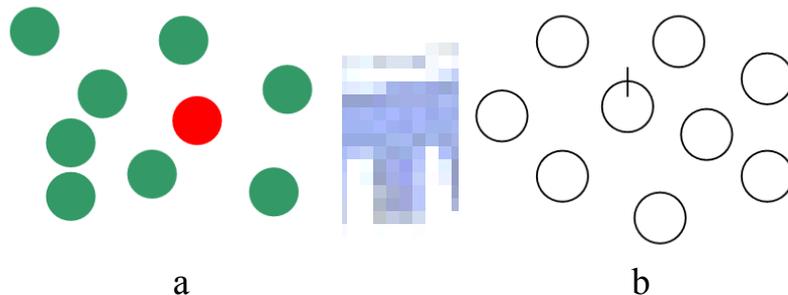


圖 3-15 兩種特徵搜尋

特徵整合理論對 a 圖的解釋是，綠色訊息與紅色訊息位於色彩維度內顏色具明顯差異的不同色彩圖中（紅色訊息和綠色訊息存在於各自的色彩特徵圖），由於各個色彩圖內的處理是快速且平行的，所以能立即反映出物件不在同一色彩圖的差異。對於 b 圖，因為只有目標物件具有垂直線段這個特徵，所以在方位維度內的垂直方位圖僅有目標物件在此登錄，因為單一特徵圖的處理是快速且平行的，所以目標物件能立即被找出。(Treisman & Gelade, 1980; Treisman & Sato, 1990; Treisman & Souther, 1985)

結合搜尋 (Conjunction search) :

目標物與干擾物並沒有在某一個視覺特徵存在明顯的差異時，亦即需要多個維度的視覺特徵才能辨認出目標物時，搜尋速度較慢，且干擾物數量越多，花費時間越久。

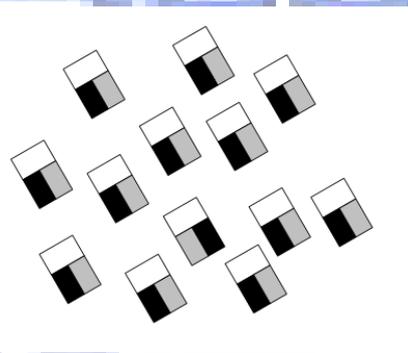


圖 3-16 結合搜尋(葉素玲, 1999b)

由於各個目標物與干擾物之間並沒有在某個視覺特徵存在明顯差異，所以需要使用注意力循序的掃描主要位置地圖內的各個物件，並且將各個特徵圖內的訊息結合成完整的物體訊息，所以速度較慢。因為掃描是循序的，所以待掃描的物件越多，所需花費的時間就越久。(Treisman & Gelade, 1980; Treisman & Sato, 1990; Treisman & Souther, 1985)

The nonspatial dimension varies continuously rather than categorically :

具有不同視覺特徵的多個相異目標物也可能被快速的搜尋，但目標物之間的視覺特徵在同一維度內要很接近。

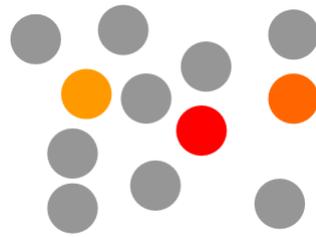


圖 3-17 相似目標物的搜尋

特徵整合理論認為，除了單一特徵圖能進行快速且平行的處理之外，在同一維度內非常接近的幾個特徵圖也可以同時運作這種快速的搜尋，這個時候被選取的不是單一的特徵圖，而是特徵維度所形成的立方體中的一層薄片。如圖 3-17 中，紅色、橘色以及淡橙色是顏色維度內近乎連續的三個色彩特徵圖，所以可以同時將這三個圖視為一層「薄片」，一同取出來進行快速的平行處理。

搜尋非對稱性 (Search Asymmetry) :

一個基本特徵的具有或是缺少對視覺搜尋速度有不同的影響。

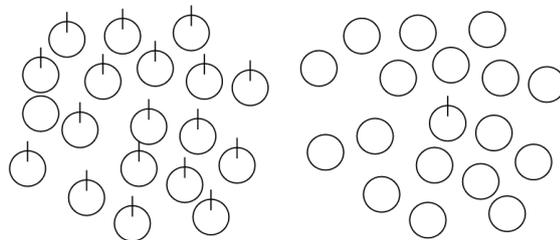


圖 3-18 視覺搜尋的非對稱性(Treisman & Souther, 1985)

左圖顯然是之前討論過的特徵搜尋，然而對於右圖搜尋比較慢的現象，特徵整合理論的建議是，此時需要結合搜尋以序列的方式掃描每一個視覺物件，透過注意力的運作來比對出缺少此特徵的目標物。(Treisman, 1985; Treisman & Souther, 1985)

快速的結合搜尋 (Rapid conjunction Search) :

有些結合搜尋速度很快，其搜尋時間對畫面大小的斜率接近零。

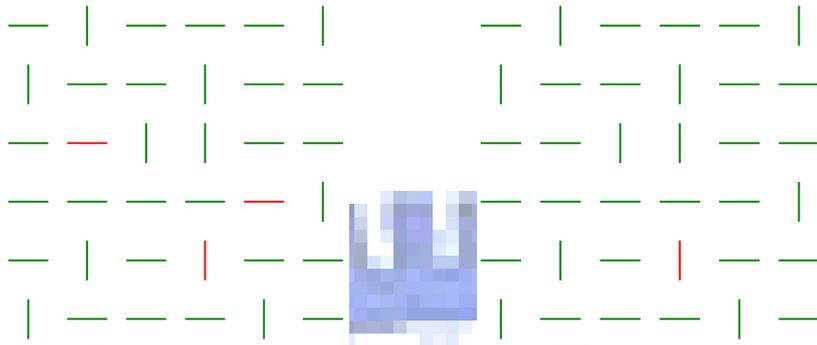


圖 3-19 Rapid conjunction search

在原始的特徵整合論中，結合搜尋因為需要使用空間注意力作序列式的掃描，所以其搜尋速度應該較慢。然而有些結合搜尋的速度非常快，甚至其搜尋時間對畫面大小的斜率接近零(Nakayama & Silverman, 1986)。而且，如果結合的特徵有「物件大小」(size)的時候視覺搜尋最快；有「顏色」(color)時第二快；有「移動」(motion)時第三快(Treisman & Sato, 1990)。

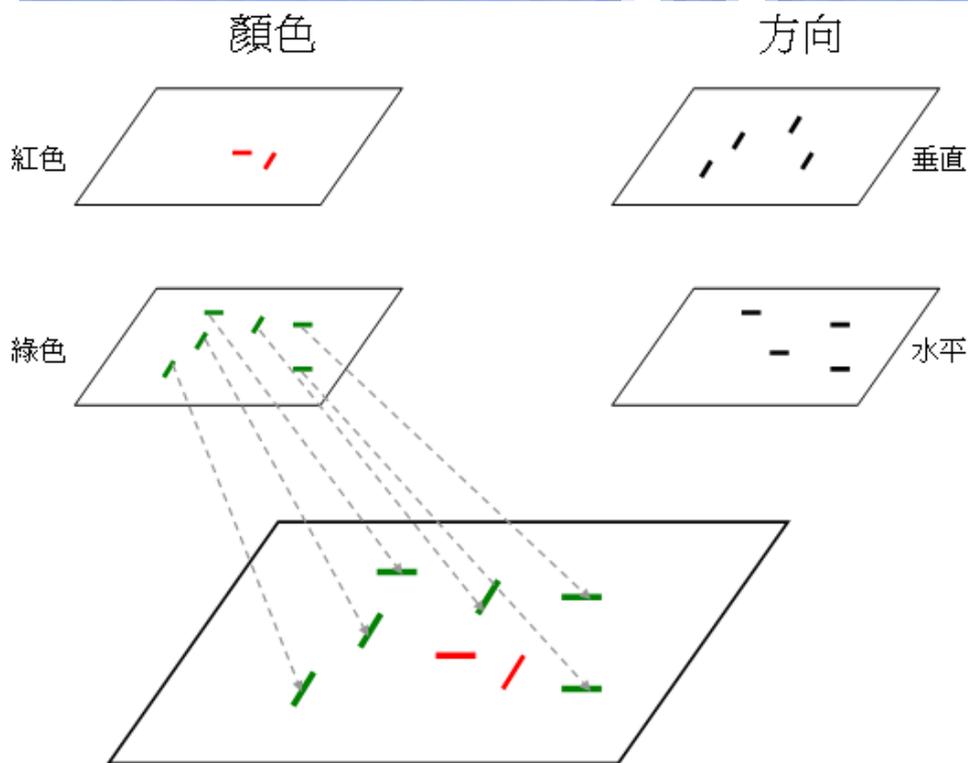


圖 3-20 特徵抑制假說(Treisman & Sato, 1990)

為了解釋結合搜尋能如此快速的被視覺系統執行，特徵抑制假說 (The Feature Inhibition Hypothesis) 被提出(Treisman & Sato, 1990)。

如圖 3-19 我們可以發現視覺特徵是由方向(水平、垂直)以及顏色(紅色、綠色)兩個向度結合而成，然而紅色的垂直線段卻可以被立即找出，這是因為我們可暫時「抑制」所有在綠色特徵圖內的特徵參與搜尋作業，剩下紅色的部份自然是以平行的特徵搜尋找出垂直的線段(如圖 3-20)。

特徵抑制假說可以從 Treisman「搜尋已知或未知的目標物」的實驗結果得到支持(Treisman & Sato, 1990)。實驗中的目標物與干擾物被設計成有明顯的區隔，所以不論是否告訴受測者目標物為何，受測者都能夠辨識出唯一的目標物。首先，此實驗對其涉及的結合特徵進行分析，在目標物已知的條件下，發現實驗所採用的結合特徵不論是在具有特徵(present)或缺乏特徵(absent)的情形下其搜尋時間對畫面大小的斜率都接近零，亦即表示這些結合特徵都是可平行處理的。然而，若目標物未知，則不論具有特徵或缺乏特徵的斜率都明顯提升，顯示目標未知時採用序列式的搜尋(如圖 3-21)。此外，缺乏特徵比具有特徵的搜尋更慢，因為缺乏特徵的目標物需要搜尋整個顯示畫面才能確定。

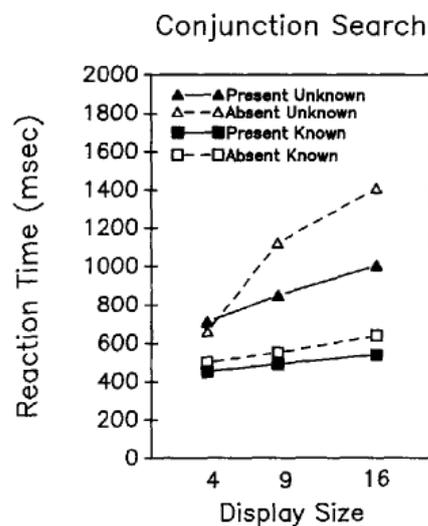


圖 3-21 已知目標與未知目標的結合搜尋

依照特徵抑制假說，當目標已知時，視覺系統可以抑制特定視覺特徵的干擾而直接搜尋剩下的特徵，若剩下的特徵符合特徵搜尋的條件，即可進行快速的平行式搜尋。然而，在目標未知的狀況下，由於無法事先確慶應被抑制的視覺特徵是哪一個，所以就無法採用特徵抑制的方式進行搜尋。

值得注意的，在干擾物種類越多的情形下，即使干擾物更容易和目標物區分，「特徵抑制」的效果仍然越差。這涉及了另一個重要的視覺搜尋理論－注意力投注理論（詳見 P.73 注意力投注理論）。

第三節 引導搜尋理論

一、理論架構

引導搜尋理論（Guided Search Theory）由 Wolfe 於 1998 年提出，是一個持續更新的視覺搜尋理論。原始的引導搜尋理論非常接近特徵整合理論，亦將視覺歷程分為前注意階段與注意階段。其核心概念為前注意階段所獲得的視覺訊息會被用來引導視覺注意力在視野的配置，並且搜尋作業的效率決定於引導訊息的品質。早期的引導搜尋理論認為視覺搜尋作業是「將注意力引導到目標物」的歷程，效率較低的視覺搜尋工作是因為注意力未獲適當的指引造成目標是以隨機的方式被選取並加以辨認，此類工作會隨著干擾項的增多而更加緩慢。



圖 3-22 Ariely 實驗所採用的原點集合與測試圓點

某些視覺作業並不會通過這個由引導訊息所掌控的選擇性瓶頸。Ariely 的實驗證實了視覺系統在觀看一群相似的物件時，無法充分掌握個別物件的視覺特徵，卻能掌握整群物件之視覺訊息在統計上的表徵，例如物件大小的範圍以及平均大小。其實驗方式如下：1.同時呈現兩個視覺區域，其中集合區（Set）放置多個圓點；測試區（Test）則

放置一個圓點（如圖 3-22），受測者需回答集合區是否存在與測試區大小相同的圓點。2.在上述的測試區放置兩個大小不同的圓點，並詢問受測者哪一個存在於集合區。

實驗結果發現若測試區的圓點大小在集合區圓點大小範圍之外時，這個圓點很少會被判斷為集合區的成員之一，這顯示了視覺系統對於一個集合的最大與最小之間的範圍具有相當的辨別力。此外，在測試區有兩個大小不同的圓點時，並不容易判斷出哪一個圓點存在於集合區內，這表示視覺系統對於一群物件的個別特徵並不能有效的掌握。(Ariely, 2001)

相似的實驗方式亦可被應用在視覺系統估計一群物件之平均大小。受測者被要求回答測試區圓點與集合區所有圓點大小的平均值哪一個大，結果發現不論集合區的圓點多寡，只要其大小平均值相同，受測者對其大小平均值的估計都相當穩定而準確。(Ariely, 2001)

視覺系統對相似物件之大小平均值、大小範圍能迅速有效的辨認，學者稱為「統計性質型表徵」(Representation by Statistical Properties)。這類表徵在觀察一群相似物件所形成的集合時會自動被建立，而不是以個別物件的視覺特徵來引導。這個發現也確立了新一代的引導搜尋理論架構（圖 3-23）。

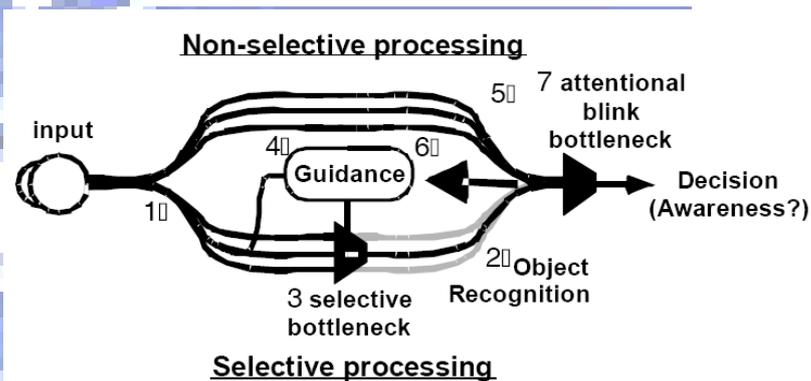


圖 3-23 引導搜尋理論架構(J. M. Wolfe, 2006)

依照上圖的數字標示，引導搜尋理論所描述的視歷程如下：(J. M. Wolfe, 2006)

- A. 視覺訊息輸入 (1)，開始視覺訊息的處理。
- B. 依照視覺訊息與任務的不同特性，訊息將通過「選擇性處理程序」或「非選擇性處理程序」兩種不同的通道。其中，物件辨識 (2) 的過程會通過「選擇性處理程序」的瓶頸點 (3)。
- C. 一個物件，或是一群物件將被選取並通過這個選擇性的瓶頸點，這個過程由「視覺選擇性注意力」控制。哪些物件被「選取」是由前注意處理歷程所提取的 (4)「引導表徵」(guiding representation) 所支配，引導表徵是「選取」的控制訊號。
- D. 另一類的視覺作業並不被選擇性瓶頸 (3) 所限制，此類作業通過非選擇性處理程序通道 (5)。
- E. 選擇性處理程序 (2) 以及非選擇性處理程序 (5) 都受到注意瞬脫瓶頸 (7) 的支配，不論經過哪一個通道，視覺注意力資源的容量都是有限的。

整個引導搜尋歷程主要就是在前注意處理歷程 (1) 會選取某些視覺特徵作為「引導表徵」，此表徵在搜尋的過程中是決定訊息能否通過選擇性瓶頸 (3) 的控制訊號。

圖 3-24 線段方向性差異的偵測(Foster & Ward, 1991)

並非所有的視覺特徵都能當作「引導表徵」。有效的引導經常需要目標物與干擾物具有顯著的差異(Duncan & Humphreys, 1989)，即使是

在「特徵搜尋」作業也是如此。以線段方向性為例，在一群垂直的線段中，目標線段與垂直線段夾角等於 30 度時最容易被偵測出來，而夾角接近 0 度時最難被偵測(Foster & Ward, 1991)，如圖 3-24 所示。這表示夾角 30 度時是有效的引導表徵，夾角 3 度時卻是無效的。因此，引導表徵 (guiding representation) 被解釋為是支配視覺訊息是否通過選擇性瓶頸所需的控制訊號，而不是通過選擇性瓶頸的視覺訊息本身。

二、基本視覺特徵如何引導注意力

Wolfe 引導搜尋理論架構 (如圖 3-23) 描述了兩種注意力的瓶頸—「選擇性瓶頸 (selective bottleneck)」以及「注意瞬脫瓶頸 (attentional blink bottleneck)」。其中，物件被選取並通過選擇性瓶頸的歷程是前注意處理歷程所提取的「引導表徵」(guiding representation) 所控制，引導表徵是物件能否被「選取」的控制訊號。

舉例來說，若我們要注意一段文字中色彩為紅色的單字，此時引導表徵就是「單字的顏色是紅色」。知覺系統從刺激物的各種視覺特徵中選取「顏色」這個基本視覺特徵當作引導表徵，然後此引導表徵進一步控制紅色的單字通過選擇性瓶頸。然而，此機制的運做方式有兩種可能性：(1) 知覺系統扮演過濾器 (filter) 的角色，紅色的單字通過此過濾器，非紅色的單字則被濾除。(2)「紅色」特徵吸引注意力集中到目標物所在的位置，然後在此位置的目標物進而被注意力選取通過選擇性瓶頸(Shih & Sperling, 1996)。

前述 (1) 強調的是「特徵選擇 (feature selection)」，亦即注意力可以直接從視野中選取具有某個特徵的視覺物件通過選擇性瓶頸。而 (2) 所強調的是「位置選擇 (location selection)」，亦即注意力所在位置的視覺物件會被選取並通過選擇性瓶頸。

注意力與信號偵測的研究發現，當受測者獲得「信號發生位置」的提示時，能夠加快號偵測的速度(Posner *et al.*, 1980)。此外，顏色或形狀可被當成「目標物位置」的提示，並且吸引注意力集中到具有此特徵之物件所在的位置(Tsal & Lavie, 1993)。已有許多研究支持「位置

選擇」的說法，Shui-I Shih 與 George Sperling 在 1996 年發表的論文亦提供支持「位置選擇」的有力證據。

爲了研究知覺系統是以「特徵選擇」或是「位置選擇」的方式運作，他們設計了兩個「快速視覺序列呈現」(rapid serial visual presentation, RSVP) 的實驗，並且呈現的模式採用特徵交替程序 (Alternating-Feature Procedure)。兩個實驗都針對「大小」以及「顏色」兩種基本視覺特徵進行研究。在探討「大小」時，刺激物以「large-small-large-small」的方式交替呈現；探討「顏色」時，刺激物以「red-green-red-green」交替呈現。實驗的目標物是 0,1,2,3,4,5,6,7,8,9 十個數字，干擾物是 A,B,D,G,J,P,R,S,T,Z 十個英文字母。

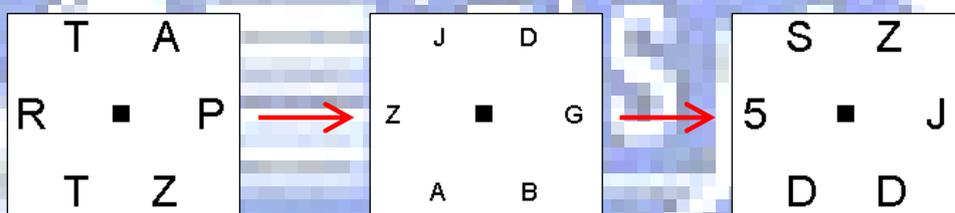


圖 3-25 RSVP 實驗一所用的刺激物畫面(Shih & Sperling, 1996)

Shui-I Shih 與 George Sperling 的第一個實驗目的是希望能了解知覺系統是否以「特徵選擇」的方式運作。爲了消除位置選擇所造成的影響，RSVP 程序中單一畫面內的所有刺激物都具有相同的視覺特徵 (大小相同或顏色相同)，並且每一個畫面刺激物的位置都相同 (環繞中點的政六邊形六個頂點)，因此受測者的注意力不因刺激物的視覺特徵差異而被導引到畫面中的特殊位置。視覺特徵的差異被設計在 RSVP 程序中的不同畫面，並在 RSVP 開始前給予提示。例如提示「目標物將出現在字體大小爲 large 的畫面」時，受測者會把較多的注意力配置在 large 畫面，並忽視 small 畫面。若提示是正確的，如此的注意力配置是否能增進目標物偵測的正確率將是「特徵選擇」成立的重要關鍵。

因單一畫面中的每個刺激物的相關特徵 (大小或顏色) 都一樣，所以注意力不是集中在特殊位置，而是當提示的特徵出現在畫面時，注意力會集中在這個「特殊時間點」所顯示的畫面(Shih & Sperling, 1996)。爲了將「特徵選擇濾除其他特徵的能力」與「物理上直接去除其他特徵」做比較，並了解提示錯誤時是否會降低偵測正確性，實驗一設計了 6 種 RSVP 陣列 (如圖 3-26)。

左方 XYN (N 是數字) 的 X 表示目標物特徵 (如 large), Y 表示與目標物相對的特徵 (如 small), N 代表所給提示的正確率。例如 XY20 代表目標物字體是 large, 畫面以 large-small-large-small 交替呈現, 提示是 large, 提示的正確率是 20%。這樣的提示是希望受測者能將 20% 的注意力投注在 large 畫面, 將 80% 的注意力投注在 small 畫面。XX100 則表示目標物特徵是 large, 畫面以 large-large 的方式呈現 (一直都是 large), 提示的正確率是 100%。XX100 是 XY20~100 的對照組, 兩者的差異可以反應出特徵選擇的強度。X-100 則是將「與目標物不同的特徵」直接去除, X 表示目標物特徵是 large, 畫面以「large-空白-large-空白」交替呈現。提示正確率是 100%。X-100 是 XY20~100 的另一個對照組, 如果特徵選則的強度很強的話, 推測其偵測正確率會接近 X-100, 但不可能比 X-100 還好, 因為 X-100 把不相干的雜訊直接以物理方式去除了, 根本不用特徵選擇來加以過濾。

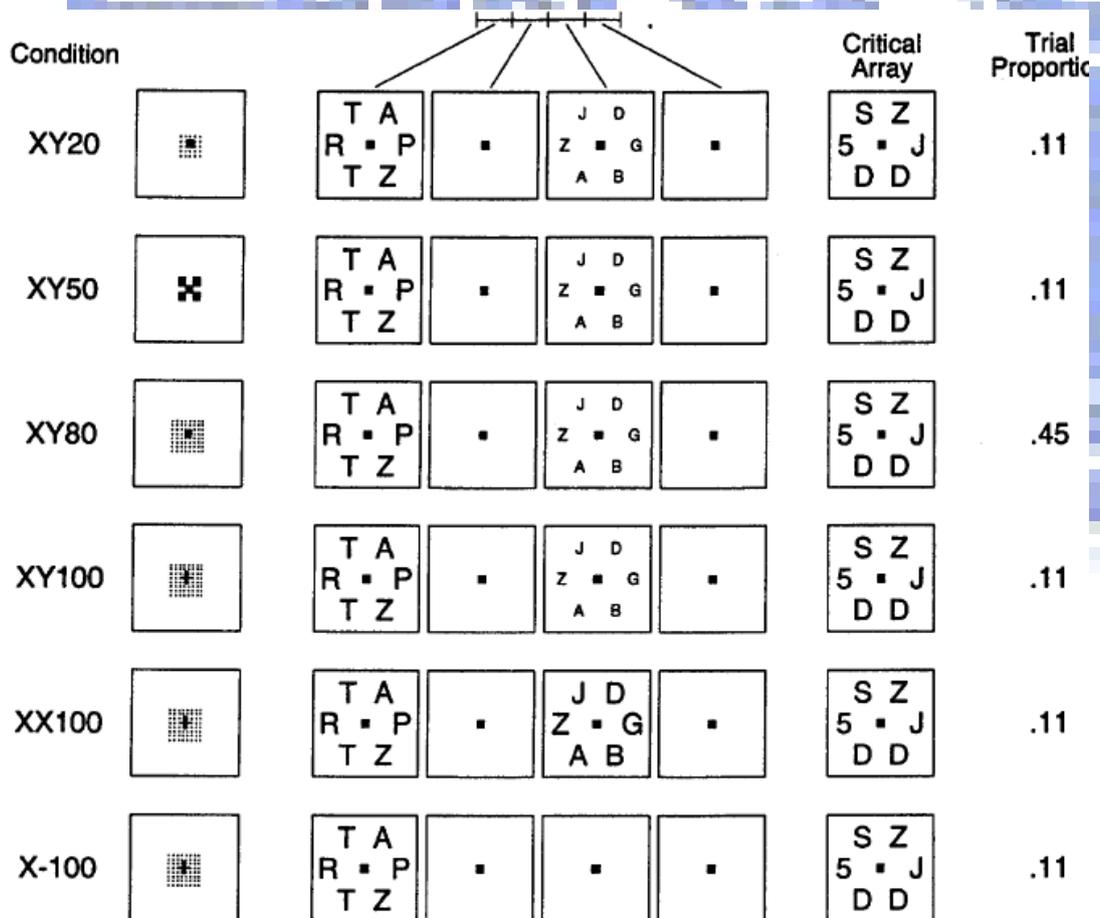


圖 3-26 RSVP 實驗一的程序架構(Shih & Sperling, 1996)

為了估計特徵選擇的強度, Shui-I Shih 與 George Sperling 定義了「注意力過濾相對效能」(the efficiency of actual attentional filtering

relative to perfect physical filtering) (Shih & Sperling, 1996) :

$$eff = \frac{P(XY) - P(XX)}{P(X-) - P(XX)}$$

其中 $P(XY)$ 代表 large-small 交替呈現時受測者偵測目標的正確率， $P(XX)$ 為 large-large 的偵測正確率， $P(X-)$ 則是 large-空白的偵測正確率。 $P(XX)$ 與 $P(X-)$ 可說是特徵選擇的兩個極端狀況， $P(XX)$ 是特徵選擇的下界（完全沒有特徵選擇），而 $P(X-)$ 是特徵選擇的上界（特徵選擇的最佳狀況），所以 $P(X-) > P(XX)$ 以及

$P(X-) - P(XX) \geq P(XY) - P(XX)$ 是合理的推論。由上面的式子可推得

$$P(X-) - P(XX) > 0 \quad \text{且} \quad 1 \geq \frac{P(XY) - P(XX)}{P(X-) - P(XX)} \geq 0。$$

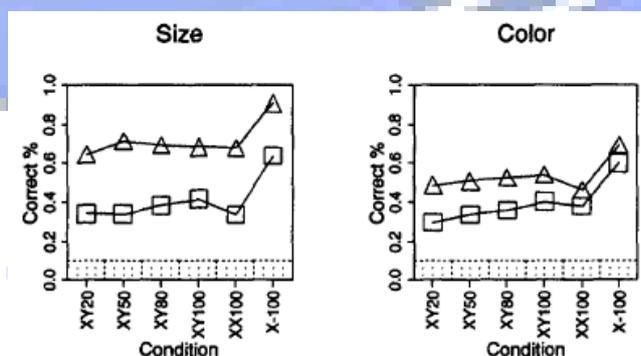


圖 3-27 RSVP 實驗一的結果(Shih & Sperling, 1996)

在一個 RSVP 陣列呈現後，受測者需要回答 Identity、Location、Feature 三個問題。Identity 要回答的是出現的目標物是哪一個數字，Location 要回答目標物出現在哪一個位置(六個頂點的哪一個)，Feature 回答目標物的視覺特徵(大或小、紅或綠)。經過分析後，RSVP 實驗一的結果有下列三項重點(Shih & Sperling, 1996)：

1. 注意力過濾相對效能接近零。
(Zero efficiency of attentional filtering on the basis of physical features)
2. 視覺特徵對注意力的引導效果幾乎不存在。
(No effect of attentional instruction)。

3. 目標數字回答正確時，位置也大多能回答正確。

「注意力過濾相對效能」接近零的原因是因為 XY20、XY50、XY80、XY100、XX100 的正確率幾乎是一樣的（如圖 3-27，Size 的三角形連線表示 large 的偵測率，正方形連線代表 small 的偵測率；Color 的三角形連線代表 green 的偵測率，正方形連線代表 red 的偵測率）。不論提示的正確率高低， $P(XY)$ 和 $P(XX)$ 都非常接近， $P(X-) - P(XX)$

幾乎等於零，所以 $eff = \frac{P(XY) - P(XX)}{P(X-) - P(XX)}$ 也會趨近於 0。此外，「視覺特

徵對注意力的引導效果幾乎不存在」也可以從 XY20、XY50、XY80、XY100 幾乎相等的正確率而得到驗證。因為不論提示是否正確或是注意力是否關注目標物所具有的特徵，偵測目標物的正確率都沒有明顯的差別，這表示目標物的視覺特徵無法有效地引導視覺搜尋作業。

「目標數字回答正確時，位置也大多能回答正確」暗示目標偵測是否成功與與注意力投注的位置有很大的關係。因此，Shui-I Shih 與 George Sperling 又設計了 RSVP 實驗二，說明視覺特徵能有效引導搜尋的關鍵在於能否引導注意力投注在目標物所在的位置。RSVP 實驗二和實驗一有兩個很大的不同：(1) 6 個位置中有 5 個具有相同的視覺特徵，而另一個獨特物件 (odd item) 則擁有不同的特徵。(2) 交替呈現 Alternating-Feature Procedure 的方式改成由 odd item 決定，例如第一個畫面的 odd item 是 large，則下一個畫面的 odd item 就變成 small，如圖 3-28 所示(Shih & Sperling, 1996)。

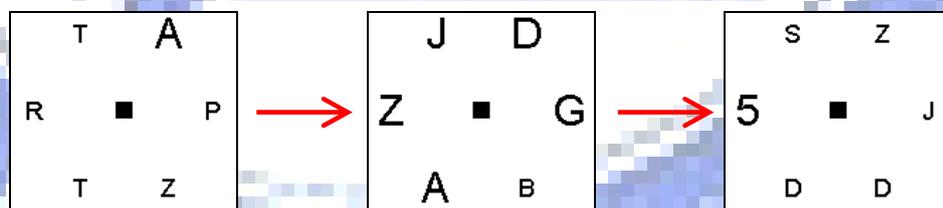


圖 3-28 RSVP 實驗二所用的刺激物畫面(Shih & Sperling, 1996)

RSVP 實驗二的結果有下列兩項重點(Shih & Sperling, 1996)：

1. 注意力過濾相對效能出現負值 (negative)。
2. 視覺特徵對注意力的引導效果顯著。

Experiment 1

Experiment 2

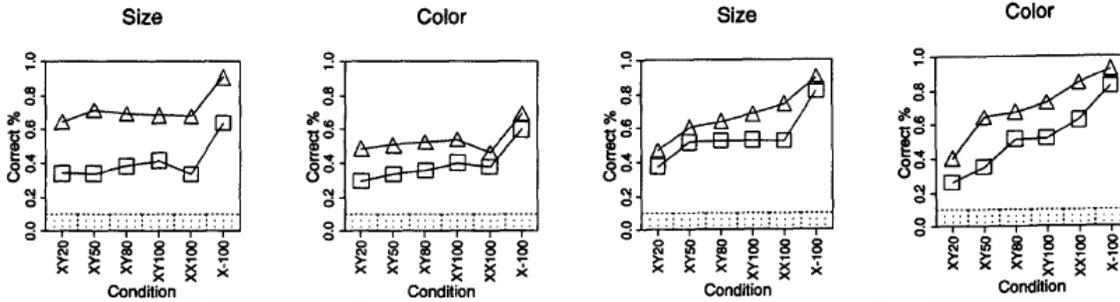


圖 3-29 RSVP 實驗一與實驗二結果比較圖(Shih & Sperling, 1996)

「注意力過濾相對效能出現負值」是因為發生 $P(XX) > P(XY)$ 的現象，尤其以顏色特徵的實驗更為顯著。而「視覺特徵對注意力的引導效果顯著」可從提示正確率越高，目標偵測正確率就越高這個實驗結果得到驗證。

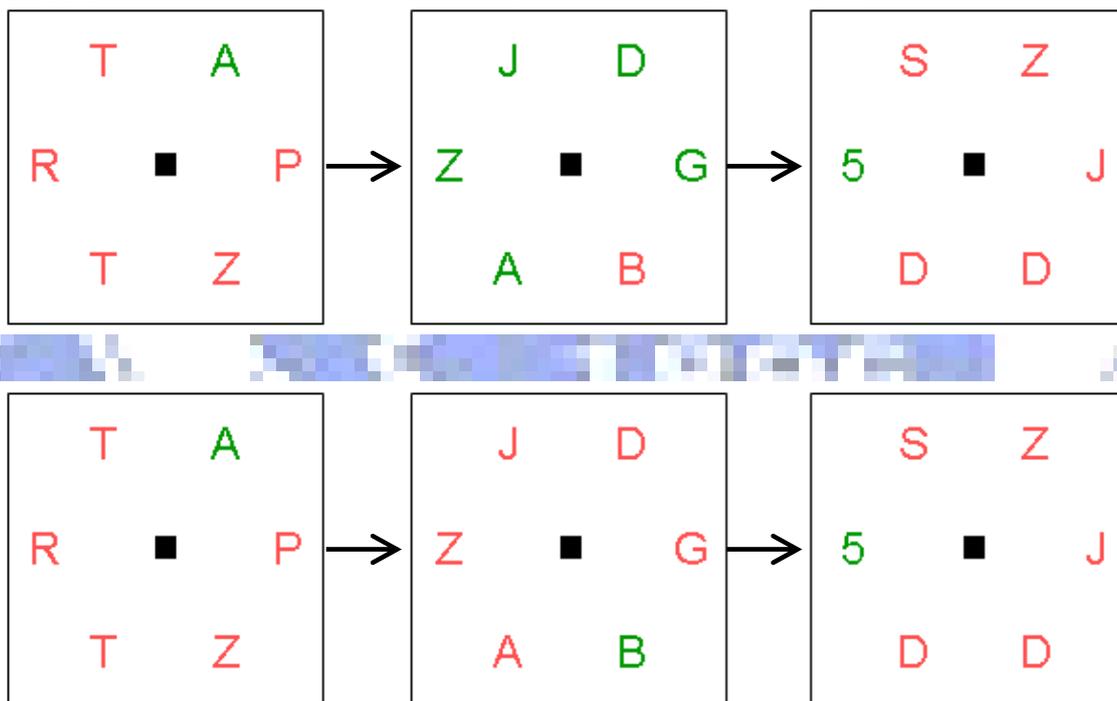


圖 3-30 引導表徵的快速切換可能影響搜尋的效能

Shui-I Shih 與 George Sperling 的 RSVP 實驗結果支持引導搜尋理論(Shih & Sperling, 1996)。若從引導搜尋理論的角度來看，給予受測者提示相當於 Top-Down Guidance，而獨特物件 (odd item) 則相當於

Bottom-up guidance。如果兩種 Guidance 都能正確引導注意力投注在目標物，則搜尋作業會有很好的效能。至於 $P(XX) > P(XY)$ 則有可能是因為 $P(XY)$ 會因畫面切換到 Y 時的 Bottom-up guidance (red) 干擾到了下一個畫面目標物的 Guidance (green)。

三、由下而上的引導表徵 (Bottom-Up guidance)

控制訊號的產生可能是由下而上 (Bottom-Up)，亦可能是由上而下 (Top-Down)。由下而上的引導表徵 (Bottom-up Guidance) 是因「局部強烈對比」而產生的，目標物如果與其周圍的物件差異越大，就越能引起注意。例如圖 3-31 中，雖然有五個垂直線段，卻只有一個是畫面中的突出點，此物件的活化 (activation) 程度最高。

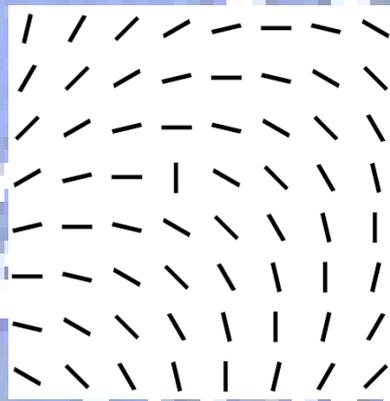


圖 3-31 局部對比產生由下而上的引導表徵(J. M. Wolfe, 2006)

目標物在顯示畫面中的活化程度主要受兩個因素的影響：

- (1) 對比性：目標物與干擾物在哪一種視覺特徵存在最大的差異（例如顏色或方向）
- (2) 局部性：與目標物越接近的干擾物，其與目標物的視覺特徵差異比距離目標物較遠的干擾物更具影響力。

在引導搜尋理論中，畫面內的每個物件a都可以計算其活化程度，計算方式如下：(J. M. Wolfe, 2006)

$$\text{Bottom-up activation} = \sum_{b=1}^{\text{setsize}} \frac{\max[(Ch_1(a) - Ch_1(b)) \dots (Ch_n(a) - Ch_n(b))]}{d_{ab}}$$

其中 $d_{ab} = \sqrt{ab}$ ， $Ch_n(b)$ 指的是第 n 個視覺特徵維度的量化值，例如方向角度或長度。

四、由上而下的引導表徵 (Top-Down Guidance)

在局部對比不明顯的畫面中，視覺搜尋仍然可藉由「強調」所需要的視覺特徵而加快。如圖 3-32 雖然不存在畫面突出點，但若要求找出水平的線段，我們仍能很快的找出七個水平線段的所在位置(J. M. Wolfe, 2006)。此時管控選擇性瓶頸的控制訊號並不只單純涉及畫面中的視覺訊息，更直接和我們所需要的目標物特徵有關。

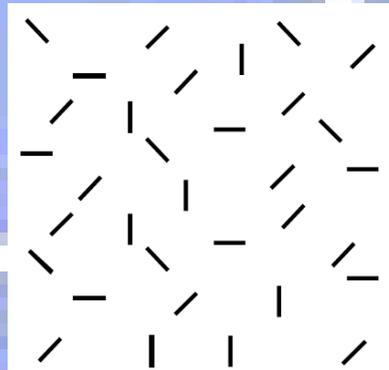


圖 3-32 由上而下的引導表徵

由上而下的引導表徵主要偏重於「目標物特有的特徵」，而忽略「目標物與干擾物共有的特徵」。例如，若要在—群黃色垂直線段中找尋向右傾斜 22 度的橘紅色目標線段，且其線段長度都一樣長。此時引導表徵會強調「紅色」以及「向右傾斜」，因為只有目標線段具有紅色成分，也只有目標線段為向右傾斜(J. M. Wolfe, 2006)。然而「線段長度」不會被當成引導表徵，因為目標物與干擾物的線段長度一樣。

五、活化圖 (The Activation Map)

綜合 Bottom-Up Guidance 以及 Top-Down Guidance 兩種引導表徵，我們可計算畫面中每個物件的活化程度 (Activation)，並藉此分析注意力在畫面上的分布狀況。綜合的活化程度計算方如下：

$$\text{某物件活化程度} = [wt(BU)] + \sum^{Channels} [wt_{ch}(CH)] + noise$$

其中 $wt(BU)$ 指的是此物件在 Bottom-Up Guidance 的活化程度權重值

$\sum^{Channels} [wt_{ch}(CH)]$ 指的是所有具備 Top-Down Guidance 特性的視覺特徵之權重值

Noise 指的是雜訊的權重值

若 $wt(BU) = 0$ ，代表分析的時候可以將畫面中與搜尋目標不相干的突顯點加以忽略。值得注意的，引導搜尋理論並不允許 $wt(BU) = 0$ 。

六、現象解釋

Target may be easy to identify but hard to find :

目標物可以很容易的被辨認，但卻很難被找到。例如「T」和「L」很容易加以區分，但是在一群「L」中要找到「T」卻不容易。在此陳述的T和L都能夠自由轉動，在L的相似性降低之後，T不易被找到；若T和L方位固定，則T仍然可以很快找到(Duncan & Humphreys, 1989)。

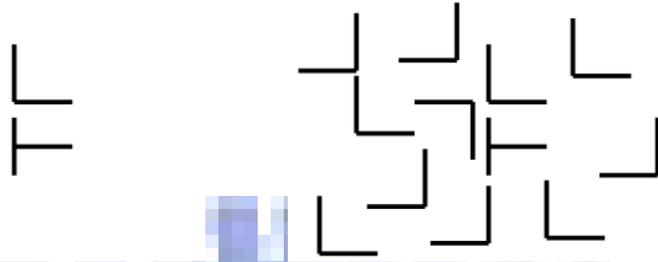


圖 3-33 容易辨認卻不易被找到的 T

左圖的 T 可以很容易辨認，卻不易在右圖被找到。引導搜尋理論認為這是因為右圖缺乏有效的引導表徵，研究亦建議「Intersection」不應被認為是基本特徵(Jeremy M Wolfe & DiMase, 2003)。

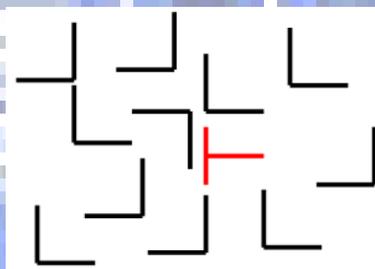


圖 3-34 容易被找到的 T

同樣是 L 和 T，如果把 T 的顏色改成紅色，則 T 不僅很容易和 L 區分，也很容易從一群黑色 L 中找到紅色 T。這是因為「顏色」是有效的引導表徵(J. M. Wolfe & Horowitz, 2004)。

Change blindness :

受測者觀看兩張交互切換且幾乎相同（但存在某些差異）的影像畫面時，往往無法辨認出兩者的不同，即使兩者的差異頗大(Rensink & O'Regan, 1997)。這個現象被稱為「改變盲」效應（Change blindness）。

改變盲效應支持了引導搜尋理論的「選擇性瓶頸」架構，只有部分受測者認為較重要或是有意義的視覺訊息才能通過選擇性瓶頸。被認為不重要的訊息因為無法通過選擇性瓶頸（selective bottleneck），很快的就會從視像記憶中消退。改變盲除了證實選擇性瓶頸的存在，也讓我們了解到辨識畫面的改變是需要注意力的(Rensink & O'Regan, 1997)。



圖 3-35 改變盲效應 Change blindness (MacAskill, 2004)

Change blindness 強調能通過選擇性瓶頸的訊息非常少，甚至有時只有一個。然而，這並不是所有視覺訊息被處理的唯一模式，有時畫面中會有一群視覺訊息一起通過選擇性瓶頸，這是由於另一類引導表徵的控制作用，而這群訊息並不必然和畫面的主旨及意義有關。例如在同一個例子中，我們將畫面改變的地方以紅色圓圈引導後，即可順利地通過選擇性瓶頸，被受測者辨認出來（如圖 3-36）。



圖 3-36 紅色圓圈成爲引導表徵(MacAskill, 2004)

第四節 注意力投注理論

一、理論架構

注意力投注理論（attentional engagement theory）探討視覺注意力如何受到顯示畫面中相關訊息之牽引與影響，由 Duncan 與 Humphreys 提出(Duncan & Humphreys, 1989)。此理論基於某些結合搜尋速度非常快，進而提出與特徵整合論不同的觀點。從特徵整合論來看，「T」和

「L」同時擁有水平線和垂直線，故在一群「T」中搜尋「L」無法從單一的特徵圖加以區分，因此這個搜尋作業將執行序列式結合搜尋，搜尋目標所需時間應隨著干擾物的增加而變長。然而實驗卻發現上述的搜尋作業速度非常快（如圖 3-37），這和特徵整合理論的預測有明顯的差異(Duncan & Humphreys, 1989)。由此可知除了刺激物的視覺特徵之外，還存在其他影響搜尋速度的重要因素，即目標物與干擾物的相似程度（T-N similarity）以及干擾物之間的相似程度（N-N similarity）。

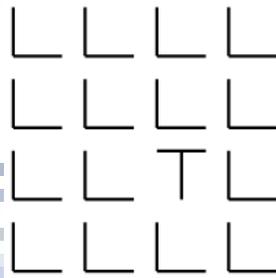


圖 3-37 快速的結合搜尋

經過實驗後，Duncan 與 Humphreys 歸納了四個一般性的重要原則 (Duncan & Humphreys, 1989)：

1. 搜尋效率在實際作業狀況與條件的影響下呈現多樣的變化，視覺搜尋作業無法明顯的區分為序列式和平行式的處理歷程。
2. 當T-N similarity 增加時，搜尋效率降低。
3. 當N-N similarity 降低時，搜尋效率降低。
4. 當N-N similarity 很高時，增加T-N similarity 所導致的降低搜尋效率之影響相對較小；當T-N similarity 很低時，降低N-N similarity所導致的降低搜尋效率之影響相對較小。

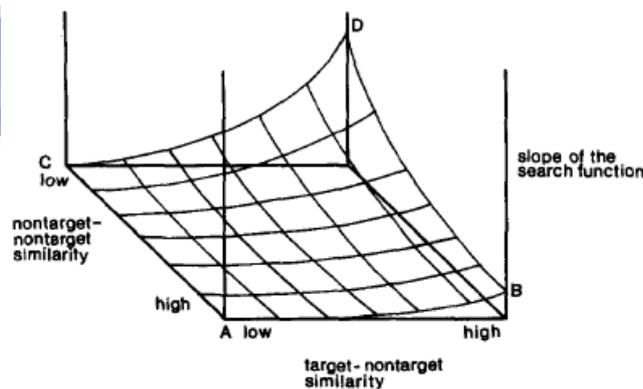


圖 3-38 搜尋效率曲面分析圖(Duncan & Humphreys, 1989)

值得注意的，當目標物與干擾物的差異很大時，提高干擾物之間的相似並不會增加搜尋的難度；另一方面，當干擾物之間非常相似時，提高目標物與干擾物的相似程度仍會增加搜尋的難度。搜尋難度最低的狀況發生在T-N similarity最低，而且N-N similarity最高的視覺搜尋作業(Duncan & Humphreys, 1992)。

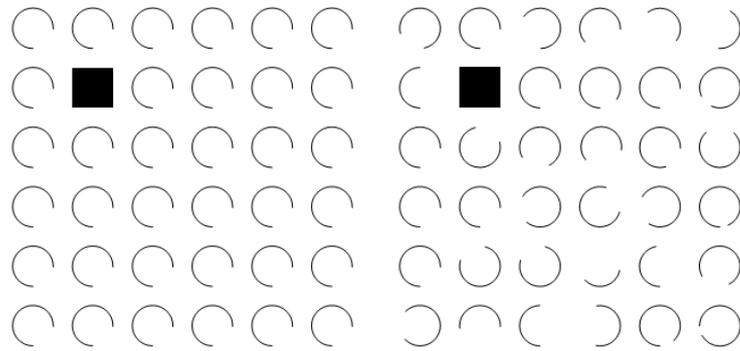


圖 3-39 目標物與干擾物具有明顯差異，搜尋作業速度很快

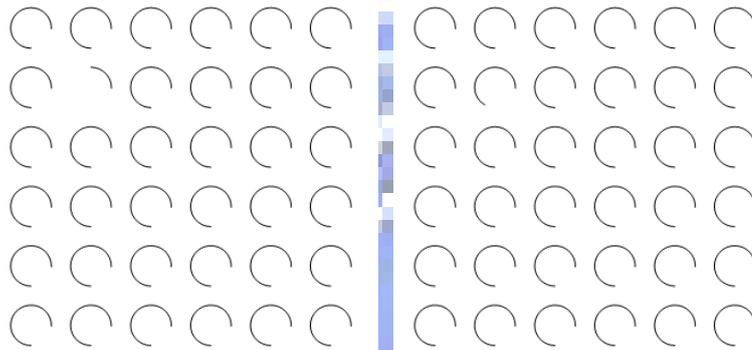


圖 3-40 干擾物之間非常相似，搜尋作業速度較慢

注意力投注理論認為視覺搜尋具有三個主要階段：「知覺描述階段」、「選取階段」與「進入 VSTM 階段」。

二、知覺描述階段 (perceptual description)

一個平行的初始階段，由輸入的視覺訊息產生可區分等級的表徵結構，並且每個可區隔的部分都能依搜尋作業的需要立即選取。例如，「同一英文單字內」字母之間的關係比「不同英文單字內」字母之間的關係來得重要，這就產生了重要性等級不同的表徵結構。而某個部份可以從整體區隔出來，可能是依顏色、大小或形狀特徵加以分類的

結果。能否有效區隔的關鍵在於「部份」內的視覺訊息是否符合格式塔群化原理（Gestalt grouping），或是每個部份之間是否具有明顯的邊界。注意力投注理論將被區隔的各個部分稱為結構單元（structural units）（Duncan & Humphreys, 1989）。

三、選取階段（selection）

選取階段關注的是視覺搜尋作業中各個結構單元被存入「視覺短期記憶 VSTM（visual short-term memory）」的速度與機率。從視覺歷程的角度來看，VSTM 指的是訊息已經從視像記憶（iconic memory）進入工作記憶（working memory），而尚未存入長期記憶。在 Sperling 提出的短期記憶模型中，視覺訊息先通過一個平行處理的掃描（scan）階段，之後有限比例的訊息會進入辨認緩衝記憶區（recognition buffer-memory），然後進入複誦（rehearsal）階段（Sperling, 1967）。

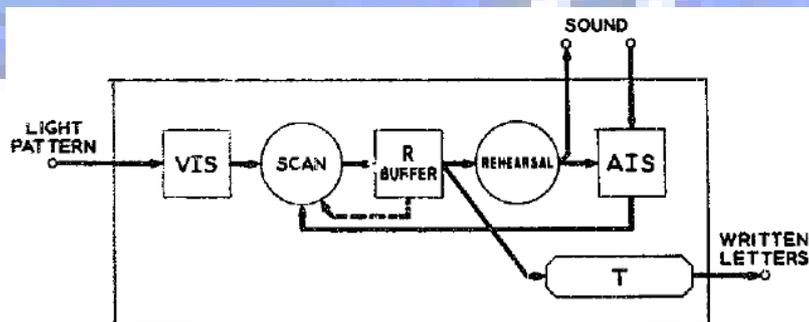


圖 3-41 Sperling 的短期記憶模型(Sperling, 1967)

此外，Baddeley 工作記憶模型中提出視覺空間描繪版（visuo-spatial sketchpad）、語音迴路（phonological loop）、中央執行器（Central executive）三個主要觀念，其中視覺空間描繪版的主要功能是暫存與重現某個受關注的視覺或空間的訊息（Baddeley, 1997），此亦涉及 VSTM 所探討的範疇（如圖 3-42）。

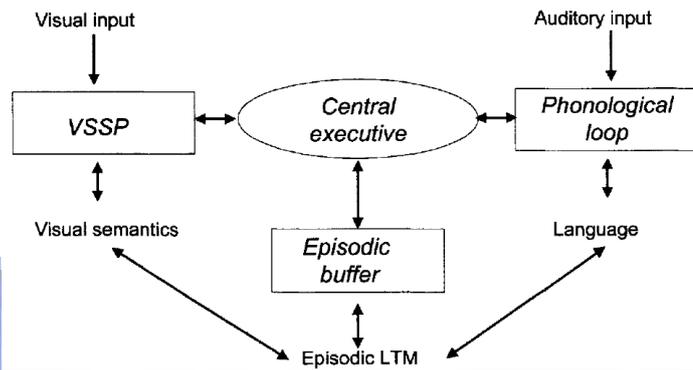


圖 3-42 Baddeley 工作記憶示意圖，引自(Schneider *et al.*, 2006)

雖然初始的「知覺描述階段」是採用平行的方式將輸入的視覺訊息區分成各個結構單元，然而能夠進入 VSTM 的結構單元數量是有限的。注意力投注理論認為這是因為 VSTM 容量有限，注意力資源會被分配在所有正在輸入的結構單元，如果某一個結構單元被分配的資源越多，則這個結構單元進入 VSTM 的速度和機率就會增加。

注意力資源的分配是相互競爭的，對於某個結構單元分配較多的資源會造成其他結構單元資源變少。為了解釋此現象，注意力投注理論建議每個結構單元都具有一個權重值 (weight)，此權重值可以反映出各個結構單元競爭資源的能力，並且探討的重點是在權重值之間的相對關係。即使每個單元的權重值都變大了，只要各單元間的相對關係不改變，就不會影響其資源競爭力(Duncan & Humphreys, 1989)。

假設各個結構單元在一開始的權重值是相同的，注意力被均勻地分配到各個單元。搜尋作業的關鍵是如何變更各個結構單元的權重值，使得注意力盡可能配置到權重值最大的結構單元，前者往往很可能是目標所在的位置。權重值的調整方式與當前意識關注的事物有關，視覺會被某些特別受到關注的訊息所指引，這些訊息可能僅是單一的屬性，例如位置、顏色，也可能是多重的屬性(Duncan & Humphreys, 1989)。注意力投注理論將這些具有引導力的視覺訊息稱為「資訊搜索樣板」(a template of the information sought)，當結構單元越能符合資訊搜索樣板的條件，其權重值就會增加；反之，若無法符合，權重值就會降低。

在視覺搜尋作業中，相似度很高的干擾物經常會同時被排除（在一群正方形中搜尋一個三角形，正方形會同時被排除，如圖 3-43），

這是因為在知覺描述階段所產生的結構單元若彼此間的描述資訊（description）相似，則某個單元的權重值變更就會立即牽動其他相關單元的權重進行類似的變更，此現象稱為權重連結（weight linkage）。

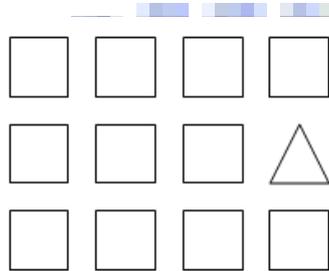


圖 3-43 相似度很高的干擾物經常會同時被排除

「權重連結」效應突顯了各個結構單元雖然可被變認為不同的部份，仍然會因為描述資訊的高度相似而引發知覺群化的作用。這可以說明為什麼相似的干擾物會如此有效率的同時被抑制，學者稱此為延伸性抑制（spreading suppression）(Duncan & Humphreys, 1989)。另一方面，權重連結讓我們了解到權重值的改變往往是整組被群化的結構單元一起改變，幾乎不會有在某個群組內單一結構單元獨自變更權重值的現象。

歸納前述，選擇階段的兩大重點如下：

- (1) 結構單元越能符合資訊搜索樣板的條件，其權重值就會增加；反之，若無法符合，權重值就會降低。
- (2) 任何結構單元的權重值發生改變，隨即會影響同一群組所有單元的權重值進行類似的改變。

四、進入 VSTM 階段（visual short-term memory）

當某個結構單元進入 VSTM 時，此單元亦是目前知覺關注的焦點。因為 VSTM 容量有限，所以填滿後必須經過釋放才能再次填入。VSTM 的有限性可以從 Sperling 實驗發現 recognition buffer-memory 大約可儲存三到四個物件得到證實(Sperling, 1967)。另外，Loftus 的研究發現凝視圖片某個點的凝視時間和圖片包含的視覺特徵是否容易辨認有關，容易辨認特徵的圖片每個凝視點所需的凝視時間較短，而且可

獲得較多的訊息；相反的，不易辨認特徵的圖片每個凝視點則需要較多的凝視時間(Loftus, 1981)。注意力投注理論認為這可能是因為開始凝視某個點後，結構單元也開始輸入 VSTM，直到凝視點轉移到別處時，VSTM 才得以釋放。並且，越難辨認的結構單元會耗費較多的時間才能填滿 VSTM，這也解釋了不易辨認特徵的圖片其凝視時間較長的現象。因此結構單元進出 VSTM 有兩個主要程序：「平行程序(parallel element)」和「序列程序(serial element)」(Duncan & Humphreys, 1989)。平行程序指的是每一次的凝視將資訊填入 VSTM 的方式是非常快速而近乎平行的，序列程序指的是 VSTM 的填入與釋放是在一次又一次的凝視與視線轉移中以序列的方式進行。就在目標物所在的結構單元被凝視而進入 VSTM 並且加以辨認其描述資訊 (description) 的同時，目標搜尋作業就完成了。

目標物的權重值越高，投注在目標物的注意力越多，則目標物越容易被搜尋到。各個結構單元的權重值影響注意力的配置，而影響權重值的主要因素是「交互選擇相似性」(interalternative similarity) 以及「顯示畫面內部相似性」(within-display similarity) (Duncan & Humphreys, 1989)。

五、交互選擇相似性 (interalternative similarity)

交互選擇相似性 (interalternative similarity) 關注的是畫面中所有刺激物之描述資訊與資訊搜索樣板的相似程度對搜尋作業的影響。若要增加搜尋作業的效率，有效的兩個策略是 (1) 增加目標物與樣板的相似性 (2) 降低干擾物與樣板的相似性。在一個搜尋作業中，若存在簡單的資訊搜索樣板對目標與非目標有很強的區別力，則交互選擇相似性較低；若資訊搜索樣板的區別力很弱或是需要複雜的樣板才能區別目標與非目標 (需比對多個視覺特徵)，此時交互選擇相似性較高。

資訊搜索樣板區別目標物與干擾物的關鍵條件往往發生在目標物與干擾物共有而且差異明顯的某個特徵，例如在一群長度較短的線段中搜尋某個特別長的線段。當干擾物與資訊搜索樣板差異很大時幾乎不會吸引注意力資源，目標搜尋時間與顯示畫面大小無關，否則干擾物必然會減少分配給目標物的注意力資源。因為干擾物的權重由他們的「描述資訊 (description)」與「資訊搜索樣板 (template)」相符合

的程度來決定，若目標物與干擾物相似程度越高，也就造成干擾物越能符合資訊搜索樣板的條件，最終造成所有的干擾物權重偏高，此推論與高 T-N similarity 會降低視覺搜尋效率的實驗結果一致。

高度 T-N similarity 會減慢搜尋的速度，其主因並非「干擾物描述資訊」與「資訊搜索樣板」過於相似所導致的比對困難。注意力投注理論認為，關鍵的因素是每個相似於目標物的干擾物都會分散注意力資源。若我們提高目標物的權重值，同時也就提高了干擾物的權重值；若降低干擾物的權重值，也會同時降低目標物的權重值，最後注意力資源仍舊因干擾物的影響而分散。視覺搜尋速度的關鍵在於資訊搜索樣板對目標與非目標的區別能力，亦即「交互選擇相似性」的高低（interalternative similarity）(Duncan & Humphreys, 1989)。

N-N similarity 也會影響交互選擇相似性。當干擾物之間的異質性過高（N-N similarity 降低）時，視覺搜尋效率也會降低。注意力投注理論對此有兩種解釋(Duncan & Humphreys, 1989)：(1) 由於所有待搜尋物件的異質性增加，也就無法以少數幾個視覺特徵來區隔目標物與干擾物，這將造成資訊搜索樣板的複雜度提高。由於每個干擾物描述資訊與資訊搜索樣板比對時需要檢查好幾個視覺特徵，將造成比對緩慢的後果。(2) 如果不增加資訊搜索樣板的複雜度，而試圖以較單純的視覺特徵區分目標物與干擾物，在搜尋的過程中，增加此視覺特徵的權重值將會連帶增加許多不相干的干擾物之權重值；想要減少干擾物的權重值也很可能會不小心減少目標物的權重值，這是因為干擾物的高度異質性導致目標物與干擾物共有的視覺特徵雜湊其間。資訊搜索樣板區別力的不足隨之而來的就是「交互選擇相似性」大為增加，搜尋速度降低。

我們以一個實例來說明交互選擇相似性：若刺激物是長 3 公分的線段，樣板 A 的條件是小於 2.5 公分的線段，樣板 B 的條件是小於 2.5 公分且大於 1.5 公分的線段。在此情形下，刺激物與樣板 A 的交互選擇相似性較低，而刺激物與樣板 B 的交互選擇相似性較高。這是因為 3 公分符合樣板 B 部份條件的緣故(Duncan & Humphreys, 1989)。

六、顯示畫面內部相似性 (within-display similarity)

權重連結效應 (weight linkage) 說明了結構單元彼此間的描述資訊 (description) 相似時，變更某個單元的權重值會立即牽動其他相關單元的權重值作類似的改變。然而，這種共變性的強度在不同的搜尋作業中仍有不同。當權重連結效應強度很高時，往往能夠引發延伸抑制 (spreading suppression) 將干擾物很快的加以排除。影響權重連結效應的關鍵因素就是顯示畫面內部相似性 (within-display similarity)。

顯示畫面內部相似性關注的是干擾物之間描述資訊的相似程度，描述資訊越相似，顯示畫面內部相似性越高。Duncan 的四色刺激物實驗證實了 within-display similarity 對注意力投注理論的必要性。在四色刺激物實驗中，Duncan 使用了 (1) 綠色 (2) 黃色 (3) 橘色 (4) 紅色四種刺激物，並設計兩種搜尋作業加以對照。其一是將 1-4 當作目標物，2-3 當作干擾物；另一種是將 2-3 當作目標物，1-4 當作干擾物。實驗結果發現將 1-4 當作目標物，2-3 當作干擾物的搜尋速度明顯較快。

由於只是目標物與干擾物的角色互換，刺激物本身並沒有改變，資訊搜索樣板區別兩者的難度應是相同的。這個推論也表示只靠交互選擇相似性並無法解釋上述兩個搜尋作業速度不同的原因，顯示畫面內部相似性的影響必須被加以考慮。

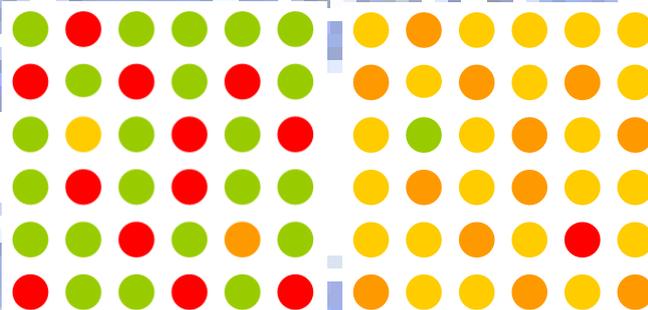


圖 3-44 顯示畫面內部相似性的實例

干擾物間的描述資訊越相似，顯示畫面內部相似性越高，權重連結效應就會越強。知覺的群化作用會讓視覺搜尋作業在排除一個干擾物時，也同時排除與此干擾物同一群組的所有干擾物。

T-N similarity 對搜尋作業的影響也和顯示畫面內部相似性有關。當 T-N similarity 提高時，目標物與干擾物之間的權重連結也會增強，造成了若提高目標物權重隨即牽動干擾物權重的後果。這突顯了一個重要的觀念：引發有效的延伸抑制作用（spreading suppression）之重要條件是「干擾物-干擾物」的群化要比「干擾物-目標物」的群化更加強烈(Duncan & Humphreys, 1989)。

七、現象解釋

Homogeneity Coding :

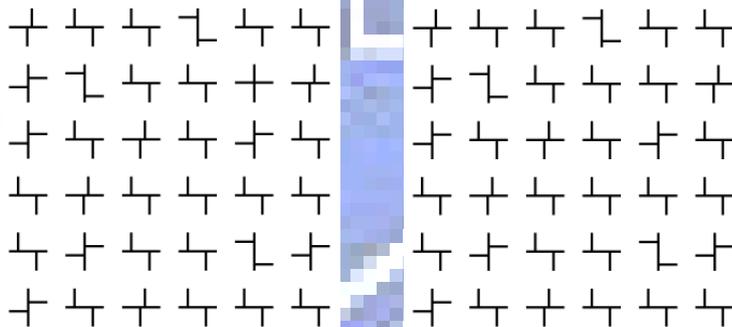


圖 3-45 在左圖發現目標物「十」比確認右圖不含目標物「十」更容易

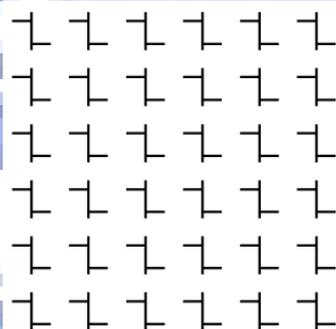


圖 3-46 Homogeneity Coding 使得「目標物缺乏」的確認速度非常快

視覺搜尋的實驗經常有兩種呈現方式：「目標物存在（target present）」與「目標物缺乏（target absent）」。在目標物存在的實驗中，受測者在所有的刺激物中找尋目標物；在目標物缺乏的時驗中，受測者檢視所有的刺激物並判斷是否存在目標物。一般而言，搜尋存在的

目標物比確認整個畫面不存在目標物所花費時間較少，這是因為確認目標物不存在需要檢查所有的刺激物後才能確定，此亦被稱為具有自我終結性（self-terminating）的序列搜尋(Treisman & Souther, 1985)。

確認目標物缺乏的工作並不總是比較慢，尤其是當所有的刺激物都高度相似，甚至是完全相同的特殊狀況（如圖 3-46）。關於同質性干擾物（homogeneous nontargets）的研究顯示，「確認目標物缺乏」甚至可能比「搜尋存在目標物」的速度更快(Humphreys et al., 1989)。此外，同質性干擾物的總數增加時，受測者的回應時間有更加減少的趨勢（速度更快）。這表示受測者的搜尋策略不再是一一檢測所有的刺激物，注意力投注理論將這個特別的現象稱為同質性編碼（Homogeneity Coding）。

Homogeneity Coding 的現象發生時，受測者會將所有相同的刺激物整個合起來當成一個結構單元（structure unit），然後與資訊搜索樣板（template）比對一次就可以確認整個 Homogeneity Coding 的結構單元是否符合 template 內的描述資訊。因此在同質性編碼的狀況下，經過一次的比對就能很快的確認目標物是否存在。

對於已知存在目標物的搜尋工作，Homogeneity Coding 也能加快搜尋速度(Duncan & Humphreys, 1989; Humphreys et al., 1989; Meinecke & Donk, 2002; Schubo *et al.*, 2007)。如圖 3-47，在一群垂直線段中找到傾斜的目標線段只需花費很少的時間。

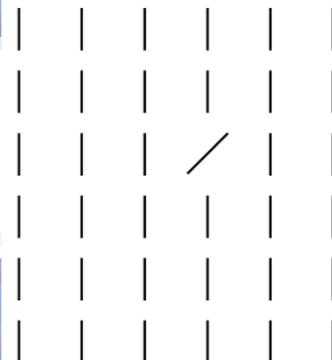


圖 3-47 Homogeneity Coding 也能加快已知目標物的搜尋

Homogeneity Coding 可以將目標物以外的所有鄰近且相同的干擾物視為同一個 structure unit，除了能大幅降低比對的次數，還能因目標

物與干擾物的視覺差異造成兩者之間顯示出區隔的邊界(Duncan & Humphreys, 1989) (如圖 3-48)。如果所有的干擾物都完全相同，則 Homogeneity Coding 將造成整個畫面唯一具有區隔邊界的地方就是目標物的所在地。因此，受測者在辨認此唯一的區隔邊界時，同時會發現目標物就在此邊界的內部 (如圖 3-48)。

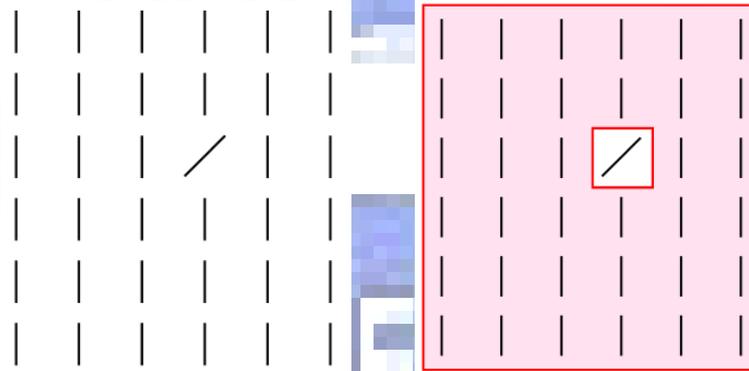


圖 3-48 Homogeneity Coding 能突顯目標物與干擾物的區隔邊界

雖然 Homogeneity Coding 發生的條件是干擾物完全相同，但是「群化的異質範圍」(grouped heterogeneous context) 也有類似的作用。在圖 3-49 中搜尋傾斜的目標線段仍然非常快速，因為垂直線段會群化成為一個結構單元，水平線段會群化成另一個結構單元，而傾斜的線段和水平線段所造成的區隔邊界還是非常明顯的。

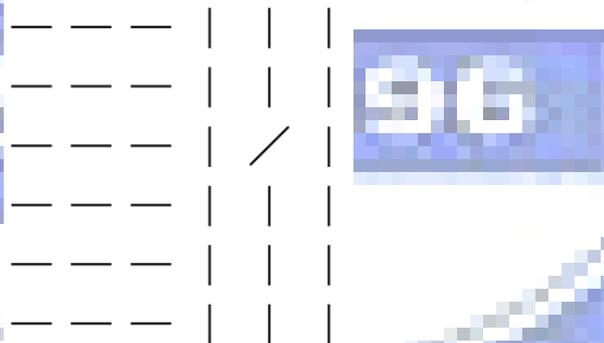


圖 3-49 群化的異質範圍中搜尋仍然很快

Homogeneity Coding 可說是群化作用非常明顯的特例。一般來說，當「干擾物之間的群化作用」大於「目標物與干擾物的群化作用」時，就有機會進行結構單元的整合以及異質邊界的區隔。「群化作用」

(Mechanisms of Grouping) 是注意力投注理論所關注的一個焦點，其認為不論是單一特徵的特徵搜尋，或是多重特徵的結合搜尋，都有可

能會發生群化程序 (Grouping Processes in Visual Search) (Humphreys et al., 1989)。

第五節 偵測突出目標物

偵測突出目標物 (Detecting pop-out target) 的研究關注於突出目標物的偵測為什麼如此有效，並深入分析其效能和顯示畫面大小的關係。回顧前注意處理歷程的介紹，視覺系統對於某些視覺特徵的辨識具有自動化、不需集中注意力的特性，這一類的視覺特徵被稱為基本特徵 (elementary feature)。進一步的，若目標物具有某個能輕易區分目標物與干擾物的基本特徵，則此目標物即可稱為「突出目標物」 (pop-out target)。

引導搜尋理論認為視覺系統在前注意處理歷程中會選取某些視覺特徵作為「引導表徵」 (guiding representation)，此表徵在搜尋的過程中是決定訊息能否通過「選擇性瓶頸」的控制訊號，並且有效的引導表徵經常發生在目標物與干擾物具有顯著特徵差異的時候。從這個角度來看，「突出目標物」就是因為包含了會被選取成為引導表徵的視覺特徵，並且這個引導表徵是有效的，才會擁有如此快的搜尋速度。值得一提的，並非所有的視覺特徵都能提取出有效的引導表徵，例如圖 3-50 中「紅色」的 5 以及「比較大」的 5 都是突出目標物，而 2 就不是突出目標物 (J. M. Wolfe & Horowitz, 2004)。

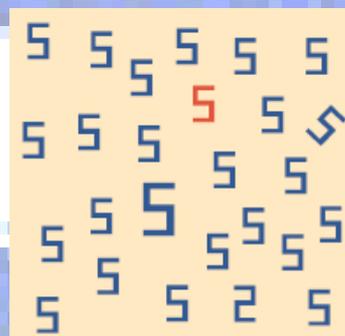


圖 3-50 紅色以及大小是有效的引導表徵，5 和 2 的形狀差異則不是 (J. M. Wolfe & Horowitz, 2004)

關於哪些視覺特徵能夠引發有效的引導表徵，我們將在下一章探討。現在，我們關注於突出目標物的搜尋作業如此有效率的理論因素。

突出目標物所引發的引導表徵在引導搜尋理論中被歸類為由下而上的引導型態 (Button-up Guidance)，是因「局部強烈對比」而使得目標物具有很高的活化程度，越高的活化程度也就越能吸引注意力，活化程度影響注意力的分布是引導搜尋理論模型的重要觀念。

從另一個角度出發，許多研究關心的是視覺系統對於突出目標物所採取的搜尋策略。Meinecke 和 Donk 設計了一個關於「目標物偵測效能」與「顯示畫面大小 (刺激物數量)」以及「視角 (視網膜離心度 eccentricity)」的實驗，發現顯示畫面由 2 個刺激物增加到 81 個刺激物的過程中，目標偵測的效能是先減少後增加，而且若目標物所在位置的視角越大，則這個變化的趨勢越顯著 (Meinecke & Donk, 2002)。學者將此先減少後增加的變化稱為「非單調變化」(nonmonotonic)，解釋如下：

1. 顯示畫面開始增加 (刺激物增加) 時，偵測效能降低：

造成偵測效能降低的原因被稱為「側抑制」(lateral masking) 或是「擁擠效果」(crowding effect)。在大小相同的視野中，顯示畫面越大 (刺激物越多)，則刺激物之間的距離會越小，這會造成單一物件辨識效能降低，也就減緩了整體偵測的速度 (Meinecke & Donk, 2002)。

2. 之後隨者顯示畫面的增加 (刺激物增加)，偵測效能升高：

同樣的，因為視野大小不變，所有刺激物之間的距離會越來越小。這會讓視覺搜尋作業越來越像「質感區隔」作業。隨著刺激物的增加，受測者越來越能夠使用質感辨識的機制來尋找目標物，所以偵測效能升高 (Meinecke & Donk, 2002)。另外，也有學者認為干擾物的密度才是關鍵因素。因為干擾物的密度增加，使得所有的干擾物因為接近律而產生群化作用 (mechanism of grouping by proximity)，造成了目標物容易被區隔與偵測出來 (Bacon & Egeth, 1991)。

視角越大，則「非單調變化」(nonmonotonic) 的趨勢越顯著的原因是，因為視覺敏感度最好的地方是視網膜中央小窩 (foveal)，視網膜周圍 (periphery) 敏感度較低。目標物所在位置的視角越高，代表目標物會離視網膜中央小窩越遠，視網膜對其敏感度越低。這將導致

「橫向遮罩作用 (lateral masking)」、「質感區隔 (texture segmentation)」以及「干擾物群化作用 (grouping by proximity)」的效果更加明顯 (Meinecke & Donk, 2002)。進一步的，從實驗數據發現，刺激物從 2 個增加到 49 個，並且目標物之視網膜離心度較高時，「目標偵測效能降低效應」較為顯著；此外，分析刺激物從 49 個增加到 81 個的過程，「目標偵測效能增加效應」亦只有在「目標物之視網膜離心度較高」時才在實驗數據中顯現出來 (Meinecke & Donk, 2002)。

橫向遮罩作用 (lateral masking) 指的是「目標物的邊界與形狀之辨認」會受到四周干擾物影響的一種現象 (Wertheim *et al.*, 2006)。當刺激物密度越高、刺激物彼此距離越小、距離視網膜中心小窩越遠，橫向遮罩作用就越明顯 (Wertheim *et al.*, 2006)，如圖 3-51。

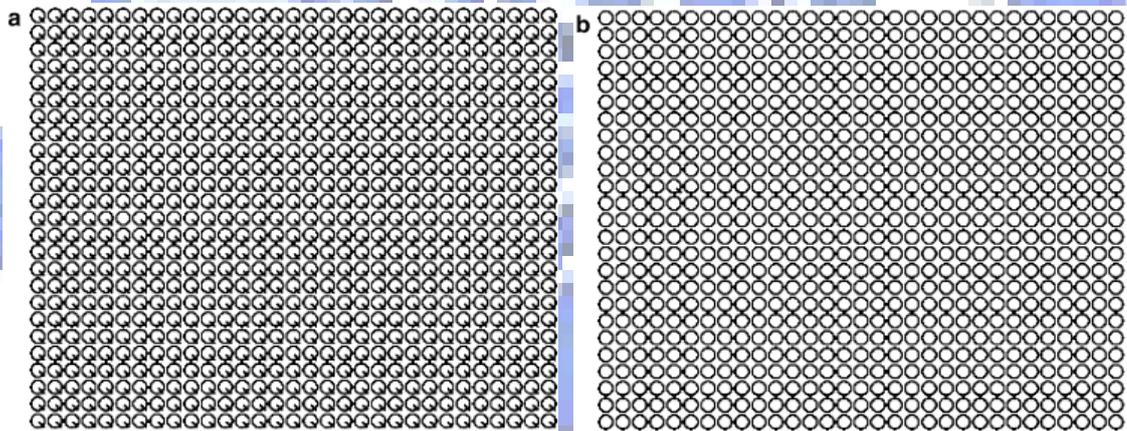


圖 3-51 lateral masking 的實例 (Wertheim *et al.*, 2006)

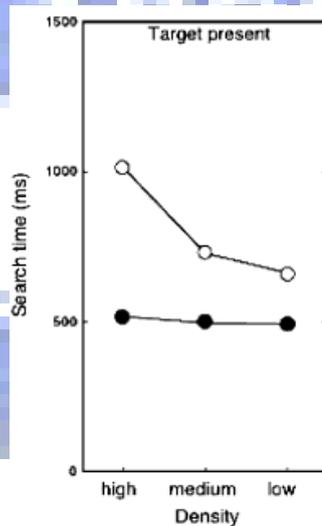


圖 3-52 lateral masking 與刺激物密度有關 (Wertheim *et al.*, 2006)

lateral masking 已經從實驗得到證實，在圖 3-51 (a) 中，目標物是 O，干擾物是 Q，觀察不同的刺激物密度對搜尋時間的影響，所得的結果是圖 3-52 的空心點折線；在圖 3-51 (b) 中，目標物是 Q，干擾物是 O，同樣觀察刺激物密度對搜尋時間的影響，所得的結果是圖 3-52 的實心點折線。從實驗結果我們可發現顯著的搜尋非對稱性，並且此非對稱性隨著刺激物密度增加而更加明顯。此結果表現了刺激物密度越高，lateral masking 效果越強烈。

進一步分析後，Meinecke 和 Donk 提出了關於目標物偵測效率與顯示畫面大小的三個假說：(Meinecke & Donk, 2002)

1. 單一元素假說 (single-element hypothesis)
2. 空間整合假說 (spatial-integration hypothesis)
3. 不規則偵測假說 (irregularity-detection hypothesis)。

一、單一元素假說

單一元素假說 (single-element hypothesis) 認為，由於視網膜敏感度的限制，(1) 刺激物越多時，會因為刺激物之間距離變小而發生橫向遮罩作用。(2) 若目標物與視網膜中央小窩的距離越遠，則因為目標物位於較不敏感的視網膜周圍區域，這也會加強橫向遮罩作用。這兩個因素都會導致單一物件辨識的困難增加，造成目標偵測效能降低。



圖 3-53 單一元素假說

二、空間整合假說

空間整合假說（spatial-integration hypothesis）認為，由於刺激物增加，造成刺激物之間距離變小，如此將有助於質感的區隔與辨認。同時，刺激物數量增加也會導致刺激物散佈在整個視野的範圍變廣，刺激物散佈在「視網膜周圍區」的範圍比「視網膜中心小窩」更大，進而增強干擾物群化作用。由於「質感區隔」以及「干擾物群化」作用的增強，也就提高了目標偵測的效能。

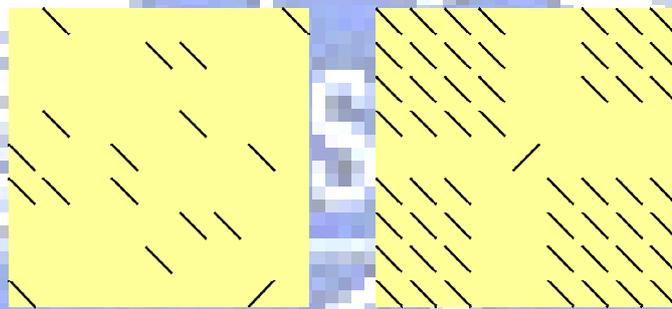


圖 3-54 空間整合假說

三、不規則偵測假說

不規則偵測假說（irregularity-detection hypothesis）認為，視覺系統對於整個視野內的不規則視覺訊息具有感知能力。這是因為從實驗可以發現，當顯示畫面內 81 個位置都被刺激物填滿時，目標偵測的效果最好。由於干擾物都完全一樣，只有目標物所在位置會產生與背景不相同的不規則訊號，所以這種「不規則偵測（irregularity detection）」的感知能力就能夠立即找出目標物的所在位置。

若顯示畫面內 81 個位置內有空位沒被填滿，則這些空位相對於背景也是不規則訊號，視覺系統除了要接收來自不規則偵測感知的所有訊息以外，還要進一步判斷哪一個是目標物所發出的（正確的）不規則訊息，這就會讓整個偵測效能不如完全填滿的情形。

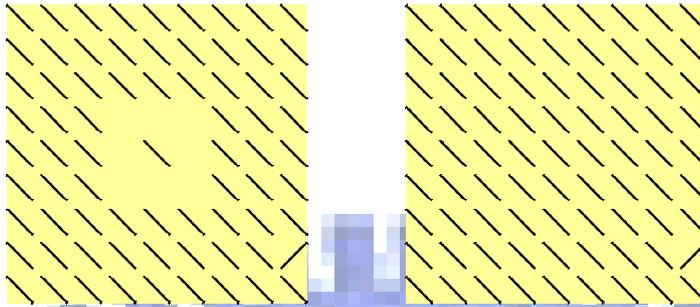


圖 3-55 不規則偵測假說

四、事件相關腦電位研究

事件相關腦電位研究 (ERP study) 支持 Meinecke 和 Donk 的實驗結果 (Schubo *et al.*, 2004)。藉由觀察 N2 波及 P3 波的變化，schubo 等人發現顯示畫面大小 (刺激物的多少) 確實會影響受測者偵測突出目標物所採用的自動化策略 (Schubo *et al.*, 2004)。

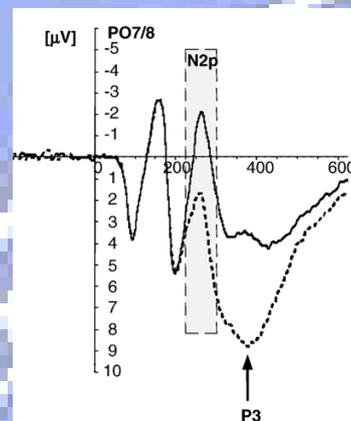


圖 3-56 Target present (虛線) 與 Target absent (實線) 的 N2p 波以及 P3 波 (Schubo *et al.*, 2007)

N2 波是一類「峰狀負偏向波 (fronto-centrally distributed negative deflection)」，可在刺激物出現後約 200 到 300 毫秒內被偵測到。而 N2p (Posterior N2) 則是 N2 波的一種，可在視覺分類與搜尋作業中被發現，並被認為可能涉及視覺系統對刺激物的選取與分類 (Schubo *et al.*, 2001)。而 P3 波則是另一類正偏向波，專指在刺激物出現後 300 到 700 毫秒所呈現的潛伏 (peak latency) 狀態，目前 P3 波被認為和注意力資源以及視覺辨認或搜尋工作的複雜程度有關。

在注意力投注理論中，同質編碼（Homogeneity coding）是一項具有實驗證據的假說。近期的研究中，突出目標物偵測的事件相關腦電位研究也支持同質編碼的說法(Schubo et al., 2007)。比較同質干擾物，群化異質干擾物以及異質干擾物的視覺搜尋作業，確實可以發現三者的 N2p 波以及 P3 波有所不同（如圖 3-57）。

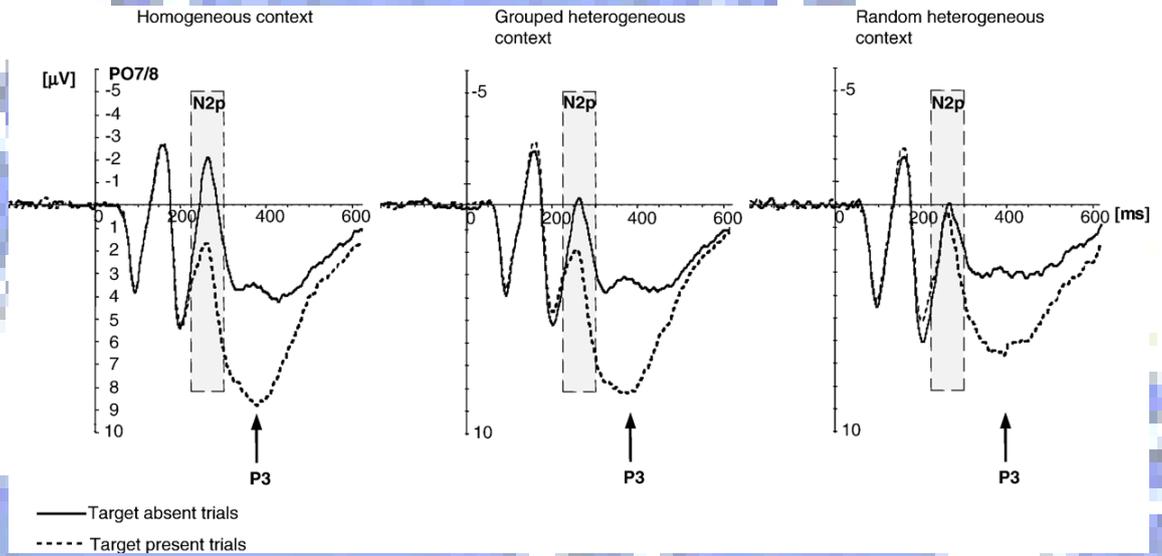


圖 3-57 比較同質干擾物，群化異質干擾物以及異質干擾物的 N2p 波以及 P3 波 (Schubo et al., 2007)

另一個值得注意的是 N2pc (N2-posterior-contralateral) 波。在視覺搜尋作業中，N2pc 波經常是在「目標物」出現後 200 到 300 毫秒伴隨「目標偵測成功」而出現(Eimer, 1996; Schubo et al., 2004)。N2pc 波被認為可以反應出視覺系統執行物件辨認作業時涉及的一些作用，列舉如下：

- (1) 注意力過濾機制抑制干擾物的作用(Schubo et al., 2004)；
- (2) 注意力過濾機制增強目標物的作用(Schubo et al., 2004)；
- (3) 注意力的集中與轉移過程(Schubo et al., 2007)；
- (4) 注意力集中在目標物(Schubo et al., 2004)。

在目標物被干擾物圍繞的情形下，N2pc 波形較大；此外，結合搜尋的 N2pc 波形也比特徵搜尋的 N2pc 波形大(Schubo et al., 2007)。另一個有趣的現象是，在顯示畫面很小或很大的狀況下，都沒有顯著的 N2pc 波。這被歸因於在顯示畫面很小時，搜尋作業非常簡單，並不需要特別集中注意力來辨認目標(Schubo et al., 2004)；搜尋畫面很大時，

搜尋作業並非採用集中空間注意力的策略(Schubo et al., 2004)，而是改採「質感辨識」及「干擾物群化作用」的策略。

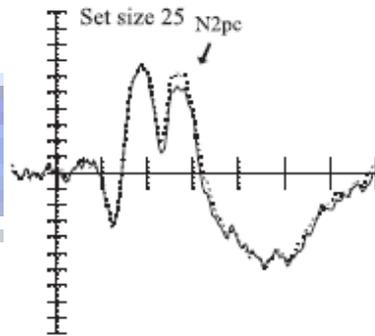


圖 3-58 N2pc 波的實例(Schubo et al., 2004)

N2pc 波可以在對照 target present 以及 target absent 的腦波圖後加以確認，如圖 3-58 在 target present (虛線所示) 實驗中 200 到 300 毫秒時腦波呈現更為強烈的負偏向，此即明顯的 N2pc 波。

N2p、N2pc 以及 P3 波的相關研究已發現了支持「不規則偵測假說」(Schubo et al., 2004)以及「同質編碼」(Schubo et al., 2007)的若干證據，為前一節 Meinecke 和 Donk 所提出的目標物偵測三個假說提供了神經生理方面的實驗支持。

由於「空間整合假說」、「干擾物群化作用」以及「同質編碼」都涉及了「群化作用」(Mechanisms of Grouping)，注意力投注理論與偵測突出目標物的研究也都將群化作用列為影響視覺搜尋速度的重要因素，我們將在下一節探討與引發視覺群化作用的視覺知覺系統—樣式知覺 (pattern perception)。

第六節 樣式知覺

有些視覺訊息進入感官記憶後，能夠很快的被辨認成「樣式」，進而引發注意力的投注並加以分析。樣式知覺 (pattern perception) 涉及視覺注意力「由下而上 (bottom up)」以及「由上而下 (top down)」兩個歷程。由下而上指的是具有樣式特徵的視覺訊息在前注意處理歷

程被辨認為樣式，若此樣式進一步符合由上而下的視覺注意力當下的需求，就會進入視覺工作記憶區(Ware, 2004)。

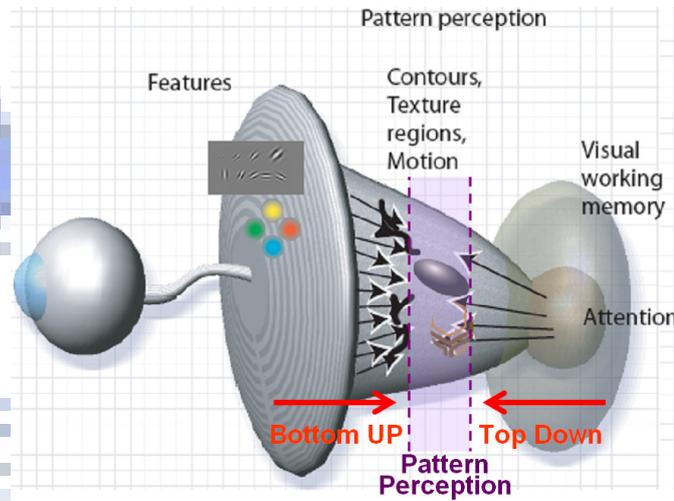


圖 3-59 樣式知覺(Ware, 2004)

樣式對視覺訊息的「群化」與「關聯」非常重要(Ware, 2004)。除此之外，樣式也能引發出關鍵的洞察，這經常出現在對統計圖表趨勢的研判，例如「微笑曲線 (Smile Curve)」、「M 型社會」都是樣式引發洞察思考的例子。

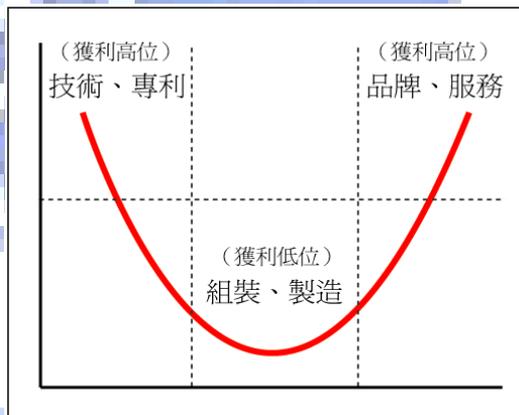


圖 3-60 宏碁電腦的微笑曲線(施振榮, 2004)

樣式雖有助於洞察與思考，而學習新的樣式並非總是容易的。研究指出有些樣式比起其他樣式更容易學習，並且，樣式的學習受「外部雜訊 (external noise)」、「熟晰度 (familiarity)」以及「複雜度 (complexity)」的影響(Fine & Jacobs, 2002)。由此觀點，樣式的學習從難易度可以區分成「短期學習性 (short-term)」以及「長期學習性」

(long-term)」。短期學習性樣式一旦被辨認過，就能馬上讓後續同樣的樣式變得很容易辨認；而長期學習性樣式則需要很多次的練習才能有明顯的效果(Ware, 2004)。以下我們探討對「群化」與「關聯」非常重要，而且幾乎不用學習就能運用的樣式法則－格式塔原理 (Gestalt Laws)。

格式塔原理 (Gestalt Law) 主要由德國心理學家魏泰默 (Max Westheimer)、考夫卡 (Kurt Koffka)、以及柯勒 (Wolfgang Kohler) 所提出，對於許多基本的樣式辨認現象提供了清楚的描述。

一、接近法則 (Proximity)

距離越接近的物件越容易被辨認為同一個群體。

實例：圖 a 內各點水平方向距離較短，較容易被辨認為水平線。

圖 b 內各點因垂直方向距離較短，較容易被辨認為垂直線。

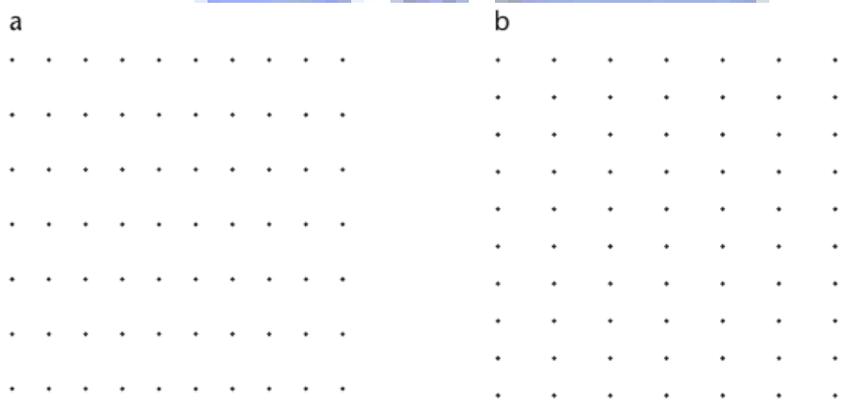


圖 3-61 接近法則(Ware, 2004)

二、相似法則 (Similarity)

視覺特徵越相似的物件越容易被辨認為同一個群體。

實例：左圖水平方向的物件相同，會被辨認為水平線
右圖垂直方向的物件相同，會被辨認為垂直線。

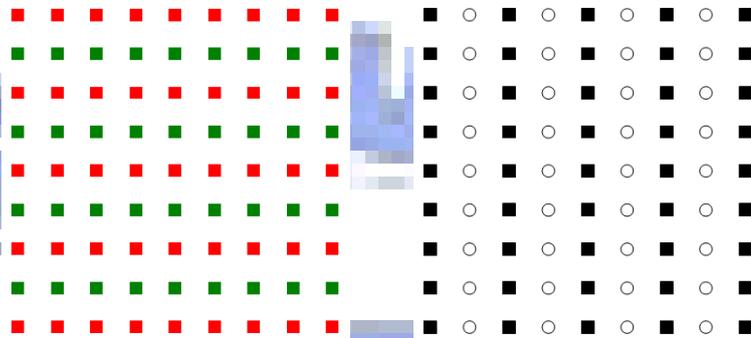


圖 3-62 相似法則

三、連接法則 (Connectedness)

相互連接的物件會被辨認為同一個群體。

實例：連接法則的效果比接近法則 (圖 a)、顏色 (圖 b)、大小 (圖 c) 以及形狀 (圖 d) 的相似都更強。

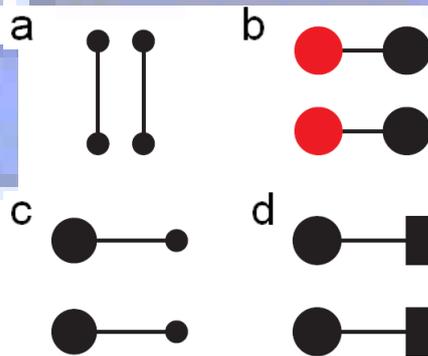


圖 3-63 連接法則(Ware, 2004)

四、連續法則 (Continuity)

知覺系統傾向使用平滑與連續的線段來界定物體的範圍以及相互的關聯。

實例：(物體範圍) 左圖上下結合後可形成右圖，雖然構成兩個圖形的線條是完全一樣的，但是左圖會被解讀成一個弓形和一個有凹陷的長方形；右圖會被解讀成一個圓形和一個長方形部分重疊。

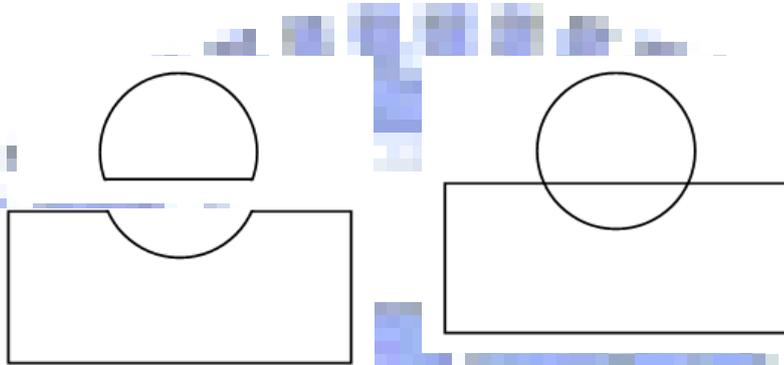


圖 3-64 連續法則 (物體範圍)

實例：(關聯性) 左、中、右三個圖形各點的關聯是完全一樣的，但是隨著連接線的平滑程度越高，關聯性就越容易解讀。左圖的连接線最不平滑，很難觀察出相互的關聯性，右圖的连接線最平直，能輕易的看出其相互關聯。

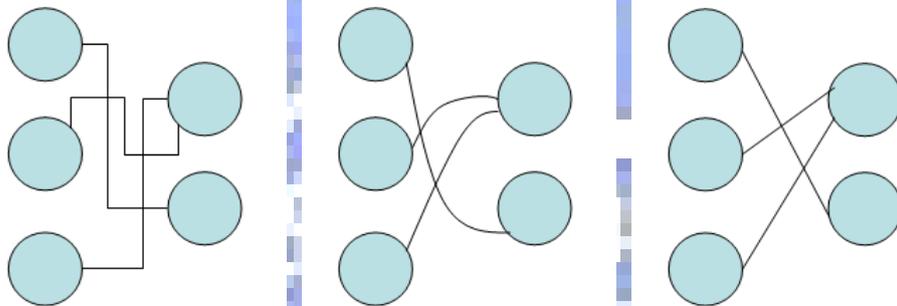


圖 3-65 連續法則 (關聯性)

五、對稱法則 (Symmetry)

知覺系統傾向將具有對稱性的物件辨認為一個物體。此物體被界定的範圍與「辨認的過程中是否能不受干擾的從對稱軸向兩側延伸」以及「畫面整體性」有關(Soegaard, 2005; Ware, 2004)。

實例：如圖 3-66，在左圖中，B 和 C 因為對稱法則會被辨認成一個物體，而 A 和 C 雖然對稱，但是因為 B 在中間干擾，所以 A 和 C 不易被看成一個物體。在右圖中，會辨認成 AB 一組，CD 一組的兩個物體。雖然 B 和 C 也是對稱的，但是因為若把 BC 視為一個物體，會殘留 A 和 D 兩個部份，基於畫面整體性的考量，B 和 C 不易被看成一個物體。

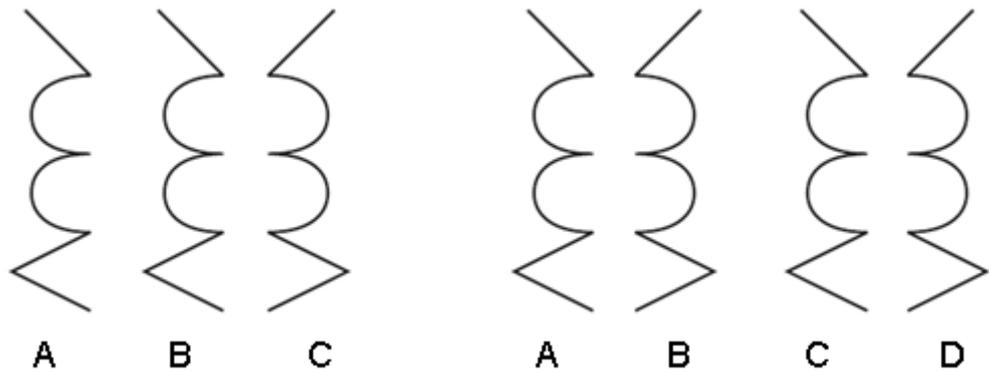


圖 3-66 對稱法則(Ware, 2004)

六、封閉法則 (Closure)

(1) 當圖形的輪廓線被遮蔽或缺少一部分時，知覺系統傾向補齊被遮蔽或缺少的部分，使輪廓線形成一個封閉的完整圖形(邱建偉, 2005)。(2) 封閉的輪廓一旦被辨認後，知覺系統就能夠界定輪廓的「內部」與「外部」。一個輪廓所圍成的內部區域稱為「common region」，在同一個 common region 的元素會被視為是同一群體(Palmer, 1992)。(3) common region 可有效地描述各個元素之間複雜的關係，並且利用顏色與質感可以讓 common region 的辨識更加有效(Ware, 2004)。

實例(1)：下圖取自 *Coherence in Thought and Action* 一書的封面，右方的圖形會被辨認成一個正方體，認知系統會自動將缺少的輪廓加以補齊。



圖 3-67 封閉法則 (取自 Coherence in Thought and Action 之封面) (Thagard, 2002)

實例 (2): 在同一個 common region 的元素會被視為是同一群體, 右圖因運用「底色強調」而產生明確的輪廓, 並形成有效的 common region, 使得右圖的段落比左圖的段落明顯許多。進一步的, 若「底色強調」只運用在其中一個段落, 則整個畫面中僅有一個 common region, 會形成引導搜尋理論的 bottom up guidance, 可以有效的引導注意力集中在該段落。

彈性指標之相關的理論	彈性指標之相關的理論
動態顯示激發信號偵測	動態顯示激發信號偵測
- 我們傾向去注意視野中突然出現的視覺刺激	- 我們傾向去注意視野中突然出現的視覺刺激
靜態特徵強化特徵搜尋	靜態特徵強化特徵搜尋
- 任何具有顯著特徵的項目都可以抓住我們的注意力, 包含干擾物。此類的干擾會讓搜尋變慢, 所以動態指標呈現應一次一個	- 任何具有顯著特徵的項目都可以抓住我們的注意力, 包含干擾物。此類的干擾會讓搜尋變慢, 所以動態指標呈現應一次一個
- 若要同時指出數個目標, 應該讓這些目標具有相同的特徵	- 若要同時指出數個目標, 應該讓這些目標具有相同的特徵
- 指標的特徵要明顯到能直接執行特徵搜尋	- 指標的特徵要明顯到能直接執行特徵搜尋

圖 3-68 封閉法則 (common region)

實例 (3): 在圖 3-69 中, 由 4 個正方形和 8 個圓形構成兩個群體 (a) 使用相似法則; (b) 使用連接法則; (c) 和 (d) 使用封閉法則。比較三種群化方式, 可發現在此例中相似法則的效果較弱, 而封閉法則所形成的 common region 群化效果較強。因為 (c) 和 (d) 都能產生明顯的輪廓, 所以都能構成明確的 common region。

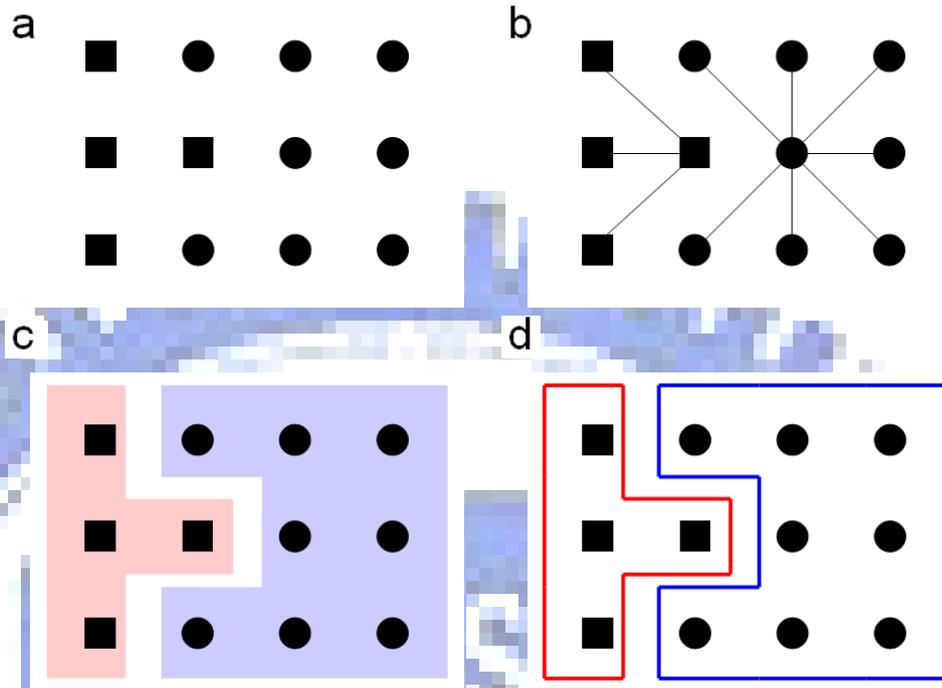


圖 3-69 封閉原理 (common region 可有效描述元素之間的關係)

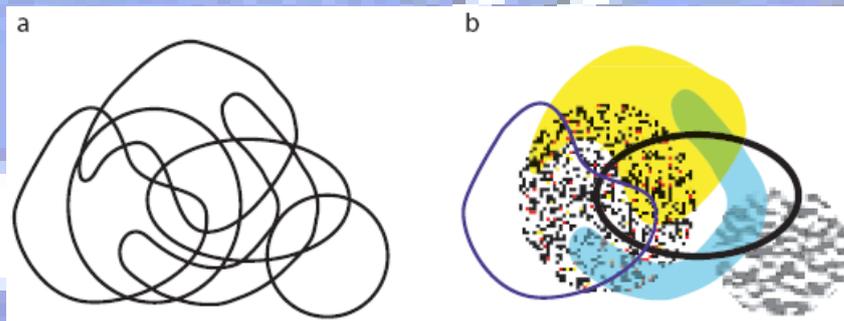


圖 3-70 顏色與質感所構成的 common region 有較佳的效果(Ware, 2004)

若各個 common region 間存在複雜的關係 (例如多個集合互相交集的狀況), 只靠邊界線的輪廓無法清楚表達 (如圖 3-70a), 此時可利用顏色與質感所構成的 common region 來達到較佳的效果 (圖 3-70b) (Ware, 2004)。

七、共同命運法則 (Common Fate)

知覺系統傾向將移動方向與速度皆相同的物件辨認為同一群體。

實例：在圖 3-71 中，(a) 是紅色長方形和紅色橢圓形以一致的速度作上下移動，紅色部分會被辨認為同一群體；(b) 是紅色梯形和紅色橢圓形以一致的速度上下移動，紅色部分亦會被辨認為同一群體。

(c) 和 (d) 則是將顏色的差異去除，方向與速度一致的移動仍然能達到和 (a) (b) 效果類似的群化作用(Brooks, 2002)。

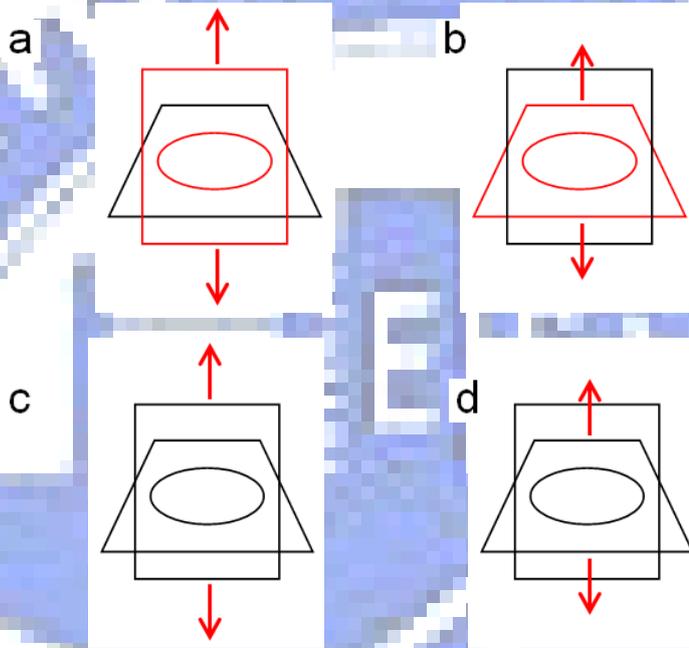


圖 3-71 共同命運法則(Brooks, 2002)

本節所探討的樣式知覺與群化作用關係密切，更進一步亦影響視覺搜尋時目標物與干擾物的區隔。回顧本章的視覺搜尋理論，我們可發現視覺搜尋作業的困難度主要由下列三個因素所影響：(Avraham & Lindenbaum, 2006)

- (1) 顯著性 (saliency)：主要取決於目標物之「由下而上的訊息 (bottom-up information)」是否呈現局部對比性。
- (2) 目標吻合性 (similarity to target models)：主要取決於刺激物與搜尋作業所描述之需求的吻合程度。這涉及的是由上而下的訊息處理 (top-down information)，若只有一個刺激物其目標吻合性很高，則搜尋作業較容易；若同時有多個刺激物目標吻合性都很高，則搜尋作業較困難。

(3) 刺激物相似性 (similarities between the scene objects)：依據注意力投注理論的探討，T-N 相似性與 N-N 相似性都會影響視覺搜尋作業的難易度。

接下來，我們將探討基本視覺特徵的種類與實驗證據，因為基本視覺特徵是用來設計突出刺激物最好的方法之一，亦直接涉及了適性指標的種類與設計。





第四章 適性指標的視覺特徵

依據定義，適性指標是一種視覺物件，此物件具有協助視覺搜尋以及引導注意力的特性。在實用上，設計適性指標所採用的視覺特徵經常不需學習或練習就能在前注意處理歷程以自動化的方式運作，並且幾乎不耗費注意力資源。視覺搜尋理論將這樣的特徵稱為「基本視覺特徵 (elementary feature)」，而具有基本視覺特徵的目標物則稱為「突出目標物 (pop-out target)」。本章將探討基本視覺特徵如何引導注意力，並從文獻中探索各類基本視覺特徵的實驗證據。

第一節 形狀特徵 (FORM)

形狀特徵 (FORM) 涉及了物體的方向、大小、彎曲程度等等，因此在形狀特徵這個主要分類中可區分成數個次分類，匯整如表 4-1 (Dürsteler, 2006; Few, 2006; Healey, 2007; Tidwell, 2005; Ware, 2004)。以下，我們將以實例說明並探索文獻中的實驗證據。

表 4-1 形狀特徵的種類

特徵分類編碼	說明
1.1.1 FORM-Orientation	目標物與干擾物方向不同
1.1.2 FORM-Length	目標物與干擾物長度不同
1.1.3 FORM-Width	目標物與干擾物寬度不同
1.2 FORM-Size	目標物與干擾物大小不同
1.3 FORM-Curvature	目標物與干擾物彎曲程度不同
1.4 FORM-Blur	目標物與干擾物模糊程度不同
1.5.1 FORM-Added marks-pointer	替目標物外加指標
1.5.2 FORM-Added marks-underline	替目標物外加底線
1.5.3 FORM-Added marks-enclosure-border	外框式 common region
1.5.4 FORM-Added marks-enclosure-interior	底色質感式 common region

一、FORM-Orientation、Length、Width

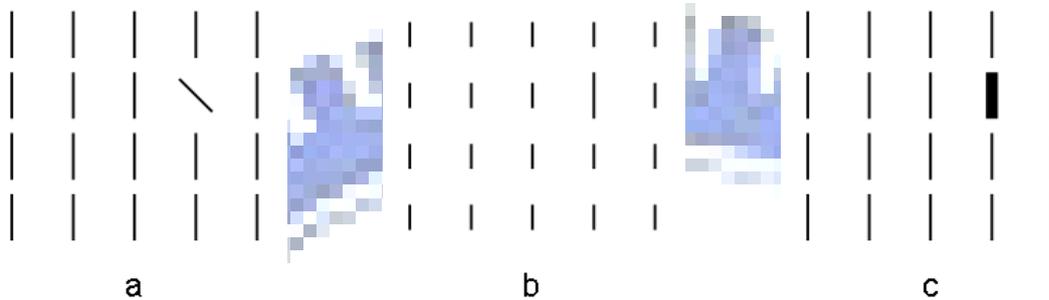


圖 4-1 Line 的三種基本視覺特徵

Treisman 的實驗確認 Line length 以及 Line orientation 為基本視覺特徵 (Treisman & Gormican, 1988)。此外，關於圖 4-1 (a) 的研究亦涉及了「同質編碼 Homogeneity coding」 (Schubo et al., 2007) 以及「突出目標物偵測」 (Meinecke & Donk, 2002)，兩者都支持 Line orientation 在前處理歷程就能被知覺系統提取的說法。Line width 是基本視覺特徵則可以從形狀 (shape) (Ware, 2004) 以及大小 (size) 兩個角度來解釋。

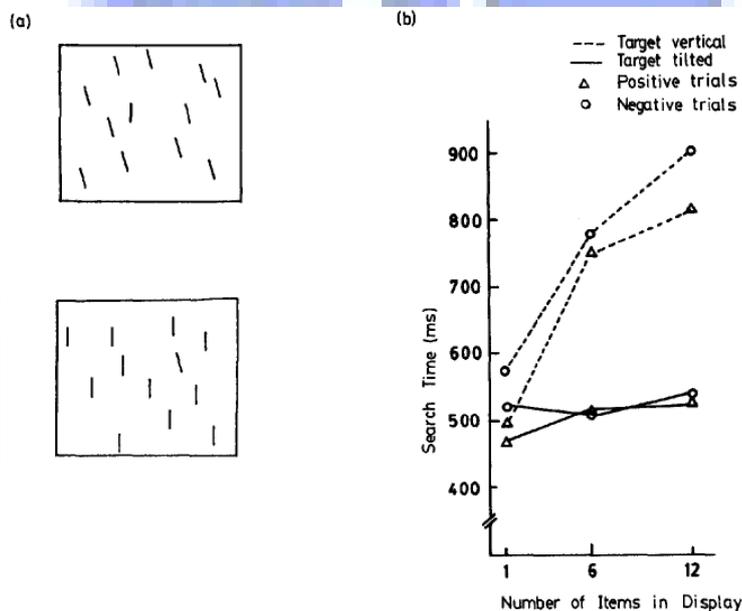


圖 4-2 Line Orientation 視覺搜尋實驗結果 (Treisman & Gormican, 1988)

考慮搜尋非對稱性 (Search Asymmetry) 的因素，具有特徵會比缺乏特徵容易偵測，所以在製作適性指標時應將目標位置以具有特徵的方式指引，而不是以缺乏特徵的方式指引。關於 Line orientation 的搜

尋速度以及搜尋非對稱性請見圖 4-2(Treisman & Gormican, 1988)。

圖 4-3 是一個搜尋非對稱性影響教材設計的例子。教材設計者希望強調水平方向的三個平行的線段，a 圖採用具有特徵（目標線段寬度較大）的方式，並且獲得理想的效果；b 圖採用缺乏特徵的方式（目標線段寬度較小），其效果卻是強調了兩側的三角形。

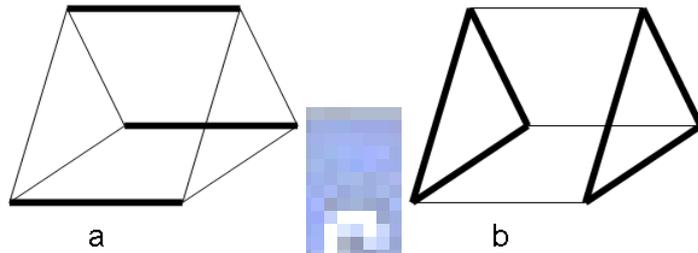


圖 4-3 基本視覺特徵的使用需考慮視覺非對稱性

二、FORM-Size

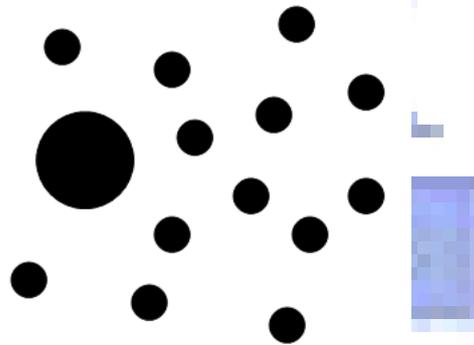


圖 4-4 Size 基本視覺特徵

Treisman 使用大小不同的橢圓形證實 Size 是基本視覺特徵 (Treisman & Gelade, 1980; Treisman & Gormican, 1988)，Shui-I Shih 與 George Sperling 1996 年的 RSVP 實驗二也證實了 Size 可以是前注意處理歷程的引導表徵 (Shih & Sperling, 1996)。值得注意的，沒有明顯的證據確認 Size 視覺特徵具有搜尋非對稱性，這表示在適當的狀況下，Size small 或是 Size large 都有可能用來標示目標物的位置。

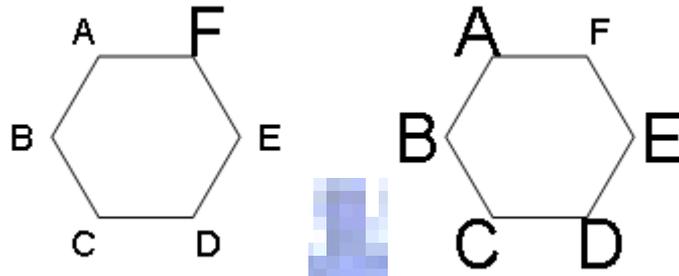


圖 4-5 Large 或 Small 都有可能標示目標物的位置

三、FORM-Curvature

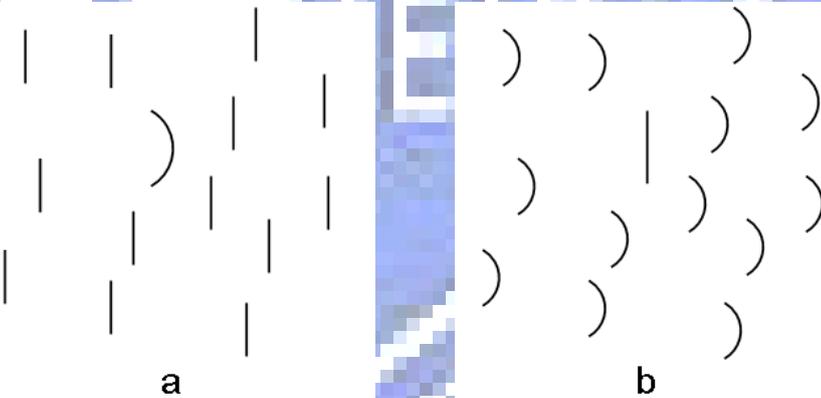


圖 4-6 Curvature 基本視覺特徵

Treisman 觀察三種曲率不同的目標物，大曲率（曲率半徑 14.3 mm）、中曲率（曲率半徑 7.15 mm）以及小曲率（曲率半徑 4.75 mm）。結果發現曲率是基本視覺特徵，並且目標物（曲線段）與干擾物（直線段）曲率差異越大，搜尋效能越好。亦即在直線中尋找曲線（如圖 4-6 a）或是在曲線中尋找直線（如圖 4-6 b），曲率差異越大時能越快找到目標物。這也表示若曲率差異很大時，曲線段或是直線段都可以當作目標物的引導表徵。

此外，曲率差異越小時，搜尋非對稱性越明顯。這也就表示當曲線段的曲率較小時，設計教材時應將曲線段當作目標物，並避免將直線段當作目標物。

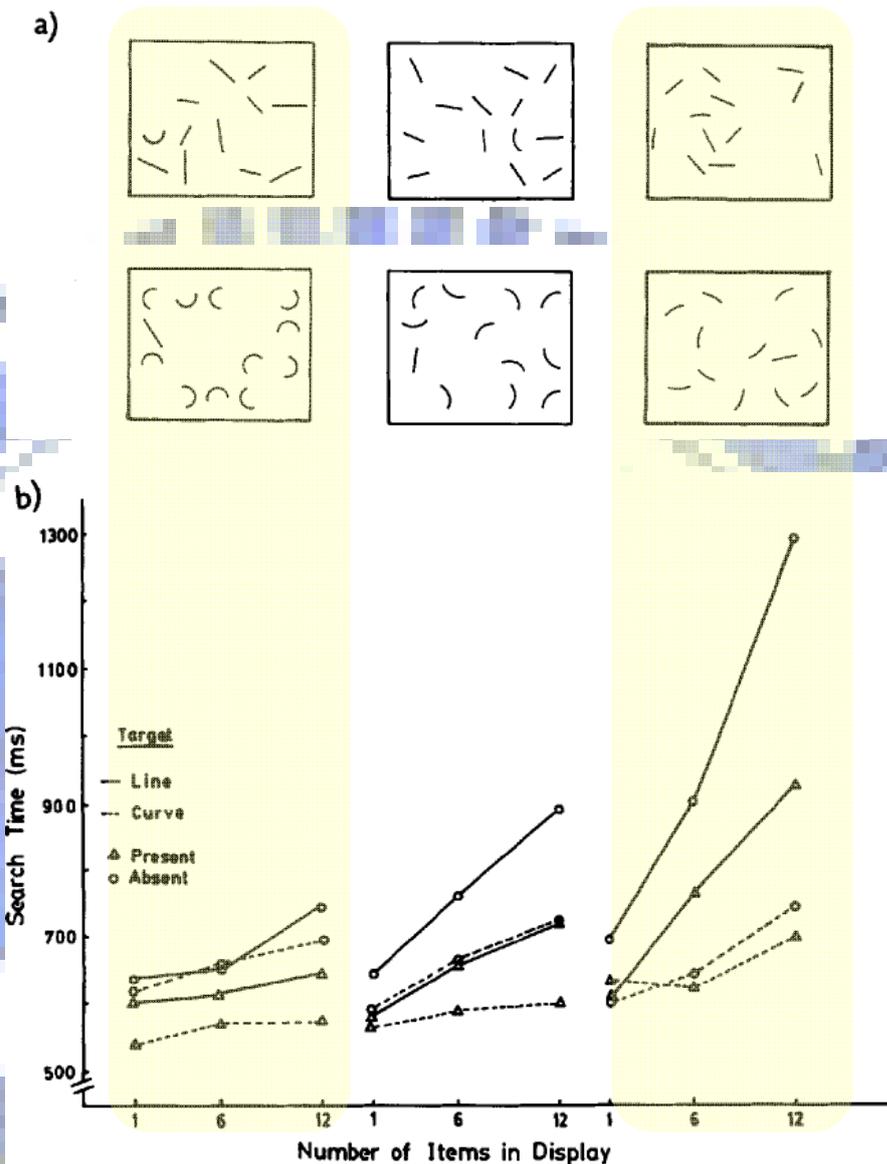


圖 4-7 曲率越小搜尋非對稱性越明顯(Treisman & Gormican, 1988)

Curvature 可用在替目標物添加指標符號 (Added marks-pointer)，文件中需要說明或註解的地方也常用到「小括號」來強調。此外，在質感辨認的用途上，Curvature 也能有突顯的效果。圖 4-8 左圖與右圖雖然結構相同，隨著 Curvature 所在位置不同，被強調的位置也有所不同。

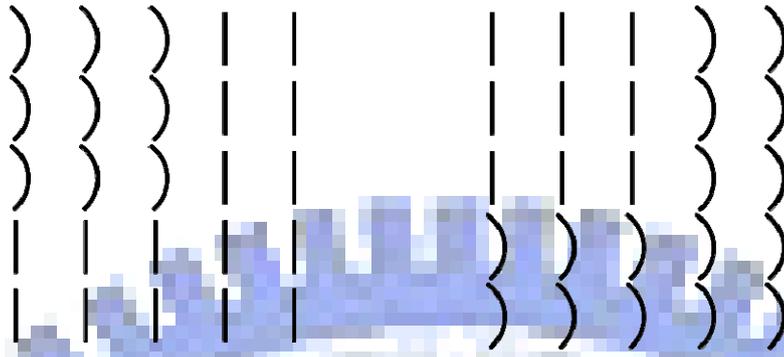


圖 4-8 具有 Curvature 特徵較容易被辨認為目標物

四、FORM-Blur

Robert Kosara, Silvia Miksch, Helwig Hauser 於 2001 年發表了「突顯焦點」的新方法(K. Robert *et al.*, 2001)，採用背景模糊的方式指引視覺的焦點放在清晰的目標物上。此方法源自攝影技巧的「景深 depth of field」，Kosara 等人稱這種創新的方法為「含義關聯景深 Semantic Depth of Field」。因為「Depth of Field (DOF)」是由物體與鏡頭之間的距離來決定該物體看起來清楚或模糊，而「Semantic Depth of Field (SDF)」則是由物體與搜尋目標的關連性來決定該物體看起來清楚或模糊。物體與搜尋目標的關聯性越高，在視覺呈現時就應該讓此物體越清晰。

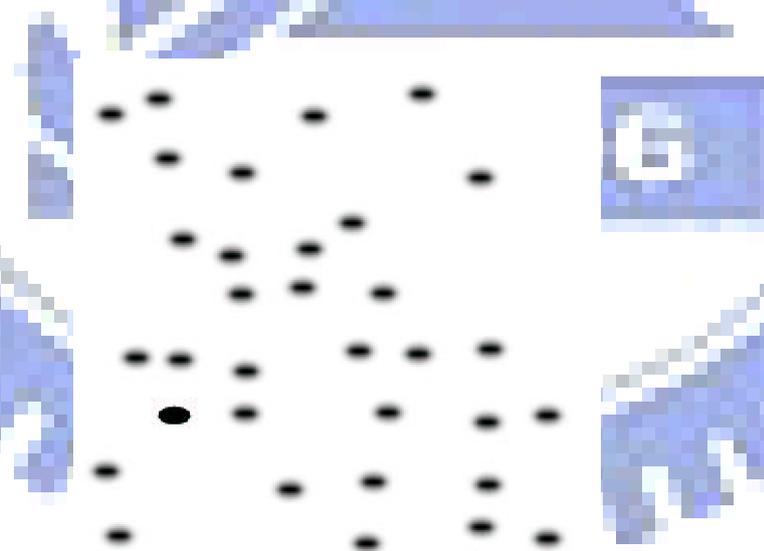


圖 4-9 Blur 基本視覺特徵(K. Robert *et al.*, 2001)

清晰的物件能在一群模糊的物件中脫穎而出，這樣的呈現方式在攝影以及電影藝術中是引導注意力的有效方法。人類的眼睛也符合景

深的概念，通常我們只會注意到位置在視野中央且很清晰的物件，對於周邊模糊的物件則會加以忽視(K. Robert *et al.*, 2002b)。

相關的實驗已經證實 **Blur** 是屬於前注意處理歷程可辨認的基本視覺特徵。而且目標物與干擾物的模糊程度差距越大，目標偵測的效果越好（如圖 4-10，其中 b001 是實驗使用的模糊程度編碼，其中的三個數字由左而右分別代表低、中、高三種模糊程度的干擾物是否出現在實驗中。1 代表出現，0 代表未出現，因此 b001 代表只出現高模糊程度的干擾物）。

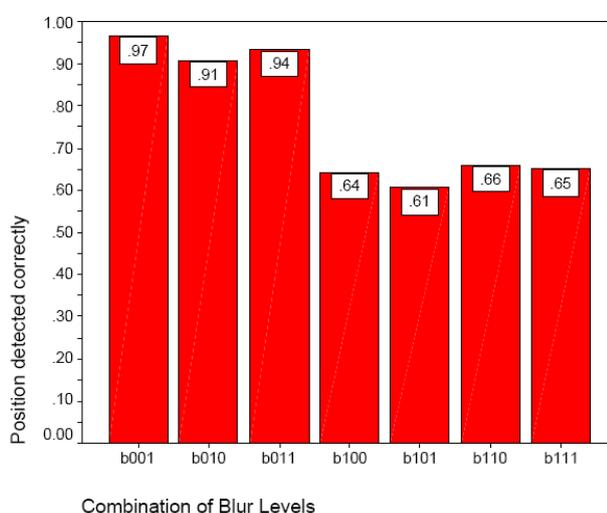


圖 4-10 模糊程度越高，目標偵測效能越好(K. Robert *et al.*, 2002b)

顏色、質感、形狀都能用來當作強調目標的方法。當畫面已經有多種顏色，而尚未使用質感來強調目標物時，使用質感來強調目標物會是好的選擇(Ware, 2004)。然而，當畫面中已經有多種顏色、多種質感時，**Blur** 是另一個不會互相干擾的有效方法。值得注意的是，**Blur** 會讓模糊的訊息難以閱讀，如果讀者認為模糊的部份剛好是他想要知道的內容，**Blur** 反而會造成困擾。因此，**Blur** 的設計最好要有彈性，能夠配合讀者的需要以達到適性化的目標。適性指標動態開關的設計方式，恰好能夠克服靜態 **Semantic Depth of Field** 技術所面臨的困難。

Blur 可以被使用在文字編輯器、檔案系統瀏覽器、地圖瀏覽器，相關的軟體也已經被加以實作(K. Robert *et al.*, 2002a)。其中，**Blur** 在文字編輯器的「關鍵字搜尋功能」提供教材製作一個很好的概念。一般的文字編輯器關鍵字搜尋功能只能將關鍵字反白，讀者的視線需要

在一篇文章中多個反白處移動，每移動一次就需要對關鍵字所在的整個句子之「開始與結束位置」重新辨認。Blur 可以將目前讀者正在注視的關鍵字整個句子以清晰的方式呈現，其他的部份則加以模糊化。這樣可以讓讀者迅速辨認出句子的開始與結束，輕鬆的了解整個句子的意思。

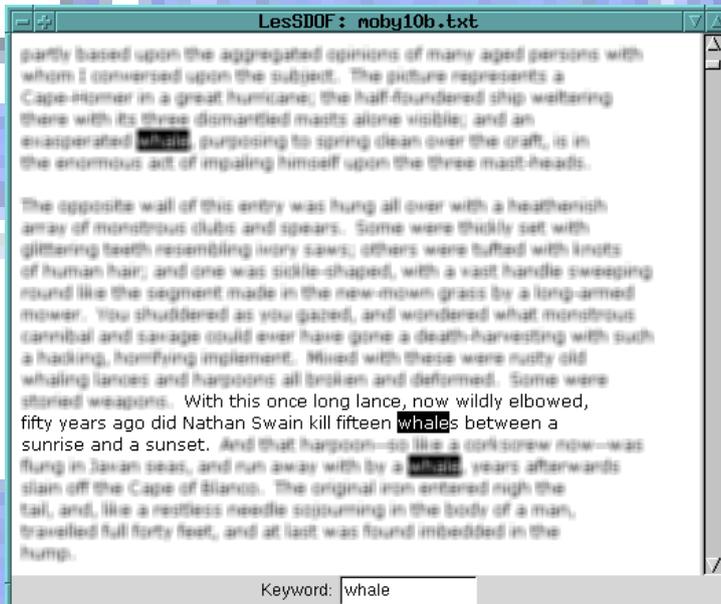


圖 4-11 Blur 應用在文字編輯器的關鍵字搜尋

五、FORM-Added marks

FORM-Added marks 指的是替目標物外加具有強調效果的標記，可以細分成四類：

1. FORM-Added marks-pointer（替目標物外加指標）
2. FORM-Added marks-enclosure-underline（替目標物外加底線）
3. FORM-Added marks-enclosure-border（外框式common region）
4. FORM-Added marks-enclosure-interior（底色質感式common region）

1. FORM-Added marks-pointer

替目標物外加指標是被廣泛使用的強調方法，最常見的就是「箭

頭」指標。箭頭配合不同顏色的使用，能讓效果更好（如圖 4-12）。

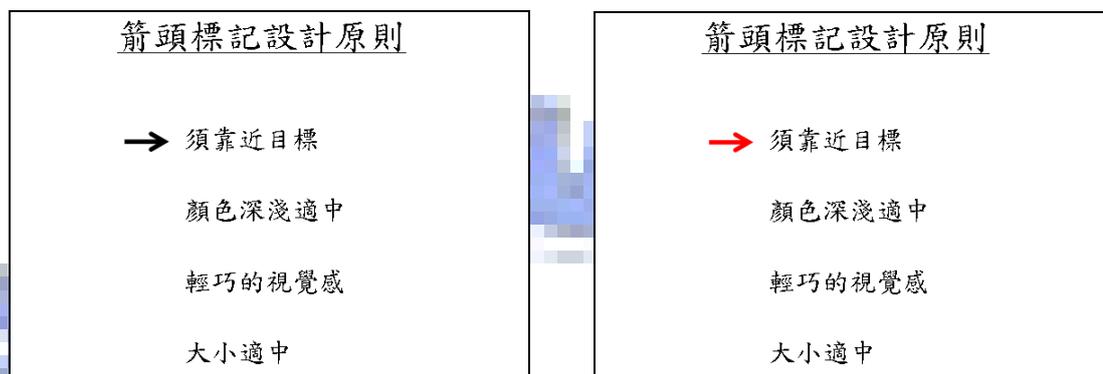


圖 4-12 1. FORM-Added marks-pointer 的實例

已經有實驗證實「替目標物外加指標」是前注意處理歷程可以辨認的基本視覺特徵(Treisman, 1985)，Treisman 在 1985 年所提出的例子（如圖 4-13）亦表現出外加指標會具有搜尋非對稱性。此實驗除了提供有力的證據支持 FORM-Added marks-pointer 是基本視覺特徵之外，更讓我們了解到要強調一個目標物，必須採用「具有指標」，而不能採用「缺乏指標」的方式，並且外加指標並不是相互替代特徵（substitutive features）。

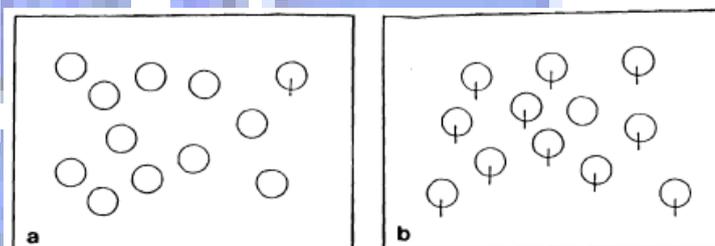


圖 4-13 替目標物添加指標符號具有搜尋非對稱性(Treisman, 1985)

多個指標同時呈現時會互相干擾，降低聚焦的效果，適性指標動態開關的設計方式同樣能適當的解決此問題。

2. FORM-Added marks-underline

替目標物外加底線也是常用的強調方法，Knafle 的研究指出顏色和底線都可以增進學童對於英文單字結構的偵測(Knafle, 1973)。文書處理軟體大多將「外加文字底線」列為基本功能，在一般的印刷書籍、

軟體操作介面以及網頁設計也都很常見到外加底線的運用。

值得注意的，運用外加底線強調目標文字時，必須考慮搜尋非對稱性(Ware, 2004)。要強調一個段落的重點，應該將重要的句子外加底線，而不是讓重要的句子缺乏底線（如圖 4-14）。



圖 4-14 underline 的使用要考慮搜尋非對稱性的影響

3. FORM-Added marks-enclosure-border

外框式 common region 是格氏塔原理「封閉法則（Closure）」中 common region 的一種應用。這種呈現方法同時具有兩種功能：1. 外加指標強調目標物，如圖 4-15。2. 將適當的目標物群化以利辨認及閱讀，如圖 4-16。

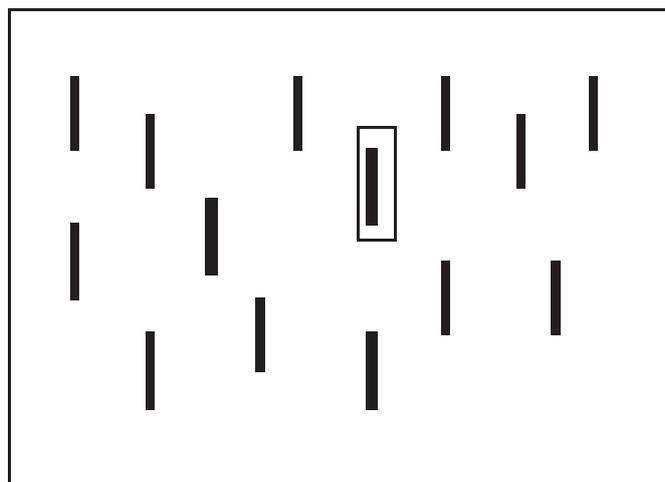


圖 4-15 外框式 common region 可強調目標物(Ware, 2004)

外框指標的設計原則

1. 外框式指標線條不宜過粗
2. 外框式指標顏色不宜過深
3. 不適用於前後關聯性強的步驟式內容
4. 需注意畫面的調和，外框應對齊

圖 4-16 外框式 common region 可將適當的目標物群化

外框式 common region 的有效性已經被證實(Theeuwes *et al.*, 1999)。Jan Theeuwes、Arthur F. Kramer 與 Paul Atchley 應用外框式 common region 設計了一個關於注意力空間提示的視覺搜尋實驗，受測者需要在左右兩群灰色的線段中搜尋唯一的紅色線段(如圖 4-17 左圖)。發現當外框出現在與目標物同一側(左右兩側的同一側)時，不但搜尋所需的時間最少，搜尋的正確率也最高，並且不受干擾物增加而影響效能。有趣的是，若外框出現在與目標物不同側，不但搜尋時間增加，正確率也會明顯降低(圖 4-17 右圖)。此外，本實驗表現出適性指標引導注意力的「多層次」特性。我們可以利用外框式 common region 將閱讀者的注意力先引導到目標物所在的某個群體，然後再用另外一個基本視覺特徵將閱讀者的注意力聚焦在正確的目標物上。

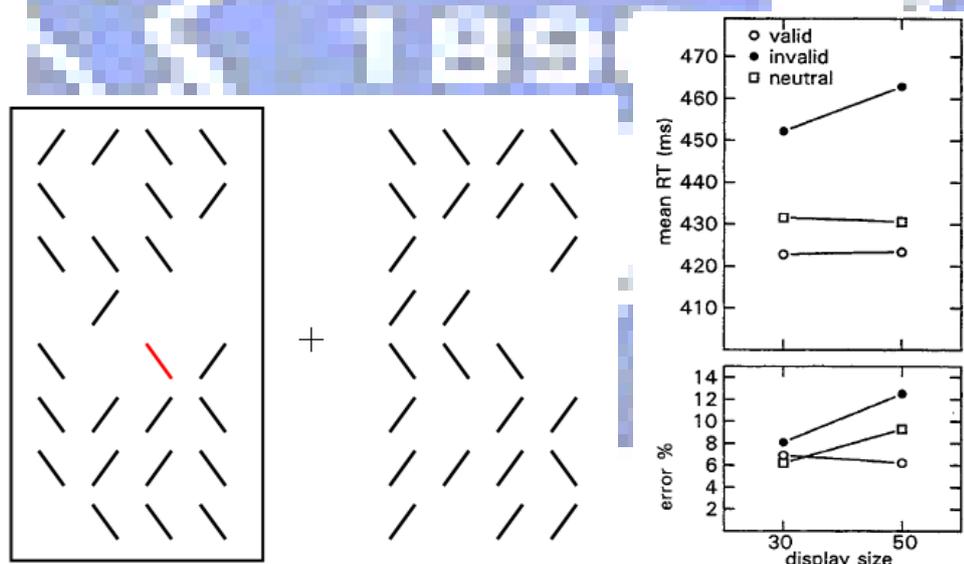


圖 4-17 外框式 common region 能有效引導注意力(Theeuwes *et al.*, 1999)

外框式 common region 在使用時要考慮搜尋非對稱性的影響，應將外框加在要強調的內容上，而不是讓要強調的內容缺少外框。



圖 4-18 外框式 common region 的使用要考慮搜尋非對稱性

4. FORM-Added marks-enclosure-interior

底色質感式 common region 和外框式 common region 的差異在於形成 common region 所使用的基本視覺特徵不同。在畫面單純的時候，此類 common region 能很有效的突顯目標物，例如要強調一段文字的重點，讓重點文字具有黃色底色是很有效的方法。若畫面已經含有多種顏色的時候，則可採用質感來構成 common region (Ware, 2004)。底色質感式 common region 同樣要注意搜尋非對稱性的影響，應將底色或質感加在要強調的內容上，而不是讓要強調的內容缺少底色或質感。

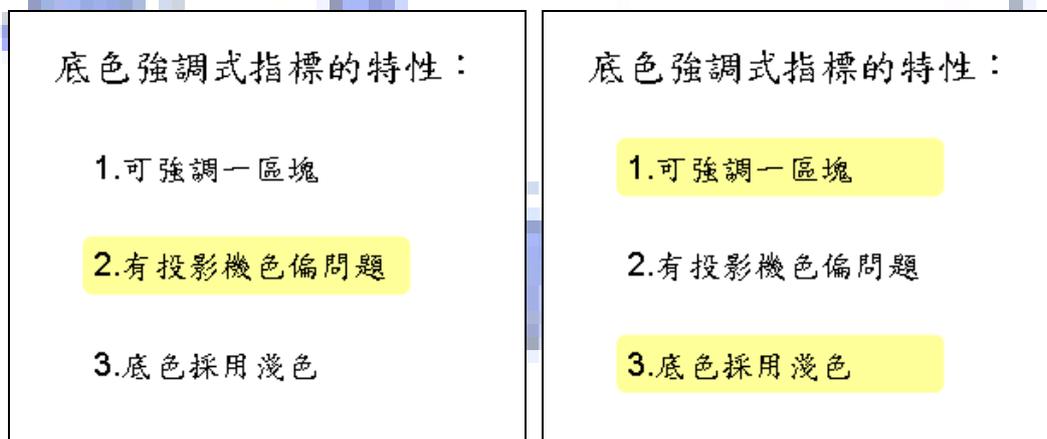


圖 4-19 底色質感式 common region 的使用要考慮搜尋非對稱性

第二節 顏色特徵 (COLOR)

在自然界中，有許多利用顏色增強視覺搜尋與引發注意力的例子，如成熟的紅色櫻桃果實（如圖 4-20）。人因工程的研究也發現，依據「顏色」來偵測物體或標定其位置會比根據或大小等其他屬性來得迅速穩定(葉素玲, 1999a)。



圖 4-20 紅色的櫻桃很容易在綠葉中被發現

就視覺生理學的角度來看，人類視網膜上已知的感光細胞有四類，分別是一種視桿 (rod) 細胞和三種視錐 (cone) 細胞。在微弱光線環境下，由於視錐細胞的反應微弱，視覺主要由視桿細胞的反應來區分明暗而無法辨認色彩，此現象稱為「暗光視覺」(scotopic vision)。當光線較強時，視錐細胞的反應會超越視桿細胞並取得主導，此稱為「明光視覺」(photopic vision)。由於教學活動大多在明光視覺的環境下進行，我們探討的主題會集中在視錐細胞主掌的明光視覺(孫慶文, 1999)。

三類的視錐細胞分別偏好吸收藍光 (短波長)、綠光 (中波長)、紅光 (長波長)，色彩視覺也就由這三原色所引發的神經訊息所決定。為了區別色彩的差異，在視錐細胞接受光波的刺激之後，視覺系統會進行下一階段被稱為「色彩對比」(opponent process) 的處理過程。

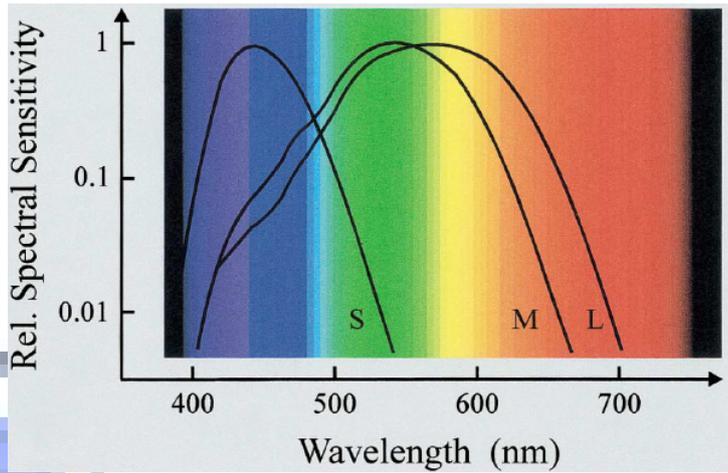


圖 4-21 三種視錐細胞的光譜敏感曲線(Smith & Pokorny, 1975; Valberg, 2001)

十九世紀德國心理學家 Ewald Hering 發現人們無法觀察到「既黑又白」的視覺經驗，類似的情形還發生在「紅色與綠色」、「藍色與黃色」，為解釋此視覺現象，他提出「對立補色理論」(opponent process theory)。1955 年 Hurvich 與 Jameson 使用色調消去技術(hue-cancellation technique) 驗證了「紅-綠」與「藍-黃」在視覺經驗無法同時存在，學者進而將此六種顏色稱為純粹色相 (unique hue)，並將其分成互相對比的三對(孫慶文, 1999)，如圖 4-22。

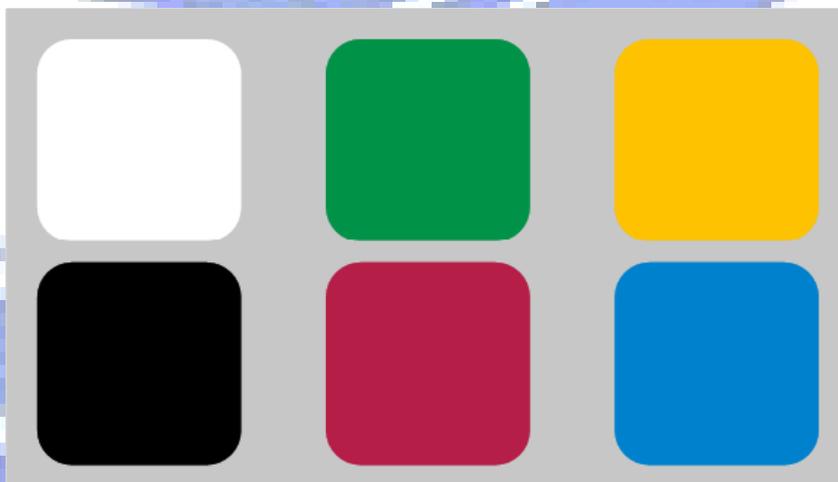


圖 4-22 unique hue

白 (255, 255, 255)	綠 (0, 146, 70)	黃 (254, 194, 0)
黑 (0, 0, 0)	紅 (188, 30, 71)	藍 (0, 129, 205)

表 4-2 unique hue 的 RGB 值(Spooky, 2006)

現代的「對立補色理論」已經發展出生理學的模型，可以解釋「明度 luminance（黑－白）」、「紅－綠」與「藍－黃」三個對比通道。首先，我們將吸收紅光的視錐細胞稱為 L（Long）視錐；吸收綠光的視錐細胞稱為 M（Middle）視錐；吸收藍光的視錐細胞稱為 S（Short）視錐。「明度通道」是以比對「L 視錐 + M 視錐 + S 視錐」與「視錐完全未受刺激」訊號量的差異來定位明度感；「紅－綠通道」是以比對「L 視錐」與「M 視錐」訊號量的差異來定位紅綠之間的色感；「藍－黃通道」是以比對「S 視錐」與「L 視錐 + M 視錐」訊號量的差異來定位藍黃之間的色感，如圖 4-23。

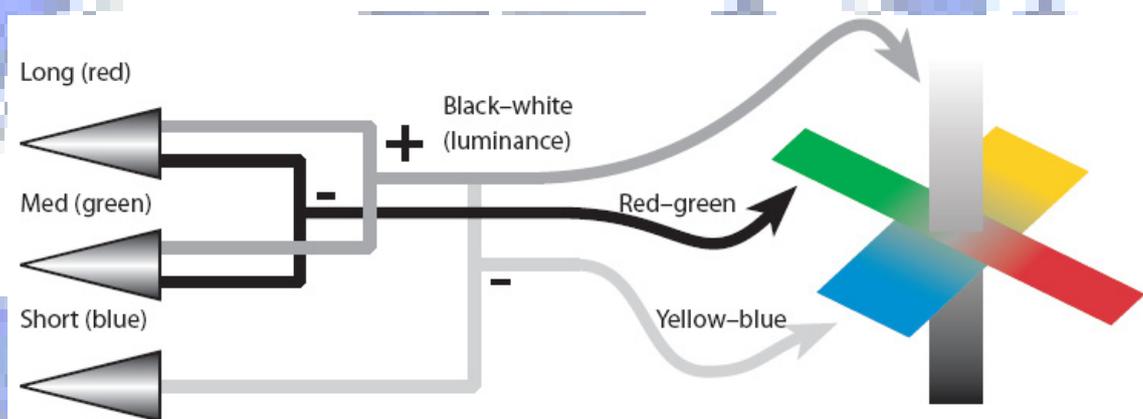


圖 4-23 從生理學的角度解釋對立補色理論(Ware, 2004)

明度敏感細胞所感受的刺激強度範圍必然大於色彩敏感細胞所感受的強度範圍，我們可藉由紅光與綠光來說明。視覺系統感受紅光與綠光的差異時是由比對 L 視錐（對紅光敏感）與 M 視錐（對綠光敏感）兩者所受刺激的差異來判定，其刺激強度最多就是對立補色所能達到的差異。然而明度則不同，黑白對比最大的差異可以是 L 視錐加上 M 視錐加上 S 視錐受刺激的強度，之後再與純粹黑色（未受刺激）比較的差異(孫慶文, 1999)。

進一步的，上述三個對比通道可以歸納成兩大通道：1.明度通道（luminance channel）；2.色彩通道（chromatic channel），包含紅－綠通道以及黃－藍通道(孫慶文, 1999; 葉素玲, 1999a)。許多電腦軟體能對物件的色相（hue）、飽和度（saturation）、亮度（lightness）以及透明度（transparency）加以調整或設定。其中，「色相」的設定直接影響了色彩通道（chromatic channel）；「飽和度」、「亮度」以及「透明度」的設定則影響了物件的明度通道（luminance channel），並在視覺與心理上給人感受到不同的強度（intensity），如圖 4-24 及圖 4-25 所示。



圖 4-24 紅色飽和度由低到高的變化(Few, 2006)



圖 4-25 紅色亮度由低到高的變化(Few, 2006)

因此，對於顏色特徵（COLOR），我們將探討色相（Hue）以及色彩強度（Intensity）兩大要素。

表 4-3 顏色特徵的種類

特徵分類編碼	說明
2.1 COLOR-Hue	目標物與干擾物色相不同
2.2 COLOR-Intensity	目標物與干擾物色彩強度不同

一、COLOR-Hue

色相特徵（Hue）應用時需考慮的有呈現的策略（strategy）、色彩知覺（hue perception）、以色彩標識物件（color for labeling），如表 4-4。

表 4-4 色相特徵在應用上需考慮的因素

Hue 應用需考慮之因素編碼	說明
2.1.1 COLOR-Hue-[strategy : distinct hue]	策略－目標與干擾區隔
COLOR-Hue-[strategy : hidden distractors]	策略－隱藏干擾物
COLOR-Hue-[strategy : pop-out target]	策略－僅強調目標物
2.1.2 COLOR-Hue-[perception : unique hues]	知覺－純粹色相
COLOR-Hue-[perception : cross-cultural naming]	知覺－顏色跨文化命名
COLOR-Hue-[perception : focal colors]	知覺－焦點顏色
COLOR-Hue-[perception : categorical colors]	知覺－顏色類別
2.1.3 COLOR-Hue-[label : distinctness]	標示－可區別性
COLOR-Hue-[label : chromatic simultaneous contrast]	標示－色彩同時性對比
COLOR-Hue-[label : field size]	標示－標識區域大小
COLOR-Hue-[label : color blindness]	標示－色盲

1. COLOR-Hue-[strategy]

色相的區別能加速視覺搜尋(Halverson & Hornof, 2004)。網頁設計者經常會採用「不同的文字顏色」將已瀏覽的超連結與尚未瀏覽的超連結加以區隔，此設計原則合乎直觀，但效果是否真如預期？另外，如果將已瀏覽的超連結從畫面中消失或是呈現很淺的顏色，其效果是否會比用兩個明顯的顏色加以區隔來得好？

為進一步分析色相的使用策略 (strategy) 並了解不同策略對視覺搜尋的影響，Tim Halverson 與 Anthony J. Hornof 設計了一個「超連結顏色引導視覺搜尋」的實驗。這個實驗讓受測者先觀看目標單字，受測者準備好後自己用滑鼠點選畫面上的目標單字，這個動作會觸發畫面上的目標單字消失，並顯示「待搜尋畫面」(如圖 4-26)。此時，受測者開始在畫面中搜尋目標單字，並將滑鼠移到目標單字後加以點選，同時這個動作會觸發電腦顯示下一個目標單字，受測者依此程序進行 30 題的實驗。在此特別說明，雖然每個「待搜尋畫面」都是內含 30 個英文單字的版面，然而卻可分成七種類型：其中一種是 30 個單字全為藍色，另外六種分別是 20 藍 10 紅；20 藍 10 白；10 藍 20 紅；10 藍 20 白；1 藍 29 紅；1 藍 29 白。

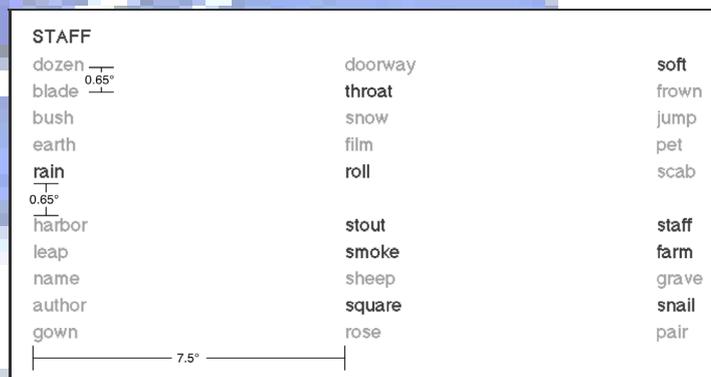


圖 4-26 Halverson 與 Hornof 設計的待搜尋畫面

依照實驗的設計，目標單字一定會是藍色單字的其中一個，並且上述七種版面的後六種可分成三對，第一對皆含有 20 個藍色單字；第二對皆含有 10 個藍色單字；第三對皆僅含 1 個藍色單字。每一對兩個版面其中的差異在於「非藍色」單字的呈現方式，其中一種非藍色的單字以紅色呈現，另一種則將非藍色單字都隱藏起來，受測者不會看到非藍色單字，相應的位置僅留下空白。此實驗提出了兩個假設：

假設一：搜尋時間隨著藍色單字數量的增加而增加。

假設二：搜尋僅有藍色單字的版面會比搜尋藍紅併陳的版面更快。

兩個假設都受到實驗數據的支持。在搜尋時間的分析中，不論是「僅有藍色單字」或是「藍紅併陳」的版面，藍色單字的數量增加確實會讓搜尋所需時間增加，這支持了假設一。此外，「僅有藍色單字版面」所需的搜尋時間也明顯的比「藍紅併陳版面」所需的時間少，因此假設二的推測也是正確的。進一步的，實驗探討為什麼「僅有藍色單字版面」能比「藍紅併陳版面」提供較佳的視覺搜尋環境。從眼球移動的資料分析發現，受測者搜尋僅有藍色單字的版面時，眼球的凝視點明顯較少。因為眼球需搜尋的目標較少（紅色單字仍會引發眼球的注意），也就能有效降低眼球凝視與跳躍的次數，產生較佳的視覺搜尋效果。

在此實驗中，待搜尋物件的數量與位置所耗費的眼球跳躍時間明顯的比每個物件所用去的凝視時間更具影響力，然而，眼球移動資料仍然顯示出文字顏色的差異確實能增進視覺搜尋的效果。在比對「藍紅併陳版面」與「30個單字全為藍色的版面」之後，紅色單字確實比藍色單字耗費較少的眼球跳躍次數與凝視時間，這也對「顏色差異」能增進視覺搜尋提供了實驗的支持。由上面的討論，我們可將色相強調的使用策略與效果歸納如表 4-5。

表 4-5 Color-Hue-[strategy] 之效果分析

Hue 應用需考慮之因素編碼	效果分析
Color-Hue-[strategy : distinct hue]	LEVEL 1：目標與干擾區隔 目標候選物與干擾物以不同色相區隔 可達到初步的效果
Color-Hue-[strategy : hidden distractors]	LEVEL 2：隱藏干擾物 只顯示目標候選物（隱藏干擾物） 可達到近一步的效果
Color-Hue-[strategy : pup-out target]	LEVEL 3：強調目標物 僅在唯一的目標物以顏色強調 可達最佳的效果

2. COLOR-Hue-[perception]

在探討色相與適性指標設計的關係時，與兩個重要議題有關：

- (a) 適性指標的顏色應容易辨認，並具有不易混淆的名稱。
- (b) 適性指標的顏色在畫面應具有突顯性，並容易與干擾物區別。

這兩個議題和色彩知覺 (perception) 以及以色彩標示物件 (labeling) 息息相關。就色彩知覺的部份而言，適性指標需要的顏色是容易辨認，並具有不易混淆的名稱，這涉及了四種相近而重要的概念：(1) 純粹色相 unique hues；(2) 顏色之跨文化命名 cross-cultural naming；(3) 焦點顏色 focal colors；(4) 顏色類別 (categorical colors)。

(1) 純粹色相 unique hues：

純粹色相 (unique hue) 指的是對立補色理論中三個對比通道的六種顏色：「黑—白」、「紅—綠」與「藍—黃」。進一步的研究指出，受測者對於 unique yellow 的判斷最為一致 (差異在 2nm 以內)，而對於 unique green 的辨認則存在著差異，大部分的受測者認為 514nm 的光是 unique green，約三分之一的人認為 525nm 是 unique green (Ware, 2004)。

受測者對純粹色相的辨認在明度改變的狀況下仍然保有一致性 (Ware, 2004)，這也讓純粹色相在應用上更有彈性，不會因為明度改變而產生色相辨認與語言溝通上的誤差。此外，對於不同強度 (亮度與飽和度不同) 的色相，短期練習就能明顯提高色相辨認的一致性 (Richardson & Davies, 1995)，這也突顯了教材採用熟悉且一致的色相將有助於學習者能輕易的加以辨認。

(2) 顏色跨文化命名 cross-cultural naming：

Berlin and Kay 在 1969 年發表了關於「顏色名稱」的研究，發現有 11 個顏色的名稱普遍存在於不同文化的語言中 (MIYAHARA, 2003; Regier *et al.*, 2005)，並且這 11 個名稱存在優先順序。在僅有兩個顏色名稱的語言中，會被提到的顏色是黑色與白色；第三個優先顏色是紅

色，接著綠色與黃色是第四和第五優先（有些語言綠色比黃色優先，另一些語言則是黃色比綠色優先），第六優先是藍色(Ware, 2004)。

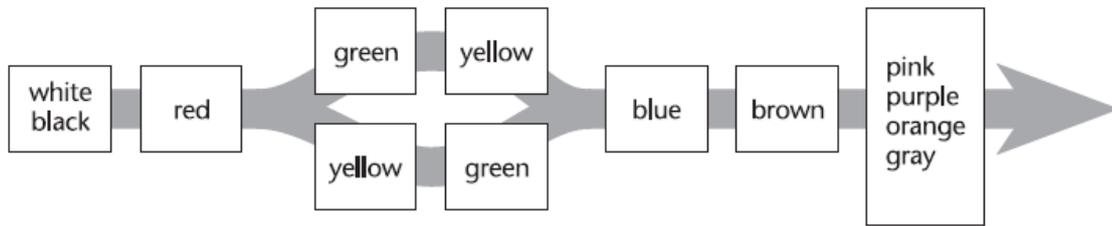


圖 4-27 Berlin and Kay 提出顏色在語言上的優先順序(Ware, 2004)

除了前六個顏色以外，棕色、粉紅色、紫色、橘色以及灰色也是在語言中較常出現的顏色名稱，Berlin and Kay 的研究指出了這 11 個「顏色名稱」在語言上具有特別的地位。此外，採用這 11 個基本色相能讓讀者花費較少的辨認時間，並且在顏色辨認與溝通上具有一致性(Uchikawa & Boynton, 1987)。

另一個議題是，究竟各個語言的顏色名稱一致性有多高？不同語言所描述的紅色是否完全相同？這涉及焦點顏色(focal color)的研究。

(3) 焦點顏色 focal colors：

焦點顏色指的是「顏色名稱」的最佳代表色，研究大多和語言上的 11 個基本「顏色名稱」有關。Terry Regier 等人的研究發現，各個語言所描述的白色、黑色、紅色、黃色、綠色以及藍色具有高度的一致性(Regier et al., 2005)。

Terry Regier 利用顏色座標來探索世界上 110 種語言所描述的顏色是否相近，結果發現座標 A0 的小色塊被認為是最佳白色的次數有 2048 次；J0 是最佳黑色的次數是 1988 次；G1 是最佳紅色的有 668 次；C9 是最佳黃色的有 752 次；F17 是最佳綠色的有 351 次；F29 是最佳藍色的有 253 次(Regier et al., 2005)。實驗發現不同語言的受測者對同一顏色名稱所認定的最佳代表色(focal colors)和 Berlin and Kay 的研究所找到的多個跨文化基本色之樣本相當接近(如圖 4-29 所標示的黑點)。

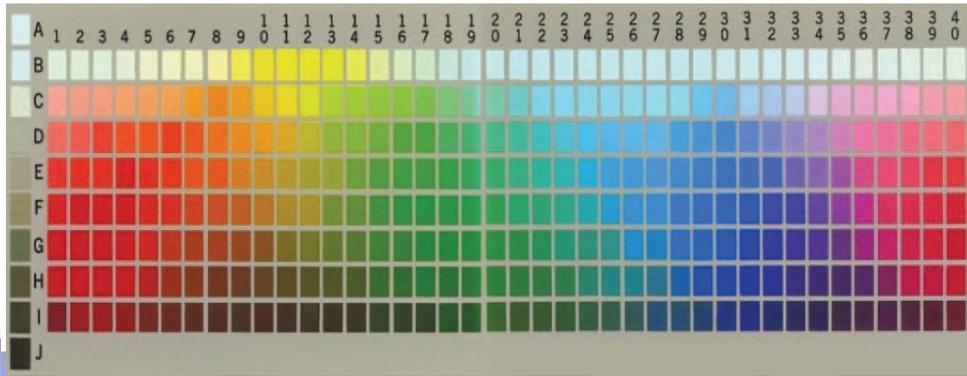


圖 4-28 Terry Regier 所採用的顏色座標(Regier et al., 2005)

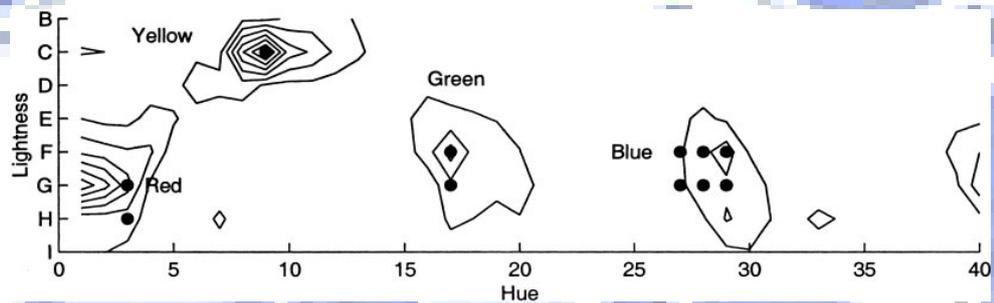


圖 4-29 焦點顏色選取次數之等高輪廓線圖(Regier et al., 2005)

Focal colors 與 unique hue 雖是不同的概念，兩者卻存在高度的一致性。在 Eriko Miyahara 的實驗中，受測者從 100 片色片中辨認 focal colors 以及 unique hue。此 100 片色片其中 90 片是色相環中從 0° 到 360° 每 4° 選取一個色相而產生，另外 10 片則是從 48°-68° 以及 348°-8° 這兩個區間每 2° 就加選一個色相而來。將此 100 個色相依度數編號並依序放置在一張工作表中。

表 4-6 使用 RGB 值計算 hue angle 的公式(contributors, 2007b)

Ordering	Hue Region	Formula
$R \geq G \geq B$	Red-Yellow	$h_{Preucil\ circle} = 60^\circ \cdot \frac{G - B}{R - B}$
$G > R \geq B$	Yellow-Green	$h_{Preucil\ circle} = 60^\circ \cdot \left(1 + \frac{R - B}{G - B}\right)$
$G \geq B > R$	Green-Cyan	$h_{Preucil\ circle} = 60^\circ \cdot \left(2 + \frac{B - R}{G - R}\right)$
$B > G > R$	Cyan-Blue	$h_{Preucil\ circle} = 60^\circ \cdot \left(3 + \frac{G - R}{B - R}\right)$
$B > R \geq G$	Blue-Magenta	$h_{Preucil\ circle} = 60^\circ \cdot \left(4 + \frac{R - G}{B - G}\right)$
$R \geq B > G$	Magenta-Red	$h_{Preucil\ circle} = 60^\circ \cdot \left(5 + \frac{B - G}{R - G}\right)$

爲了觀察飽和度是否影響色相辨認，Eriko Miyahara 使用此 100 個色相製作飽和度分別爲 20%、40%、60%、100% 的四組工作表。發現被辨認爲 focal color 與 unique hue 的色相 hue angle 平均值非常接近（僅在 Green 飽和度 20% 的狀況下具有差異），如表 4-7。

表 4-7 Focal color 與 Unique color 的一致性(MIYAHARA, 2003)

	Saturation (%)	Red		Green		Blue		Yellow	
		Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
Focal Color	20	356.1	13.1	118.3	10.8	225.1	13.1	58.2	7.4
	40	358.5	3.9	116.6	13.0	224.7	13.3	58.6	5.6
	60	357.3	4.3	120.8	10.3	220.7	16.6	59.7	3.2
	100	353.7	9.7	128.3	14.6	219.7	13.7	57.3	2.2
Unique Hue	20	356.5	10.3	113.6	12.0	226.0	15.3	60.3	7.1
	40	357.3	4.2	119.9	9.9	225.3	14.6	58.9	4.9
	60	357.9	4.7	120.9	10.3	222.6	13.1	60.7	3.8
	100	352.8	10.1	128.0	15.1	219.5	18.4	58.0	2.1

Focal colors 除了是顏色名稱所指的最佳代表色，他還有「跨文化溝通」以及「容易記憶」的優點(Ware, 2004)。從 cross-cultural naming 以及 focal colors 與 unique hue 的研究我們可以理解白色、黑色、紅色、黃色、綠色以及藍色是教材設計應該採用的首選顏色。

(4) 顏色類別 categorical colors :

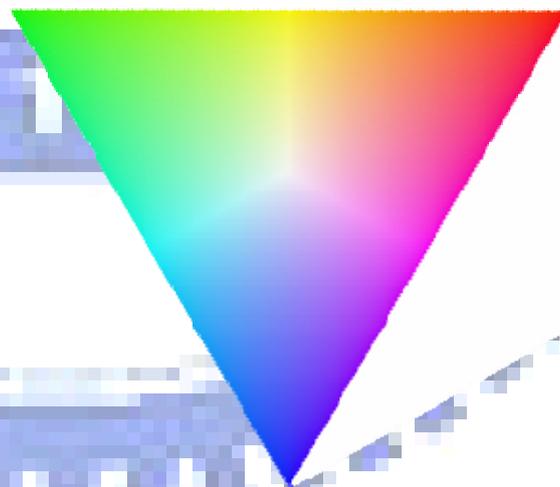
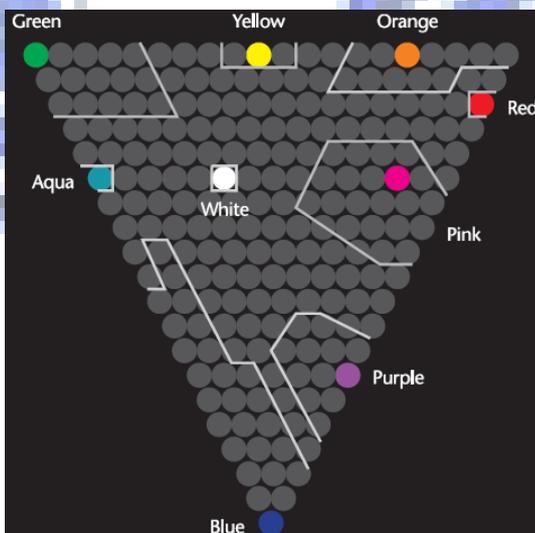


圖 4-30 顏色類別邊界與 color triangle (Ware, 2004)

焦點顏色關注的是哪一個顏色可以是某一顏色名稱的最佳代表色，而顏色類別的研究則是在探索顏色的主要分類，以及各個主要分類的代表顏色。Post 與 Greene 在 1986 年的研究中要求受測者對 color

triangle 內的 210 種顏色進行名稱辨認，結果發現有 9 個較容易辨認與區隔的顏色類別，並且許多相近的顏色會被受測者歸類為同一個類別 (Ware, 2004)。這九個類別分別是白色、紅色、綠色、黃色、藍色、橘色、粉紅色、紫色以及水綠色 (aqua)。

綜合以上四個因素，我們可以發現 unique hue 的六個顏色符合每個因素所建議的最佳顏色。由於白色經常是背景，黑色經常是文字所使用的顏色，黃色經常用來製作「底色質感式 common region」的 highlight，所以設計適性指標的最佳顏色依序是「紅色」、「綠色」以及「藍色」。這個順序是依據 cross-cultural naming 以及 focal colors 的研究結果而來。

如果一個畫面中的顏色超過上述的 6 個顏色，我們建議改採其他的視覺特徵來設計適性指標。這是因為 Christopher, G. Healey 的研究證實了受測者對於一個畫面中含有 3 個顏色或 5 個顏色的辨認效果會明顯優於畫面含有 7 個顏色或 9 個顏色(Christopher, 1996)。

3. COLOR-Hue-[label]

探討色相與適性指標設計的關係，另一個必須考量的因素是「以色彩標示物件」的原則，這涉及了 (1) 可區別性因素 distinctness；(2) 同時性色彩對比因素 simultaneous chromatic contrast；(3) 標示區域大小因素 field size；(4) 色盲因素 color blindness。

(1) 可區別性因素 distinctness：

若我們依賴色相 (hue) 特徵在一群刺激物中尋找目標物，則目標物的色相必然和干擾物有區別性 (distinctness)。色相可區別性的研究主要有以下三類(Christopher, 1996)：

1. 顏色距離 color distance
2. 線性分離 linear separation
3. 顏色分類 color category

上述第 3 項在 COLOR-Hue-[perception]之第 4 個因素已經加以討論，以下我們針對「顏色距離」和「線性分離」做進一步的探討。

1. 顏色距離 color distance :

顏色距離涉及了 CIE Color Measurement System 的觀念。CIE 國際照明委員會(Commission internationale de l'Éclairage, CIE)是研究、推行有關光源、色彩標準的國際機構。CIE 在 1931 年提出一個三度空間的座標模型來標示所有的顏色，由於這個標準模型使用到 X、Y、Z 三個變數來描述，所以稱為 CIE XYZ color space。

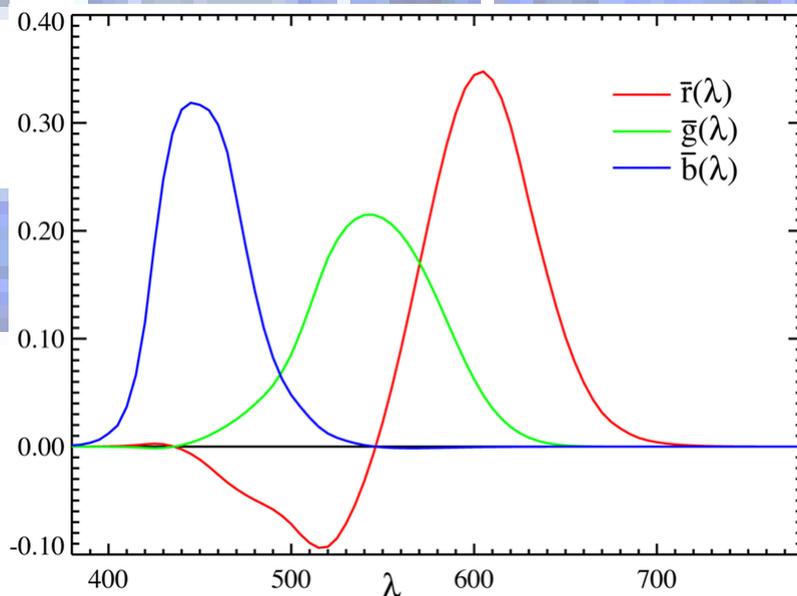


圖 4-31 CIE 測定的 RGB color-matching functions (contributors, 2007a)

CIE 將所有波長的光以紅 (700nm)、綠 (546.1nm)、藍 (435.8nm) 三原色的光依照不同的強度混色而成，並以此建立 color-matching function，這個函數就是在描述某一波長的光如何以適當強度的 R、G、B 三色光混成 (如圖 4-31)。由於此 color-matching function 的紅光函數 $\bar{r}(\lambda)$ 具有負值，會造成應用上的困擾，所以 CIE XYZ color space 並不直接加以採用，而是將 $\bar{r}(\lambda)$ 、 $\bar{g}(\lambda)$ 、 $\bar{b}(\lambda)$ 轉換成函數值非負的 $\bar{x}(\lambda)$ 、 $\bar{y}(\lambda)$ 、 $\bar{z}(\lambda)$ 三個函數，如圖 4-32。

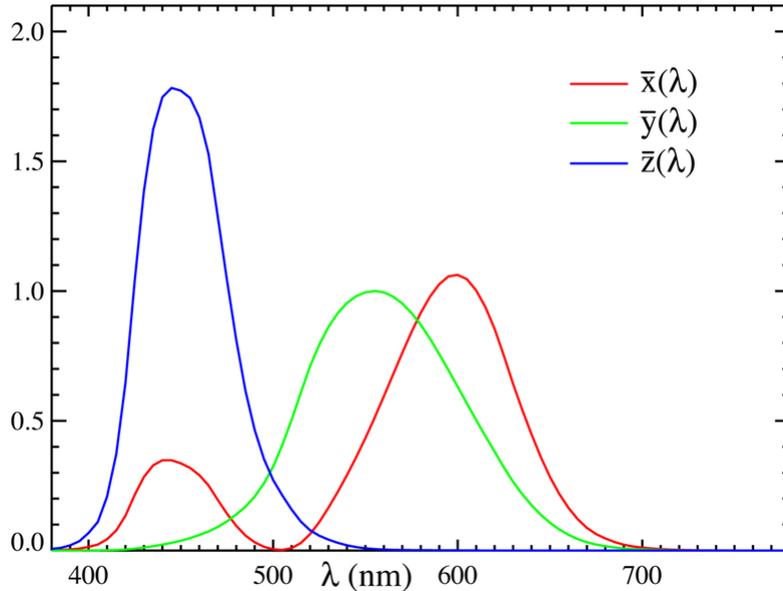


圖 4-32 CIE 測定的 XYZ color-matching functions (contributors, 2007a)

經過轉換後，波長 λ (λ 的範圍在 380nm 到 800nm) 的光都可以用 $\bar{x}(\lambda)$ 、 $\bar{y}(\lambda)$ 、 $\bar{z}(\lambda)$ 的混成來表示。對於某個待標定的顏色，可分析其在所有可見光波長的能量分配，並產生能量函數 $E(\lambda)$ 來表達每個波長的能量強度，CIE XYZ color space 的 X、Y、Z 定義如下 (Ware, 2004)：

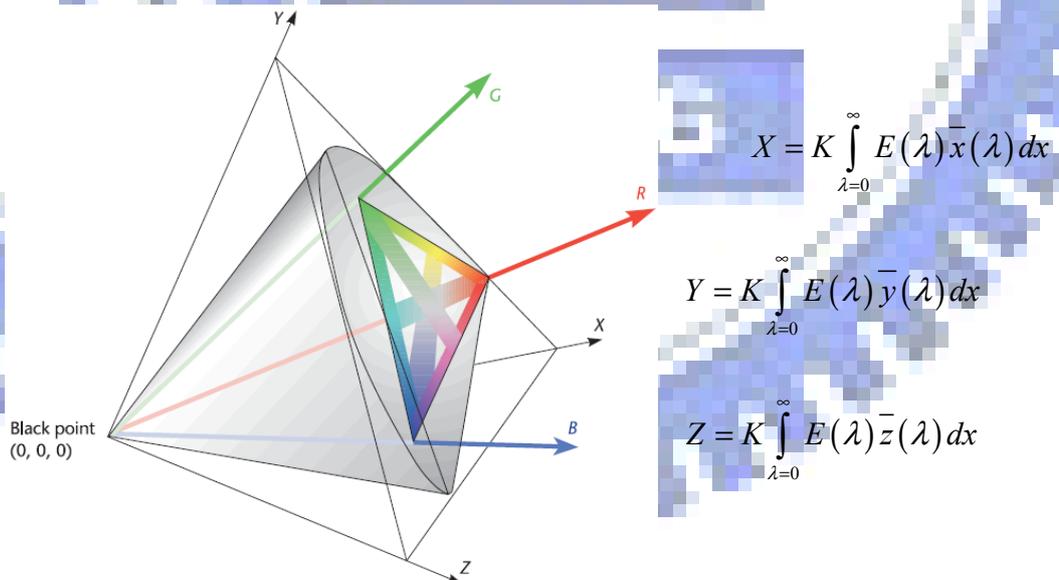


圖 4-33 CIE XYZ color space (Ware, 2004)

CIE XYZ color space 在轉換時將 luminance 獨立成一個維度，亦即

上述的 Y 座標。因此，Y 座標相同的顏色，其明度是相同的。這個性質讓 CIE XYZ color space 可以將明度通道 Y 與色彩通道 X、Z 分開來描述。

由於 CIE XYZ color space 是三度空間，不容易表達與理解，再加上日常生活所談到的顏色大多是在日常照明的條件下描述色相與飽和度，所以研究者進一步發展出給定 luminance 即能反推的 CIE XYZ 座標的 CIE xy 色度座標 (CIE xy chromaticity coordinates)

CIE xy chromaticity coordinates 的轉換方式是將 CIE color space 內任一點考慮成向量 (X, Y, Z) ，其與平面 $x + y + z = 1$ 的交點是 (x, y, z) ：

$$x = \frac{X}{X+Y+Z} \quad y = \frac{Y}{X+Y+Z} \quad z = \frac{Z}{X+Y+Z}$$

然後將此點對 CIE color space 的 XY 平面作正射影，亦即只取上述的 $x = \frac{X}{X+Y+Z}$ 以及 $y = \frac{Y}{X+Y+Z}$ 形成二維的 (x, y) 座標，如圖 4-34。

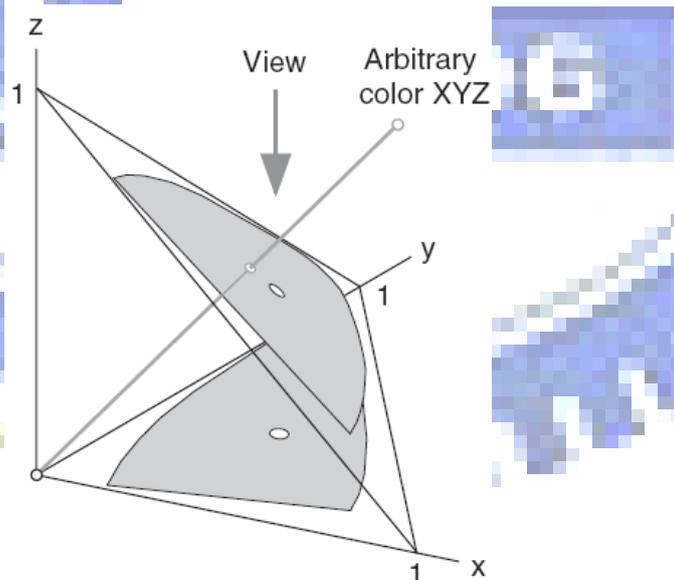


圖 4-34 CIE xy chromaticity coordinates 的轉換原理(Hoffmann, 2006)

反向來看，若給定 Y 座標 (luminance 因素) 並且知道色度座標為 (x,y)，如此即能反推回 CIE XYZ 座標：

$$X = \frac{x}{y} \times Y \quad Y = Y \quad Z = \frac{(1-x-y)}{y} \times Y$$

有了 CIE xy chromaticity coordinates 的轉換方式，就可以在二維空間中描述顏色的分布，如圖 4-35。

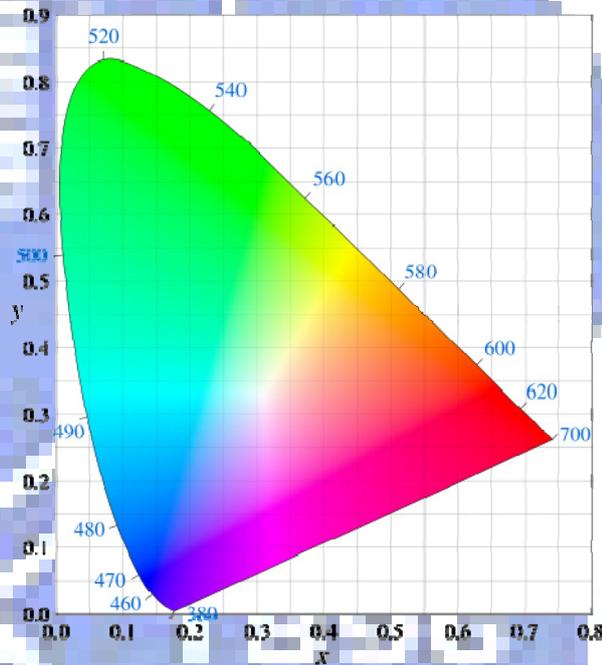


圖 4-35 CIE 1931 color space chromaticity diagram (contributors, 2007a)

CIE XYZ color space 雖然能夠以座標明確定義各種色相與強度的顏色，但是顏色在 CIE XYZ color space 的分布情形與人類對色彩的辨認知覺並不一致，1942 年 MacAdam 發表了一篇關於色彩辨認的研究論文，發現特定顏色之不可區辨範圍在 CIE XYZ color space 所轉換的 CIE xy chromaticity coordinates 上呈現橢圓形的分布型態，此即 MacAdam ellipse (MacAdam, 1942)。

MacAdam 的顏色區隔實驗中，觀察者的一隻眼睛看一邊固定的色刺激(fixed stimulus)，一隻眼睛看另一邊，並且利用旋鈕變動色刺激

(variable stimulus)，直到觀察者認為兩個顏色相同為止，然後再更換下一個固定的刺激色。不論是固定的色刺激或是變動的色刺激，兩者的 luminance 必須恆定為 15 millilambert (千朗伯特)，將近是 48 (燭光/平方公尺)，並且都是由 RGB 三原色所混合而成(MacAdam, 1942; 吳欣穎, 2006)，如圖 4-36 左圖。

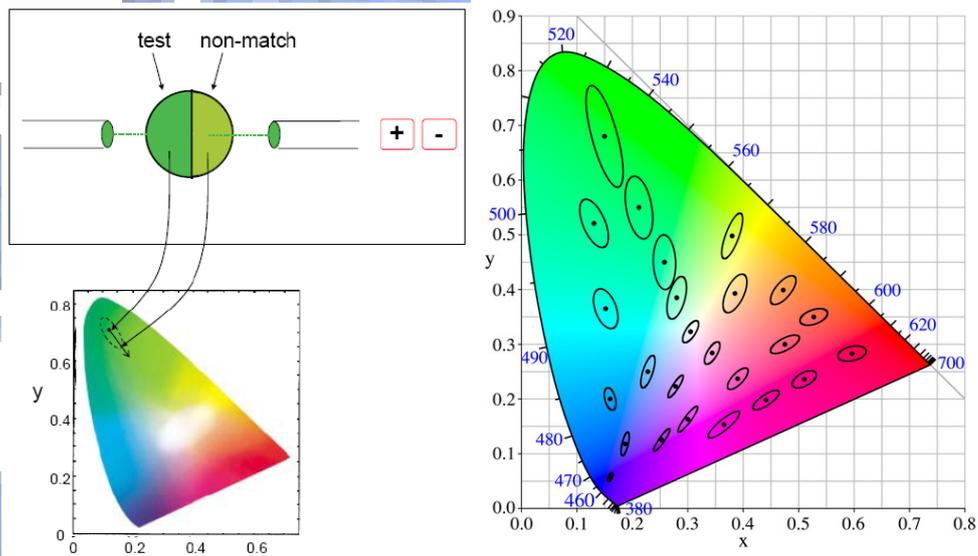


圖 4-36 MacAdam ellipse (contributors, 2007c; 李允立, 2007)

MacAdam 取 25 個基準色，並分別將每個基準色當成中心點，測量其在各方向上的恰可查覺色差(just-noticeable color differences)。

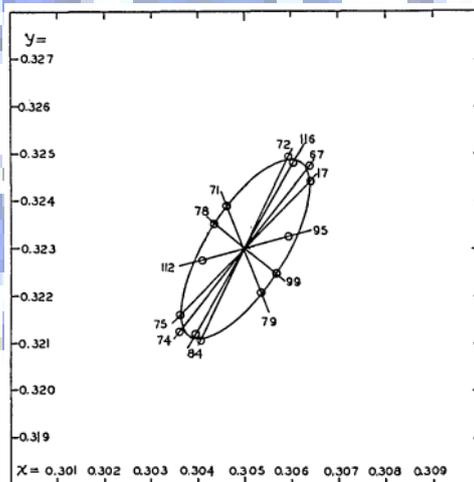


圖 4-37 MacAdam 實驗測量各方向的恰可察覺色差(MacAdam, 1942)

由實驗數據可以看出恰可察覺色差呈現橢圓形的分布，並且大小、方向都不甚規則。最重要的是，在 CIE xy chromaticity coordinates 上，兩個顏色的距離遠近與人類視覺辨認的可區隔性並不一致（有些點距離很遠卻仍不可區隔）。

為了解決此問題，CIE 在 1976 年提出 CIE LUV uniform color space。CIE LUV uniform color space 與 CIE XYZ color space 轉換公式如下(Ware, 2004)：

$$L^* = 116 \left(\frac{Y}{Y_n} \right)^{\frac{1}{3}} - 16 \quad u^* = 13L^* (u' - u'_n) \quad v^* = 13L^* (v' - v'_n)$$

其中

$$u' = \frac{4X}{X + 15Y + 3Z} \quad u'_n = \frac{4X_n}{X_n + 15Y_n + 3Z_n}$$

$$v' = \frac{9X}{X + 15Y + 3Z} \quad v'_n = \frac{9X_n}{X_n + 15Y_n + 3Z_n}$$

在此， X_n 、 Y_n 、 Z_n 是一個特定的參考白光 (reference white) 的 CIE XYZ color space 座標。我們可以發現，經過 CIE LUV 轉換後，MacAdam ellipse 很接近圓形，較能反映出「距離遠區隔性越強」的直觀感受。

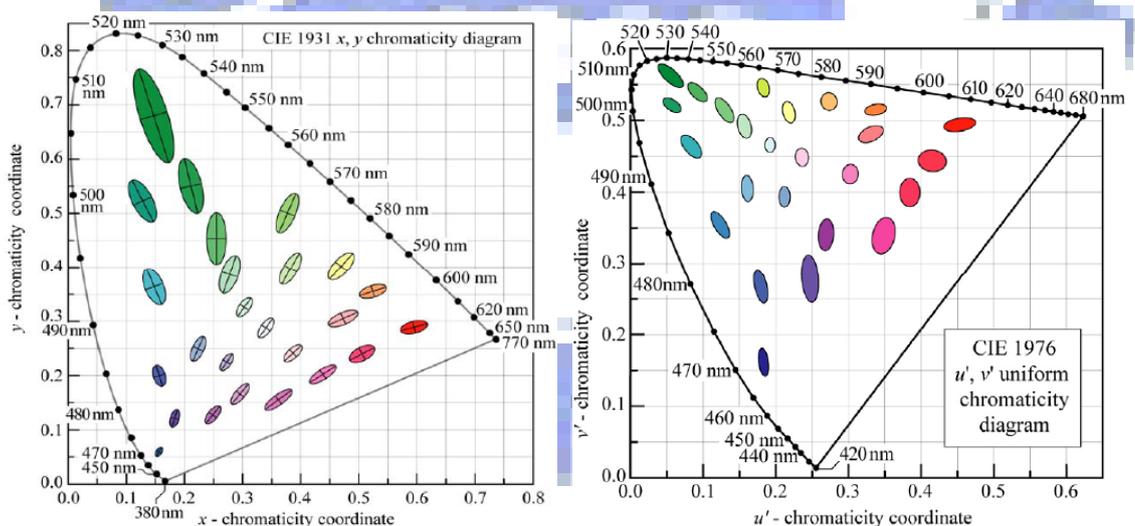


圖 4-38 CIE XYZ 與 CIE LUV 上的 MacAdam ellipse 比較 (李允立, 2007)

CIE LUV uniform color space 有兩個重要特性，(a) 兩個顏色若 L^* 值相同即代表明度相同；(b) 兩個顏色的距離可定義為其在 CIE LUV 上兩點之 Euclidean distance (Christopher, 1996)：

$$\Delta E^* = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta u^*)^2 + (\Delta v^*)^2}$$

當 color distance 越大時，反映出兩個顏色在 CIE LUV uniform color space 的差距越大，也就越能加以區別 (distinctness)。

2. 線性分離 linear separation：

除了顏色距離，關於 distinctness 另一類的研究關注的是顏色在 CIE xy chromaticity coordinates 分布的線性關係。D'Zmura 等人的研究發現若目標物 T 與干擾物 A、B、C 的顏色即使是在 CIE LUV(u^*, v^*) 色度平面 (CIELUV chromaticity (Takamura & Kobayashi, 2002)) 上的距離相等，其區隔性並不相等。我們考慮以下兩個狀況：(a) T 在 A、B 兩點所形成的線段內，此時若刺激物為 T、A、B，目標搜尋速度較慢；(b) T 在 A、C 兩點所形成的線段之外，此時若刺激物為 T、A、C，目標搜尋速度較快 (Bauer *et al.*, 1996, 1999; D'Zmura, 1991)，如圖 4-39

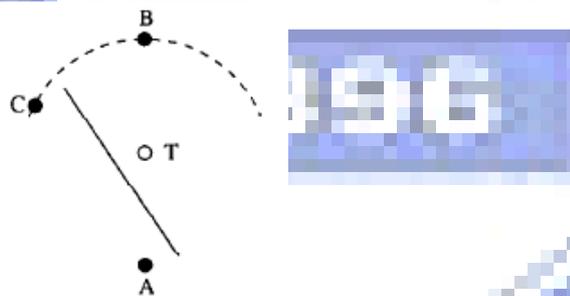


圖 4-39 linear separation (Christopher, 1996)

上述理論直觀上的意義是：如果在 CIE xy chromaticity coordinates 存在一條直線可以區隔目標物和干擾物，則搜尋速度較快。

上述 linear separation 的觀念又稱為 linear separability hypothesis，經過 Bauer 的實驗驗證及推廣後，逐漸形成一個更一般的狀況，此重要的實驗稱為 convex hull test (凸包測試)。

首先，凸包在數學上有兩種定義，一種以圖形的直觀概念定義，另一種是以集合來定義。

圖形定義：一個點集的凸包即為包含此集合所有點的最小凸多邊形。

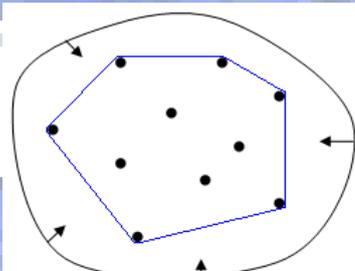


圖 4-40 凸包的圖形定義

集合定義：一個集合 X 若為實係數向量空間，其凸包定義如下：

$$H_{convex}(X) = \left\{ \sum_{i=1}^k \alpha_i x_i \mid x_i \in X, \alpha_i \in R, \alpha_i \geq 0, \sum_{i=1}^k \alpha_i = 1, k = 1, 2, 3, \dots \right\}$$

在數學上，上述集合內的元素稱為凸組合 (convex combination)，是一種特殊的線性組合，在此線性組合中所有係數的和等於 1。

Bauer 的實驗證實了若目標物的顏色在干擾物顏色形成的凸包之內，則搜尋速度較慢；若目標物的顏色在干擾物顏色行程的凸包之外，則搜尋較快(Bauer et al., 1999)，實驗結果如圖 4-42。

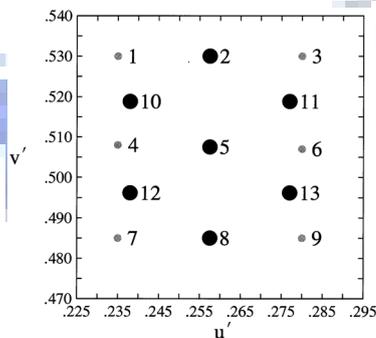


圖 4-41 Bauer 所使用的刺激物在 CIE LUV 的分布狀況(Bauer et al., 1999)

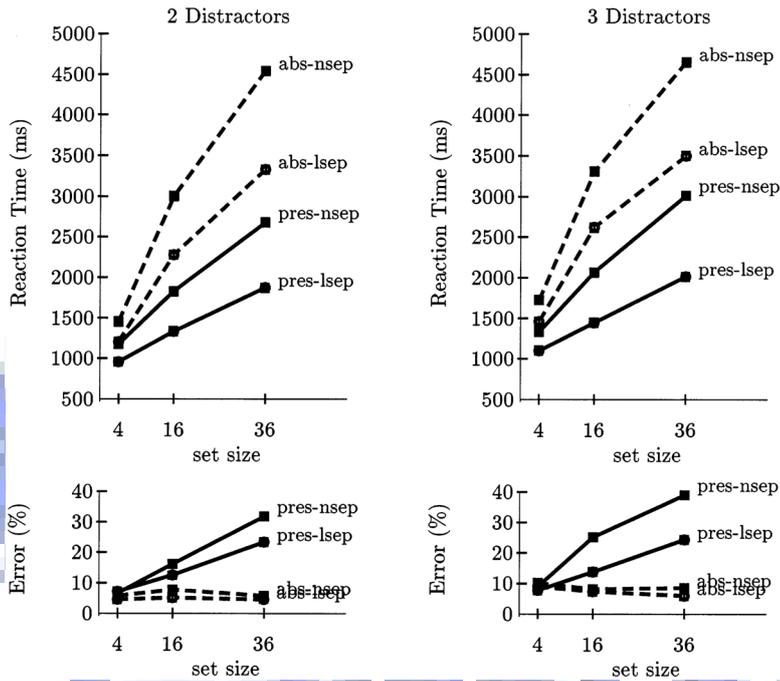


圖 4-42 Bauer 的 convex hull test 實驗結果

除了 2~3 個干擾物的情形得到證實，Bauer 亦驗證 linear separation 在 4 個干擾物的狀況下是正確的。Bauer 並進一步探索干擾物分布在三度空間的 CIE LUV uniform color space 時「線性分離假設」是否仍然成立，結果發現即使是在非「單一明度 (isoluminance)」的狀況下，linear separation 的現象依然存在。

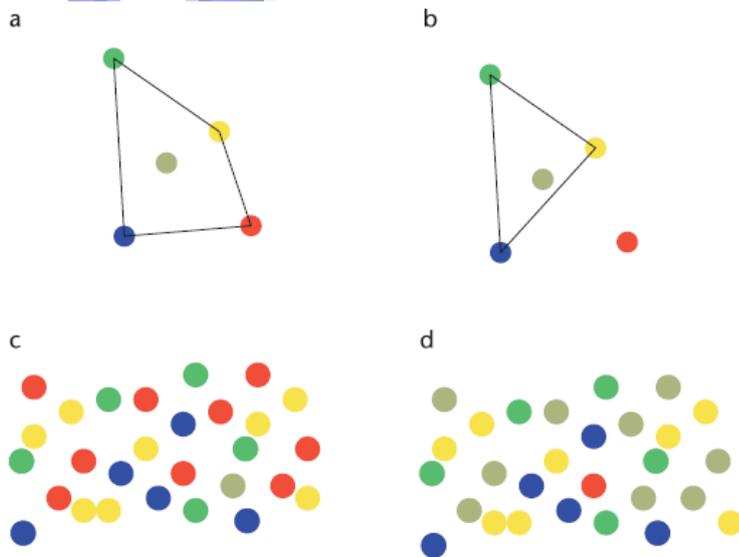


圖 4-43 linear separation 的明顯實例(Ware, 2004)

Colin Ware 提出了一個 linear separation 的明顯實例，觀察圖 4-43 的左方 a 圖，我們發現目標物「灰色」在綠、黃、紅、藍的 convex hull 之內，在 c 圖中「灰色」在綠、黃、紅、藍干擾物中是難以辨認的；觀察右方 b 圖，目標物「紅色」在綠、黃、藍、灰的 convex hull 之外，在 d 途中「紅色」在綠、黃、藍、灰干擾物中是容易辨認的(Ware, 2004)。

(2) 同時性色彩對比因素 simultaneous chromatic contrast

色彩對比分為「同時性對比」(simultaneous contrast)以及「連續性對比」(successive contrast)。連續性對比又稱「負後像」(negative afterimage)。若我們觀看圖 4-44 左方黑點數秒，然後將視線移至右方黑點，則我們會發現右方有一個青綠色的圓形，此即連續對比的現象。

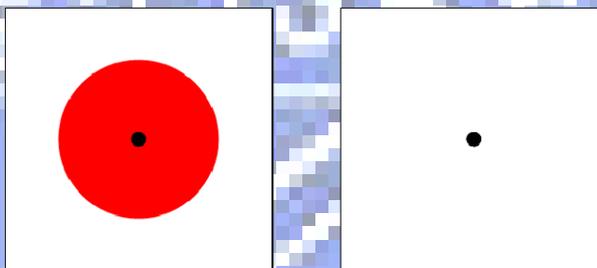


圖 4-44 連續性對比

「同時性對比」指的是物件周圍的背景顏色會影響物件顏色的辨認，如圖 4-45 上圖左右兩個紫色區塊是相同的顏色，下圖卻因為背景顏色的「同時性對比」而使得兩個相同的紫色區塊被辨認為不同顏色。

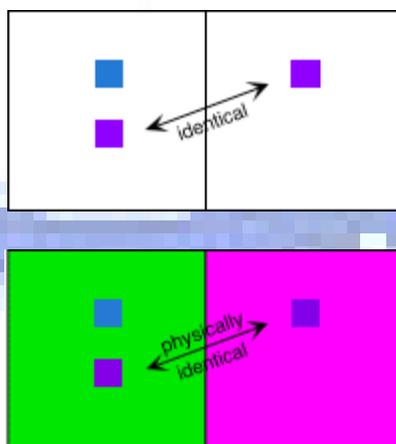


圖 4-45 同時性對比(Arend *et al.*, 2007)

「色彩對比」在中文詞意上，似乎會給人一種「目標物」與「干擾物」對比越強越能突顯目標物的意思。這樣的想法比較接近可區別性因素（COLOR-Hue-[label: distinctness]）—「目標物與干擾物的差異越大，越能正確且輕易地辨認」。然而，這並不是色彩同時性對比原始的涵義。

「同時性色彩對比」所關注的是背景的颜色會讓目標物的颜色在辨認時發生偏移，如圖 4-45。一般而言，一個較小的目標區域被相對較大的背景區域圍繞時，比較容易觀察出同時性色彩對比的效果。此效應更具體的說明是：背景區會誘發目標區的颜色往背景區颜色的互補色靠近(Hurlbert & Wolf, 2004)。因此，適性指標的颜色必須考慮背景所引發的同時性對比效應，以避免因錯誤的色彩辨認而增加言語溝通上的困難。

目標區與背景區的面積比例（area-ratio）被認為是影響同時性色彩對比的重要因素。Zaidi 與其夥伴研究了目標區「形狀」、「周長」對同時性色彩對比的影響，結果發現當目標區與背景區的「面積」固定時，「形狀」與「周長」對同時性對比沒有顯著的影響。這個實驗結果與 area-ratio 模型的推論一致(Zaidi *et al.*, 1991)。

	Perimeter Length (deg)			
	2.5 π	3.5 π	4.5 π	5.5 π
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
20				
40				

圖 4-46 Zaidi 實驗所使用的目標區域面積皆相同(Zaidi *et al.*, 1991)

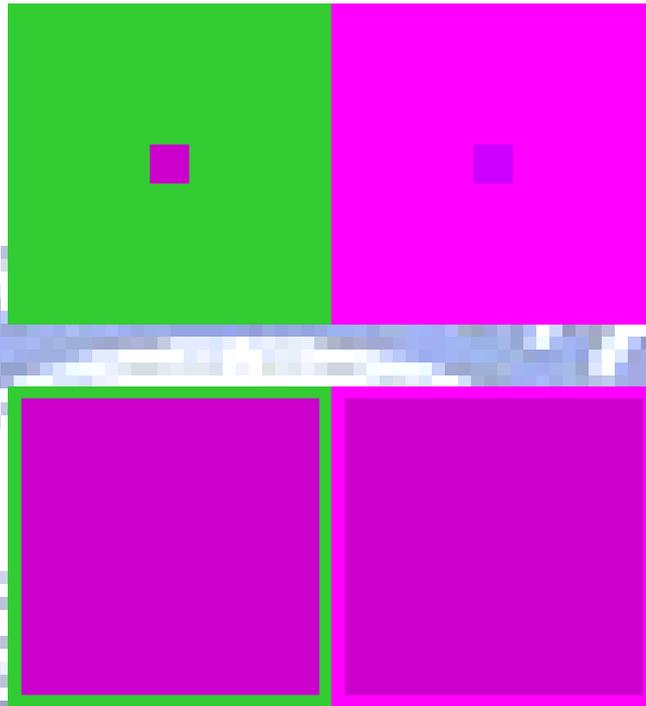


圖 4-47 同時性色彩對比受目標區與背景區的面積比例影響

此外，目標區與背景區的顏色差異也會影響同時性色彩對比的效果。Lotto 以及 Purves 從實驗歸納出以下結論：(Lotto & Purves, 2000)

1. 當目標區與背景區的顏色相近時，目標區顏色的飽和度 (saturation) 以及亮度 (brightness) 會降低，色相 (hue) 會些微改變。
2. 當目標區與背景區的顏色互補時，目標區顏色的飽和度以及亮度會增加，色相 (hue) 會些微改變。
3. 當目標區與背景區顏色不相近且不互補時，目標區的色相改變最大，飽和度與亮度會些微改變。

基於上述「面積比例」與「顏色差異」的研究，為了避免「同時性色彩對比」所衍生的混淆，適性指標的設計可考慮以下原則：

1. 教材投影片的背景採用白色。
2. 若要標示的區域是在另一個更大區域的內部，則可以在標示區周圍添加黑框或是白框來減低對比效果的強度(Ware, 2004)。
3. 改採質感 (texture) 或形狀 (form) 來標示目標區。
4. 若對比效果影響顯著並影響閱讀時，改採純黑色的指標。

一個主要的精神是：當畫面中顏色已經超過 5 個(Christopher, 1996)

或是同時性色彩對比效果已經影響閱讀時，就應該改採其他的視覺特徵來設計適性指標。

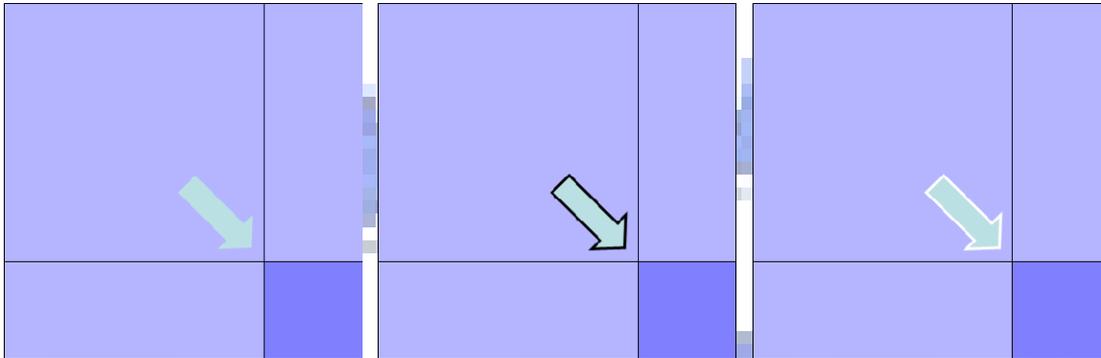


圖 4-48 在指標周圍添加黑框或白框降低色彩對比效果

(3) 標示區域大小因素 field size

標示區域很小時，顏色辨認會比較困難(Ware, 2004)。因此，在設計適性指標時，要考慮標示區域大小因素。若標示區域太小，應該考慮以外加的框線來標示欲突顯的物件，而不是只靠顏色來標示，如圖 4-49。

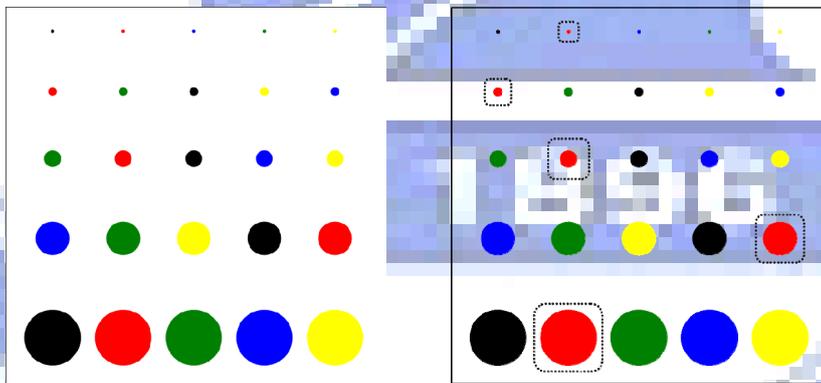
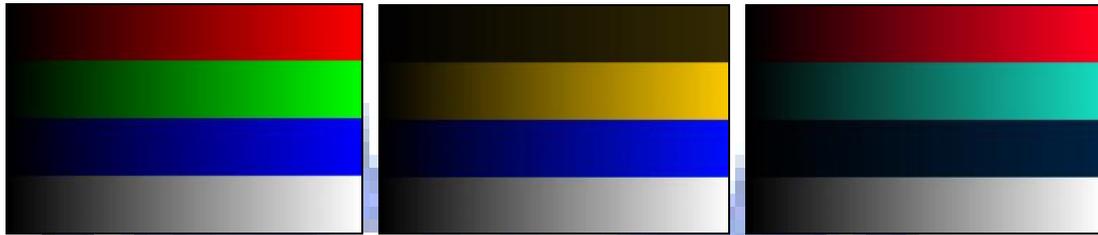


圖 4-49 面積大小影響顏色辨認的難易度

(4) 色盲因素 color blindness

色盲人口占全球人數約 8%，男女比例上，男性的發生率遠高於女性，男性有 8%，女性約 0.5%，並且以紅綠色盲為主 (維基百科編者, 2007)。在設計時若考慮色盲的因素，可採用的顏色會變得很少。因此，本文探討的範圍是一般用途的適性指標設計，而專為色盲人士製作的

教材有賴更進一步的研究。



正常 紅綠色盲 藍黃色盲
圖 4-50 模擬色盲人士所看到的三原色(維基百科編者, 2007)

關於色相特徵的搜尋非對稱性，Treisman 在 1988 年的研究除了證實色相是基本視覺特徵，並且肯定色相具有搜尋非對稱性(Treisman & Gormican, 1988)。然而，Nagy 在 1996 年的研究指出，目標物與干擾物具有飽和度的差異時會有搜尋非對稱性，若僅具有色相差異時則不會有搜尋非對稱性(Nagy & Cone, 1996)。Rosenholtz 在 2001 年的研究更進一步指出搜尋非對稱性的發生和實驗時所採用的刺激物與干擾物的設計有關，並不能肯定目標物與干擾物具有色相差異時一定會有搜尋非對稱性(Rosenholtz, 2001)。因此本文不將顏色相關的視覺特徵判定為具有搜尋非對稱性，而是留待進一步的研究再行分析。

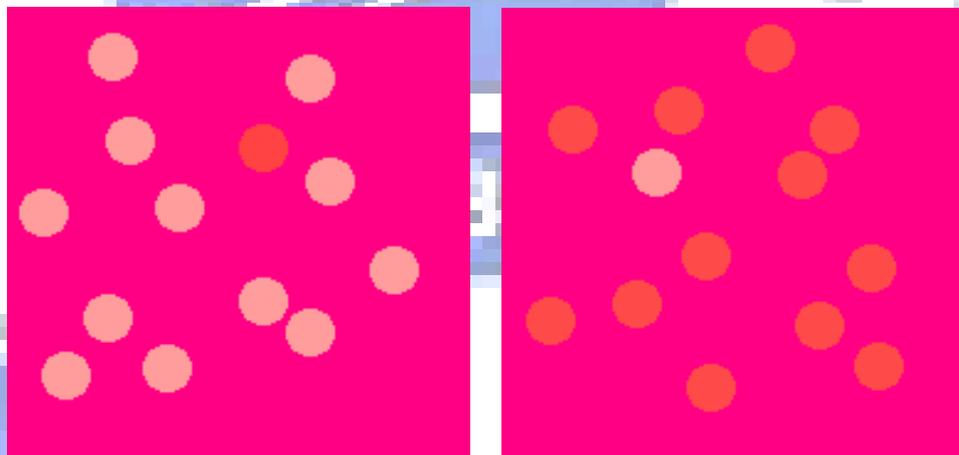


圖 4-51 Rosenholtz 提出搜尋非對稱性的例子

此外，Rosenholtz 的研究提到了一種會有明顯搜尋非對稱性的設計方式，就是目標物和干擾物其中一種和背景非常相似，另一種則和背景具有明顯的差異，如圖 4-51。這個現象可以用「注意力投注理論」加以解釋，目標物偵測的難易度會和「目標物」與「干擾物及背景」的相似度有關，並且會和「干擾物與背景」各元素之間的相似度有關。

二、COLOR-Intensity

色彩強度特徵 (Intensity) 是指色彩在飽和度 (saturation)、亮度 (lightness) 以及透明度 (transparency) 的差異會給人不同強度的心理感受。應用色彩強度特徵需考慮「明度差異 luminance」、「同時性亮度對比 simultaneous brightness contrast」以及「色彩強度群化 grouping」。在做進一步的探討之前，我們先就本文所採用的 luminance、brightness 以及 lightness 做更精確的說明：

luminance (明度) 指的是以物理方式測量從某物體傳來的光量，其測量方式由國際照明委員會 (CIE) 所制定。(Ware, 2004)。

brightness (亮度) 指的是我們對物體的主觀亮度感覺。(葉素玲, 1999a)。

lightness (亮度) 指的是以HSL方式設定物件顏色的亮度值。

表 4-8 色彩強度特徵在應用上需考慮的因素

Intensity 應用需考慮之因素編碼	說明
2.2.1 COLOR-Intensity-[luminance]	明度差異
2.2.2 COLOR-Intensity-[simultaneous brightness contrast]	同時性亮度對比
COLOR-Intensity-[SBC : contrast]	SBC : 對比因素
COLOR-Intensity-[SBC : luminance difference]	SBC : 明度差異
COLOR-Intensity-[SBC : area ratio]	SBC : 面積比例
COLOR-Intensity-[SBC : crispening effect]	SBC : 清晰效果
COLOR-Intensity-[SBC : spatial sensitivity]	SBC : 空間敏感度
2.2.3 COLOR-Intensity-[grouping]	色彩強度群化

1. COLOR-Intensity-[luminance]

明度 (luminance) 的差異已經被證實是基本視覺特徵(Theeuwes, 1995)。Theeuwes 發現不論目標物與背景的颜色是否相同，只要目標物和背景在明度上有差異，就能在前注意處理階段很快地被視覺系統偵測出來。進一步的，若目標物和背景的明度差異越大，偵測速度越快。

Theeuwes 實驗的刺激物採用綠色圓圈包住紅色線段，並且綠色圓圈在畫面的位置以及紅色線段的方向都是隨機的。受測者看到的第一個畫面是空白畫面，第二個畫面會出現數個刺激物，第三個畫面突然增加一個，並請受測者回答增加的這個刺激物其中央紅色線段是水平的或垂直的（增加的這個刺激物中央紅色線段只有水平和垂直兩種），我們將此程序稱為一組畫面。一組畫面內的綠色圓圈明度皆相同，不同組之間則有明度的差異。實驗以此方式調查受測者對於綠色圓圈在多種不同的明度下（背景的明度不變）的搜尋時間。

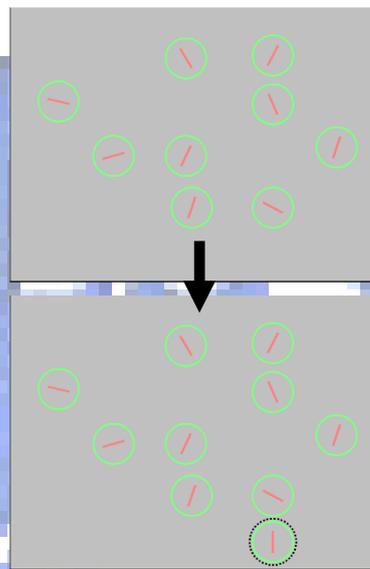


圖 4-52 Theeuwes 實驗所使用的刺激物(Theeuwes, 1995)

Theeuwes 使用 luminance contrast ratio 來表現目標物和背景的明度差異，其中 $\text{luminance contrast ratio} = L_{\text{circle}}/L_{\text{background}}$ ，即圓圈明度除以背景明度。當此明度比例接近 1 時（目標物與背景明度很接近時），搜尋所需時間增加；而明度比例離 1 越遠（目標物與背景明度差異越大），搜尋所需時間減少（如圖 4-53）。

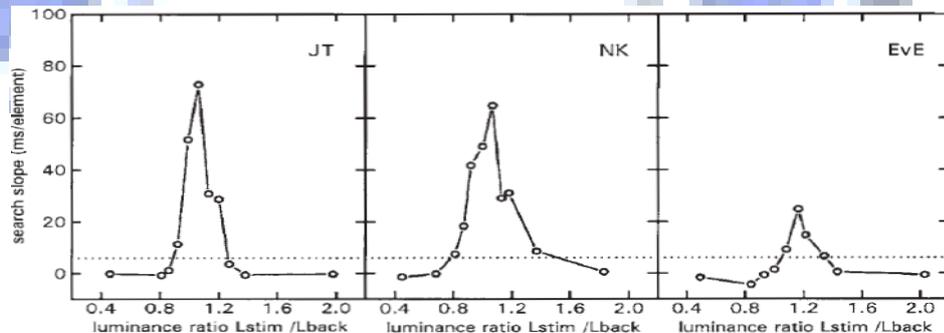


圖 4-53 Theeuwes 實驗的結果分析圖

因爲明度差異會直接影響色彩強度，所以本文將此特徵歸類在 Intensity 內的一個考慮因素。Theeuwes 的研究除了確認「明度差異」是有效的視覺特徵，更確認了適性指標的機制能夠有效加快視覺搜尋的速度，並由後續的學者進一步建立了「視覺標記 visual marking」的觀念。

2. COLOR-Intensity-[simultaneous brightness contrast]

「同時性亮度對比」類似「同時性色彩對比」，指的是目標物周圍的背景亮度會影響受測者對目標物亮度的辨認。「同時性亮度對比」涉及閱讀者所感受到的亮度強度，亦即影響讀者所感受的「顏色強度 (Intensity)」。其在應用上考量的重點並非「避免讀者對亮度值的誤判」，因爲一般而言無法明確說出目標物的亮度值並不影響教材訊息的傳遞。亮度在應用上應該關注的是「如何利用亮度將讀者的注意力引導到適當的位置，以及如何利用亮度降低搜尋目標物所需的視覺搜尋時間」。而「同時性亮度對比」所扮演的角色，就是如何增強目標物與干擾物（或背景）的亮度差異感，以增強亮度特徵的效果。

此外，同時性亮度對比也和視覺空間敏感度 (Spatial Sensitivity) 有關。目標物與背景亮度差異很大，其形狀與邊緣輪廓就越能被清楚的辨認；反之，若目標物與背景亮度差異很小，即使色相不同，仍然無法輕易地辨認其輪廓(Ware, 2004)。這表示教材的呈現需要考慮同時性亮度對比因素，盡量能讓讀者輕鬆地把文字或圖形看清楚。「同時性亮度對比」涉及的因素有：(1) 對比因素 contrast；(2) 明度差異因素 luminance difference；(3) 面積比例因素 area ratio；(4) 清晰效果 crispening effect；(5) 空間敏感度 spatial sensitivity。

1. 對比因素 contrast：

當背景區明度較目標區高時，目標區亮度降低；背景區明度較目標區低時，目標區亮度提高(Heinemann, 1955)。

在圖 4-54 中，兩條橫線各自的明度自左至右是完全相同的，但是

看起來卻是左邊較暗，右邊較亮。這是因為左邊背景的明度較高，使得橫線看起來相對較暗；而右邊背景的明度較低，使得橫線看起來相對較亮。

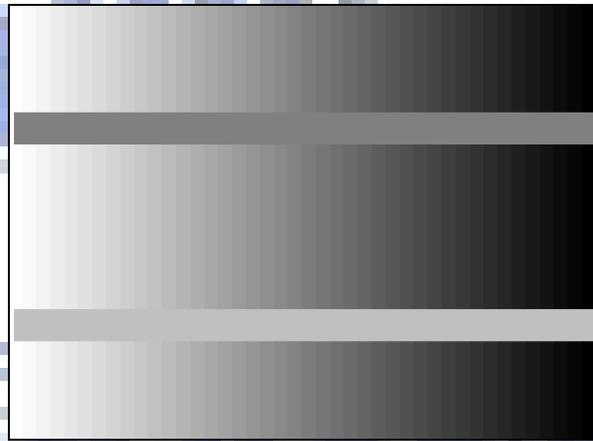


圖 4-54 背景區會影響目標區的亮度辨認

2. 明度差異因素 luminance-difference :

背景與目標明度差異越大時，同時性亮度對比越顯著(Stecher, 1968; Ware, 2004)。

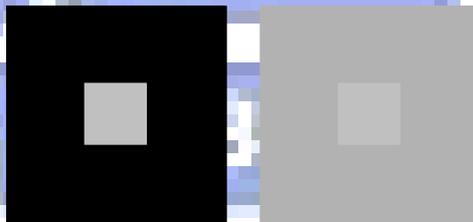


圖 4-55 明度差異越大對比越顯著

左右兩個內部小正方形明度相同，因背景不同，左方看起來較亮。

3. 面積比例因素 area ratio :

目標區面積較小時，同時性對比較強；目標區面積較大時，同時性對比較弱(Blakeslee & McCourt, 1997)。

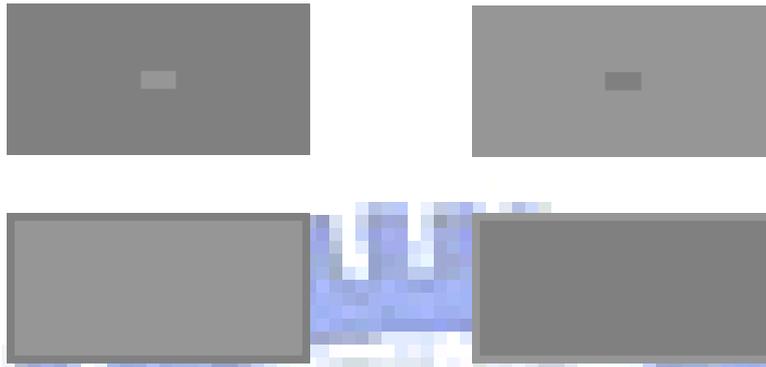


圖 4-56 目標區面積大小影響同時性亮度對比的強度

圖 4-56 中，左方上下兩個圖形的目標區明度相同，背景區明度也相同，但是因為上方目標區的面積較小，所以看起來較顯眼。若我們觀察右方上下兩個圖形，也有發現類似的效果。

4. 清晰效果 Crispning Effect

背景會影響灰階知覺 (Gray-scale perception) (Carter, 1997)，研究者稱此效應為 Crispning Effect，更精確的描述是「兩差異不大之色彩刺激量，同時置於與刺激量相似之背景下，人眼對於兩刺激量的視覺差異會較原先來得大」(陳佑霖, 2005)。如圖 4-57 所示，雖然四條垂直直線顏色分布是完全相同的，但是 A 看起來白色部分較短，D 看起來白色部分較長，這表示在白背景下，接近純白色的灰階色其明度能夠較精確地被辨認，因此很快的就不被視為白色；而在黑背景下，灰階色要距離純白色較遠才能被察覺出來，所以會感覺白色部分較長。除了黑白灰階以外，一般色彩亦具有 Crispning Effect，如圖 4-58。

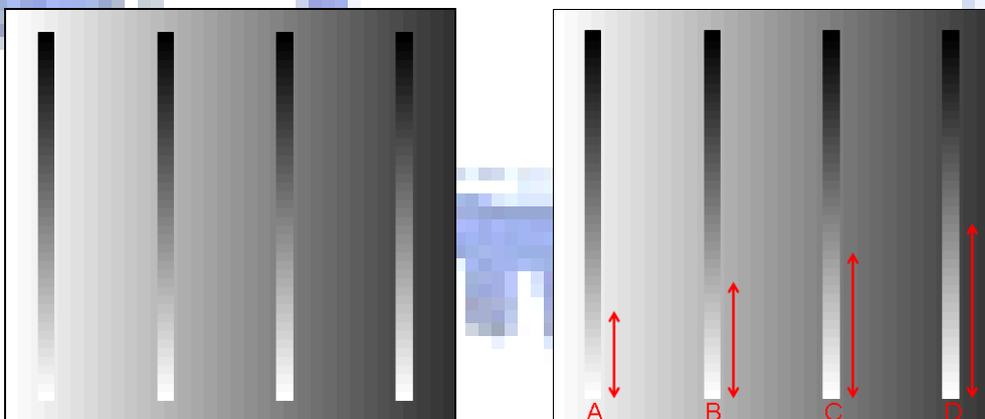


圖 4-57 Crispning Effect

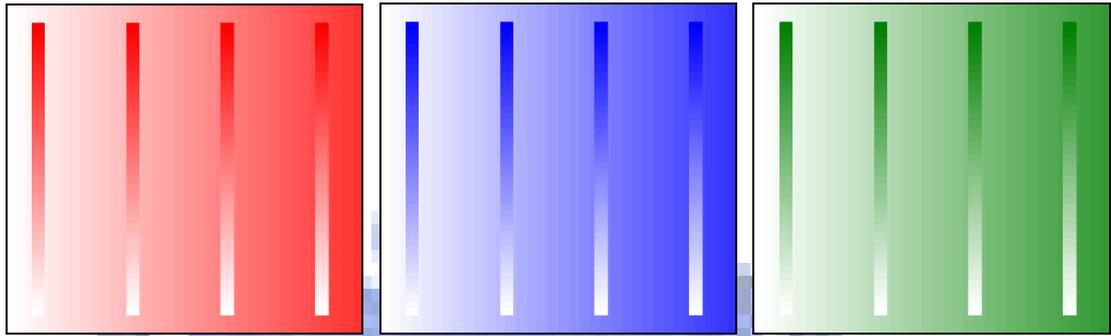


圖 4-58 三原色亦都有 Crispning Effect 的現象

基於 Crispning Effect 的因素，我們可以了解若要採用多個相異灰階色來呈現教材物件時，應該使用白色背景。如圖 4-57 所示，因為白色背景的亮度辨認從白到黑若扣掉被辨認為白色的部分所剩下的長度最長，不被誤認為白色的灰階色最多，也就提供了最多的選擇性與較佳的區隔性（如圖 4-59）。



圖 4-59 白色背景的灰階辨認效果較佳

Crispning Effect 亦可增強目標物與干擾物的區隔性，如圖 4-60。

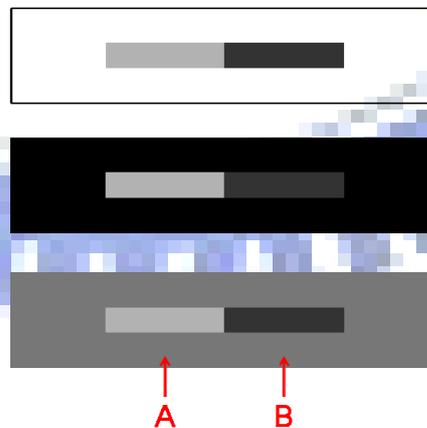


圖 4-60 Crispning Effect 可增強目標物與干擾物的區隔性

若背景的明度介於目標物明度與干擾物明度之間，可以讓目標物與干擾物更容易區隔(Carter, 1997; J. H. Xin, 2004)。如圖 4-60 在灰色的背景中，目標物 A 會變得更亮（背景比 A 暗會增強 A 的亮度），而干擾物 B 會變得更暗（背景比 B 亮會降低 B 的亮度），因此會比白色或黑色的背景容易區隔。

在教材呈現時，如果需要用低明度和高明度區隔目標物與干擾物，有時會導致高明度物件與白色背景太過接近；若改用黑色背景，則會造成低明度物件與背景太過接近。Crispening Effect 可以同時清楚地呈現高明度與低明度物件，並且讓明度的區隔更顯著（如圖 4-61）。



圖 4-61 Crispening Effect 可用來區隔明度的差異

5. 空間敏感度 spatial sensitivity

明度差異會影響同時性亮度對比，也同時影響空間敏感度（spatial sensitivity）。spatial sensitivity 相關研究所關注的是「哪些因素會影響物體輪廓看起來是清楚或模糊？」。明度差異已經被證實是一個能否看清輪廓的重要關鍵(Mullen, 1985; 葉素玲, 1999a)，並且在一般狀況下「明度差異」比「色相差異」更具影響力（低空間頻率除外）。在圖 4-62 左圖中，黃色文字之色彩及明度皆相同，卻因為藍色背景的明度變化而影響了文字的可讀性。箭頭標示處因為文字與背景的明度差異非常小，閱讀起來會非常吃力，此即空間敏感度較低的狀況。同樣的，在紅綠對比也有類似的情形發生（圖 4-62 右圖）。

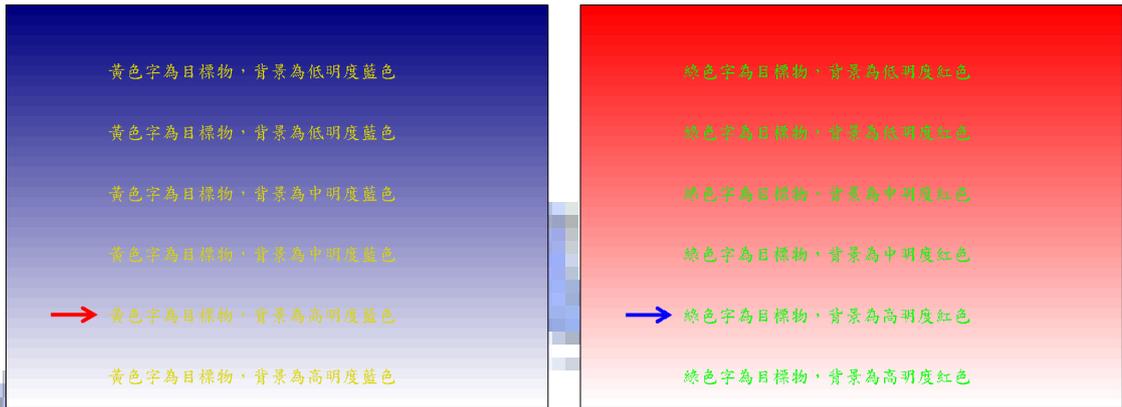


圖 4-62 藍黃對比與紅綠對比的空間敏感度受明度影響

spatial sensitivity 相關研究涉及了「空間頻率 (spatial frequency)」、「對比值 (contrast)」、「對比低限 (contrast threshold)」以及「對比敏感度 (contrast sensitivity)」。相關概念如下：

(1) 空間頻率 spatial frequency

空間頻率指的是光柵 (grating) 在空間中的循環密度，通常使用每度視角的循環數來表示。經過測量，contrast sensitivity 會因不同的空間頻率而呈現不同的函數圖形 (Mullen, 1985)。圖 4-63 左圖為高空間頻率，右圖為低空間頻率。

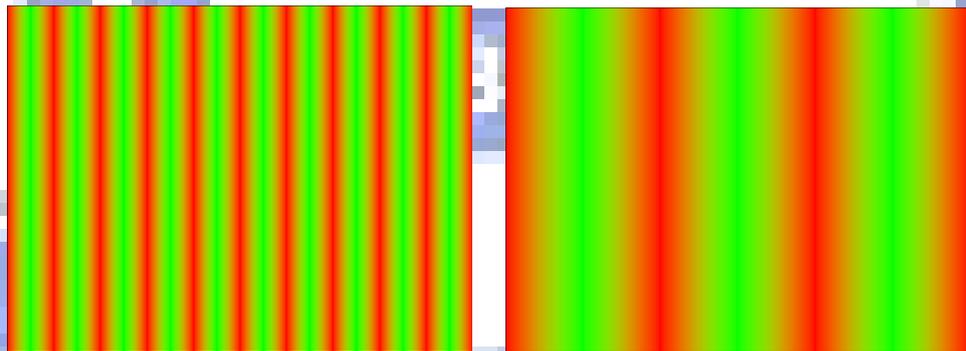


圖 4-63 高空間頻率與低空間頻率

(2) 對比值 contrast

對比值 (contrast) 要表達的是單色光柵的對比強度。其定義如下：

$$\text{對比值 } C = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}} \quad (\text{Mullen, 1985})$$

其中 I_{\max} 表示此單色光柵的最高明度（光量）， I_{\min} 則為此單色光柵的最低明度（光量）。圖 4-64 (a) 圖與 (b) 圖紅色光柵之 I_{\max} 相同，而 (b) 圖的 I_{\min} 比 (a) 圖的 I_{\min} 大，我們可做以下的推導：

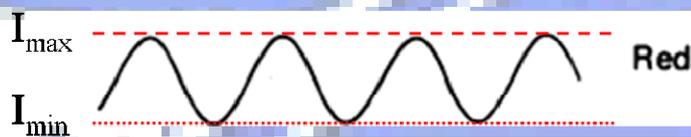
$$C(a) = \frac{I_{\max}(a) - I_{\min}(a)}{I_{\max}(a) + I_{\min}(a)}, \quad C(b) = \frac{I_{\max}(b) - I_{\min}(b)}{I_{\max}(b) + I_{\min}(b)}$$

因為 $I_{\max}(a) = I_{\max}(b)$ ，且 $I_{\min}(a) < I_{\min}(b)$ ，

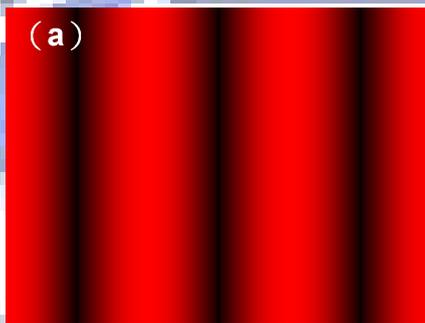
所以 $I_{\max}(a) - I_{\min}(a) > I_{\max}(b) - I_{\min}(b)$ ，

又 $I_{\max}(a) + I_{\min}(a) < I_{\max}(b) + I_{\min}(b)$ ，所以可知

$$C(a) = \frac{I_{\max}(a) - I_{\min}(a)}{I_{\max}(a) + I_{\min}(a)} > C(b) = \frac{I_{\max}(b) - I_{\min}(b)}{I_{\max}(b) + I_{\min}(b)}$$



(a)



(b)

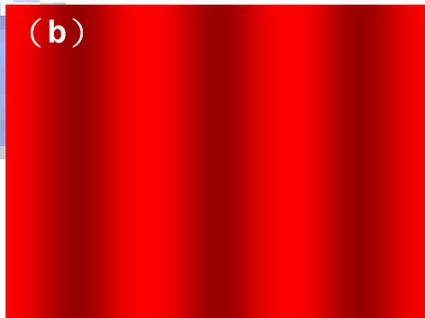


圖 4-64 a 圖 contrast 比 b 圖 contrast 大

(3) 對比低限 contrast threshold

對比低限指的是若將對比值逐漸調低，可以測得實驗者剛好能將光柵看清楚時的對比值，此「對比值」即為「對比低限」。

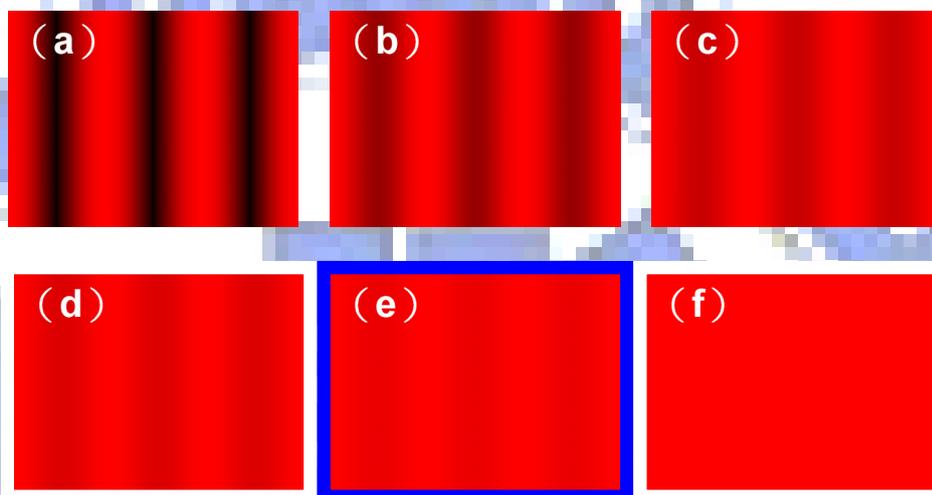


圖 4-65 對比低限

(4) 對比敏感度 contrast sensitivity

由於對比低限越低，表示視覺對比敏感度越高，所以「對比敏感度」定義為對比低限的倒數，數學式如下：

$$\text{contrast sensitivity} = \frac{1}{\text{contrast threshold}}$$

1985 年 Mullen 發表了關於「紅-綠」、「藍、黃」色彩通道的對比敏感度研究，發現色彩通道在「空間頻率非常低」的情形下有較佳的對比敏感度，其他情形則以明度通道的對比敏感度較佳。Mullen 發展了一種新的方法來偵測色彩通道的敏感度，此方法採用雙色光柵，並且調整光柵內兩個顏色的明度（光量）比例，我們以紅綠光柵來說明：如圖 4-66 所示，紅光與綠光在光柵圖中期能量皆以 sine 函數的型態分布，紅光的能量平均值與綠光的能量平均值（圖中虛線的高度）兩者之和是固定的，並且單色紅光光柵對比值與單色綠光光柵對比值相同

（調整此對比值可用來測量對比低限）。藉由控制 $\frac{R}{R+G}(\%)$ ，可以讓雙

色光柵呈現單色紅色明度對比的特性 ($\frac{R}{R+G}(\%)=100\%$)，單色綠色明度對比的特性 ($\frac{R}{R+G}(\%)=0\%$)，以及非常接近雙色紅綠對比的特性 ($\frac{R}{R+G}(\%)=50\%$)

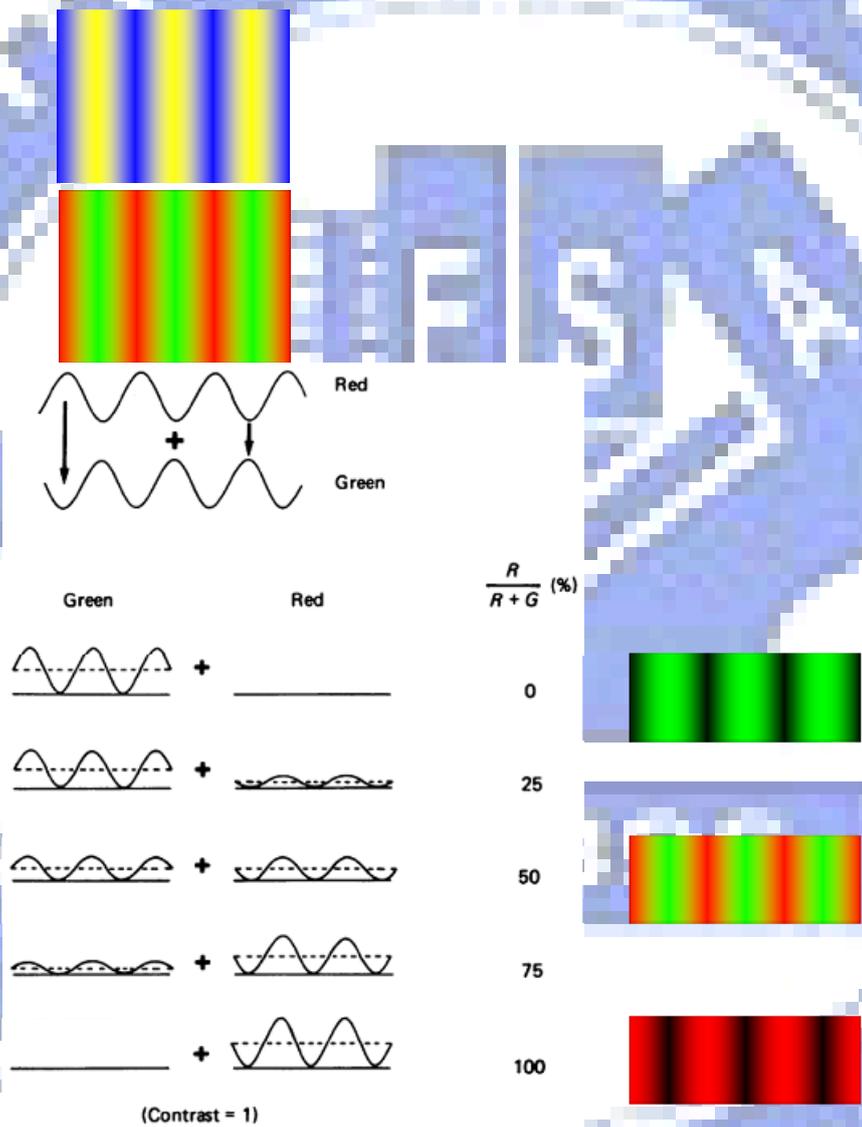


圖 4-66 Mullen 實驗所用的雙色光柵(Mullen, 1985)

Mullen 觀察受測者對於特定空間頻率的對比低限，並計算對比敏感度（對比低限的倒數），結果發現「紅－綠通道」與「藍－黃通道」對於 $\frac{R}{R+G}(\%)$ 與 $\frac{Y}{Y+B}(\%)$ 的函數圖形很類似，都具有低空間頻率的高敏感度，並且在其他狀況單色明度對比有較高的敏感度（如圖 4-67）。

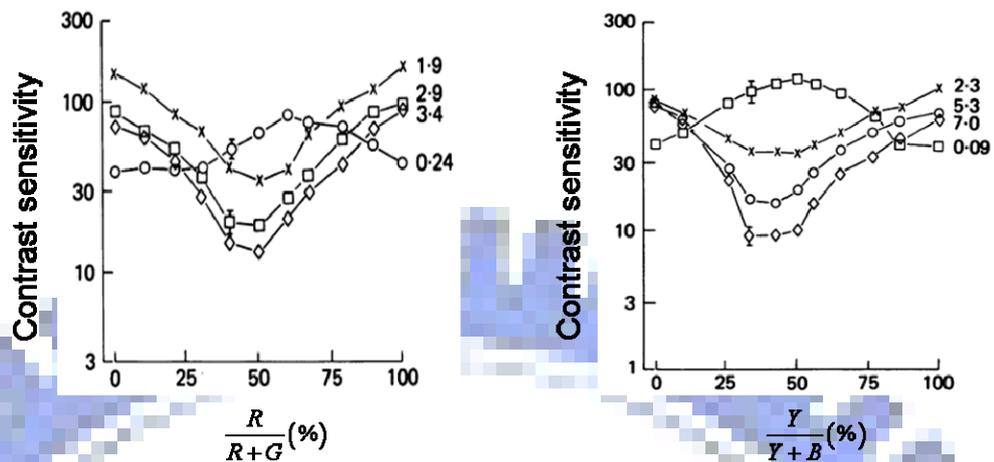


圖 4-67 Mullen 實驗的對比敏感函數分布圖(Mullen, 1985)

由於教材製作的內容文字太多是高空間頻率（字體大小不會很大），所以應該注意文字與背景的明度對比。國際標準組織（The International Standards Organization）建議文字可讀性的最低需求是文字與背景明度比為 3:1；若可能的話，使用 10:1 的比例可以提供最佳的可讀性。呈現的內容需要越高的敏感度，就越應該把對比值(contrast)提高(Ware, 2004)。

此外，負向對比（negative contrast）與正向對比（positive contrast）的比較是另一個重要的議題。Scharff 與 Ahumada 的研究發現，負向對比的文字辨識效能（letter identification performance）比正向對比的效能好(Scharff & Ahumada, 2002)。

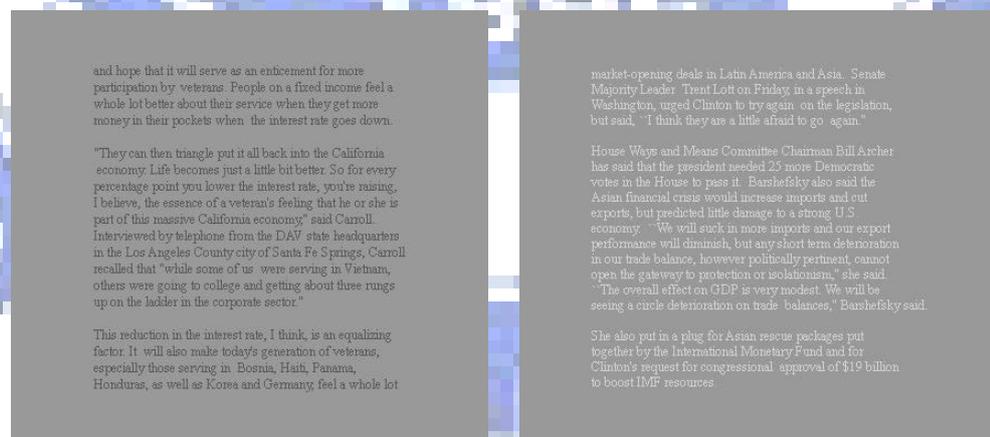


圖 4-68 左圖為負向對比，右圖為正向對比(Scharff & Ahumada, 2002)

以上的研究提供了適性指標設計時的重要原則：指標文字的呈現

應該採用負向對比（文字低明度），並且對於要突顯的部份採用高明度對比以提升對比敏感度（contrast sensitivity）。在實做上，「白色透明度遮罩」是產生敏感度的差異的好方法，例如圖 4-69 利用半透明遮罩將中台灣突顯出來，並且以負向對比的文字閱讀效果較佳。



圖 4-69 空間敏感度在適性指標的應用

利用同時性亮度對比設計適性指標時可考慮以下原則：

1. 目標物與背景應具有明度差異，並且採負向對比的设计方式。
2. 目標物應具有較高之對比敏感度。
3. 區別目標物與干擾物時，使用（色相 + 明度）的效果會比只有使用（色相）的效果好。
4. 明度差異越大，同時性亮度對比效果越顯著。
5. Crispning Effect 可以同時清楚地呈現並區隔高明度與低明度物件。

3. COLOR-Intensity-[grouping]

在教材內容需要「物件對應」或是「物件分類」時，以顏色特徵設計教材可採用「群化（grouping）」的呈現方式。此方式以格式塔原理的相似法則（Similarity）為基礎，如圖 4-70A，綠、紅、藍、黃四個色相可將此八個圓形分成四群。

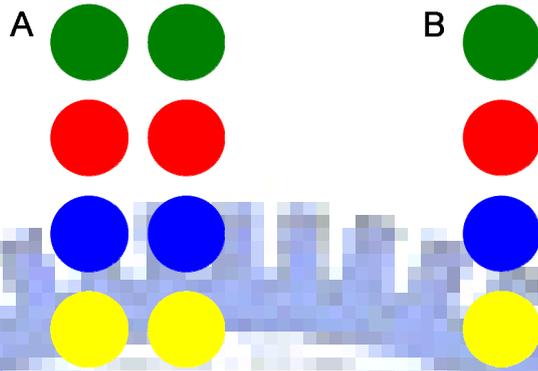


圖 4-70 顏色特徵的一維群化與二維群化(Ware, 2004)

利用色彩強度 (Intensity) 的差異，可以將物件從另一個維度加以區隔，達到二維的群化效果。在圖 4-70B 中，綠、紅、藍、黃四個色相是第一維群化，可以形成四群物件；而色彩強度則構成第二維群化，因亮度不同而區隔成低亮度(左)與高亮度(右)兩群物件(Ware, 2004)。

實作上，色彩強度的差異可用「飽和度 saturation」、「亮度 lightness」或「透明度 transparency」的設定來達成，並且必須造成一強一弱的視覺感受才能有效區隔。一般而言，飽和度調高和亮度調高都有助於色彩變得更鮮明，然而亮度過高反而會讓顏色接近白光而減低了飽和度的效果。因此，若要利用飽和度和亮度構成色彩強度的差異，可以考慮僅調整飽和度或僅調整亮度，若同時變更這兩個屬性的設定，則需要更加仔細的設定並事先預覽效果，才不致於發生亮度和飽和度互相干擾的情形。另一個理想的方式是調整透明度，僅調整透明度便能夠產生明顯的強度差異，並且可以在不同的色相間產生較為一致的效果。

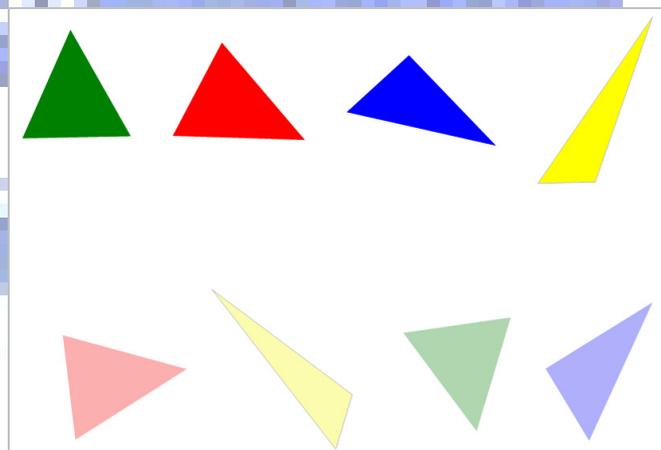


圖 4-71 顏色特徵二維群化的應用

在應用上，以色相所構成的第一維群化可用來呈現對應關係，以顏色強度所構成的第二維群化可表現出「被對應者」與「對應者」的不同立場。如圖 4-71 可呈現出三角形的全等關係，並表現出原始三角形與對應三角形的不同。

值得注意的是，顏色僅能提供最多二維的群化編碼(Ware, 2004)，超過二維的群化編碼則需要利用「相同形狀」、「相同質感」或是「相同的運動方向（格式塔共同命運律）」來達成。

第三節 深度特徵（DEPTH）

「深度」特徵（DEPTH）涉及了物體的「立體深度」以及「凸凹感受」，因此在深度特徵這個主要分類中可區分成兩個次分類，匯整如表 4-9。以下，我們探索深度特徵的相關文獻與實驗證據。

表 4-9 深度特徵的種類

特徵分類編碼	說明
3.1 DEPTH-Stereoscopic depth	目標物與干擾物之立體深度不同
3.2 DEPTH-Convexity & Concavity	目標物與干擾物之凸凹感受不同

一、DEPTH-Stereoscopic depth

Nakayama 以及 Silverman 的實驗驗證了「立體深度」是基本視覺特徵。此實驗觀察由顏色（color）、運動（Motion）以及立體深度（stereoscopic depth）所構成的「特徵搜尋」與「結合搜尋」的搜尋回應時間。實驗的刺激物皆由上述的三個維度中選取兩個來建構，例如 motion-and-color（M-C）、stereo-and-motion（SM）以及 stereo-and-color（SC）(Nakayama & Silverman, 1986)。

實驗被設計成「特徵搜尋」以「結合搜尋」兩大部分。「特徵搜尋」調查受測者對單一特徵所界定的目標物進行視覺搜尋是否如 Feature Integration Theory 所預測的會非常快速。例如 M-C 實驗在檢視 Motion

因素時，目標物的移動方向與其他的刺激物不同，而所有的刺激物（包含目標物）的顏色是隨機選取的。其設計方式如圖 4-72 (a)（目標物為小箭頭所指處，大箭頭表示的是刺激物之移動方向）。

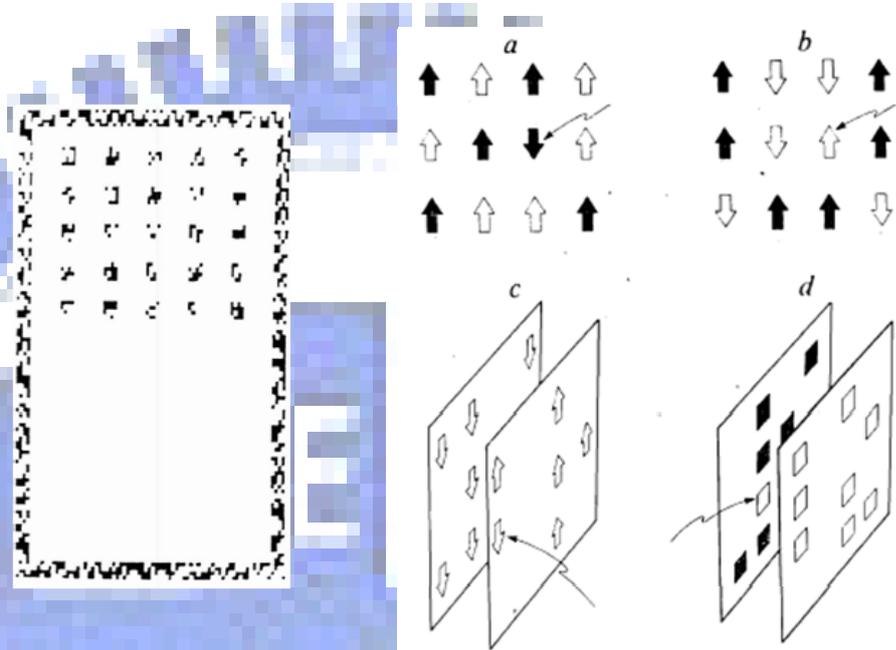


圖 4-72 Nakayama 與 Silverman 實驗的呈現方式(Nakayama & Silverman, 1986)

而在「結合搜尋」的實驗中，目標物需要由兩個視覺特徵來界定。例如在 M-C 實驗中，干擾物的定義需同時包含 motion 及 color 兩個特徵，受測者被告知干擾物是「往上移動的紅色物件」或是「往下移動的藍色物件」；而目標物被定義為「往下移動的紅色物件」或是「往上移動的藍色物件」，如圖 4-73 所示（黃底色為目標物）

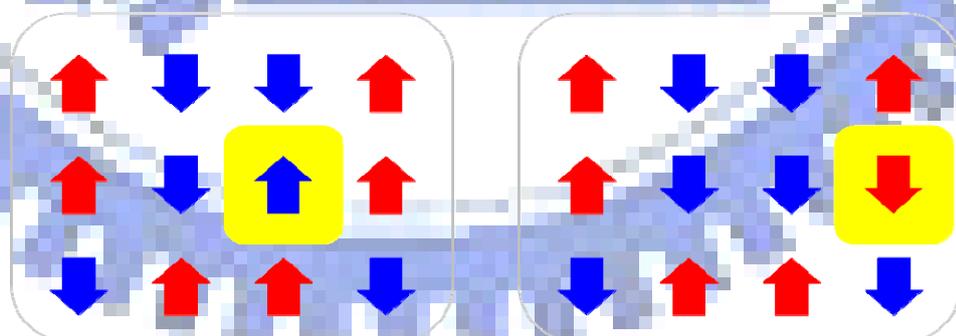


圖 4-73 M-C 結合搜尋作業示意圖

如上述，整個實驗設計成「特徵搜尋」與「結合搜尋」兩個主要部分，而這兩個主要部份又各自分成三個狀況來加以討論。在建構刺

激物的三個維度中 color 有藍或紅兩種可能；motion 有上或下兩種可能；stereoscopic depth 有前或後兩種可能。實驗架構如表 4-10。

表 4-10 Nakayama 與 Silverman 的實驗架構(Nakayama & Silverman, 1986)

實驗代號	干擾物	目標物
特徵搜尋 (M)	M：干擾物運動方向皆相同 C：干擾物之顏色隨機產生	M：目標物與干擾物運動方向不同 C：目標物顏色隨機產生
特徵搜尋 (S)	S：干擾物立體深度皆相同 C：干擾物之顏色隨機產生	S：目標物與干擾物立體深度不同 C：目標物顏色隨機產生
特徵搜尋 (C)	C：干擾物顏色皆相同 M：干擾物之運動方向隨機產生	C：目標物與干擾物顏色不同 M：目標物運動方向隨機產生
結合搜尋 (M-C)	往上移動 (M) 的紅色 (C) 或 往下移動 (M) 的藍色 (C)	往下移動 (M) 的藍色 (C) 或 往上移動 (M) 的紅色 (C)
結合搜尋 (SM)	深度在前 (S) 往上移動 (M) 或 深度在後 (S) 往下移動 (M)	深度在前 (S) 往下移動 (M) 或 深度在後 (S) 往上移動 (M)
結合搜尋 (SC)	深度在前 (S) 的藍色 (C) 或 深度在後 (S) 的紅色 (C)	深度在前 (S) 的紅色 (C) 或 深度在後 (S) 的藍色 (C)

實驗結果發現，在特徵搜尋方面，不論是 (M)、(S) 或 (C)，搜尋時間對畫面大小的斜率都趨近於零。這提供了 motion、stereoscopic depth 以及 color 都是基本視覺特徵的證據。然而，在結合搜尋方面，(M-C) 的結果符合 Feature Integration Theory 的推論，受測者回應時間會隨著搜尋項目變多而呈現線性增加。引人注意的是，(SM) 與 (SC) 的結果卻和 Feature Integration Theory 的推論不同，兩者搜尋時間對畫面大小的斜率亦都趨近於零 (如圖 4-74)。這表示視覺系統在搜尋某個特定立體深度畫面時，幾乎不受另一個立體深度畫面的干擾。本實驗結果也支持了注意力有可能集中在某個特定立體深度的觀點。關於注意力是否能集中在某個特定立體深度，相關研究發現在多數的情況下是可行的 (Atchley *et al.*, 1997)，但在某些實驗卻觀察不出這樣的特性 (Ghirardelli & Folk, 1996)。Paul Atchley 等人的研究認為受測者對搜尋

作業的知覺負載可能是重要的影響因素(perceptual load)(Atchley et al., 1997)。

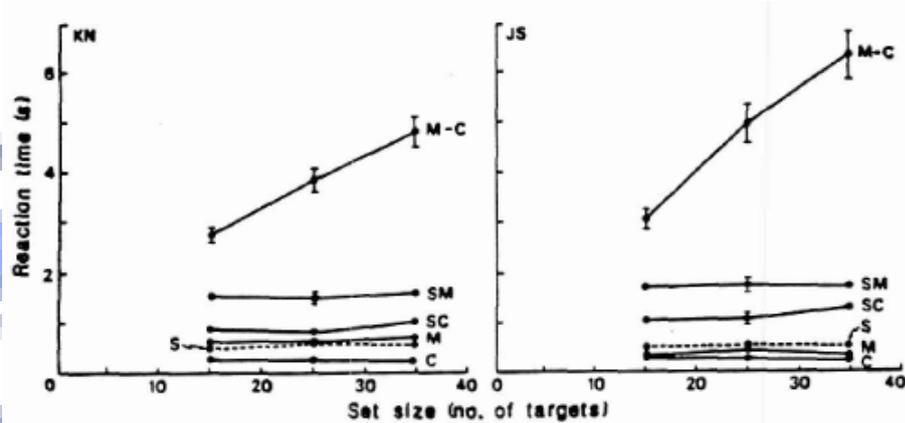


圖 4-74 Nakayama 與 Silverman 的實驗結果(Nakayama & Silverman, 1986)

雖然在電腦螢幕平面上無法製作出「物理上」具有立體深度差異的視覺刺激，但是卻能製作出知覺感受上的立體深度。這是因為立體深度並不僅由雙眼像差形成，亦涉及了我們對物體相互間遮蔽關係的認識(櫻井正二郎, 1999)。立體深度視覺與「圖層的上下」息息相關，因此「透明度圖層」(transparent patterns)經常是應用時需考慮的重要因素。設計時，一個重要的原則是如何讓讀者很容易看到「目標圖層」，亦即突顯出「目標圖層」與「非目標圖層」的相異性。

表 4-11 Stereoscopic depth 在應用上需考慮的因素

Stereoscopic depth 應用需考慮之因素編碼	說明
3.1.1 DEPTH-Stereoscopic depth-[transparency]	透明度圖層
DEPTH-Stereoscopic depth-[TP : good continuity]	連續性
DEPTH-Stereoscopic depth-[TP : luminance]	明度
DEPTH-Stereoscopic depth-[TP : texture]	質感

許多視覺呈現相關軟體都有透明度與圖層的觀念，例如 Flash、PowerPoint、Photoshop 等等。藉由此類功能強大的軟體可以讓物件達到視覺上重疊的效果。然而，認知系統對「透明度圖層」(transparent patterns)的辨認存在許多重要的原則，如「連續性 (good continuity)」(IVRY, 1998)以及圖案內各個組成元素的「明度 (Luminance)」(Masin, 2000)。此外，若要達到更理想的圖層辨認，可綜合使用顏色、質感、移動的差異來增進各圖層的區隔性。

1. 連續性 (good continuity)

各個圖層在重疊之交界處若具有良好的邊界連續性，則較容易將圖層加以區隔。

實例：在圖 4-75 中，(a) 內紅色圖層因為具有良好的邊界連續性，所以很容易和藍色的圖層區隔；(b) 內紅色圖層因為邊界不連續，所以紅色圖層很容易被辨認成兩個不相關的物件（紫色半圓形和紅色長方形）。

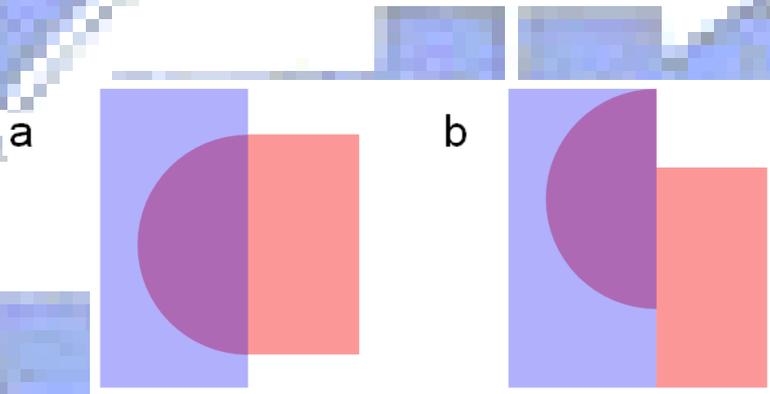


圖 4-75 連續性影響圖層區隔的辨認

2. 明度 (luminance)

Masin 指出明度決定透明圖層辨認的三個原則，為便於說明，我們以圖 4-76 (b) 為重疊的模式， x 代表左方 L 形之明度， z 代表右方 L 形之明度， y 代表重疊正方形之明度， b 為背景的明度 (Masin, 2000)。

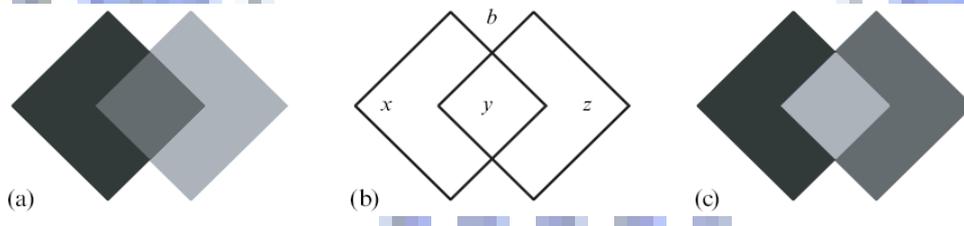


圖 4-76 明度大小的順序影響圖層的上下 (Masin, 2000)

- (1) 要形成良好的圖層區隔效果，在上層的物件明度最高，重疊區域次之，下層物件的明度最低，即圖 4-76 (b) 之 $x < y < z$ 。

依此原則，圖 4-76 (a) 可以形成良好的圖層區隔，而 (c) 的圖層區隔效果較差(Ware, 2004)。

- (2) 若 $x < y < z$ ，則 y 明度越高，右方淺灰色正方形越容易被辨認為在左方深灰色正方形的上層(如圖 4-77)(Masin, 2000)。這是因為中央小正方形的明度越高，就和右方 L 形越相似，依照格式塔相似原則，越容易引發群化作用而被辨認為整個右方淺灰色正方形。

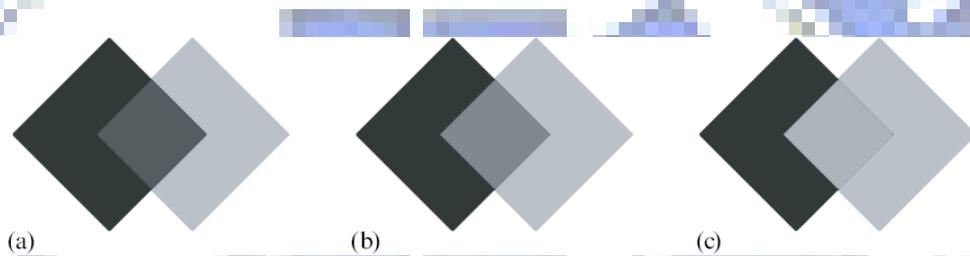


圖 4-77 y 明度越高，右方越容易辨認為上層(Masin, 2000)

- (3) 若 $x < y < z$ ，且 x 、 y 、 z 的明度值都固定， b 越高(背景的明度越高)，則右方淺灰色正方形越容易被辨認為在左方深灰色正方形的上層(Masin, 2000)。這是因為 b 較低時，右方淺色 L 形會因較強的對比作用而顯得更白，造成中央小正方形與左方深色 L 形的相似度提高，進而群化成左方深色正方形；當 b 較高時，左方 L 形顯得更黑，造成中央小正方形與右方 L 形的相似度提高，進而群化成右方淺色正方形。

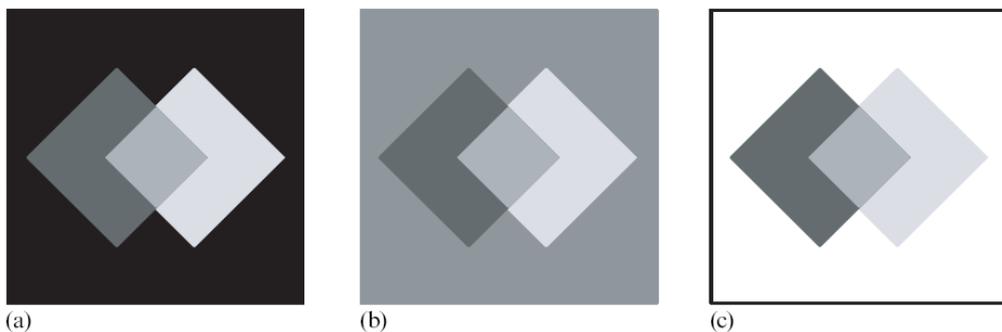


圖 4-78 b 明度越高，右方越容易辨認為上層(Masin, 2000)

3. 質感 (texture)

- (1) 兩個互相重疊的個別區域，其質感差異越大時，越容易產生圖層的感覺。如圖 4-79 所示，隨著構成右下方圖層的線段寬度增加，整個圖形被辨認為兩個圖層的機率也逐漸增加 (Watanabe & Cavanagh, 1996)。

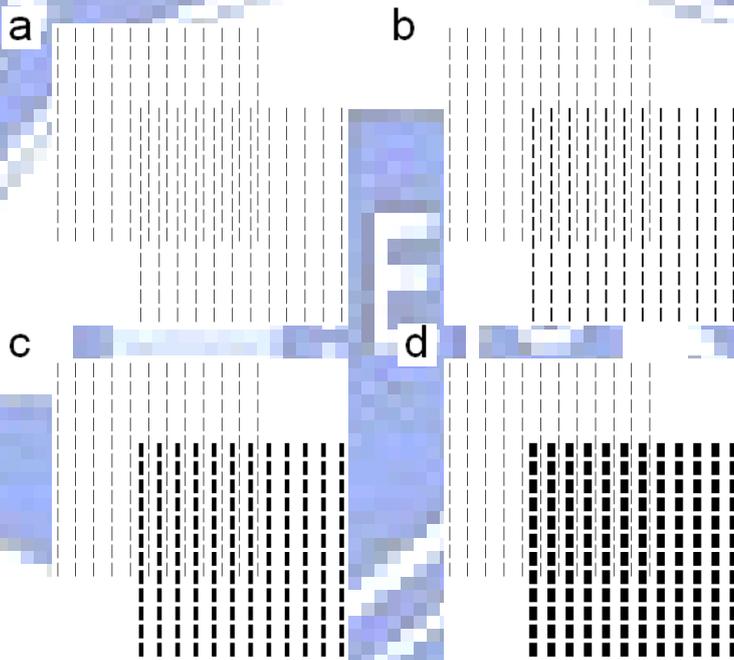


圖 4-79 個別區域的質感差異影響圖層辨識(Watanabe & Cavanagh, 1996)

- (2) 重疊區域與周圍的質感差異很大時，會被辨認為獨立的區域而不容易產生圖層的感覺(Watanabe & Cavanagh, 1996)。如圖 4-80b 中央產生的「十字」重疊會被辨認為獨立的區域。

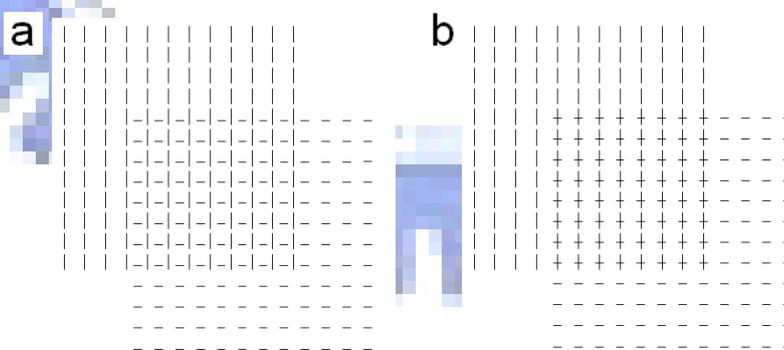


圖 4-80 重疊區域與周圍的質感差異影響圖層辨識(Watanabe & Cavanagh, 1996)

透明度圖層在教材設計上有兩個用途：

(1) 可以利用立體深度來描述目標物件

如圖 4-81 左圖所示，兩個三角形除了可用「淺灰色、深灰色」加以描述，亦可以用「上層、下層」來描述。由於明度因素的影響，淺灰色三角形會被視為上層，深灰色三角形會被視為下層，如此可增加語言描述時的彈性。

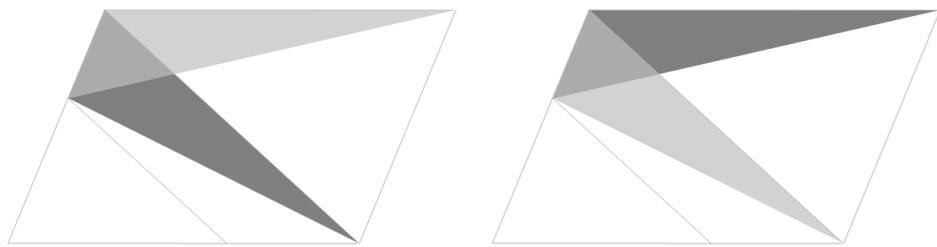


圖 4-81 立體深度可用來描述物件

(2) 可以變更立體深度來指引注意力

若我們在圖 4-81 左圖與右圖交互切換，並把上層物件當作目標物時，我們可以用立體深度很清楚地分別表達兩個三角形，且不因重疊區域而混淆。左圖的上層物件是右方三角形，右圖的上層物件是左方三角形。當我們要講解右方三角形時可切換到左圖，此時右方三角形會成為最上層物件而突顯出來；若我們要講解左方三角形時，可切換到右圖，此時左方三角形即會浮現上來而成為最上層物件。立體深度可以用來指引目標物，尤其是目標物與干擾物有重疊的部份時，立體深度是一個值得考慮的方法。

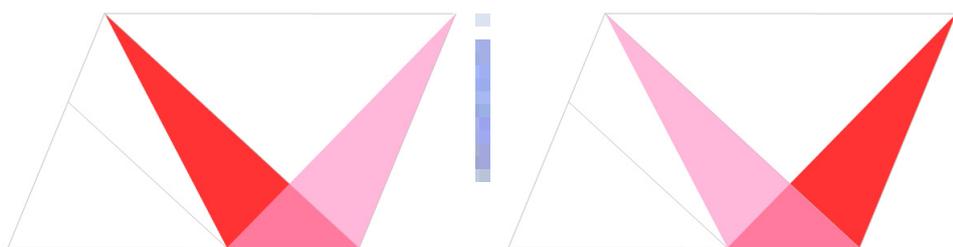


圖 4-82 立體深度可用來指引注意力

二、DEPTH-Convexity & Concavity

D'Zmura、Peter Lennie 以及 Carlo Tiana 的實驗驗證了「凸凹差異」是基本視覺特徵(D'Zmura *et al.*, 1997)。搜尋凸物件內的特定顏色時幾乎不受凹物件的干擾；同樣的，搜尋凹物件內的特定顏色時也幾乎不受凸物件干擾。在圖 4-83 左圖中，紅色目標物與綠色干擾物都是上亮下暗，本實驗將之定義為凸物件；紅色干擾物則是上暗下亮，本實驗將之定義為凹物件。我們可發現要搜尋目標物（紅色凸物件）最快的方法是將凸物件與凹物件分開，然後在凸物件中尋找唯一的紅色物件。

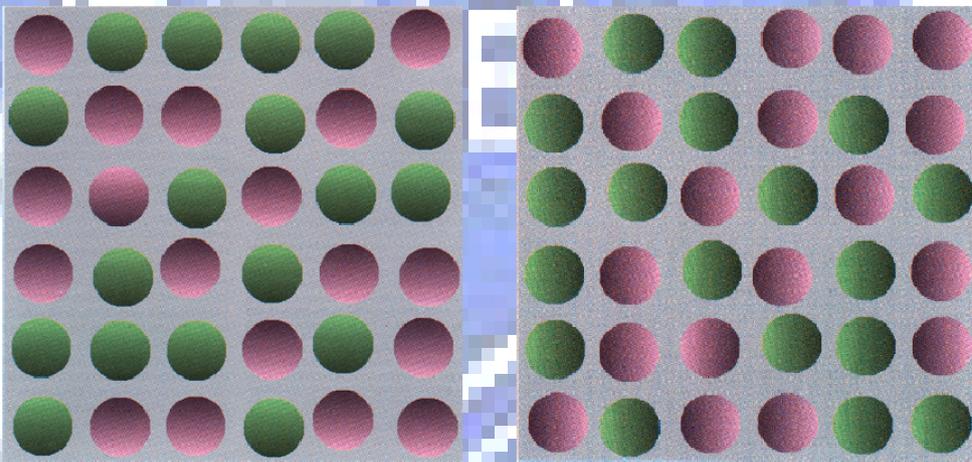


圖 4-83 D'Zmura 實驗所使用的刺激物(D'Zmura *et al.*, 1997)

D'Zmura 等人經過實驗測量後，發現受測者處理凸凹差異所需的「反應時間」對「刺激物數量」的斜率接近零。

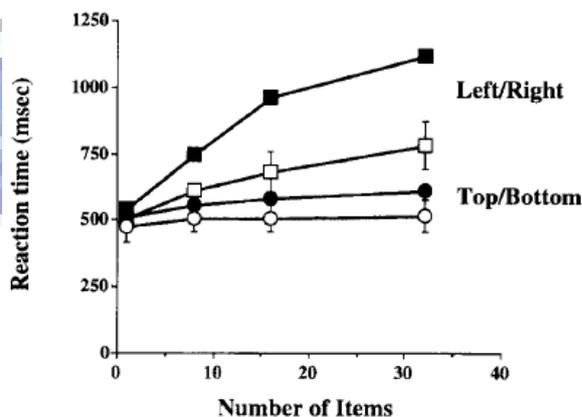


圖 4-84 D'Zmura 實驗所觀察的結果(D'Zmura *et al.*, 1997)

圖 4-84 中的圓形記號標示的是上下亮度不同所形成的凸凹差異，方形記號標示的是左右亮度不同所形成的凸凹差異（如圖 4-83 的右圖）。空心點與實心點則標示了「目標物存在的搜尋作業」與「目標物不存在的確認作業」兩者的差異。實驗結果顯示「上下亮度不同的凸凹差異」視覺搜尋速度較快。因此，陰影方向（shading orientation）會影響「凸凹差異」的搜尋效果。另一個會影響「凸凹差異」效果的因素是陰影對比（shading contrast）。

表 4-12 Convexity & Concavity 在應用上需考慮的因素

Convexity & Concavity 應用需考慮之因素編碼	說明
3.2.1 DEPTH-Convexity & Concavity-[shading orientation]	陰影方向
3.2.2 DEPTH- Convexity & Concavity-[shading contrast]	陰影明度對比程度

1. DEPTH-Convexity & Concavity-[shading orientation]

依照圖 4-84，陰影方向是上下型態時，視覺搜尋效果較好。因此使用「凸凹差異」的方式來突顯目標物時，應採用上下型態的陰影。

2. DEPTH-Convexity & Concavity-[shading contrast]

直觀上，陰影由亮到暗的差異程度應該會影響凸凹感受的強度。因此，在 shading orientation 固定的狀況下，D'Zmula 等人進一步測量陰影由亮到暗的明度對比程度對搜尋度的影響。結果發現，陰影明度對比越強烈，則搜尋效能越佳。在圖 4-85 中，三角形標示 5%明度差異；方形標示 10%明度差異；圓形標示 20%明度差異。結果顯示 20%明度差異時，搜尋所需回應時間最短，表示陰影明度對比越強，則凸凹差異感受也越強，更容易區隔凸物件與凹物件。因此，使用「凸凹差異」的方式來突顯目標物時，若凸凹感受不明顯，則需要提高陰影明度對比（最亮區的明度與最暗區的明度差異要調高）。

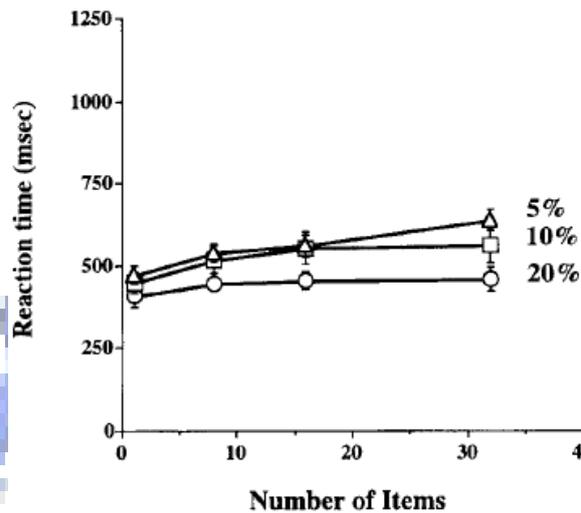


圖 4-85 陰影對比程度對搜尋速度的影響(D'Zmura et al., 1997)

第四節 運動特徵 (MOTION)

運動特徵 (MOTION) 包含了「突然出現 (New object)」、「瞬變 (Transient)」、「接近 (Looming)」、「突然由靜而動 (New motion)」、「閃爍 (Flicker)」、「運動方向 (Direction)」以及「運動一致性 (Coherence)」七種重要特徵。此外，本節亦將探討另外兩個影響運動特徵的因素：Masking Hypothesis 以及 Contingent Involuntary Orienting Hypothesis。

表 4-13 運動特徵的種類

特徵分類編碼	說明
4.1 MOTION-New object	目標物是突然出現的新物件
4.2 MOTION-Transient	目標物的某種視覺特徵發生瞬變
4.3 MOTION-Looming	目標物感覺上往觀察者接近
4.4 MOTION-jitter motion	目標物在畫面中抖動
4.5 MOTION-New motion	目標物是突然由靜而動的物件
4.6 MOTION-Flicker	目標物在畫面中閃爍
4.7 MOTION-Coherence	運動方式一致性所產生的層次感
4.8 MOTION-Direction	目標物與干擾物運動方向不同

與其他靜態的視覺特徵相比較，運動特徵具有兩個獨特的功能：

- (1) 運動特徵具有獨特的「吸引注意力 (capturing attention)」的能力。
- (2) 運動特徵可以「動態改變」觀察者注意力投注的位置。

運動特徵「吸引注意力的能力」是「指標」的基礎原理，而其能「動態改變注意力投注的位置」則是「適性」的來源。所以運動特徵的相關研究可說是適性指標重要的理論基礎。適性指標的「開—關」、「動靜之分」等操作技巧(蘇柏奇, 2006)亦都和運動特徵有關。運動特徵能夠如此強烈的吸引注意力，可能是因為知覺系統需要對這一類的事件迅速做出回應才能確保個體的安全，例如躲避迎面而來的物體或是快速接近的動物等等。

「突然出現」、「瞬變」以及「突然由靜而動」三個基本特徵都涉及了突然開始的視覺刺激 (Abrupt Visual Onsets) 的心理學相關研究。在訊號偵測的實驗中，給予受測者關於目標物「位置」的提示能增加目標偵測正確性，並縮短搜尋所需的反應時間(Sternberg, 2003)，這是因為受測者將較多的注意力資源集中在目標物出現的位置。進一步的研究指出，正確回應的機率和受測者注意力資源的配置方式有關。(Shaw, 1978)。上述的注意力配置方式是由上而下 (top-down) 的，稱為「內生性控制 (endogenous control)」。

在由下而上 (bottom-up) 的方面，Yantis 與 Jonides 在 1984 年的論文中探討 Abrupt Visual Onsets 對注意力的影響，發現「獨特且突然開始的視覺刺激能快速且自動化地吸引注意力投注於此位置」。因為這種注意力配置是非自發性的，由知覺系統接收外來刺激後自動發生，所以稱為「外成性控制 (exogenous control)」。

運動特徵的相關研究已經累積了許多成果。以下是兩個與適性指標關係密切的重要議題以及其相關假說：

- (A) 新物件 new object 與瞬變 transient 何者是吸引注意力的主因？
 - (A-1) New-Object Hypothesis
 - (A-2) Transient Hypothesis
 - (A-3) Contingent Involuntary Orienting Hypothesis

(B) 運動特徵是否需要具有由靜而動motion onset的因素才能吸引注意力？

(B-1) Behavioral Urgency Hypothesis

(B-2) Motion Onset Hypothesis

A 議題：新物件 new object 與瞬變 transient 何者是吸引注意力的主因？

(A-1) New-Object Hypothesis

關於 A 議題，New-Object Hypothesis 認為視覺畫面中一個新物件的出現就能吸引注意力投注其上。在觀察者掃描一個視覺畫面之後，會將所有可視物件的位置進行索引 (index) 並記錄其視覺特徵，如 Treisman 特徵整合理論 (Feature Integration Theory) 所描述的主要位置地圖 (Master map of locations) 以及各種特徵圖。當新物件出現在畫面時，知覺系統會自動將此新物件進行索引並且記錄其視覺表徵，此時注意力會被吸引到此新物件所在的位置 (Yantis & Jonides, 1996)。從 New-Object Hypothesis 的觀點來看，若沒有新物件在畫面中出現，即使我們變更了某個舊物件的明度或顏色，仍然無法吸引注意力投注到這個舊物件上，因為整個過程並沒有產生新的位置索引。

(A-2) Transient Hypothesis

相對於 New-Object Hypothesis 認為一定要有新物件才能引發注意力，Transient Hypothesis 則認為引發注意力的關鍵不是新物件，而是物件的視覺特徵發生瞬變 (transient) (Franconeri Steven *et al.*, 2005)，尤其是物件的明度 (luminance) 發生變化時，注意力會被吸引到發生瞬變的位置 (Enns *et al.*, 2001; Franconeri Steven *et al.*, 2005)，不論此明度瞬變是因為「新物件突然出現」或是「舊物件突然改變明度」所造成的。從 Transient Hypothesis 的觀點來看，即使沒有新物件出現，只要舊物件發生顯著的明度瞬變，也能將注意力吸引過來。

(A-3) Contingent Involuntary Orienting Hypothesis

New-Object Hypothesis 與 Transient Hypothesis 雖然對於引發注意力的關鍵因素有不同的看法，但是都同意視覺畫面中的訊息發生動態改變時，注意力將會被引導到改變發生的位置。然而，Contingent Involuntary Orienting Hypothesis 對此卻抱持不同的觀點。CIOH (Contingent Involuntary Orienting Hypothesis) 認為不只有單一的視覺訊息發生變化時能吸引注意力，多個視覺特徵在不同的位置同時出現也有可能將注意力吸引到單一特定位置。因此，引發注意力的關鍵並非「新物件的出現」或是「瞬變」，而是這個「變化過程」是否存在某個特定的視覺特徵，並且此特徵恰好就是整個搜尋作業的關鍵。這個關鍵的特徵將明顯的影響搜尋效能，如果此特徵存在，將會使觀察者非自發性的將注意力轉移到目標物所在位置(Folk *et al.*, 1992; Folk *et al.*, 1994)。Contingent Involuntary Orienting Hypothesis 認為，上述與搜尋作業密切相關的「關鍵特徵」會影響觀察者所採取的注意力配置策略，也就進而影響了注意力集中的位置。

B 議題：運動特徵是否需要具有由靜而動 motion onset 的因素才能吸引注意力？

(B-1) Behavioral Urgency Hypothesis

運動特徵的許多研究關注於「新物件」(New object) 與「瞬變」(transient) 對注意力的吸引作用，尤其是明度對比變化 (luminance contrast change) 所造成的瞬變(Enns *et al.*, 2001)。Franconeri 以及 Simon 認為除了 New object 以及 transient 以外，應該還存在其他的運動特徵可以吸引注意力。在檢驗了 onset、color singleton、jitter motion、looming 以及 receding 運動特徵後，他們發現逐漸接近 (looming) 觀察者的刺激會引發注意力，而消退遠離 (receding) 的刺激則不會。此外，像 jitter motion 這一類緊張性的抖動也能吸引注意力。基於這個理由，Franconeri 與 Simon 提出了 Behavioral Urgency Hypothesis，認為顯露出緊急與迫切的運動特徵能夠引發注意力。不過，這個假說在 2005 年因為 Abrams 與 Christ 發現立體深度視覺中消退遠離 (receding) 的刺激仍然能引發注意力而受到懷疑(Richard A Abrams & Christ, 2005)。Franconeri 與 Simon 認為這個猜測仍然不能明確界定哪些特徵能夠有效引發注意力(Franconeri & Simons, 2005)，需要進一步的研究以釐清

其中涉及各種因素。

(B-2) Motion Onset Hypothesis

Abrams 與 Christ 認為刺激物「由靜而動」(onset) 是吸引注意力的關鍵因素，這個假說已經在旋轉運動得到實驗的支持(Richard A. Abrams & Christ, 2004)。進一步的，這種吸引注意力的能力非常強烈，就算受測者將注意力集中在畫面的中央焦點，onset 發生在畫面周圍仍能吸引注意力。Abrams 與 Christ 認為 Motion Onset 可能是已知由下而上 (bottom-up) 的引導表徵中最強烈的，因為移動的物體很可能是生物，而對靠近的生物有強烈的敏感度是維持生存所必須的。另一方面，「由動而靜」(offset) 卻不能吸引注意力，這也提供了適性指標在設計上的重要參考。

Motion Onset 雖然能引發注意力，但卻不是引發注意力的唯一方式。Franconeri、Simon、Abrams 與 Christ 在 2005 年與 2006 年的研究證實了上述 Motion Onset 的特性(Richard A Abrams & Christ, 2006; Franconeri & Simons, 2005)。

以上兩大議題的各種假說皆有其理論架構與實驗支持，也都有反例被發現的實驗報告。基於本文著重在適性指標的設計方式，我們的目標是應用各種假說來增強適性指標引導注意力的效果，而不去評斷各個假說之間何者較優或是何者的影響較大。

一、MOTION-New object

Yantis 與 Jonides 在 1984 年發表的論文對「突然出現的新物件(New object) 能吸引注意力」此一現象詳細的論述並提供驗證證據。本論文設計了三個實驗，分別為 (a) 檢驗目標物以 onset 方式呈現是否較 no-onset 方式有更好的搜尋效率。(b) 檢驗 onset 搜尋效率較佳是因為「onset 能吸引注意力轉移到 onset 目標物所在位置」或是因為「no-onset 物件比較難辨認」。(c) 比較 no-onset 物件使用漸變的 offset 方式或是瞬變的 offset 方式兩者對搜尋效率的影響，進而評估 offset 是否與 onset 一樣能吸引注意力。

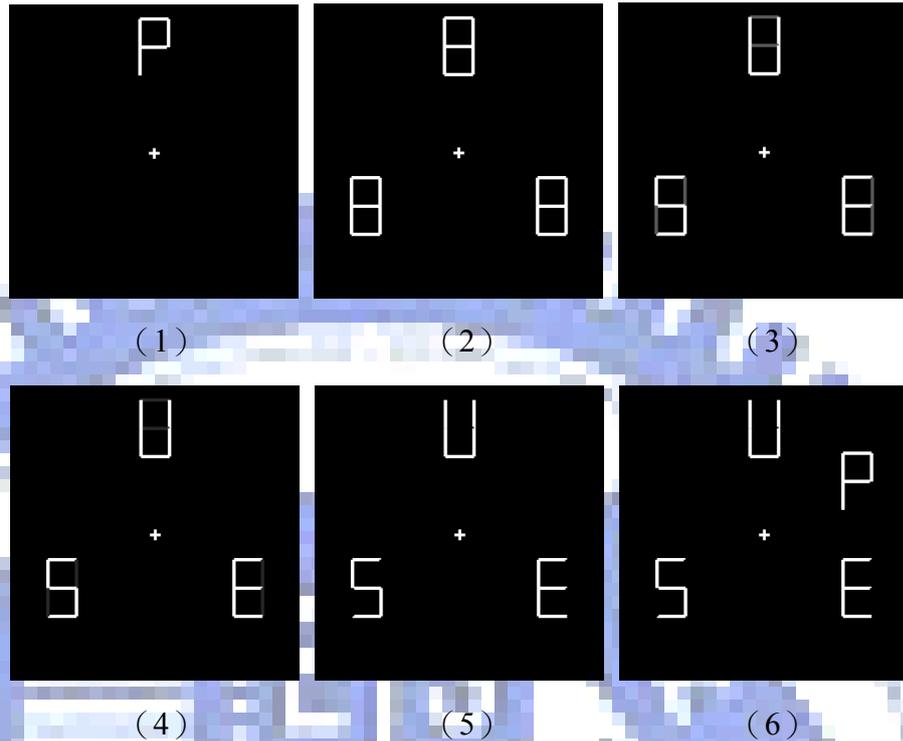


圖 4-86 Yantis 與 Jonides 實驗一所使用的刺激物(Yantis & Jonides, 1984)

實驗 (a) 的刺激物如圖 4-86 所示，中央的十字代表視覺中心點，以十字為中心點的正六邊形六個頂點為刺激物出現的位置，刺激物可能是 E、H、P、S、U 六個英文字母（皆可由 8 衍生而來）。首先如圖 (1) 先告訴受測者目標物是 P，接著在圖 (2) 先用數字 8 顯示三個 no-onset 物件的位置，然後在圖 (3) (4) 中這三個 no-onset 物件的某些線段逐漸消失，形成 U、S、E 三個刺激物。當 U、S、E 變化完成（如圖 5）的瞬間，在六邊形的另外三個頂點隨機選出一點採用「突然出現」的方式顯示另一刺激物 P（如圖 6）。在本例中，目標物 P 是以突然出現的方式呈現，所以 P 是 onset 目標物；若 P 是由圖 (2) 的其中一個變化而來，這一類的 P 則為 no-onset 目標物(Yantis & Jonides, 1984)。

實驗 (a) 結果發現，onset 目標物的搜尋速度最快，其回應時間對顯示畫面大小(刺激物數量)的斜率接近零。另一方面，觀察 no-onset 的正向(目標物存在)與負向(目標物不存在)實驗圖形，我們可發現兩者的斜率呈現具有自我終結性(self-terminating)的序列搜尋(serial search)型態(Yantis & Jonides, 1984)，由此可知「突然出現的視覺物件」(Abrupt Visual Onset)是基本視覺特徵。Yantis 與 Jonides 認為這一類的視覺特徵會有如此快的搜尋速度是因為新物件(New object)出現在畫面時能以 bottom-up 的方式吸引注意力，所以本論文支持 New-Object

Hypothesis 的說法。

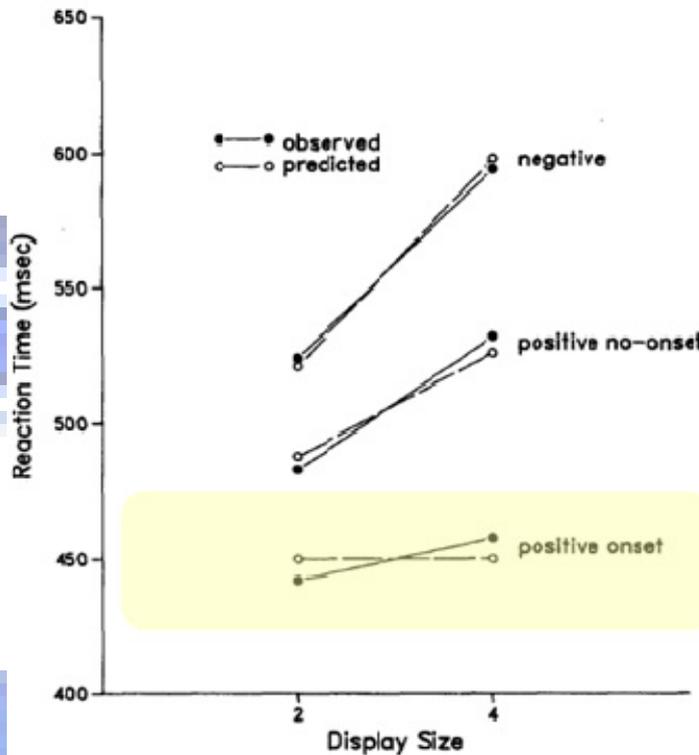


圖 4-87 Yantis 與 Jonides Abrupt Visual Onset 實驗 a 的結果(Yantis & Jonides, 1984)

實驗 (b) 要檢驗的是 onset 搜尋效率較佳是因為「onset 能吸引注意力轉移到 onset 目標物所在位置」，而不是因為「no-onset 物件較難辨認」。本實驗採用「目標物位置預先提示」來消除 onset 能轉移注意力的優勢，並使用「對照比較」的策略來確認 onset 在不具「轉移注意力的能力」狀況下，和 no-onset 物件的搜尋效能並無差異。藉由上述比較的過程，最後可以判定「能轉移注意力所在的位置」是 onset 物件搜尋速度較快的關鍵因素。

圖 4-88 (1) ~ (4) 呈現的是 onset 刺激物的呈現過程：首先圖 (1) 告訴受測者目標物是 P，圖 (2) 的六個白圓點可提示受測者刺激物即將「突然出現」的位置。接著圖 (3) 沒有變化（標示此圖是為了能和 no-onset 刺激物圖 7 的漸變過程互相對照），圖 (4) 呈現的是刺激物 S 突然出現在畫面，而六個圓點提示亦同時消失。圖 (5) ~ (8) 則是 no-onset 刺激物的漸變過程：圖 (5) 同樣是告訴受測者目標物是 P，圖 (6) 的 8 表示 no-onset 刺激物即將出現的位置，並且刺激物是由 8 逐漸變化而來。圖 (7) 呈現出由 8 變成 S 的一瞬間，圖 (8) 則是變化完成後所顯示的刺激物 S。不論是 onset 實驗或是 no-onset 實驗，

受測者皆被要求儘可能的快速回應出最後的刺激物是否和目標物相同 (Yantis & Jonides, 1984)。

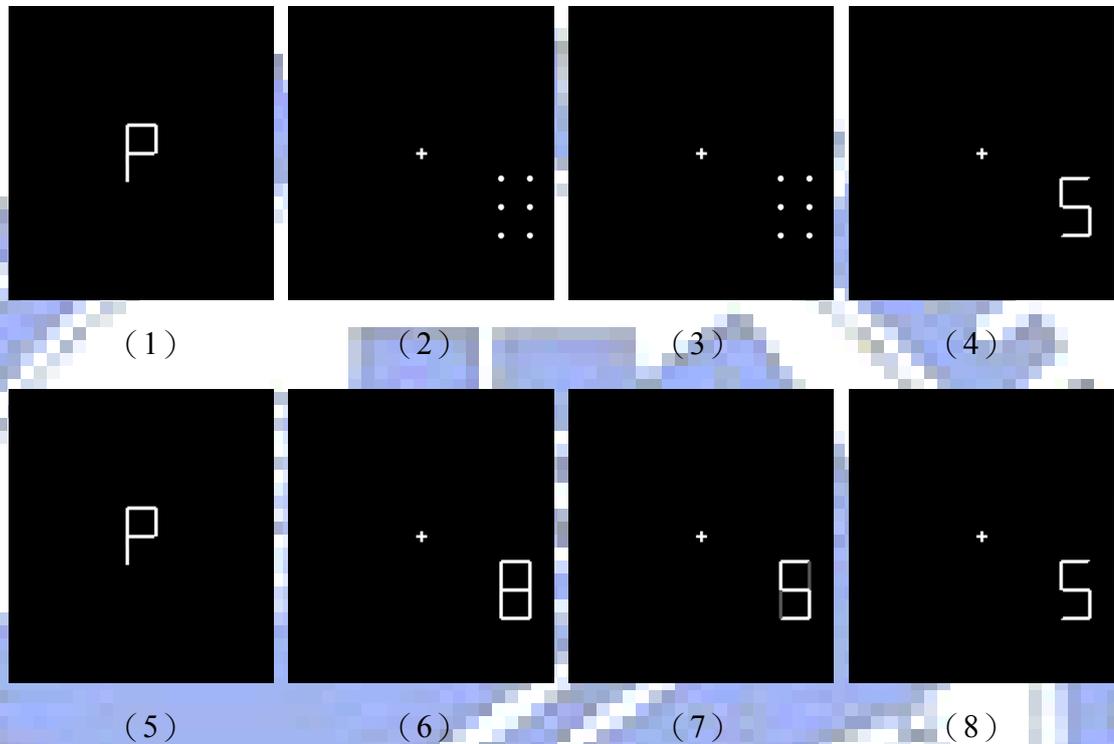


圖 4-88 Yantis 與 Jonides 實驗 b 所使用的刺激物(Yantis & Jonides, 1984)

實驗 b 結果發現，當「目標物位置預先提示」的狀況下，onset 目標物與 no-onset 目標物的搜尋效率非常接近，no-onset (gradual onset) 的回應時間甚至比 onset 的回應時間更短。明顯的，在排除「onset 目標物能吸引注意力轉移到其所在位置」的因素後，onset 目標物並不具有優勢。「練習效果」(practice effect) 是主要的影響因素，先做的實驗受測者回應時間較長，後做的實驗受測者回應時間較短 (表 4-14)。

Order of conditions	Abrupt onset		Gradual onset	
	<i>M</i>	<i>SE</i>	<i>M</i>	<i>SE</i>
Onset-No-onset	526	21	492	23
No-onset-Onset	534	25	546	24
Combined	530	16	519	17

表 4-14 Yantis 與 Jonides Abrupt Visual Onset 實驗 b 的結果(Yantis & Jonides, 1984)

實驗 c 是比較 no-onset 物件使用漸變的 offset 方式或是瞬變的 offset 方式對搜尋效率的影響。如圖 4-89 之 (1) ~ (4) 為漸變模式：目標物是 onset 物件 P，干擾物在圖 (3) 逐漸變成 U、S、E；圖 (5) ~ (8) 為瞬變模式：目標物也是 onset 物件 P，在圖 (7) 8、8、8 仍保持不變，圖 (8) 中 8、8、8 瞬間變成 U、S、E (Yantis & Jonides, 1984)。

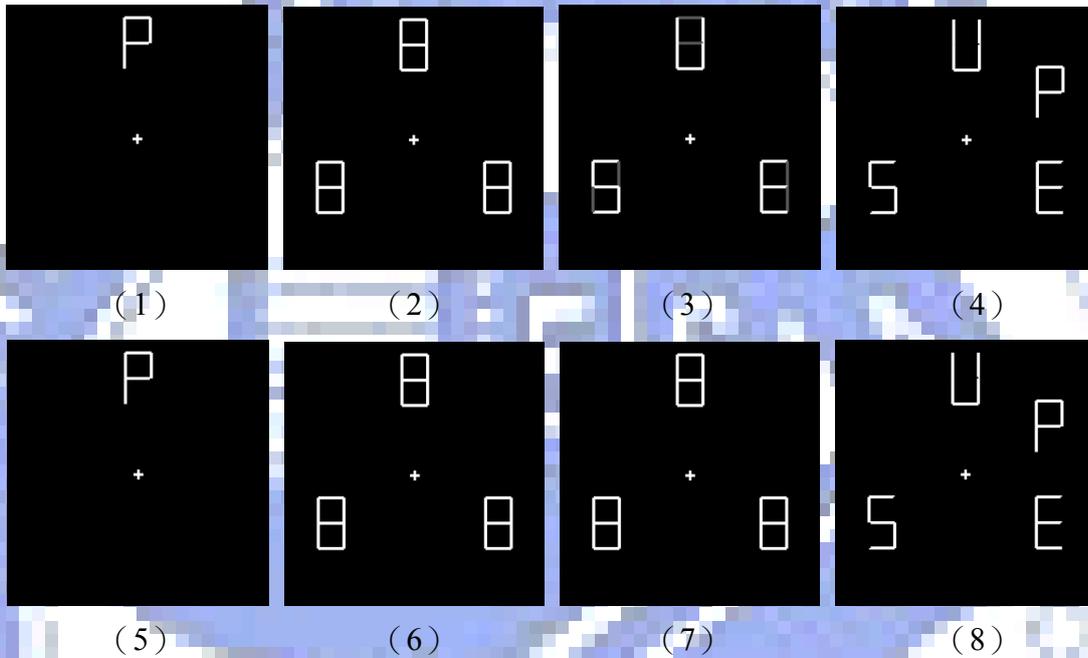


圖 4-89 Yantis 與 Jonides 實驗 c 所使用的刺激物(Yantis & Jonides, 1984)

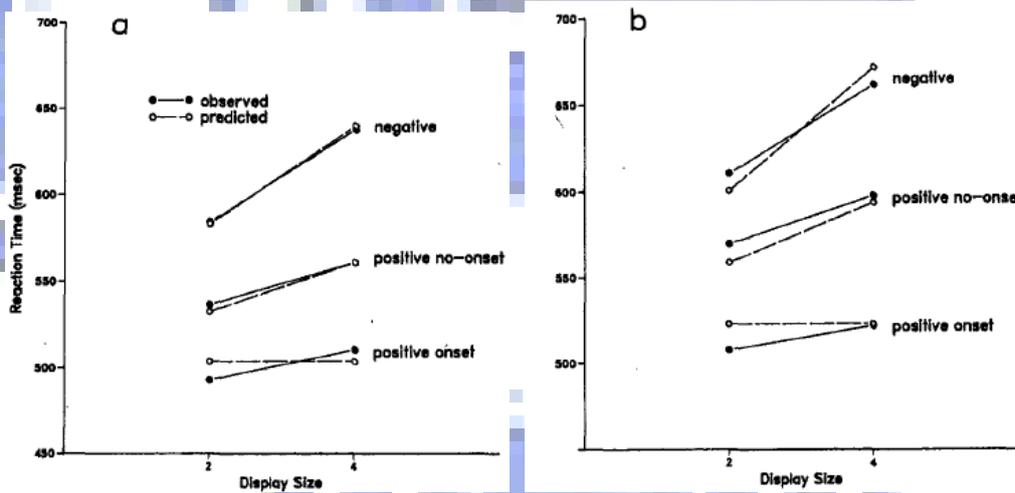


圖 4-90 Yantis 與 Jonides Abrupt Visual Onset 實驗 c 的結果(Yantis & Jonides, 1984)

no-onset 物件使用漸變模式 offset 的實驗結果如圖 4-90a；使用瞬變模式 offset 的實驗結果如圖圖 4-90b，從圖形中可發現兩者並無顯著的差異（實線部分）(Yantis & Jonides, 1984)。干擾物 offset 瞬變並不

能有效分散目標物 onset 瞬變所吸引的注意力，在一群 offset 物件中的 onset 物件吸引注意力的能力較強；而在一群 onset 物件中 offset 物件吸引注意力的能力較弱，這亦顯現了某種型態的非對稱性。

New object 應用時應考慮的因素彙整如表 4-15。

表 4-15 MOTION-New object 需考慮的因素

New object 應用需考慮之因素編碼	說明
4.1.1 MOTION-New object-[original location]	原始位置
4.1.2 MOTION-New object-[onset and offset]	onset 與 offset 因素
4.1.3 MOTION-New object-[luminance change]	明度改變因素
4.1.4 MOTION-New object-[inhibition of return]	回向抑制
4.1.5 MOTION-New object-[CIOH]	CIOH
4.1.6 MOTION-New object-[stroop effect]	Stroop Effect
4.1.7 MOTION-New object-[negative priming]	Negative Priming Effect
4.1.8 MOTION-New object-[feature-map inhibition]	Feature-Map Inhibition
4.1.9 MOTION-New object-[visual marking]	Visual Marking

1. MOTION-New object-[original location]

適性指標在設計時需要考慮「目標物件所在位置」與「滑鼠啟動位置」兩個重要因素。這涉及了下列三個重要問題：

問題一：目標物的「物理屬性相關動畫」應該由「目標物本身位置」啟動或是由「描述目標物的文字位置」啟動？

問題二：適性指標應該「直接出現在目標物的位置」，或是「指出目標物的方位」，亦或是「與目標物具有相同的物理屬性」？

問題三：一個視覺物件在不同畫面中是否應該盡量安排再同一位置？

考慮視覺環境的複雜性與多樣性，我們不認為以上三個問題的答案在每一種狀況下都一定相同。本文的立場是探討較理想的設計方式以及其心理實驗證據，所歸納出的原則是建議性的而非唯一的答案。此外，問題一在設計時有可能遇到「目標物本身位置」與「描述目標

物的文字位置」非常接近的情形；問題二中的適性指標也可能「直接出現在目標物的位置」，同時能「指出目標物的方位」並「與目標物具有相同的物理屬性」。以下，我們針對此三個重要問題做進一步的探討。

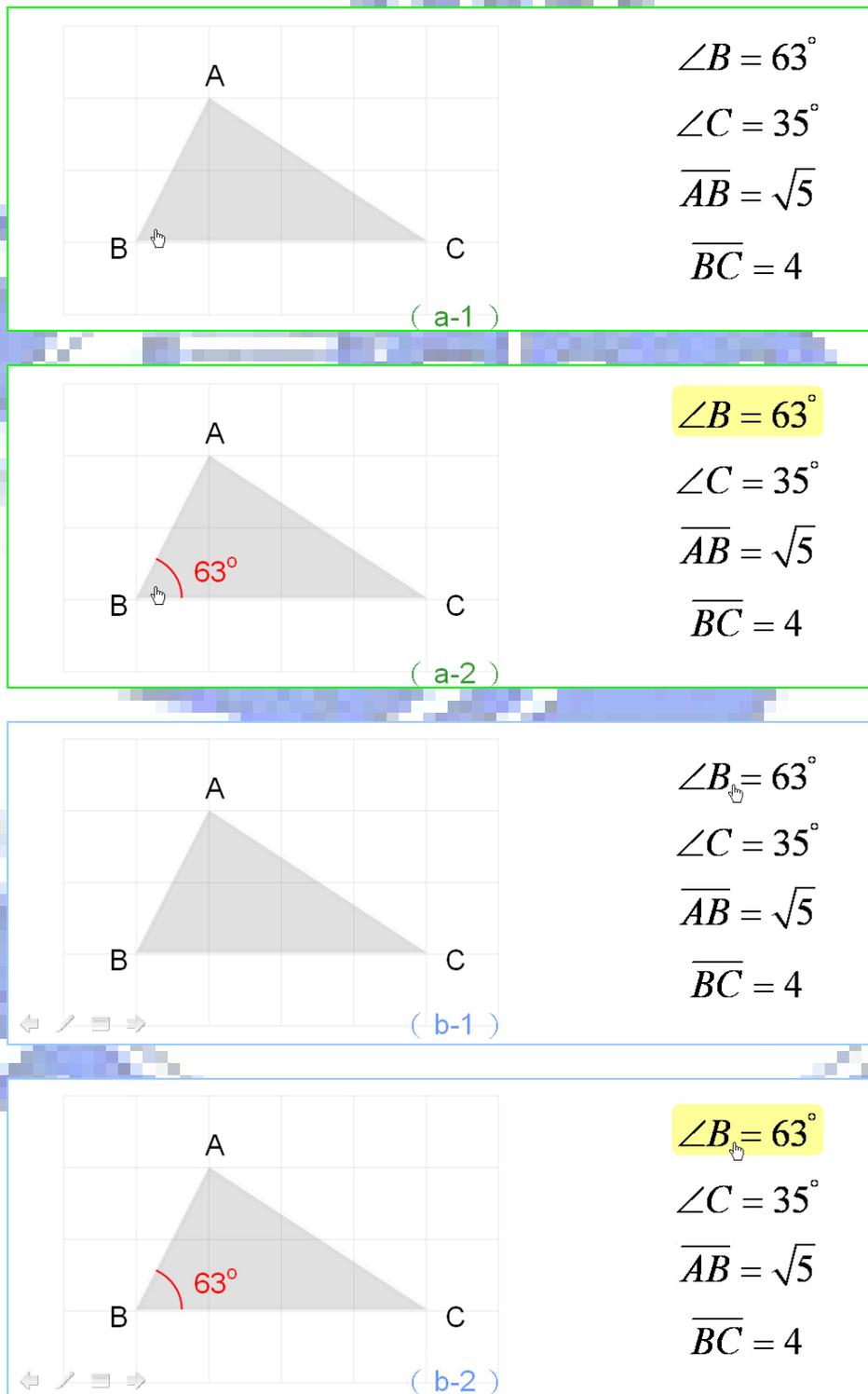


圖 4-91 動畫之「滑鼠啟動位置」影響視線凝視點

設計適性指標時，動畫之「滑鼠啓動位置」是重要的考慮因素。在 PowerPoint 中，動畫可以由畫面中任何一個位置的物件接收滑鼠左鍵「按一下」的「事件 (event)」加以啓動。在這樣的彈性下，我們會遇到本小節的問題一：目標物的「物理屬性相關動畫」應該由「目標物本身位置」啓動或是由「描述目標物的文字位置」啓動？請先參考圖 4-91 的例子：

圖 4-91 中， $\angle B$ 相關的動畫有紅色弧動畫（顯示隱藏）、紅色 63° 動畫（顯示隱藏）以及黃色底色強調 (highlight) 動畫（顯示隱藏）。圖 (a-1) (a-2) 呈現的是「滑鼠啓動位置」在 $\angle B$ 的「圖形所在位置」；圖 (b-1) (b-2) 呈現的是「滑鼠啓動位置」在 $\angle B$ 的「描述文字所在位置」。

物件的「物理屬性 (physical properties) 相關動畫」指的是物件的視覺特徵發生運動，例如三角形某一邊顏色發生瞬變、圓形的圓心突然出現、多邊形內部填滿區域突然出現等等。而「滑鼠啓動位置」影響的是視線凝視點，因為當滑鼠移動時，對視線有強烈的指引作用 (Motion Onset Hypothesis)。如果動畫由「物件本身位置」啓動，表示此時視線落在物件位置；若由「描述物件的文字位置」啓動，則此時視線落在描述物件的標記 (label) 位置上。

Kahneman、Treisman 與 Gibbs 在 1992 年依據一系列的實驗證據提出了「物件檔案 (object file)」的觀念 (Kahneman *et al.*, 1992)，認為畫面中的每個視覺物件都有自己的物件檔案，儲存了這個物件的視覺特徵以及時間、空間的相關訊息。當我們注意畫面中的一個目標物時，會引發一個自動化的「回顧程序」(automatic process of reviewing)，從目前所有的物件檔案中選出一個與目標物最爲契合 (match) 的並進行存取。然而，在這個選取適當 object file 的過程中，「位置」扮演了非常重要的角色，這涉及了「FINST 空間索引模型」的相關理論 (the FINST Spatial-index Model)。

Pylyshyn 於 1989 年的論文提出 FINST (fingers of instantiation) 空間索引模型，其概念是每個視覺物件都擁有一個指向此物件的參照 (reference)，就像我們可以用「手指」指向一個物件，而當此物件移動時，指向它的手指也跟著移動 (Pylyshyn, 1989)，所以參照是持續有效的。Pylyshyn 的理論將視覺特徵的位置 (location) 與型態 (type)

分開來考慮，要存取某個物件實體（instantiation）的視覺特徵需要透過此物件的 reference 來加以存取。而這關鍵的 reference 當然和物體的目前位置直接相關，並且也涉及了物體移動路徑的歷程紀錄(Kahneman et al., 1992)（因為有可能兩個移動中的物件在不同的圖層一上一下交錯通過同一位置）。

FINST 模型說明了物件位置的重要性，而 Spivey 與 Geng 更提供了視覺記憶與物件位置有關的重要實驗證據。此實驗有四個主要步驟：（1）受測者需要先注視畫面中的四個不同形狀的物件，此四個物件都有顏色與傾斜度（向左或向右傾斜）的視覺特徵。（2）受測者將視線移往中央十字。（3）畫面消失。（4）畫面重新出現，與原畫面相比，缺少其中一個物件(Spivey & Geng, 2001)。在第四步驟出現後，受測者被要求回答此「消失物件」的顏色或是傾斜方向，並同時紀錄其眼動（eye movement）過程。

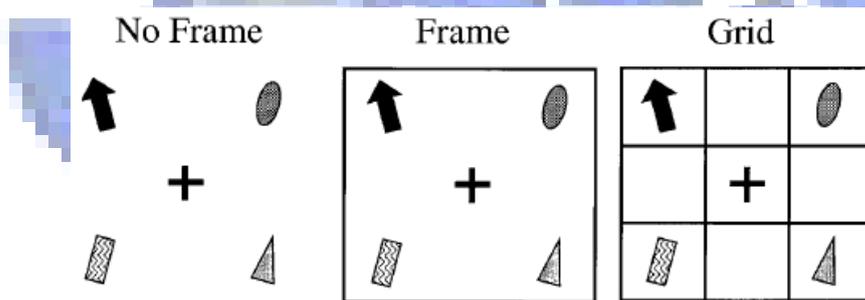


圖 4-92 Spivey 與 Geng 實驗所使用的刺激物與畫面之設計(Spivey & Geng, 2001)

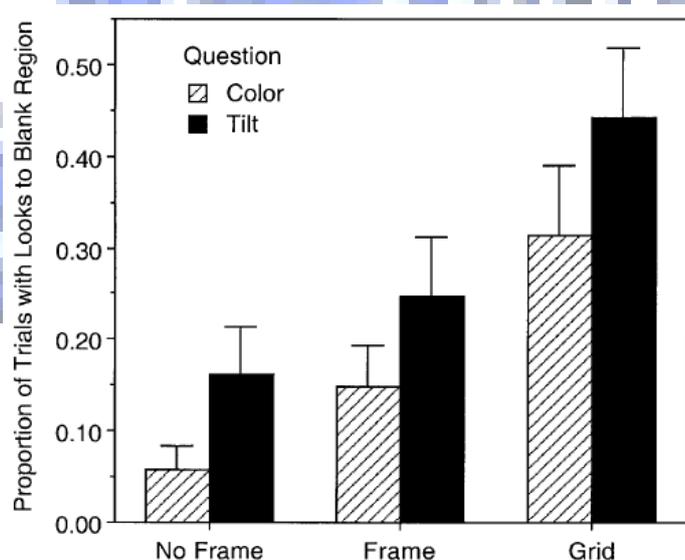


圖 4-93 Spivey 與 Geng 實驗的結果(Spivey & Geng, 2001)

實驗結果發現，受測者在回憶「消失物件」時，視線確實會移向原先消失物件所在的空白區域，並且當畫面中的空間位置線索較豐富時，視線移往此空白區域的機率越高（如圖 4-93）。其中「傾斜度問題」比「顏色問題」更能引發視線投注在消失物件所在位置。

在 Spivey 與 Geng 證實了視覺記憶與物件位置有關之後，更進一步的，Hollingworth 和 Henderson 將「物件參照 (reference)」與「物件檔案 (object file)」的架構加以延伸並探討視覺記憶 (visual memory) 與物件位置的關係 (Hollingworth & Henderson, 2002)。他們認為視線投注在物件所在位置有助於此物件相關視覺記憶的提取 (visual memory retrieval)。隨後，Sacks 與 Hollingworth 於 2005 年提出實驗證實了上述說法。

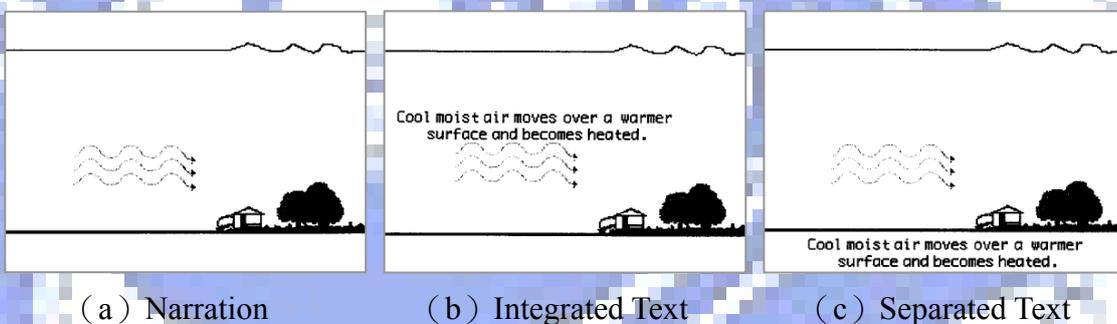
在 Sacks 與 Hollingworth 的實驗中，受測者首先觀察一個含有目標物的畫面 12 秒 (scene)，然後凝視空白畫面的中心點一秒 (fixation)，之後觀察測試畫面 (test)。在測試畫面中，目標物從原始位置移動到中心點，並且有可能做水平翻轉，如圖 4-93。受測者分成兩組，一組可以將視線自由移動 (Eye Movement)，另一組則必須將視線凝視在測試畫面的中央目標物 (No Eye Movement)，兩組都需要回答「目標物是否經過水平翻轉」。實驗結果發現，Eye Movement 組在回答時有 30% 的機率會將視線移動到目標物原始位置，並且其答案正確率高達 89%；相形之下，No Eye Movement 組答案正確率只有 76%。



圖 4-94 視線位置影響視覺記憶檢索的實驗畫面(Sacks & Hollingworth, 2005)

回到問題一：物件的「物理屬性相關動畫」應該由「目標物本身位置」啟動或是由「描述目標物的文字位置」啟動？由於「描述目標物的文字」本質上是一種標記（label），可說是此物件 object file 內容的一部份，然而提取此目標物的相關視覺記憶所需要的 reference 主要還是和目標物本身的位置有關，所以視線應被引導到目標物所在位置才能更有助於相關視覺記憶的提取。綜合以上所言，物件的「物理屬性相關動畫」應該由「目標物本身位置」啟動，亦即圖 4-91(a-1)(a-2) 是較佳的設計方法。

在設計上，滑鼠啟動適性指標時要在「目標物所在位置」，並且「描述目標物的文字」如果也能接近目標物則是更理想的設計方式。



(a) Narration (b) Integrated Text (c) Separated Text
圖 4-95 Moreno 與 Mayer 實驗所設計的畫面(Moreno & Mayer, 1999a)

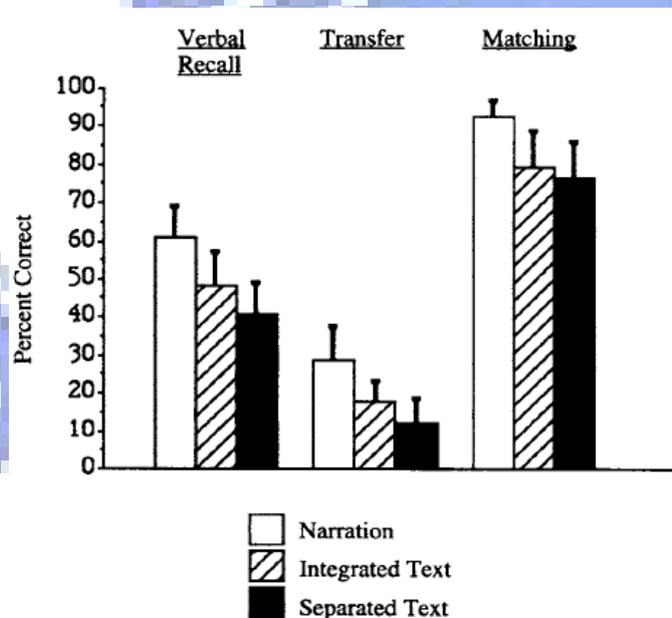


圖 4-96 Moreno 與 Mayer 實驗的結果(Moreno & Mayer, 1999a)

上述觀點符合 Richard E. Mayer 多媒體學習理論（multimedia

learning) 七項設計原則中的「空間連續原則 (Spatial Contiguity Principle)」(R. E. Mayer, 2001)，並且 Moreno 與 Mayer 在 1999 年的研究已為此觀點提供了實驗的證據。他們比較了「描述目標物的文字」接近目標物 (圖 4-95b Integrated Text) 與遠離目標物 (圖 4-95c Separated Text) 對受測者的影響，結果發現不論在「回憶」(verbal recall)、「問題解決遷移」(problem-solving transfer) 或是「配對」(matching) 測驗，描述文字接近目標物都比遠離目標物有更好的成績。值得注意的，如果採用口述的方式代替描述文字 (圖 4-95a Narration)，效果是此實驗中最好的 (Moreno & Mayer, 1999a)。

接下來，我們探討問題二：適性指標應該「直接出現在目標物的位置」，或是「指出目標物的方位」，亦或是「與目標物具有相同的物理屬性」？

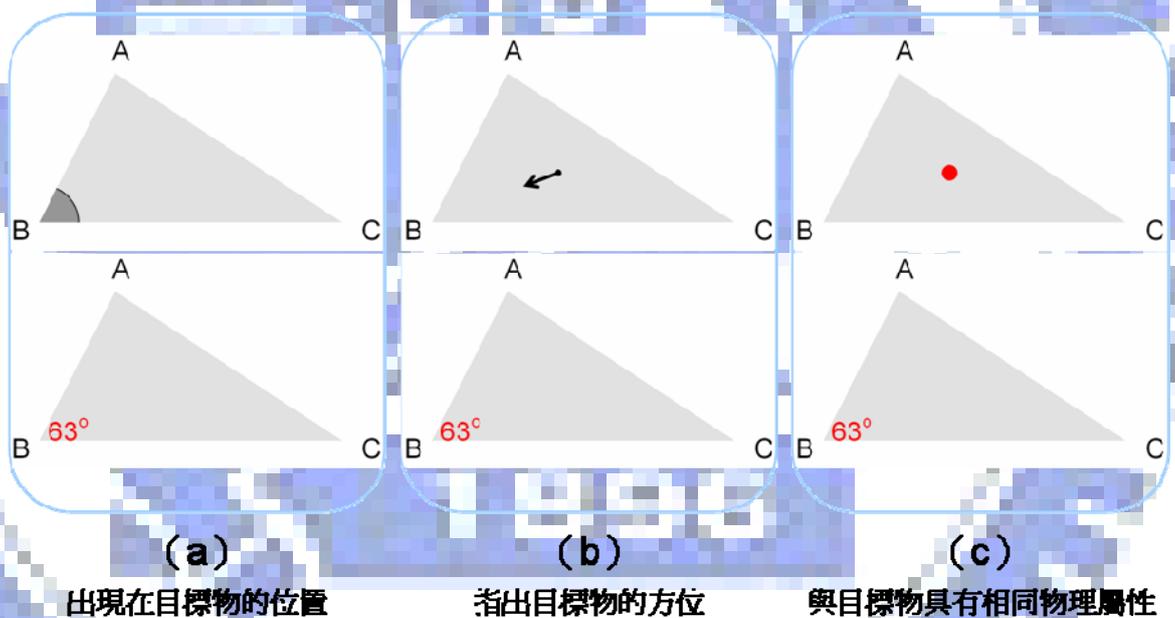


圖 4-97 問題二所探討的適性指標三種設計方式

由 Yantis 與 Jonides Abrupt Visual Onset 實驗 b 可以發現，new object 突然出現最明顯的效益是能將「注意力集中到新物件的位置」(Yantis & Jonides, 1984)。而此新物件若是適性指標，則適性指標必須在「被指示的目標物所在位置」，因為將視線引導到被指示的目標物，才能更有助於存取該物件的視覺記憶。這種設計方式涉及由下而上 (bottom-up) 的「外成性控制 (exogenous control)」，亦即問題二所說的適性指標「直接出現在目標物的位置」，如圖 4-97 (a) 上圖是適性指標的視覺提示 (visual cue) 畫面，本例為指出 $\angle B$ 的灰色扇形；下圖為目標物 $\angle B = 65^\circ$

的畫面。不過，如果我們將 (top-down) 的「內生性控制 (endogenous control)」也加入考慮，則適性指標會有另外兩種設計方式：「指出目標物的方位」(如圖 4-97B，適性指標是中央箭頭，指向目標物 $\angle B$) 以及「與目標物具有相同的物理屬性」(如圖 4-97c，適性指標是中央紅色圓點，與目標物紅色 63 度 $\angle B$ 有相同的顏色)。

實驗結果發現，上述三種設計方式以「(a) 出現在目標物位置」以及「(b) 指出目標物的方位」視覺搜尋的速度較快。Adler、Bala 與 Krauzlis 在 2002 年的實驗探討此三種方式的眼球運動「追蹤 (pursuit)」與「跳視 (saccade)」，他們設計了四種提示畫面：(如圖 4-98)

- (1) Peripheral：提示物出現在目標物位置，顏色為白色，大小形狀與目標物相同。
- (2) Central：提示物出現在中央，為一個指向目標物的白色箭頭。
- (3) Color：提示物出現在中央，其顏色大小形狀皆與目標物相同。
- (4) No Cue：沒有提示物，只有中央視線凝視點。

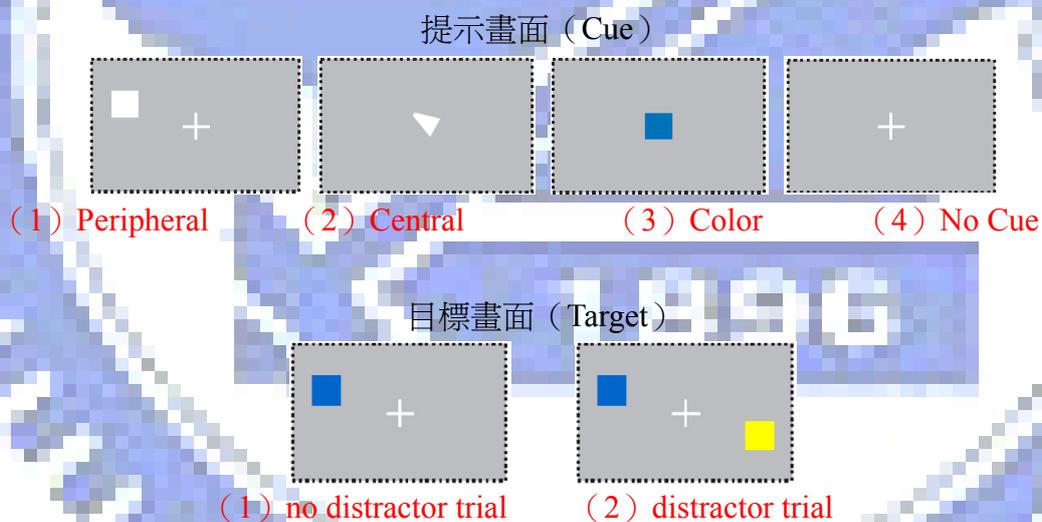


圖 4-98 Adler、Bala 與 Krauzlis 實驗所設計的畫面(Adler *et al.*, 2002)

受測者看過提示畫面後，接著是 500ms~1000ms 的中央凝視空白畫面，之後觀看目標畫面 1000ms。目標畫面的視覺刺激物可能是藍色或黃色的小方塊，在畫面中有四個可能出現的位置 (左上、左下、右上、右下)。目標畫面有兩種，一種是 no distractor trial，只有一個視覺刺激物 (即目標物)；另一種是 distractor trial，有兩個視覺刺激物 (目標物依提示決定，干擾物會出現在點對稱的位置，顏色和目標物不

同)。在 No Cue 且 distractor trail 的實驗中，受測者被告知任意選擇兩個兩個視覺刺激物的其中一個當作目標物即可(Adler *et al.*, 2002)。

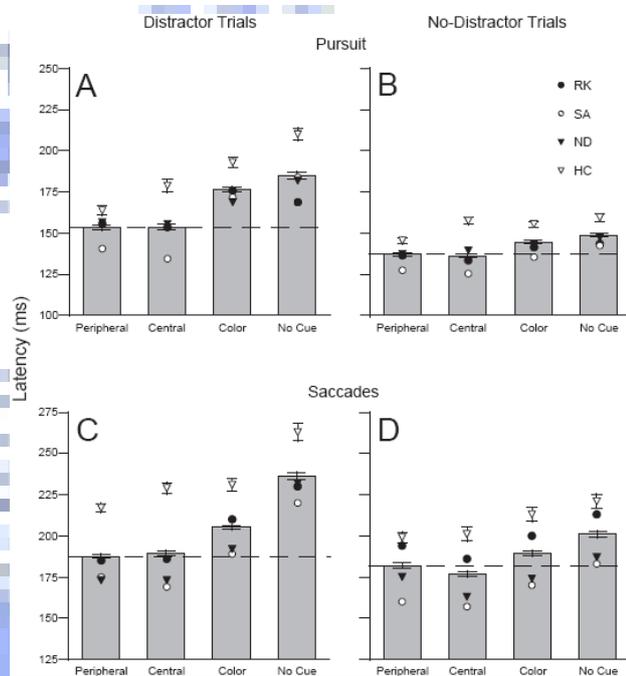


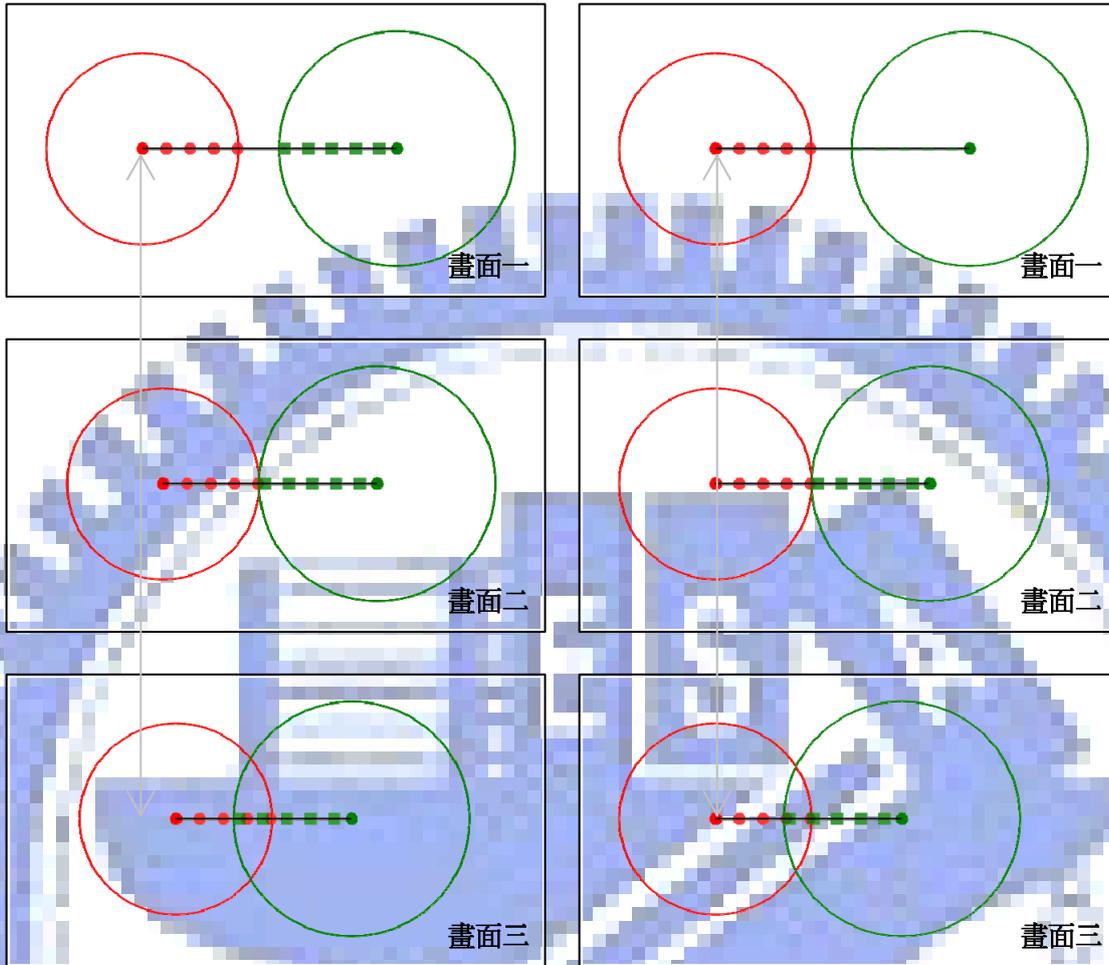
圖 4-99 Adler、Bala 與 Krauzlis 實驗的結果(Adler *et al.*, 2002)

從 Adler、Bala 與 Krauzlis 的研究結果我們可以發現下列重點：

- (1) Peripheral Cue 以及 Central Cue 的效果比 Color Cue 好。
- (2) 三種提示的效果都比沒提示好。
- (3) 提示的效果對於 distractor trail 比 no distractor trail 更明顯。

本實驗再次支持了適性指標是否提供「位置訊息」是影響視覺搜尋效能的關鍵，不論是採用 bottom-up 外成性控制的 Peripheral Cue 或是 top-down 內生性控制的 Center Cue。

接下來我們探討本節的第三個問題：一個視覺物件在不同畫面中是否應該盡量安排在同一位置？請先參考圖 4-100 的例子：



(a) 紅色圓位置改變 (b) 紅色圓位置不變

圖 4-100 兩圓連心線與半徑關係的兩種呈現方式

Treisman 與 Zhang 在 2006 年的論文研究了物件位置 (location)、特徵連結 (feature binding) 以及視覺工作記憶 (Visual Working Memory) 之間的關係。首先，受測者觀察原始畫面中三個形狀特徵與顏色特徵不同的刺激物，接著在 100ms 或是 900ms 的空白畫面時間延遲之後，測試畫面內三個刺激物可能出現在原來的位置 (Old location)，但是特徵可能相同也可能互換 (Changed-Binding)；也可能出現在不同的位置 (New location)，特徵仍然可能互換。如果受測者發現有特徵互換的狀況應回答「different」，否則就回答「same」(按壓特定按鍵回答)。如圖 4-101。

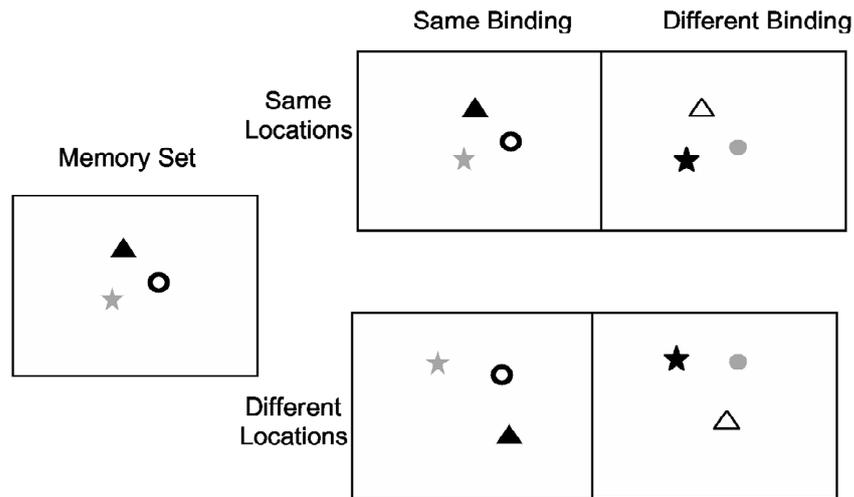


圖 4-101 Treisman 與 Zhang 物件位置與連結的實驗畫面(Treisman & Zhang, 2006)

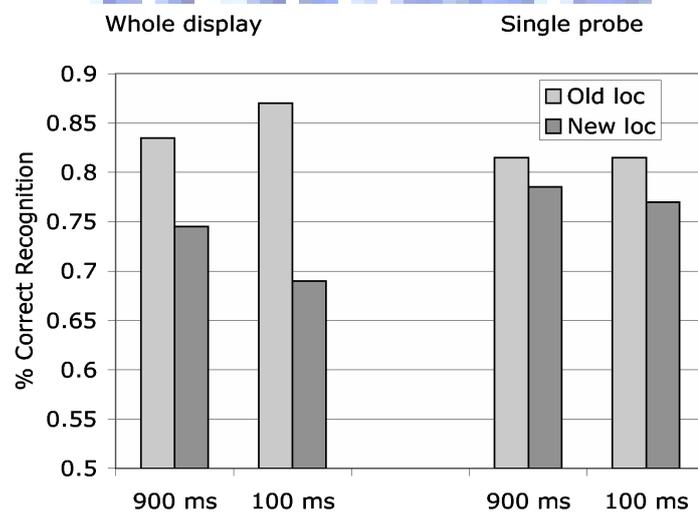


圖 4-102 Treisman 與 Zhang 的實驗結果(Treisman & Zhang, 2006)

此外，本實驗也研究了 Whole display 與 Single probe 是否有影響。Whole display 指的是測試畫面出現的刺激物個數和原始畫面相同（三個），而 Single probe 則是測試畫面僅出現一個刺激物。此時，受測者需要判斷這個唯一的刺激物是否與原始畫面的其中一個刺激物的特徵完全吻合（Matching），不可以有特徵互換的情形（Changed-Binding）。如果 Matching 則回答「same」，否則回答「different」。

實驗結果發現，不論採用 Whole display 或是 Single probe 的顯示模式，Old location 的回答正確率都比 New location 高（如圖 4-102）(Treisman & Zhang, 2006)。這證實了刺激物放置在原始位置有助於視覺記憶的提取，也告訴我們在畫面間切換時非必要最好不要更動視覺物件的原始位置，因為這會影響視覺記憶提取的效能。

回到本節的問題三：一個視覺物件在不同畫面中是否應該盡量安排再同一位置？首先，一個視覺物件會出現在不同的畫面很可能涉及了對此物件各種面向的說明，也可能涉及此物件在各種條件與變化下的「交互比對」，爲了有效存取視覺工作記憶（Visual Working Memory）以及物件檔案（object file），一般狀況下我們應該盡量讓同一物件在不同頁面中出現在同一位置。綜合本小結的三個問題，我們將上述的探討歸納出 MOTION-New object-[original location]應考慮的三個因素：

- (1) 適性指標之滑鼠啓動點應在目標物所在位置。
- (2) 適性指標應含有位置資訊。
- (3) 適性指標之設計要考慮頁面定位。

表 4-16 MOTION-New object-[original location]需考慮之因素編碼

MOTION-New object-[original location]需考慮之因素編碼	說明
4.1.1 MOTION-New object-[original location]	原始位置
MOTION-New object-[original location : mouse]	動畫之滑鼠啓動點
MOTION-New object-[original location : information]	提示含有位置資訊
MOTION-New object-[original location : between pages]	頁面定位

2. MOTION-New object-[onset and offset]

一個物件的突然出現（onset）會吸引注意力投注其上(Yantis & Jonides, 1984)，然而，若是一個物件突然消失（offset），是否也能吸引注意力？Yantis 與 Jonides 在 1984 年發表的實驗說明了在一群 offset 瞬變所產生的字母中，onset 瞬變所產生的字母仍能有效吸引注意力，這顯示了 onset 物件吸引注意力的能力比 offset 物件更強(Yantis & Jonides, 1984)。Miller 於 1989 年對此實驗提出進一步的看法，他認爲 onset 物件之所以能夠有效吸引注意力而不受 offset 物件的影響，是因爲 Yantis 與 Jonides 實驗中 onset 物件的變化比 offset 物件的變化更大 (Miller, 1989)。

圖 4-103 詳細說明 Miller 的觀點，當「8」offset 瞬變成「U」時，總共只變動兩劃（減少），而「P」採用 onset 的方式突然出現時，總共變動五劃（增加）。如果我們增加 offset 的變動量，也許 onset 就不具有如此明顯的優勢了。爲了檢驗這個猜測，Miller 設計了一種新的刺激物（如圖 4-104 之 B 圖），這種刺激物可以使「8」offset 瞬變成「U」

時總共變動六劃（減少），比「P」採用 onset 的方式突然出現時總共變動五劃（增加）還多（如圖 4-105）。

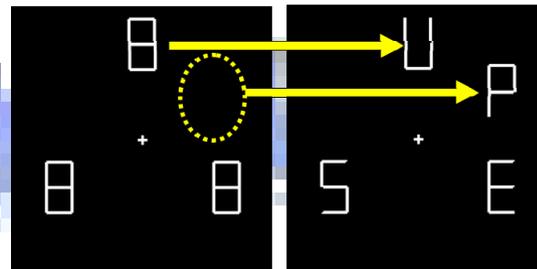


圖 4-103 Yantis 與 Jonides 使用的刺激物 offset 變化較少(Yantis & Jonides, 1984)

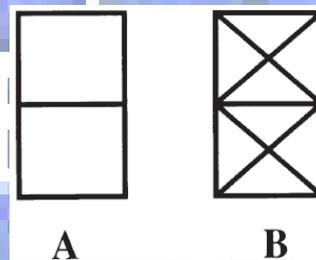


圖 4-104 Miller 所使用的刺激物(Miller, 1989)

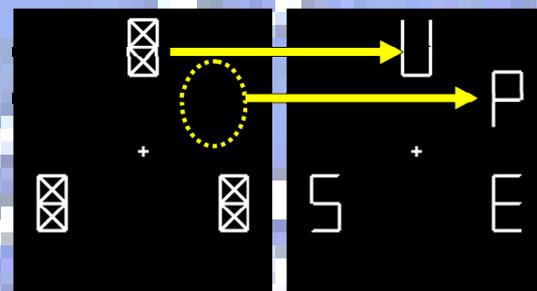


圖 4-105 Miller 使用的刺激物 offset 變化較多(Miller, 1989)

實驗結果支持 Miller 的想法，在 offset 物件發生瞬變的筆畫增加後，搜尋 onset 物件與 offset 物件的「回應正確率」與「回應時間」都變得比較接近，亦即 onset 物件已不如之前擁有絕對的優勢了。然而，onset 物件的回應正確率仍然較 offset 物件高，回應時間亦較短，這表示雖然兩者都能吸引注意力，onset 吸引注意力的效果還是比 offset 好。綜合以上討論，我們將 onset 與 offset 涉及適性指標設計的相關因素歸納如下：

(1) onset 優先於 offset：

由於 onset 吸引注意力的效果較好，所以應優先採用 onset。

(2) 已經存在於畫面的物件可採用offset：

如圖 4-106 (a1) 呈現出三條直線切割平面的原始畫面，(a2) 將其中一條直線標示為紅線以利說明，(a3) 採用 offset 的方式呈現出有三個區域被切割，所以「區域總數」比原來增加三個。(b1) ~ (b3) 使用顏色瞬變 (Transient) 來達成類似的效果，相形下，使用顏色瞬變會降低紅色線原有的色彩群化效果 (容易看成三個不相干的線段)，並且因為顏色通道擁擠，使得畫面感覺較為複雜。

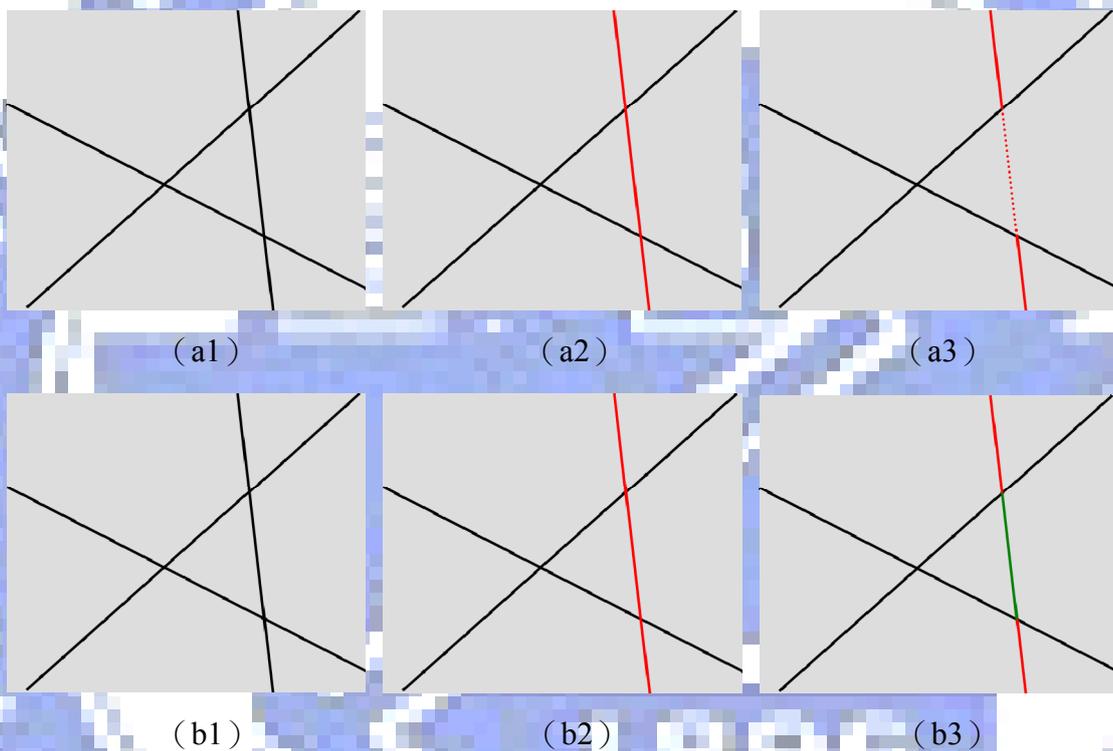


圖 4-106 直線切割平面問題可使用 offset 的方式呈現

(3) 使用offset強調的物件不應完全從畫面消失，應保留一部分。

若 offset 將被指示物件從畫面完全消失，雖然消失的瞬間可能把注意力吸引到物件所在位置，但因為物件消失，視線隨即會被其他視覺特徵吸引到畫面別的地方。

3. MOTION-New object-[luminance change]

新物件突然出現在畫面中可以吸引注意力已經得到許多實驗的支持(Davoli *et al.*, 2007; Enns *et al.*, 2001; Gellatly *et al.*, 1999;

Yantis & Jonides, 1984)，不過，有研究報告認為新物件能引發注意是因爲引發明度瞬變(luminance transient)(Franconeri Steven et al., 2005)。此外，許多實驗數據都指出「顏色瞬變」沒有吸引注意力的效果(Lambert et al., 2003; Theeuwes, 1995)。在此，我們的目標並非確認哪一種說法正確，而是分別探討「new object」、「luminance change」以及「color change」的吸引注意力效果之強弱，並且提出適性指標設計時應注意的因素。

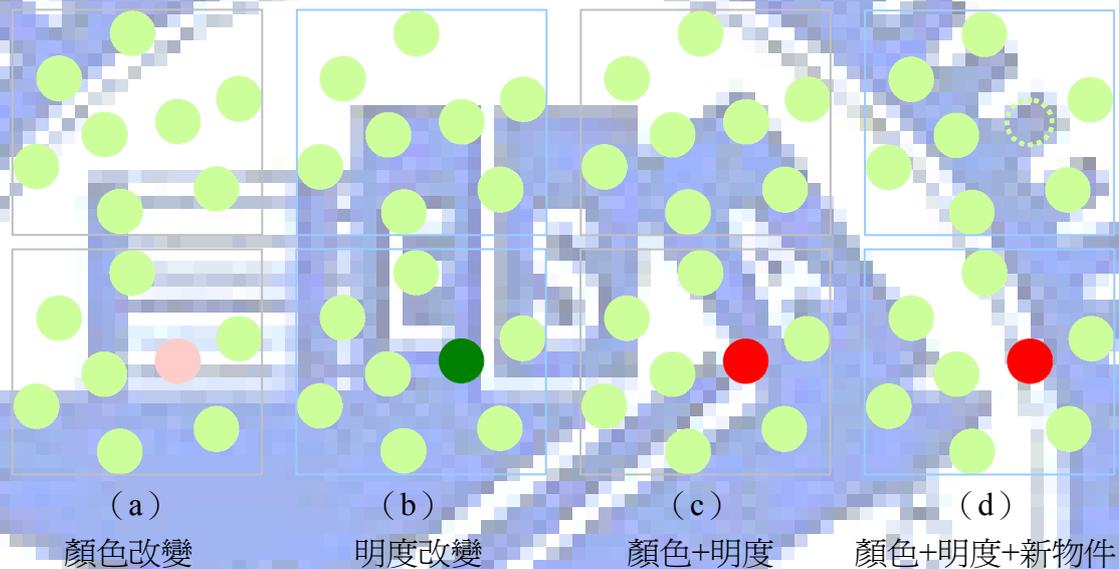


圖 4-107 影響 new object 的各項因素比較

雖然我們可以同時使用這三個因素來更加確保 new object 能有效吸引注意力(如圖 4-107 之 d)，但現有的研究顯示 new object 與 luminance transient 的效果較強，color transient 效果較弱。因爲，Theeuwes 於 1995 年的實驗指出「突然在畫面出現的顏色改變」無法有效增加視覺搜尋效率(Theeuwes, 1995) (請參考本章第二節二、1.)。Lambert 等人 2003 年的實驗也發現，從 Contingent Involuntary Orienting Hypothesis 的角度來看，明度改變才是影響視覺搜尋的關鍵因素，相形下顏色改變的影響不大(Lambert et al., 2003)。因此，本小節將探討 new object 與 luminance change 這兩個主要因素的關係。

new object 與 luminance change 的關係涉及 New-Object Hypothesis 以及 Transient Hypothesis，兩者都有實驗支持。我們對相關文獻進行蒐集與分類如下：

表 4-17 new object 與 luminance change 的相關論文

new object	luminance change
1. Stimulus-Driven Attentional Capture : Evidence From Equiluminant Visual Objects(Yantis & Jonides, 1984)	1. Do New Objects Capture Attention? (Franconeri Steven et al., 2005)
2. Do Equiluminant Object Onsets Capture Visual Attention?(Gellatly et al., 1999)	2. Do isoluminant color changes capture attention?(Lambert et al., 2003)
3. New Objects Dominate Luminance Transients in Setting Attentional Priority(Enns et al., 2001)	3. Abrupt luminance change pops out; abrupt color change does not(Theeuwes, 1995)
4. New objects can capture attention without a unique luminance transient(Davoli et al., 2007)	

從上述的論文我們可以發現：

- (1) 明度與背景相同的新物件仍然可以吸引注意力。
- (2) 發生明度瞬變的舊物件亦能引注意力。

第(2)個因素我們將在 MOTION-Transient 一節中加以探討。既然明度與背景相同的新物件仍然可以吸引注意力，那我們應該如何看待明度因素對「突然出現的新物件」的影響？

首先，在引導搜尋的效能上，new object 因素優先於 luminance change 因素(Enns et al., 2001)。Enns 等人 2001 年的研究發現，新物件只要「與背景有微小的明度差異」其搜尋效能就相當於舊物件以「很大的明度差異進行瞬變」。並且，舊物件採取「兩極化的瞬變」(changing in contrast and polarity) (如圖 4-108 「Change 部分」黑與白之間的變化) 其效果與 new object onset (如圖 4-108 「Mixed Onset 部分」突然出現的新物件) 的效果接近。上述的實驗最主要說明了視覺系統傾向注意新物件而較不注意舊物件狀態的變化(Enns et al., 2001)。

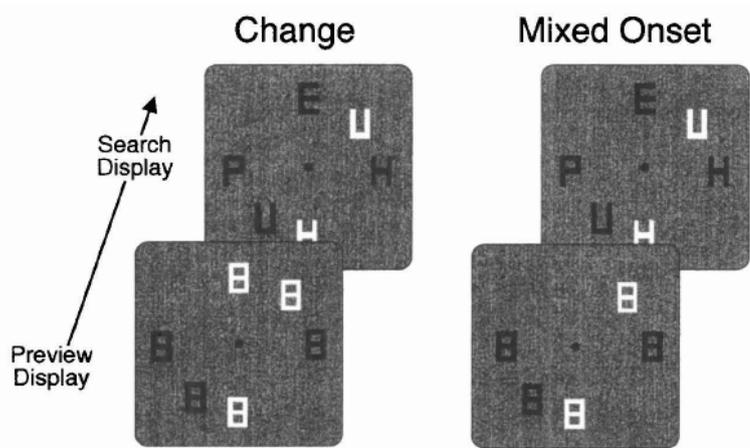


圖 4-108 Enns 實驗所採用的刺激物(Enns et al., 2001)

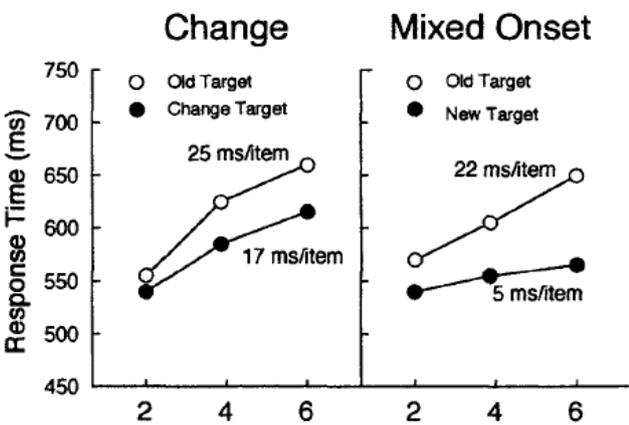


圖 4-109 Enns 實驗的結果(Enns et al., 2001)

其次，若同樣在 new object onset 的條件下，明度差異愈大搜尋效能越佳(Theeuwes, 1995) (第二節二、1. COLOR-Intensity-[luminance] 有相關的說明)。綜合以上的討論，我們將 new object 與 luminance change 涉及適性指標設計的相關因素歸納如下：

- (1) new object 優先於舊物件 luminance transient：
 - 由於 new object 吸引注意力的效果強，所以應優先採用 new object onset，無法採用時再採用 luminance transient。
- (2) luminance change 越大，效果越好：
 - new object 與背景の明度差異越大，new object onset 越能夠吸引注意力。

4. MOTION-New object-[inhibition of return]

視覺系統傾向關注「新奇的物件」(突然出現在畫面中)或是「等待閱讀的物件」(已出現在畫面中但尚未完成辨認)，而忽視已經存在於畫面中並且已辨認完成的物件(Klein, 2000; Wright, 1998)，這種「忽視舊物件」的效應可以增進視覺搜尋的效能。觀察圖 4-110，若我們要算出圖中總共有多少黑點，當我們在搜尋下一個黑點時，必須排除掉之前已經算過的黑點。Posner 與 Cohen 在 1984 年發表了「回向抑制 inhibition of return (IOR)」的研究，以實驗證實了視覺系統確實能夠「忽視舊物件」(Klein, 2000; Wright, 1998)。

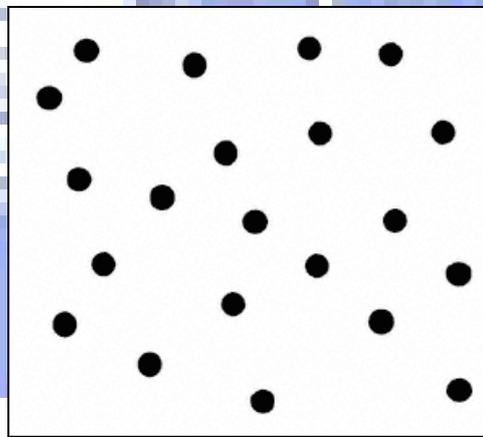


圖 4-110 IOR 能增進視覺搜尋效能(Wright, 1998)

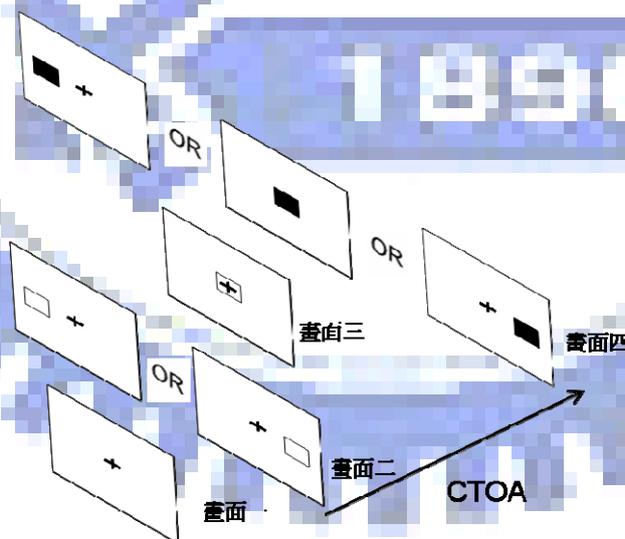


圖 4-111 回向抑制實驗示意圖(Wright, 1998)

回向抑制實驗的設計如圖 4-111，受測者首先將視線放在畫面一的中央，接著畫面二會在左側或右側出現矩形邊框「視覺提示」(cue)，並且此提示會在畫面三出現前消失。接下來畫面三也會有矩形邊框「視覺提示」，這次提示會出現在中央，目的是讓受測者視線回到中央。最後，畫面四的目標物（填滿的矩形）可能出現在左側、中央或右側。直覺上，如果「提示」與「目標」在發生同樣的位置，應該能縮短目標偵測所需的時間。令人驚訝的，實驗結果並不全然如此，而是與 CTOA (cue-target-onset-asynchronies) 有關。

CTOA 指的是「提示」與「目標」不同步開始的時間差（從提示出現到目標出現相差的時間），當此時間差小於 200ms 時，提示與目標出現位置一致確實能加快搜尋速度；然而，當時間差在 300ms~3000ms 之間時，正確的提示反而搜尋速度較慢(Wright & Richard, 2000)。如圖 4-112 實心圓點紀錄的是提示與目標位置一致的實驗數據，而空心圓圈紀錄的是提示與目標位置不一致的情形(Klein, 2000)。

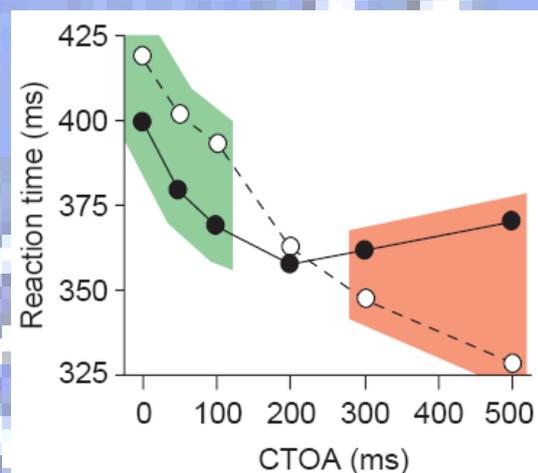


圖 4-112 回向抑制實驗結果(Klein, 2000)

一般認為 Inhibition of return 有兩種主要的誘發因素，其一是 saccade-induced IOR (掃視誘發回向抑制)，另一種是 stimulus-induced IOR(刺激誘發回向抑制)(Wright & Richard, 2000)。saccade-induced IOR 指的是當視線先注視位置 A，然後移動到位置 B，之後若目標物「出現在位置 A」會比「出現在其他位置」搜尋速度較慢。也就是說，視線「不喜歡」重新投注到剛才注意的位置(Rafal *et al.*, 1989)。另一方面，stimulus-induced IOR 指的是當某個視覺刺激發生在位置 A 時，之後目標物出現在「位置 A」會比「其他位置」搜尋速度慢。這表示同一位置先前儲存的視覺訊息會影響到後來此位置的訊息接收與辨認。

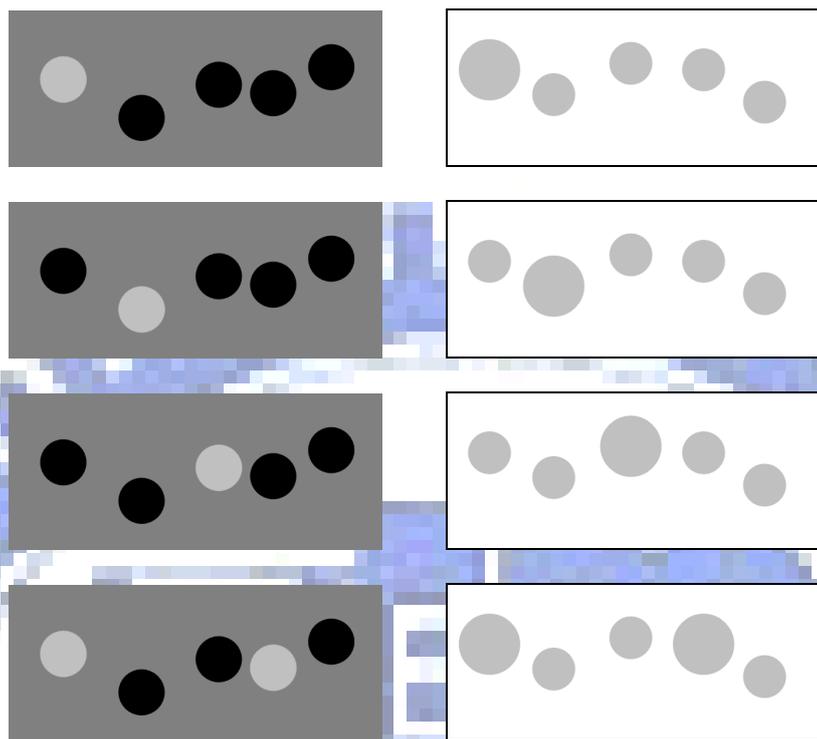


圖 4-113 saccade-induced IOR 的實例

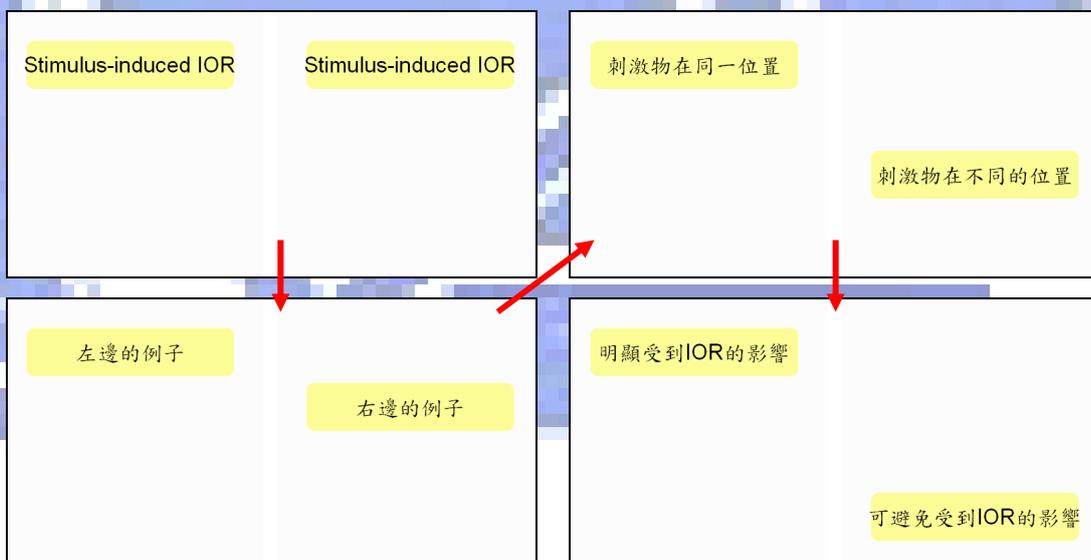


圖 4-114 stimulus-induced IOR 的實例

圖 4-113 IOR 主要的誘發因素是掃視，圖 4-114 IOR 主要的誘發因素是同一位置的刺激物。一般認為 IOR 與眼球運動有密切的關係 (Rafal et al., 1989)，加入掃視因素往往能誘發更明顯的回向抑制。事實上，saccade-induced 以及 stimulus-induced 是有可能一起發生作用的，如果視線先注視位置 A 再注視位置 B，並且在注視 A 時有某個視覺刺激同時出現在位置 A，這樣的狀況就涉及「掃視誘發」與「刺激誘發」

兩個因素了。

此外，stimulus-induced IOR 的重要關鍵是「提示」與「目標」在同一位置。如果「提示」是一個可以指出目標物位置的箭頭，但是此箭頭卻是在畫面中央，而不和目標物在同一位置，這種狀況下 IOR 並不會發生(Klein, 2000; Rafal et al., 1989)。上述的注意力配置方式是由上而下 (top-down) 的，一般認為這種內生性控制 (endogenous control) 所引導的注意力投注現象並不會誘發回向抑制。

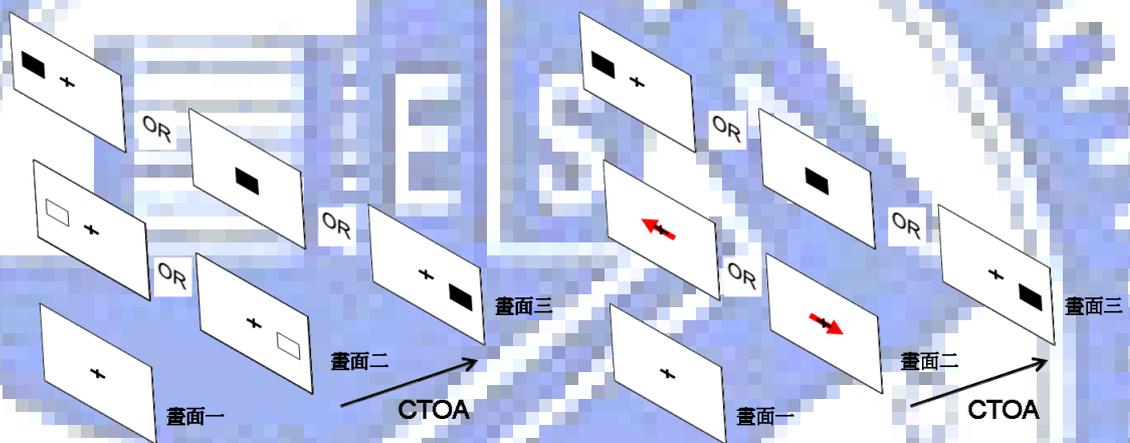
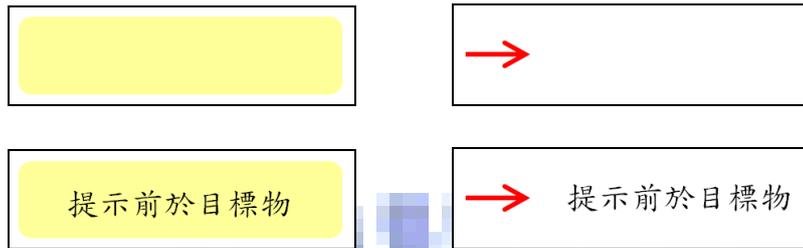


圖 4-115 「矩形刺激物提示」與「中央箭頭提示」對照圖

stimulus-induced IOR 效應告訴我們在製作適性指標時，提示不應「前於目標物」出現，並且要避免 stimulus-induced IOR 可以採用不在同一位置的箭頭符號來指引目標物的位置。「目標物不動」的策略也是有效的，將目標物穩定的呈現於畫面中，然後利用視覺提示（「底色強調」或「箭頭指引」）突然出現，以吸引讀者的注意力投注到此位置。因為目標訊息一直存在，所以 CTOA 會大於 3000ms，回向抑制的效應就會大大降低。此外，也可以讓視覺提示與目標物同時出現，因為 CTOA 小於 300ms，也不會產生回向抑制。



(A) 提示不應前於目標物 (B) 以箭頭指引目標物位置

圖 4-116 stimulus-induced IOR 應用在適性指標的設計

回向抑制涉及適性指標設計的相關因素歸納如下：

(1) 不同步時間差 (CTOA)：

若要避免 IOR，必須讓兩個視覺刺激同時出現 (CTOA 小於 300ms) 或是間隔三秒後循序出現 (CTOA 大於 3000ms)。

(2) previous saccade：

如果要指引視線重回前一掃視位置，不應有其他的視覺刺激同時開始 (onset)，否則因為 IOR 效應，視線會優先被引導到其他同時 onset 的物件。

(3) previous stimulus：

兩個循序呈現的目標物盡量避免在三秒內於同一位置出現。

表 4-18 inhibition of return 涉及的因素編碼

inhibition of return 涉及的因素編碼	說明
MOTION-New object-[inhibition of return : CTOA]	「提示」與「目標」不同步開始的時間差在 300ms~3000ms 之間 IOR 效應最強
MOTION-New object-[inhibition of return : previous saccade]	視線重回前一掃視位置誘發回向抑制
MOTION-New object-[inhibition of return : previous stimulus]	視覺刺激出現在前一刺激的相同位置誘發回向抑制

5. MOTION-New object-[CIOH]

適性指標在設計時必須考慮到授課者如何使用語言來引導讀者看到指標要指示的目標物，尤其是指標與目標物具有「共同特徵」時更應注意。首先我們觀察一個特殊的案例：如果要在圖 4-117 (A) 中標示出紅色三角形，採用圖 (B) 所設計的指標是否可行？

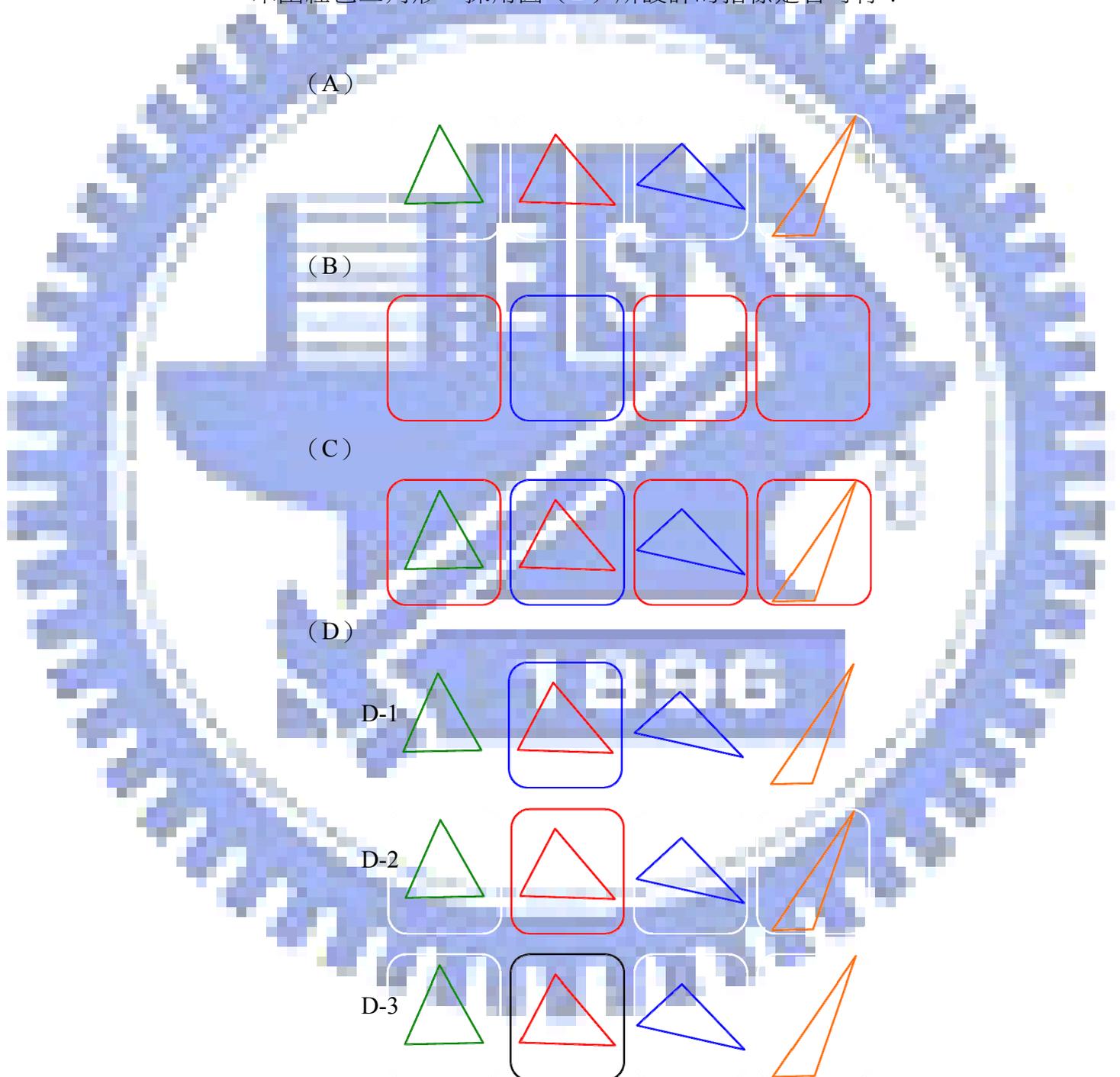


圖 4-117 適性指標涉及 CIOH 的案例

標示後的結果如圖 4-117(C)，相信大多數觀察者都會認為圖(B)的指標並未成功的標示出紅色三角形。然而圖 4-117(B)是典型的 Color-Hue-[strategy: distinct hue]之應用，目標物與干擾物以不同色相區隔應該能夠達到一定的效果。再加上「紅色」與「藍色」符合色彩知覺(hue perception)的四個主要因素「純粹色相 unique hues」、「顏色之跨文化命名 cross-cultural naming」、「焦點顏色 focal colors」以及「顏色類別(categorical colors)」。但是，為什麼這麼強烈的區隔仍然不能明確的標示出圖中的紅色三角形？

進一步的，我們觀察圖 4-117(D-1)，就算我們把其他三個指標去除，只留下標示目標物(紅色三角形)的指標，指引的效果仍不理想。事實上，這已經是 Color-Hue-[strategy: pup-out target]的策略：「僅在唯一的目標物以顏色強調可達最佳的效果」，但卻效果不佳。另一方面，使用同樣策略的圖(D-2)和(D-3)效果卻不錯，為什麼呢？

以上的問題主要涉及「非自主的隱性定位依注意力配置而定」(Involuntary Covert Orienting Is Contingent on Attentional Control Seeting)的相關理論，圖 4-117 效果不佳是因為「語言提示」及「視覺提示」所產生的 top-down 內生性控制對目標物的視覺搜尋造成干擾。授課者的「語言提示」以及教材內的「視覺提示」應該要能充分配合，正確且明顯的指出目前要標示的目標物。而「語言提示」與「視覺提示」配合發生問題的狀況往往是因為「語言提示與視覺提示不一致」以及「視覺提示引發誤導」所造成的。

對於「語言提示」、「視覺提示」與目標物搜尋效率的關係，Folk、Remington 以及 Johnston 在 1992 年以實驗的方式進行相關的研究(Folk et al., 1992)。Folk 等人認為，與搜尋作業密切相關的「關鍵特徵」會影響觀察者所採取的注意力配置策略，並進而影響了注意力集中的位置。此關鍵特徵往往和視覺搜尋的任務目標有關，例如我們要在一段文字中尋找顏色為紅色的重要文字，「紅色」就是「關鍵特徵」。

若視覺提示恰好與此關鍵特徵吻合，則視覺提示的正確性會明顯影響搜尋效能；若與此關鍵特徵無關，則提示的正確性就不太會影響搜尋效能。Folk 等人根據這樣的理念提出 Contingent Involuntary Orienting Hypothesis (CIOH)，認為 top-down 的內生性控制因素(endogenous factors)會配置較多的注意力資源在「關鍵特徵」，並且

這種關注「關鍵特徵」的傾向在搜尋作業的過程中很難停止或控制。

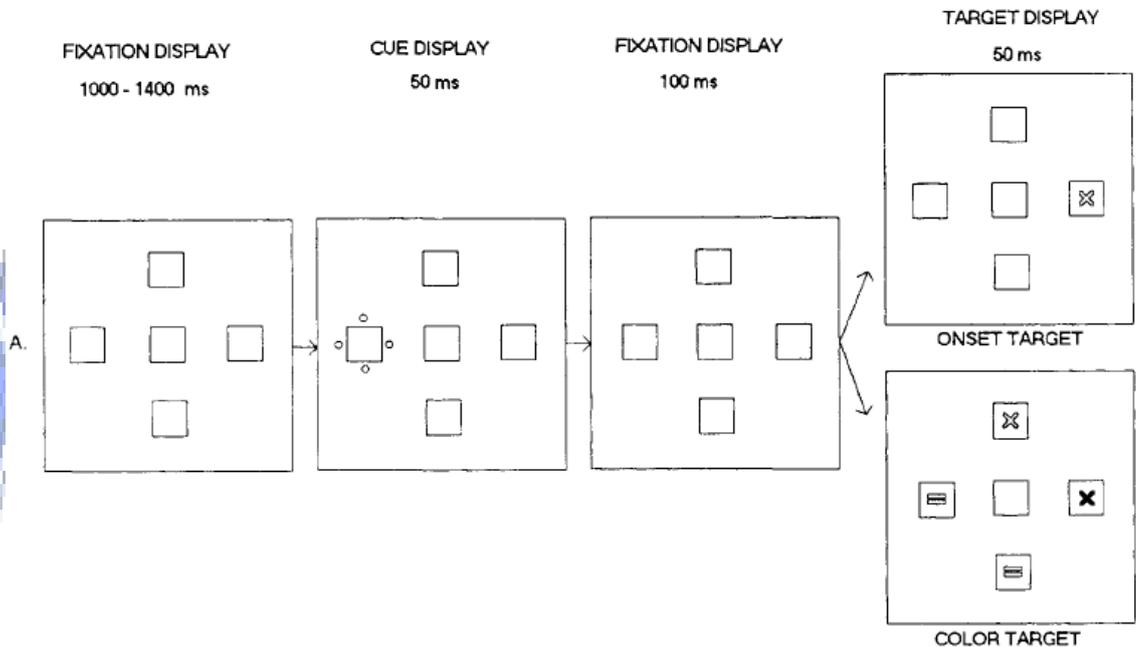


圖 4-118 CIOH 實驗一示意圖(Folk et al., 1992)

首先，CIOH 實驗一的畫面是由 5 個淺灰色的正方形外框所構成，搜尋的目標物是「x」或是「=」兩個符號其中一個。在提示畫面（cue display）中，上下左右 4 個方框的其中一個周圍會突然出現四個白色圓點（onset cue），然後在 100ms 的空白畫面之後，接著出現的目標畫面（target display）有兩種。一種是突然出現唯一的目標物（onset target）（白色的「x」或「=」），當受測者看到「=」時按左手食指的按鈕，若看到「x」則按右手食指的按鈕；另一種目標畫面是在上下左右 4 個方框都會出現「x」或「=」，其中三個是白色，另一個是紅色，此紅色符號即為目標物（color target）。同樣的，受測者需判斷紅色的符號是「x」或「=」，然後在按下適當的按鈕。

所有受測者都先觀看提示畫面中的 onset cue。提示後，其中一組受測者在目標畫面搜尋 onset target（此組稱為 onset-cue-onset-target），另一組搜尋 color target（此組稱為 onset-cue-color-target）。另一個重點是，本實驗的視覺提示有 100% 正確（Valid cue）以及 100% 錯誤（Invalid cue）兩種。Valid cue 能直接引導注意力落在目標物的位置，而 Invalid cue 則可能讓受測者避免將注意力落在此位置。提示受測者的回應時間（RT, response time）與答案錯誤率（ER, error rate）被記錄並分析，實驗結果如表 4-19。

Cue condition	Cue-property-target-property condition			
	Onset-cue-onset-target		Onset-cue-color-target	
	RT	ER	RT	ER
No cue	502	.068	520	.036
Valid cue	466	.078	476	.050
Center cue	498	.086	497	.050
Invalid cue	528	.080	516	.052

表 4-19 CIOH 實驗一之結果(Folk et al., 1992)

在表 4-19 中我們可以觀察到兩個重點。(1) onset-cue-onset-target 這一組 No cue 與 Invalid cue 之 RT 差異甚大(紅色標示),表示 onse cue 與 onset target 因兩者「關鍵特徵」相同,所以 Invalid cue 確實具有誤導的作用,會明顯降低搜尋效能。相形之下,在 onset-cue-color-target 此組中, No cue 與 Invalid cue 之 RT 差異甚小(綠色標示)。(2) onset-cue-onset-target 此組之 Invalid cue 條件下, RT 與 ER 都是整個實驗中最大的(藍色標示),再次表示錯誤的 onse cue 會降低 onset target 的搜尋效能。綜合以上,綜合以上,實驗一有兩個重要結論:(1)「含有關鍵特徵的錯誤提示會降低搜尋效能」。(2)「注意力集中在關鍵特徵的傾向一旦啟動後,此傾向是非自發性的(Involuntary),在搜尋作業的過程中很難加以禁止或控制」(Folk et al., 1992)。

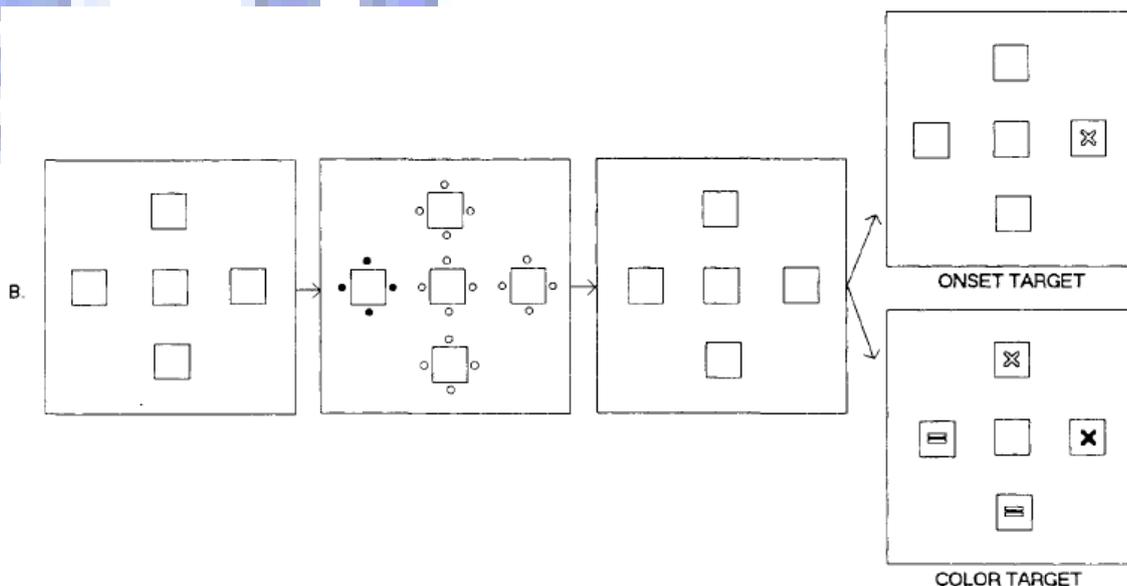


圖 4-119 CIOH 實驗二示意圖(Folk et al., 1992)

接下來，我們探討 CIOH 實驗二。實驗二的設計大致和實驗一相同，唯一的不同是在提示畫面（cue display）中顯示的不是單一的 onset cue，而是在所有的方框周圍都出現小圓點（如圖 4-119），其中有一個方框外圍的小圓點是紅色，而其他的小圓點都是白色，所有的圓點構成 color cue，提示了受測者目標物會出現在紅色圓點之內的訊息。依此 color cue 的條件同樣觀察了 onset target 以及 color target 的搜尋效能，結果如表 4-20。

Cue condition	Cue-property-target-property condition			
	Color-cue-color-target		Color-cue-onset-target	
	RT	ER	RT	ER
No cue	510	.032	479	.067
Valid cue	489	.047	492	.063
Center cue	542	.032	494	.058
Invalid cue	552	.033	500	.071

表 4-20 CIOH 實驗二之結果(Folk et al., 1992)

在表 4-20 中我們可以觀察到兩個重點。(1) color-cue-color-target 這一組 No cue 與 Invalid cue 之 RT 差異甚大(紅色標示)，表示 color cue 與 color target 因「關鍵特徵」相同，所以 Invalid cue 有確實具有誤導的作用，會明顯降低搜尋效能。相形之下，在 color-cue-onset-target 此組中，No cue 與 Invalid cue 之 RT 差異甚小(綠色標示)。(2) 觀察兩組在 Valid cue 與 No cue 條件下的 RT(藍色標示)，color-cue-color-target 之 Valid cue 確實能增進目標搜尋效能。相形下，color-cue-onset-target 之 Valid cue 竟然比 No cue 搜尋速度更慢，而且 Valid cue、Center cue 與 Invalid cue 三者的 RT 差異不大，表示在 onset target 的情形下，color cue 因為具有關鍵特徵，所以對搜尋效能影響很小。由實驗二的重點(2) 得到了另一個重要的結論：「含有關鍵特徵的正確提示會增進搜尋效能」(Folk et al., 1992)。由以上 CIOH 兩個實驗的探討，可以歸納兩個主要重點：

- (1) 含有關鍵特徵的提示會影響搜尋效能（正確提示增進搜尋效能，錯誤提示降低搜尋效能）。
- (2) 注意力集中在關鍵特徵的傾向一旦啟動後，此傾向是非自發性的（Involuntary），在搜尋作業的過程中很難加以禁止或控制。

從適性指標的設計角度來看，授課者的「語言提示」最重要的任務就是界定本次搜尋作業的關鍵特徵，例如教師請學生觀看畫面中的「紅色」三角形，或是「突然出現」的圓形。而適性指標的視覺特徵必須承接「語言提示」所界定的關鍵特徵做適當的設計才能得到最佳的效果，尤其是「語言提示」不夠清楚的時候，適性指標的設計必須力求精確以避免干擾。以下我們將基於 CIOH 理論對本小節的特殊案例進一步分析適性指標的各種設計方式。

(1) 目標物之提示不應具有干擾物之特徵

當語言提示不夠清楚時，視覺提示的特徵就會影響關鍵特徵的界定。若授課者說：「請看這個三角形」，因為這個語言提示沒有指出關鍵特徵，則學習者會受到視覺提示的「顏色：藍色」與「形狀：框線」特徵的影響，啟動搜尋藍色框線的傾向，影響注意力投注於目標物（紅色三角形）的程度。另一方面，即使授課者說：「請看紅色三角形」，效果仍然不理想，因為這涉及了下一小節所探討的 **stroop-like effect**（如圖 4-120）。

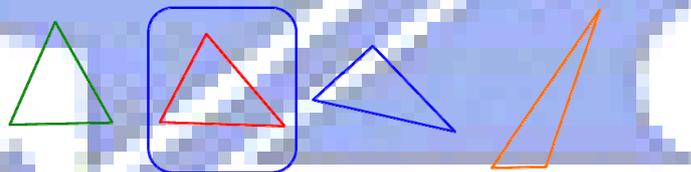


圖 4-120 目標物之提示具有干擾物之特徵

(2) 干擾物之提示不應具有關鍵特徵

干擾物之提示若具有關鍵特徵，會造成 CIOH 所說的「非自主的隱性定位（Involuntary Covert Orienting）」，注意力會被吸引到干擾物。

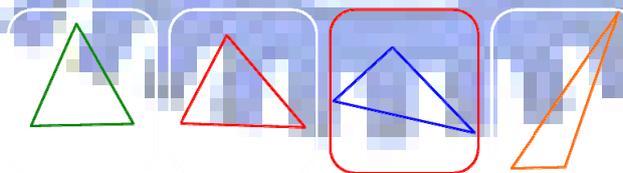


圖 4-121 干擾物之提示具有關鍵特徵

(3) 目標物之提示具有關鍵特徵會有最強的效果

目標物之提示若具有關鍵特徵，會造成 CIOH 所說的「非自主的隱性定位 (Involuntary Covert Orienting)」，注意力會更有效的被吸引到目標物，如圖 4-122 (A-1) 及 (B-1)。然而，此種作法在需要群化效果時有其限制。在教材設計的應用上，爲了表達物件之間的關連性，經常需要引發相關物件的群化效應。當我們採用格氏塔原理的相似法則 (Gestalt Law – Similarity) 來引發群化時，卻會遇到「各個目標物關鍵特徵不同」的問題，如圖 4-122 (A-2) 及 (B-2)。

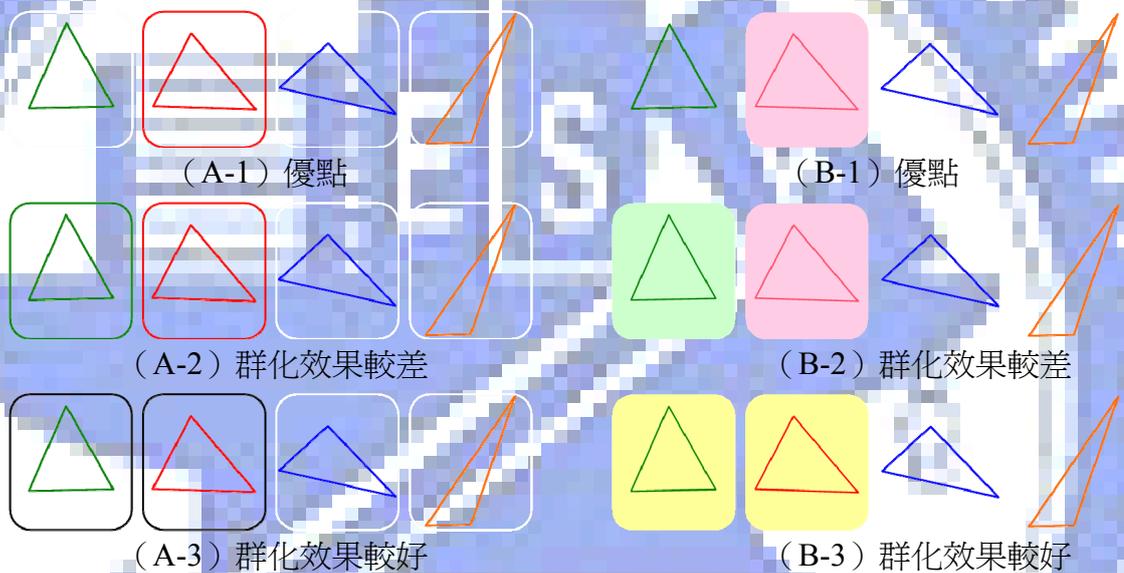


圖 4-122 目標物之提示具有關鍵特徵的優點與限制

(4) 提示物盡可能避免與所有待搜尋物件具有共同的視覺特徵

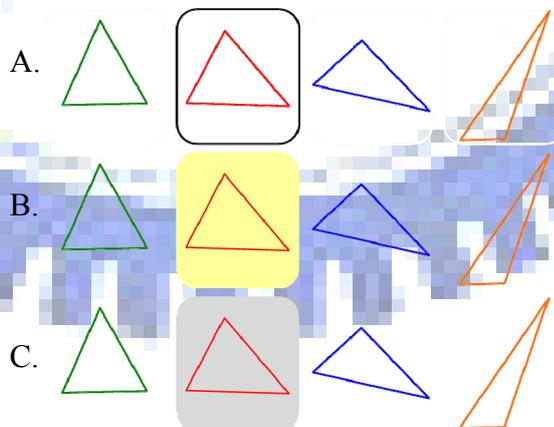


圖 4-123 提示物的設計應避免採用待搜尋物件的視覺特徵

觀察圖 4-123 可發現圖 A 的效果並不理想，因為「黑色框線」與待搜尋物件仍然具有「形狀：框線」的共同特徵。此外，比較圖 B 和圖 C 後可發現圖 C 之效果最好。這是因為圖 C 採用明度通道(luminance channel)而非圖 B 的色彩通道(chromatic channel)，如此和待搜尋物件的顏色特徵相關性更低，並且可以避免 COLOR-Hue-[label: chromatic simultaneous contrast]色彩同時性對比的因素造成待搜尋物件發生色彩偏移的現象。

綜合以上的討論，我們可將重點歸納如下：各個物件不需群化時，「目標物之提示具有關鍵特徵」會有最佳的指引效果；而物件需要群化時，「提示物盡可能的與所有待搜尋物件沒有共同的視覺特徵」可以避免因「非自主的隱性定位 (Involuntary Covert Orienting)」所造成的干擾。

6. MOTION-New object-[stroop-like effect]

我們延續上一節圖 4-120 所討論的特殊案例，即使授課者說：「請看紅色三角形」，效果仍然不理想。此時，因為關鍵特徵已經界定清楚了，所以藍色框線（視覺提示物）並不因 CIOH 而將注意力引導到藍色的三角形。然而，讀者在尋找紅色三角形時仍受藍色框線的干擾，這是因為藍色框線引發了 Stroop effect（如圖 4-124）

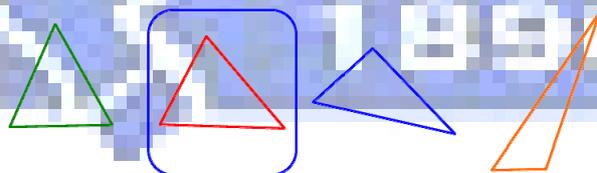


圖 4-124 Stroop effect 干擾目標物的辨認

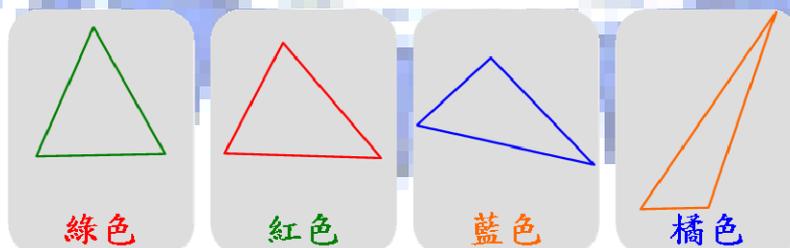


圖 4-125 引發 stroop effect 的設計方式

另一個更明顯的案例如圖 4-125。雖然這個設計在「底色質感式 common region」的設計上已經充分考慮到 CIOH 的因素，但是卻仍讓讀者感到困惑。這是因為其文字的颜色不符合 CIOH 的設計原則，並且文字的「字義」與文字本身的「颜色」不一致也引發了 Stroop effect。由於 Stroop effect 會影響到讀者接收訊息的效能，本節將探討 Stroop effect 的相關實驗以及適性指標在設計時避免 Stroop effect 的方法。

心理學家 John Ridley Stroop 在 1935 年發表的實驗詳細研究了颜色特徵與文字描述之間的關連性。實驗一稱為「Reading Color Names」(RCN)，受測者須接受兩種測試：(1) Reading color names where the color of the print and the word are different (RCNd)；(2) Reading color names printed in black (RCNb)。在實驗一受測者回答的是卡片中「文字所指的顏色」，而非「文字本身印刷的顏色」(如圖 4-126)，實驗紀錄了受測者回答 100 張字卡所需的時間(如表 4-21)。RCN 的實驗結果發現，大學一、二年級的受測者 RCNd 比 RCNb 需要較長的的回應時間，但整體來說，Stroop 認為其差異並不明顯(Stroop, 1935)。

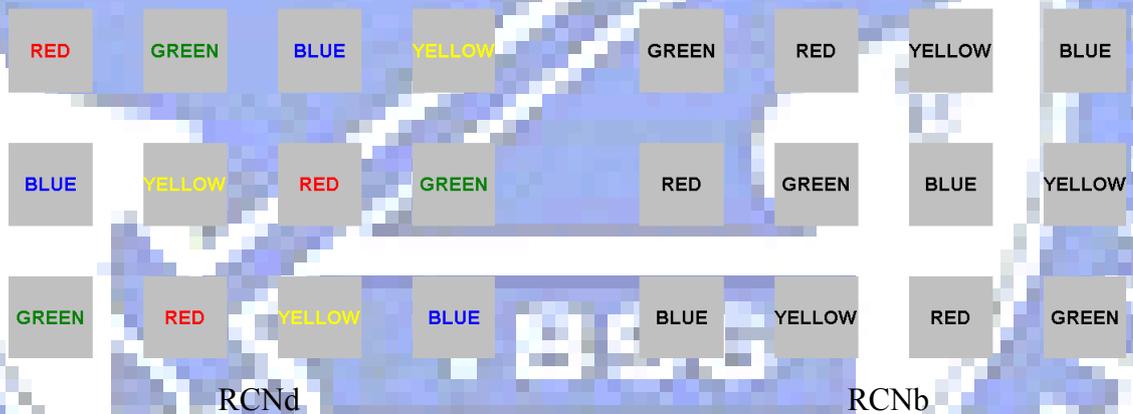


圖 4-126 Stroop effect 實驗一 Reading Color Names 示意圖(Stroop, 1935)

表 4-21 Reading Color Names 的實驗結果(Stroop, 1935)

College Year	No. Ss.	RCNd	σ	RCNb	σ	D	D/PE _d
1st.....	35	43.9	6.31	41.7	5.58	2.2	.38
2d.....	20	44.9	6.74	41.8	4.32	3.1	.57
3d.....	8	39.8	4.62	39.2	3.73	.6	.16
4th... ..	7	40.8	3.60	39.2	2.93	1.6	.51

接下來，實驗二稱為「Naming color test」(NC)，受測者須接受兩

種測試：(1) Naming color (NC)；(2) Naming color of word test where the color of the print and the word are different (NCWd)。在實驗二受測者回答的是卡片中「印刷的顏色」，而非「文字所指的顏色」（如圖 4-127），實驗紀錄了受測者回答 100 張卡片所需的時間（如表 4-22）。不同於實驗一的微小差異，實驗二的 NC 與 NCWd 所需的回應時間呈現出非常明顯的差異。以平均數來說，受測者在兩種測試花費的時間相差 47 秒，NCWd 所花費的時間是 NC 的 1.74 倍 (Stroop, 1935)。

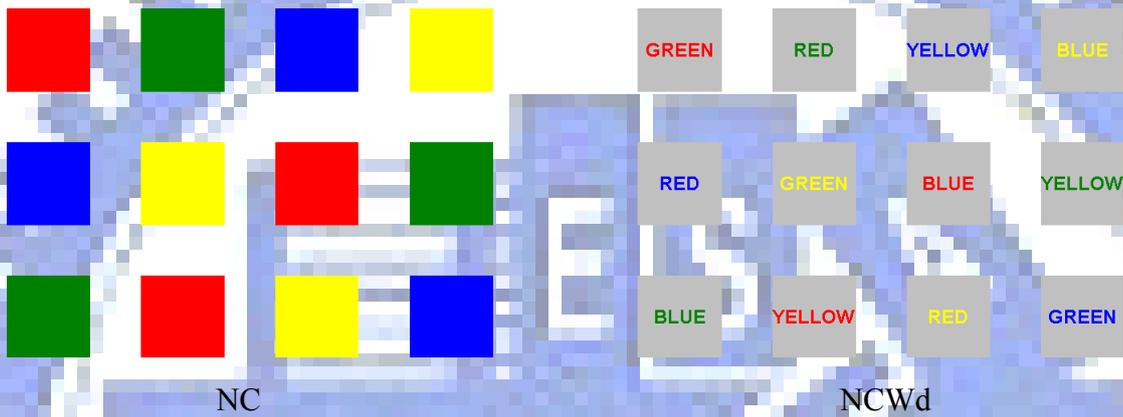


圖 4-127 Stroop effect 實驗二 Naming Colored Words 示意圖 (Stroop, 1935)

表 4-22 Naming Colored Words 的實驗結果 (Stroop, 1935)

Sex	No. Ss.	NCWd	σ	NC	σ	D/NC	D	PE _d	D/PE _d
Male.....	29	111.1	21.6	69.2	10.8	.61	42.9	3.00	13.83
Female.....	71	107.5	17.3	61.0	10.5	.76	46.5	1.62	28.81
Male and Female.....	100	110.3	18.8	63.3	10.8	.74	47.0	1.50	31.38

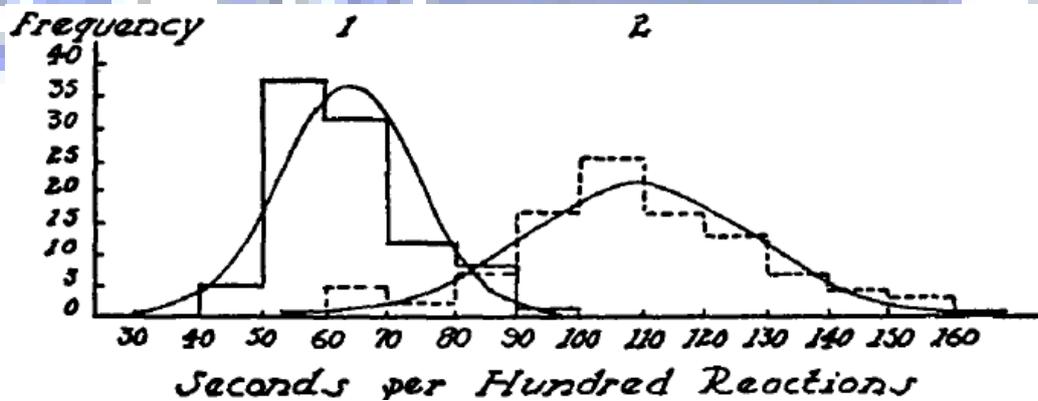


圖 4-128 Stroop effect 實驗一與實驗二之統計對照圖 (Stroop, 1935)

若將實驗一與實驗二的結果以統計圖形呈現，可以發現實驗一

的受測者分布狀況以「回應時間 63.3 秒」為中心；實驗二的受測者分佈狀況以「回應時間 110.3 秒」為中心(frequency 是人數)，如圖 4-128。

由 Stroop 的兩個實驗可以發現，「文字刺激 (word stimuli)」與「閱讀 (reading)」的連結 (association) 比「顏色刺激 (color stimuli)」與「辨認顏色名稱 (naming)」的連結更有效 (Stroop, 1935)，此即「Stroop effect」。Stroop 認為這是因為在日常生活中我們對 reading word 的訓練比 naming color 的訓練多出很多，在同一論文的第三個實驗 Stroop 證實「練習效果」(practice effect) 是影響 Stroop effect 的重要因素。Stroop 發現經過練習後，「Reading Color Names」以及「Naming Colored Words」的差距會被縮小，但仍無法消除 (Stroop, 1935)。一個重要的問題是：「練習效果是否能將原先弱勢的連結反轉為強勢的連結？」另一方面，Stroop effect 描述的是兩個連結因不一致 (incongruent) 而互相干擾造成降低效能的現象，如果兩個連結一致 (congruent)，是否能增進效能？

(1) 練習效果是否能將原先弱勢的連結反轉為強勢的連結？

MacLeod 與 Dunbar 在 1988 年的實驗發現練習效果可以將原先弱勢的連結反轉為強勢的連結。他們使用 4 種顏色 (綠色、粉紅色、橘色以及藍色) 以及 4 種 Vanderplas 與 Garvin 檢驗過的低關聯性的形狀 (Vanderplas & Garvin, 1959) 來設計實驗，並且這 4 種形狀也分別以綠色、粉紅色、橘色以及藍色來命名。由於他們的論文沒有說明採用哪 4 個編號的圖形，本文依據 Vanderplas 與 Garvin 原始實驗中頂點為 6 的 30 個圖形中關聯性最低的 4 個為例，如圖 4-129。



圖 4-129 頂點為 6 的低關聯性圖形 (Vanderplas & Garvin, 1959)

實驗首先讓受測者熟悉 4 個形狀的名稱 (如圖 4-130A)，然後觀察當圖形名稱與顏色不一致時 (如圖 4-130C)，受測者回答顏色名稱 (naming the colors) 與回答形狀名稱 (naming the shapes) 的效能。結果發現受測者經過 2 小時的 naming the shapes 訓練後，naming the colors

的速度仍比 naming the shapes 快很多，並且 color 對於 naming the shapes 有干擾的作用。但在 5 個小時（每天 1 小時，連續 5 天）的 naming the shapes 訓練後，naming the colors 與 naming the shapes 的速度就接近了，並且有相互干擾的現象。最令人訝異的結果發生在 20 小時（每天 1 小時，連續 20 天）的訓練後，naming the shapes 的速度明顯加快（如圖 4-131），而且竟然超過了 naming the colors。進一步的分析發現 shape 對 naming the colors 有明顯的干擾作用，color 對 naming the shapes 的干擾不明顯(MacLeod & Dunbar, 1988)。

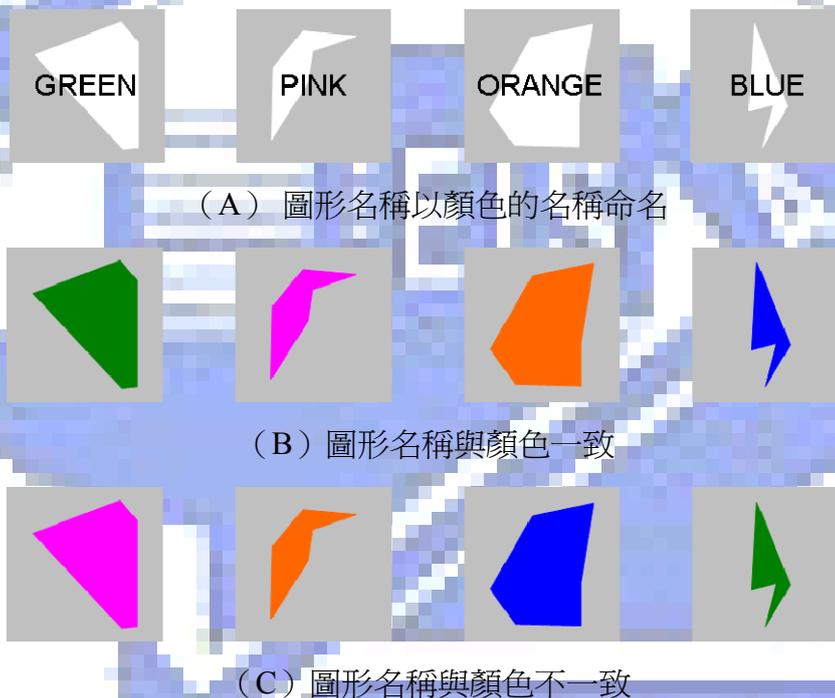


圖 4-130 MacLeod 與 Dunbar 實驗所採用的刺激物示意圖

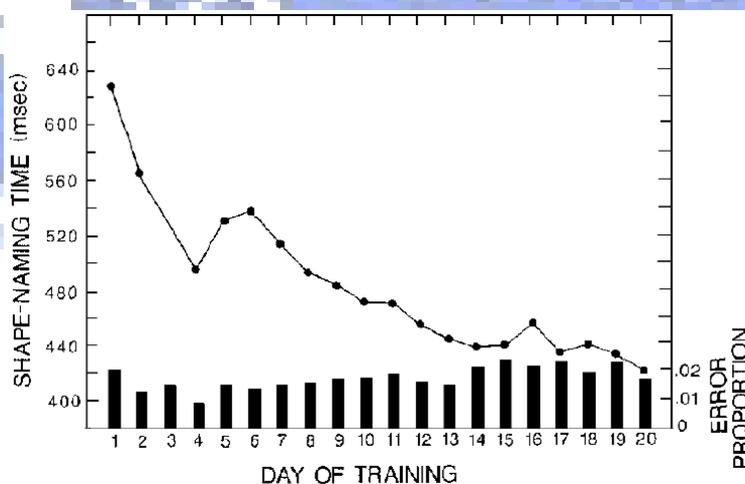


圖 4-131 naming the shapes 經 20 小時訓練後明顯變快(MacLeod & Dunbar, 1988)

MacLeod 與 Dunbar 的實驗有一個很重要的結果，就是證實了「自動化的連續性 (the continuum of automaticity)」。自動化往往不是「完全自動」或「完全不自動」的極端型態，而是具有程度的差異 (a gradient of automaticity)。隨著練習效果，自動化的程度會逐漸提高，停止練習時亦可能逐漸消退 (如圖 4-131 第 6、11、16 天因適逢周末停止練習，回應時間有稍微增加) (MacLeod & Dunbar, 1988)。

(2) 如果兩個連結一致 (congruent)，是否能增進效能？

雖然連結理論 (connectionist) 認為兩個連結一致時會增進效能，但有數個實驗結果不支持這樣的推論。MacLeod 在另一個實驗研究了 integrated 與 separated 以及練習效果對 Stroop tasks 的影響 (如圖 4-132) (MacLeod, 1998)。結果發現練習量 (amount of practice) 以及兩組連結 (association) 的整合程度 (integration versus separation) 都會明顯影響兩個連結不一致 (incongruent) 時干擾 (interference) 的強弱，但是對於兩個連結一致時 (congruent) 的促進 (facilitation) 卻都不影響。因此，對於兩個連結一致 (congruent) 是否能增進效能，本文採取較為保留的態度。

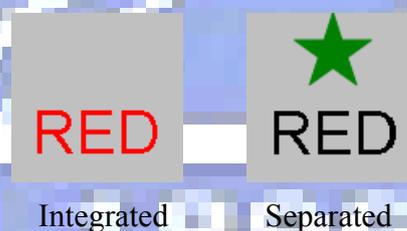


圖 4-132 整合性與區隔性的研究(MacLeod, 1998)

綜合以上的討論可以歸納重點如下：

- (1) 自動化是連續性的 (the continuum of automaticity)，亦即自動化的程度有低高的差異。
- (2) 兩組連結 (association) 的整合程度 (integration versus separation) 越高，引發 Stroop-like effect 的可能性越大。
- (3) 兩組連結中自動化較高的會干擾自動化較低的，並且自動化的程度差異越大，干擾效果越強。

上述第 (2) 點的 Stroop-like effect 指的是除了 word-reading 與

color-naming 之外，還有許多會引發類似機制的高度整合連結，如圖 4-133(MacLeod & MacDonald, 2000)。在適性指標的設計上，我們應該盡量避免提示物（適性指標）與目標物（被標示之物件）兩者引發 Stroop-like effect 而在讀者閱讀時造成干擾。

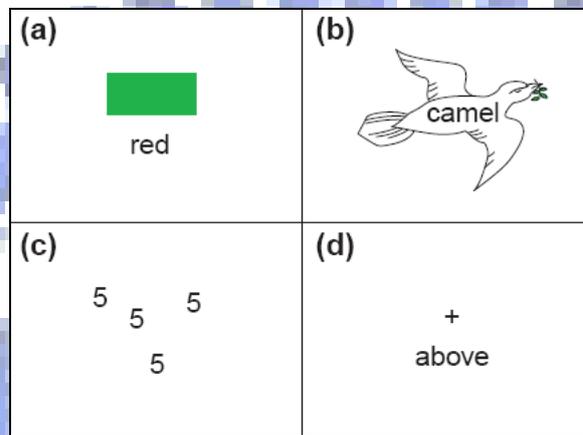


圖 4-133 四種引發 Stroop-like effect 的實例(MacLeod & MacDonald, 2000)

回到本小節所探討的特殊案例，當適性指標與被標示物件具有相同的視覺特徵時，會增進兩者的整合性（integration），如此將提高發生 Stroop-like effect 的可能。因此，「提示物應盡可能的與所有待搜尋物件沒有共同的視覺特徵」會是理想的設計原則，並且此原則和 CIOH 效應的設計原則一致。此外，由於 reading-word 是高度自動化的連結，所以任何接近文字的視覺物件都應該盡量與文字的意義配合，以避免被 reading-word 的高度自動化干擾。此亦符合多媒體學習理論「連貫性原則（Coherence Principle）」(R. E. Mayer, 2001)的理念。



圖 4-134 整合程度越高越容易引發 Stroop-like effect

7. MOTION-New object-[negative priming]

首先觀察以下實例：在上方列中，我們希望引導讀者選取鈍角三角形，正確答案採用黃色底色強調，錯誤答案採用淡灰色底色強調。而在下方列中，則是要引導讀者選取銳角三角形，我們同樣用黃色底色標示正確答案，淡灰色底色標示錯誤答案。當圖形一個一個被檢驗，「非鈍角－灰色」的關連性逐漸增強。當指標啟動到下方列的第一個圖形時，「非鈍角－灰色」對「銳角－黃色」產生了干擾作用。



圖 4-135 negative priming 影響學習者對目標物的感受

上述現象是因為抑制干擾物（distractors）的作用在干擾物變成目標物的瞬間對目標物的辨認會發生干擾，這個效應的原始型態在 Stroop color-word 的相關研究被發現(MacLeod & MacDonald, 2000)。為了解「辨認目標物」的過程是否會引發「抑制干擾物」的機制，Neill 於 1977 年的設計了一個實驗以確認此機制的存在。本實驗與 Stroop 的實驗同

樣都採用「印刷顏色」與「文字所指的顏色」不相同的刺激物，而其最特殊的地方是每個目前畫面的「印刷顏色」即為前一個畫面的「文字所指的顏色」（如圖 4-136）。因為受測者要同時運作「回答印刷顏色」以及「避免回答文字所指的顏色」（抑制作用），可藉此觀察前一畫面的抑制作用是否會讓目前畫面的印刷同色刺激物辨認速度減慢。



圖 4-136 Neill 實驗所設計的畫面(Neill, 1977)

實驗結果發現，實驗組的平均回應時間為 855ms，控制組的平均回應時間是 823ms，並且實驗組的錯誤率 9%高於控制組的 7%。經過分析其差異為高度顯著（highly significant）(Neill, 1977)。本實驗支持「辨認目標物」的過程會引發「抑制干擾物」的機制，並且此抑制作用會持續約 500ms。此實驗之後，Tipper 等人進一步研究此效應與空間位置的關係，並將此效應稱為「negative priming」(Tipper, 1985)。

回到本小節的原始問題（如圖 4-135），考慮 negative priming 的因素，適性指標的設計應避免「干擾—目標」反轉的現象（前一個干擾物指標變成現在的目標物指標），若無法避免時，應該「採用不同型態的適性指標」並且「只標示目標物」（如圖 4-137）。此外，最好兩組指標中間要有足夠的時間加以區隔。

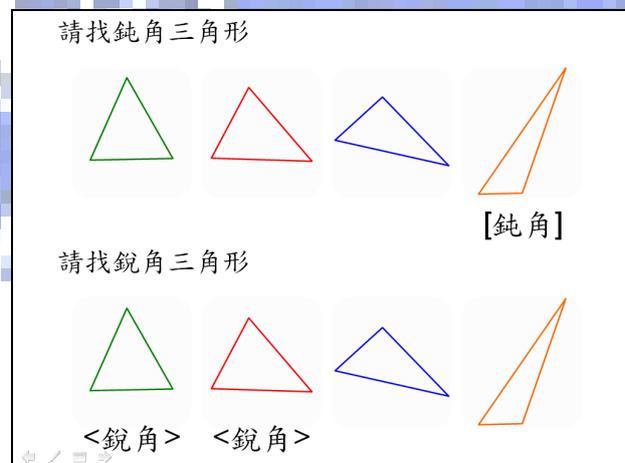


圖 4-137 採用不同型態的適性指標並且只標示目標物

8. MOTION-New object-[feature-map inhibition]

本文 P.54 特徵整合理論中曾對「特徵抑制 (feature inhibition)」舉例說明。依照特徵抑制假說，當目標已知時，視覺系統可以抑制特定視覺特徵的干擾而直接搜尋剩下的特徵，若剩下的特徵符合特徵搜尋的條件，即可進行快速的平行式搜尋(Treisman & Sato, 1990)。

在適性指標的應用上，授課者除了可以使用「口語提示」來引發學習者運作由上而下的特徵抑制，並且可以利用 New object 的方式將某個特定的特徵圖整個「突然出現」，這樣會讓注意力關注到此特徵圖，這個動作和學習者對另一個特徵圖進行特徵抑制有相輔相成的作用。亦即目標物以「New object」方式呈現可配合干擾物的「feature-map inhibition」以達到更理想的效果，如圖 4-138。

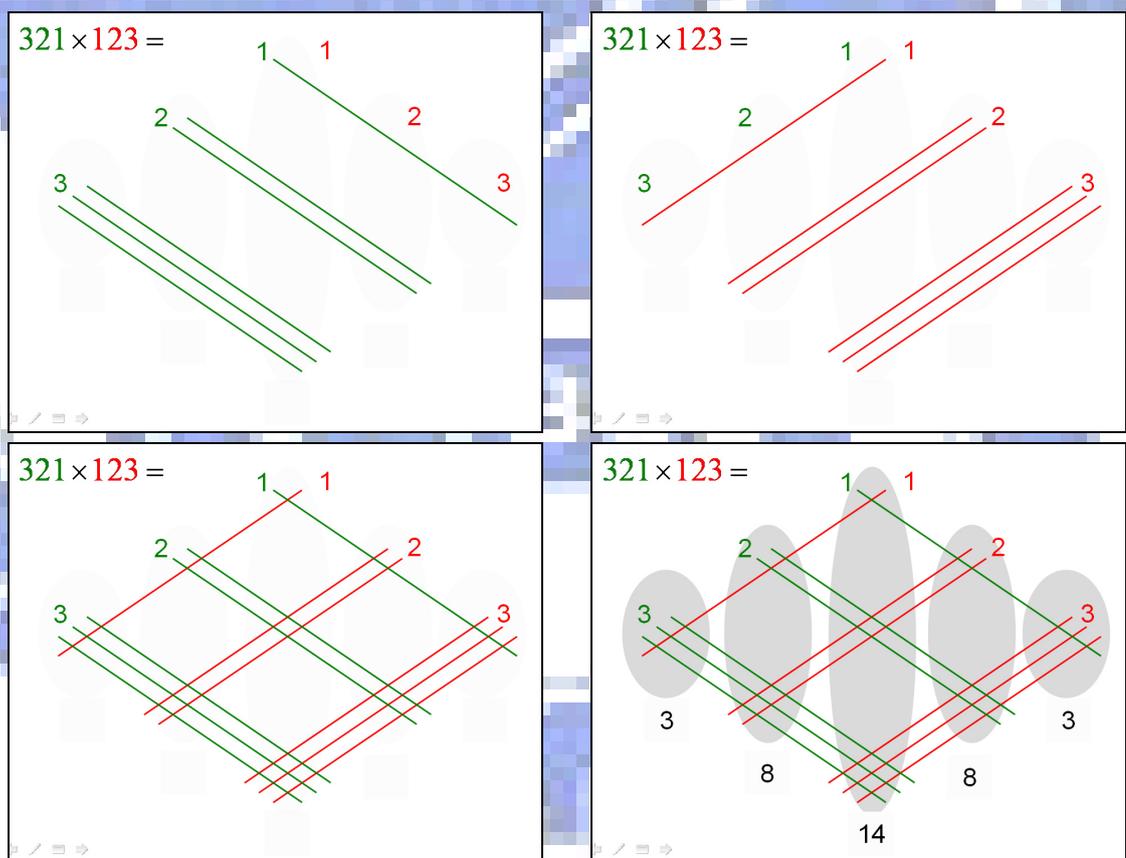
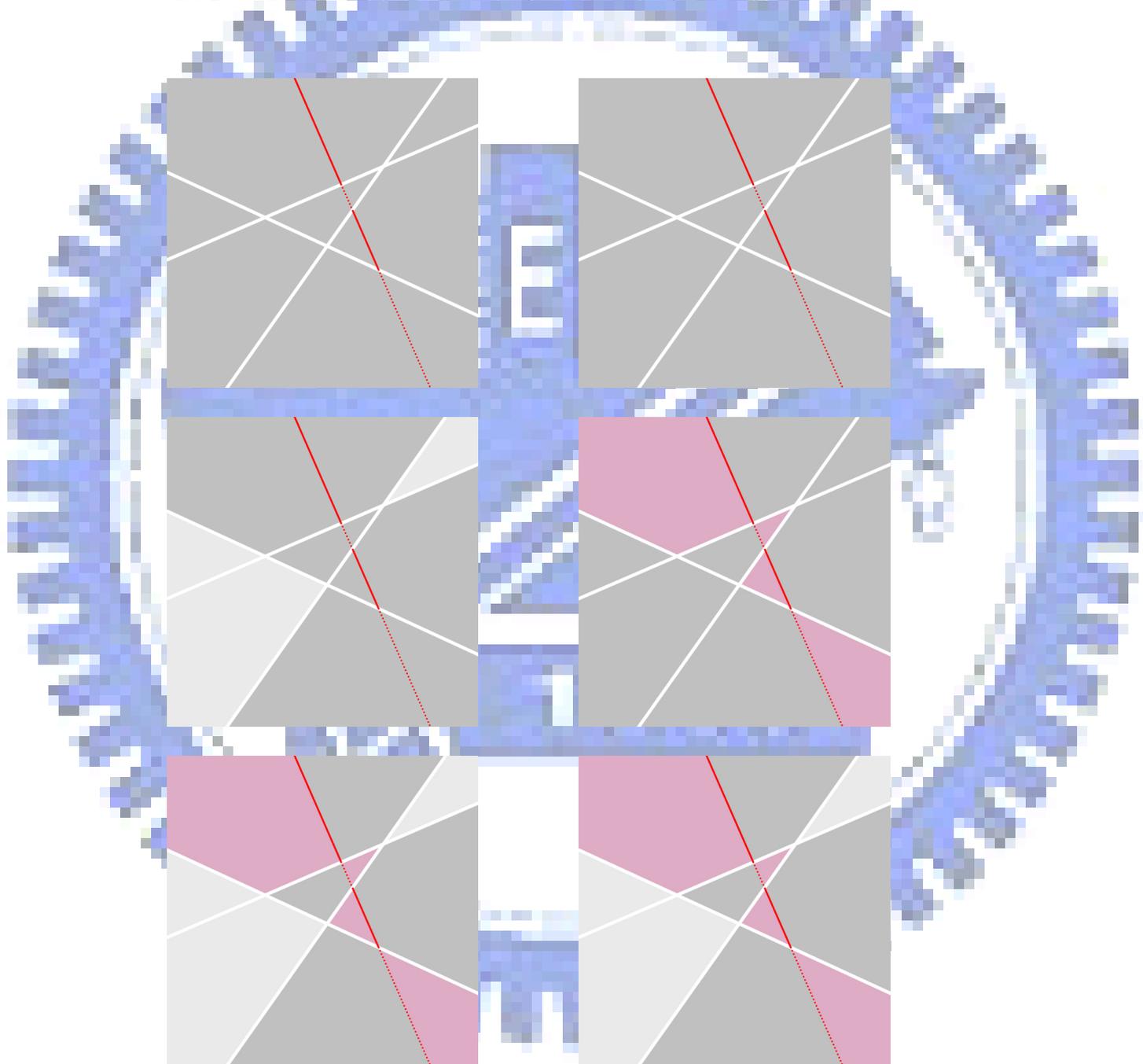


圖 4-138 New object 配合 feature-map inhibition 的設計方式

9. MOTION-New object-[visual marking]

首先觀察以下實例：(A)(B)兩組畫面都是在表達平面上出現的第4條直線（紅線）最多會切割4個舊有區域。其差異是(A)先將不相干的區域以 offset 的方式處理，之後才出現切割區域的畫面；(B)則是先出現切割區域的畫面，然後才把不相干的區域 offset。



(A) 符合 visual marking

(B) 不符合 visual marking

圖 4-139 visual marking 影響遮罩給讀者的感受

雖然所有的視覺特徵完全相同，只因呈現的順序不同，讀者的感受卻不太相同。讀者感受不同的原因，涉及了視覺系統對於「舊物件」與「新物件」關注的優先順序。Watson 與 Humphreys 於 1997 年的論文發現了視覺系統對優先關注於「新物件」而抑制「舊物件」(Watson & Humphreys, 1997)，並且此效應和 inhibition of return (回向抑制) 並不相同，他們稱此機制為 Visual Marking。

在 Watson 與 Humphreys 所設計的實驗中，刺激物具有「顏色」與「形狀」兩個特徵。其中顏色為藍色與綠色，形狀為英文字母 H 與英文字母 A，只有藍色的 H 是唯一的目標物，其他都是干擾物。實驗分成三組來進行，「Single feature 組」僅在藍色視覺物件中搜尋目標物 H，是僅搜尋「形狀」維度的單一特徵搜尋。「Conjunction 組」是在藍色與綠色的物件中搜尋目標物藍色 H，是搜尋「顏色」與「形狀」兩個維度的結合搜尋。最特別的是第三組—「Preview 組」，本組的畫面有兩個，分別為「預覽畫面」與「目標畫面」，在預覽畫面中所有綠色的干擾物先出現，然後間隔 1000ms 後所有藍色物件亦在目標畫面出現，整個畫面此時含有所有綠色與藍色的物件。(Watson & Humphreys, 1997)，如圖 4-140 所示。

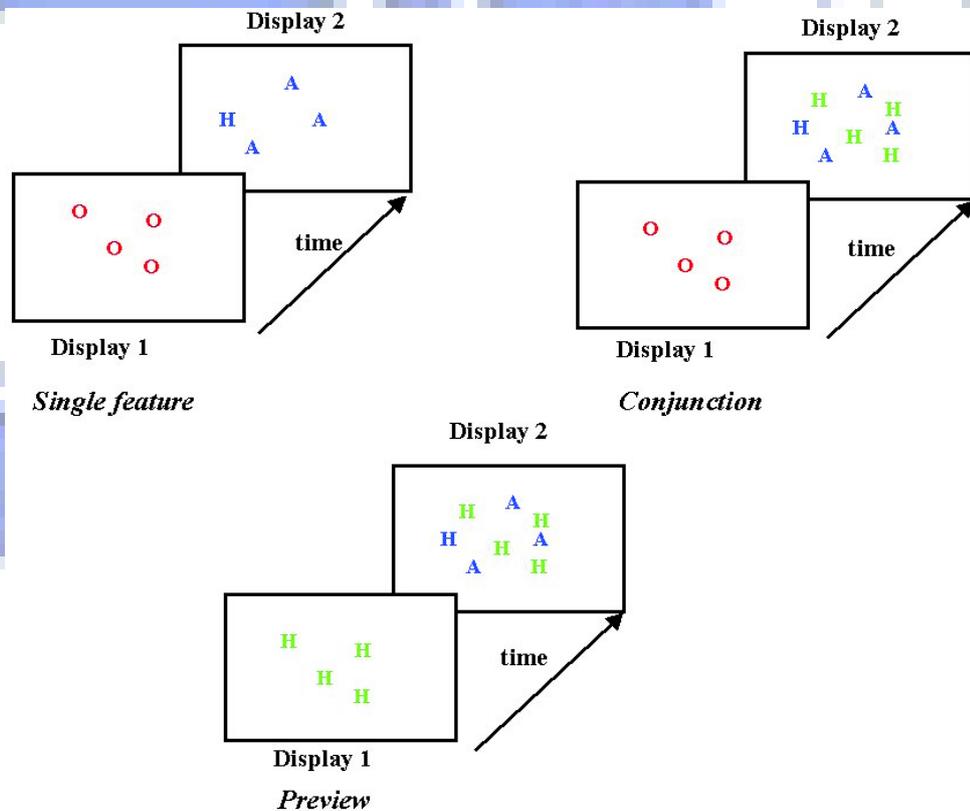


圖 4-140 Visual Marking 實驗示意圖(Humphreys et al., 2004)

爲了進一步了解本實驗所研究的現象，我們可依照論文描述的刺激物與干擾物將畫面模擬如圖 4-141（畫面內物件個數爲 16）。

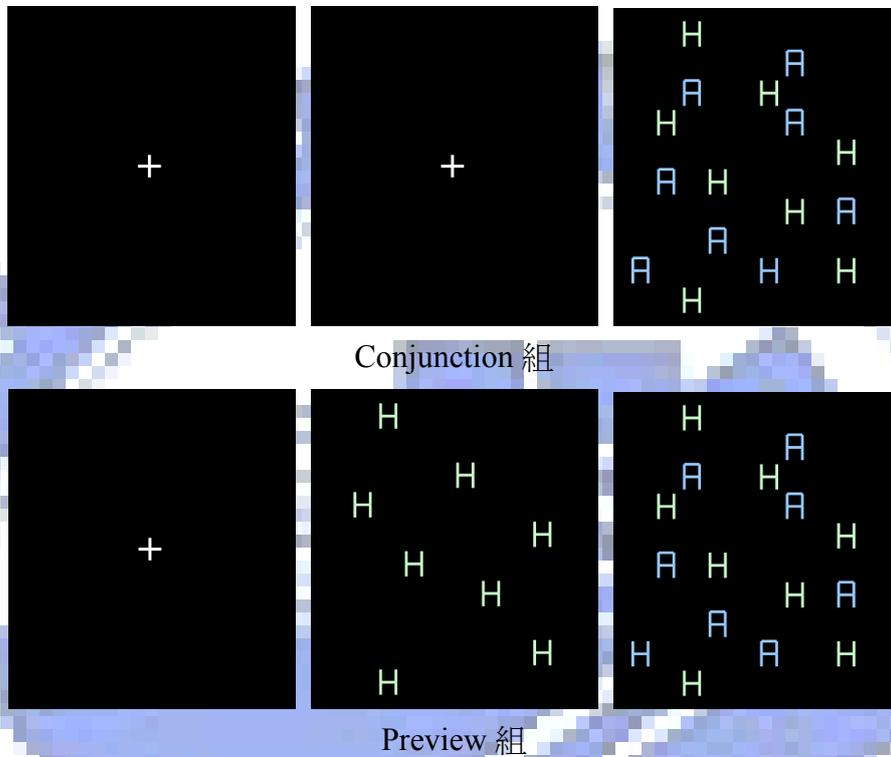


圖 4-141 Visual Marking 實驗模擬畫面(Watson & Humphreys, 1997)

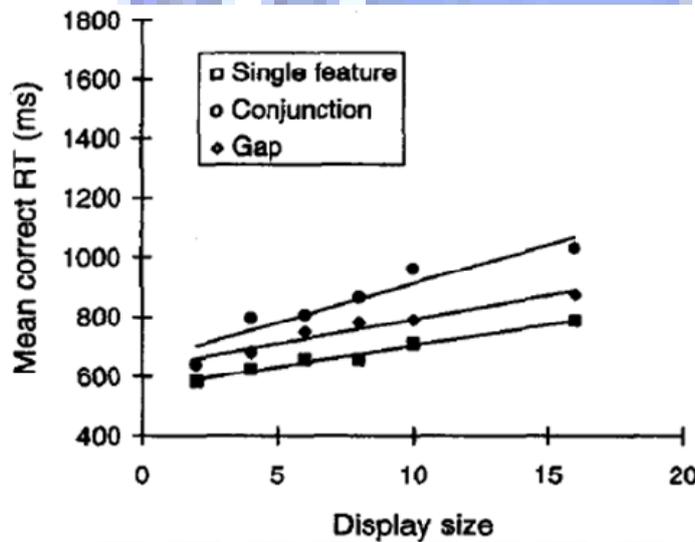


圖 4-142 Visual Marking 實驗結果(Watson & Humphreys, 1997)

實驗結果發現，「Preview 組」的搜尋速度比「Conjunction 組」快。比較「Preview 組」與「Single feature 組」後可以發現兩者差距不大，並且回應時間對顯示畫面大小（刺激物個數）的斜率幾乎相同。這個

線索表示了「Preview 組」在搜尋時很可能是優先對「後出現的藍色物件」進行單一特徵搜尋，很快的就能找到藍色目標物 H。

根據 Watson 與 Humphreys 一系列實驗的驗證後，他們認為 Visual Marking 是之前學者尚未提及的機制(Watson & Humphreys, 1997)，視覺系統可以「降低舊物件的注意力優先順序」(抑制舊物件或前一畫面視覺刺激物的所在位置)，提高「新物件的注意力優先順序」。此機制可由意識自主控制並可以快速開啓或關閉(在 500ms 以內)，是主動式而非被動式，並且是一種具有資源限制的注意力程序(Watson & Humphreys, 1997)。此外，如果舊物件在新物件出現時發生明度瞬變(luminance transient)，此種狀況下 Visual Marking 效應會被消除。

回到本小節的實例探討，我們可歸納出一個與 Visual Marking 有關的適性指標原則：「干擾物的遮罩」或「干擾物 offset 消失」應該要安排在「目標物的出現」之前。因為隨著干擾物的遮罩出現或干擾物 offset 消失，干擾物位置的「注意力優先順序」會被降低，而目標物可能出現的區域「注意力優先順序」會被提高。如果「干擾物的遮罩」或「干擾物 offset 消失」安排在「目標物的出現」之後，則目標物的「注意力優先順序」反而會被降低。

二、MOTION-Transient

在 MOTION-New object 小節中我們探討了「新物件突然出現在畫面中」(new object)可以吸引注意力(Davoli et al., 2007; Enns et al., 2001; Gellatly et al., 1999; Yantis & Jonides, 1984)。然而，即使沒有新物件出現，發生明度瞬變的舊物件亦能吸引注意力(Franconeri Steven et al., 2005)。此外，與明度瞬變(luminance transient)相較，顏色瞬變吸引注意力的效果並不明顯(Lambert et al., 2003; Theeuwes, 1995)。

由上述相關研究的指引可知，若採用「瞬變」(transient)來設計適性指標，應該採用明度瞬變，並且目標物與背景の明度差異越大效果越好(Lambert et al., 2003; Theeuwes, 1995)。由於發生明度瞬變的舊物件亦能吸引注意力，因此適性指標也可以採用畫面中已存在的物件發生瞬變(如圖 4-143)。

春眠不覺曉

處處聞啼鳥

夜來風雨聲

花落知多少

圖 4-143 適性指標可採用已存在的物件發生明度瞬變的設計方式

Franconeri、Hollingworth 與 Simons 於 2005 年的實驗結果支持「明度瞬變才是吸引注意力的主因」。在他們的實驗中，一個圓形環狀物由大而小縮成一個小圓圈，過程中以兩種模式通過刺激物。「in front」模式表示此環狀物的圖層在刺激物之上，所以在通過 (pass) 時會遮住刺激物；「behind」模式表示此環狀物的圖層在刺激物之下，在通過時無法遮住刺激物，如圖 4-144 所示。而刺激物在環狀物通過時同時發生瞬變，由「8」變成 E、H、P、S、U 六個英文字的其中一個，並且有一個新的刺激物也在此時突然出現於畫面中（如圖 4-144 中的刺激物「U」）。

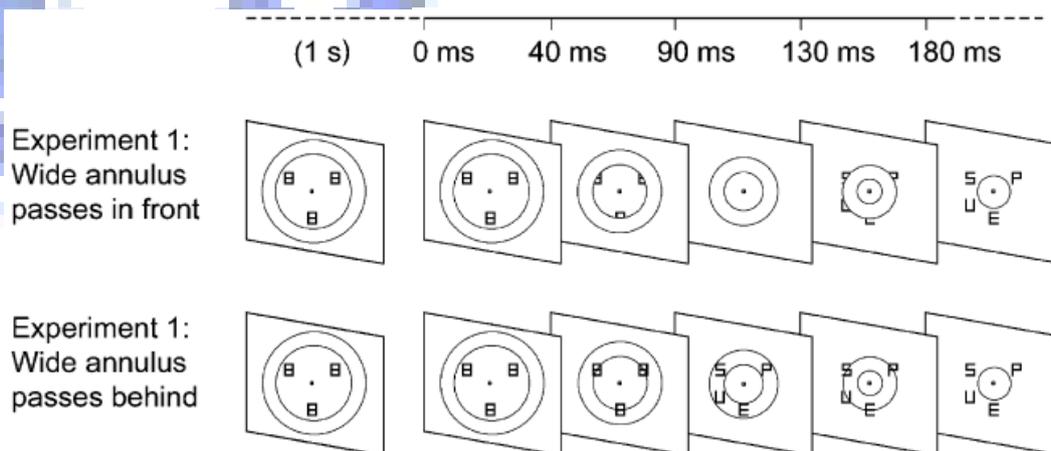


圖 4-144 明度瞬變實驗示意圖(Franconeri Steven et al., 2005)

在「in front」模式下，由於刺激物瞬變的訊息被環狀物遮蔽，所以只能依靠 new object 突然出現的訊息引導視覺搜尋；而在「behind」模式下，由於瞬變的訊息沒有被遮蔽，所以可以利用 new object 出現

時的明度瞬變訊息來引導搜尋。如果是 new object onset 主導搜尋作業，則不論是在「in front」或「behind」模式，搜尋新物件都會比搜尋舊物件更快；如果是 luminance transient 主導搜尋作業，則我們會發現「in front」模式搜尋新物件與搜尋舊物件速度差異不大（因為瞬變訊息被遮蔽），而「behind」模式下搜尋新物件較快（因為新物件產生更多的明度瞬變）。實驗結果與 luminance transient 主導搜尋作業的推測吻合，只有 behind 模式下搜尋新物件才會比較快（如圖 4-145）。

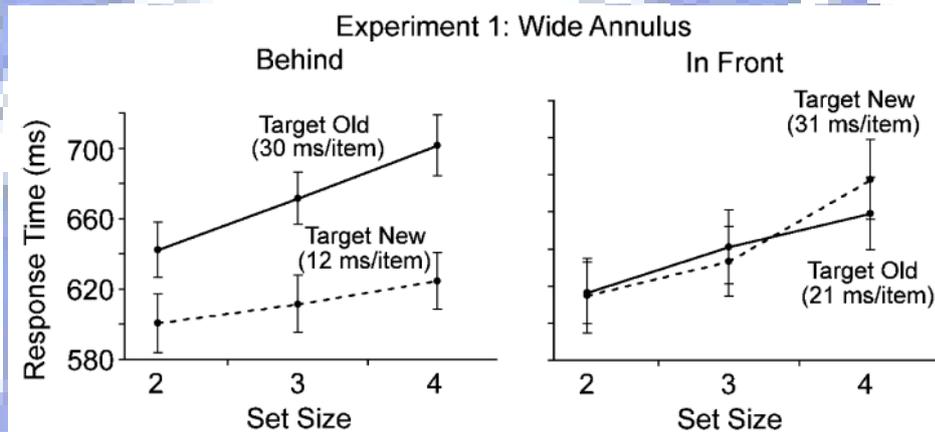


圖 4-145 明度瞬變實驗結果(Franconeri Steven et al., 2005)

三、MOTION-Looming

隱現 (looming) 指的是一個視覺刺激物本來比較小而突然變大；或本來比較遠卻突然接近，如圖 4-146(Franconeri & Simons, 2003)。Franconeri 與 Simons 在 2003 年的實驗中已經證實隱現是有效的基本視覺特徵，能夠明顯的加快視覺搜尋作業。

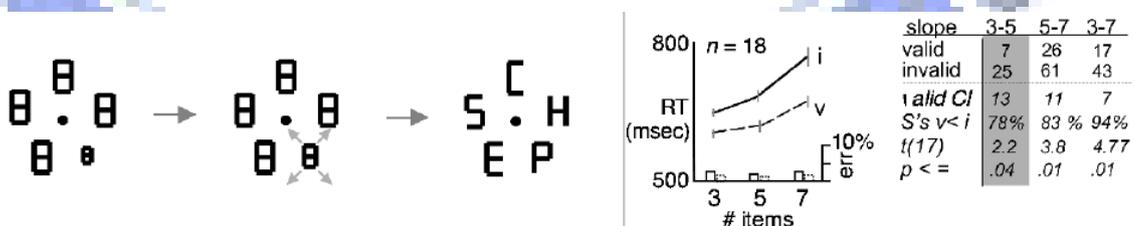


圖 4-146 Looming 的實驗示意圖與實驗結果(Franconeri & Simons, 2003)

「隱現」也可以應用在適性指標的設計上，在 PowerPoint 動畫功能的「閃光燈泡」、「放大 / 縮小」都是具有「隱現」的特性。尤其在

目標物的顏色、形狀與背景接近或是目標物本身是舊物件而無法使用 new object onset (開關) 的方式加以啟動時,「隱現 looming」是一個可以考慮的方法。

雖然隱現是有效的視覺特徵,而「消退 (receding)」的很可能是無效的。在同一篇論文中, Franconeri 與 Simons 檢測了 receding 特徵,結果發現回應時間 (RT) 與顯示畫面物件數 (items) 呈現正比的型態,顯示了 receding 無法引發快速的搜尋作業。雖然 Abrams 等人在 2005 年發現立體深度視覺中消退遠離 (receding) 的刺激仍然能引發注意力 (Richard A Abrams & Christ, 2005), 本文對此採取保留的態度。在可能的狀況下,我們建議優先採用 looming。



圖 4-147 Receding 的實驗示意圖與實驗結果(Franconeri & Simons, 2003)

四、MOTION-Jitter motion

抖動 (jitter motion) 指的是一個視覺刺激物的位置突然在一個小範圍內抖動, PowerPoint 動畫功能的「閃光燈泡」和「蹣跚版」都涉及了這個視覺特徵,如圖 4-148(Franconeri & Simons, 2003)。Franconeri 與 Simons 在 2003 年的實驗中亦證實了 jitter motion 是有效的基本視覺特徵,能夠明顯的加快視覺搜尋作業(Franconeri & Simons, 2003)。

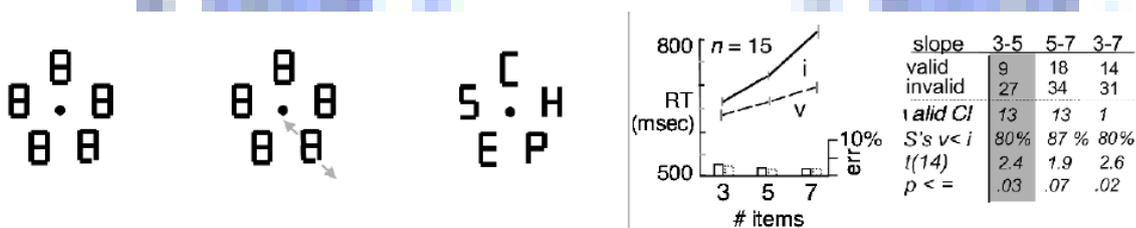


圖 4-148 jitter motion 的實驗示意圖與實驗結果(Franconeri & Simons, 2003)

五、MOTION-New motion

一個物件在畫面中突然「由靜而動 (new motion)」已經被證實能有效的吸引注意力。Abrams 與 Christ 在 2004 年發表的論文中設計了三個重要的實驗來研究 motion onset (new motion) 的相關性質。在實驗一中，受測者被告知目標物是 S 或 H，且灰色物件不會出現目標物。Abrams 與 Christ 發現即使受測者被告知 motion onset 與搜尋作業無關，但受測者仍然會受到不相干的灰色物件 motion onset 干擾而減低搜尋速度 (平均回應時間 807ms > 752ms) (Richard A. Abrams & Christ, 2004)。這表示 motion onset 引發注意力的型態是由下而上 (bottom-up) 由知覺系統接收外來刺激後自動發生，是屬於「外成性控制 (exogenous control)」。

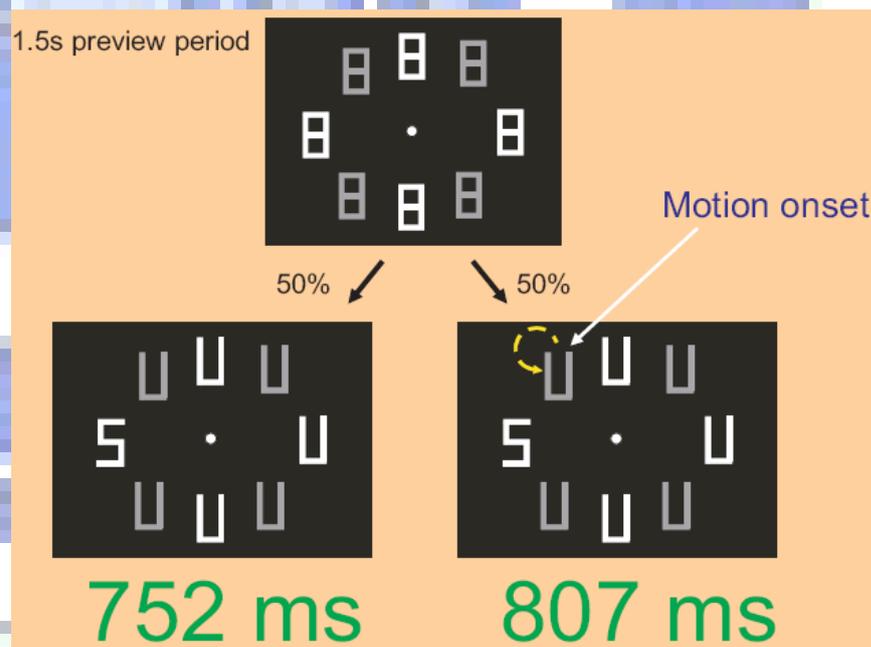


圖 4-149 motion onset 實驗一(Richard A. Abrams & Christ, 2004)

Abrams 與 Christ 的第二個實驗則是檢驗了 motion offset 是否和 motion onset 同樣有效，亦即「由動而靜」是否和「由靜而動」同樣具有吸引注意力的功效。實驗二和實驗一幾乎相同，唯一的的不同點是灰色物件一開始就呈現動態，而在某個時間突然停止不動 (motion offset)。實驗結果發現灰色物件的 motion offset 並不會增加受測者的回應時間，亦即 motion offset 並不像 motion onset 具有吸引注意力的功效 (Richard A. Abrams & Christ, 2004)。

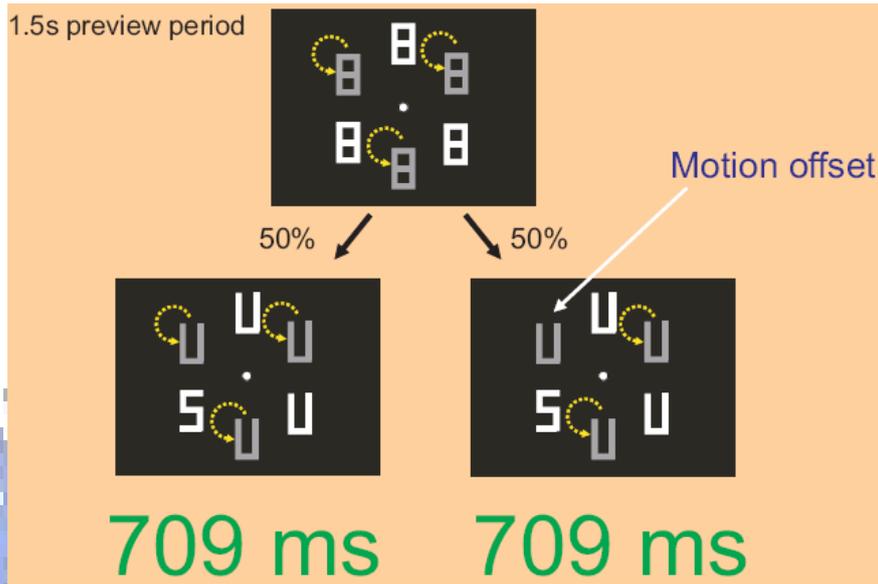


圖 4-150 motion onset 實驗二(Richard A. Abrams & Christ, 2004)

在 Abrams 與 Christ 的第三個實驗中，受測者被告知 100%正確的目標物位置（由指標物件 pointer 得到提示），然而搜尋速度仍然受不相關且不在注意力焦點位置（此時受測者的注意力已經被指標引到目標物的位置）的 motion onset 影響（672ms > 636ms）。這表示即使注意力已經事先投注在畫面別的地方，忽然的由靜而動也能將注意力吸引過來(Richard A. Abrams & Christ, 2004)。

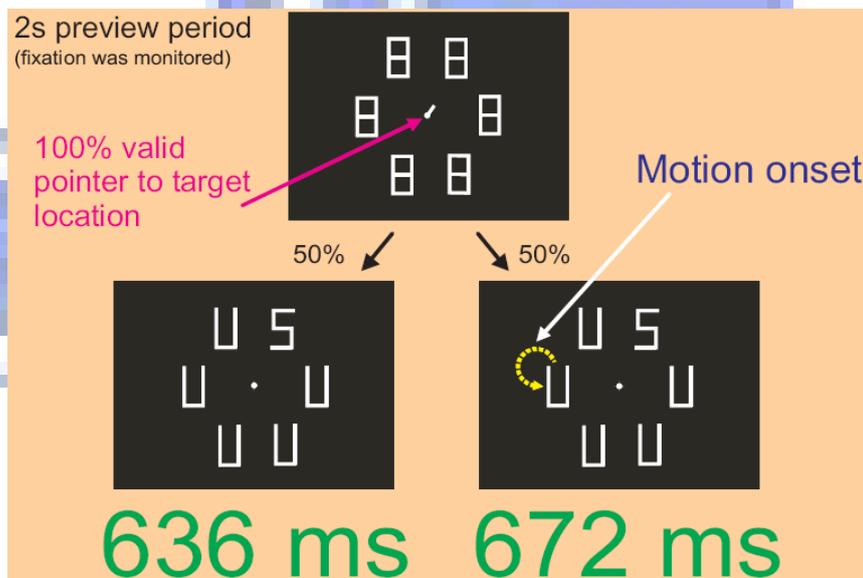


圖 4-151 motion onset 實驗三(Richard A. Abrams & Christ, 2004)

由於 motion onset 對於注意力有如此強烈的吸引力，Abrams 與 Christ 在後續的研究中嘗試比較「new object onset」與「new motion

onset」何者效果較強，經實驗比較後發現兩者的回應時間很接近(Christ & Abrams, 2006)。這表示兩者吸引注意力的效果都很強。若 new object onset 與 motion onset 發生在畫面中不同的位置，在適性指標的使用上應該要在兩者之間安排時間差，才不會互相干擾而影響引導讀者的效果。

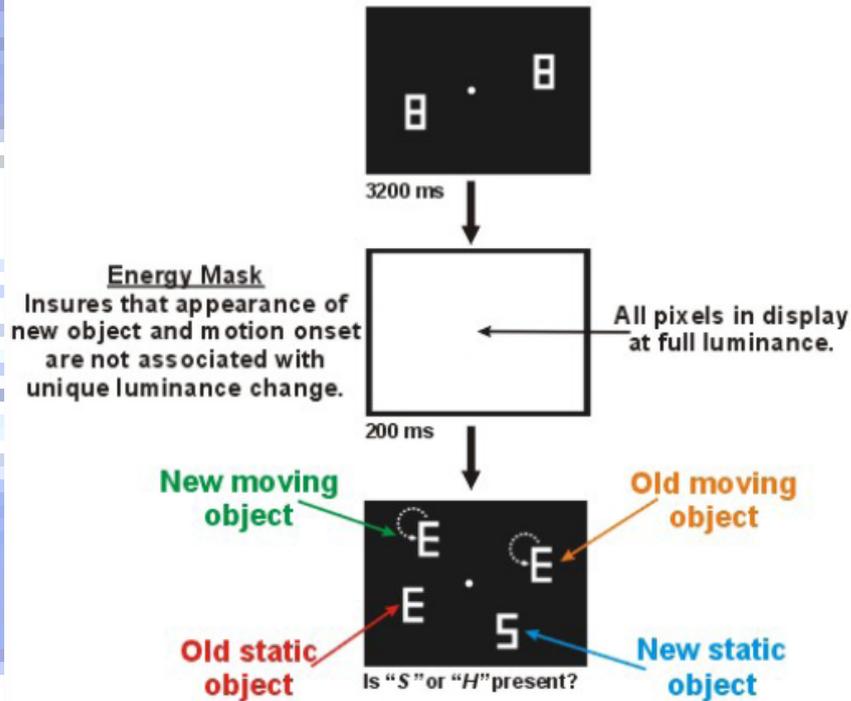


圖 4-152 new object onset 與 new motion onset 實驗示意圖(Christ & Abrams, 2006)

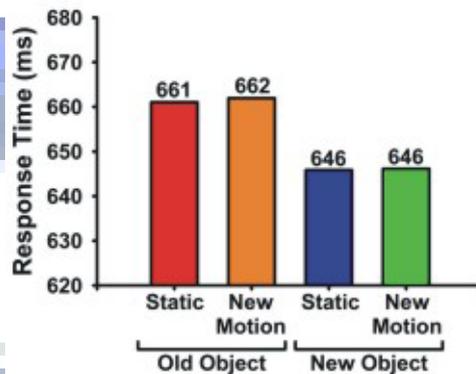


圖 4-153 new object onset 與 new motion onset 實驗結果(Christ & Abrams, 2006)

此外，在適性指標的設計上，有些動畫會同時涉及 new motion onset 與 new object onset，例如 PowerPoint 自動動畫中「進入」類的「擦去」動畫。此動畫除了具有 new object onset 吸引注意力的效果外，同時也有 new motion onset 吸引視線以及引導視線的效果，如圖 4-154 所示。

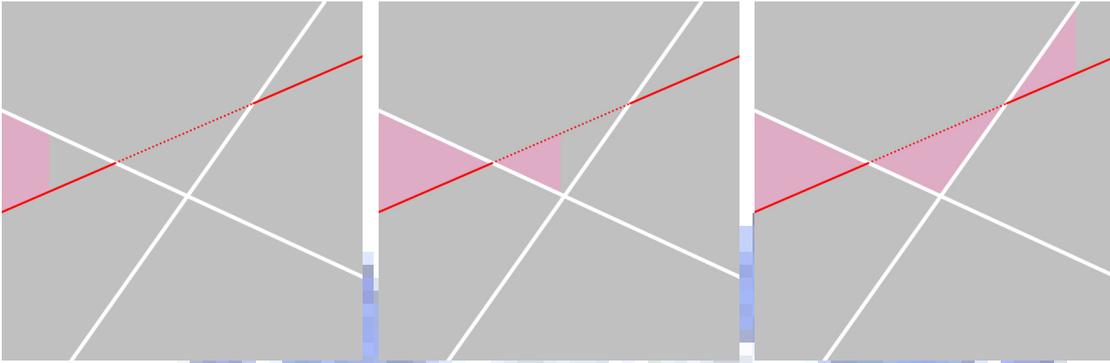


圖 4-154 「進入擦去」動畫具有 new object 以及 new motion 的特性

六、MOTION-Flicker

閃爍 (flicker) 指的是一個視覺刺激物忽隱忽現或是忽明忽暗，並且維持一段時間。PowerPoint 動畫功能的「閃爍」和「閃光燈泡」都涉及了這個視覺特徵。Flicker 已經被證實是有效的基本視覺特徵，能夠加快視覺搜尋作業並且吸引注意力(Berg *et al.*, 2007; Dougherty *et al.*, 1996; von Grunau *et al.*, 1999)。

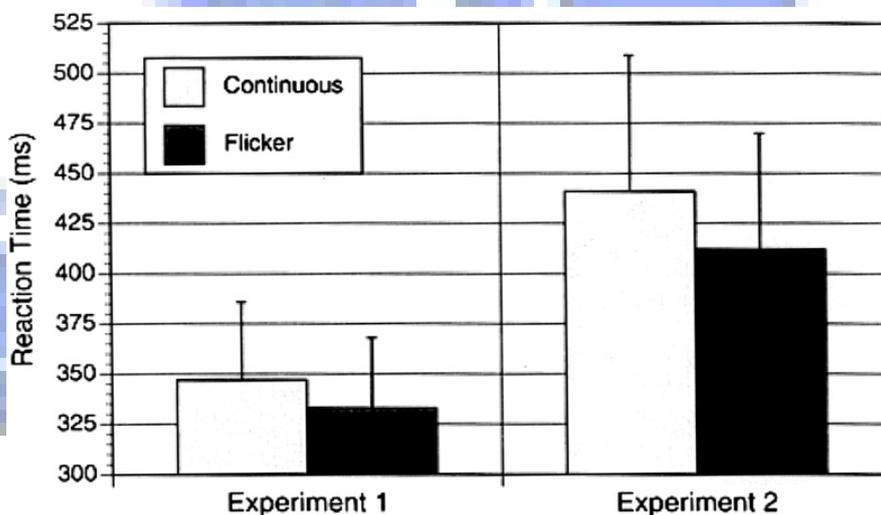


圖 4-155 Flicker 訊號比 Continuous 訊號有更短的反應時間(Berg *et al.*, 2007)

Berg 與其研究夥伴在 2007 年發表了關於「模擬駕駛作業 (simulated driving task)」的研究。在他們的實驗中，受測者觀察的紅燈訊號有兩種，(a) 20 Hz luminance flicker 以及 (b) continuous (no flicker)。實驗一測試的是比較輕鬆的駕駛狀態，實驗二測試的是需要高度注意力的駕駛狀態。結果發現，受測者看到 flicker 紅燈的反應時間比 continuous

紅燈的反應時間更短，這表示 flicker 訊號吸引注意力的效果確實比 continuous 的訊號強(Berg et al., 2007)，如圖 4-155。另一方面，他們也測量受測者對兩種紅燈訊號在不同視角（10 度、45 度以及 80 度）下的反應時間，結果現不論視角大小，flicker 反應都比 continuous 快，尤其在高視角的狀況下兩者的差異更為顯著（以中央小窩為 0 度視角起算點，1 度視角也稱為 1 度離心度 eccentricity），如圖 4-156 所示(Berg et al., 2007)。

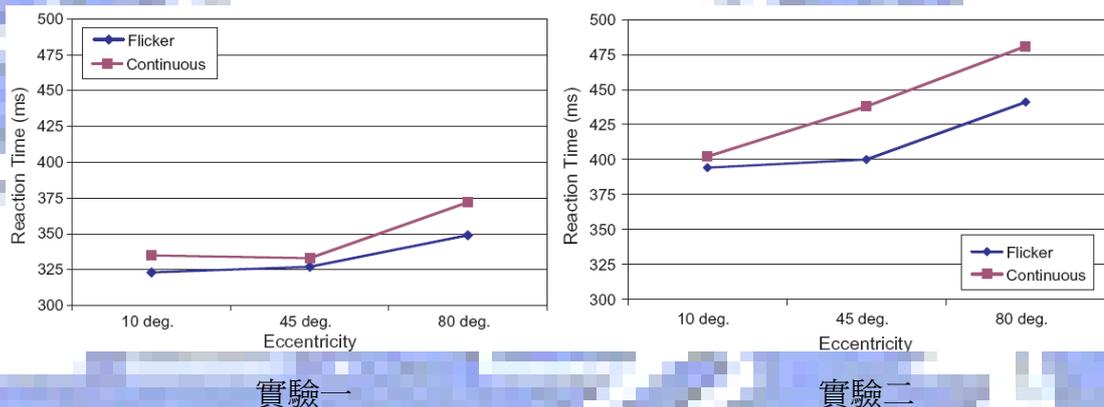


圖 4-156 視角較大時 Flicker 訊號的效果仍比 Continuous 訊號好

關於 flicker 的研究，Dougherty 與其研究夥伴在 1996 年的論文關注的是另一個有趣的議題：畫面中兩個閃爍的刺激物，一個閃爍頻率高，另一個閃爍頻率低，哪一個會吸引注意力？他們的實驗採用目標物與干擾物互換的設計方式，實驗一是要從低頻的干擾物中尋找高頻的目標物，實驗二則是從高頻的干擾物中尋找低頻的目標物。結果發現，從低頻的干擾物中尋找高頻目標物的速度明顯較快，這也表示了頻率越高的 flicker 吸引注意力的效果越強(Dougherty et al., 1996)。雖然如此，因為人類對 flicker 的敏感度是有極限的，而且這個敏感度隨著年齡的增加而逐漸下降(M. J. Mayer et al., 1995)。

在進一步的研究中，flicker 被拿來和 new object onset 一起比較。von Grunau 與其研究夥伴發現若在畫面中同一位置先出現 flicker 然後再出現 new object onset，則 new object onset 吸引注意力的效果會減弱，並且此效應會持續 1.5 秒(von Grunau et al., 1999)。此外，若提示物的出現方式分別採用 flicker 以及 new object onset，以 flicker 吸引注意力到特定位置的效果較持久，並且其有效性是逐漸降低的，而 new object onset 很快就會失去效果(von Grunau et al., 1999)。

七、MOTION-Coherence

在 MOTION 中有一個很特別的特徵，因為它不是個別物件的視覺特徵，而是一群物件因運動方向與速度一致所產生的特徵。由於這個特徵會非常顯著的影響視覺搜尋的速度(DRIVER *et al.*, 1992)，我們將之稱為「運動一致性」(MOTION-Coherence)。雖然在先前的研究中，格式塔共同命運法則(Common Fate)已經告訴我們知覺系統傾向將移動方向與速度皆相同的物體辨認為一個群體，不過這個效果並未說明其應用在視覺搜尋會有什麼影響。因此，我們將 MOTION-Coherence 歸類在運動特徵並討論其引導視覺搜尋的效果。

「運動一致性」除了不是個別物件的特徵以外，它還有另外一個很特殊的性質，就是這個特徵可以應用在突顯目標物，稱為「刺激性引導(excitatory guidance)」；也可以應用在抑制干擾物，稱為「抑制性引導(inhibitory guidance)」(DRIVER *et al.*, 1992)。由於這個具有彈性的特殊性質，讓運動一致性成為進一步探討引導搜尋理論(Guided Search Theory)與特徵抑制假說(Feature Inhibition Hypothesis)的研究焦點。

對於「運動一致性」與「刺激性引導」及「抑制性引導」的關係，DRIVER、McLEOD 與 DIENES 在 1992 年的研究做了詳細的探討。在他們的實驗中，顯示畫面內刺激物的個數有三種情形，分別是 9 個、15 個和 21 個。刺激物以「X」和「O」構成，垂直上下擺動的「X」是目標物，而垂直上下擺動的「O」以及水平左右擺動的「X」都是干擾物，實驗示意圖如圖 4-157 所示。實驗分成四種條件來測量受測者搜尋目標物所需的時間：

- (A) All Coherence 水平運動與垂直運動皆一致；
- (B) Vertical Incoherence 水平運動一致，垂直運動不一致；
- (C) Horizontal Incoherence 垂直運動一致，水平運動不一致；
- (D) All Incoherence 水平運動與垂直運動皆不一致。

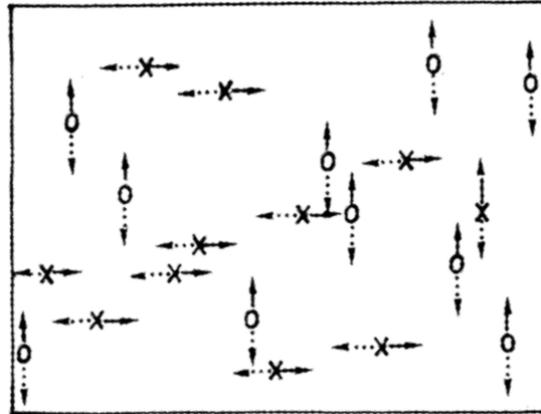


圖 4-157 DRIVER 運動一致性實驗畫面示意圖(DRIVER et al., 1992)

實驗結果發現，不論顯示畫面內物件個數是 9、15 或 21，受測者對四組分別的回應速度以 All Coherence 所需要的回應時間最短，Vertical Incoherence 次之，然後是 Horizontal Incoherence，最後 All Incoherence 所需的回應時間最長，如表 4-23(DRIVER et al., 1992)。

表 4-23 DRIVER 運動一致性實驗各組平均回應時間統計表(DRIVER et al., 1992)

	All Coherent			Vertical Incoherent			Horizontal Incoherent			All Incoherent		
	Yes	No	Error (%)	Yes	No	Error (%)	Yes	No	Error (%)	Yes	No	Error (%)
Display size:												
9	742	886	4	904	1,035	2	985	1,507	5	1,621	2,225	4
15	759	1,151	4	935	1,433	4	1,273	2,365	7	2,007	3,243	7
21	838	1,394	4	1,014	1,635	4	1,212	2,712	6	2,563	4,623	7

表中回應時間為千分之一秒 (ms)

為了充分瞭解這樣的結果，我們需進一步分析受測者對各組所採用的視覺搜尋策略，如表 4-24 所示。

表 4-24 運動一致性實驗中受測者對各組採用的視覺搜尋策略分析

組別	視覺搜尋策略
All Coherence	水平運動一致：干擾物群化並整群被抑制，較不會干擾搜尋作業 垂直運動一致：目標物從垂直運動的物件中以特徵搜尋選取
Vertical Incoherence	水平運動一致：干擾物群化並整群被抑制 垂直運動不一致：目標物從其他的物件中以結合搜尋選取
Horizontal Incoherence	水平運動不一致：干擾物較容易干擾搜尋作業 垂直運動一致：目標物從垂直運動的物件中以特徵搜尋選取
All Incoherence	水平運動不一致：干擾物較容易干擾搜尋作業 垂直運動不一致：目標物從所有物件中以結合搜尋選取

從表 4-24 的分析我們可了解「水平運動一致」所造成的效果是「受測者可採用由上而下 (top-down) 的方式將水平運動的 X 同時整群抑制」。這個效果可由特徵抑制假說 (Feature Inhibition Hypothesis) (Treisman & Sato, 1990) 所形成的「抑制性引導 (inhibitory guidance)」來加以解釋。而「垂直運動一致」所造成的效果是「垂直運動的刺激物因由下而上 (bottom-up) 的活化程度 (activation) 較高，所以注意力會分配較多的資源在垂直運動的 O 和 X，形成垂直運動 X 可以從垂直運動的 O 和 X 中以特徵搜尋的方式找出」。這個效果可以由引導搜尋理論 (Guided Search Theory) (J. M. Wolfe, 2006; Jeremy M. Wolfe *et al.*, 1989) 所形成的「刺激性引導 (excitatory guidance)」來加以解釋。

運動一致性實驗確認了 MOTION-Coherence 確實是一個能夠加快視覺搜尋的特徵，並且其有效的因素同時涉及了由上而下的「抑制性引導」以及由下而上的「刺激性引導」。這個實驗提供了 Guided Search Theory 與 Feature Inhibition Hypothesis 兩種策略同時被視覺系統採用的案例 (DRIVER *et al.*, 1992)。此外，結合搜尋並不全是困難的，也有相對較容易的結合搜尋作業。如果搜尋能被集中在一群「具有目標物某個特定特徵」的刺激物，並且目標物在這群刺激物中是「唯一具有另一個獨特特徵」的物件，則視覺系統就可以在這群特定的刺激物中以特徵搜尋的方式找出唯一的目標物 (DRIVER *et al.*, 1992)。

綜合上述兩種型態的引導 (guidance) 策略，我們可以得到一個重要的適性指標設計原則：目標物由下而上激發，干擾物由上而下整群抑制。若能同時達到這兩個要素，適性指標就能提供最佳的突顯目標物效果。

八、MOTION-Direction

「運動一致性」特徵的實驗說明的 MOTION-Coherence 會顯著的影響視覺搜尋的速度，也讓我們了解到格式塔共同命運法則 (Common Fate) 應用在視覺搜尋作業的引導效果。不過，視覺系統對於移動物體的搜尋速度並不完全由「運動一致性」來支配，即使在速度不一致的狀況下，物體的移動方向仍然扮演重要的角色，這涉及了 Peter McLeod 與 Jon Driver 等人的運動過濾器理論 (Movement-Filter Theory) (McLeod *et al.*, 1991)

在探討 Movement-Filter Theory 的論文中，Peter McLeod 與 Jon Driver 設計了三個實驗。實驗一的目的是要確認視覺系統是否能將動態物件從所有物件中獨立出來進行視覺搜尋作業，亦即目標物若是動態物件的其中一個，受測者是否能直接從運動物件中找出目標物而不必搜尋靜態物件？實驗一的畫面中有 X 和 O 兩種刺激物（數量各佔一半），動態的 X 是目標物，而靜態的 X 與動態的 O 是干擾物。值得注意的，實驗一的「動態 X」與「動態 O」之運動方向並不一定，可能是上、下、左、右任何一個方向。測試畫面分成「目標存在」與「目標缺乏」兩種，當受測者發現目標物則按下「YES」按鈕，若沒有發現目標物則按下「NO」按鈕，實驗一之畫面如圖 4-158。

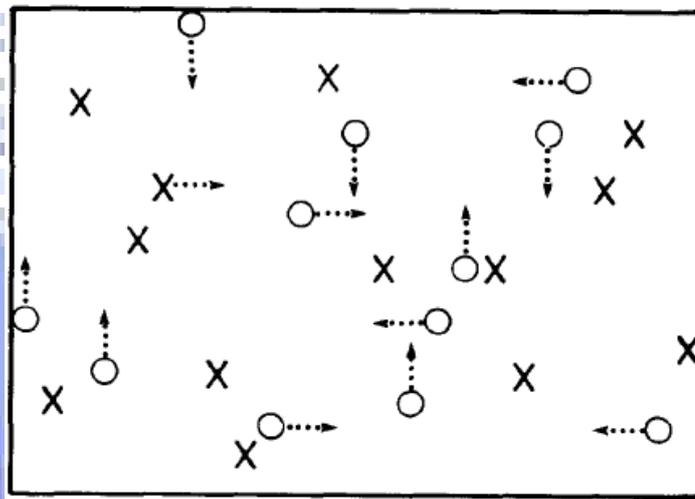


圖 4-158 Movement-Filter Theory 實驗一示意圖(McLeod et al., 1991)

結果發現，在「目標存在」的試驗中，搜尋時間對畫面大小（畫面內物件總量）的斜率接近零，符合 Movement-Filter Theory 的預期。不過，在「目標缺乏」的試驗中，搜尋時間卻隨著畫面大小而明顯增加，這引發了一個重要的猜測：視覺系統無法有效的確認目標物不存在很可能和動態物件的「運動方向不確定」有關。

表 4-25 Movement-Filter Theory 實驗一反應時間統計表(McLeod et al., 1991)

Response	Display size				r^2	Intercept (ms)	Slope (ms/item)
	5	9	17	25			
Yes	688	691	731	785	0.96	654	5
No	682	772	923	1,143	0.99	563	23
Error (%)	3.6	3.1	3.5	4.7			

爲了進一步確認實驗一的結果是因爲「運動過濾器假說 (The movement filter hypothesis)」或是格式塔共同命運法則引發之「群化假說 (The grouping hypothesis)」所造成的，Peter McLeod 與 Jon Driver 進行了第二個實驗，分成四組 (Up-Stationary、Up-Down、Stationary、UP) 試驗來觀察受測者的反應，設計方式與搜尋策略分析如表 4-26。

表 4-26 Movement-Filter Theory 實驗二各組搜尋策略分析(McLeod et al., 1991)

組別	畫面設計與目標物的定義	視覺搜尋策略
Up-Stationary	某些干擾物 O 爲靜態 某些干擾物 O 向上移動 全部干擾物 X 向下移動 目標物 X 與靜態 O 或動態 O 的行爲一致，是該群體中唯一的 X	The movement filter hypothesis : 1. 在動態物件及靜態物件中搜尋 X 2. 目標物移動方向不確定 (可能靜態也可能向上)
		The grouping hypothesis : 依共同命運律，在「靜態群組」及「向上移動群組」內搜尋
Up-Down	某些干擾物 O 向上移動 某些干擾物 O 向下移動 全部干擾物 X 爲靜態 目標物 X 與向上 O 或向下 O 的行爲一致，是該群體中唯一的 X	The movement filter hypothesis : 1. 僅在動態物件中搜尋動態 X 2. 目標物移動方向不確定 (可能向上也可能向下)
		The grouping hypothesis : 依共同命運律，在「向上移動群組」及「向下移動群組」內搜尋
Stationary	全部干擾物 O 爲靜態 某些干擾物 X 向上移動 某些干擾物 X 向下移動 目標物 X 與靜態 O 行爲一致，是該群體中唯一的 X	The movement filter hypothesis : 1. 僅搜尋「靜態群組」內的 X 2. 目標物移動方向確定 (靜態)
		The grouping hypothesis : 依共同命運律，在「靜態群組」內搜尋 X。
UP	全部干擾物 O 向上移動 某些干擾物 X 向下移動 某些干擾物 X 爲靜態 目標物 X 與向上 O 行爲一致，是該群體中唯一的 X	The movement filter hypothesis : 1. 僅搜尋「向上移動群組」內的 X 2. 目標物移動方向確定 (向上)
		The grouping hypothesis : 依共同命運律，在「向上移動群組」內搜尋 X。

實驗二的目的是在比較「Up-Stationary 組」以及「Up-Down 組」的搜尋速度是否有差異。按照 The movement filter hypothesis 的分析，這兩組的搜尋策略並不相同，Up-Stationary 要在「動態物件」及「靜

態物件」中搜尋 X (X 可能是動態或靜態)，而 Up-Down 僅在動態物件中搜尋動態 X，所以 Up-Down 組之搜尋速度應明顯較快。另一方面，若按照 The grouping hypothesis 的分析，Up-Stationary 以及 Up-Down 都是在兩個依共同命運法則構成的群組中搜尋，所以兩組之搜尋速度應該很接近。

表 4-27 Movement-Filter Theory 實驗二各組反應時間統計表(McLeod et al., 1991)

Condition	Display size			r^2	Intercept (ms)	Slope (ms/item)
	9	17	25			
Up-Stationary						
Yes	846	997	1,245	0.98	605	25
No	1,348	1,926	2,290	0.98	854	59
Error (%)	0.8	3.5	7.3			
Up-Down						
Yes	610	660	737	0.99	530	8
No	706	914	1,129	1.00	467	26
Error (%)	1.9	2.5	4.5			
Stationary						
Yes	759	816	941	0.98	645	11
No	862	1,140	1,518	1.00	479	41
Error (%)	2.0	1.3	3.3			
Up						
Yes	633	696	762	1.00	560	8
No	786	913	1,074	1.00	618	18
Error (%)	3.9	5.0	5.4			

實驗二的結果支持 The movement filter hypothesis，因為「Up-Down 組」的搜尋速度確實比「Up-Stationary 組」快（如表 4-27 紅色底線標示）。也許有人會懷疑這可能是因為在「動態群組」執行搜尋作業會在「靜態群組」快，然而從「Stationary 組（僅搜尋靜態群組）」與「Up 組（僅搜尋動態群組）」的比較可發現，兩者雖有差異但差異不大（如表 4-27 藍色底線標示）。因此，主要還是歸因於 The movement filter hypothesis 所分析的因素：「僅在動態物件中搜尋動態目標物」會比「在動態及靜態物件中搜尋可能是動態也可能是靜態的目標物」容易。這也證實了視覺系統確實有運動過濾器的機制(McLeod et al., 1991)。

Peter McLeod 與 Jon Driver 的實驗一與實驗二證實了視覺系統有區隔動態物件與靜態物件的能力。進一步的，實驗三將探討本小節的重點：運動方向性 (MOTION-Direction)。視覺系統能不能將注意力集中在往特定方向運動的物件呢？可不可以針對往某個方向運動的物件進行快速的視覺搜尋作業？

在 Peter McLeod 與 Jon Driver 的實驗三中，目標物是向上移動的 X，干擾物是向上移動的 O 以及向下移動的 X。如果視覺系統能對「所有向上移動的物件」作快速的視覺搜尋，則實驗三的目標物將很容易被辨認出來。

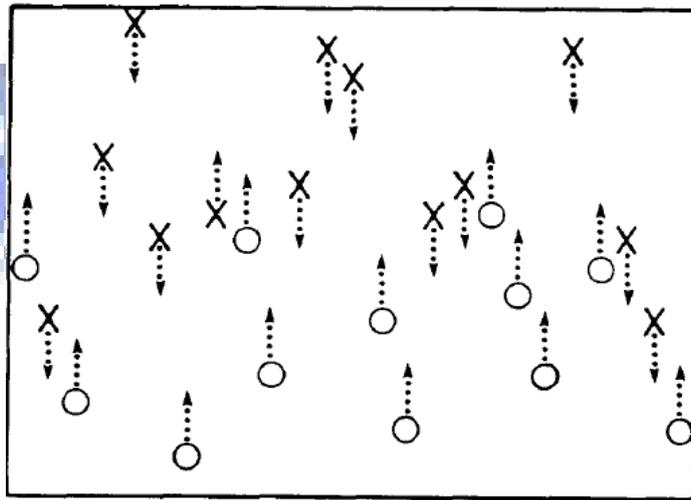


圖 4-159 Movement-Filter Theory 實驗一示意圖(McLeod et al., 1991)

實驗結果與 Movement-Filter Theory 的預測一致，搜尋時間對顯示畫面大小的斜率接近零（如圖 4-28）。向上移動的 X 確實能夠很快的被辨認出來。而且，若我們將實驗三「目標缺乏」試驗的搜尋時間對照實驗一「目標缺乏」的搜尋時間，我們可以發現在實驗三受測者搜尋不到目標物時按「NO」的速度較快，並且較不受畫面內物件總數的影響。這個結果也回應了我們之前的猜測：視覺系統無法有效的確認目標物不存在很可能和動態物件的「運動方向不確定」有關，這也表示了視覺系統可將注意力集中在往特定方向運動的物件，證實了運動方向（MOTION-Direction）是基本視覺特徵。

表 4-28 Movement-Filter Theory 實驗三各組反應時間統計表(McLeod et al., 1991)

Experiment	Display size			r^2	Intercept (ms)	Slope (ms/item)
	7	15	25			
3a						
Yes	609	586	615	0.07	596	0
No	615	639	772	0.95	536	9
Error (%)	4.3	3.1	4.2			

本章將適性指標的視覺特徵加以分類編碼並尋求視覺認知科學文獻的

支持，對於各種基本視覺特徵的有效性我們從已有的相關文獻提出實驗的證據。在此，我們需要再次說明運動特徵對適性指標的重要性：

- (1) 運動特徵具有獨特的「吸引注意力 (capturing attention)」的能力。
- (2) 運動特徵可以「動態改變」觀察者注意力投注的位置。

基於視覺認知科學的基礎支持，我們實作了一個不等組前後測的準實驗設計來研究適性指標在數學學習的效果，嘗試從多媒體學習理論 (multimedia learning) 的角度對適性指標的有效性做進一步的研究。





第五章 適性指標學習效果實驗

前面我們從視覺搜尋與注意力的角度探討「適性指標」的理論基礎。在直覺上，多媒體教材加入基於視覺認知科學所設計的適性指標應該能有助於學習，但我們仍希望透過實驗來加以驗證，以了解「適性指標」在多媒體教材設計上是否真的重要。本章將以實驗的方式研究適性指標是否有助於學習，實驗的設計與流程主要依循 Mayer 等人「多媒體學習理論」(multimedia learning) 的相關研究(R. E. Mayer, 2001; R. E. Mayer & Gallini, 1990; Moreno & Mayer, 1999a)。實驗的假設是：「課堂授課的多媒體教材具有適當設計的適性指標會比沒有適性指標提供更好的學習效果」。

第一節 實驗教材之設計說明

本文所指的「多媒體教材」遵循 Mayer 對 multimedia 的定義，指的是教材內容的呈現方式必須「文 words」與「圖 pictures」皆用，也就是「言語型態 (verbal form)」與「圖像型態 (pictorial form)」兩者配合使用(R. E. Mayer, 2001)。本節說明的實驗教材依據此定義，每一頁面皆採用文與圖並用的設計方式。實驗組與控制組的數學內容完全相同，呈現方式的不同僅在於是否具有「適性指標」的設計。以下說明實驗教材設計所依據的視覺認知原理，並說明實驗組與控制組教材的差異。

我們回顧適性指標的定義。「適性指標」是一種視覺物件，此物件須同時具有兩個條件：

- (1) 「具有協助視覺搜尋以及引導注意力的特性」。
- (2) 在呈現過程中，演講者能「適性地以互動方式操控此物件」。

這樣的定義雖然能明確界定何謂適性指標，但是卻因為具有兩個條件而造成「控制組」的教材在設計上有三種可能性。

- (a) 只要具有 (1) 或 (2) 的視覺物件都不應出現在控制組；
- (b) 控制組內的視覺物件可具有 (1) 但不可具有 (2)；
- (c) 控制組內的視覺物件可具有 (2) 但不能具有 (1)。

由於本研究為初探性研究，必須先了解適性指標在教材設計是否重要，因此我們採取 (a) 的設計方式。若實驗支持適性指標真的有幫助，後續的研究可以對 (1) 的因素或是 (2) 的因素究竟何者對適性指標的效果影響較大做進一步的研究（亦可能兩者都是重要因素）。有兩個考慮因素必須先加以說明，在某些狀況下，實驗組的指標會以非互動式靜態指標的方式出現在控制組，這是因為如果沒有這些靜態指標將很難以口語的方式說明清楚。本實驗的目的著重在適性指標以動態及適性化的方式由下而上引導注意力的效果，這和靜態指標出現在畫面後由口語指引受測者進行由上而下 (top-down) 的視覺搜尋找到該目標物的方式並不相同。所以對於描述實驗教材之數學內容所需之必要性靜態指標（運作方式為 top-down）應該給予放寬，否則將造成實驗組與控制組在「數學內容」上存在差異。另一方面，如果某個適性指標其目的是在引導注意力，即使沒有這個指標也能以口語方式描述，則這樣的指標應儘可能不要出現在控制組。

除了教材設計的差異之外，在實驗組中授課者可以隨意地以互動方式操控適性指標（包含滑鼠，因滑鼠也是適性指標的一種），而控制組則不能操控畫面中的視覺物件（包含滑鼠）。唯一的例外是在第四張投影片中，為了讓控制組在數學內容上有平等的地位，所以有一個直線旋轉的互動式動畫（如圖 5-4 所示）。

授課者對於兩組的口述講解內容事先須盡量一致，除了在實驗組要描述某些因適性指標所觸發的動畫時必要的說明（這在控制組是沒有的）或是因為適性指標的指示效果而可以用較簡單而不需原來較多的文字說明以外，說明的對象和順序都應該相同。

接下來，我們開始說明實驗所使用的教材之設計方式。本實驗探討的問題是「 n 條直線最多可把平面分割成多少區域？」

一、第一張投影片

1. 放映時間：50 秒。

2. 適性指標說明：

控制組採取循序靜態呈現的方式。實驗組採取適性指標隨意互動操作的呈現方式，授課者可以依需要操作適性指標。

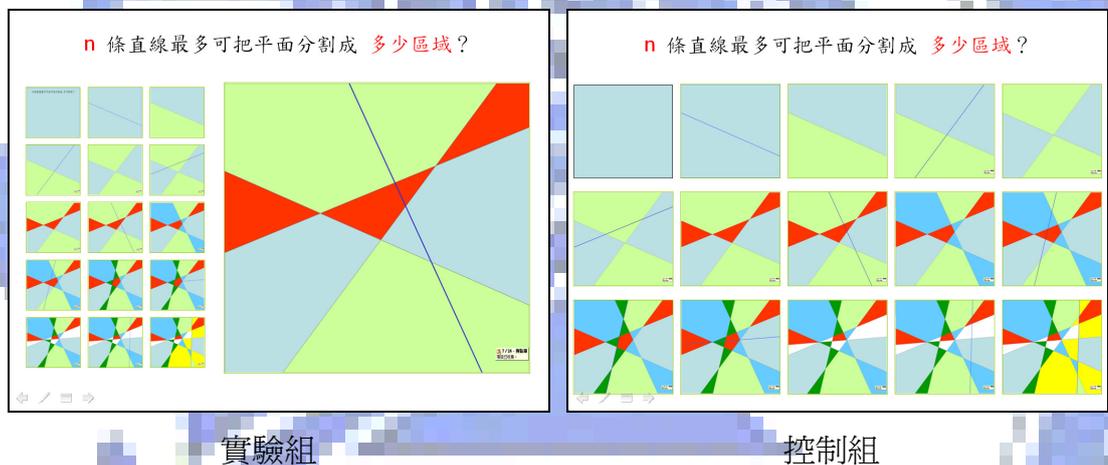


圖 5-1 實驗第一張投影片

3. 口述講解：

n 條直線最多可把平面分割成多少區域呢？第一個圖是沒有直線的，所以他有一個區域，當一條線割下去之後，第三個圖顯示被分成兩塊，也就是兩個區域。從 0 條直線、1 條直線、2 條直線、3 條直線依序下去，分割的區域越來越多。我們的目標就是探討當 n 條線切下去的時候總共會分出幾個區域。

4. 適性指標原理：

各區域採用紅色、綠色、藍色、黃色，符合 COLOR-Hue-[perception] 的 (1) 純粹色相 unique hues；(2) 顏色之跨文化命名 cross-cultural naming；(3) 焦點顏色 focal colors。實驗組採取 new object onset 的方式引導讀者的注意力投注到目前被分割的區域。

二、第二張投影片

1. 放映時間：1 分 10 秒。

2. 適性指標說明：

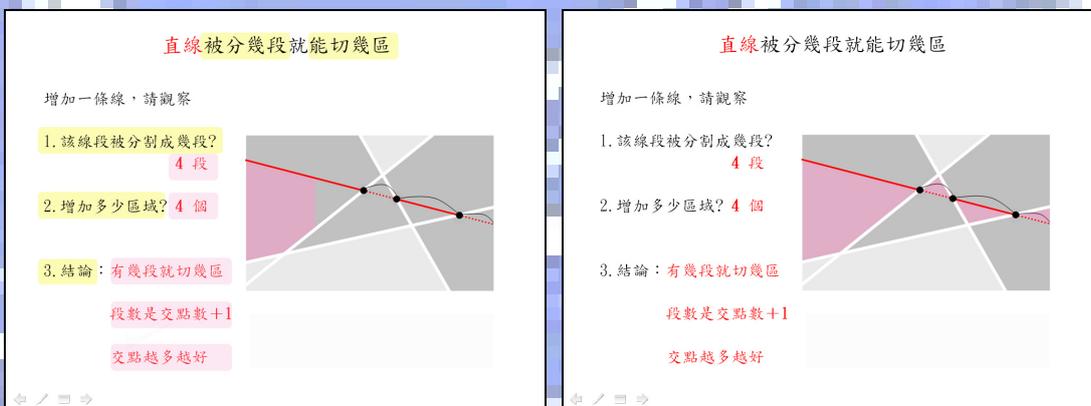


圖 5-2 實驗第二張投影片

實驗組可操控底色質感式文字指標（淡黃色以及淡粉紅色），並且紅色實線段變成圓點虛線段、三個黑色交點、淺灰色區域、標示交點與段數的關聯指標以及標示三線段的弧線都是使用 new object onset 的適性指標，因切割而多出的粉紅色區域則使用具有 new object 以及 new motion 特徵的「進入擦去」適性指標。一個須特別說明的地方是，控制組的靜態圖形仍然保有三個標示線段的弧線，雖然這三個弧線在實驗組是可以彈性操作的，屬於適性指標的範疇，但是因為涉及了數學內容描述的需要，因此予以保留。

3. 口述講解：

直線被分幾段就能切幾區。首先增加一個紅色直線，我們可以發現該線段被分割成幾段呢？從實線跟虛線我們可以看到被分割成 4 段。配合實線與虛線，我們可以看到有 4 段。請問增加多少個區域呢？首先，淺灰色是不相干的區域，可以不理會。深灰色的區域有 4 塊，這 4 塊通通都被切到，從粉紅色區塊我們可以看到增加四個區域。我們可以得到一個重要結論：有幾段就切幾區。此外，段數是交點數加 1。從標示我們可以看到紅色線段和交點數配對後，左邊那一段是多出來的，所以段數是交點數加 1。交點數越多，段數越多，切的面就越多，所以交點數越多越好。

4. 適性指標原理：

使用底色質感式指標 (FORM-Added marks-enclosure-interior)，並且標題用淡黃色，內容用淡粉紅色，以利使用色彩群化來區隔標題與內容(格式塔相似法則 Similarity)。並且圓點虛線採用 new object offset 的方式。淡灰色區域是採用 visual marking 的設計，因為沒被切割的區域已經出現並且遮罩起來，受測者將會對有被切割的區域的任何變化更加敏感。此外，白色直線可以將原來的灰色區域與變色後的淡灰色區域有效地區隔，這是因為白色框線能避免灰色與淺灰色兩個鄰近的區塊發生同時性亮度對比 (COLOR-Intensity-[simultaneous brightness contrast]) 而造成亮度辨認的干擾。因切割而多出的粉紅色區域則使用具有 new object 以及 new motion 特徵的「進入擦去」適性指標。

三、第三張投影片

1. 放映時間：40 秒。

2. 適性指標說明：

首先，為了觀察紅色直線是否通過原有交點對紅色直線分段數的影響，先依 3-4-5-4-3 的順序播放投影片（數字代表投影片編號）。這個動作因為雖然涉及了 new object onset 的呈現方式，但是因為涉及數學內容呈現的完整性，所以兩組都有播放。實驗組可操控底色質感式文字指標（淡黃色以及淡粉紅色），並且三個原有白色直線都有閃光燈泡動畫，且其啟動位置分別在三個黑色交點上。實驗組最特別的地方是有一個黃色圓形指標依序通過三個黑色交點，並啟動該交點原白色直線的閃光燈泡動畫。因為這個指標與注意力的引導有很大的關係，所以在控制組中不予呈現。

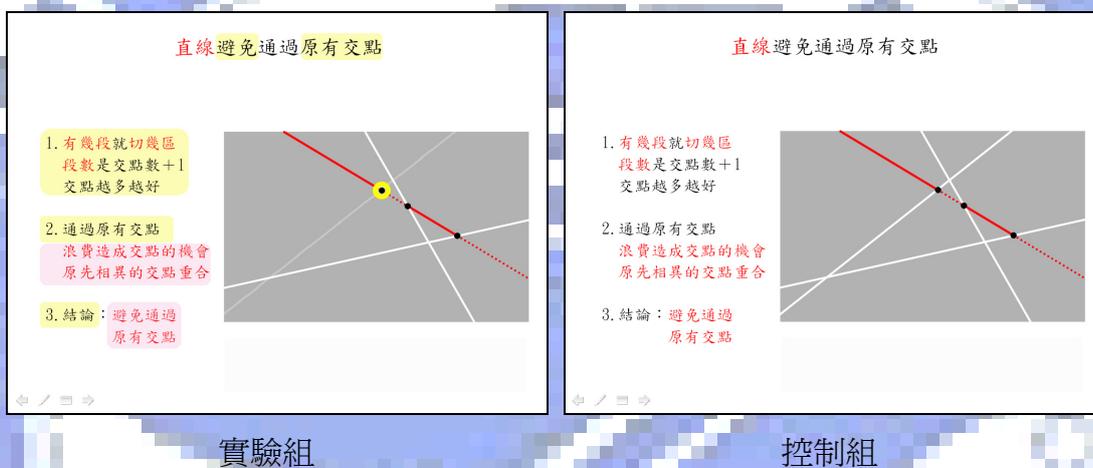


圖 5-3 實驗第三張投影片

3. 口述講解：

直線避免通過原有交點。我們知道紅色直線被割成幾段，就能切幾區，段數是交點數加一，所以交點越多越好。如果我們要讓交點數多，新增的紅色直線就要避免通過原有交點，就不會浪費造成交點的機會。

4. 適性指標原理：

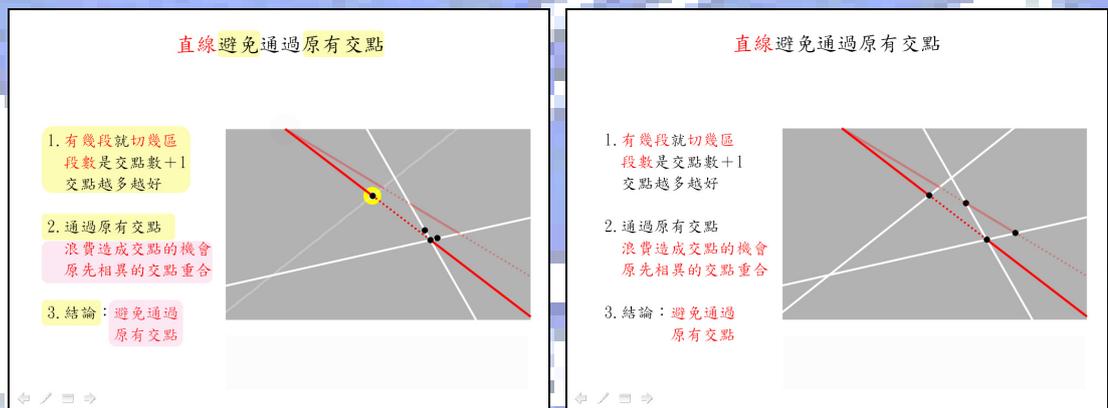
黃色圓形指標先突然出現在圖形的左上角，這個「突然出現」的動畫是 new object onset。接著黃色圓形指標忽然移動到第一個交點，這個「突然移動」的動畫是 new motion onset。接下來是啟動該交點原白色直線的閃光燈泡動畫，這涉及了「隱現」MOTION-Looming 以及

「抖動」MOTION-Jitter motion。為了讓閃光燈泡能更明顯，平面採用較深的灰色，這是為了讓閃光燈泡啟動時可產生較大的明度變化以符合 MOTION-New object-[luminance change]的條件(明度改變越大，new object onset 吸引注意力的效果越好)。黃色圓形指標的滑鼠啟動位置在圖形的左上角，符合「原始位置」(MOTION-New object-[original location])的適性指標設計原則。

四、第四張投影片

1. 放映時間：60 秒。

2. 適性指標說明：



實驗組

控制組

圖 5-4 實驗第四張投影片

實驗組可操控底色質感式文字指標(淡黃色以及淡粉紅色)，並且三個原有白色直線都有閃光燈泡動畫，且其啟動位置分別在三個黑色交點上。與前一張投影片相同的是，實驗組有一個黃色圓形指標依序通過三個黑色交點，並啟動該交點原白色直線的閃光燈泡動畫。因為這個指標與注意力的引導有很大的關係，所以在控制組中不予呈現。另外，實驗組與對照組皆有一個「淡紅色直線旋轉動畫」，藉此描述紅色直線「未通過原交點」以及「通過原交點」在交點數量會有差異。雖然這個動畫是屬於本文適性指標的範疇，但是因為其涉及了數學內容的呈現，所以在實驗組與對照組都應予播放，以力求兩組在數學內

容上的公平性。進一步的，實驗組在「淡紅色直線旋轉動畫」後，會有另一組由兩個小黑點（淡紅色直線與兩條原白色直線的交點）構成的適性指標，藉由小黑點的移動來表示兩相異交點逐漸重合的現象。由於此指標的目的為吸引注意力，所以在控制組不予呈現。

3. 口述講解：

直線避免通過原有交點。我們可以對照剛才的投影片，若通過原有交點，則三個相異交點會變成兩個相異交點，會浪費一個造成交點的機會。還有一個看法，就是在前一張投影片中相異的交點會變成重合。因此，通過原有交點會「浪費造成交點的機會」，並且造成「原先相異的交點會重合」。所以我們的結論是：避免通過原有交點。

4. 適性指標原理：

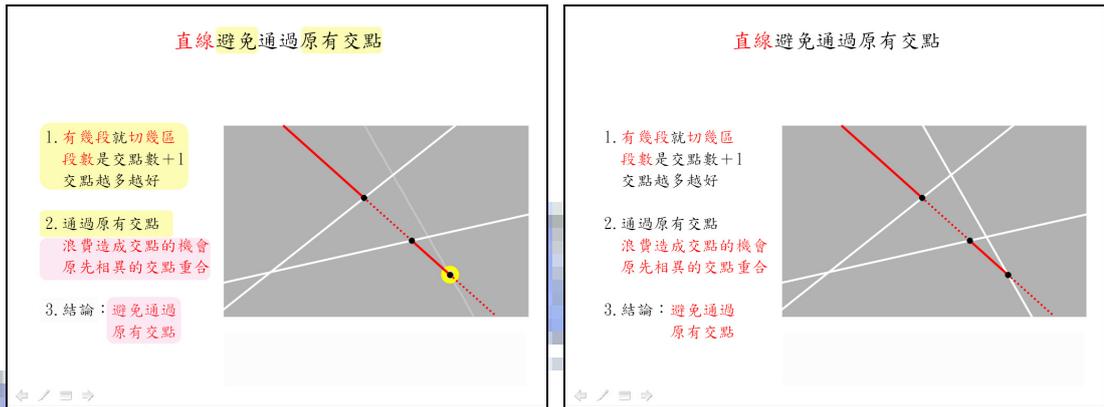
第四張投影片與第三張投影片的設計幾乎相同，唯一的差異是淡紅色的直線以 new object onset 的方式出現在畫面中，並且可啟動旋轉動畫（new motion onset）。此外，兩個小黑點的適性指標涉及了 new motion onset 以及 MOTION-Direction 的視覺特徵。

五、第五張投影片

1. 放映時間：20 秒。

2. 適性指標說明：

第五張投影片的操作說明與第三張完全相同，因為這張投影片的紅色直線和第三張投影片一樣，並沒有通過原有交點。不過本張投影片需要操作與本投影片「結論」有關的底色質感式適性指標。



實驗組

控制組

圖 5-5 實驗第五張投影片

3. 口述講解：

直線避免通過原有交點。已知平面有三個白色線段，如果直線沒有通過原有交點，就不會浪費造成交點的機會，所以我們的結論是：避免通過原有交點。

4. 適性指標原理：

第五張投影片與第三張投影片的設計幾乎完全相同。

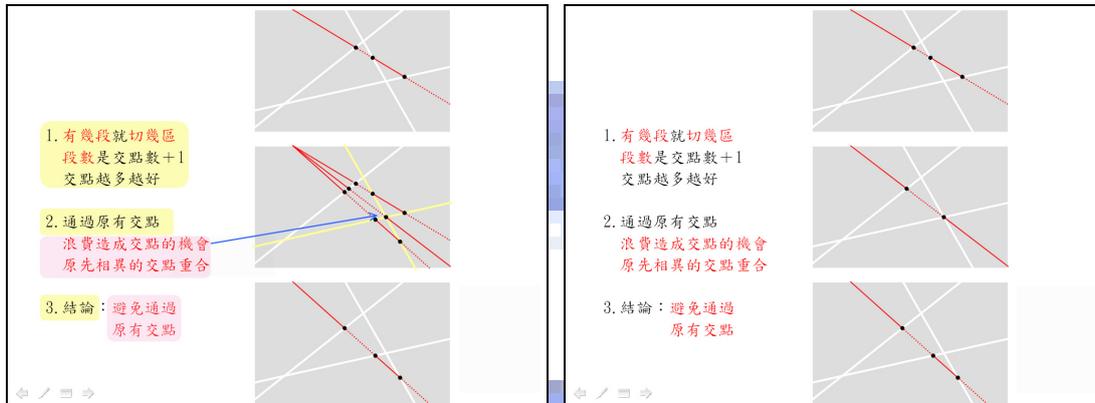
六、第六張投影片

1. 放映時間：30 秒。

2. 適性指標說明：

第六張投影片是第三張到第五張投影片的統整版。控制組是靜態呈現，實驗組則有底色質感式指標、以及藍色箭頭的「外加指標」。此外，實驗組中「紅色直線通過的原有交點」可以啟動瞬變指標（兩條

通過原有交點的白色直線瞬變成淡黃色) (MOTION-Transient)。



實驗組

控制組

圖 5-6 實驗第六張投影片

3. 口述講解：

接下來我們看到的是一個統整的對照圖。上方圖：因為沒有通過原有交點，所以會有三個交點。中間圖：因為通過原有交點，所以會浪費造成交點的機會，造成原先相異的交點變成重合的現象。下圖：因為沒有通過原有交點，所以不會浪費成交點的機會。所以結論就是：避免通過原有交點。

4. 適性指標原理：

藍色箭頭的「外加指標」(FORM-Added marks-pointer)是採用「出現擦去」動畫，所以涉及了 new object onset 以及 new motion onset。並且此箭頭突顯了「說明文字(浪費造成交點的機會)」以及「圖形(原有交點)」的關連性，這是採用格式塔原理「連接法則 Connectedness」。本投影片灰色平面的顏色變淡，是因為要讓紅色直線及黑色交點能更顯眼(明度差異效果 COLOR-Intensity-[luminance])，並且讓瞬變指標(MOTION-Transient)也能看得更清楚，因為目標物與背景的明度差異越大效果越好。此外，中間投影片設計了兩個指標能夠將三條紅色直線在同一個畫面一起呈現，有利於相互比對，這符合「原始位置」(MOTION-New object-[original location])的適性指標設計原則。

七、第七張投影片

1. 放映時間：30 秒。

2. 適性指標說明：

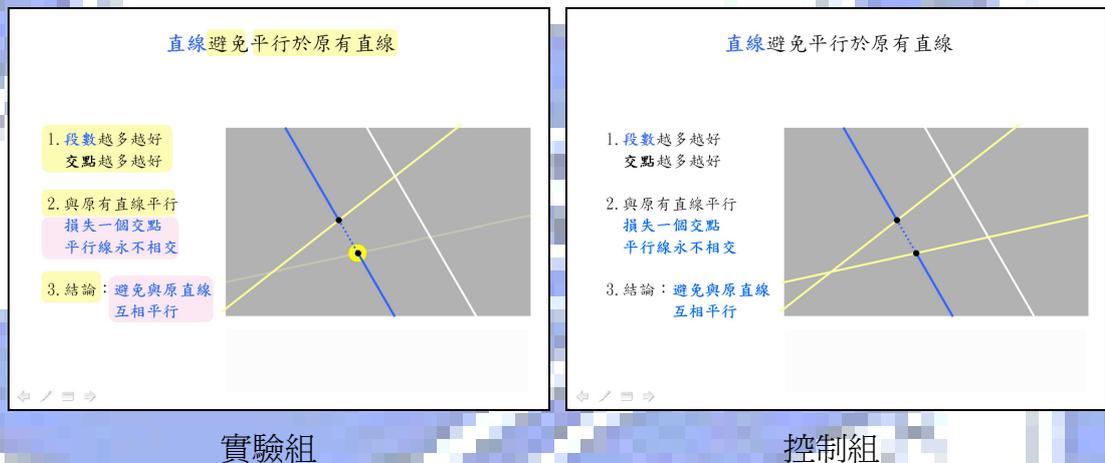


圖 5-7 實驗第七張投影片

第七張投影片是要說新增直線應避免與平行於原有直線。控制組是靜態呈現，實驗組則有底色質感式指標、黃色圓形移動指標（new motion onset），以及兩條原有白色直線的「抖動」（MOTION-Jitter motion）與「瞬變」（MOTION-transient）指標。整個過程是當黃色圓形移動指標通過藍線與白線的交點時，先引發抖動指標，然後再引發瞬變指標。

3. 口述講解：

除了「避免通過原有交點」之外，還要「避免平行於原有直線」。畫面中藍色線是第 4 條直線，並且平行於原來的白色直線，這樣會有損失一個交點的狀況。因為他和白色的線永不相交，所以就損失了一個交點。結論：避免與原直線互相平行。

4. 適性指標原理：

本張投影片新增之直線、標題文字以及內容重點文字皆採用藍色是爲了希望能和之前的紅色新增直線做區隔，讓受測者能感受到目前的議題（與原有直線不平行）和之前（不通過原有交點）是不同的。比較特別的是實驗組當黃色圓形指標通過黑色交點時先啓動「抖動」指標，然後接著啓動「瞬變」指標讓與新增藍色直線不平行的兩條黃線和另一條白線作區隔，並且黃線在時間因素上一前一後的瞬變也會產生累加的效果。

八、第八張投影片

1. 放映時間：1 分 40 秒。

2. 適性指標說明：

新增一條直線與原有直線最多有幾個交點

避免通過原有交點
避免平行

1. 有幾段就切幾區
段數等於交點數+1

2. 與原有直線交點數?
原有直線有幾條
就會有幾個交點

3. 結論：第 n 條線與原 $n-1$ 直線有 $n-1$ 個交點
分 n 段
切 n 區域

新增一條直線與原有直線最多有幾個交點

避免通過原有交點
避免平行

1. 有幾段就切幾區
段數等於交點數+1

2. 與原有直線交點數?
原有直線有幾條
就會有幾個交點

3. 結論：第 n 條線與原 $n-1$ 直線有 $n-1$ 個交點
分 n 段
切 n 區域

實驗組

控制組

圖 5-8 實驗第八張投影片

第八張投影片的目標是要說明「新增一條直線與原有直線最多有幾個交點？」。其包含的適性指標與第二張投影片接近，比較不同的是實驗組有一個紅色外加指標用來指示第 n 條線（新增的紅線），三個灰色外加指標用來指示第 n 條線與前 $n-1$ 條線的交點，以及一組紅色外框式指標（FORM-Added marks-enclosure-border）並包含中間提供關聯

性的紅色曲線。此外，當黃色圓形移動指標通過各個交點時會分別啓動白色原有直線的標號的底色質感式指標（黃色圓圈）。有一個須特別說明的，就是紅色弧線的目的是標示的紅色直線被割成的段數，在實驗組是採用 **new object onset** 的適性指標設計，其視覺特徵是彎曲度，應該屬於適性指標的範疇，但是因為這個指標涉及了數學內容的表達，所以在控制組亦以靜態圖式的方式呈現。

3. 口述講解：

兩大原則是「避免通過原有交點」以及「避免與原直線平行」。我們要追求最多的交點是因為（1）有幾段就切幾區；（2）段數等於交點數 + 1。與原有直線交點數要怎麼看呢？紅色直線和原來的三條白色直線會有三個交點，「原有直線有幾條就會有幾個交點」。結論是：第 n 條直線與原有的 $n-1$ 條直線最多有 $n-1$ 個交點，可將第 n 條線分成 n 段，可切 n 個區域。所以，第 n 條線最多可以切出 n 個新的區域。

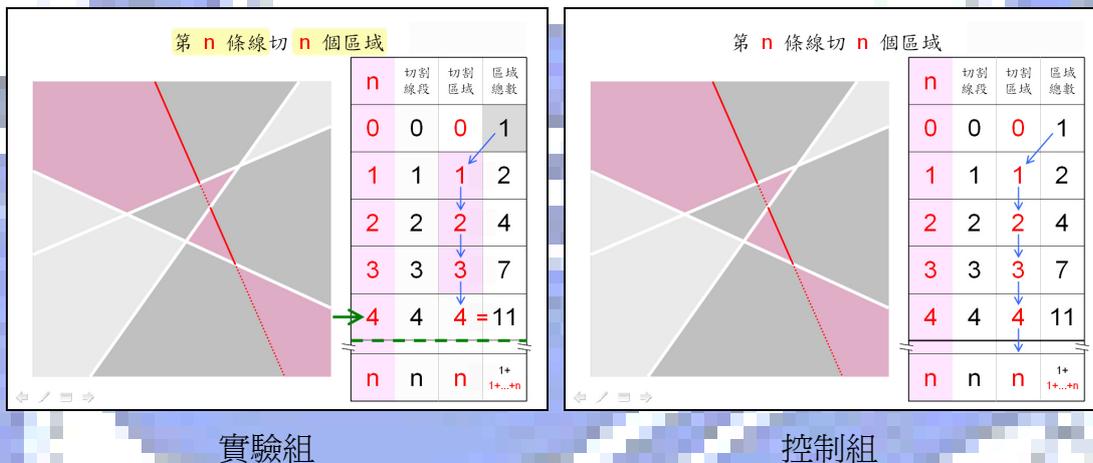
4. 適性指標原理：

在此列舉數個本張投影片較特別的指標。標示紅色直線被割成的段數的紅色弧線採用 **new object onset** 的方式啓動，並且其視覺特徵是「彎曲度」(FORM-Curvature)。紅色外框式指標 (FORM-Added marks-enclosure-border) 也被應用來強調「第 n 條線」與「切 n 區域」，中間以紅色曲線連接來突顯關聯性 (格式塔原理之 Connectedness)。另外，黃色圓形移動指標會觸發白色原有直線的「閃光燈泡」Jitter motion 指標以及標號(1、2、3)的底色質感式指標(黃色圓圈 **new object onset**)，爲了避免黃色圓形移動指標 (**new motion onset**) 以及標號(1、2、3)的底色質感式指標 (**new object onset**) 兩種非常強烈的指標互相干擾，所以安排了 1 秒鐘的間隔時間，黃色圓形指標會在標號底色質感指標出現 1 秒之後才會再度啓動。

九、第九~十三張投影片

1. 放映時間：3 分 30 秒。

2. 適性指標說明：



第九~十三張投影片是一系列的投影片，目的是在說明「第 n 條線切 n 個區域」與「區域總數累計」的關連性。比較重要的指標有綠色箭頭外加指標 (FORM-Added marks-pointer)，表現步驟與關聯的藍色箭頭外加指標，黃色底色質感式指標，紅色等號外加指標以及紅色區域、灰色區域兩個區域的指標。需要特別說明的是，實驗組中表現步驟與關聯的藍色箭頭外加指標是屬於適性指標，但因其影響到數學內容的表達，所以在控制組中亦以靜態圖式的方式呈現。

3. 口述講解：

n 代表平面中的直線數，右邊藍色指標表示區域累加的順序。 $n=0$ 時區域總數是 1， $n=0$ 表示平面中沒有任何直線。接下來 $n=1$ ，表示有一條直線，剛剛區域總數 1，再加上現在淡紅色切割區域 1， $1+1=2$ ，所以區域總數是 2。接下來 $n=2$ ，切出 2 個新的淡紅色區域。最開始平面數=1， $n=1$ 切出 1 個新區域， $n=2$ 切出 2 個新區域， $1+1+2=4$ ，所以

區域總數是 4。接下來 $n=3$ ，切出 3 個新區域，區域總數是 $1+1+2+3=7$ 。
 $n=4$ 時，切出 4 個新區域， $1+1+2+3+4=11$ ，所以區域總數是 11。

4. 適性指標原理：

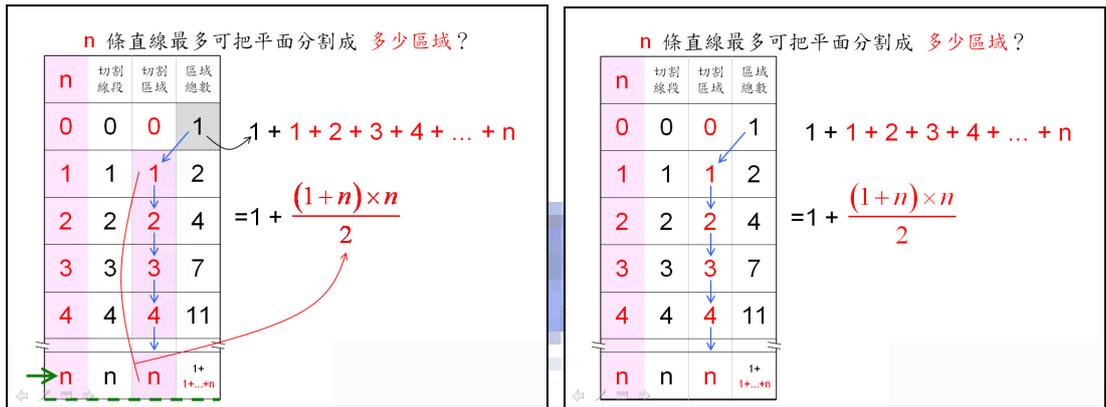
我們對第九～十三張投影片之適性指標原理作重點說明。新增的分割區域選用粉紅色是因為新增的直線是紅色，並且較早出現，對於紅色直線所切割的區域可能引發「非自主的隱性定位 (Involuntary Covert Orienting)」(MOTION-New object-[CIOH])，使得讀者能更有效的搜尋出與紅色接近的粉紅色區塊。另一方面，「等號」指標由於經過許多的練習，產生了很強的自動化連結可以將左右兩個部份認為在數量上相等，並且這個力量超越了原先表格淺灰色格線所提供的區隔作用。此即 stroop-like effect 所提到的自動化較高的連結會抑制自動化較低的連結。

十、第十四張投影片

1. 放映時間：60 秒。

2. 適性指標說明：

第十四張投影片是歸納結論的投影片，目的是在說明「 n 條直線最多可把平面分割成多少區域？」此問題的探討與公式的確立。比較重要的指標有黑色外加指標以及紅色外加指標，這兩個指標在本張投影片的作用都是在突顯關聯性。而公式的呈現配合原表格中的黑色與紅色做適當的群化與對應。



實驗組

控制組

圖 5-10 實驗第八張投影片

3. 口述講解：

n=0 時，區域總數是 1。n=1 時切 1 個，n=2 時切 2 個，n=3 時切 3 個。n=n 時切 n 個，所以 n 條直線切割平面的總數是 1+1+2+3+...+n，也就等黑色的 1 加上紅色的 1+2+3+...+n，會等於 $1 + \frac{(1+n) \times n}{2}$ 。

4. 適性指標原理：

採用格式塔連接法則（Continuity）突顯物件之間的關連性，並以相似法則（Similarity）適當群化高度相關的物件。

第二節 實驗方法（Method）

一、參與者與設計（Participants and design）

本研究探討的情境是「課堂授課」，研究對象是參與此課程的實驗組與控制組學生。由於課堂授課主要涉及兩個情境變數（Situational variables）：「授課教師」與「教學環境」；以及一個參與者變數（Participant

variables)：「參與學生」。為盡量避免無關變數 (irrelevant variables) 的干擾，我們將實驗設計的方式與考慮的因素說明如下。

1. 授課教師

本實驗的實驗組與控制組之授課教師相同，此設計是為避免因授課教師不同而影響實驗結果。已經有研究指出不同的教師對學生的「科學態度」與「數學態度」會發生影響(洪志成, 1985; 潘正安, 1985)，因此應盡量避免此 Situational variables 的影響。考量實驗教材內適性指標之操作應盡量符合前述各項視覺原理，擔任本實驗研究教學之教師為研究者本人，有九年數學科教學經驗，熟悉課堂教學事務。

2. 教學環境

為避免教學環境此 Situational variables 影響實驗結果，實驗組與控制組的實驗教學與各項測驗皆在同一間教室（不同時間）進行。

3. 參與學生

(1) 常態分配與隨機之考量

本實驗的實驗組與控制組學生選擇兩個不同的「普通班」，其理由如下：一般而言，每一年齡層的智商呈常態分配，如鐘型曲線 (bell shape)，可表達由最高到最低的分佈情形(柯華葳, 2007)。由於實驗學校除了資優班與體育資優班以外，皆以「國民中學智力測驗第三種」(路君約 *et al.*, 1991)測驗成績為依據進行常態 S 型男女混合編班，因此實驗之參與者 (participants) 應選擇普通班，因普通班在此編班方式下智商較為接近常態分配。此外，由於 S 型編班之男生與女生編班起點為亂數產生，所以普通班本身即是隨機起點的系統性抽樣，並且由於順序由智力測驗結果而定，所以智商分數由高而低在各班分佈的狀況大致相同，因此也符合分層隨機抽樣的精神。由上述可知，本實驗之實驗組與控制組選擇普通班的目的在於避免 Participant variables 對實驗結果的影響。

(2) 課堂授課的考量

本研究希望了解實際的課堂授課狀況，因此以實際上課的班級為研究對象，而非隨機取樣所產生的虛擬班級。目的是為了讓參與者在參與實驗課程時的心理狀態與平常的課堂授課環境接近，不致因緊張、興奮或陌生感等等的情緒起伏影響實驗結果。

(3) 教師風格與學生數學成就的考量

由於不同的教師對學生的「科學態度」與「數學態度」會發生影響(洪志成, 1985; 潘正安, 1985)，為避免實驗組或控制組其中一組因教師風格或說話方式與原任課教師之差異而影響實驗結果，本實驗之實驗組與控制組均選擇研究者曾授課之班級。此外，因不同班級之學生數學成就差異亦可能影響實驗結果，實驗組與控制組選擇研究者曾授課班級中數學科段考平均成績最接近之同年級兩個班級(214 與 212，如表 5-1)。

表 5-1 實驗學校二年級數學科成績分析

班級	段考一平均	段考二平均	兩次平均	名次	是否為特殊班	教師風格因素
201	60.12	45.88	53	15		研究者曾授課
202	65.82	52.47	59.145	10		
203	67.74	52.41	60.075	7		
204	63.69	54.75	59.22	9		研究者曾授課
205	64.97	50.29	57.63	11		
206	65.97	52.85	59.41	8		
207	62.06	49.69	55.875	12		
208	62.03	45.06	53.545	14		
209	66.73	55.82	61.275	6		
210	60.57	49.83	55.2	13		
211	69.41	54.97	62.19	4		
212	69.06	58.23	63.645	3		研究者曾授課
213	67.11	55.54	61.325	5		
214	69.34	58.77	64.055	2		研究者曾授課
215	32.08	21.38	26.73	16	體育資優班	
216	97.81	93.11	95.46	1	資優班	研究者曾授課

由於考慮到數學成績較高的班級若安排成實驗組可能造成結果的影響因素，因此將 214 安排為控制組，212 安排為實驗組。兩班皆為常態男女混合編班，學生數皆為 35 人，並且研究者都曾經擔任該班之數學科任課教師（實驗時 212 有一位同學請假休息，因此實驗組受測者為 34 人；214 有一位同學 Retention 測驗時發現試卷裝訂有誤，因此控制組受測者 35 人，Retention Test 有效答案卷為 34 份）。

二、實驗工具 (Materials and apparatus)

1. 多媒體教材

授課內容為「 n 條直線最多可把平面分割成多少區域？」，多媒體教材設計、播放時間與授課時之口述內容請詳見第一節「實驗教材之設計說明」(P.233)，共有 14 張使用 Microsoft PowerPoint 以及 MathPS 數學簡報系統製作的投影片教材。實驗組之教材配合適當的適性指標設計，控制組之教材則無適性指標。

2. 電腦與投影機

筆記型電腦型號：Acer Travelmate 3000。

投影機型號：EPSON EMP-822 投影機。

3. 效果評估測驗

對於學習效果之評估，本實驗的測驗方式以 Mayer 在多媒體學習理論中提出的數個實驗為基礎(Mautone & Mayer, 2001; R. E. Mayer, 2001; R. E. Mayer et al., 1999; Moreno & Mayer, 1999a)，製作 Retention Test、Matching Test 以及 Transfer Test 三種測驗試題。三份試題經過數學科兩位老師試做與修改，並依照試做所需的時間將測驗時間訂為 5 分鐘（Mayer 實驗之 Retention Test 作答時間亦為 5 分鐘）(Moreno & Mayer, 1999a)。其中 Retention Test 與 Matching Test 每個題目均有數個填充題或是需使用符號標記的地方，答對一個填充題或是一個標記正

確則得一分。三種測驗之試題與結果分析請見本章第三節之「結果與討論」。

三、實驗流程 (Procedure)

實驗組與控制組分別進行實驗教學與效果測驗（在一節課 45 分鐘內完成），整個程序分成五個部份，如表 5-2 所示。

表 5-2 研究流程與時間配置表

順序	流程內容	所需時間
1	Transfer Test (前測)	5 分鐘
	收卷	2 分鐘
2	實驗教材之課堂授課	約 12 分鐘
3	Retention Test	5 分鐘
	收卷	2 分鐘
4	Matching Test	5 分鐘
	收卷	2 分鐘
5	Transfer Test (後測)	5 分鐘
	收卷	2 分鐘
	緩衝時間	5 分鐘

實驗組與控制組僅在進行第 2 項程序時有所不同，實驗組觀看的是有適性指標的投影片，控制組觀看的是沒有適性指標的投影片，其設計差異請見本章第一節 (P.233)。

第三節 結果與討論 (Results and Discussion)

一、Retention Test

本實驗 Retention Test 的設計是依循 Mayer 關於多媒體學習理論的數個實驗採用的方式(Mautone & Mayer, 2001; R. E. Mayer, 2001; R. E.

Mayer & Gallini, 1990; R. E. Mayer et al., 1999; Moreno & Mayer, 1999a)。以 1999 年關於閃電的教材實驗為例，Mayer 事先從教材中確認了 19 個涉及教材內容的「主要概念單元」(major idea units)，然後在實驗中要求受測者寫下記得的任何關於教材內容的概念，之後再由評分者將受測者所寫的內容與此 19 個 major idea units 做比對，答對一個就得一分。由於 Mayer 實驗時的受測者是大學生，寫作表達能力較強，而本實驗的受測者是國中學生，很可能因為表達能力而影響了回答的 major idea units 數量。因此，本實驗的 Retention Test 改以填充題與描繪圖形的方式詢問 major idea units，以利國中學生能順利將心中的答案寫出來（答對一個得一分），並且由於答案明確，可避免計分時的爭議性，測驗原稿詳如附件一。

Retention Test 第一題是檢測第 9~14 張投影片的內容，請受測者回憶投影片表格內的數字以及第 14 張投影片所說明的公式。

n 條直線最多可把平面分割成 多少區域？

n	切割線段	切割區域	區域總數
0	0	0	1
1	1	1	2
2	2	2	4
3	3	3	7
4	4	4	11
n	n	n	$1 + \dots + n$

$1 + 1 + 2 + 3 + 4 + \dots + n$
 $= 1 + \frac{(1+n) \times n}{2}$

圖 5-11 Retention Test 1 的關鍵投影片（第 14 張）

Retention Test 第二題則是檢測第 3~7 張投影片的兩重點：新增直線若要與原有直線有最多的交點，此直線就要避免通過原有交點，並且避免與原有直線平行。

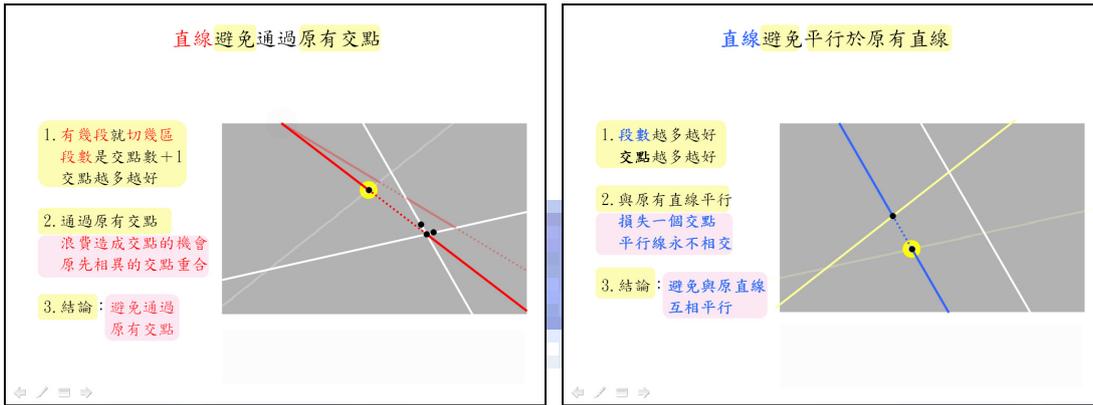


圖 5-12 Retention Test 2 的關鍵投影片 (第 4 張和第 7 張)

Retention Test 第三題檢測的是第 n 條線與原有 $n-1$ 條直線最多有 $n-1$ 個交點，會將直線分成 n 段，會切出 n 個新的區域。

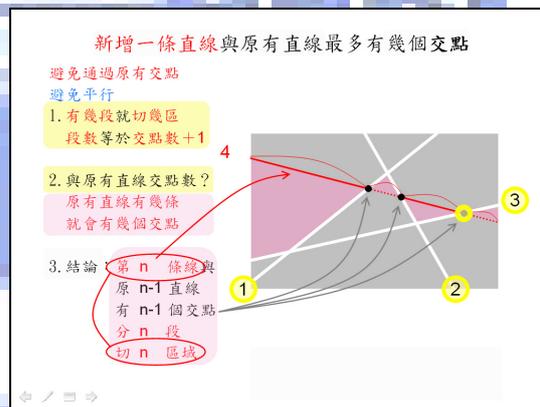


圖 5-13 Retention Test 3 的關鍵投影片 (第 8 張)

Retention Test 平均正確率如表 5-3，Independent Samples T-test 如表 5-4。

表 5-3 Retention Test 的平均正確率統計表

組別	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
Retention 1	實驗組	34	.9467	.05359
	控制組	34	.8529	.21862
Retention 2	實驗組	34	.4779	.36602
	控制組	34	.4118	.41232
Retention 3	實驗組	34	.4314	.27253
	控制組	34	.2500	.28501

表 5-4 Retention Test 之 Independent Samples T-test 分析表

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means					95% Confidence Interval of the Difference	
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	Lower	Upper
Retention 1	Equal variances assumed	27.823	.000	2.429	66	.018	.09375	.03860	.01668	.17082
	Equal variances not assumed			2.429	36.952	.020	.09375	.03860	.01553	.17197
Retention 2	Equal variances assumed	1.826	.181	.700	66	.486	.06618	.09455	-.12261	.25496
	Equal variances not assumed			.700	65.085	.486	.06618	.09455	-.12266	.25501
Retention 3	Equal variances assumed	.071	.791	2.682	66	.009	.18137	.06763	.04635	.31640
	Equal variances not assumed			2.682	65.868	.009	.18137	.06763	.04634	.31640

Retention 1 的 Levene's $p = 0.000 \leq 0.05$ ，採用 Equal variances not assumed 的 t 值，即 $t = 2.429$ ， $df = 36.952$ ， $p = 0.010$ （本實驗是單側考驗，所以 $p = 0.020 \div 2$ ）。因 $p = 0.010 < 0.05$ 顯示實驗組與控制組的差異達顯著 (Nicola & Rosemary, 2000)，實驗組平均正確率 94.67% 大於控制組 85.29%。Retention 3 的 Levene's $p = 0.791 > 0.05$ ，採用 Equal variances assumed 的 t 值，亦即 $t = 2.682$ ， $df = 66$ ， $p = 0.0045$ （單側考驗 $p = 0.009 \div 2$ ）， $p = 0.0045 < 0.05$ 顯示實驗組與控制組的差異達顯著，實驗組的平均正確率 43.14% 大於控制組 25.00%。Retention 2 雖然實驗組平均正確率 47.79% 仍大於控制組 41.18%，但 $p = 0.243$ 未達顯著的標準。

表 5-5 Retention Test 之 One-Way ANOVA 分析表

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Retention 1	Between Groups	.149	1	.149	5.898	.018
	Within Groups	1.672	66	.025		
	Total	1.821	67			
Retention 2	Between Groups	.074	1	.074	.490	.486
	Within Groups	10.031	66	.152		
	Total	10.106	67			
Retention 3	Between Groups	.559	1	.559	7.193	.009
	Within Groups	5.132	66	.078		
	Total	5.691	67			

Retention Test 之 One-Way ANOVA 分析如表 5-5。Retention 1 之 $F(1, 66) = 5.898$ ， $p = 0.018 < 0.05$ 達顯著差異；Retention 3 之 $F(1, 66) = 7.193$ ， $p = 0.009 < 0.05$ 達顯著差異。Retention 2 之 $F(1, 66) = 0.490 < 1$ ， $p = 0.486 > 0.05$ 未達顯著差異。

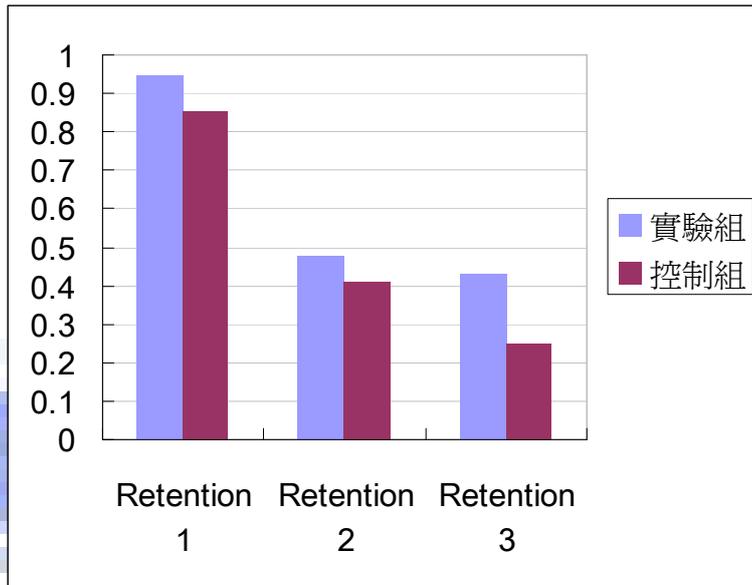


圖 5-14 Retention Test 正確率長條圖

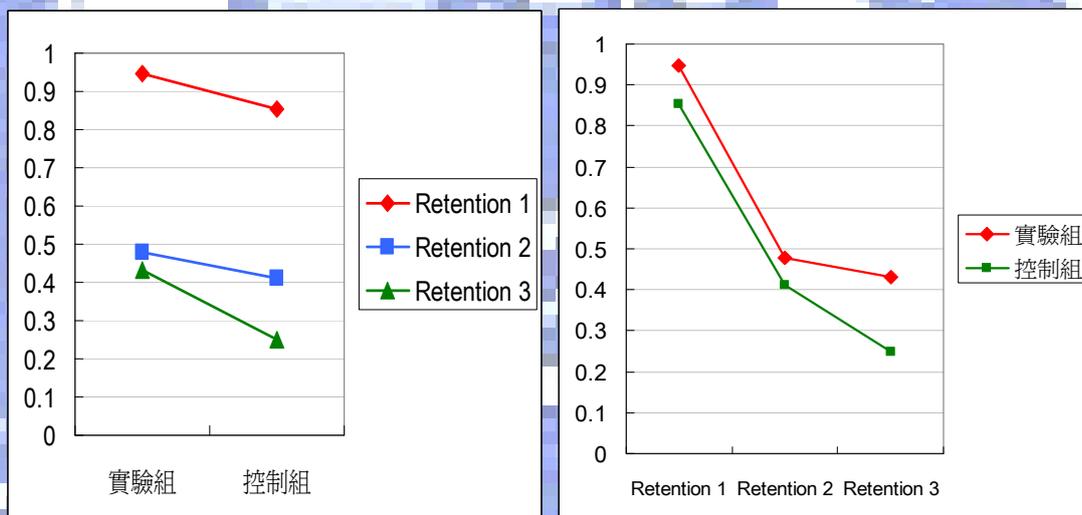


圖 5-15 Retention Test 正確率折線圖

由以上的分析，Retention Test 的實驗結果支持「課堂授課的多媒體教材具有適當設計的適性指標會比沒有適性指標提供更好的學習效果」的假設，對於 Retention 2 為什麼沒有明顯的效果，我們將會在後面加以討論。

二、Matching Test

本實驗 Matching Test 的設計仍是依循 Mayer 的實驗方式(Mautone & Mayer, 2001; R. E. Mayer, 2001; R. E. Mayer & Gallini, 1990; R. E. Mayer et al., 1999; Moreno & Mayer, 1999a)。Mayer 在 Matching Test 中要求受測者對印在試卷上的四個實驗畫面中的物件進行圈選與標記的工作，圈選與標記正確的就得一分。本實驗依上述方式設計六題 Matching Test，一個應圈選與標記的地方作答正確就得一分，Matching Test 試卷如附件二。

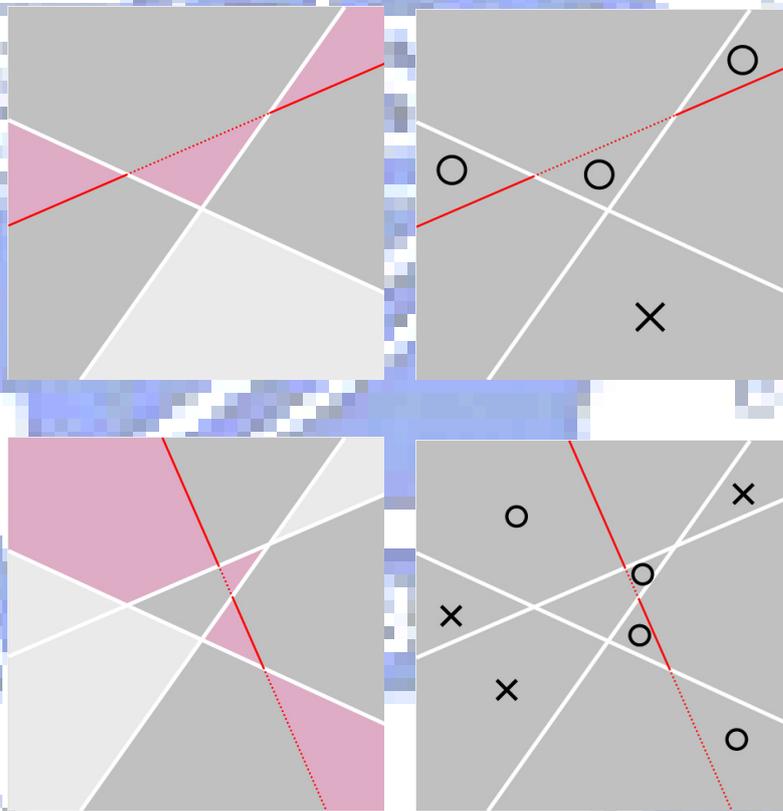


圖 5-16 Matching Test 1 的關鍵圖形與解答（投影片 12、13）

Matching Test 第一題是檢測第 12 與第 13 張投影片的內容，請受測者回憶投影片內不相干的淡灰色區域以及新切割的淡紅色區域，淡灰色區域標示為「x」，淡紅色區域標示為「○」。投影片原始內容與題目正確解答如圖 5-16 所示。此外，所有的 Matching Test 在計分時，我們對於「正確答案區域」以外之任何標記皆不予計分（不加分亦不扣分），這是因為當受測者專注於被描述的物件時可能發生注意瞬脫效應（attention blink）以及改變盲效應（change blindness），只有受測者

認為較重要或是有意義的視覺訊息才能通過選擇性瓶頸 (selective bottleneck) (詳見 p.43)，因此對於非關注的區域無法正確回答是很可能發生的現象，應不予計分以避免無關變數的干擾。

Matching Test 第二題是檢測第 8 張投影片的內容，請受測者回憶投影片內白色原有直線的標號，而這個標號和第 n 條線與前 $n-1$ 條線交於 $n-1$ 個交點的觀念有關。題目正確解答如圖 5-17 所示。

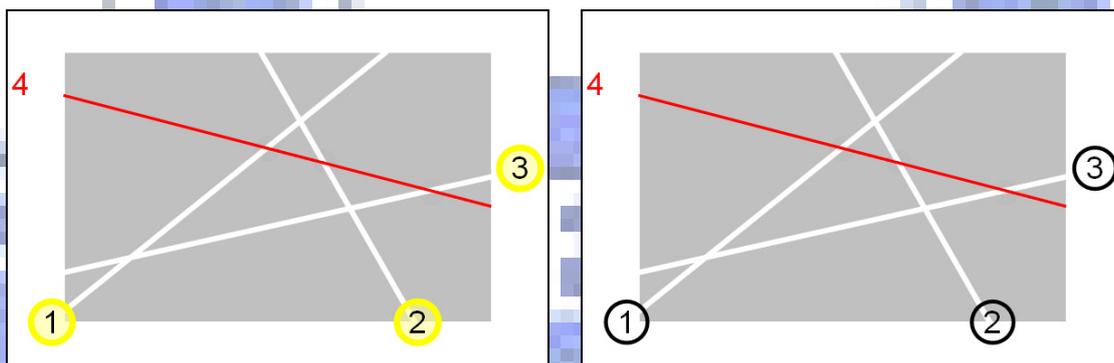


圖 5-17 Matching Test 2 的關鍵圖形與解答 (投影片 8)

Matching Test 第三題是檢測第 2 張投影片的內容，同樣請受測者將不相干的淡灰色區域標示為「x」，新增的淡紅色區域標示為「○」，另外亦要標記三個講解時會用到的「黑色弧線」。投影片原始內容與題目正確解答如圖 5-18 所示。

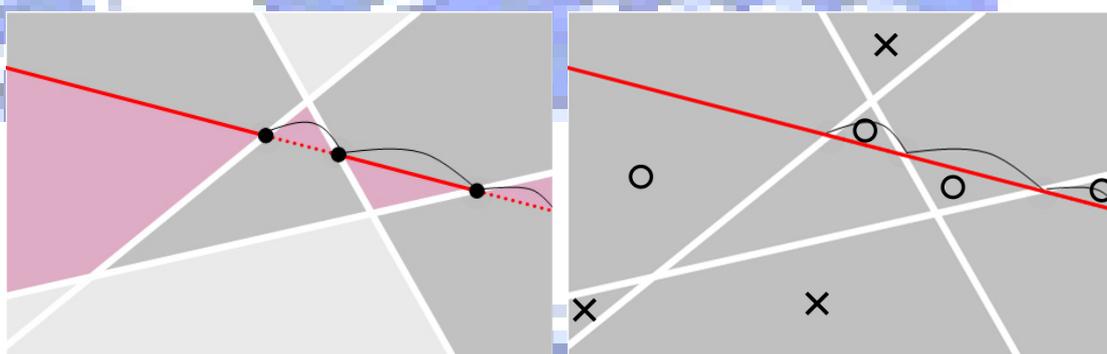


圖 5-18 Matching Test 3 的關鍵圖形與解答 (投影片 2)

Matching Test 第四題是檢測第 7 張投影片的內容，請受測者將三條白色原有直線其中會變成淡黃色的兩條標示出來。圖 5-19 左圖是 Matching Test 的題目，右圖是原影片的畫面 (含正確答案)。

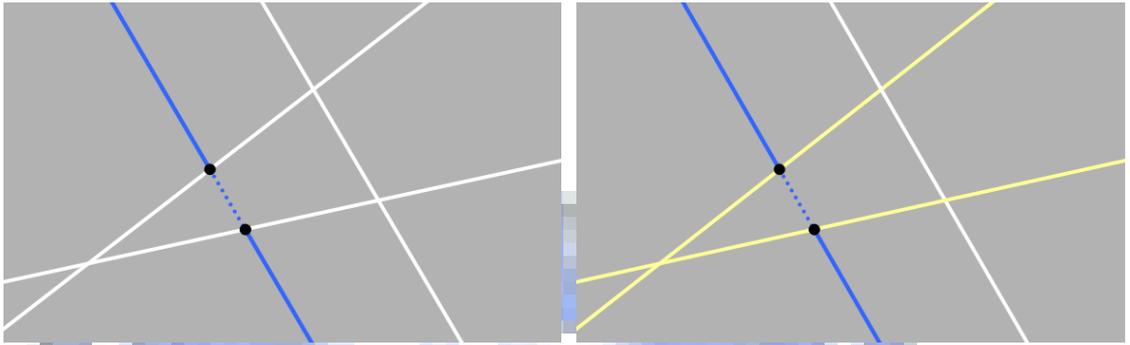


圖 5-19 Matching Test 4 的關鍵圖形與解答（投影片 7）

Matching Test 第五題是檢測第 6 張投影片的內容，這個問題是想了解原先設計在中間圖片上協助對照上下圖形的適性指標是否能增進位置相關的記憶，其問題與解答如圖 5-20 所示。

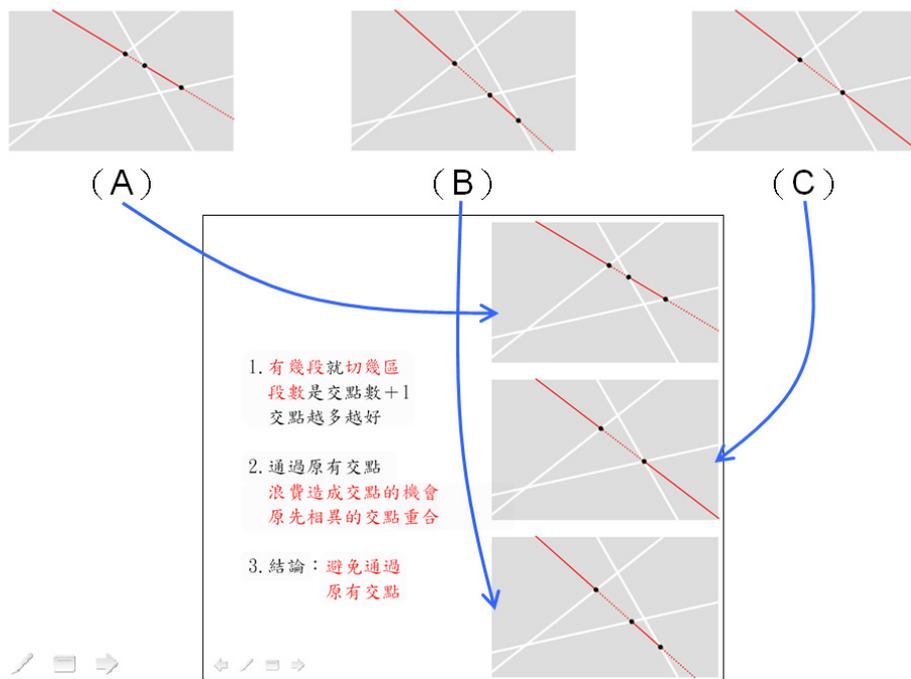


圖 5-20 Matching Test 5 的關鍵圖形與解答（投影片 6）

Matching Test 第六題是檢測第 14 張投影片的內容，這個問題希望能初步了解 Mayer 等人所提出的靜態指標 (signal) (Mautone & Mayer, 2001)與適性指標是否在效能可能有差異。題目請受測者標示出表格中的五個藍色指標，其問題與解答如所示。

n	切割 線段	切割 區域	區域 總數
0	0	0	1
1	1	1	2
2	2	2	4
3	3	3	7
4	4	4	11
n	n	n	1+ 1+...+n

圖 5-21 Matching Test 6 的關鍵圖形與解答（投影片 14）

Matching Test 平均正確率如表 5-6，Independent Samples T-test 如

表 5-7。

表 5-6 Matching Test 的平均正確率統計表

組別	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	
Matching 1	實驗組	34	.7086	.23018	.03948
	控制組	35	.5351	.28729	.04856
Matching 2	實驗組	34	.6667	.47140	.08085
	控制組	35	.1238	.25675	.04340
Matching 3	實驗組	34	.7294	.24560	.04212
	控制組	35	.4571	.31369	.05302
Matching 4	實驗組	34	.6471	.48507	.08319
	控制組	35	.4857	.49238	.08323
Matching 5	實驗組	34	.7255	.41415	.07103
	控制組	35	.4476	.49799	.08418
Matching 6	實驗組	34	.6059	.44988	.07715
	控制組	35	.3543	.47051	.07953

表 5-7 Matching Test 之 Independent Samples T-test 分析表

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
									Lower	Upper
Matching 1	Equal variances assumed	.506	.479	2.763	67	.007	.17349	.06278	.04818	.29881
	Equal variances not assumed			2.772	64.682	.007	.17349	.06258	.04850	.29849
Matching 2	Equal variances assumed	34.281	.000	5.964	67	.000	.54286	.09103	.36116	.72455
	Equal variances not assumed			5.916	50.675	.000	.54286	.09176	.35862	.72710
Matching 3	Equal variances assumed	3.980	.050	4.006	67	.000	.27227	.06796	.13663	.40791
	Equal variances not assumed			4.021	64.136	.000	.27227	.06772	.13699	.40754
Matching 4	Equal variances assumed	.234	.630	1.371	67	.175	.16134	.11770	-.07359	.39627
	Equal variances not assumed			1.371	66.986	.175	.16134	.11767	-.07353	.39622
Matching 5	Equal variances assumed	13.360	.001	2.516	67	.014	.27787	.11043	.05745	.49830
	Equal variances not assumed			2.523	65.461	.014	.27787	.11014	.05794	.49780
Matching 6	Equal variances assumed	.727	.397	2.269	67	.026	.25160	.11088	.03028	.47291
	Equal variances not assumed			2.271	66.984	.026	.25160	.11080	.03043	.47276

Matching 1 的 Levene's $p = 0.479 > 0.05$ ，採用 Equal variances assumed 的 t 值，即 $t = 2.763$ ， $df = 67$ ， $p = 0.0035$ （本實驗是單側考驗，所以 $p = 0.007 \div 2$ ）。因 $p = 0.0035 < 0.05$ 顯示實驗組與控制組的差異達顯著，實驗組平均正確率 70.86% 大於控制組 53.51。

Matching 2 的 Levene's $p = 0.000 \leq 0.05$ ，採用 Equal variances not assumed 的 t 值，亦即即 $t = 5.916$ ， $df = 50.675$ ， $p = 0.000$ （單側考驗 $p = 0.000 \div 2$ ）， $p = 0.000 < 0.05$ 顯示實驗組與控制組的差異達顯著，實驗組的平均正確率 66.67% 大於控制組 12.38%。

Matching 3 的 Levene's $p = 0.050 \leq 0.05$ ，採用 Equal variances not assumed 的 t 值，亦即即 $t = 4.021$ ， $df = 64.136$ ， $p = 0.007$ （單側考驗 $p = 0.014 \div 2$ ）， $p = 0.007 < 0.05$ 顯示實驗組與控制組的差異達顯著，實驗組的平均正確率 72.94% 大於控制組 45.71%。

Matching 4 的 Levene's $p = 0.630 > 0.05$ ，採用 Equal variances assumed 的 t 值，亦即即 $t = 1.371$ ， $df = 66.986$ ， $p = 0.0875$ （單側考驗 $p = 0.175 \div 2$ ）， $p = 0.0875 > 0.05$ 顯示實驗組與控制組的差異未達顯著。Matching 4 實驗組平均正確率 64.71% 仍大於控制組 48.57%，是

Matching Test 中唯一實驗組與控制組差異未達顯著的題目。

Matching 5 的 Levene's $p = 0.001 \leq 0.05$ ，採用 Equal variances not assumed 的 t 值，亦即即 $t = 2.523$ ， $df = 65.461$ ， $p = 0.000$ （單側考驗 $p = 0.000 \div 2$ ）， $p = 0.000 < 0.05$ 顯示實驗組與控制組的差異達顯著，實驗組的平均正確率 72.55% 大於控制組 44.76%。

Matching 6 的 Levene's $p = 0.397 > 0.05$ ，採用 Equal variances assumed 的 t 值，亦即即 $t = 2.269$ ， $df = 67$ ， $p = 0.013$ （單側考驗 $p = 0.026 \div 2$ ）， $p = 0.013 < 0.05$ 顯示實驗組與控制組的差異達顯著，實驗組的平均正確率 60.59% 大於控制組 35.43%。

Matching Test 的 One-Way ANOVA 分析如表 5-8，每一個題目的 F 值都大於 1，所以皆可以進一步觀察 P 值。其中僅有 Matching 4 之 $F(1, 67) = 1.879 > 1$ ， $p = 0.175 > 0.05$ 未達顯著差異。

表 5-8 Matching Test 之 One-Way ANOVA 分析表

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Matching 1	Between Groups	.519	1	.519	7.636	.007
	Within Groups	4.555	67	.068		
	Total	5.074	68			
Matching 2	Between Groups	5.082	1	5.082	35.565	.000
	Within Groups	9.575	67	.143		
	Total	14.657	68			
Matching 3	Between Groups	1.278	1	1.278	16.052	.000
	Within Groups	5.336	67	.080		
	Total	6.615	68			
Matching 4	Between Groups	.449	1	.449	1.879	.175
	Within Groups	16.008	67	.239		
	Total	16.457	68			
Matching 5	Between Groups	1.332	1	1.332	6.331	.014
	Within Groups	14.092	67	.210		
	Total	15.424	68			
Matching 6	Between Groups	1.092	1	1.092	5.149	.026
	Within Groups	14.206	67	.212		
	Total	15.297	68			

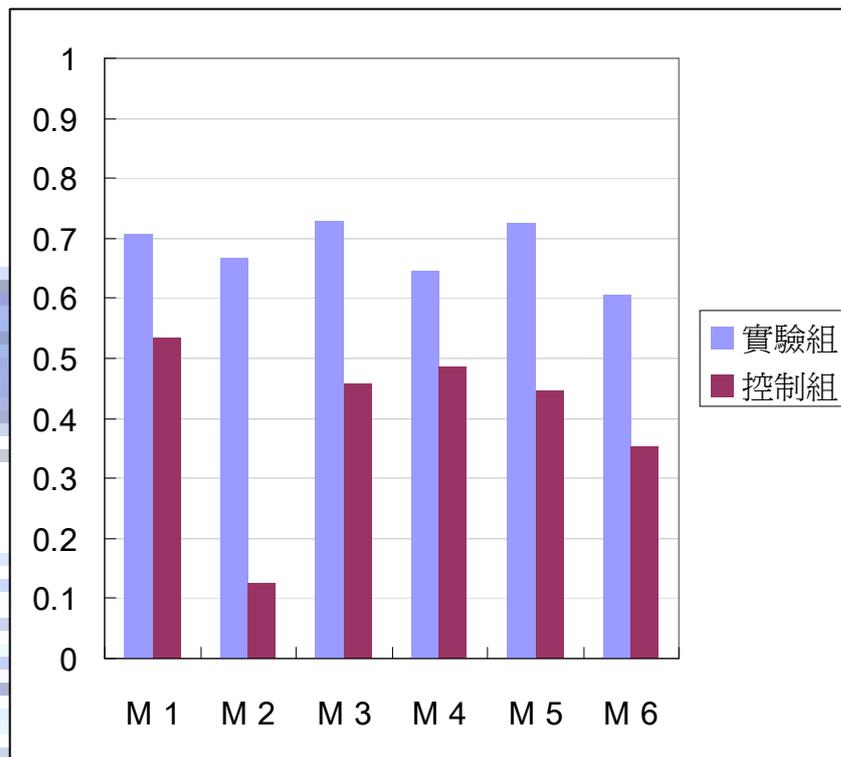


圖 5-22 Matching Test 正確率長條圖

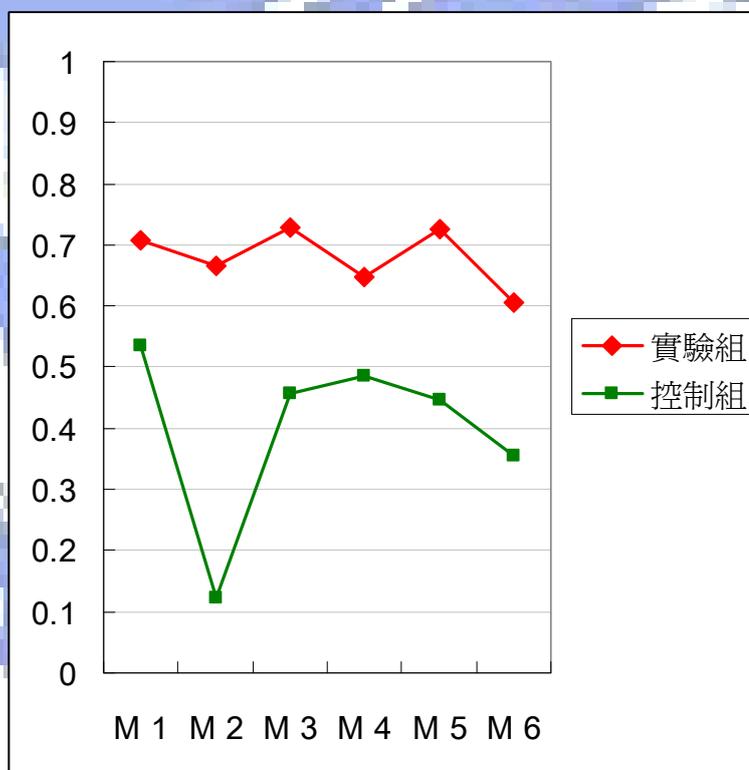


圖 5-23 Matching Test 正確率折線圖

由以上的分析，Matching Test 的實驗結果支持「課堂授課的多媒體教材具有適當設計的適性指標會比沒有適性指標提供更好的學習效果」的假設，對於 Matching 4 為什麼沒有明顯的效果，我們將會在後面加以討論。

三、Transfer Test

Transfer Test 包含四個在實驗投影片沒有出現過的問題，四個問題皆無法僅靠「回憶投影片內容」就得到答案。Transfer Test 之題目與其涉及的數學觀念如表 5-9。

表 5-9 Transfer Test 之題目與其涉及的數學觀念分析表

題目	涉及的數學觀念
1. 平面上 5 條直線最多可以將此平面分成幾個區域？	n 條直線最多可把平面分割成 $1 + \frac{(1+n) \times n}{2}$ 個區域 (投影片 9~14)。
2. n 條直線可以將平面分割成 11 個區域，請問 n 最少等於多少？	n 條直線最多可把平面分割成 $1 + \frac{(1+n) \times n}{2}$ 個區域 (投影片 9~14)。
3. n 條直線可以將平面分割成 11 個區域，請問 n 最多等於多少？	新增直線避免通過原有交點。 (投影片 2~6、8) 新增直線避免平行於原有直線。 (投影片 7、8)
4. 平面上有 9 條直線，任意三線不共交點，且兩兩互不平行。已知第 10 條線和此 9 條線皆不平行，而且第 10 條線和此 9 條線僅有 6 個交點。請問，第 10 條線通過幾個由前 9 條線所形成的交點	新增直線避免通過原有交點。 (投影片 3~8)

Transfer Test 要了解的是「Problem solving transfer」的效能，由於我們需要觀察授課前後的差異，因此 Transfer Test 進行了前測與後測。在實驗設計上除了「問題不能僅靠回憶就得到答案」，另一個重點是「如何計算成績？」。進一步的問題是：「我們應該測量的是什麼？」。上述問題涉及「類比遷移」(analogical transfer)、「基模理論」(schema theory) 與「認知負荷理論」(cognitive load theory, CLT)。1987 年，Cooper

與 Sweller 發表了「數學問題解決遷移 (Mathematical Problem-Solving Transfer)」的研究，認為「問題關聯性的感知 (awareness of problem relation)」、「基模習得」(schema acquisition) 以及「法則自動化」(rule automation) 是三個影響數學問題解決遷移的重要因素 (Cooper & Sweller, 1987)。為了說明本實驗 Transfer Test 的計分方式以及其依據的理論，以下我們對此三個因素作進一步的探討。

1. 問題關聯性的感知

Gick 與 Holyoak 曾對「基模歸納」(schema induction) 與「類比遷移」做了一系列的研究。在他們的實驗中，一個著名的問題 (Duncker's radiation problem) 被作為目標問題。在受測者被詢問「目標問題」(target problem) 之前，會先閱讀兩個小故事，並且這兩個小故事其中一個所描述的問題與目標問題非常類似，小故事並說明了問題解決的方法。不過，受測者並未被告知其中一個小故事是類似的問題，反而是被告知在閱讀小故事之後要進行故事內容的理解測驗。結果發現，雖然小故事與目標問題非常類似，但是大約只有 20% 的受測者能做出正確的解答 (Gick & Holyoak, 1983)。這個結果頗令人驚訝，因為在之前同樣是 Duncker's radiation problem 的研究中，Gick 與 Holyoak 直接告訴受測者小故事與目標問題的解法有關，結果有 75% 的受測者能以類比遷移的理解方式得到正確的答案 (控制組未閱讀類似的小故事，結果只有不到 10% 的受測者答對) (Gick & Holyoak, 1980)。這兩個實驗證實了「問題關聯性的感知」(感受到提示問題與目標問題的相關性) 是影響類比遷移效能的重要因素。

除了提示之外，另一個影響問題關聯性感知的因素是「問題之間的相似性」。Cooper 與 Sweller 的實驗發現，測驗的問題若與原始習得的問題 (initial acquisition problems) 很相似，Problem-Solving Transfer 的效果就會相當明顯 (Cooper & Sweller, 1987)。

回到本實驗的 Transfer Test，由於實驗組與控制組事先皆被告知在教學演示之後會有與教學內容相關的測驗，因此兩組在「提示」的因素上是平等的。另外，由於 Transfer Test 的第一、二題與第 14 張投影片所呈現的公式有直接的關係，亦即「原始習得的問題」與測驗問題非常相似，所以我們做以下的猜測：Transfer Test 的第一、二題不論是實驗組或是控制組都會有較明顯的教學效果。

2. 基模習得與法則自動化

Gick 與 Holyoak 的研究除了發現「問題關聯性的感知」是影響類比遷移的重要因素，還發現了「受測者歸納形成的基模品質越好，則此受測者利用此基模以類比遷移的方式解決其他相關問題的效能就越好」，並且多重類比對「基模歸納」的效果會優於單一類比(Gick & Holyoak, 1983)。此外，在 Cooper 與 Sweller 的實驗也發現，若給予受測者較長的「基模習得 (schema acquisition)」時間，Problem-Solving Transfer 的效果越好(Cooper & Sweller, 1987)。以上兩個實驗皆支持「基模的品質」是影響類比遷移效能的重要因素。

「法則自動化 (rule automation)」在後續的研究中被稱為「基模自動化 (schema automation)」(Sweller *et al.*, 1998)，基模自動化的功能是降低工作記憶區的負荷，以利認知資源能夠更適當的配置，而不花費太多資源在已知為合理步驟的細節上(Cooper & Sweller, 1987)。在本實驗的 Transfer Test 中，最明顯的法則自動化就是採用公式來計算 n 條直線最多能將平面分成幾個區域，而非使用原始圖解的方式。在 Cooper 與 Sweller 的實驗也確認了基模自動化能增進 Problem-Solving Transfer 的效能(Cooper & Sweller, 1987)

回到本實驗的 Transfer Test，由於實驗組與控制組觀看投影片的時間相同，所以基模習得時間並沒有差異。因此，觀察的重點應該放在「評估實驗組與控制組受測者在教學活動前後基模的品質」，如此即可初步調查適性指標是否會對基模的品質有幫助。由於數學試題可能因為計算錯誤而答錯，而計算錯誤時採用的觀念可能是完全正確的，因此，以試題答案的正確與否來評估 Transfer Test 的分數並不理想，我們應試圖尋找更能突顯「基模品質」以及「基模自動化」的計分方法。

由於「回憶正確率」是一個在類比遷移相關實驗上已被採用的方法(林靜雯 & 邱美虹, 2005)，再加上本實驗之實驗組與受測組 Transfer Test 作答時間相同，故本實驗測量每一位受測者在測驗中「回憶之正確次數」，觀察受測者在 Transfer Test 各題中是否有辦法回憶到與此問題相關的實驗投影片數學概念，如果計算過程中有呈現出相關的算式或是圖形（後面會詳細說明），則得一分。此外，每題只有一分，因為我們關注的是受測者在不同題目下類比遷移的成功率，而不是同一個題目已經成功的引發類比遷移後所能夠回憶出相關數學概念的總數。

3. 計分標準

以下逐題說明各種被判定為是正確的答案以及計分標準。

1. 平面上 5 條直線最多可以將此平面分成幾個區域？

算式型答案： $1 + \frac{(1+5) \times 5}{2} = 16$

作圖型答案：（意義相同即可，圖形畫對區域數數錯者算對）

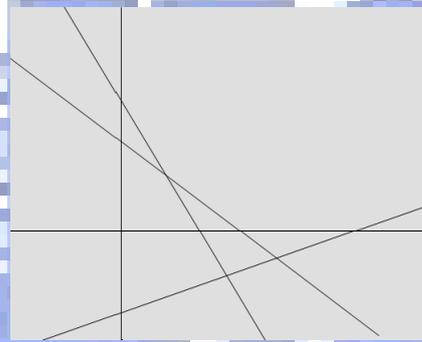


圖 5-24 Transfer Test 1 作圖型答案

正確答案：16個

2. n 條直線可以將平面分割成 11 個區域，請問 n 最少等於多少？

算式型答案： $1 + \frac{(1+n) \times n}{2} = 11, n = 4$

作圖型答案：（意義相同即可，圖形畫對而計算錯誤者算對）

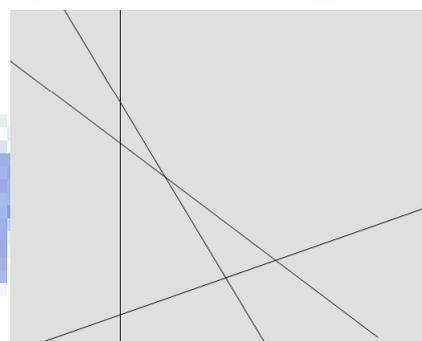


圖 5-25 Transfer Test 2 作圖型答案

正確答案： $n = 4$

3. n 條直線可以將平面分割成 11 個區域，請問 n 最多等於多少？

作圖型答案：意義相同即可，算錯或是圖形之總線數9~11條者算對



圖 5-26 Transfer Test 3 作圖型答案

正確答案： $n = 10$

4. 平面上有 9 條直線，任意三線不共交點，且兩兩互不平行。已知第 10 條線和此 9 條線皆不平行，而且第 10 條線和此 9 條線僅有 6 個交點。請問，第 10 條線通過幾個由前 9 條線所形成的交點？

算式型答案： $9 - 6 = 3$

作圖型答案：（意義相同即可，計算錯誤者算對）

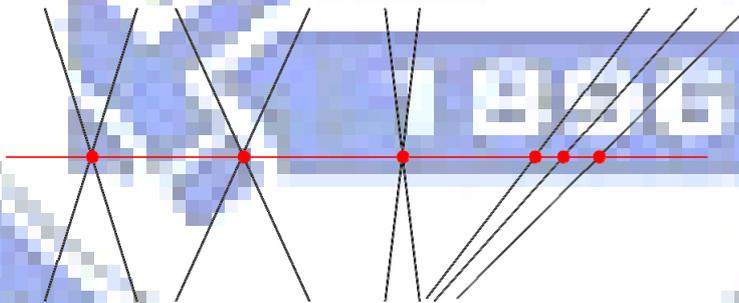


圖 5-27 Transfer Test 4 作圖型答案

正確答案：3 個

4. 結果分析

首先，我們分析實驗組與控制組的前測總分（Transfer Before）與

後測總分 (Transfer After)，如表 5-10。

表 5-10 實驗組與控制組前測總分平均與後測總分平均分析表

組別	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
Transfer Before 實驗組	34	.5588	.89413	.15334
Transfer Before 控制組	35	.8286	1.01419	.17143
Transfer After 實驗組	34	2.0000	1.20605	.20684
Transfer After 控制組	35	1.8857	1.27813	.21604

表 5-11 實驗組與控制組前測總分與後測總分 Independent Samples T-test 分析表

	Levene's Test for Equality of Variances	t-test for Equality of Means								
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
									Lower	Upper
Transfer Before	Equal variances assumed	1.060	.307	-1.17	67	.246	-.26975	.23043	-.7297	.19019
	Equal variances not assumed			-1.17	66.4	.245	-.26975	.23000	-.7289	.18942
Transfer After	Equal variances assumed	.940	.336	.382	67	.704	.11429	.29935	-.4832	.71178
	Equal variances not assumed			.382	66.9	.704	.11429	.29909	-.4827	.71128

觀察實驗組與控制組的前測與後測總分之平均，我們可以發現，實驗組的前測平均 0.5588 小於控制組 0.8286，而實驗組的後測平均 2.0000 大於控制組的 1.8857。兩組在實驗投影片教學後回憶相關數學概念的正確率皆提高，並且實驗組平均分數提高 1.4412；控制組平均分數提高 1.0571。從平均分數的觀點來看，實驗組比控制組進步較多。不過，分析 Independent Samples T-test 之後，不論前測或後測兩組間皆未達顯著差異。Transfer Before Leven's $p > 0.05$ ，採用 Equal variances assumed 的 t 值，亦即即 $t = -1.17$ ， $df = 67$ ， $p = 0.123$ （單側考驗 $p = 0.246 \div 2$ ）， $p = 0.123 \geq 0.05$ 顯示實驗組與控制組的差異未達顯著。Transfer After Leven's $p > 0.05$ ，採用 Equal variances assumed 的 t 值，亦即 $t = 0.382$ ， $df = 67$ ， $p = 0.352$ （單側考驗 $p = 0.704 \div 2$ ）， $p = 0.352 \geq 0.05$ 顯示實驗組與控制組的差異未達顯著。

爲了進一步分析實驗組與控制組在實驗投影片教學後各題答案正確率的變化，我們將兩組資料分開來，各自分析其每一題前測與後測之 Paired Samples T-test，這種分析方式可用來了解兩組受測者各自受實驗條件影響的程度（experimental conditions）（鄒永裕 & 王美芬，

2006; 劉佳觀 *et al.*, 2003)。實驗組與控制組前測與後測之 Paired Samples T-test 如表 5-12 與表 5-13 所示，兩表中平均值差異為負值是因為 SPSS 計算時是將前測平均減去後測平均。

表 5-12 實驗組各題前測與後測之 paired samples t-test 分析表

		Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
					Lower	Upper			
Pair 1	Transfer 1 Before - Transfer 1 After	-.55882	.56091	.09619	-.75453	-.36311	-5.809	33	.000
Pair 2	Transfer 2 Before - Transfer 2 After	-.64706	.48507	.08319	-.81631	-.47781	-7.778	33	.000
Pair 3	Transfer 3 Before - Transfer 3 After	-.08824	.57036	.09782	-.28724	.11077	-.902	33	.374
Pair 4	Transfer 4 Before - Transfer 4 After	-.14706	.35949	.06165	-.27249	-.02163	-2.385	33	.023
Pair 5	Transfer Before - Transfer After	-1.44118	1.21084	.20766	-1.86366	-1.01869	-6.940	33	.000

表 5-13 控制組各題前測與後測之 paired samples t-test 分析表

		Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
					Lower	Upper			
Pair 1	Transfer 1 Before - Transfer 1 After	-.45714	.50543	.08543	-.63077	-.28352	-5.35	34	.000
Pair 2	Transfer 2 Before - Transfer 2 After	-.45714	.56061	.09476	-.64972	-.26457	-4.82	34	.000
Pair 3	Transfer 3 Before - Transfer 3 After	-.05714	.48159	.08140	-.22258	.10829	-.702	34	.487
Pair 4	Transfer 4 Before - Transfer 4 After	-.08571	.37349	.06313	-.21401	.04258	-1.36	34	.183
Pair 5	Transfer Before - Transfer After	-1.05714	1.08310	.18308	-1.42920	-.68508	-5.77	34	.000

首先觀察兩表之 Pair 5(分析每個受測者前測 4 題成績總合與後測 4 題成績總合之 paired samples t-test)，我們可以發現不論是實驗組或是控制組，「實驗投影片教學」皆可讓前測與後測產生顯著的差異。在實驗組中， $t = -6.940$ ， $df = 33$ ， $p = 0.000 < 0.05$ ，後測成績較前測成績平均高 1.44118 分；在控制組中， $t = -5.77$ ， $df = 34$ ， $p = 0.000 < 0.05$ ，後測成績較前測成績平均高 1.05714 分。這符合我們之前的討論，因為 Transfer Test 涉及的是 Mathematical Problem-Solving Transfer 的相關因素，受測者不會因為教材缺乏適性指標的設計就喪失了類比遷移能力。

我們曾在「問題關聯性的感知」小節中作一猜測：「Transfer Test 的第一、二題不論是實驗組或是控制組都會有較明顯的教學效果」。

實驗數據支持這一項猜測，從實驗組與控制組的 Pair 1 與 Pair 2 我們可以發現，第一題與第二題在前測與後測的差異都達到顯著，兩者的 p 值都是 $p = 0.000 < 0.05$ 。這樣的結果和 Cooper 與 Sweller 的研究一致，測驗的問題若與原始習得的問題很相似，Problem-Solving Transfer 的效果就會相當明顯(Cooper & Sweller, 1987)，此亦間接支持本實驗對 Transfer Test 計分方式的合理性。

觀察兩表之 Pair 3，Transfer Test 第三題在實驗組與控制組前後測差異皆未達顯著，這表示實驗投影片教學對 Transfer Test 第三題幫助不明顯，我們會再後面討論此一議題。

從上面的資料我們無法觀察到「適性指標」對 Problem-Solving Transfer 有明顯的效果。然而，這個狀況在 Pair 4 發生了值得注意的改變。實驗組 Pair 4 的 $t = -2.385$ ， $df = 33$ ， $p = 0.023 < 0.05$ 雙側考驗，後測成績較前測成績平均高 0.14706 分且差異達顯著；在控制組中， $t = -1.36$ ， $df = 34$ ， $p = 0.183 \geq 0.05$ ，後測成績較前測成績平均高 0.08571 分但差異未達顯著，這表示適性指標的設計對 Transfer Test 第四題有較明顯的效果。Transfer Test 前後測平均分數分組對照圖如圖 5-28，Transfer Test 前後測平均進步分數分組對照圖如圖 5-29。

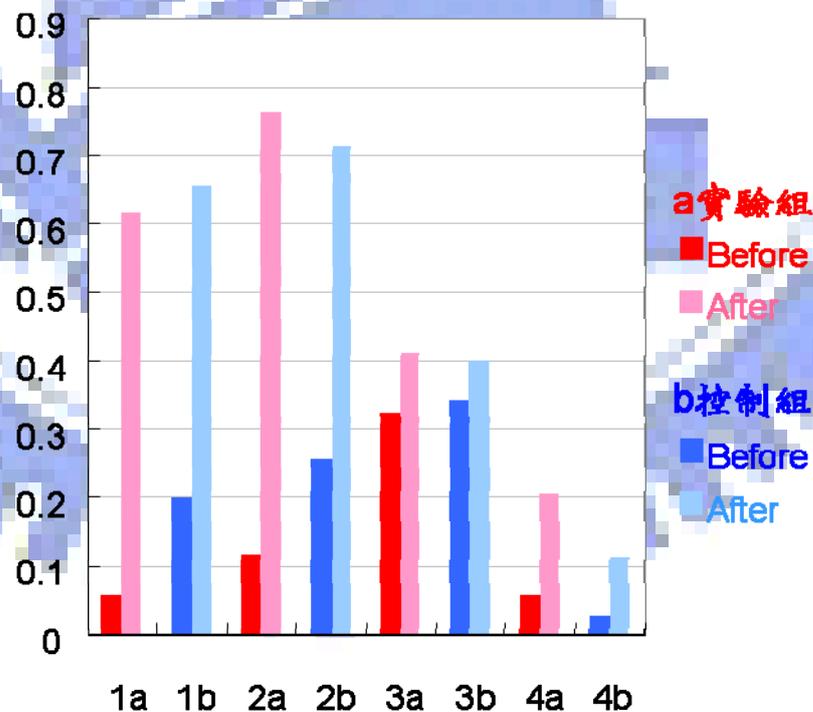


圖 5-28 Transfer Test 前後測平均分數分組對照圖

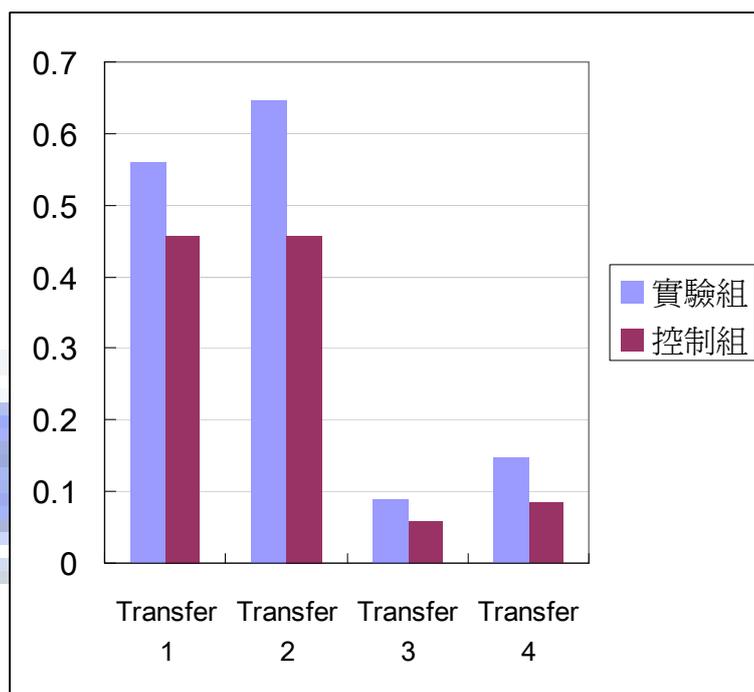


圖 5-29 Transfer Test 前後測平均進步分數分組對照圖

我們可以觀察到 Transfer Test 是以實驗組的進步效果較佳，這樣的結果與 Retention Test、Matching Test 的結果一致。初步上 Transfer Test 亦是支持「課堂授課的多媒體教材具有適當設計的適性指標會比沒有適性指標提供更好的學習效果」的假設。不過，為什麼適性指標的設計僅對 Transfer Test 第四題效果明顯，而對其他的題目效果卻不顯著呢？這涉及了 active learning theory 的相關研究。

Robins 與 Mayer 在 1993 年發表了「基模訓練 (schema training)」與「類比推理 (analogical reasoning)」的研究，他們發現關聯式基模 (relational schema) 的形成有兩個重要的條件：(Robins & Mayer, 1993)

- (1) 結構化的關聯 (schematic relations) 在學習者的面前被突顯出來；
- (2) 學習者必須有足夠的認知資源 (cognitive resource) 去處理這個被突顯的關聯。

在 Robins 與 Mayer 的研究中，他們以「題型分類」與「明確指引」的方式強化 schematic relations 的突顯性，並且利用加底線與粗黑體的字型效果讓受測者能很快的看到目標文字，藉此降低受測者的認知負荷。這種視覺效果的操作和適性指標的功能非常接近，適性指標甚至能適性化的以由下而上的方式引導注意力（例如 new object onset 或是

motion onset, 詳見第四章), 因此適性指標的設計理念本來就符合 active learning 所要求的條件 (2)。不過, active learning 的理論指出, 基模的形成與條件 (1)(2) 都有關係, 僅符合其中一個條件是不夠的 (Robins & Mayer, 1993)。這讓我們進一步的思考, 是不是實驗組某一張具有適性指標的投影片能有效突顯出解決 Transfer Test 4 所需要的 schematic relations, 而控制組卻因沒有適性指標而無此突顯效果?

Matching Test 的結果提供了我們重要的線索。在 Matching Test 2 中, 受測者被要求在正確的位置寫下原有白線編號, 這一題的測驗結果在實驗組與控制組出現相當大的差異 (顯著程度 p 值等於 0.000), 從圖 5-30 可以發現 Matching Test 2 是實驗組與控制組得分差異最大的一題。

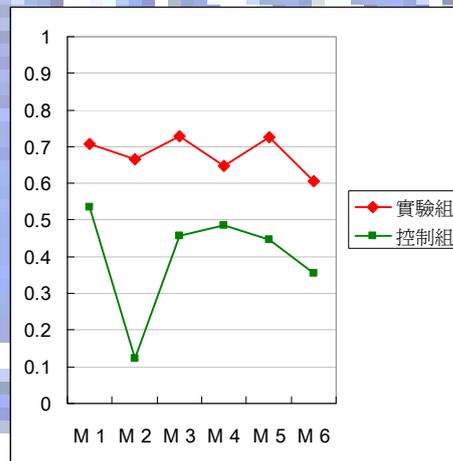


圖 5-30 Matching Test 結果回顧圖

Matching Test 2 的關鍵是第 8 張投影片。在這張投影片中, 適性指標的設計應該能夠非常明確的突顯新增直線與原有直線相交所涉及的 schematic relations, 並且這個推測可以從實驗組能有效回答標號及其所在位置而得到支持。以上的推論說明了適性指標有可能協助突顯「結構化的關聯 (schematic relations)」(如圖 5-31)。此外, 另一個與 Transfer Test 4 有關的是第 4 張投影片。在此投影片中實驗組的同學可以很明確的看到通過原有交點時, 新增直線會減少一個形成交點的機會, 這很可能也有助於相關 schematic relations 的突顯 (如圖 5-32), 這個推論則和 Transfer Test 4 的實驗結果一致 (Transfer Test 4 關注的是新增直線與通過幾個原有直線的交點)。

由上面的討論, 我們可以初步推測第 4 張與第 8 張投影片很可能

同時具有 active learning 的 (1) 與 (2) 兩個條件，亦即適性指標有可能協助突顯 schematic relations。依照 active learning theory，這一類的適性指標可以協助「基模歸納 (schema induction)」並且有利於「類比推理 (analogical reasoning)」。上述為實驗者依目前線索所提出的建議，因本研究為初探研究，進一步的證據需要後續更深入的實驗加以確認。

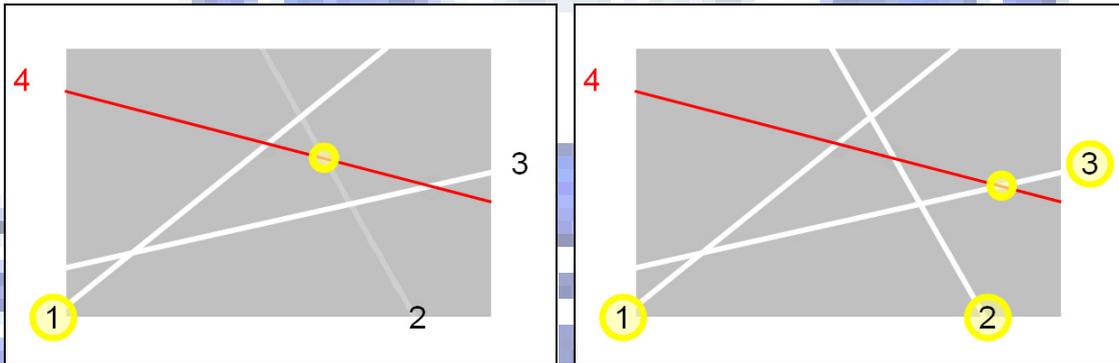


圖 5-31 適性指標有可能協助突顯 schematic relations

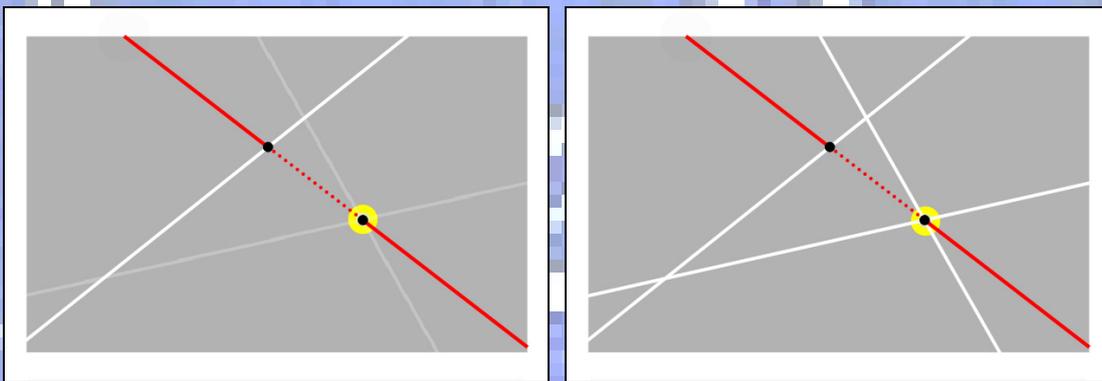


圖 5-32 通過原有交點時新增直線會減少一個形成交點的機會

四、綜合討論

Retention Test、Matching Test 以及 Transfer Test 的實驗數據皆符合實驗的假設：「課堂授課的多媒體教材具有適當設計的適性指標會比沒有適性指標提供更好的學習效果」。不過，適性指標在 Transfer Test 所得到的效果較不顯著，這表示 Mathematical Problem-Solving Transfer 涉及的因素廣泛，適性指標僅是其中一個需要考慮的因素。

本實驗的結果除了對適性指標的有效性初步加以驗證，並且符合 active learning theory 以及相關的視覺認知理論。列舉如下：

1. Transfer Test 1 與 2 前後測具有顯著差異符合 Cooper 與 Sweller 所發現的「測驗的問題若與原始習得的問題很相似，Problem-Solving Transfer 的效果就會相當明顯」。(Cooper & Sweller, 1987)

2. Transfer Test 4 的前後測具有顯著差異符合 Robins 與 Mayer 關於 active learning 的研究與理論(Robins & Mayer, 1993)

3. Retention Test 3 實驗組與控制組具有顯著差異符合格式塔原理之連接法則 (Connectedness) 。

4. Matching Test 實驗組明顯優於控制組，符合各種基本視覺特徵能夠吸引注意力的視覺認知理論。

5. Matching Test 1 以及 3 實驗組明顯優於控制組（實驗組標示淡紅色區域與淡灰色區域的正確率較高），符合 visual marking 以及 Contingent Involuntary Orienting Hypothesis 理論。

6. Matching Test 6 實驗組明顯優於控制組，表示適性指標在這個項目的效果明顯優於原始的 Signaling Principle 所使用的強調方式。

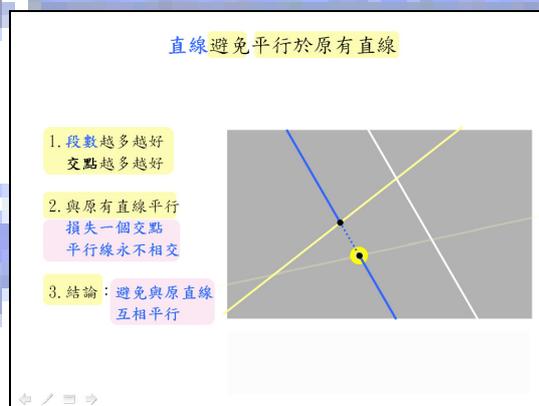


圖 5-33 效果不顯著的第 7 張投影片

另一方面，Retention 2，Matching 4 以及 Transfer 3 實驗組優於控

制組的效果並不顯著。一個值得關注的因素是，這三個問題都涉及了第 7 張投影片（如圖 5-33），是不是這一張投影片的設計有問題呢？

投影片 7 確實有設計不當之處，因為其黃色圓形移動指標（new motion onset）移動速度為「很快」，並且其兩條原有白色直線的「抖動」（MOTION-Jitter motion）與「瞬變」（MOTION-transient）指標在接續黃色圓形移動指標時並沒有設定「延遲」，這造成了 new motion onset 和 Jitter motion 以及 transient 互相干擾，並且符合 Christ 與 Abrams (Christ & Abrams, 2006) 的研究。如果剛好不小心，甚至可能造成改變盲（change blindness）效應——只有受測者認為較重要或是有意義的視覺訊息才能通過選擇性瓶頸（selective bottleneck）。相較之下，第 8 張投影片黃色圓形移動指標移動速度為「快」，並且在 new motion onset 以及 new object onset 之間都有 0.5 秒的延遲時間，效果明顯較好。

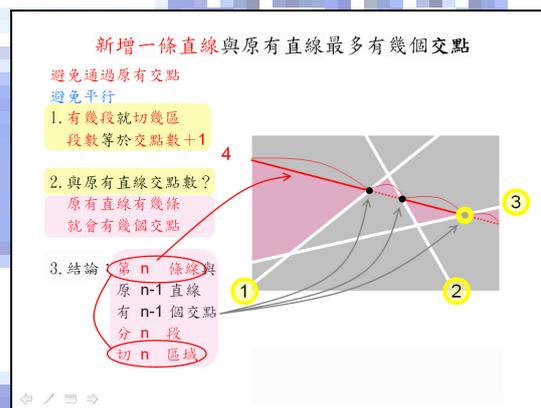


圖 5-34 造成實驗組與控制組在 Matching Test 2 得分發生顯著差異的投影片 8

投影片 7 對於 Matching 4 還有一個不利的因素，就是當黃色圓形移動指標通過原有白色直線時，使用「顏色瞬變」（transient，由白色變成淡黃色）的方式來標示已被通過的直線。然而，顏色瞬變已經被證實吸引注意力的效果並不明顯(Lambert et al., 2003; Theeuwes, 1995)。另外，從明度的角度來看，原有直線從白色變成淡黃色並沒有顯著的明度差異，這也違反了明度瞬變時「明度差異越大搜尋效能越佳」的原則(Theeuwes, 1995)。

另一個關鍵因素是投影片 7 的基模習得（schema acquisition）時間太少。在整個實驗投影片中，僅有這一張投影片專門論述「新增直線避免平行於原有直線」，相形之下，關於「新增直線避免通過原有交點」的投影片就多達四張。Cooper 與 Sweller 認為給予受測者較長的「基模

習得 (schema acquisition)」時間，Problem-Solving Transfer 的效果越好 (Cooper & Sweller, 1987)。由此可見，Retention 2，Matching 4 以及 Transfer 3 效果不佳其實符合了 Cooper 與 Sweller 的理論。

從投影片 7 效果不佳的檢討與實驗數據的分析，我們得到一個本實驗有趣的結果：「投影片設計不佳時，可能同時影響與此題相關的 Retention Test、Matching Test 以及 Transfer Test 的結果」。這提供了一種診斷「投影片設計是否有問題」的可能途徑。亦即當一份投影片經過 Retention Test、Matching Test 以及 Transfer Test 的測試後，若三種測驗的成績一致指出某個觀念的學習效果不佳，則與此觀念有關的投影片很可能存在設計上的問題。這是依照本實驗所得數據的推測，此檢定方式的有效性仍有待後續進一步的研究。

此外，基於視覺認知理論與本實驗的結果，我們提出一個猜測：「適當設計下，適性指標可能可以突顯結構化關聯 (schematic relations)，協助基模的形成」。雖然此猜測仍有待進一步的驗證，我們在此提出是因為本實驗確實發現了這種案例，並且這樣的例子很可能是多樣化的，不會只有一種型態而已。

綜合對本實驗的檢討，我們認為後續的研究 Transfer Test 在設計上難度不宜過高，才能更有效的觀察實驗組與控制組的差異。並且在 Transfer Test 的題目可針對個別的 schematic relations 來設計，如此才能進一步驗證適性指標是否能突顯 schematic relations，以及找出影響突顯效果的各種可能因素。



第六章 結論

本研究包含「文獻研究」與「實驗研究」兩個部份，文獻研究的重點是探討「適性指標在視覺認知科學的理論基礎」以及「適性指標視覺特徵之設計原則」；而實驗研究的重點則是提供適性指標有助於學習效果的初步實驗證據。

第一節 適性指標在視覺認知科學的理論基礎

適性指標是一種視覺物件，需要在視覺認知科學上得到相關的支持。本研究主要從兩個角度來探討：1. 視覺搜尋理論；2. 基本視覺特徵的實驗證據。

一、視覺搜尋理論的支持

1. 特徵整合理論

Treisman 的特徵整合理論 (Feature Integration Theory) (Treisman & Gelade, 1980) 認為目標物與干擾物若在某個視覺特徵有明顯的差異，搜尋速度會非常快，並且不受干擾物數量的影響，這種搜尋稱為特徵搜尋，也是適性指標能有效指引的重要基礎。

2. 引導搜尋理論

物件被選取並通過選擇性瓶頸的歷程是前注意處理歷程所提取的「引導表徵」(guiding representation) 所控制，引導表徵是物件能否被「選取」的控制訊號 (J. M. Wolfe, 2006; Jeremy M. Wolfe *et al.*, 1989)。若我們要注意一段文字中色彩為紅色的單字，此時引導表徵就是「單字的顏色是紅色」。知覺系統從刺激物的各種視覺特徵中選取「顏色」

這個基本視覺特徵當作引導表徵，緊接著「紅色」特徵吸引注意力集中到目標物所在的位置，然後在此位置的目標物進而被注意力選取通過選擇性瓶頸(Shih & Sperling, 1996)。這個「確認引導表徵」－「引導注意力到物件所在位置」－「選取物件並通過選擇性瓶頸」的程序就是適性指標的運作方式，這也讓適性指標的運作機制有了理論的基礎。

3. 注意力投注理論

注意力投注理論有兩個重要性質：(1) 當 T-N similarity 增加時，搜尋效率降低；(2) 而 N-N similarity 降低時，搜尋效率降低。這兩個性質明確指出適性指標的突顯與引導能力受到周圍視覺物件的影響。有效的適性指標必須要「和周圍物件有顯著的視覺特徵差異」，並且此視覺特徵最好「不要增加畫面內視覺物件的異質性」，若能進一步「強調干擾物的相似性」為最佳(DRIVER *et al.*, 1992; Duncan & Humphreys, 1992; Duncan & Humphreys, 1989; Treisman & Sato, 1990; J. M. Wolfe, 2006; Jeremy M. Wolfe *et al.*, 1989)。一個明顯的例子是明度的應用，如圖 6-1。在 (A) 圖中，雖然左下方矩形所採用的「圓點虛線」是該矩形所獨有，依特徵搜尋理論應該是不錯的設計方式，但是對照 (B) 圖後我們可以發現採用明度通道突顯目標物不會增加畫面內視覺物件的異質性，並且能強調干擾物的相似性，依照注意力投注理論這樣的設計會更理想。適性指標與周圍干擾物的關係對視覺搜尋的影響是由注意力投注理論所支配。

(A)

(B)

圖 6-1 適性指標的設計需符合注意力投注理論

4. 偵測突出目標物

偵測突出目標物的研究關注於目標物偵測效率與顯示畫面大小的關係。其三個假說是：1.單一元素假說（single-element hypothesis）；2.空間整合假說（spatial-integration hypothesis）；3.不規則偵測假說（irregularity-detection hypothesis）(Meinecke & Donk, 2002)。這個理論對於「適性指標在畫面中的位置」以及「適性指標所在畫面的物件總數」有詳細的論述。其重點如下：

- (1) 適性指標若在畫面邊緣，代表視角較大，搜尋適性指標的效能會降低，因此指標應避免出在畫面邊緣。若無法避免時，應該採用採用較強烈與特殊的視覺特徵來符合不規則偵測假說的要求。
- (2) 畫面內物件總數較少時，依照單一元素假說，每個物件的視覺特徵都可較容易被辨認出來。此時適性指標的設計應著重在目標物採用獨特而可突顯的視覺特徵。
- (3) 畫面內物件總數較多時，依照空間整合假說此時適性指標的設計重點是盡量強化干擾物的群化，如此就能增進目標物與干擾物的區隔，進而加快目標物的視覺搜尋。

由上可知，適性指標與畫面內物件總數之間的關係是依據「偵測突出目標物」的相關理論與假說。

5. 樣式知覺

樣式對視覺訊息的「群化」與「關聯」非常重要(Ware, 2004)，而「群化」與「關聯」法則之主要是依據格式塔原理，這是適性指標在建立畫面內物件的關聯性時最重要的理論基礎。

6. 事件相關腦電位研究

事件相關腦電位研究（ERP study）從認知神經科學的角度給予適性指標基礎性的支持(Eimer, 1996; Schubo et al., 2004)，視覺系統對於突出刺激物的反應有生理上的證據，而不僅只是理論的模擬。

二、基本視覺特徵的實驗證據

對於適性指標所使用的基本視覺特徵尋求視覺認知科學的文獻支持可說是本文的重點。我們對於所列舉的視覺特徵逐一加以分類並找出相關的實驗文獻，此外，對於原始實驗設計與結果也詳細的加以報告。這麼做有兩個重要的理由：

- (1) 教材設計所遭遇的狀況是多樣化的，我們必須儘可能蒐集各種特性的視覺特徵才足以應付不同的設計需求。
- (2) 要了解某一視覺特徵的特性與效果最好的方法是研讀原始實驗報告，從原始實驗之畫面設計與結果數據才能充分了解此特徵，也才能更有效的應用在教材設計上。

在此，我們將適性指標基本視覺特徵編碼的架構表列如下，以利呈現整體的概觀。若需要進一步的訊息請參考本文第四章。

1. 形狀特徵 (FORM)

表 6-1 形狀特徵之分類編碼表

特徵分類編碼	說明
1.1.1 FORM-Orientation	目標物與干擾物方向不同
1.1.2 FORM-Length	目標物與干擾物長度不同
1.1.3 FORM-Width	目標物與干擾物寬度不同
1.2 FORM-Size	目標物與干擾物大小不同
1.3 FORM-Curvature	目標物與干擾物彎曲程度不同
1.4 FORM-Blur	目標物與干擾物模糊程度不同
1.5.1 FORM-Added marks-pointer	替目標物外加指標
1.5.2 FORM-Added marks-underline	替目標物外加底線
1.5.3 FORM-Added marks-enclosure-border	外框式 common region
1.5.4 FORM-Added marks-enclosure-interior	底色質感式 common region

2. 顏色特徵 (COLOR)

表 6-2 顏色特徵之分類編碼表

特徵分類編碼	說明
2.1 COLOR-Hue	目標物與干擾物色相不同
2.1.1 COLOR-Hue-[strategy : distinct hue]	策略－目標與干擾區隔
COLOR-Hue-[strategy : hidden distractors]	策略－隱藏干擾物
COLOR-Hue-[strategy : pop-out target]	策略－僅強調目標物
2.1.2 COLOR-Hue-[perception : unique hues]	知覺－純粹色相
COLOR-Hue-[perception : cross-cultural naming]	知覺－顏色跨文化命名
COLOR-Hue-[perception : focal colors]	知覺－焦點顏色
COLOR-Hue-[perception : categorical colors]	知覺－顏色類別
2.1.3 COLOR-Hue-[label : distinctness]	標示－可區別性
COLOR-Hue-[label : chromatic simultaneous contrast]	標示－色彩同時性對比
COLOR-Hue-[label : field size]	標示－標識區域大小
COLOR-Hue-[label : color blindness]	標示－色盲
2.2 COLOR-Intensity	目標物與干擾物色彩強度不同
2.2.1 COLOR-Intensity-[luminance]	明度差異
2.2.2 COLOR-Intensity-[simultaneous brightness contrast]	同時性亮度對比
COLOR-Intensity-[SBC : contrast]	SBC : 對比因素
COLOR-Intensity-[SBC : luminance difference]	SBC : 明度差異
2.2.3 COLOR-Intensity-[grouping]	色彩強度群化

3. 深度特徵 (DEPTH)

表 6-3 深度特徵之分類編碼表

特徵分類編碼	說明
3.1 DEPTH-Stereoscopic depth	目標物與干擾物立體深度不同
3.1.1 DEPTH-Stereoscopic depth-[transparency]	透明度圖層
DEPTH-Stereoscopic depth-[TP : good continuity]	連續性
DEPTH-Stereoscopic depth-[TP : luminance]	明度
DEPTH-Stereoscopic depth-[TP : texture]	質感
3.2 DEPTH-Convexity & Concavity	目標物與干擾物凸凹感受不同
3.2.1 DEPTH-Convexity & Concavity-[shading orientation]	陰影方向
3.2.2 DEPTH-Convexity & Concavity-[shading contrast]	陰影明度對比程度

4. 運動特徵 (MOTION)

表 6-4 運動特徵之分類編碼表

特徵分類編碼	說明
4.1 MOTION-New object	突然出現的新物件
4.1.1 MOTION-New object-[original location]	原始位置
MOTION-New object-[original location : mouse]	動畫之滑鼠啟動點
MOTION-New object-[original location : information]	提示含有位置資訊
MOTION-New object-[original location : between pages]	頁間定位
4.1.2 MOTION-New object-[onset and offset]	onset 與 offset 因素
4.1.3 MOTION-New object-[luminance change]	明度改變因素
4.1.4 MOTION-New object-[inhibition of return]	回向抑制
MOTION-New object-[IOR : CTOA]	不同步開始的時間差
MOTION-New object-[IOR : previous saccade]	視線重回前一掃視位置
MOTION-New object-[IOR : previous stimulus]	出現在前一刺激的相同位置
4.1.5 MOTION-New object-[CIOH]	CIOH
4.1.6 MOTION-New object-[stroop effect]	Stroop Effect
4.1.7 MOTION-New object-[negative priming]	Negative Priming Effect
4.1.8 MOTION-New object-[feature-map inhibition]	Feature-Map Inhibition
4.1.9 MOTION-New object-[visual marking]	Visual Marking
4.2 MOTION-Transient	某種視覺特徵發生瞬變
4.3 MOTION-Looming	感覺上往觀察者接近
4.4 MOTION-jitter motion	在畫面中抖動
4.5 MOTION-New motion	突然由靜而動的物件
4.6 MOTION-Flicker	在畫面中閃爍
4.7 MOTION-Coherence	運動方式一致所產生的層次感
4.8 MOTION-Direction	目標物與干擾物運動方向不同

第二節 適性指標基於視覺認知科學的設計原則

適性指標是一種協助視覺搜尋以及引導注意力的視覺物件，在設計上會涉及視覺認知科學、教材內容以及教學策略等因素。本文研究的焦點是集中在視覺認知科學對適性指標的支持。以下我們將適性指標的相關設計原理彙整成七個原則，並說明各項原則的理論基礎。

1. 標示原始位置原則

這個原則是說明「適性指標」與「被標示物件」在位置上的關係。可以細分成三個子原則：

- (1) 適性指標之滑鼠啟動點應該在目標物所在位置。
- (2) 適性指標應該含有位置資訊，不論是「直接出現在目標物所在位置」或是「指出目標物的方位」。
- (3) 同一物件或物件之指標在不同頁面出現時位置要相同（頁間定位）

以下列出支持此原則所引用的文獻。子原則(1)(Hollingworth & Henderson, 2002; Kahneman et al., 1992; Moreno & Mayer, 1999a; Pylyshyn, 1989; Sacks & Hollingworth, 2005; Spivey & Geng, 2001)；子原則(2)(Adler et al., 2002; Yantis & Jonides, 1984)；子原則(3)(Treisman & Zhang, 2006)。

2. 特徵獨立原則

這個原則是說明適性指標所使用的視覺特徵與目標物、干擾物以及其他適性指標之間的關係。可以細分成三個子原則：

- (1) 適性指標應盡量採用單一特徵的設計方式。
- (2) 適性指標應盡可能的與所有待搜尋物件沒有共同的視覺特徵，尤其不應具有干擾物的視覺特徵。
- (3) 適性指標應避免前一個用來標示干擾物的視覺特徵用來標示現在要突顯的目標物。

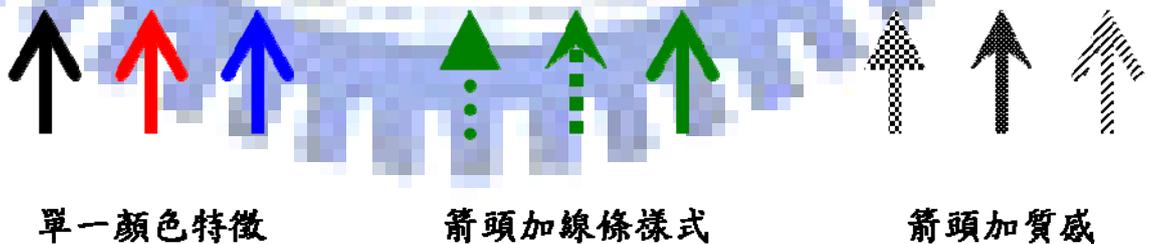


圖 6-2 單一特徵的指標最容易辨認與描述

指標的視覺特徵應該盡量採用單一特徵的設計方式，亦即我們應盡量讓學習者進行特徵搜尋而非結合搜尋(Treisman & Gelade, 1980; Treisman & Sato, 1990; Treisman & Souther, 1985)。採用多種特徵定義的指標其辨認效果與搜尋速度都不如單一特徵的指標，並且「同時注意物件的兩個視覺特徵」比「只注意物件的一個視覺特徵」困難，如圖 6-2。

複雜的指標除了不易辨認以外，授課者描述也可能發生困難。此外，也可能增加 Contingent Involuntary Orienting Hypothesis、stroop-like effect 以及 negative priming 被引發的機會。子原則（2）的目的就是要避免 Contingent Involuntary Orienting Hypothesis 與 stroop-like effect 造成干擾的效果，子原則（3）則是要避免 negative priming。

以下列出支持此原則所引用的文獻。子原則(1)(Treisman & Gelade, 1980; Treisman & Sato, 1990; Treisman & Souther, 1985)；子原則（2）(Folk et al., 1992; MacLeod & Dunbar, 1988; MacLeod & MacDonald, 2000; R. E. Mayer, 2001; Stroop, 1935)；子原則（3）(MacLeod & MacDonald, 2000; Neill, 1977; Tipper, 1985)。

3. 通道原則

當畫面中某一類型的視覺特徵通道非常擁擠時，我們在設計適性指標時應該考慮採用其他類型的視覺特徵。如圖 6-3 所示。當顏色總數已經達到五種的時候，若我們利用「深藍色」來突顯畫面上方的藍色圓形(如圖 B)，這種效果會不如直接在藍色圓形加上外框(如圖 C)。

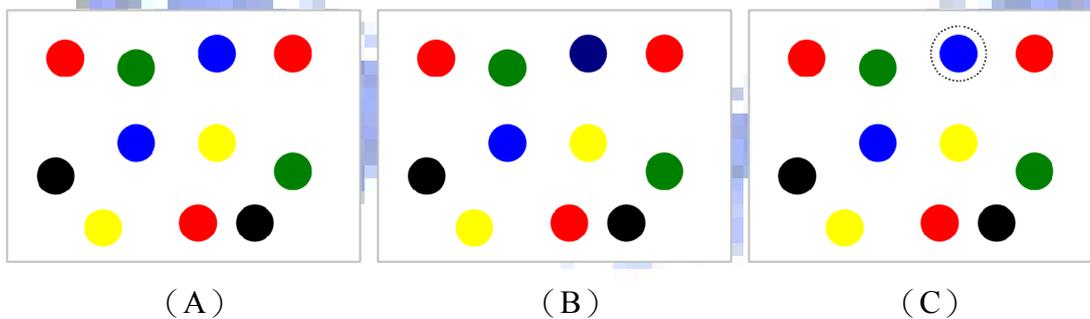


圖 6-3 顏色通道擁擠時可改採形狀通道

以下列出支持此原則所引用的文獻(Bauer et al., 1996, 1999; Christopher, 1996; D'Zmura, 1991; Ware, 2004)。

4. 群化原則

這個原則是說明適性指標與目標物群化以及干擾物群化的關係，可以分成兩個子原則加以探討。

- (1) 目標物群化：可用來建立各個目標物的關聯性。
- (2) 干擾物群化：可以協助視覺搜尋作業，將干擾物以質感辨認的方式整群加以忽略。

目標物群化所引用之文獻：(Brooks, 2002; Palmer, 1992; Ware, 2004)·干擾物群化所引用之文獻：(Avraham & Lindenbaum, 2006; Bacon & Egeth, 1991; DRIVER *et al.*, 1992; Duncan & Humphreys, 1989; Humphreys *et al.*, 1989; Meinecke & Donk, 2002; Schubo *et al.*, 2007; Wertheim *et al.*, 2006)。

5. 明度差異原則

這個原則是說明適性指標的設計必須考慮明度因素，目標物或是適性指標的明度與干擾物的明度差異越大，突顯效果越好。若我們觀察視覺特徵編碼表，可以發現明度（**luminance**）因素是許多視覺特徵搜尋速度的關鍵，列舉如下：

- (1) 2.2.1 COLOR-Intensity-[luminance]
說明：明度差異是基本視覺特徵(Theeuwes, 1995)。
- (2) COLOR-Intensity-[SBC : luminance difference]
說明：背景與目標明度差異越大時，同時性亮度對比越顯著。
(Stecher, 1968; Ware, 2004)
- (3) DEPTH-Stereoscopic depth-[TP : luminance]
說明：明度定透明圖層的辨認(Masin, 2000)
- (4) 3.2.2 DEPTH- Convexity & Concavity-[shading contrast]
說明：陰影明度對比越強，凸凹差異感受也越強
(D'Zmura *et al.*, 1997)

(5) 4.1.3 MOTION-New object-[luminance change]

說明：new object與背景的明度差異越大越能夠吸引注意力。

適性指標與第（5）點的關係非常密切，以下列出支持第（5）點所引用的文獻：(Franconeri & Simons, 2005; Lambert et al., 2003; Theeuwes, 1995)。

6. 引導原則

這個原則是說明適性指標的設計要同時考慮由上而下的「抑制性引導 (inhibitory guidance)」以及由下而上的「刺激性引導 (excitatory guidance)」兩項因素。一個有效的策略是「目標物由下而上激發，干擾物由上而下抑制」。

如果教材設計能同時融合由上而下以及由下而上兩個因素的「引導原則」，將視覺搜尋有效的集中在一群「具有目標物某個特定特徵」的刺激物，並且目標物在這群刺激物中是「唯一具有另一個獨特特徵」的物件，則視覺系統就可以在這群特定的刺激物中以特徵搜尋的方式找出唯一的目標物。引導原則引用的文獻如下：(DRIVER et al., 1992; Treisman & Sato, 1990; J. M. Wolfe, 2006; Jeremy M. Wolfe et al., 1989)

7. 觸發原則

這個原則是說明適性指標的設計必須要有觸發 new object onset 或是觸發 new motion onset 的機制，否則不算是適性指標。

new object onset 與 new motion onset 是適性指標最重要的兩種動態視覺特徵（在此 new motion 包含所有型態的由靜而動），因為若沒有這兩個特徵，就無法讓演講者能隨意地以互動方式操控適性指標。此外，由於 new object onset 與 new motion onset 是搜尋速度很快的基本視覺特徵，並且此特徵具有引導注意力的特性(Richard A. Abrams & Christ, 2004; Richard A Abrams & Christ, 2006; Davoli et al., 2007; Enns et al., 2001; Gellatly et al., 1999; Yantis & Jonides, 1984)。因此，觸發 new object onset 或是 new motion onset 可說是每個適性指標必備的機制。

第三節 適性指標與學習效果

在本研究「實驗研究」的部份，Retention Test、Matching Test 以及 Transfer Test 的實驗數據支持實驗的假設：「課堂授課的多媒體教材具有適當設計的適性指標會比沒有適性指標提供更好的學習效果」。以下說明實驗結果與相關理論一致的地方與新的發現。

一、實驗結果與相關理論一致

我們發現本實驗結果與「視覺認知理論」、「類比遷移」(analogical transfer)、「基模理論」(schema theory) 及「認知負荷理論」預期的結果一致，討論如下：

1. 符合視覺認知理論的預期

- (1) Retention Test 3實驗組與控制組具有顯著差異符合格式塔原理之連接法則(Connectedness)。
- (2) Matching Test實驗組明顯優於控制組，符合各種基本視覺特徵能夠吸引注意力的視覺認知理論。
- (3) Matching Test 1以及3實驗組標示淡紅色區域與淡灰色區域的正確率較高)，符合visual marking以及Contingent Involuntary Orienting Hypothesis理論。

2. 符合類比遷移理論與認知負荷理論的預期

- (1) Transfer Test 4的前後測具有顯著差異符合Robins與Mayer關於active learning與類比理解的研究(Robins & Mayer, 1993)。
- (2) Transfer Test 1與2前後測具有顯著差異符合Cooper與Sweller所發現的「測驗的問題若與原始習得的問題很相似，Problem-Solving Transfer的效果就會相當明顯」。(Cooper & Sweller, 1987)

二、實驗發現

適性指標的研究有四個發現，列舉如下：

- (1) 課堂授課的多媒體教材具有適當設計的適性指標會比沒有適性指標提供更好的學習效果。
- (2) 實驗組在Transfer Test所得到的效果較不顯著，這表示Mathematical Problem-Solving Transfer涉及的因素廣泛，適性指標僅是其中一個需要考慮的因素。
- (3) 適性指標可能可以突顯結構化關聯（schematic relations），協助基模的形成。
- (4) 若某個觀念在Retention Test、Matching Test以及Transfer Test的結果一致不佳，則與此觀念有關的投影片很可能存在設計上的問題。
- (5) Matching Test 6實驗組明顯優於控制組，表示適性指標在這個項目的效果明顯優於原始的Signaling Principle所使用的強調方式。

上述(3)(4)雖受到本實驗數據的支持，不過仍需後續更深入的研究與實驗來加以驗證。

三、研究建議

以下三個議題需要後續研究與實驗的測量及評估。

- 議題一：尋找「適性指標可以突顯結構化關聯（schematic relations）並協助基模形成」更多的證據。
- 議題二：教材設計透過Retention Test、Matching Test以及Transfer Test加以檢測的可能性。
- 議題三：適性指標對於Spatial Contiguity Principle、Temporal Contiguity Principle、Coherence Principle、Modality Principle、Redundancy Principle、Signaling Principle以及Individual Difference Principle所探討的教材設計問題可能可以提供改善的方法，需要進一步的實驗加以驗證。

議題一可能涉及了新型態的降低認知負荷方式，議題二則是讓教材設計的以從教學效果的角度進行量化的評估，並有助於找出教材設計的問題，利於後續的修正與經驗的累積。議題三則是突顯出「適性指標可以由下而上的引導學習者的注意力」是非常重要的，也因此適性指標才會對七項的多媒體學習設計原則所探討的問題有所幫助。

綜合視覺認知科學對適性指標「引導注意力」的理論支持以及適性指標實驗發現「課堂授課的多媒體教材具有適當設計的適性指標會比沒有適性指標提供更好的學習效果」，並且適性指標實驗與多項已知研究相符，本研究提出一個建議：

適性指標（adaptive pointer）引導學習者的注意力此一設計方式是多媒體學習理論（multimedia learning）需要考慮的一個因素。



參考文獻

- Abrams, R. A., & Christ, S. E. (2004). Automatic capture of attention by the onset of motion. *Journal of Vision, 4*(8), 826-826.
- Abrams, R. A., & Christ, S. E. (2005). The onset of receding motion captures attention: Comment on franconeri and simons (2003). *Perception and Psychophysics, 67*(2), 219-223.
- Abrams, R. A., & Christ, S. E. (2006). Motion onset captures attention: A rejoinder to franconeri and simons (2005). *Perception and Psychophysics, 68*(1), 114-117.
- Adler, S. A., Bala, J., & Krauzlis, R. J. (2002). Primacy of spatial information in guiding target selection for pursuit and saccades. *Journal of Vision, 2*(9), 627-644.
- Arend, L., Logan, A., & Havin, G. (2007). Simultaneous and successive contrast. Retrieved October 13, 2007, from http://colorusage.arc.nasa.gov/Simult_and_succ_cont.php
- Ariely, D. (2001). Seeing sets: Representation by statistical properties. *Psychological Science, 12*(2).
- Atchley, P., Kramer, A. F., Andersen, G. J., & Theeuwes, J. (1997). Spatial cuing in a stereoscopic display: Evidence for a "depth-aware" attentional focus. *Psychonomic Bulletin & Review, 4*(4), 524-529.
- Avraham, T., & Lindenbaum, M. (2006). Attention-based dynamic visual search using inner-scene similarity: Algorithms and bounds. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 28*(2), 251-264.
- Bacon, W. F., & Egeth, H. E. (1991). Local processes in preattentive feature detection. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance, 17*(1), 77-90.
- Baddeley, A. (1997). *Human memory: Theory and practice*: Allyn and Bacon.
- Baggett, P. (1984). Role of temporal overlap of visual and auditory material in forming dual media associations. *Journal of Educational Psychology, 76*(3), 408-417.
- Bauer, B., Jolicoeur, P., & Cowan, W. B. (1996). Visual search for colour targets that are or are not linearly separable from distractors. *Vision Research, 36*(10), 1439.
- Bauer, B., Jolicoeur, P., & Cowan, W. B. (1999). Convex hull test of the linear separability hypothesis in visual search. *Vision Research, 39*(16), 2681.
- Berg, W. P., Berglund, E. D., Strang, A. J., & Baum, M. J. (2007). Attention-capturing properties of high frequency luminance flicker: Implications for brake light conspicuity. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour,*

10(1), 22.

- Blakeslee, B., & McCourt, M. E. (1997). Similar mechanisms underlie simultaneous brightness contrast and grating induction. *Vision Research*, 37(20), 2849.
- Brooks, J. (2002). Shape constancy and perceptual grouping. Retrieved 8/20, 2007, from <http://socrates.berkeley.edu/~plab/earlygroup/shape.htm>
- Byrnes, J. P. (2004). *心智、大腦與學習*. 臺北市: 紅葉文化.
- Carroll, W. M. (1994). Using worked examples as an instructional support in the algebra classroom. *Journal of Educational Psychology*, 86(3), 360-367.
- Carter, R. (1997). Gray-scale perceptions calculated: Optimum display background luminance. *Appl. Opt.*, 36(8), 1705.
- Cavanagh, P., Arguin, M., & Treisman, A. (1990). Effect of surface medium on visual search for orientation and size features. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance*, 16, 479-491.
- Chandler, P., & Sweller, J. (1991). Cognitive load theory and the format of instruction. *Cognition & Instruction*, 8(4), 293-332.
- Chen, M. J., & Tan, N.-c. (2007, December 16-17). *A study of interactive mathematical environments for teacher with trigger-based animation*. Paper presented at the Asian Technology Conference in Mathematics, Taipei, Taiwan.
- Christ, S. E., & Abrams, R. A. (2006). *New objects and new motion*. Paper presented at the the meeting of the Psychonomic Society, Houston, TX.
- Christopher, G. H. (1996). Choosing effective colours for data visualization, *Proceedings of the 7th conference on Visualization '96*. San Francisco, California, United States: IEEE Computer Society Press.
- contributors, W. (2007a). Cie 1931 color space. Retrieved October 8, 2007, from http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=CIE_1931_color_space&oldid=161605361
- contributors, W. (2007b). Hue. Retrieved October 6, 2007, from <http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Hue&oldid=159327454>
- contributors, W. (2007c). Macadam ellipse. Retrieved October 9, 2007, from http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=MacAdam_ellipse&oldid=145105026
- Cook, L. K., & Mayer, R. E. (1988). Teaching readers about the structure of scientific text. *Journal of Educational Psychology*, 80(4), 448-456.
- Cooper, G., & Sweller, J. (1987). Effects of schema acquisition and rule automation on mathematical problem-solving transfer. *Journal of Educational Psychology*, 79(4), 347-362.
- D'Zmura, M. (1991). Color in visual search. *Vision Research*, 31(6), 951.
- D'Zmura, M., Lennie, P., & Tiana, C. (1997). Color search and visual field segregation. *Perception and Psychophysics*, 59(3), 381-388.

- Davoli, C. C., Suszko, J. W., & Abrams, R. A. (2007). New objects can capture attention without a unique luminance transient. *Psychonomic Bulletin & Review*, *14*(2), 338-343.
- Dougherty, R. F., Smith, A., Verardo, M. R., & Mayer, M. J. (1996). Visual search for flicker: High temporal frequency targets capture attention. *Investigative Ophthalmology and Visual Science*, *37*, S296.
- Downing, R. E., Moore, J. L., & Brown, S. W. (2005). The effects and interaction of spatial visualization and domain expertise on information seeking. *Computers in Human Behavior*, *21*(2), 195.
- DRIVER, J., McLEOD, P., & DIENES, Z. (1992). Motion coherence and conjunction search: Implications for guided search theory. *Perception & Psychophysics*, *51*(1), 79-85.
- Duncan, J., & Humphreys, G. (1992). Beyond the search surface: Visual search and attentional engagement.
- Duncan, J., & Humphreys, G. W. (1989). Visual search and stimulus similarity.
- Dürsteler, J. C. (2006). Processes that pop out. Retrieved May 23, 2007, from <http://www.infovis.net/printMag.php?num=179&lang=2>
- Eimer, M. (1996). The n2pc component as an indicator of attentional selectivity. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, *99*(3), 225.
- Enns, J. T., Austen, E. L., Lollo, V. D., Rauschenberger, R., & Yantis, S. (2001). New objects dominate luminance transients in setting attentional priority. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance*, *27*(6), 1287-1302.
- Eysenck, M. W., & Keane, M. T. (2000). *Cognitive psychology: A student's handbook* (4 ed.): Psychology Press.
- Few, S. (2006). *Information dashboard design*: O'Reilly.
- Fine, I., & Jacobs, R. A. (2002). Comparing perceptual learning tasks: A review. *Journal of Vision*, *2*(2), 190-203.
- Folk, C. L., Remington, R. W., & Johnston, J. C. (1992). Involuntary covert orienting is contingent on attentional control settings. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance*, *18*(4), 1030-1044.
- Folk, C. L., Remington, R. W., & Wright, J. H. (1994). The structure of attentional control: Contingent attentional capture by apparent motion, abrupt onset, and color. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance*, *20*(2), 317-329.
- Foster, D. H., & Ward, P. A. (1991). Horizontal--vertical filters in early vision predict anomalous line-orientation identification frequencies. *Proceedings: Biological Sciences*, *243*(1306), 83.
- Franconeri, S. L., & Simons, D. J. (2003). Moving and looming stimuli capture

- attention. *Perception & Psychophysics*, 65(7), 999-1010.
- Franconeri, S. L., & Simons, D. J. (2005). The dynamic events that capture visual attention: A reply to abrams and christ (2005). *Perception and Psychophysics*, 67(6), 962-966.
- Franconeri Steven, L., Hollingworth, A., & Simons Daniel, J. (2005). Do new objects capture attention? *Psychological Science*, 16, 275.
- Gagne, E. D., Yekovich, C. W., & Yekovich, F. R. (1998). *Cognitive psychology of school learning* (2 ed.): Allyn & Bacon.
- Gellatly, A., Cole, G., & Blurton, A. (1999). Do equiluminant object onsets capture visual attention? *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance*, 25(6), 1609-1624.
- Ghirardelli, T. G., & Folk, C. L. (1996). Spatial cuing in a stereoscopic display: Evidence for a "depth-blind" attentional spotlight. *Psychonomic Bulletin & Review*, 3(1), 81-86.
- Gick, M. L., & Holyoak, K. J. (1980). Analogical problem solving. *Cognitive Psychology*, 12(3), 306.
- Gick, M. L., & Holyoak, K. J. (1983). Schema induction and analogical transfer. *Cognitive Psychology*, 15(1), 1.
- Halverson, T., & Hornof, A. J. (2004). *Link colors guide a search*. Paper presented at the Conference on Human Factors in Computing Systems, Vienna, Austria.
- Harp, S. F., & Mayer, R. E. (1997). The role of interest in learning from scientific text and illustrations: On the distinction between emotional interest and cognitive interest. *Journal of Educational Psychology*, 89(1), 92-102.
- Harp, S. F., & Mayer, R. E. (1998). How seductive details do their damage: A theory of cognitive interest in science learning. *Journal of Educational Psychology*, 90(3), 414-434.
- Healey, C. G. (2007). Perception in visualization. Retrieved May 23, 2007, from <http://www.csc.ncsu.edu/faculty/healey/PP/>
- Heinemann, E. G. (1955). Simultaneous brightness induction as a function of inducing- and test-field luminances. 50(2), 89-96.
- Hoffmann, G. (2006). Cie color space. Retrieved May 24, 2007, from <http://www.fho-empden.de/~hoffmann/ciexyz29082000.pdf>
- Hollingworth, A., & Henderson, J. M. (2002). Accurate visual memory for previously attended objects in natural scenes. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance*, 28(1), 113-136.
- Humphreys, G. W., Kyllingsb, aelig, k, S., oslash, ren, et al. (2004). Parieto-occipital areas involved in efficient filtering in search: A time course analysis of visual marking using behavioural and functional imaging procedures. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology Section A*, 57(4), 610 - 635.

- Humphreys, G. W., Quinlan, P. T., & Riddoch, M. J. (1989). Grouping processes in visual search: Effects with single- and combined-feature targets. *Journal of Experimental Psychology: General*, 118(3), 258-279.
- Hurlbert, A., & Wolf, K. (2004). Color contrast: A contributory mechanism to color constancy. *Progress in Brain Research*, 144, 147-160.
- IVRY, J. B. A. R. (1998). On the role of figural organization in perceptual transparency. *Perception & Psychophysics*, 44(6), 585-594.
- J. H. Xin, C. C. L. M. R. L. (2004). Evaluation of the crispening effect using crt-displayed colour samples. *Color Research & Application*, 29(5), 374-380.
- Kahneman, D., Treisman, A., & Gibbs, B. J. (1992). The reviewing of object files: Object-specific integration of information. *Cognitive Psychology*, 24(2), 175.
- Kalyuga, S., Chandler, P., & Sweller, J. (1999). Managing split-attention and redundancy in multimedia instruction. *Applied Cognitive Psychology*, 13(4), 351-371.
- Klein, R. M. (2000). Inhibition of return. *Trends in Cognitive Sciences*, 4(4), 138.
- Knafle, J. D. (1973). Word perception: Cues aiding structure detection. *Reading Research Quarterly*, 8(4), 502-523.
- Kristj, aacute, nsson, Aacute, & Tse, P. U. (2001). Curvature discontinuities are cues for rapid shape analysis. *Perception & Psychophysics*, 63, 390.
- Lambert, A., Wells, I., & Kean, M. (2003). Do isoluminant color changes capture attention? *Perception & Psychophysics*, 65, 495.
- Loftus, G. R. (1981). Tachistoscopic simulations of eye fixations on pictures. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, & Cognition*, 7, 369-376.
- Lotto, R. B., & Purves, D. (2000). An empirical explanation of color contrast. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 97(23), 12834.
- MacAdam, D. L. (1942). Visual sensitivities to color differences in daylight. *J. Opt. Soc. Am.*, 32(5), 247.
- MacAskill, M. (2004). Change blindness demonstration.
- MacLeod, C. M. (1998). Training on integrated versus separated stroop tasks: The progression of interference and facilitation. *Memory & Cognition*, 26(2), 201-211.
- MacLeod, C. M., & Dunbar, K. (1988). Training and stroop-like interference: Evidence for a continuum of automaticity. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, & Cognition*, 14(1), 126-135.
- MacLeod, C. M., & MacDonald, P. A. (2000). Interdimensional interference in the stroop effect: Uncovering the cognitive and neural anatomy of attention. *Trends in Cognitive Sciences*, 4(10), 383.
- Masin, S. C. (2000). Luminance determinants of perceived surface stratification in

- two-dimensional achromatic transparent patterns. *Perception*, 29(7), 853-861.
- Mautone, P. D., & Mayer, R. E. (2001). Signaling as a cognitive guide in multimedia learning. *Journal of Educational Psychology*, 93(2), 377-389.
- Mayer, M. J., Dougherty, R. F., & Hu, L.-T. (1995). A covariance structure analysis of flicker sensitivity. *Vision Research*, 35(11), 1575.
- Mayer, R. E. (1989). Systematic thinking fostered by illustrations in scientific text. *Journal of Educational Psychology*, 81(2), 240-246.
- Mayer, R. E. (1999). Multimedia aids to problem-solving transfer. *International Journal of Educational Research*, 31(7), 611.
- Mayer, R. E. (2001). *Multimedia learning*. New York: Cambridge University Press.
- Mayer, R. E. (2005). *The cambridge handbook of multimedia learning*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Mayer, R. E., & Anderson, R. B. (1991). Animations need narrations: An experimental test of a dual-coding hypothesis. *Journal of Educational Psychology*, 83(4), 484-490.
- Mayer, R. E., & Anderson, R. B. (1992). The instructive animation: Helping students build connections between words and pictures in multimedia learning. *Journal of Educational Psychology*, 84(4), 444-452.
- Mayer, R. E., Bove, W., Bryman, A., Mars, R., & Tapangco, L. (1996). When less is more: Meaningful learning from visual and verbal summaries of science textbook lessons. *Journal of Educational Psychology*, 88(1), 64-73.
- Mayer, R. E., & Chandler, P. (2001). When learning is just a click away: Does simple user interaction foster deeper understanding of multimedia messages? *Journal of Educational Psychology*, 93(2), 390-397.
- Mayer, R. E., Dow, G. T., & Mayer, S. (2003). Multimedia learning in an interactive self-explaining environment: What works in the design of agent-based microworlds? *Journal of Educational Psychology*, 95(4), 806-812.
- Mayer, R. E., Fennell, S., Farmer, L., & Campbell, J. (2004). A personalization effect in multimedia learning: Students learn better when words are in conversational style rather than formal style. *Journal of Educational Psychology*, 96(2), 389-395.
- Mayer, R. E., & Gallini, J. K. (1990). When is an illustration worth ten thousand words? *Journal of Educational Psychology*, 82(4), 715-726.
- Mayer, R. E., Heiser, J., & Lonn, S. (2001). Cognitive constraints on multimedia learning: When presenting more material results in less understanding. [article]. *Journal of Educational Psychology*, 93(1), 187-198.
- Mayer, R. E., & Moreno, R. (1998). A split-attention effect in multimedia learning: Evidence for dual processing systems in working memory. *Journal of Educational Psychology*, 90(2), 312-320.

- Mayer, R. E., & Moreno, R. (2003). Nine ways to reduce cognitive load in multimedia learning. *Educational Psychologist, 38*(1), 43.
- Mayer, R. E., Moreno, R., Boire, M., & Vagge, S. (1999). Maximizing constructivist learning from multimedia communications by minimizing cognitive load. *Journal of Educational Psychology, 91*(4), 638-643.
- Mayer, R. E., & Sims, V. K. (1994). For whom is a picture worth a thousand words? Extensions of a dual-coding theory of multimedia learning. *Journal of Educational Psychology, 86*(3), 389-401.
- McLeod, P., Driver, J., Dienes, Z., & Crisp, J. (1991). Filtering by movement in visual search. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance, 17*(1), 55-64.
- McNamara, D. S., Kintsch, E., Songer, N. B., & Kintsch, W. (1996). Are good texts always better? Interactions of text coherence, background knowledge, and levels of understanding in learning from text. *COGNITION AND INSTRUCTION, 14*(1), 1-43.
- Meinecke, C., & Donk, M. (2002). Detection performance in pop-out tasks: Nonmonotonic changes with display size and eccentricity. *Perception, 31*(5), 591-602.
- Miller, J. (1989). The control of attention by abrupt visual onsets and offsets. *Perception & Psychophysics, 45*(6), 567-571.
- MIYAHARA, E. (2003). Focal colors and unique hues. *Perceptual and Motor Skills, 97*(3), 1038-1042.
- Moreno, R., & Duran, R. (2004). Do multiple representations need explanations? The role of verbal guidance and individual differences in multimedia mathematics learning. *Journal of Educational Psychology, 96*(3), 492-503.
- Moreno, R., & Mayer, R. E. (1999a). Cognitive principles of multimedia learning: The role of modality and contiguity. *Journal of Educational Psychology, 91*(2), 358-368.
- Moreno, R., & Mayer, R. E. (1999b). Multimedia-supported metaphors for meaning making in mathematics. *Cognition & Instruction, 17*(3), 215-248.
- Moreno, R., & Mayer, R. E. (2000a). A coherence effect in multimedia learning: The case for minimizing irrelevant sounds in the design of multimedia instructional messages. *Journal of Educational Psychology, 92*(1), 117-125.
- Moreno, R., & Mayer, R. E. (2000b). Engaging students in active learning: The case for personalized multimedia messages. *Journal of Educational Psychology, 92*(4), 724-733.
- Moreno, R., & Mayer, R. E. (2004). Personalized messages that promote science learning in virtual environments. *Journal of Educational Psychology, 96*(1), 165-173.

- Moreno, R., Mayer, R. E., Spires, H. A., & Lester, J. C. (2001). The case for social agency in computer-based teaching: Do students learn more deeply when they interact with animated pedagogical agents? *Cognition & Instruction, 19*(2), 177-213.
- Mousavi, S. Y., Low, R., & Sweller, J. (1995). Reducing cognitive load by mixing auditory and visual presentation modes. *Journal of Educational Psychology, 87*(2), 319-334.
- Mullen, K. T. (1985). The contrast sensitivity of human colour vision to red-green and blue-yellow chromatic gratings. *The Journal of Physiology, 359*(1), 381-400.
- Nagy, A. L., & Cone, S. M. (1996). Asymmetries in simple feature searches for color. *Vision Research, 36*(18), 2837.
- Nakayama, K., & Silverman, G. H. (1986). Serial and parallel processing of visual feature conjunctions. *Nature, 320*(6059), 264.
- Neill, W. T. (1977). Inhibitory and facilitatory processes in selective attention. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance, 3*(3), 444-450.
- Nicola, B., & Rosemary, S. (2000). *Spss for psychologists: A guide to data analysis using spss for windows*. Mahwah, N.J.: Lawrence Erlbaum Associates, Inc.
- Palmer, S. E. (1992). Common region: A new principle of perceptual grouping. *Cognitive Psychology, 24*(3), 436.
- Posner, M. I., Snyder, C. R., & Davidson, B. J. (1980). Attention and the detection of signals. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance, 109*(2), 160-174.
- Pylyshyn, Z. (1989). The role of location indexes in spatial perception: A sketch of the first spatial-index model. *Cognition, 32*(1), 65.
- Rafal, R. D., Calabresi, P. A., Brennan, C. W., & Sciolto, T. K. (1989). Saccade preparation inhibits reorienting to recently attended locations. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance, 15*(4), 673-685.
- Raymond, J. E., Shapiro, K. L., & Arnell, K. M. (1992). Temporary suppression of visual processing in an rsvp task: An attentional blink? *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance, 18*, 849-860.
- Regier, T., Kay, P., & Cook, R. (2005). Focal colors are universal after all. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 102*(23), 8386-8391.
- Rensink, R. A., & O'Regan, J. K. (1997). To see or not to see: The need for attention to perceive changes in scenes. *Psychological Science, 8*(5), 368.
- Richardson, J. A., & Davies, I. R. L. (1995). *Perceptual learning of categorical color constancy and the role of illuminant familiarity*. Paper presented at the Device-Independent Color Imaging II, San Jose, CA, USA.
- Robert, K., Silvia, M., & Helwig, H. (2001). Semantic depth of field, *Proceedings of*

the IEEE Symposium on Information Visualization 2001 (INFOVIS'01): IEEE Computer Society.

Robert, K., Silvia, M., & Helwig, H. (2002a). Focus+context taken literally, 22, 22.

Robert, K., Silvia, M., Helwig, H., Johann, S., Verena, G., & Manfred, T. (2002b). Useful properties of semantic depth of field for better f+c visualization, *Proceedings of the symposium on Data Visualisation 2002*. Barcelona, Spain: Eurographics Association.

Robert, M., & Chevrier, E. (2003). Does mens advantage in mental rotation persist when real three-dimensional objects are either felt or seen? *Memory & Cognition*, 31, 1136.

Robins, S., & Mayer, R. E. (1993). Schema training in analogical reasoning. *Journal of Educational Psychology*, 85(3), 529-538.

Rosenholtz, R. (2001). Search asymmetries? What search asymmetries? *Perception & Psychophysics*, 63, 476.

Sacks, D. L., & Hollingworth, A. (2005). Attending to original object location facilitates visual memory retrieval. *Journal of Vision*, 5(8), 443-443.

Scharff, L. F. V., & Ahumada, A. J., Jr. (2002). Predicting the readability of transparent text. *Journal of Vision*, 2(9), 653-666.

Schneider, W., Schumann-Hengsteler, R., & Sodian, B. (2006). *Young children's cognitive development: Interrelationships among executive functioning, working memory, verbal ability, and theory of mind* (1 ed.): Lawrence Erlbaum Associates.

Schubo, A., Meinecke, C., & Schroger, E. (2001). Automaticity and attention: Investigating automatic processing in texture segmentation with event-related brain potentials. *Cognitive Brain Research*, 11(3), 341.

Schubo, A., Schroger, E., & Meinecke, C. (2004). Texture segmentation and visual search for pop-out targets.: An erp study. *Cognitive Brain Research*, 21(3), 317.

Schubo, A., Wykowska, A., & Muller, H. J. (2007). Detecting pop-out targets in contexts of varying homogeneity: Investigating homogeneity coding with event-related brain potentials (erps). *Brain Research*, 1138, 136.

Shaw, M. L. (1978). A capacity allocation model for reaction time. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance*, 4(4), 586-598.

Shih, S.-I., & Sperling, G. (1996). Is there feature-based attentional selection in visual search. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance*, 22(3), 758-779.

Smith, V. C., & Pokorny, J. (1975). Spectral sensitivity of the foveal cone photopigments between 400 and 500 nm. *Vision Research*, 15(2), 161.

Soegaard, M. (2005). Gestalt principles of form perception. Retrieved 8/19, 2007, from

http://www.interaction-design.org/encyclopedia/gestalt_principles_of_form_perception.html

- Sperling, G. (1960). The information available in brief visual presentations. *Psychological Monographs*, 74, 1-29.
- Sperling, G. (1967). Successive approximations to a model for short-term memory. *Acta Psychologica*, 27, 285-292.
- Spivey, M. J., & Geng, J. J. (2001). Oculomotor mechanisms activated by imagery and memory: Eye movements to absent objects. *Psychological Research*, 65(4), 235.
- Spooky. (2006). Opponent colors. Retrieved September 24, 2007, from http://commons.wikimedia.org/wiki/Image:Opponent_colors.svg
- Squire, L. R., & Kandel, E. R. (2001). 透視記憶: 遠流出版社.
- Stecher, S. (1968). Luminance-difference thresholds and simultaneous contrast. *The American Journal of Psychology*, 81(1), 27-35.
- Sternberg, R. J. (2003). *Cognitive psychology* (3 ed.): Thomson Learning.
- Stroop, J. R. (1935). Studies of interference in serial verbal reactions. *Journal of Experimental Psychology: General*, 18(6), 643-662.
- Sweller, J. (1989). Cognitive technology: Some procedures for facilitating learning and problem solving in mathematics and science. *Journal of Educational Psychology*, 81(4), 457-466.
- Sweller, J., & Cooper, G. A. (1985). The use of worked examples as a substitute for problem solving in learning algebra. *COGNITION AND INSTRUCTION*, 2(1), 59-89.
- Sweller, J., & Levine, M. (1982). Effects of goal specificity on means-ends analysis and learning. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, & Cognition*, 8(5), 463-474.
- Sweller, J., van Merriënboer, J. J. G., & Paas, F. G. W. C. (1998). Cognitive architecture and instructional design. *Educational Psychology Review*, 10(3), 251.
- Takamura, S., & Kobayashi, N. (2002). *Practical extension to cieluv color space to improve uniformity*. Paper presented at the Image Processing. 2002. Proceedings. 2002 International Conference on.
- Tarmizi, R. A., & Sweller, J. (1988). Guidance during mathematical problem solving. *Journal of Educational Psychology*, 80(4), 424-436.
- Thagard, P. (2002). *Coherence in thought and action (life and mind: Philosophical issues in biology and psychology)*: The MIT Press.
- Theeuwes, J. (1995). Abrupt luminance change pops out; abrupt color change does not. *Perception & Psychophysics*, 57(5), 637-644.
- Theeuwes, J., Kramer, A. F., & Atchley, P. (1999). Attentional effects on preattentive vision: Spatial precues affect the detection of simple features. *Journal of*

- Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 25(2), 341-347.
- Tidwell, J. (2005). *Designing interfaces: Patterns for effective interaction design* (Vol. 352): O'Reilly.
- Tipper, S. P. (1985). The negative priming effect: Inhibitory priming by ignored objects. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology Section A*, 37(4), 571 - 590.
- Treisman, A. (1985). Preattentive processing in vision. *Comput. Vision Graph. Image Process.*, 31(2), 156-177.
- Treisman, A., & Gelade, G. (1980). A feature-integration theory of attention. *Cognitive Psychology*, 12(1), 136.
- Treisman, A., & Gormican, S. (1988). Feature analysis in early vision: Evidence from search asymmetries. *Psychological Review*, 95(1), 15-48.
- Treisman, A., & Sato, S. (1990). Conjunction search revisited. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance*, 16(3), 459-478.
- Treisman, A., & Souther, J. (1985). Search asymmetry: A diagnostic for preattentive processing of separable features. *Journal of Experimental Psychology: General*, 114(3), 285-310.
- Treisman, A., & Zhang, W. (2006). Location and binding in visual working memory. *Memory & cognition*, 34(8), 1704-1719.
- Tsal, Y., & Lavie, N. (1993). Location dominance in attending to color and shape. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance*, 19(1), 131-139.
- Tufte, E. R. (2003). *The cognitive style of powerpoint*: Graphics Press.
- Uchikawa, K., & Boynton, R. M. (1987). Categorical color perception of japanese observers: Comparison with that of americans. *Vision Research*, 27(10), 1825.
- Valberg, A. (2001). Unique hues: An old problem for a new generation. *Vision Research*, 41(13), 1645.
- Vanderplas, J. M., & Garvin, E. A. (1959). The association value of random shapes. *Journal of Experimental Psychology: General*, 57(3), 147-154.
- von Grunau, M. W., Faubert, J., Iordanova, M., & Rajska, D. (1999). Flicker and the efficiency of cues for capturing attention. *Vision Research*, 39(19), 3241.
- Ward, M., & Sweller, J. (1990). Structuring effective worked examples. *COGNITION AND INSTRUCTION*, 7(1), 1-39.
- Ware, C. (2004). *Information visualization* (2 ed.): Morgan Kaufmann.
- Watanabe, T., & Cavanagh, P. (1996). Texture laciness: The texture equivalent of transparency? *Perception*, 25(3), 293-303.
- Watson, D. G., & Humphreys, G. W. (1997). Visual marking: Prioritizing selection for new objects by top-down attentional inhibition of old objects. *Psychological Review*, 104(1), 90-122.

- Wertheim, A. H., Hooge, I. T. C., Krikke, K., & Johnson, A. (2006). How important is lateral masking in visual search? *Experimental Brain Research*, 170(3), 387-402.
- Wolfe, J. M. (2001). Asymmetries in visual search: An introduction. *Perception & Psychophysics*, 63, 381.
- Wolfe, J. M. (2006). Guided search 4.0: Current progress with a model of visual search., *Scene Understanding Symposium, Spring 2006*. Massachusetts Institute of Technology.
- Wolfe, J. M., Cave, K. R., & Franzel, S. L. (1989). Guided search: An alternative to the feature integration model for visual search. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance*, 15(3), 419-433.
- Wolfe, J. M., & DiMase, J. S. (2003). Do intersections serve as basic features in visual search? *Perception*, 32, 645-656.
- Wolfe, J. M., & Horowitz, T. S. (2004). What attributes guide the deployment of visual attention and how do they do it? *Nature reviews Neuroscience*, 5, 495-501.
- Wright, R. D. (1998). *Visual attention*. New York: Oxford University Press.
- Wright, R. D., & Richard, C. M. (2000). Location cue validity affects inhibition of return of visual processing. *Vision Research*, 40(17), 2351.
- Yantis, S., & Jonides, J. (1984). Abrupt visual onsets and selective attention: Evidence from visual search. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance*, 10(5), 601-621.
- Yantis, S., & Jonides, J. (1996). Attentional capture by abrupt onsets: New perceptual objects or visual masking? *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance*, 22(6), 1505-1513.
- Yeung, A. S., Jin, P., & Sweller, J. (1998). Cognitive load and learner expertise: Split-attention and redundancy effects in reading with explanatory notes. *Contemporary Educational Psychology*, 23(1), 1.
- Zaidi, Q., Yoshimi, B., & Flannigan, J. (1991). Influence of shape and perimeter length on induced color contrast. *J. Opt. Soc. Am. A*, 8(11), 1810.
- 吳依恂. (2006, 2006/8/31). 螢幕分身技－創造得心應手的簡報體驗. *電子時報*
Retrieved 4/12, 2007, from
<http://home.digitimes.com.tw/ShowNews.aspx?zCatId=326&zNotesDocId=989E8B5380A6CE81482571DA003A50B3>
- 吳欣穎. (2006). 不同環境照度下液晶顯示螢幕膚色再現之研究. 世新大學, 臺北市.
- 李允立. (2007). 色彩學. Retrieved October 9, 2007, from
<http://eoe.ntu.edu.tw/doc/class-Colorful/070316.pdf>
- 李恭晴, 林保平, 洪有情, 陳昭地, 陳冒海, 曹博盛, et al. (1999). *國民中學數學教*

- 科書 (Vol. 3). 臺灣, 台北: 國立編譯館.
- 李進福. (2006). *數學教材設計之研究—以視覺設計理論為基礎*. 國立交通大學, 新竹.
- 林靜雯, & 邱美虹. (2005). 整合類比與多重表徵研究取向探究多重類比設計對兒童電學概念學習之影響. *科學教育學刊*, 13(3), 317-345.
- 邱建偉. (2005). *在數學簡報系統上設計數學教材之研究*. 國立交通大學, 新竹.
- 施振榮. (2004). *再造宏碁—開創、成長與挑戰*. 臺北市: 天下遠見出版股份有限公司.
- 柯華蕙. (2007). 智力測驗如何測出智商. *科學人雜誌網站*. Retrieved 12.29, 2007, from <http://sa.ylib.com/circus/circusshow.asp?FDocNo=1014&CL=8>
- 洪志成. (1985). *台北縣市國中學生數學科自我概念及其有關因素之研究*. 國立臺灣師範大學, 臺北.
- 孫慶文. (1999). *色彩視覺*. 臺北市: 遠流.
- 陳佑霖. (2005). *色外貌模式在跨媒體彩色複雜影像之再現應用研究*. 世新大學, 台北市.
- 陳明璋. (2006). *數學簡報系統—一個克服數位落差之教師專業發展環境*. Paper presented at the 第十屆全球華人計算機教育研討會, 北京清華大學.
- 葉素玲. (1999a). *色彩在空間視覺所扮演的角色*. 臺北市: 遠流.
- 葉素玲. (1999b). 視覺空間注意力. In 李江山 (Ed.), *視覺與認知—視覺知覺與視覺運動系統*. 台北市: 遠流.
- 路君約, 程法泌, & 盧欽銘. (1991). *國民中學智力測驗指導手冊*. 臺北市: 中國行為科學社.
- 鄒永裕, & 王美芬. (2006, 12,15-12,16). *概念構圖教學對國小學童科學閱讀理解能力影響之研究*. Paper presented at the 中華民國第 22 屆科學教育學術研討會, Taipei, Taiwan.
- 維基百科編者. (2007). 色盲. Retrieved October 20, 2007, from <http://zh.wikipedia.org/w/index.php?title=%E8%89%B2%E7%9B%B2&oldid=5298496>
- 劉佳觀, 張川陽, 蔡明媛, & 蔡佩芬. (2003). A study of skeletal and dentoalveolar changes after rapid maxillary expansion. *中華民國齒顎矯正學雜誌*, 15(4).
- 潘正安. (1985). *國中學生科學態度之研究*. 國立臺灣師範大學, 臺北.
- 蔡學鏞. (2005, 7/5). Beyond bullet points 書評. *學鏞書評*. Retrieved 2007/4/13, 2007, from <http://www.tenlong.com.tw/Read/readForm.php?i=9>
- 蘇柏奇. (2006). *數學教材設計之研究—以知覺理論為基礎*. 國立交通大學, 新竹.
- 櫻井正二郎. (1999). 雙眼立體視覺—是獨立的歷程嗎?. In *視覺與認知—視覺知覺與視覺運動系統*. 台北: 遠流.

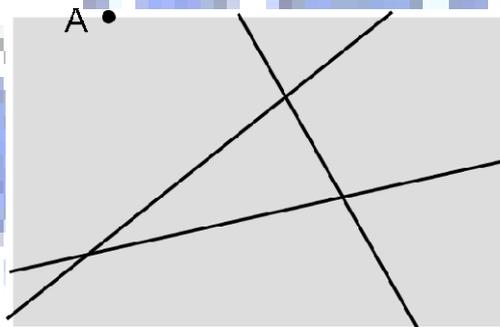


附件一 Retention Test 試卷

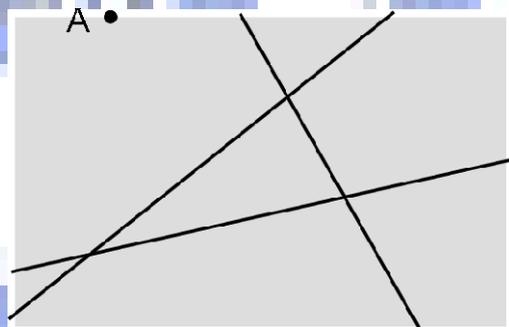
1. 請完成下表，並在表右方寫出 n 條線最多可將平面割成幾個區域的公式

n	切割線段	切割區域	區域總數
0			
1			
2			
3			
4			

2. 已知平面中新增的一條直線（第 4 條線）通過 A 點，有兩種狀況會使得此直線與原有的 3 條直線交點數最少，請畫出這兩種情形，並在圖形下方以文字敘述的方式寫出交點減少的原因(請依照實驗投影片所呈現的直線位置來回答)。



原因：



原因：

3. (1) 第 n 條線和原有 $n-1$ 條線最多會有幾個交點？答：_____

(2) 第 n 條線最多會被原有的 $n-1$ 條線割成幾段？答：_____

(3) 第 n 條線最多可以切到幾個原有的區域？答：_____

(4) 第 n 條線最多可以讓區域總數增加幾個？答：_____

(第 4 小題補充說明：也就是說，第 n 條線比起 $n-1$ 條線時區域總數會增加幾個？)

(5) 在「直線避免通過原有交點」的投影片中，此新增直線是什麼顏色？答：

(6) 在「直線避免平行於原有直線」的投影片中，此新增直線是什麼顏色？答：_____



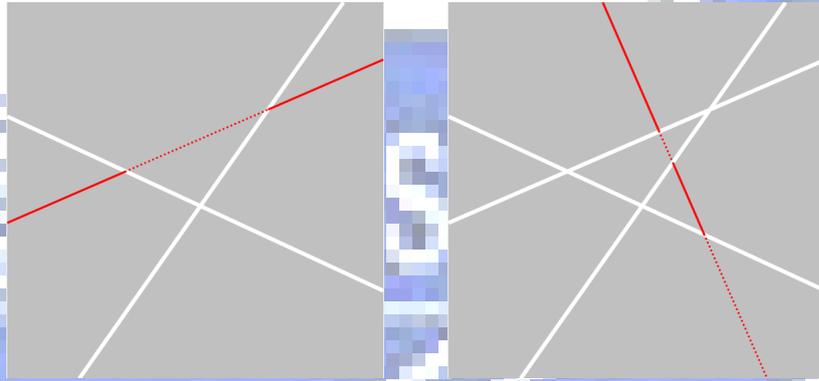
附件二 Matching Test 試卷

1. 請依照實驗投影片的內容以及下列說明，直接在下方兩圖形內作答

(1) 新增直線（紅色）會割出幾個新的粉紅色區域，請用○將這些粉紅色區域標示出來。

(2) 實驗投影片中有些區域的灰色比較淺，請用 X 將這些區域標示出來。

請注意，若有相鄰的兩塊都是淺灰色，而中間被直線隔開，則兩塊都需要以 X 標示



2. 請依照實驗投影片在下圖中以 1、2、3 標示三條白線，且標示所在的位置要和實驗投影片相同。

新增一條直線與原有直線最多有幾個交點

避免通過原有交點
避免平行

1. 有幾段就切幾區
段數等於交點數+1

2. 與原有直線交點數？
原有直線有幾條
就會有幾個交點

3. 結論：第 n 條線與
原 $n-1$ 直線
有 $n-1$ 個交點
分 n 段
切 n 區域

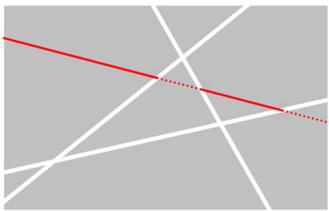
3. 請依照實驗投影片的內容以及下列說明，直接在下方圖形內作答

- (1) 新增直線（紅色）會割出幾個新的粉紅色區域，請用○將這些粉紅色區域標示出來。
- (2) 實驗投影片中有些區域的灰色比較淺，請用 X 將這些區域標示出來。
請注意，若有相鄰的兩塊都是淺灰色，而中間被直線隔開，則兩塊都需要以 X 標示
- (3) 在說明紅色直線被割成的「段數」是其與白色直線「交點數」+ 1 時，有三個紅色線段上方有「黑色弧線」，而另一個紅色線段則沒有。請以「黑色弧線」標記在這三個紅色線段上方。

直線被分幾段就能切幾區

增加一條線，請觀察

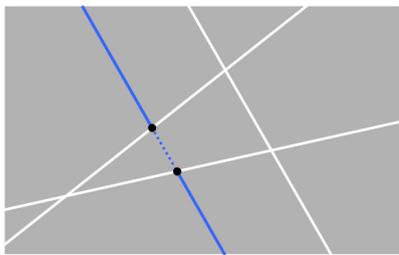
1. 該線段被分割成幾段?
4 段
2. 增加多少區域? **4 個**
3. 結論：**有幾段就切幾區**
段數是交點數+1
交點越多越好



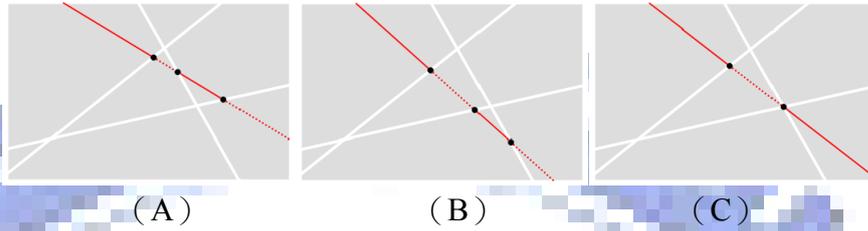
4. 在下方投影片中，有兩條直線其實是黃色的，請用您的筆在這兩條直線上再描一次（用您的筆直接在圖形中完全一樣的位置再描繪一次這兩條線，疊在原来的上面）

直線避免平行於原有直線

1. **段數越多越好**
交點越多越好
2. 與原有直線平行
損失一個交點
平行線永不相交
3. 結論：**避免與原直線**
互相平行



5. 在「直線避免過原有交點」的結論投影片中，有三個情形的圖示，如圖 (A) (B) (C)，請在下方原投影片的三个空格內填入該位置內正確圖示的代號 (請填 A、B、C)。



<p>1. 有幾段就切幾區 段數是交點數+1 交點越多越好</p>	<input type="text"/>
<p>2. 通過原有交點 浪費造成交點的機會 原先相異的交點重合</p>	<input type="text"/>
<p>3. 結論：避免通過 原有交點</p>	<input type="text"/>

6. 在「 n 條直線最多可把平面分割成多少區域？」的結論投影片中，有 5 個藍色的箭頭標示了整個

逐步累加的過程，請將這 5 個藍色箭頭在下圖標示出來。

n	切割 線段	切割 區域	區域 總數
0	0	0	1
1	1	1	2
2	2	2	4
3	3	3	7
4	4	4	11
n	n	n	$1 + 1 + \dots + n$

附件三 Transfer Test 試卷

1. 平面上 5 條直線最多可以將此平面分成幾個區域？

n 條直線可以將平面分割成 11 個區域，請問 n 最少等於多少？

3. n 條直線可以將平面分割成 11 個區域，請問 n 最多等於多少？

4. 平面上有 9 條直線，任意三線不共交點，且兩兩互不平行。已知第 10 條線和此 9 條線皆不平行，而且第 10 條線和此 9 條線僅有 6 個交點。請問，第 10 條線通過幾個由前 9 條線所形成的交點？