

魔術方塊之悅趣化空間感知設計研究

劉奕帆* 廖冠智**

* 中央大學 網路學習科技研究所

yifan.liu.tw@gmail.com

** 新竹教育大學 數位學習科技研究所

can@mail.nhcue.edu.tw

摘要

魔術方塊 (Rubik's Cube) 是眾所周知的益智玩具, 在兼具簡單的結構下, 以單純操作方式卻能組合出多變的空間排列。復原一個混亂的實體魔術方塊, 其過程令人著迷, 其解題復原亦可依靠公式完成。以魔術方塊進行探究「空間感知 (spatial perception)」之學習, 已陸續有相關研究, 本研究初步以分析空間能力相關理論為基礎, 瞭解實體魔術方塊的操作過程以進行遊戲與介面設計, 建構出「魔術方塊空間之悅趣感知」遊戲系統, 使用者從遊戲中學習、引導自我挑戰, 透過輔助與暗示完成任務, 以增進對魔術方塊的空間感知。

遊戲系統中發展出四種悅趣學習主題類型與相關輔助功能, 並以實驗與問卷調查進行系統整體內容評估與 ARCS 動機檢測, 藉而得知使用者操作系統之情形與學習動機。實驗證實使用者多能接受空間感知的悅趣設計方法、輔助功能與介面設計, 並助於提升學習動機。研究成果希望能提供未來相關的悅趣化空間感知之互動媒體設計、操作方法的參考依據, 未來研究將進一步以此系統的空間感知悅趣設計成果, 進而驗證與提升空間能力成效的關聯性。

關鍵詞：魔術方塊、悅趣化、空間感知、介面設計、遊戲設計

論文引用：劉奕帆、廖冠智 (2011)。魔術方塊之悅趣化空間感知設計研究。《設計學報》，16 (3)，45-67。

一、前言

魔術方塊 (Rubik's Cube)，如下頁圖 1，自 1974 年匈牙利布達佩斯大學建築設計系 Erno Rubik 教授發明以來，至今仍風靡全球，其外型具備簡單的立方體結構：三立方單位、由三種不同類型的小方塊共 26 個所組成 (X、Y、Z 軸之交錯為空心)，分別為 6 個中心塊 (center)、12 個邊塊 (edge) 與 8 個角塊 (corner)，且具備簡單的操作規則，方塊旋轉是以「層 (layer)」為單位，每一層都可任意旋轉 90°、180°與 270°，其組合變化高達 4.3252×10^{19} 種 (Joyner & Betsch, 2005；文士豪, 2007；郭君逸, 2008)。

一般認為能輕易復原混亂的實體魔術方塊，與空間能力 (spatial ability) 的表現似乎有某種關連，其復原過程也令人著迷，但從魔術方塊的解題講解中可知 (莊學文, 2008)，透過公式 (formulas) 的記憶與應用，同樣可以完成復原狀態，然對於魔術方塊的生手使用者 (novice)，運用公式其實具有一定的困難度。在實際操弄 (implementations) 魔術方塊的過程中，不同層的方塊旋轉其組合排列較為複雜，不僅須記憶上一步驟的方塊轉動結果，更須判斷下一步驟方塊位置可能的變動範圍。同時，檢視各面體的狀況以進行操作旋轉，對生手而言難度很高 (Korf, 1997)，由此可知操弄魔術方塊空間 (Rubik's Cube space) 的成效，可能因個人對方塊空間的感知 (perception) 能力不同而有所差異，而生手如何認知其魔術方塊的空間特徵、進一步助於感知、瞭解到方塊在空間位置的變動過程與結果，同樣扮演空間操弄成效的關鍵角色。

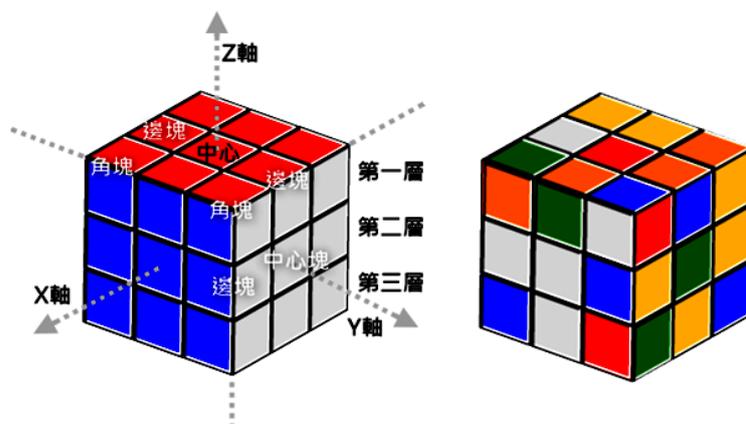


圖 1. 魔術方塊之基本型體與混亂狀況

空間感知 (spatial perception) 探究與空間能力息息相關，而空間能力的探究其起源可追溯自二十世紀初。在許多智力理論中，皆述其重要性，至中期時更被認為有別於一般智力，因而逐有獨立探究空間能力的相關資料 (Linn & Petersen, 1985)。眾所周知且成就非凡的達文西、梵谷、貝聿銘等，其空間能力皆有不錯表現，其他如建築師、雕塑家、畫家等各專業知能中亦需具備相當的空間能力 (Gardner, 1983)。而空間能力之提升與訓練方式，其中一種經常使用的方式是以問卷型式呈現特定的二維形狀、立體造型圖形，並以心像操作 (mental implementation) 得出旋轉特定角度後的結果 (陳光勳, 2006)。

近年來受到許多學者廣泛的重視「悅趣學習／遊戲式學習 (game-based learning)」，梁朝雲等 (2008) 提出「悅趣學習宣言」，意即將遊戲中促進參與度和增強持續性的元素應用於數位學習設計中，以實踐寓樂於教與寓教於樂的亙古理想，藉此催化悅趣學習的提升，導正負面作用成為改善的力量，並引導產業研發嚴肅遊戲設計 (serious game design)。同時，許多研究認為悅趣學習是以互動媒體輔佐學習理解、強化學習動機與探索樂趣，能引導使用者以樂趣態度進行學習，進而提升學習意願與成效 (Kiili, 2005a; 游光昭、蔡福興、蕭顯勝、徐毅穎, 2004)。

為了引導使用者易於認識魔術方塊的空間特性，本研究初步以分析空間能力相關理論為基礎，瞭解實體魔術方塊的操作過程以進行遊戲與介面設計，實際建構出「魔術方塊空間之悅趣感知」遊戲系統，使用者從遊戲中學習、引導自我挑戰，透過輔助與暗示完成任務，以增進對魔術方塊的空間感知。本研究對象為國小高年級學童，以實驗與問卷調查進行系統評估與 ARCS 動機檢測，藉而得知使用者對此悅趣感知的介面設計，其操作的接受程度與是否助於強化學習動機。本研究結果希望能作為未來相關的悅趣化空間感知之互動媒體設計、操作方法的參考依據，未來研究將進一步以此系統的空間感知悅趣設計成果，進而驗證與提升空間能力成效的關聯性。

二、文獻探討

2-1 空間能力與空間感知

「空間能力」之定義至今仍無法獲得明確共識，其概念與看法也較為分歧（McGee, 1979；于富雲、陳玉欣，2008；簡茂發等人，2008）。Kelly（1928）定義空間能力是一種對視覺形式的認知、記憶或操控心像（mental image）中圖形的能力，並將之分為辨識（recognition）與操控（manipulation）兩種模式。亦有研究者認為空間能力是指在心中記住一個圖像，並能進行扭轉（twist）、移動（move）與旋轉（rotate）圖像，比較前後狀態的圖像差異與進行比對之能力（Guilford & Lacey, 1947; Guilford & Lacey, 1947）。魔術方塊的空間操作特徵，同樣具有旋轉與移動的特性，以及比較操作前後方塊空間的變化關係，Guildford（1967）提出在心裡想像物體的旋轉、摺合，於三維空間中操弄二維心像，瞭解空間中物體位置改變關係，同屬空間能力的表現，由此可知魔術方塊空間的操弄能力似乎與空間能力之表現有某種程度的關連性，而認識魔術方塊空間的操弄能力之概念，或許可從空間能力表現之構成進行探究。

McGee（1979）認為空間能力可分成兩種：「空間視覺能力（spatial visualization）」：指在心中進行操弄、旋轉、扭轉或反置物體位置的能力；「空間定位能力（spatial orientation）」：指空間與方位改變時能判別方位的能力，由此可知空間的視覺能力是影響在空間中定位能力表現的因素之一。而空間的視覺能力與「空間感知（spatial perception）」密切相關，Linn 與 Petersen（1985）認為空間感知是指個體能在心中想像旋轉 2D 或 3D 圖像之表現能力，Lohman（1988）提出「空間視覺能力（spatial visualization）」，類似於空間感知的概念，同時是指能將平面圖形想像成立體圖形的能力，且皆認為空間感知是源於空間能力的一種概念。因此，能輕鬆操弄魔術方塊空間，與空間能力中對方位的空間感受能力之表現具有密切關連，亦即強化空間感知能力能輔佐對整體空間能力之表現成效。綜觀上述得知，空間能力之定義涵蓋範圍廣泛，而空間感知源於空間能力之概念，指在心中旋轉、扭轉、反置物體位置，且能將平面圖像轉而想像為立體圖形，在操弄魔術方塊空間變化的過程中同樣具有類似的特性。若能輔以某種方式進行體驗與學習空間感知的過程，對魔術方塊空間與方位變動之掌握能力或許具有成效。

2-2 遊戲設計與悅趣學習

以遊戲方式進行悅趣性學習，在學習過程中可強化動機與產生探索興趣，已有研究認為是可行的方式（洪榮昭、劉明洲，1997）。Prensky（2001）同時認為引導使用者與電腦進行良好互動的過程，可主動提高學習興趣、減輕學習壓力，達成個別化的學習與體驗，引導使用者進行探索與思考。在構成遊戲的設計元素中，Alessi 與 Trollip（2001）認為遊戲應包含目標（goals）、規則（rules）、競爭（competition）、挑戰（challenge）、新奇（fantasy）、安全（safety）與娛樂（entertainment）。可看出遊戲設計元素中，兼具新奇、娛樂性效果是引發玩家感受的重要項目。

若從遊戲的娛樂性目的逐漸導向兼具教育意味（edutainment）的悅趣學習面向，Prensky（2001）認為遊戲構成要素為：規則（rule，即訂定遊戲玩法，規則與限制，給予玩家依循與指示）、目標（goals，指明確的目標提供、告知使用者努力的方向）、產出與回饋（outcomes and feedback，指提供文字、音效、動畫等訊息以促進學習動機與瞭解互動現況）、衝突／競爭／挑戰／對立（conflict competition/challenge/opposition，指塑造出激發使用者自我挑戰的問題，或由適度競爭、產生對立、面對挑戰而達成目標）、互動（interaction，指透過適當的教學提示與回饋，使使用者產生互動與輔助學習）、

故事情節 (representation or story, 指經由適當想像, 引入故事及情境的元素, 引發學習動機加強學習效果)。由此可知悅趣學習設計的元素中, 經目標、互動、產出與回饋等主題確立, 可引導使用者進一步瞭解學習的主題目標、遊戲的互動方式與規則、以及互動後學習內容的呈現以產出與回饋方式輔佐使用者瞭解。

隨媒體科技進展, 數位化是遊戲設計中不可或缺的特質。吳天貴 (2007) 整理多位研究者提出數位遊戲 (digital game) 的特性並進行歸納, 結果得知規則、目標、挑戰、互動與回饋是數位遊戲設計中不可或缺的元素項目。然而, 學習過程需要有良好的動機 (motivation) 進行引導與激發 (prensky, 2001), Csikszentmihalyi (1975) 同時認為學習過程中, 遊戲目標與規則致使使用者所需整體展現的技巧 (skill) 與挑戰 (challenge) 能力, 當兩者趨向協調與均衡狀態時, 可引導使用者產生專注的心流效果 (flow), 見圖 2, 倘若技巧高於挑戰, 使用者會感到無趣, 反之使用者則會感到焦慮, 大幅降低學習動機。

悅趣學習過程中, 遊戲的誘因可促使動機持續維持, 增加探索樂趣。Malone 等人 (Malone, 1981; Malone & Lepper, 1987) 認為遊戲的挑戰性 (challenge)、奇幻性 (fantasy)、好奇心 (curiosity) 與掌控性 (control) 能助於引發動機。由此可知遊戲介面 (interface) 的設計效果, 包含適當的回饋、多樣新奇的趣味性、高度控制權、適當的圖片認知、清晰的版面與視覺設計等面向, 對強化遊戲規則的掌控性, 引導遊戲的探索樂趣與動機維持, 具有一定的影響程度 (劉仕偉、徐新逸, 2003)。另外, Keller (1983, 1984, 1987) 提出 ARCS 模式, 將產生動機分為四個向度: 引起注意 (attention) 意指喚起使用者對於教材的興趣, 增加其好奇心; 切身相關 (relevance): 意指能與個人的學習目標產生關聯, 並產生積極的學習態度; 建立信心 (confidence): 強化使用者對達成目標的信心; 感到滿足 (satisfaction): 過程中以達成目標或任務而獲得滿足, 以及外在或內在的鼓勵。

在遊戲設計的悅趣學習機制上, Garris、Ahlers 和 Driskell (2002) 認為基本的遊戲學習模式 (game model), 如圖 3, 包含 Input-Process-Outcome 三個運作機制, 由教材內容 (instructional content) 與遊戲特性 (game characteristic) 兩者共構為 input 的資料來源, 進入 process 過程後導入遊戲循環 (game cycle) 階段: 當使用者進行評判 (user judgments) 後, 進行操作行為 (user behavior) 而引發系統產生對應回饋 (system feedback)。週而復始之過程形成任務報告 (debriefing), 以檢視學習過程中需修正或改進的錯誤, 經學習思考與認知而產出學習成效 (learning outcomes)。

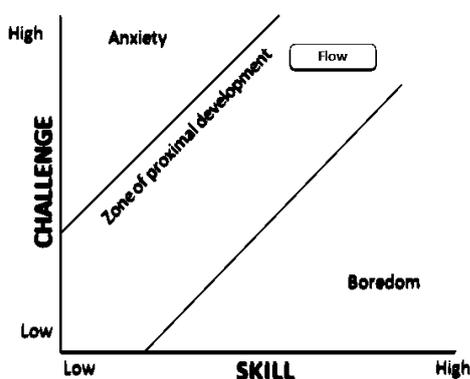


圖 2. 心流理論 (flow) 三渠道模式
(Csikszentmihalyi, 1975, p. 49)

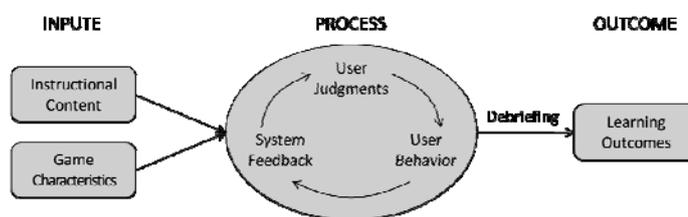


圖 3. 數位遊戲之學習模式
(Garris, Ahlers, & Driskell, 2002, p. 445)

若嘗試將學習過程的經驗 (experience) 導入遊戲設計機制、以及遊戲的專注與沈浸效果中, Kiili (2005a) 提出經驗遊戲模式 (experiential gaming model) 如圖 4, 強調學習是行為與認知的改變, 模式

中包含觀念構成週期 (ideation loop)、體驗週期 (experience loop) 及挑戰庫 (challenge bank)，使用者在接受挑戰前需有明確的目標認知，在觀念構成週期中形成可能的解決問題方案，而後在體驗週期中，由實際的學習行為累積經驗，透過適切的回饋進行思考而達成學習目的。Kiili (2005b) 加入教育遊戲之設計概念，以形成設計循環 (design cycle)，循環中包含清晰目標 (clear goals)、具體回饋 (unambiguous feedback)、聚焦專注 (focused attention)、與操作意識 (sense of control) 共構出需求分析 (needs analysis)、實行 (implementation)、反映評估 (reflective evaluation)、設計知識 (design knowledge) 的四個階段，經需求分析確立學習主題，結合設計知識進行遊戲設計，實行後深入瞭解與評估，以反覆檢視產出合適的遊戲雛型，以建構出具有心流效果的遊戲類型。

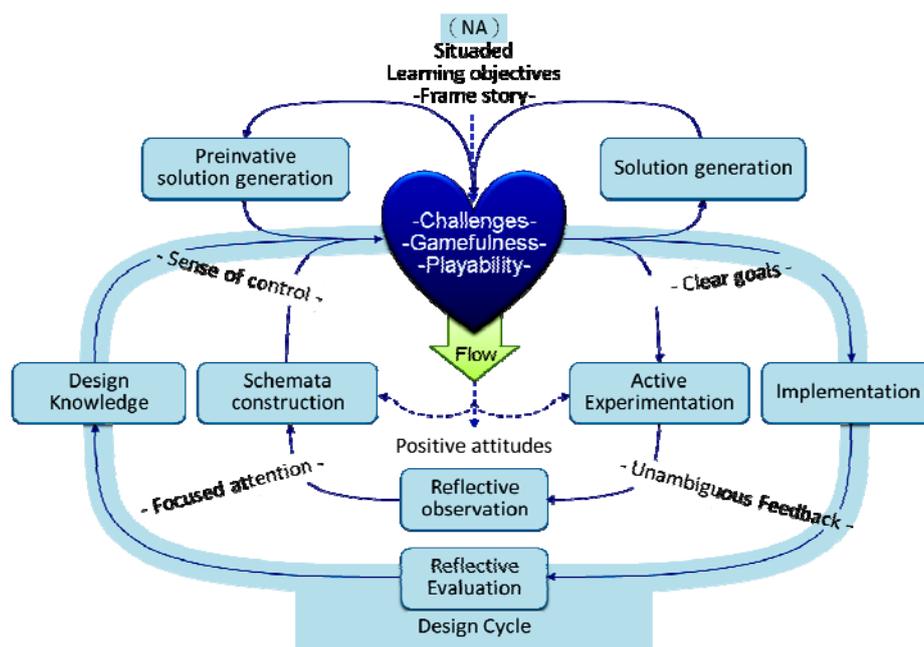


圖 4. 經驗遊戲模式 (Kiili, 2005b)

2-3 魔術方塊空間之解析

嘗試瞭解魔術方塊空間的特性，可從一般復原解題方法中進行探究其空間的變動關係。一般而言，初學者通常認為魔術方塊是透過「面」的方式進行復原，而事實上魔術方塊的復原如同旋轉時一樣是以「層」為單位。LBL (Layer by Layer) 是一般常用的魔術方塊基本解題方法，其概念為分「層」解決，首先找出白色中心塊，通常在復原時以白色為起始點，由於方塊的顏色是兩兩相對，因此若以白色中心塊為定點，其四面顏色按順時針排列為藍、紅、綠、橙，若能熟悉顏色順序將有助於後續的復原工作。依據顏色的順序，進行「第一層拼邊工作」：將方塊旋轉成十字圖形，顏色的正確順序將影響後續復原工作的複雜程度。接著進行「第一層拼角工作」：將轉好的十字白色面反置以形成黃色面朝上，並將相對應的角塊轉入，最後再完成翻邊與翻角的解題動作，以及第二、三層之後的工作，然而多數初學者普遍無法依照上述解題概念，順利完成到第三層之後的復原階段 (莊學文, 2008)。

三、魔術方塊空間之悅趣感知介面設計

本階段實質進行：「魔術方塊空間之悅趣感知」遊戲系統設計（線上系統 <http://140.126.36.95/cube/>），以魔術方塊的解題概念進行悅趣學習內容之互動介面設計，系統以 Adobe Flash CS3 為開發環境，並以 PHP 語法結合 MYSQL 資料庫進行蒐集使用者的反應與操作歷程。本研究步驟共分為四大階段進行（如圖 5），分別為文獻分析與魔術方塊空間解析階段、研究工具與空間感知介面設計階段、系統評估階段、及實驗資料分析階段，各階段詳述如後。

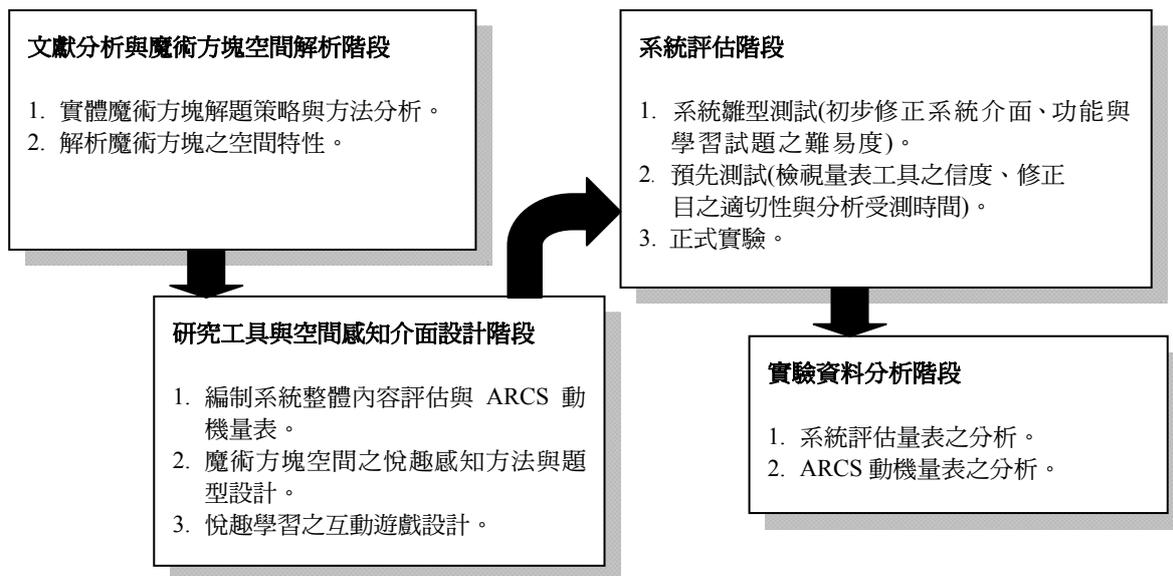


圖 5. 研究步驟

3-1 研究步驟

3-1.1 文獻分析與魔術方塊空間解析階段

本階段主要在分析實體魔術方塊之 LBL 基本解題策略與方法，參考在旋轉與定位魔術方塊的原理與概念，以作為空間感知之悅趣內容設計的參考依據。將魔術方塊的三維空間展開為二維圖形，較易於瞭解方塊的空間關係。下頁圖 6 為固定某視角的魔術方塊，並展開成二維圖形後，結合 LBL 操作概念對應於二維圖形的結果，圖中將魔術方塊依序以層的概念進行旋轉 90 度的動作（順、逆時針皆可），層的分佈如 A、B 與中間層所示，並將對應的二維圖形之變動範圍進行標示。

圖 7 以 LBL 概念進行操作，例舉出 A、B 特定位置的方塊並依序旋轉 90 度的空間變動過程，以對應的二維圖形可看出，隨旋轉對象層的差異將對應不同的空間變化，基本上呈現出方塊位置固定間格的水平或垂直橫移關係、或具有旋轉性對稱的移動關連性。經魔術方塊空間與展開二維圖形的相對位置變化過程，可理解實體方塊空間再經層的旋轉操作後的位置差異，易於掌握對方塊空間感知的認識。

3-1.2 研究工具與悅趣感知介面設計階段

本階段自行設計網路問卷填答系統：「系統整體內容評估與 ARCS 學習動機量表」作為蒐集樣本的研究工具。開始填寫前會由任課老師進行說明，適當的給予使用者協助以利作答。問卷系統會自動偵測

使用者重複註冊的問題，在作答過程中，系統會有適當的輔助介面提醒作答。若作答完畢按下送出，系統會自動檢核答題數的完整性，並進行提醒以提高問卷有效樣本的回收。

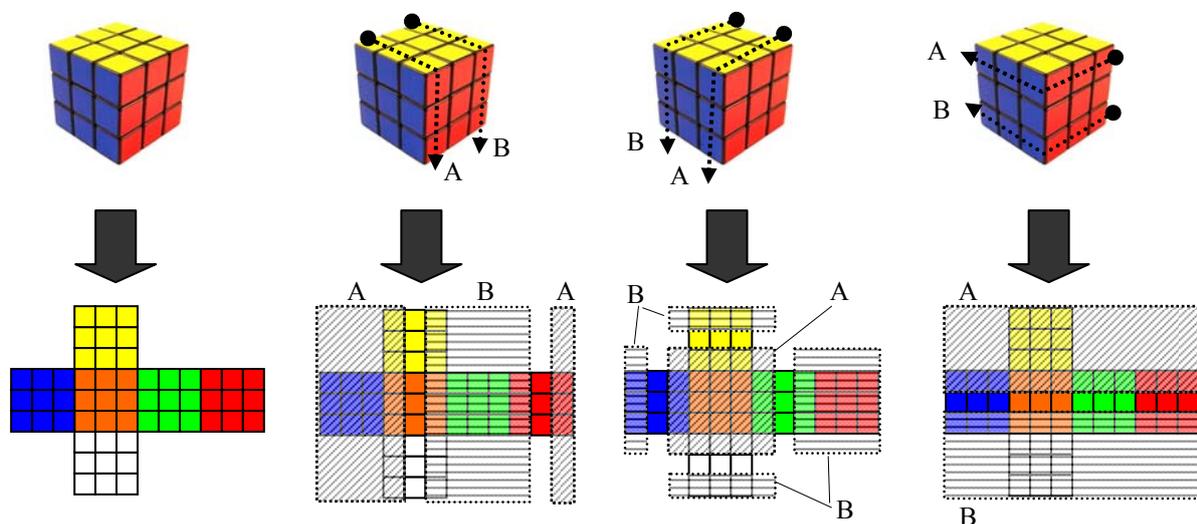


圖 6. 魔術方塊空間之變動範圍與關係 (本研究整理)

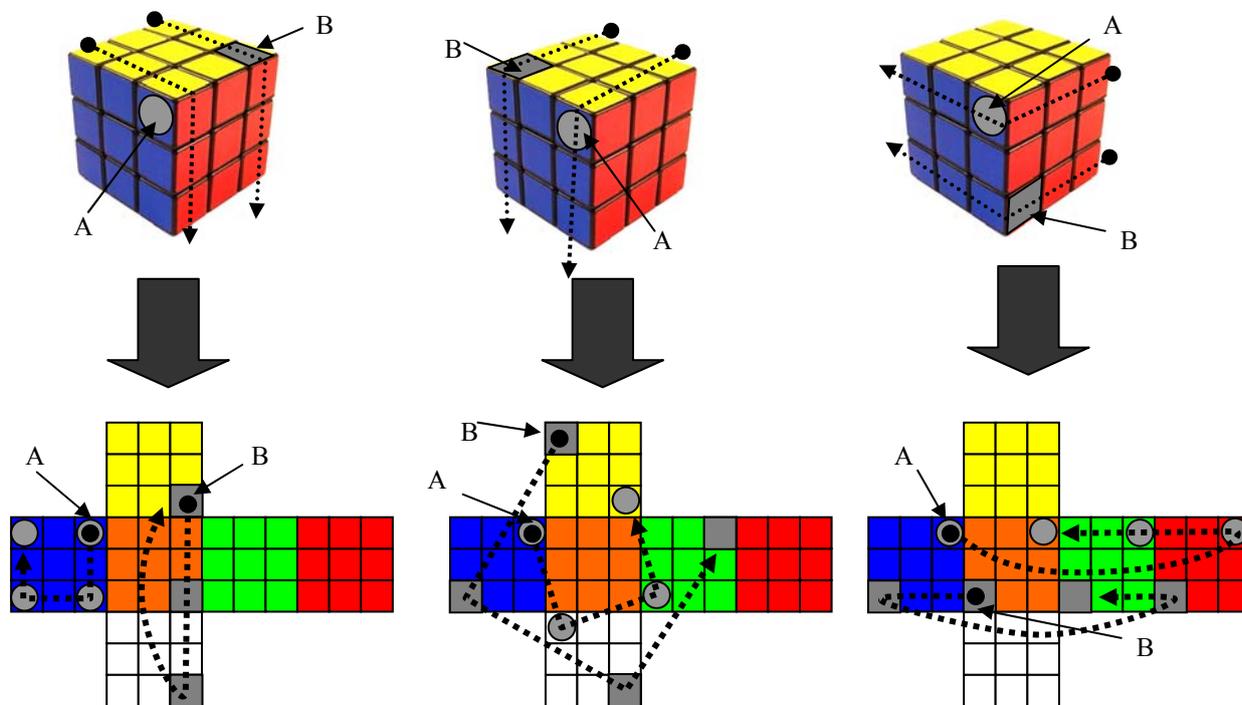


圖 7. 例舉魔術方塊空間之層 LBL 旋轉的變動過程 (本研究整理)

研究工具內容分為：「系統整體內容評估」與「ARCS 動機」兩種。其中系統整體內容評估主在瞭解使用者在魔術方塊空間之悅趣感知系統的操作歷程與反應之情形。工具信度採 Cronbach's alpha (α) 係數作為檢驗基準，評量方式採 Likert 5 點量表型式，分別設計出：整體內容評估 (15 題)、功能設計評估 (10 題)、介面設計評估 (13 題)，而問卷效度以國小教師之意見回饋進行修飾。另外，ARCS 動機部分，編修自張志全 (2002) 與吳天貴 (2007) 進行自製研究量表，同樣採 Likert 5 點量表型式進行檢測，題目包含專注力動機評估 (6 題)、相關性動機評估 (5 題)、自信心動機評估 (5 題)、滿足感動機評估 (9 題)，以及開放性系統評估題型 (1 題) 以蒐集使用者的其他建議與感受。上述研究工具皆需進行預試，以進行量表的信度檢驗與修正题目的適切性。最後，本階段同時進行魔術方塊之悅趣化空間感知介面設計，有關悅趣內容 (遊戲情境)、空間感知 (題型關卡)、互動操作之設計概念與方法 (介面設計) 說明於後。

3-1.3 系統評估與資料分析階段

本研究之實施階段分為系統雛型測試、預先測試與正式實驗三個階段，以新竹市某常態編班國小高年級學童為研究對象。實驗期間以不影響學生正式課程為前提，盡可能減少學校因額外課程安排所產生的困擾與班級教師負擔，同時研究對象需具備基礎的電腦操作技能。本階段各程序詳述如下：

1. 系統雛型測試

本階段主要目的為瞭解「魔術方塊空間之悅趣感知」系統雛型的基本問題，包含介面設計與題型關卡的難易程度，藉以修正系統功能與介面操作方式。參與對象隨機抽樣取出六年級二個班共 69 位學童，以一堂課 40 分鐘時間進行操作說明以得知系統介面、功能設計與學習試題難易度是否符合使用者需求與程度。

2. 預先測試

進行魔術方塊空間之悅趣感知遊戲系統雛型的操作，並實施檢測「系統整體內容評估與 ARCS 動機量表」，藉以瞭解量表工具的信度與修正题目適切性，瞭解測驗所需時間、試題關卡之明確性與難易度。參與對象隨機抽樣取出五年級一個班共 32 位學生接受預試，受試時間共計 60 分鐘，回收問卷共 32 份，排除無效問卷後獲得 28 份有效問卷。

量表工具經預試後，系統整體評估部分的問卷整體信度檢知 α 值=0.954 (共 38 題)，而整體內容評估 (共 15 題， α 值=0.900)、功能設計評估 (共 10 題， α 值=0.889)、介面設計評估 (共 13 題， α 值=0.862)。在 ARCS 學習動機量表部分，學習動機評估量表整體信度 α 值達 0.935 (共 25 題)，其中專注力動機評估題型 (共 6 題， α 值=0.815)、相關性評估題型 (共 5 題， α 值=0.767)、自信心評估題型 (共 5 題， α 值=0.807)、滿足感評估題型 (共 7 題， α 值=0.810)，顯示該量表具可信度，應可進行正式實驗之施測與檢驗。

3. 正式實驗

進行魔術方塊空間悅趣感知之遊戲系統的正式實驗，實施「系統整體評估與 ARCS 動機量表」以瞭解系統的操作歷程與反應動機。正式樣本由五年級隨機抽樣一個班級共 33 位學生 (男生 57.58%、女生 42.42%)，於同一個場域進行操作，受試時間共計 60 分鐘。回收問卷共 33 份，排除無效問卷後獲得 30 份有效問卷。最後，本階段以問卷測驗系統蒐集相關受測資料，採用 SPSS 統計軟體，進行描述性統計分析。

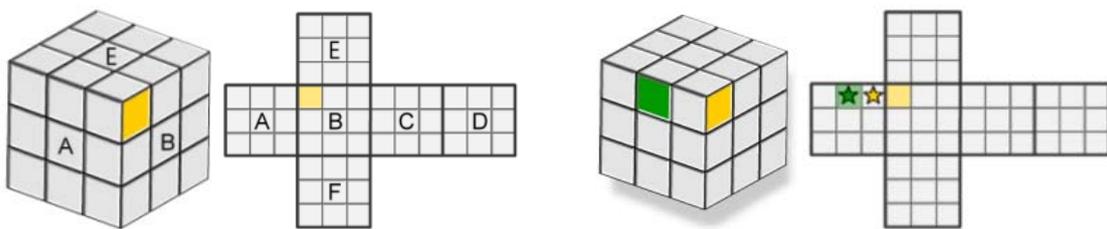
3-2 悅趣感知介面設計

3-2.1 悅趣感知設計概念

一般而言，生手剛接觸實體魔術方塊進行復原的過程中，常為了尋找一個相同顏色的方塊而旋轉物件本體，嘗試瞭解各顏色方塊的位置變化與空間現狀，致使產生空間迷失的感受。坊間著名的魔術方塊解題教學網站，也出現類似的盲目旋轉過程，為了避免使用者在操作過程中，隨意旋轉方塊本體、迷失方向性的情形，本研究所使用的魔術方塊空間，其可視角度固定為：俯仰角 (θ) 35 度、水平旋轉角 (ψ) 45 度，規範使用者僅能由前視角度看到魔術方塊的 A、B、E 三個面，如圖 8a，且無法改變可視角度，讓使用者在單一空間視角下，專注於方塊上不同「層」的轉動過程。其他無法由前視角度看到的 C、D、F 部份配以展開圖的輔助線索，引導使用者在心中進行立體與平面圖像的轉換歷程，輔助使用者對魔術方塊空間的瞭解，與強化對空間的感知能力。

另外，魔術方塊空間在旋轉過程中不斷地變化，不同顏色方塊與相對位置變化複雜，使用者不易於觀察與瞭解特定空間位置（即某個顏色方塊）的變動過程與結果。為了能突顯某特定空間方塊的旋轉變動過程，輔助使用者觀察與比較，本研究改變魔術方塊原有特性將原本六面色彩皆置換成白底（如圖 8b），僅有特定的空間位置為其他顏色的色塊，並依據空間的熟練與認識程度，標示出數個色塊引導使用者專注於色塊的空間變動過程。同時，在二維展開圖上以星號標示出、三維空間中方塊旋轉變動後必須完成移動的新位置：「即目的點 (goal)」，且星號目標不因空間旋轉而改變位置，明確告知使用者的挑戰任務是須將星號與色塊位置互相一致，驅使使用者進行空間旋轉以移動色塊，直至完成星號標示且顏色相對、兩者皆須符合的正確位置上。

因此，空間感知的悅趣設計概念以星號目標點為明確的方塊操作目的，其旋轉過程中，色塊會不斷對應、移動至新的空間位置，而星號目標則固定不動，引導使用者必須思索如何應用旋轉操作使色塊趨向目標、直至顏色與位置互相符合為止。而關卡情境設定挑戰賽模式引導使用者嘗試解決問題，專注遊戲操作活動上，每一操作立即呈現於魔術方塊空間與二維展開圖上，並透過各種輔助功能與暗示線索協助使用者進行操作思考以完成任務。相較於一般的實體魔術方塊，因顏色與空間位置變動頻繁易於空間迷失、不易認識魔術方塊的空間特性，經轉變後的悅趣感知設計概念，每次遊戲操作其視覺專注的是單純的色塊，且轉動後色塊的新位置又成為下一次、新的定位參考點，整體操作歷程引導使用者參照魔術方塊空間與二維展開的空間對應關係，促發空間感知與想像的次數。



(a) 三維魔術方塊與二維展開圖之對應概念

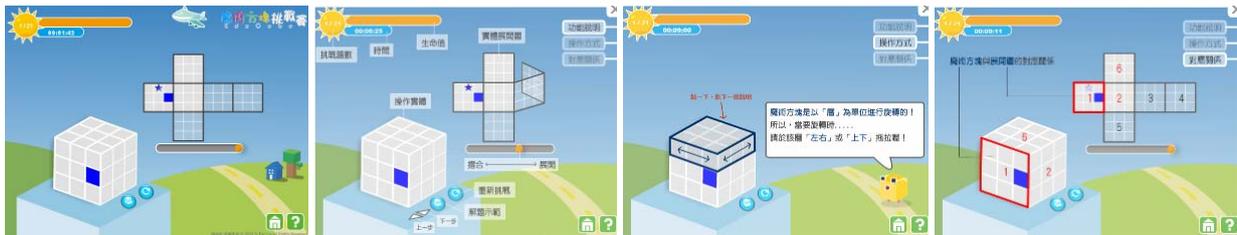
(b) 悅趣感知之基本概念

圖 8. 展開魔術方塊與悅趣感知設計概念

3-2.2 操作規則與介面設計

悅趣感知之操作規則參考 Csikszentmihalyi (1975) 提出的沈浸理論概念，適時為每次操作增加合宜的挑戰與困難因素。系統依照試題關卡的難易程度、標準解題步驟為衡量基準，訂定滿分的生命總值，

每當使用者進行一次旋轉操作皆須耗損 3 點生命值，該階段任務達成後若剩餘生命值相等或低於基準數值，顯示使用者以相對較少次數的旋轉操作完成任務、系統將給予最大值的獎勵；反之每次進行關卡依次遞減 75%，直至生命值完全喪失則宣告所面對的挑戰失敗，必需重新進行該關卡的挑戰。使用者若遇困難、努力操作後仍無法解決的試題亦可參考輔助功能（解題線索），但會耗損 25%現有生命值。期以生命值的設計概念與獎勵規則，引導使用者思考每次進行旋轉操作的結果、以及所附帶的價值，同時在實際轉動操作前在心中想像虛擬操作後的結果，目的在增進對方塊空間的感知能力。



(a) 悅趣感知系統之主要操作畫面 (b) 悅趣感知系統之各項功能說明 (c) 悅趣感知系統之操作介面方式說明 (d) 魔術方塊之型體展開對應關係

圖 9. 魔術方塊空間之悅趣感知系統設計示意畫面

表 1. 輔助功能—「立體展開圖形」摺合過程之示意

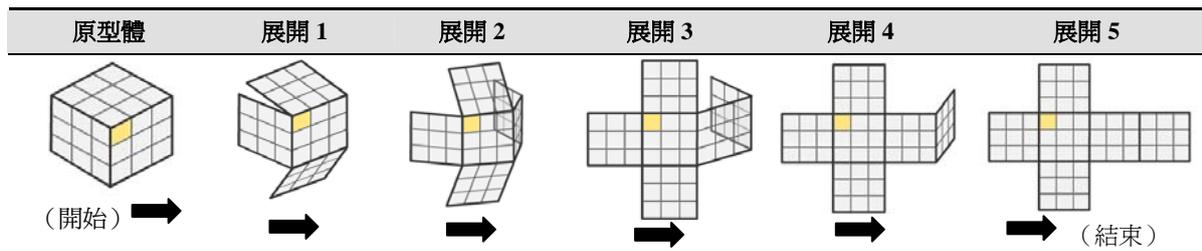
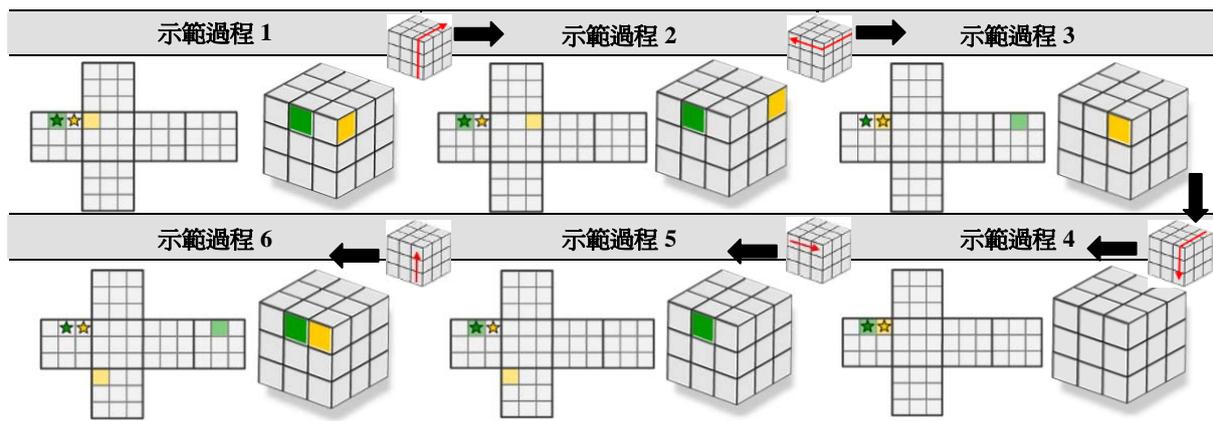


表 2. 輔助功能—「解題示範」功能之示意



魔術方塊空間之悅趣感知系統主要以增進對空間的感知能力為基點，針對旋轉操作介面、輔助互動性、與關卡情境等三大設計要素進行設計，系統畫面如圖 9 所示。其旋轉操作介面透過滑鼠的點選來轉動魔術方塊，在旋轉過程中提供相關的輔助功能供使用者參考，畫面同時呈現出目前的關卡進度（已完成、現在、以及未完成關卡之資訊）。另外，輔助互動功能主要有三種，第一種是「立體展開圖形」，此功能輔助使用者在操作魔術方塊時減少對空間迷失的可能性，並明確以星號標示出目標位置，當使用

者不熟悉進行二維展開與立體魔術方塊的轉換歷程時，可動態調整二維展開的摺合程度，以動態呈現色塊在空間的相對位置，當已能適應方塊的空間特性時，期以使用者階段性減少輔助線索、並單以二維展開圖進行想像。第二種是「解題示範」功能，如表 2 所示，當使用者在解題的過程中遇到無法解決的試題時，可利用解題示範功能進行參考，使用者能夠經由示範的過程找到無法解題的盲點，引導使用者參照解題示範所進行的操作層與旋轉方向，以進行再次嘗試。最後一種是「重新開始」功能：若使用者操作方塊、並產生無法復原的混雜狀態時，可利用重新開始再次嘗試解題。使用者進行每次遊戲操作時，畫面皆呈現出總使用時間，並記錄每一關卡所耗費時間於資料庫中，以便後續整理與分析。

3-2.3 關卡情境與題型設計

上述經魔術方塊空間與型體特徵、操作規則與介面設計進行分析後，依原有解題方法、空間特性進行四種題型概念設計：分別為「色塊定位 (color-block orienting)」、「方塊定位 (block orienting)」、「置入 (inserting)」與「移出置入 (combination and insertion)」，題型設計概念主要突顯旋轉操作的複雜度、特定位置的空間關係、以及操作的暫存 (temporal) 特性。因此，不同題型也表示基礎至進階的空間感知能力之差異，並以悅趣感知的旋轉操作方法，引導使用者對空間的認識與強化感知能力。而不同題型皆有難易不同的關卡設計，為輔助使用者易於連結學習主題與挑戰情境，題型表現情境分別以「晴天」、「陰天」、「雨天」與「暴風雨」等四種作為代表，如表 3 所示，各個關卡代表不同複雜度的試題類型，使用者能自我選擇題型進行挑戰，或從未接觸過、剛接觸魔術方塊的使用者由簡單的關卡依序完成挑戰。各題型之設計概念、空間特性等詳述如後，如下頁表 4 所示。

表 3. 試題類型與關卡情境之對應關係

關卡級數	第一關	第二關	第三關	第四關
情境圖示	晴天 	陰天 	雨天 	暴風雨 
試題類型	色塊定位 (color-block orienting)	方塊定位 (block orienting)	置入 (inserting)	移出置入 (combination and insertion)
目標	在正立方體上將色塊旋轉至指定位置上。	將小方塊旋轉至指定位置上，並瞭解魔術方塊的特性。	在不變動其它小方塊情況下，將特定的小方塊旋轉至指定位置。	在不變動其它小方塊的情況下，將方向錯誤的小方塊先移出後再旋轉至指定位置。
複雜度	基礎 \longrightarrow 進階			

1. 「色塊定位」之題型概念

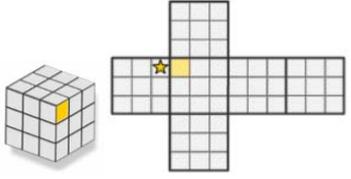
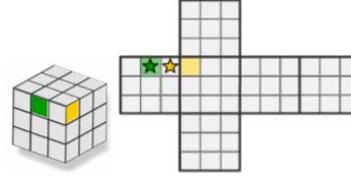
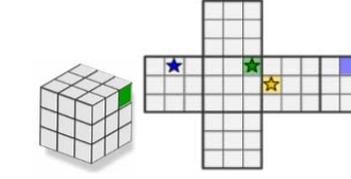
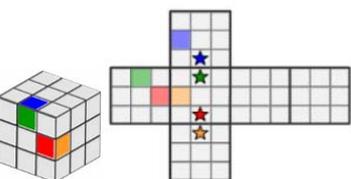
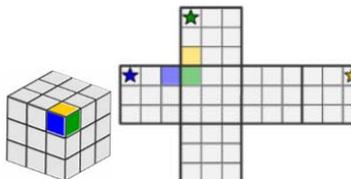
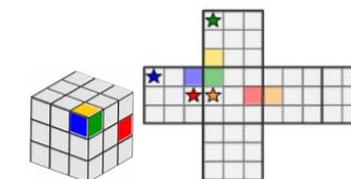
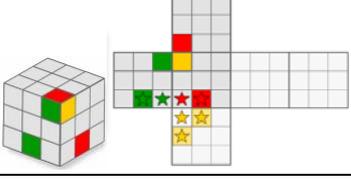
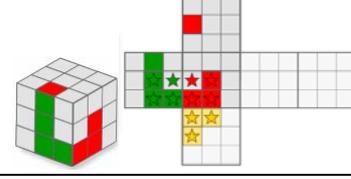
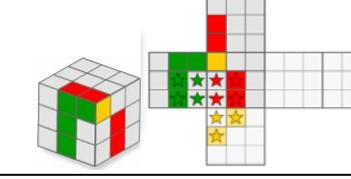
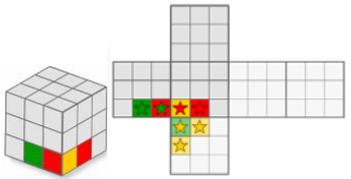
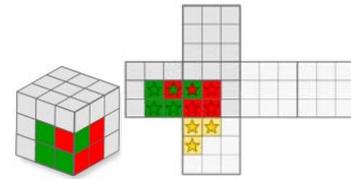
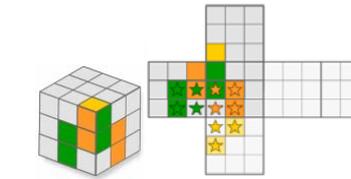
以魔術方塊正立方體的型體特徵與旋轉方式發展而成，引導使用者瞭解其正立方體上對單一色塊進行旋轉、定位與反置的基本能力，使用者在旋轉方塊時只需以單一色塊為基準點進行旋轉與定位。同時，該題型也引導使用者瞭解色塊暫存 (temporal position) 概念與其應用時機。「單色定位」：只需將一個色塊轉到相對的位置，透過試題之引導嘗試讓使用者逐漸熟悉魔術方塊空間與展開圖、以及鄰近層面的

對應關係。「雙色定位」：最終必須將兩個色塊轉到對應的目標位置上，過程中可能會遇到一次轉動兩個色塊的情形，因此需先將一個色塊暫時存放某處後，再旋轉另一個色塊至相對應的位置上，接著再移動先前暫存某處的色塊，此觀念為實體魔術方塊普遍使用的暫存概念。「三色定位」：為雙色定位的進階版，亦是色塊定位中難度最高的，依據三色定位試題的難易與色塊連動關係，操作過程中時常需要暫存一個以上的色塊。

2. 「方塊定位」之題型概念

設計概念以魔術方塊中角塊、邊塊與中心塊特性發展而成，目的在讓使用者進行旋轉與反置操作時，針對「同一個」方塊卻涵蓋「不同顏色」的色塊進行定位，相較單純的色塊定位其難度較高，即使特定方塊在旋轉的過程中已到達位置，但其顏色方位卻未必一致，由解題過程中了解魔術方塊形體的特性，增添方塊與色塊方位需同時考量的挑戰。

表 4. 四種題型概念設計

題型概念	試題類型		
1. 色塊定位	單色定位	雙色定位	三色定位
			
	雙邊塊定位	角塊定位	角塊與邊塊定位
2. 方塊定位			
	角塊置入	邊塊置入	角塊與邊塊置入
			
3. 置入	角塊移出置入	邊塊移出置入	角塊與邊塊移出置入
			

「雙邊塊定位」：這部分是在方塊定位中比較單純的類型，但是有可能會遇到方塊轉到定位後但顏色卻上下或左右相反的情形，或是在將一個邊塊要轉到定位時卻把原先已在定位的方塊移位。除了每次在旋轉邊塊時需注意其方向性外，亦需應用色塊定位中所學習到的暫存概念，才能順利將兩個邊塊旋轉至對應的位置上。「角塊定位」：必需針對同一角塊分屬的三個色塊，進行方向性的正確定位，其中所

隱含的概念為平面展開圖上的位置相對較遠，但事實上在立體圖形上是相鄰的；或者說展開圖上看似相鄰的色塊，事實上卻是需以多個操作步驟才能正確定位完成的方塊。「角塊與邊塊定位」：角塊與邊塊定位結合上述兩類試題，依據試題之難易，多半需選擇暫存一個角塊或邊塊才能順利旋轉至對應的位置上，甚至暫存的次數需要增加方能解決問題。

3. 「置入」之題型概念

以 LBL 中的「第一層拼角」與「第二層」兩步驟之概念，與熟練運用色塊與方塊的暫存概念發展而成。使用者經由色塊定位與方塊定位的初步認識後，應可瞭解色塊與方塊暫存的基本概念，由簡易的暫存進程至不能變動多個方塊的情況下，將指定的色塊旋轉至特定位置。「角塊置入」：在底層邊塊、中心塊位置不變的情況下，將角塊轉入相對應的位置，旨在訓練使用者能進行多個方塊的組合，標準解題約三個步驟。「邊塊置入」：在底層邊塊、中心塊與角塊位置不變的情況下，將上層邊塊轉入相對應的目的位置，為角塊置入的進階試題，標準解題約八個步驟。「角塊與邊塊置入」：同時將已組合好的角塊與邊塊轉入相對應的位置，標準解題約四個步驟。

4. 「移出置入」之題型概念

參考實體魔術方塊的進階解題方法的概念，使用者需先將方向性錯置的角塊移出後再重新放入相對應的位置，過程中需移出拆解鄰近的色塊再置入組合特定位置，以訓練使用者拆解與組合的能力。「角塊移出置入」：在其它方塊不變動的情況下，將方向性錯置的角塊移出後與邊塊組合，再重新放入相對應的位置，標準解題約七個步驟。「邊塊移出置入」：將方向性錯置的邊塊移出後再重新放入相對應的位置，標準解題約十五個步驟。「角塊與邊塊移出置入」：將位置錯置的角塊與邊塊移出後再重新放入相對應的位置，標準解題約七個步驟。

四、實驗結果分析

本研究實質進行「魔術方塊空間之悅趣感知」遊戲系統的發展設計，經系統雛型測試以瞭解使用者對試題關卡的難易度反應、操作介面與規則的修正建議，並檢測「系統整體內容評估與 ARCS 量表工具」的信度檢驗，本階段正式以 33 位受試者（其中有效樣本 30 份中 93.3%曾經玩過魔術方塊、6.7%未曾接觸）進行實驗，相關實驗結果與分析詳述如後。

4-1 悅趣感知系統之整體內容檢測結果

整體內容之檢測結果中，如下頁表 5，其整體平均 4.11 顯示多數受試者趨向認同本系統的整體內容之呈現效果。其中受試者對關卡與學習試題之認同程度部分，平均值（4.5、4.27、4.13）顯示受試者多能認同試題關卡的多樣性設計。在規則玩法的接受程度部分，需將星號目標、色塊位置互相一致的悅趣感知設計概念，多能持正向認同（4.33），顯示遊戲任務的概念設計具有明示效果。受試者在是否能勝任掌握魔術方塊的空間特性、完成關卡目標，整體來說（66.6%）多能適應以層的概念進行旋轉操作。而在輔助使用者在心中易於想像空間的變化狀態之部分，整體分析可知使用者進行旋轉操作時，多能從畫面線索、立體空間與展開圖（70%）等訊息協助想像對空間變化的前後差異（66.7%），亦能引導使用者直接想像方塊的空間特性與變化、進而適應對空間的感知（63.3%）。最後在總體評估部分，悅趣感知設計結合 LBL 解題方法，讓使用者瞭解以層的面向來進行操作，多持認同看法（4.53），其他關卡試

題、遊戲目的、悅趣感知的遊戲內容、操作方式以及連結於實體魔術方塊空間的特性、感知經驗等，普遍皆有正向的認同，顯示受測者多能瞭解本魔術方塊空間之悅趣感知的設計概念。

表 5. 悅趣感知系統之「整體內容」檢測結果

題目	評估分數（百分比）					平均數	標準差
	5	4	3	2	1		
關卡與學習試題之認同程度							
「魔術方塊挑戰賽」的試題非常多樣。	60.0%	30.0%	10.0%	0%	0%	4.50	0.682
我瞭解遊戲中的試題是由簡單逐漸困難。	43.3%	43.3%	10.0%	0%	3.3%	4.27	0.785
我能依據自己的熟練程度選擇適合的關卡挑戰。	36.7%	43.3%	16.7%	3.3%	0%	4.13	0.819
規則玩法的接受程度							
我知道解題的目標就是要將「色塊」或「方塊」轉到相對應的「星星」位置上。	56.7%	30.0%	3.3%	10.0%	0%	4.33	0.959
我可以掌握魔術方塊的特性，順利將色塊旋轉至指定的位置上。	23.3%	43.3%	26.7%	6.7%	0%	3.83	0.874
輔助使用者在心中易於想像空間的變化狀態							
我認為玩過遊戲後，有助於在心中想像立體物的不同的角度。	40.0%	23.3%	30.0%	3.3%	3.3%	3.93	1.081
我會在轉動魔術方塊前，想像旋轉後的樣子。	36.7%	30.0%	20.0%	13.3%	0%	3.90	1.062
我能辨別色塊在「魔術方塊」與「展開圖」上之間的相對關係。	30.0%	40.0%	16.7%	13.3%	0%	3.87	1.008
總體評估							
我知道魔術方塊是以層為單位旋轉的。	56.7%	40.0%	3.3%	0%	0%	4.53	0.571
遊戲內容能幫助我瞭解生活中魔術方塊遊戲的玩法。	46.7%	40.0%	10.0%	3.3%	0%	4.30	0.794
我能從遊戲中學到知識或技能。	36.7%	46.7%	13.3%	3.3%	0%	4.17	0.791
遊戲的內容對我有幫助。	40.0%	36.7%	10.0%	13.3%	0%	4.03	1.033
「魔術方塊挑戰賽」的關卡說明，讓我能了解即將面對的挑戰內容。	30.0%	50.0%	13.3%	6.7%	0%	4.03	0.850
我能將這個課程的內容和我以前學過的知識連貫起來。	30.0%	40.0%	20.0%	10.0%	0%	3.90	0.960
我能充份了解遊戲要表達的概念。	26.7%	46.7%	16.7%	6.7%	3.3%	3.87	1.008
平均	39.57%	38.89%	14.67%	6.21%	0.66%	4.11	

共 15 題，Cronbach's alpha (α) 值=0.900

整體來說高達 78.46% 表示認同整體內容之呈現（含非常同意 39.57%、同意 38.89%），而從實際蒐集使用者的操作反應等資料進行分析，部分受試者提及：如 S7（第 7 位受試資料）：「我覺得這個遊戲還不錯，有點好玩」、S15：「我覺得這個遊戲非常的好玩，希望下次還有機會能玩」、S29：「我覺得這個遊戲能幫我了解魔術方塊怎麼玩」。可得知受試者普遍認為本遊戲是好玩、有趣，並且會希望能繼續嘗試。

表 6. 悅趣感知系統之「功能設計」檢測結果

題目	評估分數 (百分比)					平均數	標準差
	5	4	3	2	1		
有關「展開圖」之功能評估							
旋轉魔術方塊時，我會參考平面展開圖瞭解方塊變動的新位置。	40.0%	46.7%	3.3%	10.0%	0%	4.17	0.913
我覺得「展開圖」有助於我想像魔術方塊後面看不到的部分。	46.7%	30.0%	16.7%	3.3%	3.3%	4.13	1.042
我覺得展開圖的「摺合←→展開」功能對於我在解題上有所幫助。	36.7%	43.3%	13.3%	3.3%	3.3%	4.07	0.980
遊戲提供的「操作說明」能幫助我更快上手。	43.3%	36.7%	10.0%	6.7%	3.3%	4.10	1.062
有關「解題示範」與「重新開始」之功能評估							
遊戲中的「解題示範」功能可以幫助我順利解題。	56.7%	36.7%	6.7%	0%	0%	4.50	0.630
我會使用遊戲中的「重新開始」，重新思考解題的方式。	50.0%	33.3%	13.3%	3.3%	0%	4.30	0.837
有關「血條、生命值」之作用評估							
遊戲中的「血條」設計，會讓我謹慎的轉動方塊。	36.7%	43.3%	13.3%	3.3%	3.3%	4.07	0.980
總體評估							
在遊戲進行中，我能清楚知道自己所完成的進度。	40.0%	36.7%	23.3%	0%	0%	4.17	0.791
遊戲所提供的功能可幫助我專注於魔術方塊的變化。	30.0%	60.0%	3.3%	6.7%	0%	4.13	0.776
遊戲中的「帳號申請」流程簡單容易。	40.0%	36.7%	20.0%	0%	3.3%	4.10	0.960
平均	42.01%	40.34%	12.32%	3.66%	1.65%	4.17	

共 10 題，Cronbach's alpha (α) 值=0.889

在功能設計之檢測結果中，如表 6 所示，其整體平均 4.17 顯示多數受試者趨向認同本系統的功能設計之呈現效果。細部評估展開圖的功能設計 (4.17、4.13、4.07)，多數使用者認同展開圖能輔助觀察與瞭解方塊的空間位置之變化過程，以及展開圖的摺合 / 展開功能對方塊的空間特性、進行平面與立體的轉換經歷等皆有幫助，且易於想像其空間中看不見的方塊部分，同時顯示遊戲的操作說明有助於對方塊旋轉、遊戲操作的瞭解有所助益 (4.10)。在「解題示範」與「重新開始」評估部分，結果顯示該功能對使用者參考解題方式以及重新嘗試皆有助益 (4.5、4.3)。在生命值的概念設計部分，結果呈現使用者多能謹慎參照生命值狀況，思索每次旋轉操作之正確、以及避免生命值耗損的情形發生 (4.07)。最後，在總體評估部分，使用者瞭解目前遊戲進度與相關功能的設計概念，多數持正向的認同、且易於對遊戲的進行。問卷整體部分高達 82.35% 的受試者表示認同功能設計之呈現結果 (含非常同意 42.01%、同意 40.34%)，而從開放式建議中得知 S1：「這是一項有趣又有挑戰性的遊戲，希望更多人去挑戰它」、S31：「有點難也有點好玩」，顯示使用者多能接受本系統的功能設計概念。

表 7. 悅趣感知系統之「介面設計」檢測結果

題目	評估分數 (百分比)					平均數	標準差
	5	4	3	2	1		
有關介面的文字設計部分							
遊戲中的文字清晰、大小適中。	36.7%	43.3%	13.3%	6.7%	0%	4.10	0.885
遊戲中的文字能清楚表達內容。	30.0%	50.0%	10.0%	6.7%	3.3%	3.97	0.999
有關介面的圖示與按鍵設計部分							
遊戲中的按鈕設計能清楚點閱。	46.7%	40.0%	10.0%	3.3%	0%	4.30	0.794
遊戲中的圖示能清楚表達其所代表內涵。	40.0%	33.3%	23.3%	0%	3.3%	4.07	0.980
有關介面的色彩配置部分							
功能介面設計很簡單、清晰。	40.0%	36.7%	13.3%	3.3%	6.7%	4.00	1.145
魔術方塊挑戰賽的畫面設計精緻美觀。	40.0%	33.3%	20.0%	0%	6.7%	4.00	1.114
遊戲的配色和諧，容易閱讀與操作。	30.0%	46.7%	13.3%	6.7%	3.3%	3.93	1.015
有關介面的操作友善性部分							
遊戲畫面的互動設計，能使我更加集中注意力。	53.3%	23.3%	10.0%	13.3%	0%	4.17	1.085
遊戲操作介面容易理解，下次操作時我還是可以記得如何旋轉魔術方塊。	36.7%	40.0%	13.3%	6.7%	3.3%	4.00	1.050
遊戲的畫面設計讓我操作流暢無負擔。	26.7%	43.3%	26.7%	3.3%	0%	3.93	0.828
我能充份了解我在畫面的操作會得到什麼樣的反應。	23.3%	46.7%	26.7%	3.3%	0%	3.90	0.803
總體評估							
我瞭解遊戲題目難易程度的表達情境（晴天、陰天、雨天、暴風雨）。	53.3%	23.3%	16.7%	3.3%	3.3%	4.20	1.064
整體來說，我認為遊戲介面設計良好。	40.0%	30.0%	30.0%	0%	0%	4.10	0.845
平均	38.21%	37.68%	17.43%	4.35%	2.30%	4.05	

共 13 題，Cronbach's alpha (α) 值=0.862

在介面設計之檢測結果中，如表 7，其整體平均 4.05 顯示多數受試者趨向認同本系統的介面設計之呈現效果。有關介面細部項目：文字設計部分（4.1、3.97），其文字的表達內容與可視性多能被理解，而圖示與按鍵設計部分（4.3、4.07）、以及介面的清晰性、視覺性、美觀與可讀性部份（4.0、4.0、3.93），多數受試者同樣持以認同的看法。介面的操作友善特性影響對遊戲的操作成效，評量結果中（4.17、4.0、3.93）顯示介面設計具有輔助方塊旋轉操作瞭解之成效，同時介面呈現易於受試者直覺認知，使得每次的旋轉操作得以流暢進行，並引導受試者專注在方塊的空間變化，避免操作方式連帶產生認知負荷之影響。而介面呈現引發受試者對操作後結果的直覺反應，受試者多可從畫面中的介面暗示瞭解操作連帶發生的方塊空間變化（3.9）。最後，總體評估部分顯示（4.2、4.1），題型關卡以不同的天氣情境代表題型難易程度，以及介面的整體認同上，受試者多持以認同的表述。問卷整體部份共有 75.89% 表示認同（含非常同意 38.21%、同意 37.68%），表示本系統介面設計在整體上受到多數的受試者認可。

另外，S4 受試者的開放性建議中反應：「我有一個建議，就是魔術方塊中間可以動比較好」，本研究認為若開放中層旋轉之功能，將直接影響遊戲操作的挑戰性（因未能限制可旋轉層的變動維度）、以及試題的難易程度（因提高變動維度使得目標點容易達成）。另從文獻分析、解析魔術方塊空間中得知，實體魔術方塊的中間階層並無對應的公式解法，因此提供中間層方塊的旋轉功能，可能會降低試題的挑

戰性、對方塊空間的理解與感知並無助益，受試者心中進行平面展開與立體空間的轉換次數、以及方塊操作過程中重要的暫存概念與認識亦會受到影響。

4-2 悅趣感知系統之 ARCS 動機檢測結果

本系統在專注力動機檢測結果中，如表 8，整體平均達 4.17、以及高達 82.22% 表示認同（含非常同意 42.22%、同意 40.00%），顯示受試者多能認同系統中的互動設計、探索樂趣、方塊操作特性、試題的多樣變化、關卡挑戰性以及相關的功能介面設計。結果中得知本系統將魔術方塊的六面空間全置換成白底、並以星號符號暗示遊戲的目標位置、須完成與色塊符合一致的挑戰任務，多數受試者皆能達到專注力效果並持以正向反應。

表 8. 「專注力」動機之檢測結果

題目	評估分數（百分比）					平均數	標準差
	5	4	3	2	1		
遊戲畫面的互動設計，能使我更加集中注意力。	53.3%	23.3%	10.0%	13.3%	0%	4.17	1.085
遊戲設計能引起我探索的動機。	36.7%	36.7%	16.7%	10.0%	0%	4.00	0.983
在進行遊戲的過程中，有許多的變化。	43.3%	36.7%	16.7%	3.3%	0%	4.20	0.847
魔術方塊挑戰賽能讓我產生想要挑戰的想法。	33.3%	43.3%	16.7%	0%	6.7%	3.97	1.066
我知道魔術方塊是以層為單位旋轉的。	56.7%	40.0%	3.3%	0%	0%	4.53	0.571
遊戲所提供的功能可幫助我專注於魔術方塊的變化。	30.0%	60.0%	3.3%	6.7%	0%	4.13	0.776
平均	42.22%	40.00%	11.12%	5.55%	1.12%	4.17	

共 6 題，Cronbach's alpha (α) 值=0.815

表 9. 「相關性」動機之檢測結果

題目	評估分數（百分比）					平均數	標準差
	5	4	3	2	1		
我能充份了解遊戲要表達的概念。	26.7%	46.7%	16.7%	6.7%	3.3%	3.87	1.008
我可以在遊戲的過程中，訂定我自己要達成的目標。	40.0%	36.7%	13.3%	6.7%	3.3%	4.03	1.066
遊戲的內容對我有幫助。	40.0%	36.7%	10.0%	13.3%	0%	4.03	1.033
我能將這個課程的內容和我以前學過的知識連貫起來。	30.0%	40.0%	20.0%	10.0%	0%	3.90	0.960
遊戲內容能幫助我瞭解生活中魔術方塊遊戲的玩法。	46.7%	40.0%	10.0%	3.3%	0%	4.30	0.794
平均	36.68%	40.02%	14.00%	8.00%	1.32%	4.03	

共 5 題，Cronbach's alpha (α) 值=0.767

另外，在相關性動機檢測部分，如表 9，整體平均達 4.03、以及高達 76.70% 表示認同（含非常同意 36.68%、同意 40.02%），顯示多數受試者能瞭解試題內容與魔術方塊空間的相關性，尤其受試者多已認同遊戲操作與試題內容之設計，能輔助受測者瞭解實體魔術方塊的規則與空間特性（4.3）。然而受測者實際操作遊戲後，在是否充份瞭解遊戲要表達概念的結果上（3.87），雖有正向成效但仍有少數 10%（含

6.7%, 3.3%) 受測者未能瞭解與方塊空間的對應概念，推究其原因可能是施測前並未明確引導受測者瞭解相關魔術方塊的空間概念，而是從實際的遊戲操作、關卡挑戰與探索方式進行觀察與瞭解受試者的反應。

在自信心檢測結果部分，如表 10，整體平均達 3.95、以及高達 73.34%表示認同(含非常同意 31.34%、同意 42%)，顯示多數受試者在此遊戲系統的操作表現多能獲得自信心的認同，尤其當有適當的引導說明後(4.37)，可以理解遊戲的任務與操作規則、方塊的空間特性(3.97, 3.9)，進而完成遊戲的目標(4.1)。另外，受試者是否有足夠的信心完成每項試題關卡的挑戰任務，結果顯示(3.43)趨向未有明顯的自信心可以完成破關，以及另外蒐集受試者於開放問題中所給予的建議，S14：「如果不會出現三個顏色積木(指三色定位)那就很好玩」、S21：「我很喜歡這個遊戲，可是如果遊戲簡單易點會更好」、S23：「我覺得題數太多了！第一關的題數可以少一點，然後越來越多關」、S24：「我覺得這個遊戲的第一關太多題目了，希望可以少一點題目喔！」、S35：「我希望可以簡單一些，這樣比較好過關」。從上述建議中，研究推論可能受其試題關卡難易度的影響、以及試題數較多且由基礎至進階的循序挑戰，雖在前測時已針對預試結果、修正建議進行試題難易的調整，仍未讓普遍受試者具有顯著的自信心，但從沈浸理論的觀點來思考，挑戰與技能需以平衡關連而引導、產生對遊戲的參與動機，整體來說應可認同在適當的挑戰下，受試者只要有正向的努力與表現，應該可以順利完成任務的挑戰。

表 10. 「自信心」動機之檢測結果

題目	評估分數(百分比)					平均數	標準差
	5	4	3	2	1		
經過遊戲的指引或是老師講解後，我覺得我有信心知道這個遊戲怎麼玩。	50.0%	36.7%	13.3%	0%	0%	4.37	0.718
我有信心達成這個遊戲的目標。	40.0%	43.3%	3.3%	13.3%	0%	4.10	0.995
當我玩這個遊戲時，我有信心我可以成功的破關。	16.7%	33.3%	26.7%	23.3%	0%	3.43	1.040
我在遊戲中的好表現，是因為我付出的努力而達成的。	26.7%	50.0%	16.7%	6.7%	0%	3.97	0.850
我能充份了解我在畫面的操作會得到什麼樣的反應。	23.3%	46.7%	26.7%	3.3%	0%	3.90	0.803
平均	31.34%	42.00%	17.34%	9.32%	0.00%	3.95	

共 5 題，Cronbach's alpha (α) 值=0.807

最後，在滿足感檢測結果部分，如下頁表 11，整體平均達 4.33、以及高達 86.06%表示認同(含非常同意 51.24%、同意 34.82%)，顯示多數受試者進行遊戲操作、試題關卡的任務挑戰、以及嘗試探索而完成目標的整體表現多能獲得滿足感受，尤其是當受試者能逕自瞭解星號目標、旋轉色塊以彼此符合位置而完成試題挑戰，且不用參考解題示範，試著探索瞭解方塊的空間變化，逐漸將色塊/方塊趨向星號目標的位置時，受試者多能獲得良好的滿足與認同。另外，S32 受試者於開放問題中表示：「雖然這很難，但是很好玩」，可知雖然受測者對試題感覺困難有挑戰性，但仍願意試著旋轉操作與比對空間變化，堅持找出解題方法以完成破關，同時每當完成一題的挑戰，相對也帶來正向的滿足感受。

以整體 ARCS 進行描述性統計分析，如表 12，其動機整體平均高達 4.12，滿意度達 79.58%顯示多數受試者認同(含非常同意 40.37%、同意 39.21%)。尤其在滿足感(4.33)、專注力(4.17)、相關性(4.03)部分，顯示多數受試者整體認同與瞭解試題關卡的遊戲目標，遊戲的互動規則、介面操作與所提供的輔助參考功能等設計概念，然因為試題關卡的多樣變化、且進階試題所需較複雜的空間感知能力，多數受試者雖未有明顯信心可以完成挑戰(3.95)，但仍願意嘗試與探索、繼續堅持解題與旋轉操作。

表 11. 「滿足感」動機之檢測結果

題目	評估分數 (百分比)					平均數	標準差
	5	4	3	2	1		
我能從遊戲中學到知識或技能。	36.7%	46.7%	13.3%	3.3%	0%	4.17	0.791
每當我將色塊或方塊轉到指定位置時會感到滿足。	53.3%	36.7%	6.7%	3.3%	0%	4.40	0.770
當成功解題時，我會感到滿足。	60.0%	36.7%	3.3%	0%	0%	4.57	0.568
我會因為破關而感到滿足。	63.3%	30.0%	6.7%	0%	0%	4.57	0.626
當我解開的題數越來越多的時候會感到滿足。	60.0%	30.0%	3.3%	6.7%	0%	4.43	0.858
當我不使用「解題示範」而能成功解題時會感到滿足。	53.3%	30.0%	10.0%	3.3%	3.3%	4.27	1.015
即使無法完成遊戲目標，我也能堅持到底。	33.3%	33.3%	23.3%	10.0%	0%	3.90	0.995
平均	51.24%	34.82%	9.53%	3.93%	0.46%	4.33	

共 7 題，Cronbach's alpha (α) 值=0.810

表 12. ARCS 總體檢測結果 (學習動機之總體評估)

動機項目	評估分數 (百分比)					平均數
	5	4	3	2	1	
專注力	42.22%	40.00%	11.12%	5.55%	1.12%	4.17
相關性	36.68%	40.02%	14.00%	8.00%	1.32%	4.03
自信心	31.34%	42.00%	17.34%	9.32%	0.00%	3.95
滿足感	51.24%	34.82%	9.53%	3.93%	0.46%	4.33
平均	40.37%	39.21%	13.00%	6.70%	0.73%	4.12

五、研究結論與建議

文獻整理與分析後得知，一般魔術方塊的解題生手較難以記憶與套用公式進行復原混亂的方塊，且常因不熟悉方塊的空間特性，致使隨意旋轉操作、因而產生空間迷失的感受。尤其當生手面臨混亂的魔術方塊時，即使想回復前幾次的步驟，嘗試回想先前的操作步驟與記憶，以為應當能回復上一次的混亂點，卻又再次無法具體的掌握與感知方塊的空間位置。為引導使用者瞭解魔術方塊的空間特性，進一步適應旋轉操作方塊後所對應的空間位置變化、提昇對方塊空間的感知能力，是本研究現階段的探究目的。

本研究參考魔術方塊的基本解題方法，實質進行魔術方塊空間之悅趣感知的遊戲系統設計，設計概念共分五大點：(1) 將魔術方塊六面的色彩都置換為白底，讓使用者專注於空間位置變化以降低感知負荷；(2) 固定操作主體的可視角度，以層為旋轉單位，避免旋轉、操作過程中產生空間迷失的情形；(3) 以單純色塊為試題設計概念，參照解題方式進行基礎至進階的題型關卡設計，四種情境關卡(「晴天」、「陰天」、「雨天」與「暴風雨」)對應四種試題類型(「色塊定位」、「方塊定位」、「置入」與「移出置入」)，使用者得以循序進行悅趣化的感知歷程；(4) 以星號指示出旋轉操作色塊後的目標位置，使用者易於理解遊戲目標與挑戰任務；(5) 提供互動輔助功能，以平面展開圖與三維魔術方塊的空間對照資訊，給予操作後立即回饋的空間變化，引導使用者在心中想像平面轉換成立體圖形的操作歷程，以及解題示範功能提供使用者面臨進階的試題挑戰時，參照解題步驟並嘗試進一步感知空間的位置變化。

魔術方塊空間之悅趣感知系統經前測與意見修正後，以研究工具「系統整體內容評估與 ARCS 動機量表」進行評估，在整體內容的檢測結果部分，受測者多能認同遊戲畫面、試題關卡、操作規則、輔助功能、介面設計與挑戰任務的設計結果。從結果中得知，遊戲目標易於瞭解，在進行旋轉方塊的操作歷程中，其介面操作、相關輔助功能與試題回饋，有助於使用者進行旋轉操作前，先行於心中想像操作後對應的空間變化，同時提昇對方塊的空間感知能力。另一方面在 ARCS 動機評量部分，各個動機因子與整體檢測結果顯示多數使用者趨向認同，可知本系統的相關設計能吸引使用者的探索興趣與好奇心，並能專注於方塊的空間變化以完成試題挑戰與遊戲目標。雖然四種關卡對應的四種試題類型，使用者反應試題數量很多、以及部分進階試題的空間變化概念與操作較為複雜，但系統中清晰的遊戲目標、操作規則與輔助功能，連同關卡以基礎至進階的循序方式排列試題挑戰，使用者仍有信心可以完成挑戰任務，只需配合平面展開與魔術方塊空間的對應資訊，即能增加對方塊空間的感知能力進行解題，並從達成目標的過程中獲得滿足。

現階段研究得知魔術方塊空間之悅趣感知系統能有助使用者瞭解魔術方塊的空間特性、以強化對方塊空間的感知能力。然在遊戲操作過程中，引導使用者於心中進行操弄、旋轉、扭轉或反置色塊位置的過程，是以不斷引發探索參與、解題動機並結合任務挑戰情境，在兩者共構下的悅趣學習形式，讓使用者感知方塊空間的變化特性，未來希望藉此空間感知歷程持續深究與人類的空間能力表現、其兩者間的關連性，是本研究下一階段值得努力的方向。

參考文獻

1. Alessi, S. M., & Trollip, S. R. (2001). *Multimedia for learning: Methods and development* (3rd ed.). Boston: Allyn and Bacon.
2. Csikszentmihalyi, M. (1975). *Beyond boredom and anxiety*. San Francisco: Jossey-Bass.
3. Gardner, H. (1983). *Frames of mind: The theory of multiple intelligences*. New York: Basic Books.
4. Garris, R., Ahlers, R., & Driskell, J. E. (2002). Games, motivation, and learning: A research and practice model. *Simulation and Gaming*, 33, 441-467.
5. Guilford, J. (1967). *The nature of human intelligence*. New York: McGraw-Hill.
6. Guilford, J. P., & Lacey, J. I. (Eds.) (1947). *Printed classification tests. AAF aviation psychology research program reports (No. 5)*. Washington, DC: GPO.
7. Joyner, D., & Betsch, G. (2005). Reviews-adventures in group theory: Rubik's Cube, Merlin's Machine & other mathematical toys. *Mathematical Intelligencer*, 27(2), 92.
8. Kelley, T. L. (1928). *Crossroads in the mind of man: A study of differentiable mental abilities*. Stanford, CA: Stanford University Press.
9. Keller, J. M. (1983). Motivational design of instruction. In C. Riegeluth (Ed.), *Instructional design theories and models* (pp. 383-434). NJ: Erlbaum.
10. Keller, J. M. (1984). The use of the ARCS model of motivation in teacher training. In K. Shaw, & A. J. Trott (Eds.), *Aspects of educational technology* (Vol. 17, pp. 140-145). London: Kogan Page.
11. Keller, J. M. (1987). Development and use of the ARCS model of instructional design. *Journal of Instructional Development*, 10(3), 2-10.

12. Kiili, K. (2005a). Digital game-based learning: Towards an experiential gaming model. *The Internet and Higher Education*, 8(1), 13-24.
13. Kiili, K. (2005b). *Educational game design: Experiential gaming model revised*. Tampere University of Technology. Pori. Research report 4. Retrieved May 18, 2009, from <http://amc.pori.tut.fi/publications/EducationalGameDesign.pdf>
14. Korf, R. (1997). Finding optimal solutions to Rubik's Cube using pattern databases. *Proceedings of the Fourteenth National Conference on Artificial Intelligence* (pp. 700-705). Providence, USA: American Association of Artificial Intelligence.
15. Lepper, M. R., & Malone, T. W. (1987). Intrinsic motivation and instructional effectiveness in computer-based education. *Aptitude, Learning, and Instruction*, 3, 255-286.
16. Linn, M. C., & Petersen, A. C. (1985). Emergence and characterization of sex differences in spatial ability: A meta-analysis. *Child Development*, 56, 1479-1498.
17. Lohman, D. F. (1988). Spatial abilities as traits, processes, and knowledge. *Advances in the Psychology of Human Intelligence*, 4, 181-248.
18. Malone, T. W. (1981). Toward a theory of intrinsically motivating instruction. *Cognitive Science: A Multidisciplinary Journal*, 5(4), 333-369.
19. Malone, T. W., & Lepper, M. R. (1987). Making learning fun: A taxonomy of intrinsic motivations for learning. *Aptitude, Learning, and Instruction*, 3, 223-253.
20. McGee, M. (1979). Human spatial abilities: Psychometric studies and environmental, genetic, hormonal, and neurological influences. *Psychological Bulletin*, 86(5), 889-918.
21. Prensky, M. (2001). *Digital game-based learning*. New York: McGraw-Hill.
22. 于富雲、陳玉欣 (2008)。概念構圖對不同空間能力之國小學童自然科學學習成效的影響。 *教育心理學報*, 39, 83-104。
Yu, F. & Chen, Y. (2008). The effects of concept-mapping learning strategy and spatial ability on elementary students' cognitive and metacognitive strategies and science academic performance. *Bulletin of Educational Psychology*, 39, 83-104. [in Chinese, semantic translation]
23. 文士豪 (2007)。破解魔術方塊的數學迷魂陣。 *科學月刊*, 38 (3), 236-238。
Wun, S. (2007). Resolving the mathematics problem of Rubik's Cube. *The Science Monthly*, 38 (3), 236-238. [in Chinese, semantic translation]
24. 吳天貴 (2007)。建置一個數位遊戲式學習系統以促進能源教育之學習動機及自我覺知。未出版碩士論文，中央大學網路學習科技研究所，中壢市。
Wu, T. (2007). *Development of a gamed-based learning system for enhancing learner's motivation and self-perception in energy education*. Unpublished master's thesis, National Central University, Jungli City, Taiwan. [in Chinese, semantic translation]
25. 洪榮昭、劉明洲 (1997)。電腦輔助教學之設計原理與應用。台北市：師大書苑有限公司。
Hong, R., & Liou, M. (1997). *Computer-assisted teaching and application of design principles*. Taipei: Shtabook. [in Chinese, semantic translation]
26. 張志全 (2002)。動機策略與電腦焦慮對國小六年級學生社會科網路學習動機的影響。未出版碩士論文，屏東師範學院教育科技研究所，屏東市。
Chung, Z. (2002). *The effect of motivational strategies and computer anxiety of sixth grade students'*

- motivation on social science in web-based instruction*. Unpublished master's thesis, National Pingtung University of Education, Pingtung, Taiwan. [in Chinese, semantic translation]
27. 梁朝雲、陳德懷、楊叔卿、楊接期 (2008)。 「悅趣化數位學習」研究宣言 (Manifesto of research on digital game-based learning)。2009年5月18日，取自：<http://e-learning.nutn.edu.tw/>
Liang, C., Chan, T., Young, S.-C., & Yang, J. C. (2008). *Manifesto of research on digital game-based learning*. Retrieved May 18, 2009, from <http://e-learning.nutn.edu.tw/> [in Chinese, semantic translation]
 28. 莊學文 (2008)。魔術方塊游藝學習系統之開發。未出版碩士論文，國立台北教育大學玩具與遊戲設計研究所，台北市。
Chuang, H. (2008). *Development of "U-E" learning system based on Rubik's Cube*. Unpublished master's thesis, National Taipei University of Education, Taipei, Taiwan. [in Chinese, semantic translation]
 29. 陳光勳 (2006)。資訊科技融入空間教學對國小學童空間能力影響之探討 (國科會專題研究計畫成果報告，NSC94-2521-S-152-008)。台北：台北教育大學。
Chen, K. (2006). *Investigation on the impact of elementary students' spatial ability on information technology-based spatial instructions* (National Science Council Research project report, NSC94-2521-S-152-008). Taipei: National Taipei University of Education. [in Chinese, semantic translation]
 30. 郭君逸 (2008)。寓數學於魔術方塊。《科學人》，78，90-93。
Guo, D. (2008). The discussion on mathematics in Rubik's Cube. *Scientific American*, 78, 90-93. [in Chinese, semantic translation]
 31. 游光昭、蔡福興、蕭顯勝、徐毅穎 (2004)。線上遊戲式的網路學習成效研究。《高雄師大學報》，17，289-309。
Yu, K., Tsai, F., Hsiao, H., & Ying, H. (2004). Study of learning effect on an online game-based learning system. *Kaohsiung Normal University Journal*, 17, 289-309. [in Chinese, semantic translation]
 32. 劉仕偉、徐新逸 (2003)。動機策略在國小多媒體課程發展之設計準則。《CCAI 第十一屆研討會論文集》(頁 C9-3)。台北市：國立台灣師範大學。
Liu, S., & Shyu, H. (2003). Design guidelines of motivational strategies for K-9 multimedia course development. *Proceedings of ICCAI 2003* (p. C9-3). Taipei : National Taiwan Normal University. [in Chinese, semantic translation]
 33. 簡茂發、何榮桂、鄭海蓮、區雅倫、卓沛勳、蕭孟莛、陳世玉 (2008)。學業性向測驗之圖形分量表編製研究。《考試學刊》，4，1-26。
Chien, M., Ho, R., Jeng, H., Ou, Y., Cho, P., Hsiao, M., & Chen, S. (2008). The development of the spatial Scales for the CEEC scholastic aptitude test. *Bulletin of Testing and Assessment*, 4, 1-26. [in Chinese, semantic translation]

A Study on Game-based Spatial Perception Design of Rubik's Cube

Yi-Fan Liu* Guan-Ze Liao**

* Graduate Institute of Network Learning Technology, National Central University
yifan.liu.tw@gmail.com

** Graduate Institute of e-Learning Technology, National Hsinchu University of Education
can@mail.nhcue.edu.tw

Abstract

Rubik's cube is a well known benefiting intelligence toy. With a simple structure, it is possible for users to work out a variety of arrangements by simple operation.. The procedure of solving a confused entity of Rubik's cube is fascinating. The solution may also rely on formula. The related studies of spatial perception design with Rubik's cube have been made in recent years. This study attempts to investigate the spatial ability theories and to find out the operating process of physical Rubik's cube through document analysis. We first analyzed the structure and operational instruction of Rubik's cube, to develop the game system for Rubik's cube space with game-based perception, and then urged users to self-challenge and achieve the task through assistance and tips, thus enhancing the effectiveness of spatial perception for Rubik's cube.

From the research, we developed four kinds of game-based learning themes, and relevant assistant functions. An ARCS questionnaire investigation and systematic assessment and experimental evaluation were conducted to explore how users operate the system and what motivate their learning. The results of experiment demonstrate that the design of game interface and assistant functions can help users achieve the game goals. Game-based spatial perception design of Rubik's cube can enhance learning motivations. We hope that the research results can offer references for interactive media design and operational technique for relevant game-based spatial perception design. The further study will investigate the relevance of game-based spatial perception learning and effects on spatial ability enhancement.

Keywords: Rubik's Cube, Game-based, Spatial Perception, Interface Design, Game Design.