

遊戲式空間運算學習探討運算思維能力培養影響

陳世暉¹，林育珊²，李秉宸¹，劉宇辰¹，楊偉文¹，賴盈勳^{1*}

¹國立臺東資訊工程學系、²國立臺東大學資訊管理學系

摘要

運算思維能力主要讓學習者可以運用問題思考與邏輯思考真實世界問題解決方式，並嘗試運用流程化方式建立可以計算機電腦互助合作進行實證。因此，運算思維能力也成為許多教育體系著重培育之目標。而透過遊戲式學習更可將一門看似困難的科目用易懂且充滿趣味性的方式呈現，不僅可以激發學習者的學習熱忱，也可以順便鍛鍊邏輯性。本研究則主要探討結合遊戲式空間運算學習方式，透過 Roblox 這個開放式遊戲開發平台為主來進行開發研究，設計一款需要理解比如遞迴函式概念的遊戲式學習方式。遊戲設計中運用空間運算概念並深入引導運算思維流程進行程式解構與邏輯理解，使學習者可在遊戲過程中以運算思維關卡方式來培養整體學習者資訊素養能力。透過教學實驗方式發現透過此方式學習方式雖可有效提升學生學習動機，但對於相關邏輯思維與空間思考能力之養成仍可能受於遊戲關卡設計方式與教材完整度而需要更多研究證明探討。

關鍵字：遊戲式學習、空間思維、運算思維、邏輯理解、程式思維

陳世暉，國立臺東大學資訊工程學系 副教授、E-mail: sychen@nttu.edu.tw

林育珊，國立臺東大學資訊管理學系 教授、E-mail: YSL@nttu.edu.tw

李秉宸，國立臺東大學資訊工程學系、E-mail: ben900415@gmail.com

劉宇辰，國立臺東大學資訊工程學系、E-mail: lyc6512@gmail.com

楊偉文，國立臺東大學資訊工程學系、E-mail: a57244336@gmail.com

賴盈勳(通訊作者)，國立臺東大學資訊工程系所 副教授兼系主任、E-mail: yhlai@nttu.edu.tw

Game-based Spatial Computing Learning for Computational Thinking Education

Shih-Yeh Chen, Yu-Shan Lin, Ping-Chen Li, Yu-Chen Liu, Wei-Wen Yung, Ying-Hsun Lai*

Abstract

Computational thinking skills allow learners to develop problem thinking and logic thinking about real-world problem solving, and to try to build a process that collaborate with computers for empirical evidence. As a result, computational thinking skills have become an important goal for many educational systems. This study focuses on the integration of a game-based spatial computing learning approach with Roblox, an open-ended game development platform, to design a game-based learning approach of recursive functions. The game design uses the concept of spatial computing and introduces the process of computational thinking to deconstruct and understand logic, so that learners can develop their overall information literacy skills by using computational thinking levels during the game. Through teaching experiments, we found that although this learning method can effectively enhance students' learning motivation, the development of logical thinking and spatial thinking skills may still be affected by the way the game levels are designed and the completeness of the teaching materials, and more research is needed to prove the research.

Keywords: game-based learning, spatial thinking, computational thinking, logical understanding, programmatic thinking

Shih-Yeh Chen, Associate Professor, Department of Computer Science and Information Engineering, National Taitung University, Email: sychen@nttu.edu.tw

Yu-Shan Lin, Department of Information Science and Management Systems, National Taitung University, Email: YSL@nttu.edu.tw

Ping-Chen Li, Department of Computer Science and Information Engineering, National Taitung University, Email: ben900415@gmail.com

Yu-Chen Liu, Department of Computer Science and Information Engineering, National Taitung University, Email: lyc6512@gmail.com

Wei-Wen Yung, Department of Computer Science and Information Engineering, National Taitung University, Email: a57244336@gmail.com

*Ying Hsun Lai (Corresponding Author), Associate Professor, Department of Computer Science and Information Engineering, National Taitung University, Email: yhlai@nttu.edu.tw

壹、研究背景

隨著科技逐步發展，從一個家庭一台電腦到人人一隻智慧型手機，只要點開手機便能閱覽成千上萬藏於網路上的資料與書籍。不同以往網路尚未成形的時代，想要閱讀得要收藏實體書籍或是前往圖書館查閱。而各式各樣新興科技如物聯網、機器人、行動載具亦衍生各式各樣不同應用，其整體影響人們的生活不僅僅是食、衣、住、行基本生活領域，更甚於相關整體國家教育影響範疇。近年來，程式教育已經逐漸成為各個科系的必修之一，在社會上也充斥著各式各樣程式相關的行業，程式語言可以說是人們必學的第二外語。包含國中與國小教育中也逐步推動對於程式學習的課程，程式教育不再是專業資訊領域學習項目，而是成為全民對於未來應具備相關基礎能力。除了程式能力培養外，各國教育學者也逐步開始思考對於資訊素養的培養，資訊素養並非代表專業程式能力養成而是透過學習相關程式設計教育幫助學習者增進對於資訊分析能力與找出對於問題解決能力，並透過解決問題過程激發好奇心。在學習程式設計過程中，將有助於透過思考問題方式增強批判性思維能力。這些資訊或程式設計課程最主要目標並非單純只是教導受教者如何撰寫程式的基礎訓練，而是希望可以培養讓受教者根據自身不同經驗反思如何透過資訊程式化教育來改善自我生活條件與從不斷於錯誤中找尋與學習適合自己的思考與學習方式，其這種非專業領域之教育精神與主張更是為未來人才培育與強化國家創新競爭力之資訊教育方式。

運算思維教育有效地對於複雜議題進行分析與解構並且將其轉換成為電腦程式語言，讓人們可以透過電腦程式理解人類問題並運用電腦執行解決的方法(Wing, 2006; Wing, 2011)。運算思維不是讓人類像電腦一樣思考，而是關於如何有效利用計算解決複雜問題所需的全套思維工具人類問題，其包含四項步驟問題分解、模型識別、抽象與演算法設計，把各種問題透過運算思維流程步驟而嘗試地將問題塑造成一種可透過電腦或機器載具去執行解決的方式，International Society for Technology in Education, ISTE 更針對資訊時代的學生發展需求定義了對於運算思維能力標準，包含演算法思考、創造力、邏輯思考與問題解決能力。這顯示了運算思維除基礎程式能力訓練外，更著重於培養學生理解問題、系統設計與解決自我與世界真實問題的能力。然而，對於許多非專業資訊工程領域在對於程式學習上其中一個困難點便是程式架構學習設計，而即便為資訊相關背景科系學習者對於程式架構也往往因為現今 CPU 與記憶體具有相當空間而出現許多重複與程式資源浪費的情況出現，而現在對於程式教學上有具有許多相關空間思考所衍生積木式程式學習概念，其中對於最基本的便是 scratch 語言設計，其設計概念便是讓程式語言初學者不需要對於程式語言事先進行學習便能只單純針對於動作進行設計，透過互動式操作與積木式疊加方塊動作便能對於相對應邏輯學習，藉以用於進行創意思考與邏輯判斷。

除了豐富的學習資源外，現代人們因為資訊的快速流通所形成的資訊爆炸，使得人們愈來愈傾向於速食文化，書籍內大量的文字愈來愈不被大眾所接受，人們只想用最短的時間和最少的文字來吸收資訊，也因此學習的工具不再侷限於書本，出現了各

式各樣的學習工具，像是YouTube影片、實體/線上遊戲、漫畫/小說等，透過這些學習工具便可以大幅地提升人們對於學習的動機，而在這些學習工具中，遊戲式學習便成為一種新興之教學方式，藉由遊戲學習來引起學習者的學習動機以及提升整體學習成效，並控制娛樂和學習之間的比例，讓學習者不會只專注在遊玩上面，而是能夠從遊玩中學習到知識及培養相關運算思維關鍵能力便是本研究之目標。

貳、文獻探討

2.1. 遊戲式學習

學習的方法五花八門，無論是閱讀或是聆聽抑或是手作，只要能夠讓使用者從中獲取知識便足以，而遊戲也是相同道理，但不少人仍為先入為主的觀念只把遊戲當作娛樂。但實際上，已經有許多研究顯示，遊戲和學習是能夠結合在一起並且對學習是具有正向幫助的(Nick DeKanter, 2005; Franziska Vogt et al., 2018)，也有許多研究結果顯示，使用遊戲式學習的人們，其綜合學習表現皆優於傳統書本學習的人們(M. E. W. Dankbaar et al., 2017; 張安緹、陳鴻仁, 2018)，有著許多研究的佐證，證明遊戲不僅僅只是娛樂，還能夠做為學習的工具，藉由將遊戲和學習結合在一起，不僅能增加孩童的學習動機更能提高他們的學習表現，藉此打破以往家長對於遊戲無法學習的迷思。

隨著科技的進步，遊戲也逐漸數位化，以往的實體遊戲學習又能否運用在數位遊戲上呢？根據 Mark Prensky (2003)的研究，數位遊戲具有許多傳統遊戲無法匹敵的特性，讓數位遊戲在學習上能比實體遊戲更便利且能夠滿足更多的學習需求。透過數位遊戲學習又可以區分成利用某些遊戲原則以達到學習目的(Game-Based Learning)和嚴肅遊戲(Serious Games)，這兩者差別在於遊戲本體是否以娛樂為主。Game-Based Learning 是將娛樂為主的遊戲作為教育素材，把遊戲內的原則運用於現實生活當中，讓學習者藉此得到反思；Serious Games 的遊戲內容則是不以娛樂為主，將具有教育或者訓練意義的內容製作成遊戲。

無論是 Game-Based Learning 抑或是 Serious Games，兩者的學習成效皆有研究顯示是對學習具有正向幫助的，以 Game-Based Learning 為例，根據 Chien-Hung Lai et al.(2012)和 Marcus D. Childress and Ray Braswell (2006)的研究，皆以線上遊戲作為教材來幫助學生學習，兩者的研究結果也都顯示，採用網路遊戲不僅能夠提高學生的學習動機外，還能夠提升他們的學習表現。而 Serious Game 也有多項研究證明，採用 Serious Game 對學習具有成效，結合傳統教材以及 Serious Game 能夠幫助學生在學習上有著更好的表現並提高學生們的學習動機(Wouters, P. et al., 2009; Wouters, P. et al., 2017)。

2.2 運算思維

運算思維(Computational thinking)最早是由美國卡內基·梅隆大學計算機科學系主任周以真(Jeannette M. Wing)教授在美國計算機權威期刊《Communications of the ACM》雜誌所提出並給予定義，主張運算思維是利用電腦科學的基礎概念，透過電腦般的思考邏輯，拆解問題、找出規律、歸納並抽象化、設計演算法，幫助我們解決問題的一種思維(Jeannette M. Wing, 2008)。運算思維能力主要可細分為以下四個構面：

- 問題分解(Decomposition)：指對於問題能夠建立明確定義並嘗試對於問題進行拆解成細小個別問題。
- 型態識別(Pattern Recognition)：找出特定化模式或從資料中觀察出相似性。
- 抽象化 Abstraction)：將資料或動作轉換成抽象資料或代碼表示。
- 設計演算法(Algorithm Design)：設計對應演算法或用程式編碼來進行描述執行。

透過這四個構面的能力先後培養之下，能夠有效且有計畫性的培養運算思維能力。運算思維能夠運用在各種問題上，無論是教育、生活日常、工作等皆能利用運算思維來幫助人們達到將問題簡化並解決(Jeannette M. Wing, 2008)，運算思維引起了教育工作者和教育研究者的越來越多的關注，並被認為是一項關鍵能力，可以使學生掌握學習解決問題的基本技能(Weintrop et al., 2014; Qualls & Sherrell, 2010)。在 K-12 教育上，主要透過程式訓練方式來培養學生運算思維素養(Wei et al. 2020)。透過運算思維能幫助學生獲得更高層次的思維過程，例如解構問題和創新思考(Barr & Stephenson, 2011; Shute, Sun & Asbell-Clarke, 2017)。

運算思維的能力不僅僅適用於 K12 教育研究中，也適用於高等專業教育領域上，對於專業領域可透過運算思維幫助進行分析解決問題進而增進程式學習動機，而非專業資訊領域學生更容易了解程式運作方式，進一步對於程式能力發生興趣(Aoki, Kim & Lee, 2013)。而運算思維教學透過不同學習課程來進行培養例如數學、機器人、音樂甚至是結合現在的物聯網應用與 AI 技術學習(Benakli et al., 2017; Bell & Bell, 2018)。而研究發現透過遊戲式學習方式能有效提升學習者運算思維，根據 Weinan Zhao 與 Valerie J. Shute (2019)的研究發現，當學生在玩電子遊戲時，運算思維能力有顯著的提高。學習者在遊玩過程中，會利用到運算思維的概念來解決在遊戲中遇到的問題，但也可能會面臨到學習者會因專注於遊戲而失去注意力，導致無法認知到運算思維的存在，進而產生負面影響(Matere et al., 2021)。但如果將程式概念和運算思維結合在一起作為遊玩的主要內容，那玩家在遊玩的過程中哪怕專注於遊戲也能夠提升運算思維的能力(Kazimoglu et al., 2012)。

2.3 空間思維

空間思維也被稱為立體思維或多維思維概念，其空間為一個我們所想像出來的形狀空間，是一種相對於大腦所衍生形狀思考方式，因為對於人眼所觀察到平面資訊搭配大腦與景深的概念而擬和出一個立體空間想法，這種思考想法可以幫忙建築師思考整體建築建構方式；幫助醫師找尋人體器官位置；幫助警察搜尋掩蔽物後面躲藏的犯人。

這種空間思考方式幫助我們可以在真實世界中移動，透過大腦所建構的外在環境的心智地圖幫我們可以建立一個虛擬的空間世界與對於物品的定位方向，而空間思維也包含了其中三大要素所構成，空間概念、展示工具與推理決策。空間概念的定義主要是通過創造性思考概念來幫助我們對於空間的理解，而空間概念可以透過幾種屬性來創造問題並找出解答來進行訓練，例如找出兩點之間找出最短路徑、行李箱收納空間設計等等，其中，幾個空間思考範例進行對於相對應測驗。其中此屬於心理空間概念，包含受測者需要再心理嘗試折疊或旋轉來比對找尋是否符合相同物件。

展示工具則是用以表現此空間結構之樣本或媒介系統，透過大腦的理解幫助我們熟悉對於空間或物體的構造與相互關係，例如設計師常使用建築設計圖來幫助建築工人瞭解如何進行建築、工程師常搭配電路圖來進行電路板設計等等，而父母也最常透過積木或拼圖教具來培養小朋友空間概念的創造力。而推理決策則是對於空間概念進行推理理解後根據自我需求來決策找出最佳空間設計，例如司機駕駛在原本行進路線但聽到路況廣播後，便根據自身對於經驗上與自我需求(不塞車、最短路徑、避開菜市場)的理解來決策出最佳駕駛路徑。這種空間思考能力不僅僅是在表現在自我能力展示的多樣性外，對於 STEAM 教育具有相當關鍵影響程度，例如，對於特定分子的結構和行為非常了解的專家化學家可能不需要在心理上旋轉該分子的表示以便對其做出決定，而空間思考能力較高者對於邏輯學習也較容易取得較佳表現(Uttal & Cohen, 2012)。而更進一步空間思維為透過一個立體的空間對於問題進行思考，也因為對於思考的維度由一維或二維擴展至三維以上空間讓問題想法也具有不同方向的思考方式，這樣的思考方式則是跳脫於一般或是習知知識思考，其甚至於結合反思學習(Reflective learning)的概念進行學習，反思成果是一種無形產出，如學習經驗與反思過程，但反思成果對於真正在學習活動中的行為並不容易改變(Müller et al., 2014)。因為空間思考需跳脫於線性思維或平面思維去思考整體系統全貌，而這樣的思維概念也影響著大學生對於程式設計學習的成效。並且空間思維理解對於空間詞彙有著明顯的聯繫，Nazareth, Herrera 與 Pruden (2013) 採用縱向研究的方法，觀察父母對於小孩的空間思維教育中說了幾種空間詞彙，並且小孩子學習了幾種空間詞彙，例如(左邊、右邊、上面、中間偏左、三角形、正方形等)，而等小朋友較大後，進行非語言式的空間理解測驗，其中也顯示具有學習較多空間詞彙之小孩對於空間智力的表現也相較其得分更高。而 Passig, Tzuriel 與 Eshel-Kedmi (2016) 研究也指出透過空間對於小學生進行空間旋轉訓練，其結果發現透過 3D VR 環境訓練學童相較於一般透過積木式訓練，在數學方面表現較佳且有助於兒童的認知可修正性。特別是針對於代數問題，其猜測可能式空間訓練中使小朋友更容易將方程式形象化且重新排列組合，透過空間思維的思考模式幫助小朋友進行創意解析。

參、研究方法

3.1 研究議題

運算思維的基本元素包括：分解，識別規律，抽象，設計運算法則，這四大運算思維的核心能力，在關卡中都需要玩家運用這四大能力，找出解決問題的辦法。分解是指將數據，過程或者問題分成更小的也更容易管理的部分(Decomposition)也就是說一個大的問題如果暫時無法解決，可以將其分成若干個你能下手的子問題一一解決，透過逐步思考可幫助學習者以程序性方式解決問題，這對於未來人才培育將是一項重要之關鍵。而本研究嘗試運用遊戲式空間學習方式讓學習可以在遊戲學習過程中透過遊戲解謎來培養整體邏輯思維、資訊素養之概念能力之養成。本研究主要探討議題為：

- 遊戲式空間思維學習對於學習者學習動機之影響：遊戲式學習被廣泛認知於可以有效提升學習者對於科目學習之學習動機。然而空間思維要素的導入讓遊戲運行難度有所提升，學習者需要思考多種過關要素及空間思維概念才能完成通關，如此是否會影響學習者對於遊戲式學習動機造成影響為本研究探討項目。
- 遊戲式空間思維學習對於學習者運算思維能力培養之自我效能探討：本研究嘗試設計一款遊戲式空間思維學習環境，透過遊戲關卡設計讓學習者學習思考結合不同程式概念及邏輯思維訓練進行通關。透過這樣遊戲式關卡設計來探討學習者對於運算思維中相關邏輯能力、問題解構能力及程式能力自我效能提升之調查。

3.2 遊戲式空間關卡設計

本研究使用的製作平台是 Roblox，Roblox 內自帶一個編輯器 Roblox Studio。相比傳統的遊戲引擎，Roblox Studio 大大簡化了開發流程，更加簡單易用但功能依舊強大。Roblox 能用來快速驗證自己的某些創意和玩法是否值得實現。更重要的是能輕鬆發布自己做的遊戲在各個平台上(PC、手機、XBOX)，供其他愛好者、同行遊玩，互相交流開發心得或遊玩感想。

本研究主要之概念運用空間疊合共設計 17 個關卡，17 個關卡中有兩種不同的程式概念，分別是函式、遞迴。難度則隨著關卡進行慢慢變化與不斷加深。整體關卡設計主要運用下列遊戲關卡要素如表 1 所示。

表 1. 遊戲關卡要素

物件名稱	物件	用途
紫水晶		遊戲目標是操縱角色觸碰到紫水晶，紫水晶會存在於關卡內的某個房間裡。

物件名稱	物件	用途
方塊		角色運用空間方塊可以採用堆疊、站立在方塊上跳躍來讓自己能觸碰到更高的地方。
門及鑰匙		門是用來擋住角色的行進路線的，可以拾取鑰匙觸碰門，或者將鑰匙丟向門，兩種情況門與鑰匙均會消失，角色則可以通過本來無法前往的區域。
箱子		箱子的設計是模擬程式語言中的函式呼叫。在遊戲中，箱子並不是像藏寶箱一樣，藏了一些物品。而是容納了一整個房間進行場景切換。

遊戲目標只有一個，碰觸水晶通過關卡。為了碰觸到水晶，玩家需要利用關卡內各種物件與地形以及蘊含在遊戲內的程式邏輯才能夠突破重重障礙並碰觸到水晶，整體遊戲畫面圖如下圖 1 所示。



圖 1. 遊戲式學習畫面

3.3 運算思維流程導入

運算思維的基本元素包括：分解，識別規律，抽象，設計運算法則，這四大運算思維的核心能力，在關卡中都需要玩家運用這四大能力，找出解決問題的辦法。分解是指將數據，過程或者問題分成更小的也更容易管理的部分(Decomposition)也就是說一個大的問題如果暫時無法解決，可以將其分成若干個你能下手的子問題一一解決。在遊戲中體現分解這一行為的情況，比如第七關的玩家面對謎題無從下手時，通過觀

察發現，關卡主要的問題是如何拿到寶石離開關卡，但次要的子問題是寶石所在的平台太高，無法上去，因此需要石頭來墊在身下。但這就又能分解出另一個問題了，這個房間內沒有石頭怎麼辦？因此玩家又得去別的房間尋找石頭。在學習關卡中亦導入相關程式概念學習方式，讓學習者可以透過關卡通關中思考對應於程式概念設計方式，如圖 2 為函示概念通關學習，腳色需在主場景中透過箱子傳送至 A 函示中，並在 A 函示中取得方塊傳主場景程式，收集三個方塊堆疊才可以取得水晶。

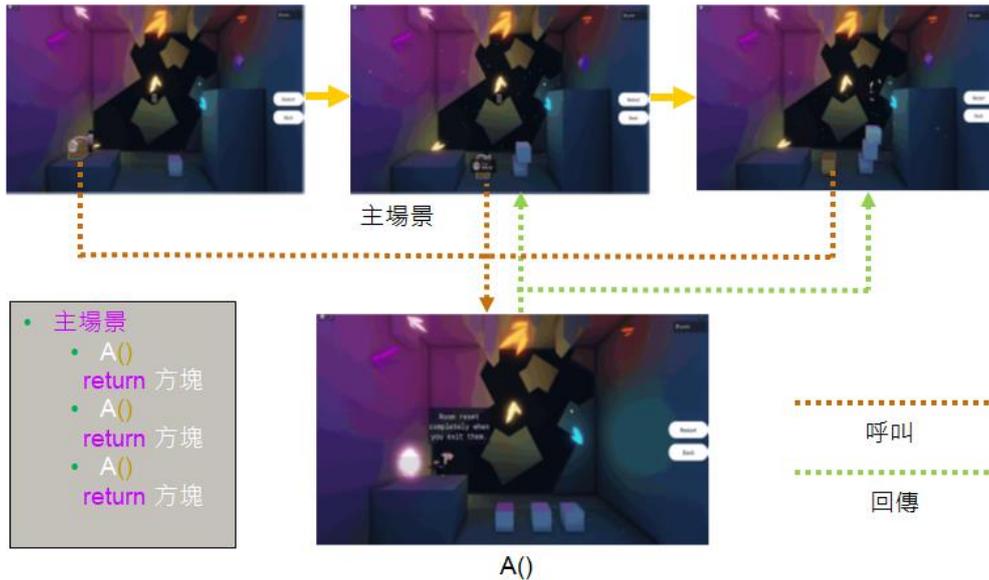


圖 2. 結合函示學習概念設計

為了可以解開上述關卡其搭配相關運算思維能力思考流程對應如下表 2 所示。這就是將難以下手大問題逐漸分解成能處理的子問題的思考流程。識別規律是指觀察數據中出現的規律，趨勢和規則(Pattern Recognition)。抽象是指從識別出的規律中確定普遍的規則(Abstraction)。在遊戲中從一個房間帶出石頭，當你回到房間時會發現石頭重生了。這是因為函式裡的變量屬於本地變量的原因，當玩家多次觀察到這一現象(識別規律)，他就能就此總結出一套規則(抽象)，並利用它來解決謎題。設計運算法則是指設計詳細的解決這類問題的步驟(Algorithm Design)。將分解、識別規律、抽象串聯，本研究就能設計出一套行之有效的解謎流程，比如先將關卡所有房間布置記錄，再觀察機制的規律，確立一套規則後，以這套規則為準則用以解謎。算法就像一條線一樣串起了運算思維的各個應用。

表 2. 運算思維對應學習表

運算思維項目	學習應用
問題分解	主場景中角色跳躍高度無法取得通關寶石，需要到 A()場景取回方塊堆疊才能取得足夠高度取得寶石。
型態識別	A()場景中有三個方塊，角色可以拿取方塊離開 A()場景。而主場景

運算思維項目	學習應用
抽象化	物件會根據取回方塊而進行變化。 A()場景在每次進入時可重複出現三個方塊，並且可以多次進入 A() 場景。
演算法	建立函式方式程式對應主場景呼叫 A()場景取得所需值後回傳至主函式。

肆、實驗成果

4.1 實驗設計流程

本研究採用準實驗研究設計方式，參與實驗一共為 14 人，皆為資工相關背景學生並分別為對照組及實驗組，其整體實驗流程如下圖 3 所示。



圖 3. 實驗設計流程

本研究在實驗前 20 分鐘將跟兩組學習者介紹運算思維流程概念並介紹 Bebras 國際運算思維挑戰，Bebras 國際運算思維是讓學生嘗試以生活情境問題為出發，並運用相關思維來解決問題之流程。現今許多教學研究亦搭配 Bebras 國際運算思維挑戰來推動運算思維學習，其提供許多學習範本與教材可供學習者學習參考。而在完成初步概念學習介紹後則請兩組學習者填寫學習動機及自我學習成效調查前測，其採學習自我效能量表用於進行評測，透過學習認知改變也能夠幫助學習者提升整體學習效率進而強化學習成效。在 30 分鐘學習實驗中，實驗組透過遊戲式空間學習進行關卡訓練，學習者可藉由前面五關進行基本操作練習，而透過後面 12 關卡來進行解謎練習及對應運算思維描述。對照組則透過運算思維挑戰賽紙本教材進行閱讀學習並嘗試練習解題訓練。在完成階段學習訓練後則再次進行問卷後測調查。

本研究研究則主要探討學生在不同教學策略影響下，對於運算思維學習成果。而為學生對於運算思維基礎自我效能認知上即具有相對差異影響，故採用共變數分析對於運算思維成效影響進行分析。共變數分析是一種統計控制的方法，其很常運用於準實驗研究法則資料分析應用上，亦即利用統計的手段來把可能影響實驗正確性的誤差加以排除，其優點為共變數利用回歸技術來進行變數統計，可有效改善變異數分析誤差差異量過大問題，而提升整體統計考驗檢定能力。

4.2 學習動機實驗調查

學習動機是學習者對於學習科目自我意願、成就動機、跟期待分析，而對於學習動機探討知識認知具有價值性或對於群體而言可獲得成就感，都可以進而推動學習動機提升正向學習態度。在學習動機部分主要參考相關相關文獻資料所提供問卷調查項，其統計分析摘要結果如下表 3 所示。其前測分數對照組為 16.14 而實驗組則為 16.00。後測調整後對照組平均數為 15.15 而實驗組為 18.28。

表 3. 學習動機描述統計分析摘要表

組別	人數 <i>n</i>	前測分數		後測分數		調整平均數 <i>M'</i>
		<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	
對照組	7	16.14	1.35	15.14	3.29	15.15
實驗組	7	16.00	1.29	18.29	1.25	18.28

而接續探討組內迴歸係數同質性假定之考驗，其結果如表 4 所示，因為 $F=3.088$ ($p=0.109$) 未達顯著性，顯示迴歸係數同質，可接續進行共變數分析。

表 4. 學習動機迴歸係數同質性考驗分析摘要表

變異來源	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>p</i>
組間	17.513	1	17.513	3.088	0.109
組內	56.710	10	5.671		
全體	74.223	11			

而整體共變數分析結果如下表 5 所示，其 $p=0.046 < 0.05$ ，其表示在學習動機部分透過遊戲式學習仍相較於傳統紙本學習方式具有顯著影響。

表 5. 學習動機共變數考驗分析摘要表

變異來源	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>p</i>
組間	34.282	1	34.282	5.081	0.046
組內	74.223	11	6.748		
全體	108.505	12			

4.3 運算思維能力自我效能調查

運算思維其主要用於對於學生可解決未來複雜問題之能力培養，本研究採用關鍵評量包含問題理解、問題解決、邏輯思考、程式思考四項自我效能調查，透過本研究遊戲式空間思維學習方式是否對於學習者學習自我成效有所影響。其統計分析摘要結果如下表 6 所示。其前測分數對照組為 37.43 而實驗組則為 35.86。後測調整後對照組平均數為 37.05 而實驗組為 36.37。

表 6. 運算思維能力自我效能統計分析摘要表

組別	人數	前測分數		後測分數		調整平均數
	<i>n</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M'</i>
對照組	7	37.43	1.62	37.57	1.40	37.05
實驗組	7	35.86	1.57	35.86	1.07	36.37

將實驗測得的數據進行迴歸係數同質性考驗後如表 7，組內迴歸係數同質性檢定結果未達顯著水準($p>0.05$)，表示迴歸斜率相同，不違反組內迴歸係數同質性假定，因此可進行共變數分析。

表 7. 運算思維能力自我效能迴歸係數同質性考驗分析摘要表

變異來源	<i>SS</i>	<i>Df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>p</i>
組間	1.126	1	1.126	2.697	0.132
組內	4.174	10	0.417		
全體	5.300	11			

而整體共變數分析結果如下表 8 所示，其 $p = 0.134 > 0.05$ ，其表示在學習自我成效部分透過遊戲式空間思維學習與傳統紙本教材學習方式並未達顯著影響之成果。

表 8. 運算思維能力自我效能共變數分析表

變異來源	<i>SS</i>	<i>Df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>p</i>
組間	1.258	1	1.258	2.610	0.134
組內	5.300	11	0.482		
全體	6.557	12			

伍、研究限制及討論

本研究針對於現今遊戲式學習方式結合空間思維概念設計一款遊戲式空間學習環境，透過關卡式設計來讓學習者透過問題分析、邏輯思考及程式結合等運算思維流程進行關卡解謎，並藉此探討透過新式學習方式是否對於學習者學習動機及運算思維能力產生影響。而本研究主要受試對象為資工系學生，其研究成果並不能直接推論到其他相關領域學生對於此學習方式之影響。

在學習動機方面，從本次實驗結果來看，使用傳統紙本學習的組別在前後測的分數進步並沒有太大的變化，表示使用紙本學習在提升成效、動力以及降低負擔上並無太大的效果。而使用遊戲式學習的組別在前後測的分數則是有顯著地進步，表示遊戲式學習即使在融入空間思維等較需要思考關卡部分對於學習者仍具有一定學習興趣，學習者可透過遊戲式方式來降低空間思維複雜邏輯之進行。

在運算思維學習自我效能中，其實驗結果顯示使用遊戲式空間思維學習與傳統紙本學習方式其並未達顯著差異。進一步檢視數據，實驗組整體自我效能其較對照組低。其進一步透過訪談了解發現，其一原因為運算思維紙本教材為一個多國教師共同討論與設計之教學內容，其並提供了詳細的解題流程與思考圖像，這對學習者而言為一直接學習要素即便在學習動機低於實驗組情況下，對於學習自我效能感知透過完整紙本教材仍對於學生有較明顯助益。而在本次研究過程中也發現，遊戲式學習過中需花費的時間會相比紙本學習的組別還多，可能因遊戲學習的難度相比紙本學習的難度還要高，導致受試者在測試時需要花更多時間才能夠完成，並且在通關過程亦未提供較明顯思維方式來協助學習者進行流程思考。未來後續學習設計上可能需要調整難易度或是建立更明確思維流程步驟來引導學習者進行運算思維思考，來幫助在遊戲式學習關卡上對應於學習者自我學習探討之影響。

致謝

本研究依國家科學委員會補助大專生專題研究計畫「結合遊戲式空間運算學習探討運算思維能力培養影響 (111-2813-C-143-020-H-)」進行辦理。

參考文獻

- 張安緹 & 陳鴻仁。(2018)。即時適性英語字彙遊戲學習系統教學之學習成效與學習動機分析。 *數位學習科技期刊*, 10(4), 31-58.
- Aoki, H., Kim, J., & Lee, W. (2013). Propagation & level: Factors influencing in the ICT composite index at the school level. *Computers & Education*, 60(1), 310-324.
- Barr, V., & Stephenson, C. (2011). Bringing computational thinking to K-12: What is involved and what is the role of the computer science education community?. *Acm Inroads*, 2(1), 48-54.
- Bell, J., & Bell, T. (2018). Integrating computational thinking with a music education context. *Informatics in Education*, 17(2), 151-166.
- Benakli, N., Kostadinov, B., Satyanarayana, A., & Singh, S. (2017). Introducing computational thinking through hands-on projects using R with applications to calculus, probability and data analysis. *International Journal of Mathematical Education in Science and Technology*, 48(3), 393-427.
- Childress, M. D., & Braswell, R. (2006). Using massively multiplayer online role-playing games for online learning. *Distance Education*, 27(2), 187-196.
- Dankbaar, M. E., Richters, O., Kalkman, C. J., Prins, G., Ten Cate, O. T., van Merriënboer, J. J., & Schuit, S. C. (2017). Comparative effectiveness of a serious game and an e-module to support patient safety knowledge and awareness. *BMC medical education*, 17(1), 1-10.
- DeKanter, N. (2005). Gaming redefines interactivity for learning. *TechTrends*, 49(3), 26-31.
- Kazimoglu, C., Kiernan, M., Bacon, L., & Mackinnon, L. (2012). A serious game for developing computational thinking and learning introductory computer programming. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 47, 1991-1999.
- Lai, C. H., Lee, T. P., Jong, B. S., & Hsia, Y. T. (2012). A research on applying game-based learning to enhance the participation of student. In *Embedded and Multimedia Computing Technology and Service* (pp. 311-318). Springer, Dordrecht.
- Matere, I. M., Weng, C., Astatke, M., Hsia, C. H., & Fan, C. G. (2021). Effect of design-based learning on elementary students computational thinking skills in visual programming maker course. *Interactive Learning Environments*, 1-14.
- Müller, L., Divitini, M., Mora, S., Rivera-Pelayo, V., & Stork, W. (2014). Context becomes content: Sensor data for computer-supported reflective learning. *IEEE Transactions on Learning Technologies*, 8(1), 111-123.
- Nazareth, A., Herrera, A., & Pruden, S. M. (2013). Explaining sex differences in mental rotation: role of spatial activity experience. *Cognitive processing*, 14(2), 201-204.
- Passig, D., Tzuriel, D., & Eshel-Kedmi, G. (2016). Improving children's cognitive modifiability by dynamic assessment in 3D Immersive Virtual Reality environments. *Computers & Education*, 95, 296-308.

- Prensky, M. (2003). Digital game-based learning. *Computers in Entertainment (CIE)*, 1(1), 21-21.
- Qualls, J. A., & Sherrell, L. B. (2010). Why computational thinking should be integrated into the curriculum. *Journal of Computing Sciences in Colleges*, 25(5), 66-71.
- Shute, V. J., Sun, C., & Asbell-Clarke, J. (2017). Demystifying computational thinking. *Educational Research Review*, 22, 142-158.
- Uttal, D. H., & Cohen, C. A. (2012). Spatial thinking and STEM education: When, why, and how?. In *Psychology of learning and motivation* (Vol. 57, pp. 147-181). Academic Press.
- Vogt, F., Hauser, B., Stebler, R., Rechsteiner, K., & Urech, C. (2020). Learning through play—pedagogy and learning outcomes in early childhood mathematics. In *Innovative Approaches in Early Childhood Mathematics* (pp. 127-141). Routledge.
- Weintrop, D., Beheshti, E., Horn, M. S., Orton, K., Trouille, L., Jona, K., & Wilensky, U. (2014, July). Interactive assessment tools for computational thinking in high school STEM classrooms. In *international conference on intelligent Technologies for interactive entertainment* (pp. 22-25). Springer, Cham.
- Wing, J. (2011). Research notebook: Computational thinking—What and why. *The link magazine*, 6, 20-23.
- Wing, J. M. (2006). Computational thinking. *Communications of the ACM*, 49(3), 33-35.
- Wing, J. M. (2008). Computational thinking and thinking about computing. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 366(1881), 3717-3725.
- Wouters, P., Van der Spek, E. D., & Van Oostendorp, H. (2009). Current practices in serious game research: A review from a learning outcomes perspective. *Games-based learning advancements for multi-sensory human computer interfaces: techniques and effective practices*, 232-250.
- Wouters, P., van Oostendorp, H., ter Vrugte, J., Vandercruysse, S., de Jong, T., & Elen, J. (2017). The effect of surprising events in a serious game on learning mathematics. *British journal of educational technology*, 48(3), 860-877.
- Zhao, W., & Shute, V. J. (2019). Can playing a video game foster computational thinking skills?. *Computers & Education*, 141, 103633.