

以雙層次測驗搭配鷹架理論探討學習成效 —以演算法課程為例

*鄭淑真、黃振傑

南臺科技大學資訊工程系

kittyc@stust.edu.tw

摘要

在學校學習階段，許多學生因缺乏老師的一對一指導，遇到問題時無法對題目的要求、計算方式與過程有全面的瞭解。本研究以雙層次測驗，搭配建構式教學法中的鷹架構築法，對於學習的成效進行研究，研究對象為資工系學生，針對演算法課程的「佛洛伊德最短路徑問題」以及「銷售員旅行問題」進行實驗。建構式教學法把計算方式與過程加以細分，構築鷹架式的測驗方式讓學生在練習題目時可以明確的瞭解計算過程，並在計算的每一個階段有明確的引導，當學生在任何一階段發生問題時，老師可以馬上知道並予以指正，進行下一個階段的測驗，達到雙層次測驗的效果，以提高學習效率，而在學習的過程中，學生會發現直覺思考與電腦邏輯思考的差異，提升程式設計能力，最後的實驗成果可以發現，學習成效有明顯的成長。

關鍵詞：雙層次測驗、鷹架、演算法、學習成效

Learning Effectiveness Analysis for Two-Tier Test and Scaffolding Theory : A Case Study on Algorithm Course

Shu-Chen Cheng*, Zhen-Jie Huang

Department of Computer Science and Information Engineering, Southern Taiwan University of Science and Technology

Abstract

During their school years, many students lack such one-on-one guidance from teachers that they can't understand the requirements, calculation methods and processes of the questions comprehensively when they encounter problems. Therefore, this study proposes Two-Tier Test-based and Scaffolding Instruction and aims to investigate its effectiveness by experimenting such an instruction in the algorithm of Floyd-Warshall and Travelling Salesman Problem. The subjects were the third graders of computer science and information engineering majors of Southern Taiwan University of Science and Technology. The constructive teaching method subdivides the calculation method and process. The scaffolding test method allows students to clearly understand the calculation process and acquire clear guidance at each stage of the problem solving. Students are able to distinguish the difference between intuitive thinking and computational logic so as to improve their programming ability. In addition, the teacher can quickly evaluate the learning performance of students by these tests and provide individual guidance. After comparing the results with those of the previous years, we can discover the scores in these topics while taught with Two-Tier Test-based and Scaffolding Instruction are higher than those of the previous years. The final experimental results can be found that students' learning effectiveness has grown significantly.

Keywords: Two-Tier Test-based, Scaffolding Instruction, Algorithm, Learning Effectiveness

壹、緒論

傳統填鴨式的教育方式，讓學生在看到問題時，可以針對不一樣的題型，套用相對的解題公式來計算答案，但大多數學生不知道公式背後的理論與推導過程。因此當學生遇到稍微變化的題目或是未曾學習過的問題時，就無法透過理論自行推導出問題的答案。

而演算法在教學上，是由圖片與文字講解構成，演算法是一個完整的架構的過程，是要將手上的資訊與計算目的簡化成固定流程，最後再依照規劃好的流程使用電腦可以理解的語言與基本的邏輯運算來建構演算法。在過程中可以培養學生的邏輯、了解電腦思考的方式，這個過程適合用建構式數學來呈現。

建構式教學最早以皮亞傑（J. Piaget）與維高斯基（L. S. Vygotsky）各自發展出一套認知發展理論為雛形，發展至今對這方面的研究也逐漸成熟，本研究中採用的鷹架式建構也源自於此。另外，將鷹架與 Haslam 與 Treagust 提出的雙層次測驗作結合，透過設計的題目與測驗，發現學生學習的問題，即時給予指正與反饋，達到更優秀的學習效果[1]。

本研究藉由演算法的二個題目，分別為佛洛伊德最短路徑演算法與銷售員旅行問題為探討主題，這二道題目是要計算出兩點之間與從原點經過其他點回到原點所需的最短距離，因此計算上需要多次迭代，在路線的選擇上無法用觀察路線後直接給予答案，而演算法要解決的問題在於當路線繁多，如何用電腦語言來解決這方面的選擇問題，並計算出最佳的答案，所以在計算上必須站在電腦邏輯運算的思維方式進行計算，在迭代過程中就產生路線選擇問題與路線優先順序問題……等，在這兩種題目中學生觀看後的直覺思考與電腦邏輯之間就有明顯的差異，因此學生在學習上也就產生了困難與錯誤的學習觀念。題目設計上採用鷹架建構式去架構問題，提供學生多元的方式去探討並學習，讓學生在填寫試題同時釐清自己的邏輯，老師也可藉由試卷迅速發現學生問題所在之處，並予以指正，進而藉由分析學習成效。研究目的如下：

- 一、了解學生對題目的理解程度。
- 二、進行第一次鷹架建構式演算法測驗，了解並糾正學生的問題與邏輯上的錯誤。
- 三、進行第二次測驗，以了解學生採用教學實驗後的學習成效。
- 四、比較實驗組與對照組在學習成效上的差異。

貳、文獻探討

一、雙層次測驗

在過去傳統測驗由於受限於學生對於試題涵蓋範圍太廣和不易得知學習者是出於理解或是猜測的狀態下作答，導致不易找出學習者的問題；雖然可以透過一對一對談的方式解決學生遇到的問題，但需耗費大量時間同時也沒辦法給予所有學習者回饋[2-8]，尤其當學生遇到難以理解的概念時，往往他們在相關科目中也會比較容易產生錯誤的觀念[9]，為了改善上述的缺點 Haslam 與 Treagust 提出雙層次測驗，雙層次測驗的題目中必須具備說明與知識的部分，第一層以選擇題診斷學生對基礎觀念是否正確，第二層題目測驗採用訪談或開放式問題，描述之前選擇前一個測驗答案的原因，從中了解學生的學習狀況，找出學生錯誤的觀念並予以糾正[1]。現在許多教育都重視課程內容，但忽略了對學生在學習前所必備的知識是否完善，如果有系統地去診斷，對學生接下來的學習有相當的幫助[10-11]。有效的學習指導策略，可以提高學生學習態度與成績[2, 12]。

將這個方法應用在程式設計的教學上，有效提高正確的編程解決問題能力與更深一層的邏輯思考，此外也改善了學員的學習方式和信心，並培養了測驗後比對錯誤的觀念，進行反思與自我診斷問題[8]。雙層次測驗還可以做學生學習障礙的分析，了解大部分學生在學習該題目過程中容易產生的錯誤觀念[13]。測驗過程所診斷的結果可以互相比對，從中找出學生學習的問題[9, 14]。藉由多層次的測驗，可以反覆驗證學生的觀念是否正確，從中找到錯誤的部分，予以指正[15-16]。

本研究參考了雙層次測驗的概念，題目循序漸進互有關聯，結合鷹架式學習，設計演算法的測驗卷，加強診斷分析的能力，在測驗後可以快速地找出學生學習上的問題，並給予相對應的指導，提升學習的效率，加快知識的吸收，並在測驗過程中與鷹架式的結合訓練邏輯思考，加強編程的能力。

二、基於問題學習（PBL）

基於問題學習（PBL）對學習程式語言有相當的幫助，PBL 強調學生的互動與實踐中學習，不但提升學習效率，更可以提升學生的學習意願，積極的參與其中[17]。根據系統文獻，近 15 年來 PBL 教學模式在應用上越來越多，也被大眾所接受，成效也相當卓越，PBL 需要教師接受專業的訓練以達到更好的成效與推廣[18]。除教師要受到專業的訓練之外，對學生有完整的學習診斷系統，可以有效的評估學生的學習問題，並給予相對應的提示或指導，可有效的提高學生的成績[19]。例如 Hassan 等人的研究中，學生在學習成效、學習意願與平均水平都有顯卓的提升，此外還促進了創造力與解決問題的能力，在學生的回饋上也令人滿意[20]。

Feng、Chen、Liu 與 Song 提到，比起一般的傳統教育方式，基於問題學習更適用於大學這個求學階段，吸引學生的注意力[21]。Phang、Yusof、Aziz、Diana 與 Musa 有效提升學生的積極學習的態度與建設性的學習過程，更可以觸發學生有更深一層的思考[22]。Mikhailovich 與 Yurievna，以及 Hung 皆指出 PBL 問題的情境設計也相當的重要[23-24]，Ravankar 等人問題設計的品質與決定了學生能否提出更好的解決方案與學習的深度，並達到更好的學習成效[25]。由於演算法課程正是針對不同的問題提出程式設計的解決方法與步驟，正是符合 PBL 的教學方式，因此本研究採用演算法課程進行研究。

三、鷹架建構式理論

每位學生的程度都不一樣，導致同樣的課程結束後，會出現兩極化的結果；為了避免上述的結果由 Wood、Bruner 與 Ross 提出鷹架理論[26]，現今被廣泛的應用在各個領域，當運用在教學時，學生的應變程度會增加，但相對的需要花費的時間也會增加[27]，老師也必須能從測驗中得知學生現有的能力[28]，如何利用學生現有的能力，培養我們希望他具備的能力。如果現有與期望能力之間的差距過遠，則需思考如何有系統的一步步分段培養其能力，如此方能達到最佳，鷹架式理論也被研發出許多的架構方式，而每一種鷹架也適用於不同的方向，並不是一成不變的，鷹架式理論，至今被學者歸類為三類[29]，分散性鷹架模式、重複鷹架模式與協同的鷹架模式。

（一）分散性鷹架

分散式鷹架如圖 1 所示針對每一個目的，對應一個鷹架，謝州恩提到，班級是複雜的情境，從多管道提供鷹架對學生會是較好的模式，也就是分佈式鷹架在此應為最好發揮之處[30]。Sandoval 中以達爾文進化論為舉例，物競天擇、優勝劣敗因外在因素而產生改變，讓學生探討究竟遇上了什麼樣的外在因素，而產生了對應的改變，將它一一列舉出來，最後產生結果，在建構這個鷹架的過程中學習，鍛鍊學生的思考與邏輯[31]。在這樣的建構過程中，鷹架只會產生一種答案。在研究的結論中提到，教導學生對於事物的發生原因與結果進行探究的過程中，培養學生探究事物的本質，把數據視為解釋並推演出答案，不僅培養學生對現有觀念的理解，還可以由最基礎的知識理論去架構出來，達到對這個知識完整的理解。

（二）重複鷹架模式

重複式鷹架如圖 2 所示，針對一個目的，設計多個鷹架來學習以達到目的，在 Puntambeka 與 Kolodner 研究中的實驗強調了討論以及老師適時的給予學生解釋並修正問題，觀察學生學習的問題點，學生對問題進行研究與探討的過程中，從基礎開始架構，完成後學生之間互相討論、提問，因為每個學生所架構的方式不同，討論過程中互補不足，學生或許某個方面不瞭解，但在與其他人的討論中可以得到解答，在最後研究結果上，學生表現出對研究的問題有更深層次的認識，學生與教師的對談與提問中有更多的科學根據，對教師而言，也有了幫助學生釐清問題的機會[32]。

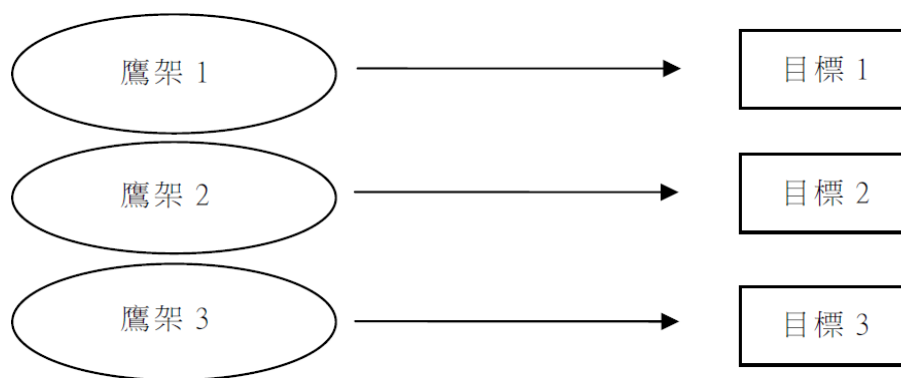


圖 1 分散性鷹架模式 資料來源：謝州恩[30]

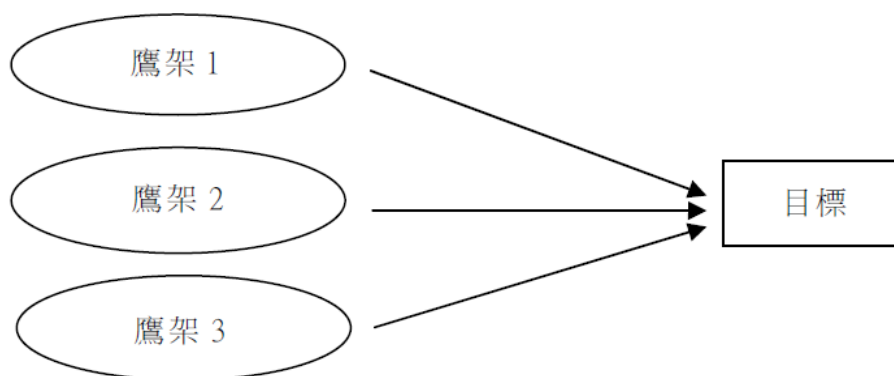


圖 2 重複性鷹架模式 資料來源：謝州恩[30]

（三）協同鷹架模式

協同式鷹架如圖 3 所示，在一個鷹架中，加入一個或多個輔助式鷹架，來協助進而達到目的，Tabak 與 Reiser 提出，事先在電腦設計教學模型，輔佐教師以鷹架式的教學引導學生，課程中加入了電腦的查詢，引導學生不只是被動地接受資訊，而是自己手動操作電腦，查詢相關的資料，下達查詢的指令，了解學習的項目，在這樣的教學過程中，學生有了提問與反思的過程最後推導出結果[33]。

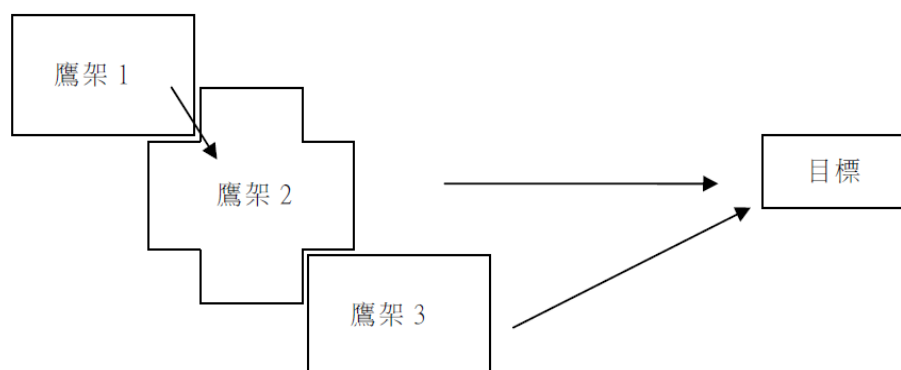


圖 3 協同鷹架模式 資料來源：謝州恩[30]

根據謝州恩提出適用對象的分析，本研究採用分散性鷹架模式最適合應用於本研究教師對學生的指導[30]。

參、研究方法

本研究針對演算法課程採用雙層次測驗與建構式鷹架，在題目設計上，首先參考了雙層次測驗的特性，當學生了解第一階段的題目之後，再進行第二階段的測驗。也藉由建構式鷹架理論，將演算法的計算過程分解成多個步驟，讓學生在測驗時，了解題目需求，並按照步驟進行，在計算出第一階段的答案後，將答案往下帶至第二階段，這樣的好處是當學生學習時，可能在計算流程上產生疑問，但在經過這個測驗後，學生會完整的了解流程，或者當學生在某個步驟有問題時，這樣的測驗設計也能讓教師發現學生問題點，並能較有效率的解決學生學習上的疑問。

在謝州恩鷹架的特色歸納了以下五點[30]：

一般目標：在互動中分享學習的意義。

持續的診斷：對學生不同階段的了解提供診斷。

動態與適當的支援：對不同的學生學習提供不同的鷹架與支持。

對話與互動：教學中教師對學生的對話與互動，與學生彼此的對話角色。

鷹架撤離：原本提供給學生或學習者的鷹架逐步撤離，使學生或學習者能獨自承擔自己的學習。

參考了歸納後的鷹架特色，在測驗過程中釐清邏輯問題的學習過程，並借鑒雙層次測驗的理念診斷學生的學習狀況，測驗後的試卷使老師快速發現學生問題並給予解答外，同儕之間互相學習，請完成學習的學生帶領尚未完成學習的同儕學習，以達到對話與互動，在學習上不只停留於課本的文字與圖片之中，最後在測驗卷方面，請學生在空白面對公式進行計算達到抽離式鷹架的學習，並且檢測學生是否還有學習上細節的疏失，詳細地了解學生的學習狀況。

一、系統架構

本研究參考圖4雙層次測驗架構，以建構式鷹架將演算法的計算過程分割成多個步驟，藉由這個方式釐清學生在流程圖上的邏輯問題，也讓學生對演算法的計算推導過程有更完整的認識，當計算過程中有步驟出現疑問，可以藉此了解自己在學習上的問題。教師也可以藉由這份試卷，不只從分數上了解學生的學習成效，如果學生在其中一個部份有問題，就可以藉由試卷得知問題所在，讓老師指導學生，或者透過同儕協助解除疑惑，可以在班級上達到一對一指導的效果。第一階段的題目設計採用建構式鷹架，而第二

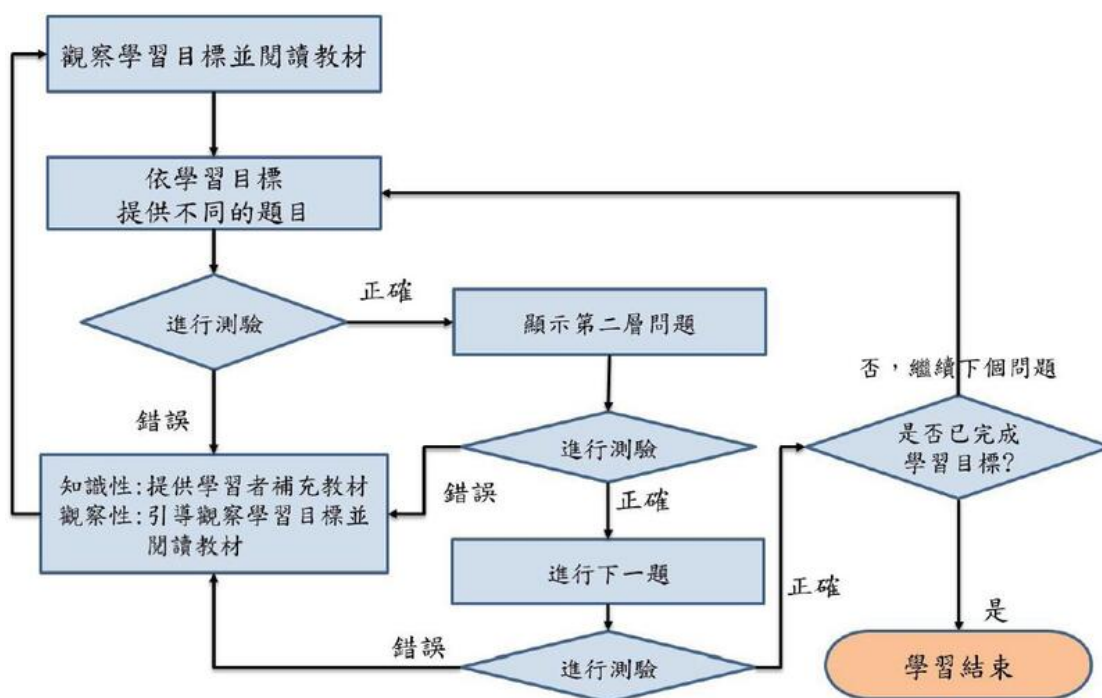


圖 4 雙層次測驗系統

資料來源：朱慧君、陳君銘、廖至仁[34]

階段則是開放式測驗，不提供鷹架，由學生按照步驟自行建構完整的作答，用以檢驗是否確實瞭解該問題的解決方法。

在考卷的設計上，首先要分解題目的計算過程，找出該題目中學生容易產生錯誤的觀念，並針對這些觀念設計題目，不只看最後的答案，在計算過程中填空的位置，突顯出這些容易產生錯誤的觀念，以銷售員旅行問題舉例，在選擇路徑上依照演算法進行步驟，設計填空表格讓學生填寫，若沒有設計過的考卷，那學生可能會以目測的方式，沒有計算過程，直接填寫答案，或著計算公式分散，在比對找出學生問題時會降低效率，且學生的計算方式不如預期時，也可能無法準確的指出學生錯誤的觀念。

二、鷹架式測驗考卷設計

(一) 佛洛伊德最短路徑演算法

佛洛伊德最短路徑演算法有多次迭代的計算過程，在本課程歷年的測驗上，是學生容易出錯的部份。在圖5中考卷的設計上，使用佛洛伊德最短路徑從 D_0 到 D_n 的計算過程，這樣可以明確地看出學生的計算過程與每一次迭代在代入的數字與計算結果上是否有誤，而右邊也有對陣列欄位上的計算公式有明確的計算過程引導，藉此鷹架式的測驗設計，了解學生在數學上的計算轉換成程式設計時的邏輯是否有誤，讓學生的計算與程式設計能力都有所提升，老師更可以藉由測驗考卷，了解學生在流程圖、計算方式、數學公式或程式轉譯之間，哪一個部份有疑惑還未解決，老師可以更進一步指導學生，學生也能藉由這次測驗，了解自己的對此演算法的學習是否有誤解之處。

關於佛洛伊德最短路徑演算法的計算過程，圖5中顯示局部的測驗內容做為示範。將需要計算的矩陣欄位及公式以填空的方式呈現，這樣的鷹架設計有引導的效果，且可以節省計算所需時間，可以更快速檢驗學生能否將每次迭代正確計算。設計鷹架式與雙層次測驗的測驗卷系統中分成兩個部份，左邊的表格讓學生在做完迭代計算後，將陣列的值寫入，依照前一個陣列的值迭代計算下一個陣列的值，從中了解學生在迭代的計算過程哪邊有出錯，迭代過程中有兩個觀念，第一個觀念是迭代時的路線選擇是否正確，第二個觀念是哪兩條路線要拿出來做大小比對，為了突顯這兩個問題，有預先設計好的空格，可以詳細地看出學生的迭代流程與選擇比對的順序，並在從中可以馬上看出學生的學習上的缺失，或不具備哪一個觀念，或著只是單純粗心。第二部份是右邊的公式填空，學生光是會計算是不夠的，還需要將計算方式轉譯為電腦程式語言，將程式語言所需要的變數與計算位置之間進行變換，引導學生填入公式的空格中，從中分析學生對此演算法公式的理解程度，公式計算中也有兩個觀念，第一個觀念是除了選擇的數字之外，還有迭代時的對象， D_1 計算的對象來自 D_0 這個概念，若 D_1 迭代對象也是 D_1 那最後也會導致計算結果錯誤，若這問題出現在程式設計上，那結果就不會是正確的，第二個觀念是對選擇的對象，計算他迭代的

班級	學號				姓名
	V1	V2	V3	V4	
V1	0	6	∞	3	
V2	5	0	1	∞	
V3	3	∞	0	2	
V4	8	2	∞	0	

D_0 計算當 V2、V3、V4 透過 V1 進行第一次疊代

	V1	V2	V3	V4	$D^{(1)}[2][4]=\text{minum}(D^{(0)}[2][4], D^{(0)}[2][1]+D^{(0)}[1][4])$
V1	0				
V2		0			$D^{(1)}[3][2]=\text{minum}(D^{(0)}[3][2], D^{(0)}[3][1]+D^{(0)}[1][2])$
V3			0		
V4				0	

圖5 佛洛伊德最短路徑演算法之考卷局部內容範例

結果再進行大小比對，在這些問題上挖空，藉此了解學生的學習問題。當學生通過第一階段的鷹架式測驗，確認學生對這四個觀念理解上次否明確，最後鷹架抽離，讓學生在試卷進行獨立的運算，以開放式的作答方式讓學生自行按照演算法步驟寫下全部迭代過程以及公式的代入值，從中可以看出學生對公式的理解，推導的過程與往下延伸所需要的流程是否完善，可以看出學生對題目的理解程度。

(二) 銷售員旅行問題

銷售員旅行問題演算法在歷年的測驗上也是學生感到較困難的題目。在圖 6 的題目設計上，先於題目中列出整個搜尋樹，並在每一個節點右邊留下空格，讓學生填寫搜尋樹的走訪順序，了解本題型在程式設計上是如何運作的。另外，在試卷上方設計公式填空，引導學生理解數學計算與程式計算的差異，並了解程式在運作時，程式中所代入的變數數值在每一次迭代的過程中的改變。

銷售員旅行問題的迭代過程，其中有幾個重要的觀念需要幫學生釐清，第一個觀念是在第一次選擇路線後，不能因為直接到起點的數字最小就選擇起點，第二個觀念不管後面路線是否是合理的，除了最後回到起點外，優先選擇最短的路徑，並踢除選項，學生對應該踢除那些選項上容易犯錯，導致最後的計算結果有誤，更影響到路線選擇時的結果。路線選擇的部分也有兩個重要的觀念，第一個觀念是當計算完第一條路線時須與其他可能路線做比對，若有其他路線的結果可能比第一條路線還要近，那就要計算其他路線，直到沒有更小的選項。第二個觀念是計算的順序採用貪婪演算法，也就是最小的 bound 值優先計算，且從左到右，符合電腦的運算順序與邏輯。

教師可以藉由這份試卷，了解每個學生在學習銷售員旅行問題時，是否了解流程圖和程式碼在計算時與一般數學計算之間的差異。再者，此鷹架設計將演算法流程與公式明確地分割，當學生在其中一個環節出現疑問時，教師可以及時發現，並替學生解答疑惑，使學習成效大幅提升。

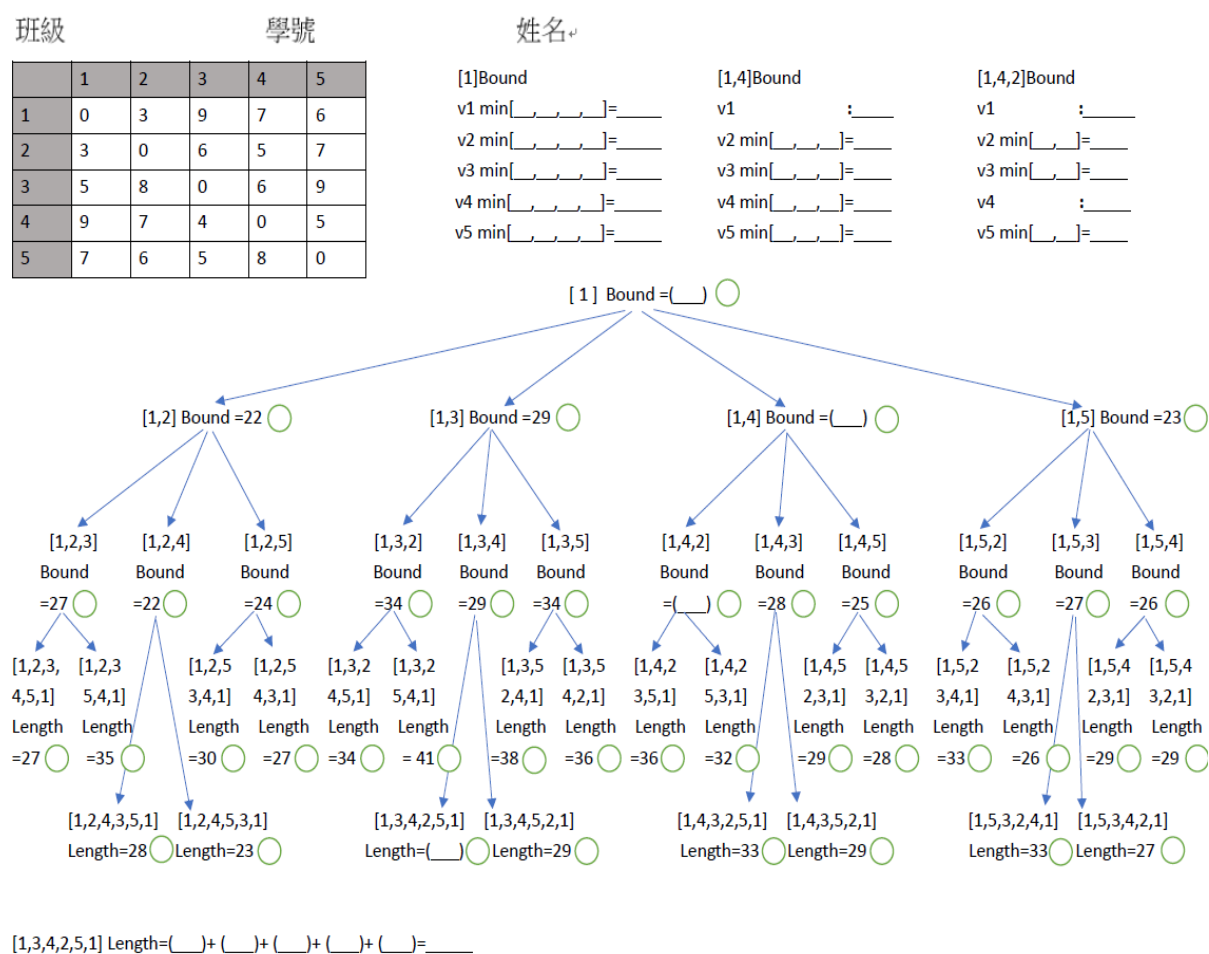


圖 6 銷售員旅行問題之考卷局部內容範例

三、測驗給分方式

在平時測驗時，結合鷹架式設計將佛洛伊德法則（Floyd-Warshall algorithm, Floyd）與銷售員問題（traveling salesman problem, TSP）的雙層次測驗分為二個階段，藉此了解學生的學習程度，在給分上分成五個等級，每個測驗卷有幾個重要觀念需要學習，完全正確為 5，完全錯誤為 1，依學生填寫答案的完整度評斷給分。而在期中考與期末考時，則進行傳統的測驗方式，分析學生學習前後的差異。二個階段的作答如圖 7-12 所示。

（一）佛洛伊德最短路徑演算法

第一階段的測驗中第一個部份如圖 7，為陣列的計算與迭代過程，可檢驗學生對於程式邏輯的理解。第二個部份如圖 8，是對公式的填空，可測驗學生對於公式的理解程度，第二階段的測驗是將鷹架抽離，採用開放式的作答方式，如圖 9 所示。

	V1	V2	V3	V4
V1	0	6	∞	3
V2	5	0	1	∞
V3	3	∞	0	2
V4	8	2	∞	0

	V1	V2	V3	V4
V1	0	6	∞	3
V2	5	0	1	8
V3	3	9	0	2
V4	8	2	∞	0

	V1	V2	V3	V4
V1	0	6	7	3
V2	5	0	1	8
V3	3	9	0	2
V4	7	2	3	0

	V1	V2	V3	V4
V1	0	6	7	3
V2	4	0	1	3
V3	3	9	0	2
V4	6	2	3	0

	V1	V2	V3	V4
V1	0	5	6	3
V2	4	0	1	3
V3	3	4	0	2
V4	6	2	3	0

圖 7 佛洛伊德最短路徑演算法之考卷四次疊代的作答範例

$$D^{(1)}[2][4] = \text{minimum}(D^{(0)}[2][4], D^{(0)}[2][1] + D^{(0)}[1][4])$$

$$D^{(1)}[3][2] = \text{minimum}(D^{(0)}[3][2], D^{(0)}[3][1] + D^{(0)}[1][2])$$

圖 8 佛洛伊德最短路徑演算法之考卷公式填空的作答範例

$$D^{(0)}[4][1] = 2$$

$$D^{(1)}[4][2] = \min(D^{(0)}[4][2], D^{(0)}[4][1] + D^{(0)}[1][2]) = \min(2, 8+6) = 2$$

$$D^{(1)}[4][3] = \min(D^{(0)}[4][3], D^{(0)}[4][2] + D^{(0)}[2][3]) = \min(2, 2+0) = 2$$

$$D^{(1)}[4][2] = \min(D^{(1)}[4][2], D^{(1)}[4][3] + D^{(1)}[3][2]) = \min(2, 3+9) = 2$$

$$D^{(1)}[4][2] = \min(D^{(1)}[4][2], D^{(1)}[4][4] + D^{(1)}[4][5]) = \min(2, 0+2) = 2$$

$$D^{(1)}[5][2] = \min(D^{(0)}[5][2], D^{(0)}[5][1] + D^{(0)}[1][2]) = \min(0, 5+6) = 0$$

$$D^{(1)}[4][3] = \min(D^{(1)}[4][3], D^{(1)}[4][2] + D^{(1)}[2][3]) = \min(\infty, 2+1) = 3$$

$$D^{(1)}[4][3] = \min(D^{(1)}[4][3], D^{(1)}[4][1] + D^{(1)}[1][3]) = \min(\infty, 8+\infty) = \infty$$

$$D^{(1)}[2][3] = \min(D^{(0)}[2][3], D^{(0)}[2][1] + D^{(0)}[1][3]) = \min(1, 5+\infty) = 1$$

$$D^{(1)}[3][2] = \min(D^{(1)}[3][2], D^{(1)}[3][3] + D^{(1)}[3][2]) = \min(9, 9+0) = 9$$

$$D^{(1)}[3][2] = \min(D^{(1)}[3][2], D^{(1)}[3][4] + D^{(1)}[4][2]) = \min(\infty, 3+6) = 9$$

圖 9 佛洛伊德最短路徑演算法之開放式作答範例

(二) 銷售員旅行問題

第一階段的測驗第一個部份如圖 10 所示，是各點之間的相鄰矩陣值，以此矩陣作為題目讓學生進行運算。第二個部份如圖 11 所示，是代入公式使用的值的填空，測驗學生對於公式的理解程度。第三個部份如圖 12 所示，乃該演算法之搜尋樹，讓學生填寫走訪順序，藉以測驗學生之運算思維以及對於程式的理解程度。

	1	2	3	4	5
1	0	3	9	7	6
2	3	0	6	5	7
3	5	8	0	6	9
4	9	7	4	0	5
5	7	6	5	8	0

圖 10 銷售員旅行問題之題目範例

[1]Bound v1 min[3, 9, 7, 6] = 3 v2 min[3, 6, 5, 7] = 3 v3 min[5, 8, 6, 9] = 5 v4 min[9, 7, 4, 5] = 4 v5 min[7, 6, 5, 8] = 5	[1,4]Bound v1 : 7 v2 min[3, 6, 7] = 3 v3 min[5, 8, 9] = 5 v4 min[7, 4, 5] = 4 v5 min[7, 6, 5] = 5	[1,4,2]Bound v1 : 7 v2 min[6, 7] = 6 v3 min[5, 9] = 5 v4 : 7 v5 min[7, 5] = 5
---	---	---

圖 11 銷售員旅行問題之公式測驗作答範例

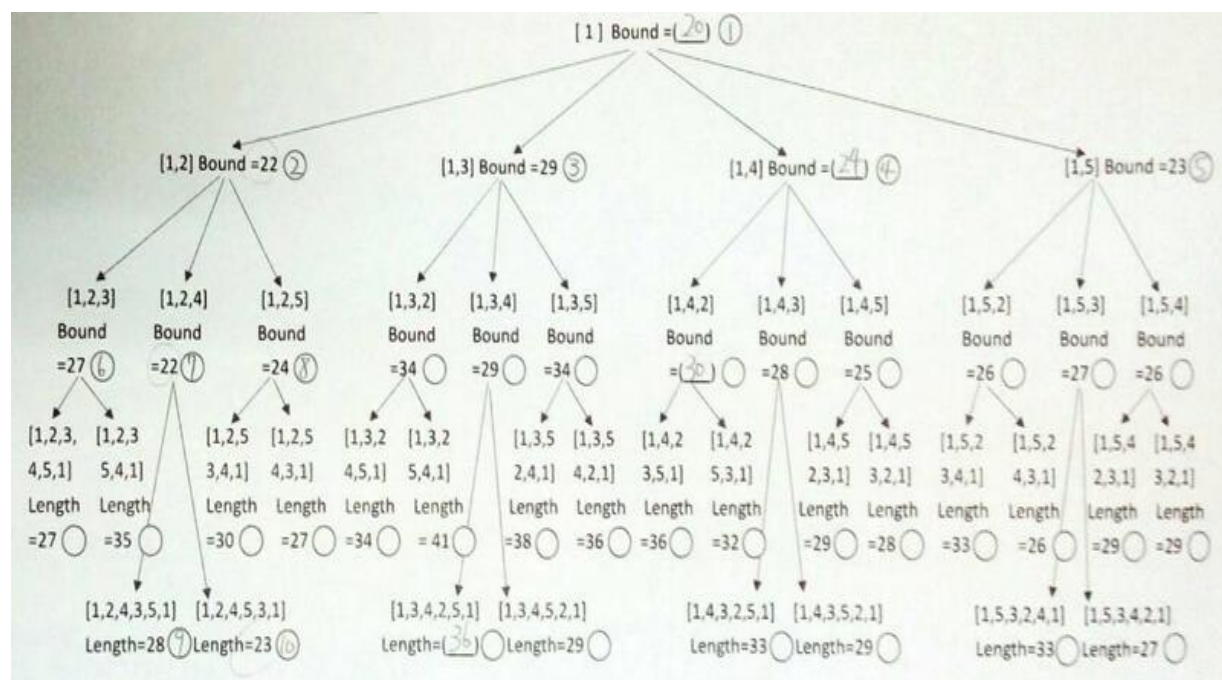


圖 12 銷售員旅行問題之搜尋樹作答範例

肆、實驗結果

本實驗之實驗對象分為實驗組與對照組，實驗組為 106、107 學年度的修課學生，對照組為 104、105 學年度的學生，二組的授課教師、教材、授課方式都是同樣的，唯一的差別只在於實驗組採雙層次鷹架式

測驗方式，而對照組採傳統的測驗方式。在同樣的演算法課程中，改變實驗組佛洛伊德、銷售員旅行兩個問題的測驗方式進行雙層次測驗實驗。第一階段以鷹架式建構分解並設計測驗卷，讓學生在測驗時，建構他的運算思維，不只是幫助學習，老師也可以快速發現學生的問題，並做出評估與相應的指導。第二階段不使用鷹架而是改用開放式作答，測驗學生能否不需引導而自行作答。在期中考與期末考時，則進行傳統的測驗方式，檢驗學生的學習成效。在對照組的演算法課程中，未使用鷹架式測驗或雙層次測驗，所有測驗均以傳統方式進行，為了進行二組之間的分析比較，未完整參加所有測驗的學生則不納入分析，人數總數分別為實驗組 132 人和對照組 99 人。

從表 2 中得知實驗組與對照組之間的顯著差異，可以看出兩次平時測驗以及期末考是有顯著的差異的，而期中考則是因為學生在考前剛第一次接觸鷹架式學習所以效果並沒有那麼快顯現，再從表 1、3、4 中可以發現比起傳統教學的對照組，以鷹架式學習的實驗組在程式與演算法的學習上有不錯的表現。學生在學習後更能增提升運算思維的能力，並提升學習效率與成效。

表 1 實驗組與對照組之學習成效對照

	對照組平均	實驗組平均
佛洛伊德最短路徑演算法平時測驗 (Floyd)	3.4	3.8
期中考	62.6	60.3
銷售員旅行問題平時測驗 (TSP)	2.9	4
期末考	65.6	73

表 2 實驗組與對照組之顯著差異

		平方和	自由度	均方	F	顯著性
Floyd	群組之間	4520.779	1	4520.779	5.500	0.020
	組內	188215.152	229	821.900		
	總計	192735.931	230			
期中	群組之間	296.428	1	296.428	1.008	0.316
	組內	67312.257	229	293.940		
	總計	67608.685	230			
TSP	群組之間	26805.339	1	26805.339	49.608	0.000
	組內	123738.384	229	540.342		
	總計	150543.723	230			
期末	群組之間	3095.084	1	3095.084	7.061	0.008
	組內	100375.031	229	438.319		
	總計	103470.116	230			

表 3 實驗組期中考之顯著性差異

	平方和	自由度	均方	F	顯著性
群組之間	10561.277	1	10561.277	30.156	0.000
組內	91758.352	262	350.223		
總計	102319.629	263			

表 4 對照組期中考之顯著性差異

	平方和	自由度	均方	F	顯著性
群組之間	434.901	1	434.901	1.123	0.291
組內	75928.937	196	387.393		
總計	76363.838	197			

伍、結論與未來建議

本研究發現鷹架式設計搭配雙層次測驗，對於學習演算法相當有幫助，在第一階段測驗中以鷹架式設計提供明確的引導，可以循序漸進地帶領學生計算，在測驗後教師也能透過測驗結果發現學生的問題，即時給予協助指正。此外，學生在第一階段測驗後，也可以由本階段得到滿分的學生去協助同儕，在學習金字塔中提到，教導別人是最好的學習方式，因為在教導別人的過程中，為了更有邏輯的去闡述，腦中會產生完整的邏輯計算過程，可以幫助自己更快的掌握這個題目的每一個細節，也可以發現自己無法解釋的部分，以釐清自己的問題，讓學得快的同學有更好成長與複習的空間。而有學習問題的同學，也可以藉由同儕一對一的指導，解答自己心中的疑惑，比起老師的統一講解更有效率，對往後的複習也更加容易。在這樣的學習方式下，有助於學生思考，以加深印象，對實務上的運用會有更好的表現。

綜合表 1、2、3 來看，透過施行雙層次鷹架式教學實驗組的進步較對照組來得顯著，若未來要進行這方面研究時，希望可以給予學生其它資源以提升學習效率。第一個是線上測驗的複習，在朱慧君、陳君銘、廖至仁中提到，行動遊戲學習搭配雙層次測驗，比起單純的遊戲關卡學習更有條理，且學生的學習動機明顯提高，即使有更多的關卡與題目，對這遊戲設計上與學習效益上，還有是有相當高的評價，包括有用性、易用性與投入性[34]。線上學習可讓學生在反覆測驗中加深對計算邏輯的印象，有助學生在鷹架抽離後，仍可以做更深一層的思考。第二個是可以搭配更多的實作並解決問題，PBL 基於問題學習，除了最開始計算測驗、將數學轉換成程式設計外，還可以針對各演算法提出不同的情況題型，讓學生了解這個演算法可以應用在解決哪些問題上。以校園地圖來舉例，佛洛伊德最短路徑演算法問題，以設計好的校園地圖，標記各個大樓與大樓之間的相對的距離，請學生計算各大樓間的最短路徑。銷售員旅行問題，同樣以校園地圖為題目，以送繳資料為背景，設計相關題型，計算全部地點走過後的最短路徑。當學生完成題目後還可以提供學生更多方面的思路，讓學生去思考這個演算法的應用，使學生會對演算法認識更深刻。

參考文獻

- [1] F. Haslam, & D. F. Treagust. (1987). Diagnosing secondary students' misconceptions of photosynthesis and respiration in plants using a two-tier multiple choice instrument. *J. Biol. Educ.*, 21(3), 203–211.
- [2] H. C. Chu, G. J. Hwang, & C. C. Tsai. (2010). A knowledge engineering approach to developing mindtools for context-aware ubiquitous learning. *Comput. Educ.*, 54(1), 289–297.
- [3] U. Maier, N. Wolf, & C. Randler. (2016). Effects of a computer-assisted formative assessment intervention based on multiple-tier diagnostic items and different feedback types. *Comput. Educ.*, 95, 85–98.
- [4] A. Mutlu, & B. A. Sesen. (2015). Development of a two-tier diagnostic test to assess undergraduates' understanding of some chemistry concepts. *Procedia. Soc. Behav. Sci.*, 174, 629–635.
- [5] I. Simonova. (2012, September). *Two-tier test: Means of fair and reliable evaluation*. 2012 15th International Conference on Interactive Collaborative Learning (ICL), Villach, Austria. doi: 10.1109/ICL.2012.6402029.
- [6] W. Siswaningsih, H. Firman, & A. Khoirunnisa. (2017). Development of two-tier diagnostic test pictorial-based for identifying high school students misconceptions on the mole concept. *J. Phys. Conf. Ser.*, 812(1), 012117.
- [7] C. C. Tsai, & C. Chou. (2002). Diagnosing students' alternative conceptions in science. *J. Comput. Assist. Learn.*, 18(2), 157–165.
- [8] T. C. Yang, G. J. Hwang, S. J. Yang, & G. H. Hwang. (2015). A two-tier test-based approach to improving students' computer-programming skills in a web-based learning environment. *Educ. Technol. Soc.*, 18(1), 198–210.
- [9] B. K. Bayrak. (2013). Using two-tier test to identify primary students' conceptual understanding and alternative conceptions in acid base. *Mevlana Int. J. Educ.*, 3(2), 19–26.

- [10] S. O. Adodo. (2013). Effects of two-tier multiple choice diagnostic assessment items on students' learning outcome in basic science technology (BST). *Acad. J. Interdiscip. Stud.*, 2(2), 201–210.
- [11] K. H. Yang, B. C. Lu, H. C. Chu, & J. Y. Chen. (2015). *Developing a game-based learning system with two-tier diagnostic tool for math courses*. 2015 IIAI 4th International Congress on Advanced Applied Informatics. Okayama, Japan.
- [12] H. C. Chu, & S. C. Chang. (2014). Developing an educational computer game for migratory bird identification based on a two-tier test approach. *Educ. Technol. Res. Dev.*, 62(2), 147–161.
- [13] Y. C. Lin, D. C. Yang, & M. N. Li. (2016). Diagnosing students' misconceptions in number sense via a web-based two-tier test. *Eurasia j. Math. Sci. Technol. Educ.*, 12(1), 41–55.
- [14] 楊子奇 (2014)。基於雙層式測驗之網路學習環境開發與效益分析 (博士論文)。中央大學，桃園。
- [15] A. Eryilmaz. (2010). Development and application of three-tier heat and temperature test: Sample of bachelor and graduate students. *Eurasian J. Educ. Res.(EJER)*, 40, 53–76.
- [16] U. Kanli. (2015). Using a two-tier test to analyse students' and teachers' alternative concepts in astronomy. *Sci. Educ. Int.*, 26(2), 148–165.
- [17] M. Kordaki. (2010). A drawing and multi-representational computer environment for beginners' learning of programming using C: Design and pilot formative evaluation. *Comput. Educ.*, 54(1), 69–87.
- [18] A. M. C. A. Oliveira, S. C. dos Santos, & V. C. Garcia. (2013, October). *PBL in teaching computing: An overview of the last 15 years*. 2013 IEEE Frontiers in Education Conference (FIE). Oklahoma City, OK, USA
- [19] G. J. Hwang, P. Panjaburee, W. Triampo, & B. Y. Shih. (2013). A group decision approach to developing concept–effect models for diagnosing student learning problems in mathematics. *Br. J. Educ. Technol.*, 44(3), 453–468.
- [20] H. Hassan, C. Domínguez, J. M. Martínez, A. Perles, J. V. Capella, & J. Albaladejo. (2014). A multidisciplinary PBL robot control project in automation and electronic engineering. *IEEE T. Educ.*, 58(3), 167–172.
- [21] X. Feng, P. Chen, Y. Liu, & Q. Song. (2016, September). *Using the mixed mode of flipped classroom and problem-based learning to promote college students' learning: An experimental study*. 2016 International Conference on Educational Innovation through Technology (EITT). Tainan, Taiwan.
- [22] F. A. Phang, K. M. Yusof, A. A. Aziz, N. D. Naw, & A. N. Musa. (2017, November). *Cooperative problem-based learning to develop 21st century skills among secondary school students through STEM education*. 2017 7th World Engineering Education Forum (WEEF). Kuala Lumpur, Malaysia
- [23] T. Y. Mikhailovich, & A. A. Yurievna. (2016, June). *Application of problem-based learning technology in technical education*. 2016 11th International Forum on Strategic Technology (IFOST). Novosibirsk, Russia
- [24] W. Hung. (2009). The 9-step problem design process for problem-based learning: Application of the 3C3R model. *Educ. Res. Rev.*, 4(2), 118–141.
- [25] A. A. Ravankar, S. Imai, M. Shimamura, G. Chiba, T. Takasuka, & Y. Yamanaka. (2016, July). *Nurturing problem-finding skills in graduate students through problem based learning approaches*. 2016 5th IIAI International Congress on Advanced Applied Informatics (IIAI-AAI). Kumamoto, Japan.
- [26] D. Wood, J. S. Bruner, & G. Ross. (1976). The role of tutoring in problem solving. *J. Child Psychol. Psychiat.*, 17(2), 89–100.
- [27] J. van de Pol, M. Volman, F. Oort, & J. Beishuizen. (2015). The effects of scaffolding in the classroom: support contingency and student independent working time in relation to student achievement, task effort and appreciation of support. *Instr. Sci.*, 43(5), 615–641.

- [28] S. A. Malik. (2017). Revisiting and re-representing scaffolding: The two gradient model. *Cogent Educ.*, 4(1), 1-13. DOI: 10.1080/2331186X.2017.1331533
- [29] I. Tabak. (2004). Synergy: A complement to emerging patterns of distributed scaffolding. *J. Learn. Sci.*, 13(3), 305–335.
- [30] 謝州恩 (2013)。鷹架理論的發展、類型、模式與對科學教學的啟示。《科學教育月刊》，364，2–16。
- [31] W. A. Sandoval. (2003). Conceptual and epistemic aspects of students' scientific explanations. *J. Learn. Sci.*, 12(1), 5–51.
- [32] S. Puntambekar, & J. L. Kolodner. (2005). Toward implementing distributed scaffolding: Helping students learn science from design. *J. Res. Sci. Teach.*, 42(2), 185–217.
- [33] I. Tabak, & B. J. Reiser. (1997). *Complementary roles of software-based scaffolding and teacher-student interactions in inquiry learning*. Proceedings of the 2nd International Conference on Computer Support for Collaborative Learning, CSCL '97, 289–298. Toronto, Ontario, Canada.
- [34] 朱慧君、陳君銘與廖至仁 (2017)。基於雙層次測驗為基礎之行動遊戲學習模式對學生學習動機與心流經驗的影響。《教育科技與學習》，5，59–82。