

教育部教學實踐研究計畫成果報告
Project Report for MOE Teaching Practice Research Program

計畫編號/Project Number：PED1123031

學門專案分類/Division：教育

計畫年度：☒112 年度一年期 ☐111 年度多年期

執行期間/Funding Period：2023.08.01 – 2024.07.31

**應用 Google Meet 於程式設計課程以減緩學生的認知負荷/
Applying Google Meet to reduce students' cognitive load in programming course
基礎程式設計/Basic Programming**

計畫主持人(Principal Investigator)：黃永銘

協同主持人(Co-Principal Investigator)：

執行機構及系所(Institution/Department/Program)：南臺科技大學多媒體與電腦娛樂科學系

成果報告公開日期：☒立即公開 ☐延後公開

繳交報告日期(Report Submission Date)：2024 年 7 月 28 日

應用 Google Meet 於程式設計課程以減緩學生的認知負荷

Applying Google Meet to reduce students' cognitive load in programming course

1. 本文

(1). 研究動機與目的

近年來，程式設計教育開始受到世界各國的重視，並投入大量資源培育相關人才。Sáez-López, Román-González, & Vázquez-Cano (2016)指出英國政府將程式設計教育列為中小學必修課程，並且英國教育部長也解釋關於程式設計教育對於學童發展運算思維的必要性。類似的，美國前總統歐巴馬曾公開鼓勵國民學習程式語言，並且他也親自示範撰寫程式碼，作為全體國民的表率(Mechaber, 2014)。另外，愛沙尼亞將程式設計與運算思維的相關課程納入國民教育之中，藉此發展國家的科技競爭力，而芬蘭也透過國家教育系統導入程式設計與運算思維所需要的教育設備(Sáez-López et al., 2016)。因此，我國教育部亦正視資訊科技為未來發展的趨勢，並於 107 學年度將程式設計教育納入國高中生的必修課程(蕭文康, 2016)，而在大專院校的部分，則是藉由推動高教深耕計畫，預期在未來五年內，讓全國過半數的大學生都有修過程式設計課程，增加他們未來的就業競爭力(許雯綾, 2021)。然而，不同於國高中以培養基礎知識為主的教育目標，大專院校對於程式設計課程的教育目標，則是培育出專業的程式設計人才，期望學生熟悉程式語言和邏輯，並具有解決問題的能力，可以處理複雜的需求。換言之，大專院校的學生在學習程式語言時，不僅要熟悉程式碼的用法，更要建立對程式的邏輯架構，具有一定的學習門檻。

由於學習程式設計具有一定的難度，其中大多程式設計課程的教師皆使用教學廣播系統進行授課，因為它可以讓學生看到教師操作畫面的過程。具體來說，程式語言是一門複雜的學科知識，其中它包含許多抽象的概念，如迴圈、遞迴、陣列等等語法，而大多學生在第一次碰到抽象的語法時，他們通常都不理解程式語法的意思和用法，降低他們對於學習程式的信心，甚至進一步認為學習程式是困難的(Kelleher & Pausch, 2005; Lau & Yuen, 2008)。因此，目前程式設計課程的教師，大多使用教學廣播系統進行授課，因為教師可以藉由系統輔助來分享自己的畫面給學生，讓學生看到教師操作的過程。然後，教師通過一邊實作程式碼一邊解釋它的意思，把他的思考歷程說明出來，讓學生更深入了解為什麼要這樣寫程式碼。Brown and Wilson (2018)指出教師在學生面前直接撰寫程式碼是最好的程式教學方式之一。換言之，這種教學方式的優勢在於，通過將撰寫程式作為一個過程來教學，藉由跟學生分享這個思考過程，加深學生對於學習程式的印象(Raj, Patel, Halverson, & Halverson, 2018)。綜合上述，目前大專院校的程式設計課程的教師皆使用教學廣播系統進行授課，並藉由一邊實作一邊解釋的教學方式，加深學生對程式設計的理解。

然而，教師使用教學廣播系統進行授課，會導致學生的認知負荷增加，影響他們學習程式的效率。根據主持人近十年的程式課教學經驗，主持人觀察到學生在學期初時，因為課程內容較簡單，所以他們可以靠著工作記憶把教師的操作和解釋過程，記起來並進行實作。但是，隨著課程內容越來越進階，教師的操作和解釋也越來越複雜，導致學生的工作記憶超出負荷，讓他們跟不上教師的進度，最終放棄學習程式設計。Sweller (2007)指出當教師傳遞的資訊量超出學生可以負擔的範圍時，他們的學習效能會受到影響，甚至產生無法學習的情況。然而，這當中的原因是，因為教師使用了不當的教學方式，導致學生不好消化教學內容，增加了他們的認知負荷。具體來說，教師通過教學廣播系統分享自己的畫面，並藉由一邊實作一邊解釋程式碼的意思，讓學生更了解它的概念。不過，這個教學過程是屬於單方面輸出的，

因為在教師操作畫面的過程中，學生是無法控制自己的畫面，所以他們必須靠著自身的記憶力，把教師操作和解釋的內容記下來，之後等到教師歸還畫面後再靠著記憶去實作。然而，在這種情況下，學習者經常打錯語法，導致程式出錯無法運行(Rogerson, & Scott, 2010)，使得他們的學習受挫，讓他們想放棄學習程式。

另一方面，Google Meet 被廣泛應用於線上教學中，但尚未有教學研究將 Google Meet 用於程式設計課程的教學現場。具體來說，教師在學生面前示範程式碼實作的過程，被認為是最好的程式設計教學方式之一(Brown, & Wilson, 2018)，因為教師將實作程式碼的過程當成一個教學，跟學生分享他思考的脈絡，藉此深化學生對於學習程式的印象(Raj, Patel, Halverson, & Halverson, 2018)。另外，根據主持人多年的教學經驗發現，程式設計課程還是以現場教學為最佳的學習方式，因為教師通過與學生面對面的交流，可以了解他們的程度，以及遇到的問題，並即時修正教學策略或解決問題，幫助他們順利學習程式設計。不過，目前教師大多使用教學廣播系統授課，其中學生在課程內容較為簡單時，他們還可以透過記憶力記下教師操作的過程，但隨著課程難度上升，教師的操作越來越複雜，同時學生需要記憶的內容也越多，導致他們無法即時消化教學內容，並逐漸跟不上教師的進度，最終放棄學習程式。因此，本計畫將 Google Meet 作為教學工具導入於程式設計課程中，其中本計畫將 Google Meet 視為一種教學鷹架，藉由它的輔助可以讓學生邊看邊做，即時消化教師的教學內容，減少認知負荷的增加，並把心力花在理解程式邏輯上。

綜合上述，本計畫之研究目的為導入「Google Meet」於「基礎程式設計課程」，讓學生可以邊看邊做，減少記憶教師操作的心力，並進一步調查 Google Meet 對於學生認知負荷之影響，如圖 1 所示。具體來說，教師使用教學廣播系統上課，學生不僅要理解程式邏輯的概念，同時也要記憶教師操作的流程，導致他們的認知負荷增加，降低了學習程式的效率。因此，本計畫將 Google Meet 導入電腦教室之程式設計課，使學生能夠一邊觀看教師操作的 Google Meet 畫面，然後在另一邊的畫面上自行實作程式碼，減少學生記憶教師操作流程的心力，讓他們可以專注精神在理解程式邏輯上。依據上述實驗的特性，本計畫設計了一個研究模型，其中知覺有用性(Google Meet)和教學方法作為自變數，而認知負荷(外在、增生)作為中介變數，學習成效和學習動機作為依變數，藉此檢驗它們之間的關係。最後，本計畫的具體貢獻是調查導入 Google Meet 於程式設計課程對學生認知負荷之影響，而本計畫的成果將可提供給相關領域教師參考，藉此激發程式設計教學於認知負荷之應用與發展。

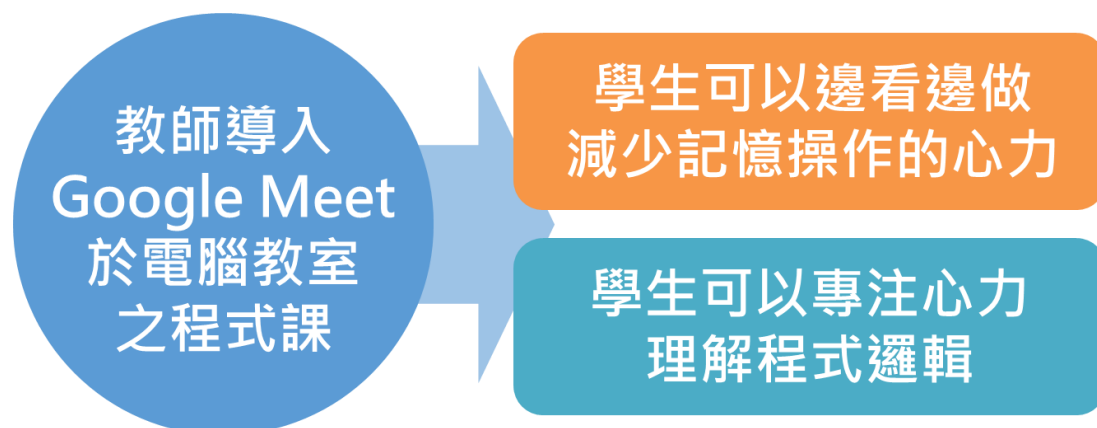


圖1. 研究目的

(2). 研究問題

本計畫調查導入 Google Meet 於電腦教室之程式設計課程中，對於學生的認知負荷、學習成效和學習動機之影響。其中本計畫列出下列兩項主要探討的研究問題。

- (1). Google Meet 導入電腦教室之程式設計課程對學生的認知負荷之影響
- (2). Google Meet 導入電腦教室之程式設計課程對學生的學業成效、學習動機之影響

(3). 文獻探討

A. 認知負荷

認知負荷理論嘗試解釋工作記憶的增減與教學設計的關聯性(Mutlu-Bayraktara, Cosgunb, & Altanc, 2019)。具體來說，認知負荷理論主張人類在處理新資訊時，其工作記憶的容量是有限的，並且資訊存在的時間很短（詹士宜，2012），然後這些暫存於工作記憶的資訊，有一定的機會儲存到長期記憶中(Anmarkrud, Andresen, & Bråten, 2019; Sweller, van Merriënboer, & Paas, 2019)。因此，教學設計的目的便是減少不必要暫存於工作記憶的資訊，藉此釋放更多的空間來學習重要資訊，使得這些資訊可以從工作記憶被存入長期記憶之中(Sweller, 2010; Sweller, Ayres, & Kalyuga, 2011)。然後，認知負荷理論指出，學習者在任何學習任務中，其工作記憶都有三種認知負荷，分別是內在認知負荷、外在認知負荷以及有效認知負荷(Paas & Sweller, 2014; Sweller et al., 2019)。內在認知負荷是指學習內容的難易度對工作記憶產生的負荷量，當學習者面對較複雜的內容時，他們必須付出更多成本來學習它；外在認知負荷是指學習內容的呈現方式對工作記憶產生的負荷量，當學習者面對內容呈現不佳的狀況，他們必須付出額外的成本來處理這些跟學習無關的資訊，降低他們的學習效能；增生認知負荷是指學習者面對適當的教材和策略時，對工作記憶所產生的負荷量，因為適合的教材或策略可以幫助他們專注於學習內容，以及基模建構的認知過程上，進而提升學習效能(Bannert, 2002; Sweller, 1998; Sweller, 2007; Sweller, 2010)。綜合上述，認知負荷理論探討教學設計對工作記憶的影響，嘗試優化教學帶來的認知負荷，藉此改善學習者的學習效能(Sweller, 1988; Sweller et al., 2019)。

認知負荷的超載經常發生於學習程式設計中，因為程式本身過於複雜，並且使用不當的教學方式，也會導致認知負荷增加(Stachel et al., 2013)。學習程式設計所帶來的認知負荷，可分為內在與外在的認知負荷進行說明。首先，內在認知負荷的部分，因為學習程式設計需要同時了解概念、語法和架構等知識(du Boulay, 1986)，因此學習難度非常高，導致學習者的內在認知負荷很高。其次，外在認知負荷的部分，由於教學者使用不適當的教學方式，導致學習者不好記憶教學內容，增加了外在的認知負荷。例如，大多程式設計課程的教師，都使用教學廣播系統進行授課，一邊實作一邊解釋程式碼的概念，讓學習者了解為什麼要這樣寫。但是，這個教學過程是單方面操作的，因為在教師操作畫面的期間，學習者是無法操控自己的畫面，所以他必須依靠工作記憶來記下教師實作與解釋程式碼的過程，並在教師歸還畫面後依靠記憶去實作。然而，這種情況下，學習者經常打錯語法，導致程式出錯無法運行(Rogerson, & Scott, 2010)。換言之，當教學內容的訊息量超過學習者的工作記憶負荷量時，他們的學習效能便會下降，甚至產生無效學習的情況(Sweller, 2007)。總的來說，學習程式設計是一件困難的事情，尤其在不當的教學方式下，學習者的工作記憶容易超載，並增加外在認知負荷，降低了他們的學習效率（卓曉園、詹士宜、楊智全，2014）。

雖然學習程式設計的難度是固定的，但教學者可以通過教學設計來控制學生的外在認知負荷(Harms, 2013)。具體來說，教學設計的目的便是將教學內容用最好懂的方式呈現給學習

者，並且盡可能保持原有的學習內容，讓學習者付出最少的成本，便能學習到完整的內容 (Abdul-Rahman, & Boulay, 2014)。Sweller (1998；2007；2010)根據認知負荷理論提出數種教學效應，可以有效減少外在認知負荷，分別是開放目標效應、示例效應、完成問題效應。第一，開放目標效應是指學習者運用策略來搜尋解決問題的辦法，其中教學者可以規劃一個開放式目標，讓學生運用自身經驗來思考如何解決問題，並在解決過程中將知識內化。第二，示例效應是指教學者示範完整的解題過程，引導學習者掌握學習內容的概念與實際用法，降低他們的學習成本。Schwonke, Renkl, Krieg, Wittwer, Aleven, & Salden (2009)指出學習者經過示例教學後，可以獲得較深層的理解，並且花費較少時間就能學習程式的技能與概念。第三，完成問題效應是指教學者示範一半的題目，留下另一半的問題，讓學習者嘗試解決問題，藉此使學習者對題目進行深入研究，增加對學習活動的參與感。另一方面，由於教學廣播系統的授課方式屬於單方面操作，容易導致學習者的工作記憶超出負荷，因此本計畫預計使用 Google Meet 取代它，讓學習者藉由直播軟體的特色，可以邊看邊做，減少外在認知負荷的增加。綜合上述，本計畫將運用**開放目標**、**示例**以及**完成問題**等教學效應來規劃程式設計課程，並使用 Google Meet 取代教學廣播系統，藉此改善學生的認知負荷。

B. 鷹架理論

鷹架是由 Wood, Bruner, & Ross (1976)所提出的一種輔助學習者學習的教學工具。最早，鷹架的概念是源自於 Vygotsky 的認知發展理論，其中他認為透過社會互動的過程，可以使兒童從低階的心智功能，如記憶力、注意力等等，發展成高階的心智功能，像是語言理解、問題解決等。然後，由低到高的發展過程，需要有教學者、大人或有能力的同儕，從旁分享自身的經驗和知識，讓兒童可以發展自己的知識觀，最後就算在脫離他人幫助的情況下，也能將外來的知識轉換成個人的內在經驗 (Vygotsky, 1962)。接著，Wood, Bruner, & Ross (1976)基於 Vygotsky (1962)的認知發展理論下，發展出了鷹架學習理論，他們主張由教學者、大人或有能力的同儕，提供一個暫時的學習支持，讓他們的能力可以突破現況，發展到更高的層次。舉例來說，教學者、大人或有能力的同儕，他們就像是建築物的鷹架一樣，通過一次次的搭建 (引導)，讓學習者可以順利完成學習，然後當他們有能力可以獨自解決問題時，教學者們就可以減少幫助，如同建築物可以支撐自己時，就可以把旁邊的鷹架移除一樣。換言之，鷹架被視為一種教學工具，用於輔助學習者完成他無法單獨完成的任務 (Wu, & Pedersen, 2011)。總的來說，鷹架是一種教學工具，它可以在教學活動中扮演橋樑的角色，讓教學者們協助學習者進行學習，並適時提供必要的幫助 (Gee, Michael, & O' Connor, 1992)。

然後，Puntambekar and Kolodner (2005)在原本的鷹架上提出了分佈式鷹架的概念，主張教學者可以通過更多面向的鷹架來給予學習者支持。具體來說，他們發現教室中的學習情境過於複雜，很難依靠單一鷹架的幫助，讓學習者獲得理想的學習效果，所以他們嘗試在研究中加入不同面向的鷹架，幫助學習者進行學習。接著，Tabak (2005)基於 Puntambekar and Kolodner (2005)的分佈式鷹架的概念，從中衍生出三種鷹架的模式，分別是分散的鷹架、重複的鷹架與協同的鷹架。分散的鷹架模式是指每一個目標，都對應一個鷹架的支持。這種模式是基於當前的目標過於複雜，所以單一鷹架無法有效幫助學習者，因此將目標區分成多個小目標，並使用對應的鷹架來解決問題。重複的鷹架模式是指在同一個目標下，學習者可以通過不同鷹架來學習或複習，藉此完成這項目標。這種模式對複雜的教室環境相當重要，因為學習者今天就算錯過這個鷹架，也可以從別的鷹架中進行學習。例如，Puntambekar and Kolodner (2005)通過不同的鷹架支持，如學習日記、班級討論的公布欄等，來協助學生完成目

標。協同的鷹架模式是指在同一個目標下，通過不同鷹架的互相影響、協同作業，來幫助學生完成這目標，其中有些鷹架並不是直接與目標相連，而是透過鷹架之間的影響來達成目標。例如，Tabak and Reiser (1997)將教師與電腦軟體作為鷹架整合在一起，讓兩者之間互相搭配，一同協助學生學習，來達成同一個目標。總的來說，上述鷹架的本質與過往相同，都是在提供學習上的支持，只是面對複雜的教室環境，教學者應該增加更多鷹架來幫助學習者解決問題。

基於上述文獻回顧，本計畫將應用協同的鷹架模式作為本次的教學策略，其中此鷹架由兩個部分組成，分別是教師授課與科技介入。首先，在教師授課的部分，本計畫將採用放聲思考法進行教學，教師通過一邊說明一邊實作，把思考歷程或操作步驟呈現出來，讓學習者了解教師是如何解決問題的。另外，Palincsar & Brown (1986)指出教師在實施放聲思考法前，應該先思考每個步驟要如何說明與實作，因為學生不一定能了解教師的意思，所以需要考慮如何說明學生才能夠了解。其次，在科技介入的部分，本計畫將使用教學廣播系統與直播軟體來協助授課。具體來說，林致瑋和林永順（2007）指出教師藉由多媒體的教學方式，比較能吸引學生的目光，因為學生在多媒體的環境下，不會認為自己被侷限在傳統的學習環境下，藉此強化他們的學習動機。然後，本計畫將教學廣播系統定義成是一種非同步式鷹架，其中它的授課方式是屬於單方面操作的，例如教師可以通過系統分享自己的畫面給學生，讓學生看到他操作的過程，但是在觀看的過程中，學生是無法操作畫面的，只能等教師歸還畫面後，學生在依靠記憶來操作畫面；Google Meet 則是一種同步式鷹架，其中它的授課方式屬於同步操作，例如教師同樣可以分享畫面給學生，讓學生看到他的操作過程，但是學生同時也可以進行操作，同步實作教師所操作的內容，讓他們不用在靠記憶來操作。綜合上述，本計畫的協同鷹架策略由教師授課和科技介入所組成，其中教師授課的鷹架將使用放聲思考法進行，而科技介入的鷹架則分別由教學廣播系統與 Google Meet 進行，藉此協助學生學習程式。

(4). 教學設計與規劃

A. 教學方法

本計畫預計導入 Google Meet 於基礎程式設計課程之中，並藉由教師授課與科技介入所組成的協同鷹架策略來降低學生的認知負荷，以下為各教學方法的敘述：

- 教師授課策略(修改自張明文、葉國良、何萬良、蔡逸舟、許福元、戴建耘，2022)：
 1. 示例教學：教師透過示範實作程式碼，讓學生了解程式碼的用法，並搭配口頭解說程式碼的意思，加深學生的印象。
 2. 隨堂練習(完成問題)：教師在每次課程的結尾，都會出一題隨堂練習，並且教師會先示範一題，然後請學生接著做隨堂練習，讓他們嘗試解決問題，加深他們對學習內容的印象。
 3. 成效檢視(開放目標)：教師在期中和期末作業時，會要求學生使用上課內容來製作一個小遊戲，並且需要上台報告，發表自己的作品，藉此使學生在解決問題的過程將知識內化。
- 科技介入策略：
 1. 雙螢幕+直播教學：教師安排每位學生使用雙螢幕進行學習，其中一個畫面顯示教師在 Google Meet 上的操作，另一個畫面則供學生自行操作。

B. 課程進度安排與教學場域

表 1 是本計畫規劃的 18 週課程大綱，其中本計畫透過教師授課與科技介入的搭配，藉此降低學生於基礎程式設計課程的外在認知負荷。

表1. 18 週課程安排

週次	上課內容	教學策略
1	Visual Studio 註冊與開發環境介紹	示例教學+隨堂練習
2	WinForm 物件介紹與操作	
3	宣告變數	
4	資料類型轉換	
5	If-else (1)	
6	If-else (2)	
7	for 迴圈(1)	
8	for 迴圈(2)	
9	期中作業—小遊戲報告(1)	成效檢視
10	期中作業—小遊戲報告(2)	
11	函式宣告與應用	示例教學+隨堂練習
12	二維陣列	
13	陣列排序	
14	資料儲存	
15	Sorting 方法	
16	資料流 reader 與 writer	
17	期末作業—2D 遊戲報告(1)	成效檢視
18	期末作業—2D 遊戲報告(2)	

本計畫的教學空間是一般電腦教室，其中教師座位配有一台電腦和廣播系統，而每位學生座位則有一台電腦，供學生上課和實作使用，如圖 2 所示。另外，由於電腦教室的螢幕較小，無法支援學生一邊觀看一邊操作，因此本計畫讓每位學生使用兩台螢幕，一台看 Google Meet 教學，一台跟著教師一起操作。



(a)教師座位



(b)學生座位

圖2. 電腦教室

C. 學習成效評估工具

本計畫的學習成效評估方式，分別有隨堂練習、期中作業、期末作業，以下為各作業之敘述：

- 隨堂練習：學生以個人方式練習基礎程式設計之相關語法和概念。
- 期中作業：學生以個人方式完成一款小遊戲製作，並需要上台分享成果。
- 期末作業：學生以個人方式完成一款 2D 遊戲製作，並需要上台分享成果。

(5). 研究設計與執行方法

A. 研究對象與場域

本計畫的研究對象來自南臺多樂系的學生，其中該科系有開設基礎程式設計課程，此課程會讓學生以 C# 程式語法來製作一款 2D 遊戲，因此本計畫選定此課程作為研究的場域。另一方面，此課程的學生為大學部一年級組成，修課人數平均約 50 人，因此本計畫的研究對象將以 50 名大一學生作為此次的研究對象。

B. 研究方法與工具

圖 3 是本計畫的研究模型，它是基於認知負荷理論發展而成，其中知覺有用性與教學方法作為外部因素，調查學生在接受協同式鷹架教學策略後，對於他們的學習成效和學習動機之影響。該研究模型包含十個假設，如下所示：

● 正相關 ● 負相關

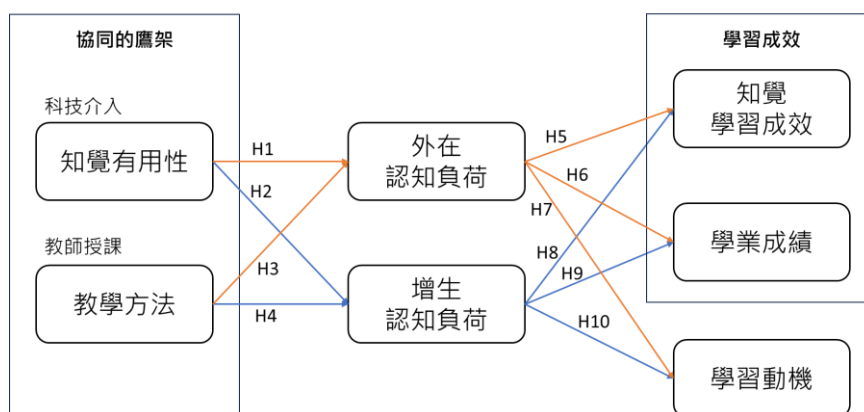


圖3. 研究模型

教師可以透過合理的教學設計來減少學生的外在認知負荷，讓學生釋放更多空間給增生認知負荷使用(Van Merriënboer, & Sweller, 2005)。具體來說，學生學習程式設計的認知負荷，可分為內在、外在和增生認知負荷等三個層面。首先，內在認知負荷是固定的，因為它取決於內容本身的學習難度，而程式是一門相當複雜的學科知識，所以學生學習時的內在認知負荷也很高(Boulay, 1986)。其次，外在和增生認知負荷是可改變的，因為它們取決於教師的教

學方式，教師可以藉由合適的教學方式，降低學生學習程式時的外在認知負荷，幫助他們釋放更多記憶空間，讓學生可以花更多心力專注於學習內容上，進而提升學生的學習成效(Bannert, 2002; Sweller, 1998; Sweller, 2007; Sweller, 2010; Sweller, Ayres, & Kalyuga, 2011)。換言之，當學習任務超過工作記憶的容量時，學習就會受到阻礙(De Jong, 2010)，因此教師應致力於降低學生的外在認知負荷，讓學生可以投入更多心力在學習上。另一方面，鷹架被視為一種教學工具，用於輔助學生完成他無法獨立完成的學習任務(Wu, & Pedersen, 2011)。例如，Tabak and Reiser (1997)將教師授課與電腦軟體作為鷹架，讓兩者之間互相搭配，一同協助學生學習，達成同一個目標。換言之，這種協同的鷹架策略是通過鷹架之間的互相影響、協同作業，來協助學生完成學習任務(Tabak, 2005)。因此，本計畫將由教師授課與科技介入(Google Meet)所組成的協同鷹架策略，來改善學生學習程式的認知負荷。因此，根據上述文獻的基礎下，提出四項假設如下：

- H1.** 知覺有用性負向地影響外在認知負荷
- H2.** 知覺有用性正向地影響增生認知負荷
- H3.** 教學方法負向地影響外在認知負荷
- H4.** 教學方法正向地影響增生認知負荷

外在認知負荷與增生認知負荷是影響學生的知覺學習成效、學業成績與學習動機的關鍵因素(Huang, 2021; Pack, Choi, & Kim, 2023; Evans et al., 2024)。具體來說，每個人的工作記憶空間都是有限的(Baddeley, 2012; Cowan, 2010)，當要處理的資訊超出空間的容量時，學習就不可能發生(Evans et al., 2024)。舉例來說，Chen and Huang (2020)指出學生在完成學習活動和任務時感到越困難，他們在課程上的表現就會越差。類似的，Huang (2021)指出如果學生對教師實施的教學方法產生較大的認知負荷，他們的學習動機、學習態度和學習滿意度也會受到影響。換言之，內在認知負荷的容量是固定的，而剩下的容量則由外在和增生認知負荷進行分配。例如，如果學生在上課過程中吸收太多不相關和不必要的資訊，那麼他處理重要資訊的空間容量就會減少(Pack, Choi, & Kim, 2023)。反之，如果學生在上課過程中只吸收有用的資訊，那麼他可用於處理重要資訊的容量就會大幅增加。由此可知，教師可以在課堂上實施適合的教學策略，幫助學生減少吸收不必要的資訊，讓他們可以專心消化重要的資訊，進而促進學生的學習動機、學習態度和學習滿意度(Huang, 2021)。因此，根據上述文獻的基礎下，提出六項假設如下：

- H5.** 外在認知負荷負向地影響知覺學習成效
- H6.** 外在認知負荷負向地影響學業成績
- H7.** 外在認知負荷負向地影響學習動機
- H8.** 增生認知負荷正向地影響知覺學習成效
- H9.** 增生認知負荷正向地影響學業成績
- H10.** 增生認知負荷正向地影響學習動機

圖 4 是本計畫採用的直播軟體是 Google Meet，其中它是由 Google 所推出的影片通信服務。具體來說，在疫情的影響下，遠距教學工具開始受到重視，而 Google Meet 也是其中之一，因此 Google 在 2020 年 4 月將其轉為免費服務，開放給有需要的社會大眾使用。另一方面，Google Meet 的參加人數上限最多達 100 人，時間長達 60 分鐘，並且提供文字對話、錄影和白板等功能，滿足一般教師上課的需求。



圖4. Google Meet

C. 實驗流程

本計畫規劃九週的實驗流程，並於第九週發放問卷。具體來說，計畫主持人在課程開始前，會向學生說明實驗目的和流程，讓學生對接下來的實驗有基本了解，以利後續實驗進行。另外，主持人從第一週開始，就讓學生使用雙螢幕/平台/視窗進行上課，一台看 Google Meet 教學，一台跟著教師一起操作。最後，主持人在第九週發放實驗問卷，並請學生填寫，藉此調查學生使用 Google Meet 是否能夠對他們的外在和增生認知負荷產生影響。

(6). 教學暨研究成果

A. 研究成果

本計畫的研究對象為南臺科技大學多媒體與電腦娛樂科學系的修課學生，課程名稱為「物基礎程式設計」。表 2 是本計畫的受測者的人口統計特徵，其中本計畫一共有 41 位受測者，分別有 23 位男性和 18 位女性。具體來說，全部受測者在本次實驗前，都有使用過 Google Meet 的經驗，並且絕大多受測者都有使用 Google Meet 進行上課的經驗(97.56%)，只有極少數的受測者沒有使用 Google Meet 進行上課 (2.44%)。最後，大部分受測者的學業成績為 100~80 分(46.34%)以及 79~70 分(31.71%)，其餘則是 69~60 分(14.63%)、59~50 分(2.44%)、49~1 分(4.88%)。

表2. 受測者的人口統計特徵

項目	類別	數量	%
性別	男	23	56.1
	女	18	43.9
在本次實驗前，你是否曾使用過 Google Meet ?	是	41	100
	否	0	0
你是否曾使用 Google Meet 進行上課？	是	40	97.56
	否	1	2.44
學生學業成績	100~80	19	46.34
	79~70	13	31.71
	69~60	6	14.63
	59~50	1	2.44
	49~1	2	4.88

本計畫藉由因素負荷量、測量信度、收斂效度與區別效度來檢驗評估研究模型。首先，

每個構面的題項因素負荷量的值須大於 0.60 才能代表此問項具備良好的可靠性(Hair, Ringle & Sarstedt, 2011)。然後，信度分析通常使用 Cronbach's α 與組合信度(Composite Reliability, CR)進行評估，Cronbach's α 其數值應大於 0.6，組合信度其數值則應大於 0.7(Hair, Black & Babin, 2006)。收斂效度的部分，本研究則是藉由平均變異萃取量(Average variance extracted, AVE)進行檢驗，Bagozzi and Yi (1988)認為題項若要具備可接受性，其 AVE 數值須大於 0.5。最後，區別效度的衡量，Fornell and Larcker (1981)則是指出構面兩者之間的相關係數須小於任一構面的 AVE 之平方根。綜上所述，表 3、表 4 的數值皆有符合上述的標準值，因此本研究的研究量表具備可靠度與可信度。

表3. 測量模型的項目負荷量

構面	Items	Loading	Cronbach's α	CR	AVE
知覺有用性	PU01	0.856	0.961	0.973	0.866
	PU02	0.945			
	PU03	0.762			
	PU04	0.708			
	PU05	0.877			
教學方法	TM01	0.895	0.926	0.944	0.772
	TM02	0.884			
	TM03	0.859			
	TM04	0.924			
	TM05	0.828			
外在認知負荷	EC01	0.880	0.878	0.900	0.737
	EC02	0.890			
	EC04	0.709			
	EC05	0.937			
	GCL01	0.936			
增生認知負荷	GCL02	0.871	0.959	0.960	0.860
	GCL03	0.949			
	GCL04	0.954			
	GCL05	0.924			
	PLE01	0.856			
知覺學習成效	PLE02	0.945	0.888	0.907	0.695
	PLE03	0.762			
	PLE04	0.708			
	PLE05	0.877			
	TV01	0.714			
學習動機	TV02	0.871	0.909	0.908	0.738
	TV03	0.893			
	TV04	0.901			
	TV05	0.903			
	AP01	1.000			
學業成績			1.000	1.000	1.000

表4. 測量模型的區別效度

	AP	EC	GCL	PLE	PU	TM	TV
AP	1.000						
EC	-0.186	0.858					
GCL	0.405	-0.558	0.927				
PLE	0.344	-0.715	0.717	0.834			
PU	0.055	-0.303	0.624	0.298	0.930		
TM	0.292	-0.525	0.474	0.536	0.556	0.879	
TV	0.417	-0.690	0.656	0.731	0.302	0.714	0.859

本計畫利用結構模型並依據 R^2 值及路徑係數來檢驗研究假說(Chin, & Newsted, 1999)。 R^2 為解釋力，表示使用自變項來預測依變項時的關聯程度，其中它可以用於判斷模型的解釋能力。路徑係數為標準化迴歸係數，表示自變項與依變項之間關係的強度，其中它可用於檢驗模型路徑的顯著性。圖 5 是結構模型的結果，其中外在認知負荷的解釋力佔 27%、增生認知負荷佔 41%、知覺學習成效佔 65%、學業成績佔 16%、學習動機佔 58%。圖 5 顯示本計畫提出的十個假說的路徑係數及顯著性，其中有七項假說成立，而其餘三項不成立。

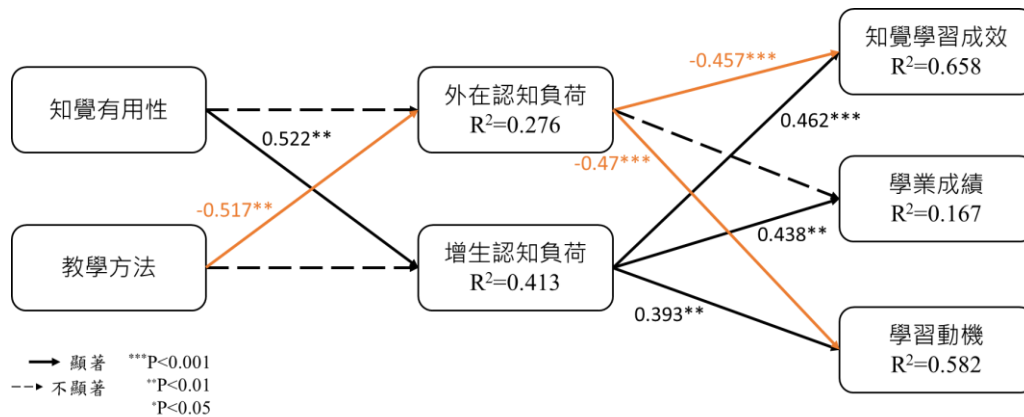


圖5. 路徑分析圖

表 5 是本模型的變項影響分析表，其中此表總結構面間的直接、間接及總體影響，而它可以用於協助本計畫探討知覺學習成效、學業成績與學習動機之影響因素。由表 5 的結果可得知，教學方法是影響外在認知負荷的決定因素，而外在認知負荷則是影響知覺學習成效和學習動機的主要因素；知覺有用性是影響增生認知負荷的決定因素，而增生認知負荷則是影響學業成績和知覺學習成效的主要因素。

表5. 變項影響分析表

依變項	自變項	直接影響	間接影響	總影響
學業成績	EC	0.059		0.059
	GLC	0.438		0.438
	PU		0.228	0.228
	TM		0.050	0.050
知覺學習成效	EC	-0.457		-0.457
	GLC	0.462		0.462

學習動機	PU	0.248	0.248
	TM	0.321	0.321
	EC	-0.470	-0.470
	GLC	0.393	0.393
知覺有用性	PU	0.212	0.212
	TM	0.316	0.316
	EC	-0.015	-0.015
	GLC	0.522	0.522
教學方法	EC	-0.517	-0.517
	GLC	0.184	0.184

B. 教學過程與成果

圖 6 是本計畫的教學成果，其中圖 6(a)(b)是學生所製作的三消遊戲，其中玩家需要消除同類型的魚種，以獲得最高的分數。圖 6 (c)(d)是學生所製作的 2D 互動遊戲，玩家在遊戲中扮演一位少女，其中玩家要在房間中尋找線索，以解開謎團，離開房間。



(a)三消遊戲：主選單



(b)三消遊戲：消除魚兒



(c)2D 互動遊戲：主選單



(d) 2D 互動遊戲：物件互動

圖6. 教學成果

圖 7 是計畫主持人指導部分修課學生參與課外活動，其中活動包含校外參展與專題展覽。圖 7(a)(b)是學生到校外參展的畫面，主持人積極鼓勵優秀同學到校外參展，跟外面的玩家、專家等吸取經驗，提升自身專業能力。圖 7(c)(d)是計畫主持人的實驗室成果展的畫面，其中主持人於學期末時舉辦成果展，並邀請修課學生參與本次展覽，跟校內同學、校外專家進行交流。然後，此展覽約有 100 人累積參加，並邀請 2 間業界公司的專家出席，給予學生開發上的建議，進而促成業界與學界之間的交流。



(a)校外參展 1



(b)校外參展 2



(c)成果展 1



(d)成果展 2

圖7. 計畫主持人指導部分學生參與課外活動

C. 教師教學反思

本計畫依據圖 5 的路徑分析結果提出三個研究發現，以下逐一說明。第一個發現，知覺有用性對增生認知負荷有顯著的正向影響，這個發現與過去的結果相符(Cheng, Lu, & Yang, 2015; Miller, Stenmark, & Ittersum, 2020)。Cheng, Lu and Yang (2015)指出多螢幕教學可以降低學生的認知負荷，強化他們的學習成效。然後，Miller, Stenmark and Ittersum (2020)指出雙螢幕顯示比單螢幕顯示減少了更多外在認知負荷，並增加了增生認知負荷的容量。類似的，Russell and Wong (2005)調查 17 位大學圖書館員工，從單螢幕顯示切換到雙螢幕顯示後的感受，結果發現員工認為自己的工作效率有提升，因為雙螢幕顯示減少了他們思考中斷的情況。由此可知，雙螢幕教學比單螢幕更能降低學生的認知負荷，因為它減少學生在查找資料和實際操作的反覆切換(Liu, 2016)。因此，主持人在程式設計課堂上實施雙螢幕/平台/視窗教學，一個畫面用 google meet 直播教師教學的畫面，另一個畫面讓學生跟著一起操作，讓學生可以邊看邊做，對他們集中精神學習程式設計是有幫助。然後，基於上面的發現，本計畫想延伸討論一個出乎意外的結果，就是教學方法對增生認知負荷沒有顯著影響。依據主持人多年的教學經驗推測，這有可能是使用雙螢幕/平台/視窗教學帶來的負面影響，其中雙螢幕/平台/視窗教學的優點在於學生可以邊看邊做，不中斷學習的狀態，但從另一個角度來看，學生一邊看著教師的程式碼，另一邊則把程式碼打上，雖然可以即時的打上教師的程式碼，但學生卻缺少了停下來思考程式碼意義的機會。換言之，因為學生跟著教師的指示走，所以他本身不需要思考，自然也不用對學習程式設計有多投入。

第二個發現，教學方法比知覺有用性顯著負向影響外在認知負荷，這個發現與過去的結果不符(Ibili, & Billinghamurst, 2019; Liu, Wang, Koszalka, & Wan, 2022)。具體來說，數位工具可以幫助教師設計更好的教學內容，減少學生在學習過程中產生的認知負荷(Alasraj, Freeman, & Chandler, 2011)。舉例來說，Lee and Wong (2014)指出 AR/VR 具有的環境互動性，可以讓學生

保持一個積極的態度，使他們投入在學習之中，減少認知負荷的產生。換言之，在數位工具的支持下，教師的教學方法可以有更多呈現的方式，而且學生也有更多選擇來展示他們的作業(Li, 2016)。因此，從過往的文獻來看，教學方法與知覺有用性皆是影響學生外在認知負荷的重要因素。然而，本計畫與過往研究存在差異性，例如本計畫個別檢視教學方法與知覺有用性對學生外在認知負荷的影響。具體來說，知覺有用性是檢視 google meet 這項工具對外在認知負荷的影響，而教學方法則是檢視教師把 google meet 融入教學中對外在認知負荷的影響。然後，從表 5 來看，教學方法與知覺有用性皆有直接影響學生的外在認知負荷，但這兩者在影響力方面有巨大的差距，其中教學方法比知覺有用性具有更強的影響。這表示在程式設計的背景下，google meet 單作為一種工具，對學生外在認知負荷產生的影響是很小的，因為 google meet 本身無法提供內容給學生，很難對學生學習程式設計有任何實質上的幫助。另一方面，教學方法對學生外在認知負荷產生很大的影響，其中多位學者指出只要教師使用合適的教學方法，學生的學習情況就能被改善(Li, 2016; Huang, 2021; Evans et al., 2024)。換言之，google meet 本身無法顯著影響學生的外在認知負荷，但若把 google meet 與教學方法結合，就能夠顯著負向影響學生的外在認知負荷，減緩學生在學習程式設計的壓力。

第三個發現，認知負荷對知覺學習成效、學業成績、學習動機有顯著影響，這個發現與過去的結果相符(Chen, & Huang, 2020; Evans et al., 2024)。具體來說，學生學習程式設計的認知負荷，可分為內在、外在和增生認知負荷等三個層面。第一，內在認知負荷是學生在學習程式時所感受到的困難程度(Boulay, 1986)；第二，外在認知負荷是學生在學習程式時所感受到的干擾程度；第三，增生認知負荷是學生在學習程式時所感受到的投入程度。Evans et al. (2024)指出每個人的認知負荷容量是有上限的，超過了上限，學生的學習效率就會明顯下降。然後，內在認知負荷佔的空間是固定的，而外在與增生認知負荷佔的空間是可變動的。因此，大多學者為了控制認知負荷對學生學習的影響，都選擇從外在與增生認知負荷下手(Sweller, 2007; Sweller, 2010; Sweller, Ayres, & Kalyuga, 2011)。例如，Liu, Wang, Koszalka and Wan (2022)將 IVR(沉浸式虛擬實境)技術融入於國小的科學教育課程中，讓學生親自進到虛擬世界去體驗科學現象，減少學習的干擾，從而提升學生的知識和動機。類似的，Ibili and Billingham (2019)指出教師在 AR 的教學中，可以導入自然的互動按鈕來減少學生的外在認知負荷，讓學生在課堂上保持一個積極的態度。由此可知，控制學生的外在與增生認知負荷，可以對他們學習程式設計產生很大的影響，而這項結果也在本次研究中被證實，其中外在與增生認知負荷對知覺學習成效、學業成績、學習動機皆有顯著性影響，不管是正向或負向的影響，如圖 5 所示。換言之，教師可以通過降低學習上的干擾，強化學生對學習的投入，進而提升學生的學習動機和學習成效。另外，本計畫揭露一個預期外的結果，便是外在認知負荷對學業成績沒有顯著影響。Evans et al. (2024)指出學生受到外在認知負荷的影響後，會降低他學習的信心，但這不一定會影響到他實際的表現。主持人也認同這個觀點，因為有些學生可以自行排解這些學習干擾，獲得很好的成績，但有些學生卻不行，因此學生的外在認知負荷不一定會影響學業成績。

D. 學生學習回饋

本計畫的學生學習回饋可分為兩個部分說明，分別是「課程回饋」與「實驗回饋」。首先，在課程回饋的部分，表 6 是主持人於 112 學年度上學期的基礎程式設計的課程問卷分數，其分數為 4.5438。由此可知，主持人在教學上十分用心，致力提供更好的教學品質，進而獲得學生們的肯定。

表6.112 學年度學生期末課程問卷

學期	課程名稱	開課班級	問卷分數	修課人數
112 學年(上)	基礎程式設計	四技多樂一甲	4.5438	43

然後，在實驗回饋的部分，大部分的學生都認為雙螢幕教學有幫助他們學習程式，例如：「不用再等老師切螢幕，可以跟著老師邊做邊學邊理解」、「我覺得用 google meet 上課可以隨時切換畫面有助於我了解自己的程式碼跟老師的差在哪裡」等。另外，學生也認為教師的教學方法淺顯易懂，十分好理解程式，例如：「老師上課時，舉出的例子讓人十分容易理解程式」、「老師上課方式淺顯易懂，讓我學到許多相關技能」、「喜歡期中期末能自由發揮」等。

(7). 建議與省思

本計畫依據研究結果提出下列兩項結論，提供程式設計和雙螢幕教學等相關教育者，作為未來研究實施的參考。

第一，在程式設計課程的背景下，實施雙螢幕/平台/視窗教學的優勢與劣勢。具體來說，本計畫在課堂上實施雙螢幕/平台/視窗教學，一個畫面用 google meet 直播教師教學的畫面，另一個畫面讓學生跟著一起操作，讓學生可以邊看邊做，學習程式設計的知識。雖然結果證實雙螢幕教學是有影響力的，但本計畫開始反思這個結果帶來的負向影響，也就是這種教學方法是否有給學生投入學習程式的時間。因為從另一個角度來看，學生一邊看著教師的程式碼，另一邊則把程式碼打上，雖然可以即時的打上教師的程式碼，但學生卻缺少了停下來思考程式碼意義的機會。因此，建議未來相關研究者，可以針對雙螢幕/平台/視窗教學的負向影響進行更多探討，以解決這項問題。

第二，google meet 單作為工具無法顯著負向影響外在認知負荷。具體來說，google meet 本身只是一項工具，它無法提供內容給學生，所以很難對學生學習程式設計有任何實質上的幫助，因此它無法顯著負向影響學生的外在認知負荷。反之，若把 google meet 與教學方法結合，就能夠顯著負向影響學生的外在認知負荷，減少學生在學習程式設計所感受到的干擾，而這個結果也在本次計畫中被證實。

2. 參考文獻

中文文獻

卓曉園、詹士宜、楊智全（2014）。認知負荷理論之外在認知負荷影響學習障礙學生有效學習之初探。《中華民國特殊教育學會年刊》。

林致瑋、林永順（2007）。鷹架理論對技術教學的省思——以機械實習為例。《中華民國品質學會第43屆年會暨第13屆全國品質管理研討會》。

張明文、葉國良、何萬良、蔡逸舟、許福元、戴建耘（2022）。運用放聲思考法提升非資訊領域學生程式設計跨域思維與實作學習遷移成效之探討。《台灣教育研究期刊》，2022，3(4)，219-244。

許雯綽（2021）。導入翻轉學習與適性教學在程式設計課程之實現與初探。《工業科技教育學刊》，14，163-179。

蕭文康（2016）。【總統緊張片】小英 PK 小朋友 寫程式玩遊戲。《蘋果日報》。取自 https://tw.finance.appledaily.com/realtime/20161130/1000779/papersec_right。

英文文獻

- Alasraj, A., Freeman, M., & Chandler, P. (2011). *Considering cognitive load theory within e-learning environments. In Proceedings of Pacific Asia Conference on Information Systems (PACIS)* (pp. 1-13). Queensland: Queensland University of Technology.
- Anmarkrud, Ø., Andresen, A., & Bråten, I. (2019). Cognitive load and working memory in multimedia learning: Conceptual and measurement issues. *Educational Psychologist*, 1, 23.
- Baddeley, A. D. (2012). Working memory: Theories, models, and controversies. *Annual Review of Psychology*, 63, 1-29.
- Bannert, M. (2002). Managing cognitive load—recent trends in cognitive load theory. *Learning and Instruction*, 12, 139-146.
- Brown, N, CC., & Wilson, G. (2018). Ten quick tips for teaching programming. *PLoS Comput Biol*, 14(4), e1006023.
- Chen, C. C., & Huang, P. H. (2020). The effects of STEAM-based mobile learning on learning achievement and cognitive load. *Interactive Learning Environments*, 31(1), 100-116.
- Cheng, T. S., Lu, Y. C., & Yang, C. S (2015). Using the Multi-Display Teaching System to Lower Cognitive Load. *Journal of Educational Technology & Society*, 18(4), 128-140.
- Chin, W. W., & Newsted, P. R. (1999). *Structural equation modeling analysis with small samples using partial least squares*. In R. Hoyle (Ed.), *Statistical strategies for small sample research* (pp. 307-341). California: Sage Publications.
- Cierniak, G., Scheiter, K., & Gerjets, P. (2009). Explaining the split-attention effect: Is the reduction of extraneous cognitive load accompanied by an increase in germane cognitive load?. *Computers in Human Behaviour*, 25, 315-324.
- Cowan, N. (2010). The magical mystery four: How is working memory capacity limited, and why?. *Curr Dir Psychol Sci*, 19(1), 51-57.
- De Jong, T. (2010). Cognitive load theory, educational research, and instructional design: Some food for thought. *Instructional Science*, 38(2), 105-134.
- du Boulay, B. (1986). Some difficulties of learning to program. *Journal of Educational Computing Research*, 2, 57-73.
- Evans, P., Vansteenkiste, M., Parker, P. Smith, A, K., & Zhou, S. (2024). Cognitive Load Theory and Its Relationships with Motivation: a Self-Determination Theory Perspective. *Educ Psychol Rev* 36, 7.
- Feldon, D. F., Callan, G., Juth, S., & Jeong, S. (2019). Cognitive load as motivational cost. *Educational Psychology Review*, 31(2), 319-337.
- Gee, J. P., Michaels, S., & O' Conner, M. C. (1992). Discourse analysis. In M. D. Lecompte, W. L. Millroy, & J. Preissle(Eds.). *The handbook of qualitative research in education* (pp.227-291). New York: Academic Press.
- Glynn, S. M., Aultman, L. P., & Owens, A. M. (2005). Motivation to learn in general education programs. *The Journal of General Education*, 54(2), 150-170.
- Harms, K, J. (2013). *Applying Cognitive Load Theory to Generate Effective Programming Tutorials*.

2013 IEEE Symposium on Visual Languages and Human Centric Computing, San Jose, CA, USA.

- Huang, C., H. (2021). *The Influence of Self-Efficacy, Perceived Usefulness, Perceived Ease of Use, and Cognitive Load on Students' Learning Motivation, Learning Attitude, and Learning Satisfaction in Blended Learning Methods*. In Proceedings of the 2020 3rd International Conference on Education Technology Management (ICETM '20). New York, NY, USA.
- Ibili, E., & Billingham, M. (2019). Assessing the Relationship between Cognitive Load and the Usability of a Mobile Augmented Reality Tutorial System: A Study of Gender Effects. *International Journal of Assessment Tools in Education*, 6(3), 378-395.
- Klepsch, M., Schmitz, F., & Seufert, T. (2017). Development and validation of two instruments measuring intrinsic, extraneous, and germane cognitive load. *Frontiers in Psychology*, 8.
- Lee, E. A. L., & Wong, K. W. (2014). Learning with desktop virtual reality: Low spatial ability learners are more positively affected. *Computers & Education*, 79, 49-58.
- Li, X. (2016). Application of Cognitive Load Theory in Programming Teaching. *Journal of Higher Education Theory and Practice*, 16(6), 57.
- Liu, R., Wang, L., Koszalka, T. A., & Wan, K. (2022). Effects of immersive virtual reality classrooms on students' academic achievement, motivation and cognitive load in science lessons. *Journal of Computer Assisted Learning*, 38(5), 1422-1433.
- Mechaber, E. (2014, December 10). President Obama is the first president to write a line of code. *The White House Blog*. Retrieved March 29, 2018 from <https://obamawhitehouse.archives.gov/blog/2014/12/10/president-obama-first-president-write-line-code>.
- Miller, R. A., Stenmark, C. K., & Ittersum, K. van. (2020). Dual computer displays reduce extraneous cognitive load. *Journal of Computer Assisted Learning*, 36(6), 890–897.
- Paas, F., & Sweller, J. (2014). Implications of cognitive load theory. *The cambridge handbook of multimedia learning* (pp. 27-43). (2nd ed.). New York, NY: Cambridge University Press.
- Pack, Y.H., Choi, N.Y. & Kim, B. (2023). *Impact of cognitive load and working memory on preschoolers' learning effectiveness*. Asia Pacific Educ. Rev.
- Palincsar, A. S., & Brown. (1986). Metacognitive strategy instruction. *Exceptional Children*, 53(2), 118-124.
- Puntambekar, S., & Hubscher, R. (2005). Scaffolding in complex learning environments: What we have gained and what we have missed. *Educational Psychologist*.
- Raj, A, G, S., Patel, J, M., Halverson, R., & Halverson, E, R. (2018). *Role of live-coding in learning introductory programming*. In Proceedings of the 18th Koli Calling International Conference on Computing Education Research, pages 1-8.
- Rogerson, C., & Scott, E. (2010). The fear factor: How it affects students learning to program in a tertiary environment. *Journal of Information Technology Education*, 9, 147-171.
- Russell, S. E., & Wong, K. (2005). Dual-screen monitors: A qualitative analysis of their use in an academic library. *The Journal of Academic Librarianship*, 31, 574-577.
- Sáez-López, J. M., Román-González, M., & Vázquez-Cano, E. (2016). Visual programming

- languages integrated across the curriculum in elementary school: A two year case study using “Scratch” in five schools. *Computers & Education*, 97, 129-141.
- Schwonke, R., Renkl, A., Krieg, C., Wittwer, J., Alevi, V., & Salden, R. (2009). The worked-example effect: Not an artefact of lousy control conditions. *Computers in Human Behavior*, 25(2), 258-266.
- Stachel, J., Marghitu, D., Brahima, T. B., Sims, R., Reynolds, L., & Czelusniak, V. (2013). Managing Cognitive Load in Introductory Programming Courses: A Cognitive Aware Scaffolding Tool. *Journal of Integrated Design and Process Science*, 17(1), 37-54.
- Sweller, J. (1988). Cognitive Load During Problem Solving: Effects on Learning. *Cognitive Science*, 12, 257-285.
- Sweller, J. (2010). Element interactivity and intrinsic, extraneous, and germane cognitive load. *Educational Psychology Review*, 22(2), 123–138.
- Sweller, J., Ayres, P., & Kalyuga, S. (2011). *Cognitive load theory*. Retrieved from <http://link.springer.com/10.1007/978-1-4419-8126-4>.
- Sweller, J., van Merriënboer, J. J. G., & Paas, F. (2019). Cognitive architecture and instructional design: 20 Years later. *Educational Psychology Review*. <https://doi.org/10.1007/s10648-019-09465-5>.
- Tabak, I. (2005). Synergy: A complement to emerging patterns of distributed scaffolding. *Journal of the Learning Sciences*, 13(3), 305-335.
- Tabak, I., & Reiser, B. J. (1997). *Complementary roles of software-based scaffolding and teacher–student interactions in inquiry learning*. The Second International Conference on Computer Support for Collaborative Learning, 289-298. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, Inc.
- Van Merriënboer, J. J., & Sweller, J. (2005). Cognitive load theory and complex learning: Recent developments and future directions. *Educational psychology review*, 17(2), 147-177.
- Vygotsky, L. S. (1962). Thought and language. Cambridge, MA: MIT Press.
- Wood, D., Bruner, J. S., & Ross, G. (1976). The role of tutoring in problem solving. *Journal of Child Psychology and Psychiatry and Allied Disciplines*, 17, 89–100.
- Wu, H. L. & Pedersen, S. (2011). Integrating computer- and teacher-based scaffolds in science inquiry. *Computers & Education*, 57(4), 2352-2363.