

【附件三】成果報告

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：PSK1110172

學門專案分類/Division：[專案]技術實作

執行期間/Funding Period：2022.08.01 - 2023.07.31

計畫名稱:以運算思考導向的 AIoT/UX 互動與產品設計實作研究

配合課程名稱:數位整合設計、資訊視覺化設計

計畫主持人(Principal Investigator)：馮嘉慧

協同主持人(Co-Principal Investigator)：陳重任

執行機構及系所(Institution/Department/Program)：南臺科技大學創新產品設計系

成果報告公開日期：

☒ 立即公開 ☐ 延後公開(統一於 2024 年 9 月 30 日公開)

繳交報告日期(Report Submission Date)：2023/07/09

以運算思考導向的 AIoT/UX 互動與產品設計實作研究

1 本文 Content

1.1 研究動機 Research Motive

目前產品設計系學生接觸產品設計課程，一般是靜態的手繪產品圖或靜態草模、精模產品模型，而產品設計進展缺乏感知運用與數據導向，課程與實務產品設計相差甚遠，另 AIoT 產品互動整合設計在教學與實作中較少有個案參考，大多著重於當前科技主流中如應用軟體、虛擬實境、擴增實境教案，對於 AIoT 產品與互動設計應用教材與教學議題探討缺乏，且智能產品設計應用科技整合已經是趨勢，如何讓設計學院產品設計系大學生應具有運算思維學習應用與解決問題的能力是本研究計畫首要，本研究將作為產品與互動設計運算思維課程，培育學習者實作能力的有系統導入產品與互動教學課程中。

1.2 研究目的 Research Purpose

本計畫針對產品設計學生，提升學生實作驗證原型的核心能力，讓設計學院學生有系統的讓了解人工智慧基礎知識背景，也從靜態產品設計開發成產品互動產品實作驗證轉化，故本計畫以運算思維 (Computational thinking) 科技素養為驅動力，讓學習者從透過情境式資訊架構設計脈絡、使用者需求趨勢觀察到 AIUX 產品設計，實作導入物聯網感應元件原型驗證，讓學習者反覆建構測試原型與修正原型解決問題，故本計畫目的為建構學習者系統化學習物聯感知導向的產品互動設計科技應用能力。

2 文獻探討 Literature Review

2.1 運算思維

2006 年卡內基梅隆周以真教授 (Jeannette M. Wing) 提出運算思維 (Computational thinking, CT) 運算思維是利用電腦科學的基本概念進行問題解決、系統設計與瞭解人類思維模式 (Wing, 2006)，由基本概念到電腦科學，CT 將一個看似困難的問題重新轉化，CT 是一種基本的能力每個人都應具備，讓我們知道如何解決問題通過歸納、轉換與模擬，不僅用於電腦科學家也適於所有人，在閱讀、寫作和數學養成分析能力在學習中加入 CT。眾多學者提出運算思維主軸定義 (Barr and Stephenson, 2011; Selby and Woollard, 2013; Wing, 2006)，2013 年 Selby 整合多數文獻後定義為抽象化 (abstraction)、分解 (decomposition)、演算法則 (algorithmic thinking)、分析 (evaluation)、歸納與一般化 (generalization) 五大項目 (Selby and Woollard, 2013)。

研究顯示 21 世紀所須的新能力重要性，在於協作、解決問題、創造力與批判性思維是學生該具備的核心能力 (Van Laar et al., 2017)，Yildiz 與 Saritepeci 指出 CT 在 21 世紀是綜合能力的養

成，於設計的學習方法是由數位故事活動引導，而不是著重在編輯程式的任務來實現 (Durak and Saritepeci, 2018)。CT 在 21 世紀重要性不可以低估，因為數位能力已經是所有人們參與活動的重要組成部分，美國投入大量資源在 K-12 CT 教育，歐洲也有 13 國家通過 CT 培養能力邏輯思維和解決問題的能力，台灣、韓國與中國大陸等國家政策也投入當前 CT 教育運動。

現今教學混合方法有遠距教學、協作學習、翻轉教學等方式，協助學習以電腦或行動裝置、學習內容管理系統、學習分析、視覺分析、遊戲化與語義網頁使用，並以測試來觀察學習者認知方面對能力的獲取、改進和評估。這些方法、技術和能力的結合構成了教學生態系統 (learning ecosystem)。中國與台灣教師認為學習程式語法最好是有老師指導，而芬蘭、韓國與新加坡教師有不同看法，這跟文化是有關係產生學習者學習方法差異 (So et al., 2020)。

韓國學者 Shin 研究提出 CT 能力是透過 MIT 開發的 Scratch 和流程圖 (flowchart) 的教學研究，新手課程是利用 Scratch 來學習基本的邏輯運算，透過自然語言和流程圖符號方法表達演算法，建立基本的培訓課程軟體教學和評估程序分析，CT 分析內容演算法思考，可以利用不插電方式來進行教學 (Shin, 2015; Tremblay and Bunt, 1988)，以建構學生邏輯水平包含抽象、演算法、邏輯和量測思維，次之是強化軟體教育項目的特徵 (Shin, 2015)。

Kuo 和 Hsu 的「機器人城市」的桌遊遊戲，利用不插電方式來學習 CT，加入程式設計結構與概念，遊戲中加入了開放式競爭與結構化的協作，符合程式開發真實樣貌，研究結果開放式任務優於其他 (So et al., 2020)。近年自造與黑客松 (hackathon) 讓年輕人可以協作與激盪出可共享的軟體設計，這樣環境建立引發了運算思維的展開，近年來非工程背景利用遊戲和協作學習和模擬是最常見的，也有利用樂高與機器人，研究發現利用視覺來撰寫程式語法是好的方法 (Liu et al., 2010)。

Fry 等認為主要兩個關鍵教學維度，一個是教學方法更具分析性或體驗性，二為參與者的背景與程度如跨領域 (Fry et al., 2008)。以體驗式教育設計包含小型課堂練習或跨學期專案學習或業界合作實習 (Seidel et al., 2020)。Sein 指出對使用移動技術進行學習的強烈和推薦使用的意願 (Sein-Echaluze et al., 2017)。該研究建構了一個真實問題解決，利用情境教學方法給學生練習，可以即時提供解決方法，個性化的反饋與建議 (Wang et al., 2015)。學習者必須了解可以使用的技術及其基本目的，然後在真實的情況下實施和實踐，以達到更高水平的技術素養 (Davies, 2011)。

2.2 產品 3D 列印實作驗證

過去研究顯示 Hsiao 等學者使用了與經驗學習策略的 3D 列印技術，幫助學生提高對抽象的科學概念和直接動手能力去理解風力發電課程主題，科學知識的抽象概念在教學中很難具體化，學習者很難理解術語、具體概念或公式，小組自己動手製作原型結合 3D 列印技術，獲得更好的學習表現 (Hsiao et al., 2019)。實作中創造新穎性如材料、形狀、結構、美學與性能，形狀和結構指標產生更好展現驗證，實作體驗進行學習，幫助學習者體驗了建立知識的過程以及掌握跨學科知識，在這樣的學習下是較為放鬆環境而提高學習態度和興趣，從 3D 列印成果做自我學習與修正，3D 列印技術幫助學習者通過動手操作實現想法，做出個性與差異化產品，更提高手作的能力 (Chien, 2017; Chien and Chu, 2018)。3D 列印應該以更普遍方式整合到科學課堂中時，對動手做的製造課程的效用影響學生在製造自我效能、科學自我效能、科學身份定義四個方向顯著增加，特別是在弱勢群體的學生自我效能感、科學認同感和可能的自我方面增加 (Schlegel et al., 2019)。

2.3 人工智慧與物聯網

台灣是全球最佳的人工智慧 (Artificial intelligence, AI) 實驗場域，台灣的機會在於產業聚落聚集且人工智慧化，產業聚落集中、人口密度高、教育水準高與網路端建置順暢，質優中小企業上下游供應鏈，多項產品製造是全球隱形冠軍，各行業專業領域知識深耕強大，AIoT 有深厚的基礎建設外、半導體、資通、軟硬體製造與整合能力，高密度的電信網通與強大的國際業務網絡，在智慧製造掌握高速有效率的生產製程，北中南地區各擁有規模化的產業聚落，成就台灣的 AI 創新實力。

在 2016 年以前台灣在筆記型電腦和智慧型手持裝置代工建置完整的產業鏈與國際重要的地位，自行動裝置 App 開展受大家使用後，至 2020 年後新的世界新決戰點在智慧數位經濟相關整合領域，數位科技包含人工智慧、資料科學、物聯網 (Internet of things, IoT)、5G/6G 通訊、金融科技 (Fintech)、智慧製造、創新材料、無人載具中包含自駕車、機器人、無人機、智慧醫療與智慧城市，數位經濟將跨領域整合軟體與硬體科技設計，創造全球數位經濟新成長率高峰；此時台灣正在下一個經濟浪頭，特別是在人工智慧的科技領域應用。

目前人工智慧是有形體或是無形體還沒有一個完整定論，猶如電影已預告未來世界的 AI 發展，而人們也努力往這條路上開拓人工智慧的應用能力中，雖然目前所開發的 AI 還是弱人工智慧 (narrow AI)、機器學習或深度學習相關應用，目前 AI 只做專門特定的任務導向服務。

AI 為一個系統具有理解外在資訊的能力，並透過接收到的數據學習來達成特定的任務或目標 (Kaplan and Haenlein, 2019)，此概念最初於 1956 年由 John McCarthy 等人，在達特茅斯會議中所共同提出，AI 人工智慧目前共經歷三次熱潮如，最初由於電腦運算能力限制、數據不足，僅能依照邏輯規則的系統來執行，1950 年代 AI 意味著人類長遠以來的目標，期望機器能夠和人類一樣聰明，很長的一段時間人類並不知道要怎麼達成這個目標，成果不盡理想而沈寂。

1980 年代開始硬體效能的提升，有了機器學習這個方法，就是讓機器有學習的能力，利用人工智慧達到目的，而機器學習是想要達成目標的手段，多種數學模型蓬勃發展，機器學習反向傳播 (Rumelhart et al., 1986)、支持向量機 (Suykens and Vandewalle, 1999) 等，研究發展創造出第二波浪潮，然而結果仍然不符合人類對於 AI 期待而失敗收場，以支持向量機 (SVM) 等淺層網路為主流。

直至 2000 年到現在第三波熱潮崛起，在 2006 年 Geoffrey Hinton 教授提出深度信念網路 (DBN) 打開神經網路的曙光，定義深度學習。2012 年 Hinton 的學生以 GPU+ 深度學習贏得 ImageNet 大賽開啓深度學習熱潮，人工智慧再次興盛，人工智慧、機器學習與深度學習發展與演進。深度學習 (Deep learning) 是機器學習的分支，是一種以人工神經網路為架構，對資料進行表徵學習的演算法。深度學習通常會有很多隱藏層，形成一個深層的人工神經網路，深度學習因此得名。事實上深度學習是藉由堆疊大量隱藏層的機器學習模型和大量的訓練資料學習，並自動選取特徵 (feature)。因此，深度模型是手段，特徵學習是目的，如圖 1。



圖 1: 深度學習目的

研發到實踐電影上超級人工智慧 (super AI) 跟人類一樣智慧表現，這樣未來場景還需要時間去實現 AI 相關技術，未來生活是更依賴人機共生 (Human-computer symbiosis) 世代，以人為本的人本智能互動設計新世代漸影響到人們生活。目前台灣人工智慧發展，不限資訊產業，2020 年台灣 AI 行動研究、人才的培養、運算晶片設計、建構跨國產業合作與法規開放，AI 產業化從智慧製造、智慧醫療、智慧金融與智慧交通等，在企業已從質到量變的現在正在進行中。業界也投入人工智慧應用開發，從了解解決問題需求滿足到產品的價值主張，利用數據集收集訓練，嘗試投入產品開發與商業模式建構中，積極邁向人工智慧與物聯網產品領域前進，也需人機互動設計 (Human-computer interaction, HCI) 領域與使用者經驗 (User experience, UX) 更深入人們觀察了解需求，再配合 AI 數據完善呈現資訊內容設計與應用，開啓佈局 AI/UX 加上特定 AI 主題產品與互動應用的新方向。

3 研究問題 Research Question

人工智慧相關設計應用需要越來越重要，計畫主持人與業界產學合作面臨到人工智慧使用者經驗設計相關應用日益增加，與使用者經驗設計領域結合需求越來越高，產品與互動設計需要與業界需求接軌，更著重於人工智慧應用能力，尤其在實作概念驗證 (Proof of Concept, POC) 步驟，驗證產品的概念是否可以被執行，啟動新產品開發時需把概念釐清，驗證產品設計與技術銜接是否合理，才能投入大量成本與時間。

產品設計系的學習者對於運算思維目前沒有系統化對應的課程內容，必須從基礎的資訊視覺化設計開始導入，且循序漸進讓學習者不會因為程式語法困難而失去動力。故本研究計畫在資訊視覺化設計與數位整合設計課程導入使用者經驗、流程設計並實施產品設計與物聯網實作導向的學策略，改善傳統單向教學缺點，讓學習者面對專案 POC 之資訊架構、使用者經驗、產品與材料、3D 驗證模型、感應元件、驗證等整合的專案實作能力。

4 研究設計與方法 Research Methodology

本課程計畫結合運算思維培養與專題實作驗證兩大教學目的，在設計上採用並透過情境解題與學生共學等方式，做中學以突破既有課程之限制，使學生能夠感受創新的教學體驗，所有實驗均按相關研究倫理指南進行，學習者需簽署實驗同意書後進行實驗。

4.1 研究對象與實作場域

參與者為南臺科技大學數位學院創新產品設計系大學三年級共 24 位，學習者必須先修過基礎產品設計課程，隨機分組共 6 組。運算思維於人工智慧與物聯網教學策略，數位整合設計課程學習任務為自編物聯網課程之數位教材，讓學習者進行小組共學語情境學習，總實驗時間 18 週。實作環境為南臺科技大學創新產品設計系三樓專業教室與一樓創思工坊，如圖 2。實驗設備為電腦、手機與物聯網套件，進行運算思維教學，一樓專題實作原型製作提供各式加工機器設備與 3D 列印設備，實作上是重要產品外觀製作與物聯網元件等驗證內容。



(a) 銑床機台

(b) 線鋸機

(c) 雷切機台

圖 2: 創思工坊實作設備

4.2 研究流程

本研究計畫學習任務為以自編情境式題目教學物聯網感應元件語法教學，第 1 週說明物聯網學習系統操作，介紹課程總覽、學習模式與小組同儕討論進行方式，讓學習者學習過程中減少系統摸索的時間。第 2 到 9 週每週 3 小時授課情境式解題學習課程論述與實體操作感應元件語法驗證，小組共學理解基礎語法並解題，首先互動產品資訊架構學習、物聯網基本程式語法。第 10 到 17 週為產品設計流程與軟硬體整合驗證模型製作，概念設計、物聯網元件尺寸整合、3D 列印原型。第 18 週為期末發表與展示可互動驗證原型與業師交流。實作產品概念驗證，經由討論釐清問題、學習觀念及習得技巧，課程亦設計課程讓學生上台解題，以實作互動環節，使學生透過定義問題、發想、修正概念與操作驗證，學習設計歷程。最後，課程成果以彩色列印小冊給學習者一份與訪談同學。

4.3 量測工具

本研究計畫使用問卷為學習成效測驗與學習滿意度二種量表。課程自編前測物聯網先備知識測驗前測及後測物聯網學習成就評量各 20 題評測，測驗與問卷為瞭解學習者在學習前與後差異，評量結果可提供授課教師作為課堂授課依據。第 18 週學生填寫課程滿意度調查，量表填答共六題是採用 Likert 七點量表方式計分，由受測者依自己的主觀感受選答選項，受測者在學習滿意度量表上得分越高，表示其學習滿意度較高，反之則代表其學習滿意度低。問卷中開放一題問題答題，從中可以了解學生學習感受與課程建議，作為教師反思與改善依據。

4.4 資料分析

本研究數據將透過統計學上的成對樣本 t 檢定和 Shapiro-Wilk 常態檢定驗證，分析學生學習成效與學習滿意度之統計分析，學習成效前、後施測是否有顯著性的差異。期末測後訪談學習者，訪談時間約 10 分鐘，瞭解學習者對整體課程設計學習感受，並將內容做摘要整理，學習者訪談意見做為未來改善課程的依據。

5 教學暨研究成果 Teaching and Research Outcomes

5.1 教學過程

教學目標讓設計科系同學經由運算思維學習相關人工智慧與物聯網應用，首先讓學習者能理解資訊架構與流程設計，使用白板讓小組共學解題，讓每個人都能參與討論與改進流程邏輯，能簡化電腦上機修改游移不定與時間磨耗，授課教師可直接從解題中說明問題，而解題小組即可可分享結果，如圖 3。



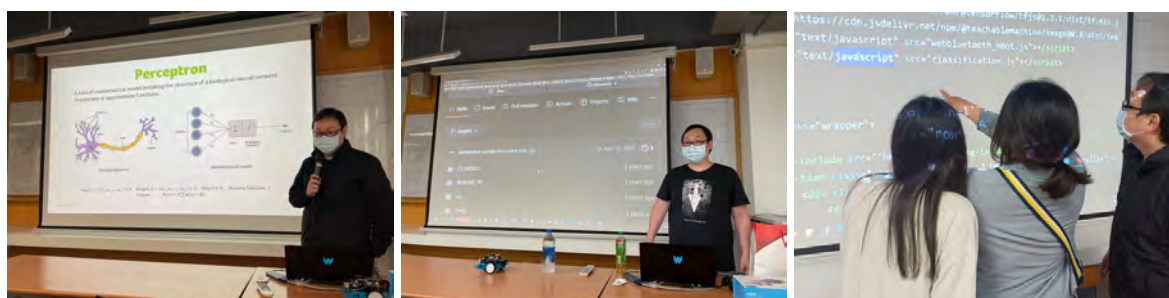
(a) 情境流程解題

(b) 流程設計修正

(c) 感測元件與語法練習

圖 3: 學習運算思維授課

教學時間前八週訓練學習者程式語法，學習者需要花比較多精神解題，也必須了解語法整體的概念課程。邀請宏碁股份有限公司軟體開發部門林士豪經理業師演講人工智慧基礎概念，實作 Teachable Machine 圖、聲音與姿態等訓練資料，將圖形訓練資料整合上傳至 Github 中，再結合 Tensorflow 與 mbot 做應用，利用電腦視覺辨識圖卡命令控制車子作動前後左右與控制，指導學生訓練資料下載後如何跟網頁介面整合關鍵技術，如圖 4。



(a) 業師演講人工智慧概念

(b) 上傳 AI 訓練檔案

(c) 同學請教業師整合語法

圖 4: 業師授課人工智慧概念

5.2 教學成果

期末成果展出由小組針對共同目標之產品原型驗證設計從中以實作概念驗證為目的，業界教師為宏碁陳正鴻產品經理和簡智傑經理業師講評期末實作，兩位業師皆有產品軟體開發與專案管理經驗，說明 POC 在業界上檢視構想概念的重要性，期末實作驗證是接軌業界需求，產品原型驗證設計從中學習溝通與實作問題解決的能力。

從學生 AIoT 使用者經驗認知與應用設計，對於模型整合概念教授與程式整合給予指導，從驗證模型直接跟同學們說明可延伸的部分，業師期末評分爲可互動、機構、美感與運算能力評分，分組成績平均分數爲 3 組 95 分，其他組別爲 87 分、82 分和 78 分。最終，分享企業實作經驗並與給予小組鼓勵與建議。



圖 5: 期末學生作品發表與業師講評



圖 6: 運算思維成果展示

5.3 教學成果網站

本計畫教學成果上傳在 Github，成果發表手冊學習者一人一份。



(a) 第六組成員與期末成果



(b) 第五小組成員與期末成果



(c) 第四組成員與期末成果



(d) 第三小組成員與期末成果



(e) 第二組成員與期末成果



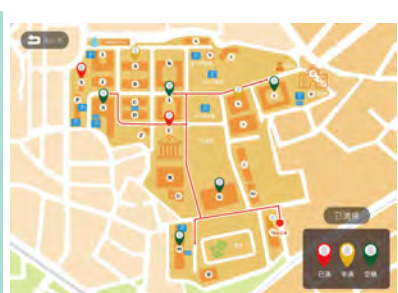
(f) 第一小組成員與期末成果



(g) 介面控制設計 1



(h) 介面控制設計 2



(i) 南臺垃圾桶地圖介面整合

圖 7: 數位整合設計期末實作成果展示



(a) 成果建置在 Github 網站



(b) 成果小手冊

圖 8: 網站與小手冊成果展示

5.4 課程學習成果前測與後測

課程進行學習成效前測與後測，並以 SPSS 統計軟體驗證，參與課程實驗者共 24 位學生進行敘述統計分析，受測者 24 位進行前測平均分數為 36.46 與後測平均分數為 49.58。因樣本數小於 50 位學習者故使用常態檢定 Shapiro-Wilk 檢定，統計資料顯示前測顯著性為.283 後測顯著性為.149，兩

組未達顯著性，表示隨機抽取出來的樣本是屬於常態分布。成對樣本之相關係數 $R=.557$ ， $p=.005$ ，達顯著。再進行成對樣本 t 檢定分析，此一成對樣本檢定的 $t(23)$ 值為 -6.242 ，顯著性為 $.0001$ ，考驗結果達顯著，如表 1。表示學生的前測與後測兩次考試成績有顯著的不同，從樣本平均數大小可以看出，學生的後測 (49.58 分) 成績較前測 (36.46 分) 為佳，顯示學生的成績有所進步。

表 1: 成對樣本 t 檢定

	平均值	標準差	標準誤平均值	差異的 95% 信賴區間 下限	上限	t	自由度	顯著性
前測分數	-13.13	10.301	2.103	-17.475	-8.775	-6.242	23	.000
後測分數								

5.5 課程滿意度

「數位整合設計課程滿意度量表」旨在測量學生參與課程實作的滿意度，為單一向度內含 6 題七點式李克特 (7-point Likert) 問項，經該研究顯示，量表信度 Cronbach's Alpha 達到 $.929$ ，為具有信度的量表。問卷整體的描述性統計，結果顯示在每一個滿分為 7 分的問項中，學生對物聯網課程的滿意度得分平均值介於 $5.96 \sim 6.21$ 之間，整體滿意度平均得分 6.08 。

表 2: 數位整合設計課程滿意度結果

	<i>M</i>	<i>SD</i>
1.AIoT 課程教學可以幫助產品互動設計的整合嗎？	6.13	.900
2. 情境語法訓練與感測元件的控制有助於邏輯學習嗎？	6.21	.932
3.AIoT 實作產品有助於整合設計脈絡學習嗎？	6.04	1.042
4.AIoT 課程學習實作一個產品案例覺得有趣嗎？	6.08	1.213
5.AIoT 課程業師授課讓您更了解 AI 科技應用方向嗎？	5.96	.806
6.AIoT 課程的學習成效您感到滿意嗎？	6.04	.999

5.6 教師教學反思

未來課程教學改善如下：

1. 小組語法解題能力不同，學習成就低的學習者需要多一點時間才能完整解題，因而當周教學單元被延誤，隔週練習產生內容銜接問題，未來可增加教學助理協助。
2. 實作問題較多需要時間解決，礙於課程進行中感測元件尚未教學完畢，但又需要提早發想實作概念，進度無法加速，未來可將教學成果網站分享給同學們先行查閱，及早啟動期末產品設計執行方向。

3. 課程分配與調整，在 AI 訓練資料與網頁介面銜接上，需要預留更多整合時間。
4. 課程進行中發現迴圈和判斷式內容比較難讓設計科系學生一次就理解，需要再以生活化講述內容。
5. 學習成效測試，未來可以增加中測，加強同學們的記憶、理解與認知的學習成效。

5.7 學生學習回饋

以下整理訪談學生回饋摘要：

1. 從沒想過會接觸物聯網相關的課程，老師上課內容也很清楚，課程後對於物聯網的應用與使用也有近一步的理解。(C030)
2. 原本預期課程是介面的課程，但實際上課後是以物聯網應用的課程，雖然剛開始學習時讓我感到非常的困難，覺得編寫程式將許多物聯網元件連接起來，是有趣實作內容，希望在製作模型時間可以多一點。(C055)
3. 從前沒什麼接觸過這類課程，當作一個挑戰而選修，但老師給予很多時間讓我們自行探索解題，使課程並無想像中困難。只是課堂講解的投影片希望提供紙本筆記，尤其是產品設計與物聯網或機構類的細節較多，紙本筆記有助於複習和記憶。(C024)
4. 對於課程一開始不太上手，但每一個案例老師都會留很多時間給我們學習及摸索，也會在練習的最後再次講解，幫助我們更熟悉課程並多方應用，因此課程的後半段也能靠著小組的討論快速且正確地做出案例 (C004)
5. 以前沒有上過類似的課程，老師教的很清楚，遇到困難老師也會幫忙，過後也會很清楚的講解，課程後期也有很多實作的課程，跟著組員們合作完成的作品很有成就感，也大大增加對這門課的興趣。(C017)

6 建議與省思 Recommendations and Reflections

本教學實踐計畫執行後，教學省思如下：

1. 規劃與業師合辦的設計工作坊
同學們很期待跟業師交流想法，礙於地點與時間安排與同學只能做短暫演講或期末評比和建議，未來可以規劃與業師合辦的設計工作坊方式跟同學互動，更增強程式設計概念，或進階課程教案模組化，讓同學去從中學習到更深入語法，為首要改善項目。
2. 短期內學習程式語法是有
非資訊專長背景的設計系學生，短期內學習程式語法是有限，將資訊科技融入產品概念驗證的能力更是一項挑戰，以技術為導向的學習者而言是很樂意參與實作的執行過程，未來還可以持續進行實作驗證。

3. 教師持續學習新整合技術知識

授課教師需要持續學習新的整合技術，才能夠提供更多深入的指導和支援，以應對資訊科技在產品整合設計概念上的要求。同時，也需要思考如何在有限的時間內，將相關的整合知識傳授給學生，讓學習者能夠清楚理解開發流程。

4. 需要高階光固化 3D 列印機支援

實作模型驗證需要有較高階光固化 3D 列印機支援，來提升產品外觀品質，讓模型驗證與產品操作機構能更合理化。3D 列印可以產生實體外觀，觀察原型，抽象概念化和主動實驗的優點，但舊式機器列印品質太過粗糙且產生過多支架。另外，將產品概念落實需要額外增加基礎機構與產品設計訓練，驗證學習者所思考的原型是否能實踐，實作學習的做 (doing) 在產品設計課程非常重要的設計驗證，光固化 3D 列印機設備支援產品實作質感，激發學習者的創新與創造能力實踐。

References

- Barr, V. and 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.
- Chien, Y.-H. (2017). Developing a pre-engineering curriculum for 3d printing skills for high school technology education. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 13(7):2941–2958.
- Chien, Y.-H. and Chu, P.-Y. (2018). The different learning outcomes of high school and college students on a 3d-printing steam engineering design curriculum. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 16:1047–1064.
- Davies, R. S. (2011). Understanding technology literacy: A framework for evaluating educational technology integration. *TechTrends*, 55:45–52.
- Durak, H. Y. and Saritepeci, M. (2018). Analysis of the relation between computational thinking skills and various variables with the structural equation model. *Computers & Education*, 116:191–202.
- Fry, H., Ketteridge, S., and Marshall, S. (2008). *A handbook for teaching and learning in higher education: Enhancing academic practice*. Routledge.
- Hsiao, H.-S., Chen, J.-C., Lin, C.-Y., Zhuo, P.-W., and Lin, K.-Y. (2019). Using 3d printing technology with experiential learning strategies to improve preengineering students' comprehension of abstract scientific concepts and hands-on ability. *Journal of Computer Assisted Learning*, 35(2):178–187.
- Kaplan, A. and Haenlein, M. (2019). Siri, siri, in my hand: Who 's the fairest in the land? on the interpretations, illustrations, and implications of artificial intelligence. *Business horizons*, 62(1):15–25.

- Liu, C.-C., Fan Chiang, S.-H., Chou, C.-Y., and Chen, S. Y. (2010). Knowledge exploration with concept association techniques. *Online Information Review*, 34(5):786–805.
- Rumelhart, D. E., Hinton, G. E., and Williams, R. J. (1986). Learning representations by back-propagating errors. *nature*, 323(6088):533–536.
- Schlegel, R. J., Chu, S. L., Chen, K., Deuermeyer, E., Christy, A. G., and Quek, F. (2019). Making in the classroom: Longitudinal evidence of increases in self-efficacy and stem possible selves over time. *Computers & Education*, 142:103637.
- Seidel, V. P., Marion, T. J., and Fixson, S. K. (2020). Innovating how to learn design thinking, making, and innovation: Incorporating multiple modes in teaching the innovation process. *INFORMS Transactions on Education*, 20(2):73–84.
- Sein-Echaluze, M. L., Fidalgo-Blanco, Á., and Alves, G. (2017). Technology behaviors in education innovation. Technical report.
- Selby, C. and Woollard, J. (2013). Computational thinking: the developing definition.
- Shin, S.-B. (2015). The improvement effectiveness of computational thinking through scratch education. *Journal of the Korea society of computer and information*, 20(11):191–197.
- So, H.-J., Jong, M. S.-Y., and Liu, C.-C. (2020). Computational thinking education in the asian pacific region.
- Suykens, J. A. and Vandewalle, J. (1999). Least squares support vector machine classifiers. *Neural processing letters*, 9:293–300.
- Tremblay, J.-P. and Bunt, R. B. (1988). *Introduction to computer science: an algorithmic approach*. McGraw-Hill, Inc.
- Van Laar, E., Van Deursen, A. J., Van Dijk, J. A., and De Haan, J. (2017). The relation between 21st-century skills and digital skills: A systematic literature review. *Computers in human behavior*, 72:577–588.
- Wang, D., Han, H., Zhan, Z., Xu, J., Liu, Q., and Ren, G. (2015). A problem solving oriented intelligent tutoring system to improve students’ acquisition of basic computer skills. *Computers & Education*, 81:102–112.
- Wing, J. M. (2006). Computational thinking. *Communications of the ACM*, 49(3):33–35.