

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：PEE1135396

學門專案分類/Division：工程學門

計畫年度：113 年度一年期 112 年度多年期

執行期間/Funding Period：2024.08.01 – 2025.07.31

結合電腦輔助與問題導向之機器人學教學

Combining Computer Assisted and Problem based Teaching in Robotic

計畫主持人(Principal Investigator)：楊智嫻

執行機構及系所(Institution/Department/Program)：國立中正大學機械工程  
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)：2025 年 9 月 18 日

#### 一、本文 (Content)

##### 1. 研究動機與目的 (Research Motive and Purpose)

傳統機械製造業常有著高溫、高噪音、高污染之工作環境，而令勞動力抗拒投入該產業，以致該產業產生長期缺工、人才斷層及年齡老化等問題，因此產線自動化、智慧化為現今製程規劃必然趨勢，而機械手臂是最常應用於實現智慧化自動產線之配備，機器人學則為其中最為關鍵基礎學科。機器人學之理論可分為兩個階段：(1)位置分析：根據機械手臂構型，依序定義座標系、建立順逆向位置分析、規劃運動軌跡路徑，可用於產線之自動取放動作；(2)動態分析：根據運動規劃，代入機械手臂實體特性(質量、慣量)，計算機械手臂整體負載剛性、致動器動力，以確認機械手臂如預期之精準定位、作動。學習此門課將令學生具備機械手臂設計、分析、規劃能力，有助於應用於規劃自動化產線。

課程中首先將針對機械手臂，說明各桿件如何藉致動器/被動接頭相互連接，進而確認機械手臂之運動自由度、工作空間、動態特性；接著透過矩陣定義機械手臂於空間中定位與姿態，建立數學模型以進行位置分析與運動分析。然而，現有傳統機器人學之教科書，雖部分應用範例有照片，但有大部皆以簡單直線示意機械手臂構型，若學生不具備對於空間、幾何、剛體運動之理解敏銳度，常無法在腦中想像實體結構並理解其運動方式。同時，在位置分析中，列出機械手臂之運動參數，並利用繁複之矩陣進行計算，以建立末端位置/姿態與各軸旋轉角之關係；而動態分析中，還需再考慮各桿件之質量、慣量、各桿運動之角速度、角加速度、速度、加速度，計算又更加繁複，若以手寫計算則費時又易計算錯誤，這將此得學生對於學習機器人學卻步、恐懼、甚至排斥。由上述可知，傳統教學將造成學生對於課程內容無法理解、學習成效不佳。

應用 CAD 技術建立 3D 模型:針對傳統教材之弊病進行教材改良，結合 CAD 技術，以降低學習機器人學之學習難度。首先於課堂上導入電腦輔助設計 (Computer Assisted Design, CAD) 技術，將自動化生產線中常見之機械手臂構型，建立其 3D 立體模型，使得課程講解範例的 2D 圖片可以 3D 立體化呈現，透過操作 CAD 軟體可由不同角度方向觀看立體機械手臂，並可模擬機械手臂各關節運動，以更清楚瞭解機械手臂之工作空間與運動方式；同時於教學如何建立機械手臂之數學模型時，將 3D 模型依步驟解說需求進行拆解、作動，並將此過程搭配說明錄製為影片，令學生了解機械手臂於 3D 空間之各項數學定義，將有效降低學生於學習機器人學之門檻。

教導如何撰寫計算求解之目標導向程式:針對機械手臂之大量運算，則導入

MATLAB 程式教學，令教學重點著重於「如何建立實體機械手臂之數學分析模型」，並藉助電腦進行快速且大量計算，而不令大量繁複計算變成學習之絆腳石；同時，程式教學有別於資工針對程式設計係著重於邏輯判斷，而是於程式中建立所推導之數學模型，以計算求解為程式主體架構，讓機械系學生對於機器人學之程式分析更容易上手，而不因程式之邏輯語法而學習受限，以令機器人學之學習效益最佳。

近年電腦軟體發展快速，本研究計畫善用 CAD 技術普及、高階程式語言撰寫門檻低之兩大優勢，針對機器人學之平面教材、繁複計算等學生學習障礙，提出針對機構學學習之創新 3D 教材與目標導向之程式撰寫架構。目的希望可達到以下三點成效：

- (1) 應用 CAD 軟體繪製 3D 機構模型，學生將可正確且深入認識機械手臂構型。
- (2) 建立 3D 機構運動動畫，學生將更清楚掌握並理解數學模型建立步驟。
- (3) 教導求解目標取向之程式架構，學生將更容易以程式分析能力完成繁雜計算。

## 2. 研究問題 (Research Question)

機器人學課程表現主要可以分為三個面向：

第一部分為學生是否能經由案例說明理解機器人學之實用性。此部分授課內容將先介紹自動化產線上常見之機械手臂，如：SCARA(四軸)、六軸械手臂、Delta 並聯式機械手臂，說明各類型機械手臂應用場域，以及實務應用於各方面之考量因素，令學生對於此課程認識不僅是繁複的數學計算，還可同時了解實際應用狀況，更能掌握分析所求為何，藉由有明確學習目標，而引發更高之學習熱誠。

第二部分為學生是否能藉 3D 模型正確理解機械手臂之構型與運動關係。機械系學生多已具備圖學基礎並熟悉 CAD 軟體操作，但學習基礎電腦繪圖技能時，多以典型範例練習，並無法學以致用。此門課則介紹不同機械手臂構型後，即讓學生發揮過去所學之 CAD 技術，建立機械手臂之 3D 模型，並透過進階功能令 3D 模型進行運動，以在學習過程中更清楚機械手臂之工作空間範圍與運動限制等特性。將傳統 2D 平面教材予以 3D 化、動畫化，並藉由「動眼看不如動手做」之學習方，即設計 CAD 作業督促學生自行建立 3D 機械手臂模型，激發學生學習興趣。

第三部分為學生是否能藉助程式進行計算分析以提升學習效益。課程內容主要分為三階段：位置分析、軌跡規劃、動態分析，透過建立數學模型，應用矩陣計算與分析，以精確掌握機械手臂之位置與運動。然而機械手臂分析之計算皆較為繁複，容易造成學生學習阻礙、大幅降低學習意願。因此將於加入撰寫機械手臂分析程式之課程，於建立數學模型後，即利用程式進行後續繁瑣計算，讓學生仍清楚了解數學模型中各項數值所對應之物理意義，又能透過程式計算快速獲得分析結果，以精準掌握機械手臂運動狀態。

針對此創新教學理念，先行應用 Autodesk Inventer(CAD 軟體之一)針對六軸機械手臂 UR5(照片如圖 1 左所示)，建立其 3D 模型(如圖 1 右所示)以確認是否有效提高學生對於機械手臂之理解度。圖 2 為應用 MATLAB 程式模擬機械手臂運動軌跡。

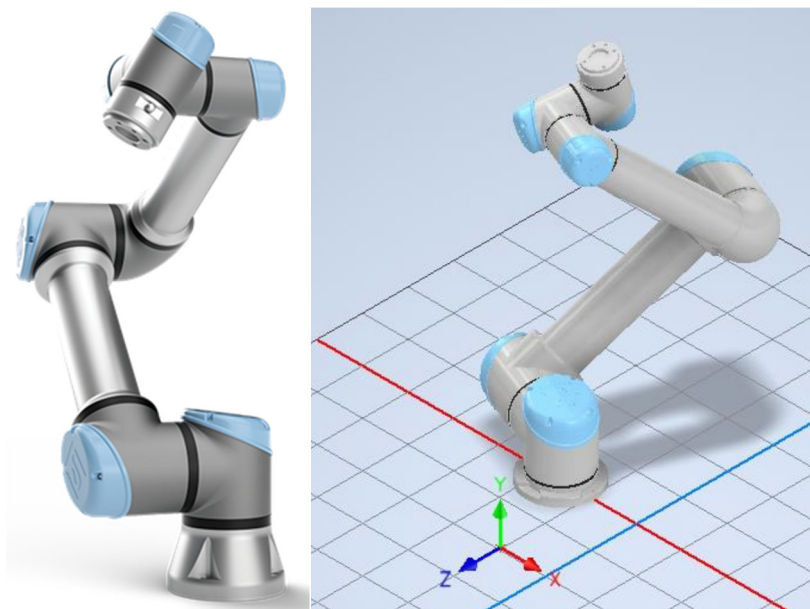


圖 1 六軸機械手臂 UR5 之照片與 CAD 3D 模型圖

%繪出手臂最後的位置

```
plot3(X, Y, Z, 'o-', 'color', 'b', 'MarkerSize', 4, 'LineWidth', 3, 'MarkerFaceColor', 'g')
xlim([-1000 1000])
ylim([-1000 1000])
zlim([0 1200])
xlabel('x-axis')
ylabel('y-axis')
zlabel('z-axis')
```

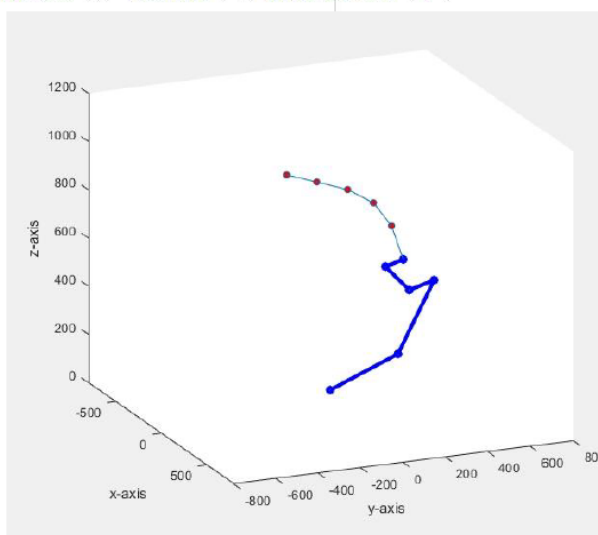


圖 2 應用 MATLAB 程式模擬機械手臂運動軌跡

### 3. 文獻探討 (Literature Review)

傳統的機器人學教學大多以講述為主，講述者(教師)進行單方面的內容說明，近年即有文獻[1][2]探討除了課程傳統教學外之教學資源，隨著科技的進步，教師如何運用科技融入教學之中，也須隨著時代進步而逐步改變。本次教學實踐計劃

的目標即有兩大方向：其一為隨著電腦科技進度如何善用軟體並融入教學，提出電腦輔助教學(computer-assisted instruction; 簡稱 CAI)。「電腦輔助教學」一詞由來已久，泛指直接運用電腦來實現呈現教材的功能，以提供個別(individual)或個別化(individualized)之一種教學環境[3]。過去亦有相關論文探討此教學方式之成效[4][5]，使學生可以透過視覺化的數值與其對應 3D 建模改變的方式，了解修改參數即可達成與程式互動的功能，已有相關文獻證實藉由程式輔助得以令學生更深入學習機器人學[6]，並持續有學者開發機器人學之虛擬實境學習動畫[7]、開放學習平台[8]更豐富教學資源；另一則為使學生了解自己學的應用在哪，而具備強烈學習目標以提升學習興致，而結合問題解決式(Problem-Based Learning; 簡稱 PBL)。

### (1) 教導式的輔助學習(Tutorial CAI System)

教導式的輔助學習，與 Bruner 的認知學習理論相呼應[9]，學習是一種由學習者主動參與處理訊息並將訊息加以組織或建構，使之納入學習者心目中代表「真實世界的模型」之歷程。在教學應用上也提出了四個應用原則[10]：

(a) 動機原則：認為學生學習之始，有兩種天賦動機，「好奇」與「好勝」。

對事物感興趣，喜歡看，喜歡動，喜歡問是「好奇」；對活動都願意自主嘗試，而且自立完成，甚或與人爭勝是「好勝」。Bruner 認為，任何教學活動，需有學生自由選擇餘地，避免過度限制，反而損害了學生的好奇、探索心理。在教材的難易度方面，應考慮學生個別經驗、能力等差異，使每一位學生都有機會體驗到成功與失敗，以保持學生的求勝動機。

(b) 結構原則：所謂的結構是指教材組織。

傳授的任何知識，在教材組織結構上只要能配合學生學習心理，都可達到教學的良好效果。教學方式建議是由具體到抽象，也就是由動作表現(3D 建模動作)到符號表現(數學計算)的學習方式。

(c) 順序原則：順序有兩大要點，一是準備，二是教材教法的使用。

教學之初必須針對興趣與學習動機，有準備，學習自然容易。然後配合學生的智能發展和教材學科的性質，由淺入深，由具體到抽象。此原則下 Bruner 建議學校教學採用所謂「螺旋式課程」，依照上述的循序漸進法則，每一階段的學習有如一個圓周，往後難度與範圍依序見增，最後就能學到整個課程完整的知識。

(d) 增強原則：增強乃是學生在學習時為主動自發的；而且是因好奇而求知的。

因好奇而活動，因活動而滿足好奇心，週而復始，對該活動就產生了增強作用。基於此原則，Bruner 主張教學時應採用啟發方式，讓學生在活動學習中發現原理原則，因理解認知而加強滿足，自然會使日後的學習過程中產生正增強。基於如此，認知發展理論在輔助學習設計上，最重要的是必須考慮到以下幾點原則：

(i) 依照學生思維方式實施教學；

(ii) 根據學生的認知發展順序，設計課程及教材；

(iii) 針對學生的個別差異，實施個別輔導教學；

(iv) 需能促進學生心智發展。

近年電腦本身運算能力的提高，伴隨著成本的降低，結合了文字、圖像、聲音、圖形。藉由目前高度發展的3D建模技術，以及豐富的影像資源，將教學內容呈現在學生的電腦畫面上。透過設計良好的教學內容，可以使學生先藉由觀賞影片了解各種機械手臂的樣貌，刺激學生聯想過去所學，連結已習得之課程，成為機器人學的先備知識，讓學生進而藉由3D建模軟體激發學習興趣。

## (2) 問題解決式(Problem-Based Learning；簡稱PBL)

「問題解決式」是通過尋找解決某一特定問題的途徑，以提高學生解決實際問題能力的教學模式[11]。問題解決式早在盧梭其名作《愛彌兒》一書中初見，百年前美國教育家杜威(J. Dewey)為首先創始。問題導向學習法(PBL)強調，當學習者面對一個「需解決的問題」，藉由與他人合作，釐清問題的重心，並確定出學習、探索的目標，以達成解決問題的方向。學習，是主動的，是在探究問題、問對情境、討論概念、反思和評估問題解決之道的過程中組織和建構知識[12]。由過去研究[13]可彙整PBL的主要特徵如下

(a) 以問題作為學習的起點:

問題導向學習以問題為學習之起點，整個學習歷程緊扣著問題而生，利用解決現實生活問題的方式介紹重要概念。相較於傳統講授課程中被動地接受之學習方式，問題導向學習是用問題來刺激學生之思考，提供學生主動參與討論的機會，並透過教師回饋與協助來學習新知。

(b) 問題能結合理論與實務、非結構問題:

非結構化問題(ill-structured problems)，即沒有預設標準答案的問題，能使學生跳脫單一標準答案的窠臼，實務上存在的問題，大多不是由單一原因造成，藉此提高學生思維的廣度，讓思慮更周詳。

(c) 以問題為主軸，重視學習過程甚於背誦知識:

學生學習的所有內容是圍繞以問題為主軸，重視學習過程遠大於背誦知識透過小組對話，面對問題來進行學習，因彼此的對話交流，進而產生學生內在認知結構之改變。

(d) 偏重小組合作學習:

學生以小團體形式，共同合作以進行真實問題之解決活動，藉由此一歷程，學生可獲取知識並習得問題解決技巧、領導及溝通能力等。

(e) 教師為學習促進者:

教師角度從直接指導轉而為輔助學習，共同與學生參與陪伴、探索，將學習的主導權轉交給學生參與，進而體驗學習。

根據上述所歸納可得知，整個問題導向學習的過程，是以學生為中心，在小組中進行學習，且過程中，教師須促進整個解決問題的流程，指示、支持並誘發學生的學習慾，而非單方面講授或直接地提供學生解決的方式，如同《老子》所說「授人以魚，不如授人以漁」之意。

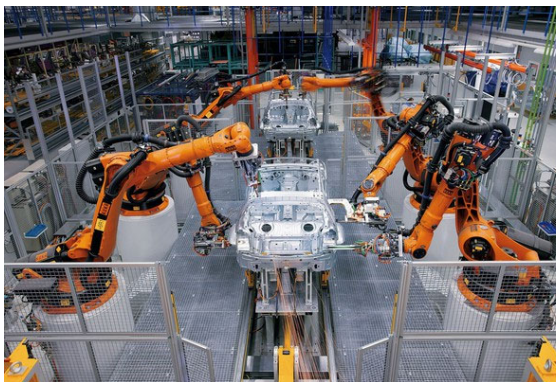
#### 4. 教學設計與規劃 (Teaching Planning)

##### A. 教學方法

此門課屬於基礎理論課程，將採用課堂講解之教學方式，結合 CAD 技術令教材 3D 畫、動畫化，以期有效改善現今教材不易理解之問題，同時教導求解目標取向之程式架構，降低學習門檻並提高學生之學習興趣。

##### (A)課程講述

本課程採用「Robert J. Schilling, “Fundamentals of Robotics Analysis and Control,” 1998. Prentice Hall. ISBN: 0133444333」，授課講解機械手臂之各式構型、設計與運動分析，說明機械手臂的操作方式、應用領域、位置分析與運動分析等，上課方式以重點整理投影片方式進行，讓學生可以專心聽講說明、名詞解釋部分，而針對公式推導部分則留白，讓學生可以動手抄寫以避免瞌睡；另外，課程中將以自動化產線常用之機械手臂為範例進行講解，例如：常應用於自動取放之 SCARA 四軸機械手臂、汽車自動化產線噴漆/銲接之六軸機械手臂、多自由度高負載之並聯式 Delta/史都華機械手臂、持鏡醫療機械手臂等，並進一步地由分析結果探討工作空間、定位精準度、運動性能、負荷承載能力，學習如何選擇適用之機械手臂構型，以縮短學用落差、能學以致用。



(a)



(b)

圖 3 實際機械手臂應用範例：(a) KUKA 六軸機械手臂應用於汽車自動化產線之鎖螺絲、銲接、噴漆；(b) AKTORmed 持鏡機械手臂於微創手術中夾持內視鏡。

##### (B) CAD 軟體－建置機械手臂 3D 模型

機械手臂應用場景之照片，常因有電線或其他材料包覆，造成無法直接確認致動器位置與運動方向，使得不易理解機械手臂之運動方式。本計畫將應用 CAD 軟體－Autodesk Inventor，參考機械手臂提供之規格圖，由助教製作機械手臂實用範例之 3D 模型，並結合動畫製作功能，可由不同角度觀測機械手臂圖 3D 模

型以及作動情形，將可有效提升學生對於機械手臂構型、運動方式的理解，以大幅降低機構學習門檻。

#### (C) CAD 軟體—搭配解題說明建立 3D 拆解模型

傳統教材中說明機械手臂數學模型之符號定義圖，係在一張圖中標是兩個座標間的關係，然而，此數學模型符號係經由座標系經四個變化步驟定義得知。因此此計畫將導入 CAD 3D 模型，於教學如何建立機械手臂之數學模型時，將 3D 模型依步驟解說需求進行拆解、作動，並將此過程搭配說明錄製為影片，令學生能依步驟建立機械手臂數學模型之各項符號。將實際機械手臂表示為數學模型，為機械手臂各項分析中最基礎關鍵的一環，若能透過 3D 拆解模型令學生能確實掌握數學模，將更加有利於後續位置分析、動態分析皆更加容易學習、理解。

#### (D) 操作實體機械手臂輔助學習

本課程將充分利用系上之豐富學習資源—多台機械手臂，如圖 4 所示，包含上銀 SCARA 機械手臂(型號 RS405-LU)、Delta 六軸垂直關節型機械手臂(型號 DRV70L)等。在進行位置分析教學前，讓學生以教導器模式操控機械手臂，讓學生實際感受控制每軸運動時，機械手臂作動狀態，學生可藉機針對自己無法理解之瓶頸點詳細察看，以更清楚理解機械手臂運動特性，並激起學習機器人學之動力，能促使學生克服學習機械手臂相關之艱深理論所遭遇之挫折。



圖 4 系上可供教學使用之機械手臂。(a)SCARA 四軸機械手臂、(b)垂直式六軸機械手臂。

#### (E) 網路教學影片

學生總是比較容易被影片吸引注意力，觀看機械手臂實際應用於各領域(自

動化產線、醫療輔助)之影片，也能令學生更清楚了解學習目標。本課程將適時利用 Youtube 網站上的關於機械手臂運作影片做為課程教材，藉由實際範例可提升學生上課注意力。

#### (F) 線上教學影片

此門為研究所課程，研究生除了於課程中學習，時常參與計畫案研究、擔任兼任研究助理，藉產學合作或執行研究計畫，以類似觀摩實習的方式，從做中學學習如何活用專業知識解決問題。然而，若配合計畫執行、研究團隊討論時間，學生常因此無法如期出席上課或是於課堂中專注力不足、一時失神。為避免此因素影響學習成效，將針對重點基礎理論部分錄製課程教學影片，並上傳至 YouTube 平台開放觀看，讓學生可利用觀看影片能扎實鞏固基礎。

### B. 成績考核方式

本課程成績考核方式有兩個部分

#### (A) 期中考與期末考

本課程有期中考及期末考。期中考試的範圍為機械手臂基礎介紹、座標系定義、順逆向位置分析，旨在帶領學生進入機械手臂領域、窺探其中趣味。而考試採取 OpenBook 形式，令學生只需理解並知道如何應用於計算，而非硬記課本知識、應付考試。期末考試則包含運動分析、動態分析，以精準估測機械手臂之動態特性。兩次考試皆可開放學生帶筆記型電腦以即時運算解題，學生可將分析方法撰寫成程式，再針對考題內容代入參數以即時作答，此將可督促學生完成程式撰寫，並會因應不同情況運用程式，且可避免考試之大量繁複計算，而是經由考試確認學生是否能應用所學。

#### (B) 期中報告與期末報告

其中期末報告所分析之機械手臂型號，將由學生自行選定。經由課堂介紹機械手臂於自動化產線與醫療輔助之應用後，學生自行選擇有興趣深入探討之應用領域，從中選擇市售之多軸機械手臂。於期中報告，針對自行選定之機械手臂，根據廠商提供之尺寸、規格建立 3D 模型，接著自訂自動化任務，進行機械手臂之軌跡規劃，並完成其順逆向位置分析，求得控制機械手臂之位置命令。期末報告則進一步地進行動態分析，計算先前所規劃之運動軌跡之動態特性，包含致動器須提供之力/力矩，確認此機械手臂之致動器具備足夠效能達成任務，若不無法達標則進行調整修改，藉此設計規劃、分析確認之反覆步驟，確實掌握機械手臂性能，並給予適當之規劃任務。

### C. 預計採用之學習成效評量工具與教學場域

#### (A) 考試成績、報告表現

學生成績為最容易追蹤學習成效之量化指標。本研究將追蹤期中/期末考成績，與歷年學生成績進行比較，並比較學生在期中/期末的報告表現，以觀察學生對於課程吸收狀況、對於機械手臂應用之掌控度。

#### (B) 期末問卷調查

問卷採滿意度五分法方式進行調查，預計於期中考後施測，了解學生對於課程講授方式、課程內容難易程度、等進行詢問，以了解機械手臂 3D 化、動畫化、以及多元管道教學等方法，是否有效提升學生學習興趣與成效，並讓學生提供意見指出期望課程教學補強之處，以做為下次開授相同課程之改善依據。

#### (C) 影片統計數據

線上教學影片為上傳之 Youtube 網站，可察看線上教學影片之數據分析，了解如何應用線上教學影片輔助學習。由影片被觀看時間點，可了解學生藉影片進行課程預習/複習或是考前重點瀏覽；由影片被觀看時間長度，可了解學生是快速瀏覽還是重點複習；由影片之續看率重要片段，了解學生對於哪一段內容較難以理解。

### 5. 研究設計與執行方法 (Research Methodology)

機器人學屬於自動化產線之關鍵核心理論，欲由傳統教材中了解機械手臂運動特性，則須具備幾何、空間、剛體運動等概念，而並非每位學生都具有幾何運動之敏銳直覺，但仍須能培養學生皆具備機械手臂運動/動態分析之基本能力。本研究計畫將採用電腦輔助教學(CAI)、問題導向學習(PBL)，以期有效改善傳統教材之編排，結合 CAD 技術與線上非同步教學影片，以因應現今學生學習習慣，能經由多元管道學習，並討論改良教學是否有效提升學生學習意願。研究方法及實施步驟說明如下：

#### A. 研究架構

本研究採用電腦輔助教學(CAI)、問題導向學習(PBL)，並結合 CAD 技術與線上非同步教學影片，將採融合多元管道教學提升學生學習意願、學習成效。首先根據問題導向學習，蒐集機械手臂於各領域應用之介紹影片，包含自動化產線、醫療輔助應用等，以有效提高學生學習興趣，並即時調查學生學習回饋意見，令能階段是學習且得以即時反應課程難易度，提升學生對於課程中該段落之理解，符合驗證學習成效後再進行下一段落教學之初衷，達成培養學生基礎分析能力之目的。接著將傳統教材中機構之平面示意圖，應用 CAD 技術建立 3D 機械手臂模型、運動動畫，讓學生學習不再受限對於空間、幾何之理解敏銳度，以有效降低學習門檻。另外，錄製線上非同步教學影片，提供學生可從多元學習管道達到學習效果，可利用影片進行課前預習、課後複習、考前重點加強之學習。且在期中進行問卷調查，觀察學生對於學習態度的變化，即時調整課程內容之難易度，根據學習狀況重點複習、講解，並微調課堂講解說明方式。

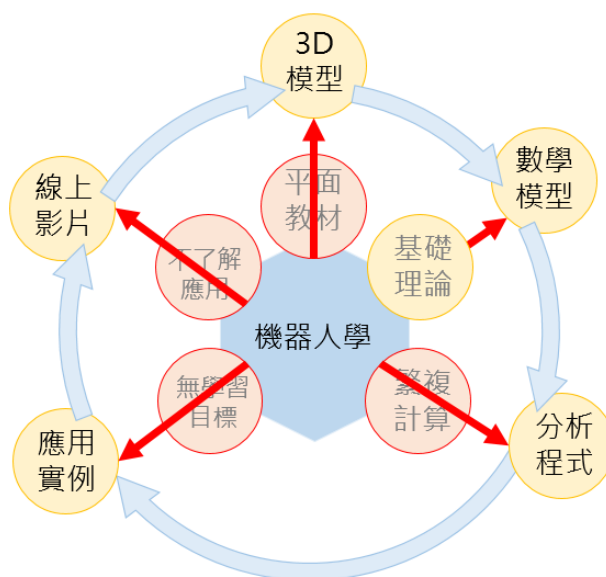


圖 5 本研究計畫之研究架構

## B. 研究問題

本研究計畫的研究問題包含：

- 傳統實作教學方法，最容易使學生遇到挫折、造成學生排拒感的部分是哪些。
- 應用 CAD 軟體建置機械手臂 3D 模型、運動動畫，是否能降低學生學習門檻。
- 導入分析程式撰寫、解決繁複手寫計算，是否能提升學生學習效果。
- 引用線上多元學習管道，是否更貼近學生學習模式而提高學習興致

## C. 研究對象與場域

本研究計畫之研究對象為 113 學年第 1 學期修習「機器人學」的學生，此門課為研究所選修，每學年修習的學生約為 25 人，其中大部分為研究所碩一的學生。在 2024 年 8 月規劃課程時，除提供課程大綱供學生了解課程內容，將先公開說明本課程將列為教學研究方法之時施對象。授課方式除了教學方法調整，將結合多元管道教學以期改善教學成效，另有即時匿名意見回饋、問卷調查等方式了解學習成效，讓學生在選課前即充分了解本課程中的研究目的、主題與實施方式。在徵求學生同意並簽屬同意書，以邀請學生共同參與研究，有個人因素考量不便參與之學生亦不影響其受教之權利，以期課程學生皆可配合教學改良之實施方式。

## D. 研究方法與工具的選擇原因

查看過去文獻對於機動學教學之探討，提出讓學生投入製作機械手臂模型建構，將可有效提升學生於機構學習之興趣，教材融入 3D 機械手臂模型、運動動畫亦可大幅降低學生學習門檻，更多教學結合線上教學等多元教學管道。因此本研究計畫將分採用 CAD 技術建構 3D 模型與運動動畫，並結合線上教學資源，以期學生能經由多元學習管道，能讓學習成效有所提升。另外，此研究將於課後提供意見回饋管道，並於期中進行問卷調查，以量化評估學生對於實作學習態度之變化，且改以學習者角度設計符合學生之新式學習模式，最後將量化並深入探討

此教學研究方法之成效。

#### E. 資料整理與分析

##### (A) 期中/末考成績、期中/末報告表現

查看每期中/期末考之分數分布，與過去歷年的成績比較，確認每屆學生預備知識與學習能力之差異，以即時調整課程難易度。

##### (B) 期末問卷調查

學生對於機動學之認識度、興趣度、自評學習成效，以五個等級區分，分析各項之平均值與標準差值。由兩次期中階段之平均值分析得知此改良式教學是否有效改善學生學習校；標準差值則可分析得知學生對於教學認知是否達一致性。

##### (C) 影片統計數據分析

每 28 天紀錄影片統計數據，確認學生使用線上教學影片之情況，查看觀看熱點，以釐清學生最需不易理解需反覆複習之內容。

### 6. 教學暨研究成果 (Teaching and Research Outcomes)

#### (1) 教學過程與成果

##### A. 以 CAD 軟體—建置機械手臂 3D 模型

本計畫應用 CAD 軟體—Autodesk Inventor，根據機械手臂提供之規格圖，由助教製作機械手臂實用範例之 3D 模型，並結合動畫製作功能，可由不同角度觀測機械手臂圖 3D 模型以及作動情形，如圖 6 所示。

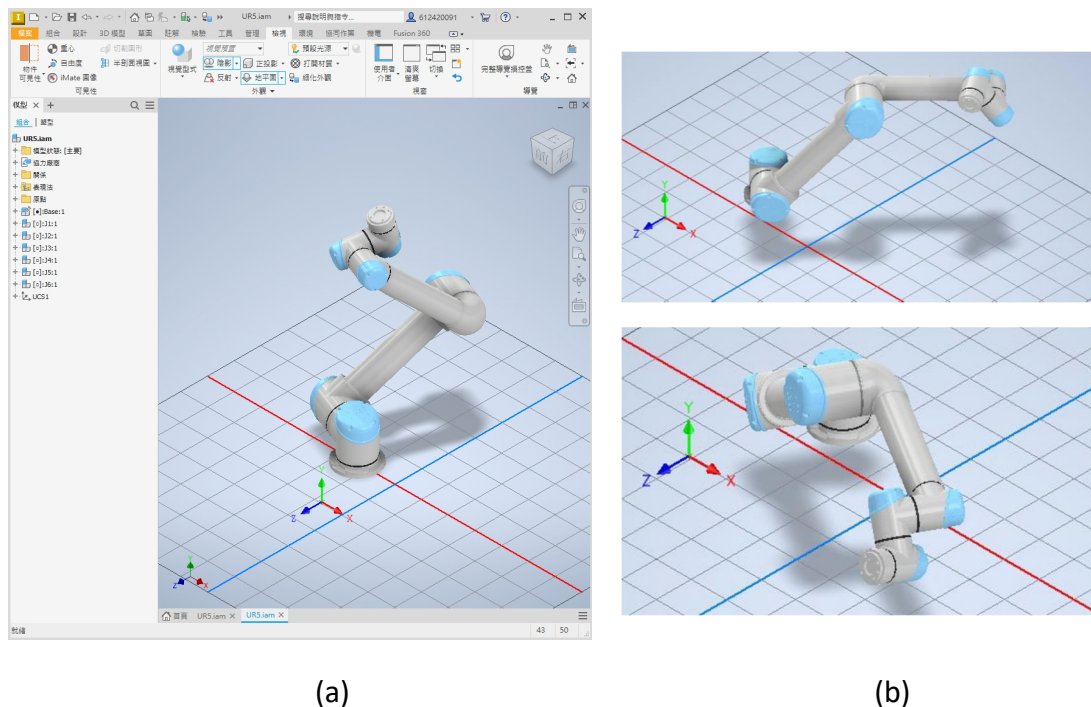


圖 6 (a)CAD 軟體—Autodesk Inventor 操作截圖、(b)不同姿態/視角觀測機械手臂

## B. CAD 軟體－搭配解題說明建立 3D 拆解模型

傳統教材中說明機械手臂數學模型之符號定義圖，如圖 7(a)所示，係在一張圖中標是兩個座標間的關係，然而，此數學模型符號係經由座標系經四個變化步驟定義得知。因此此計畫將導入 CAD 3D 模型，於教學如何建立機械手臂之數學模型時，將 3D 模型依步驟解說需求進行拆解、作動，如圖 7(b)所示，並將此過程搭配說明錄製為影片，令學生能依步驟建立機械手臂數學模型之各項符號。將實際機械手臂表示為數學模型，為機械手臂各項分析中最基礎關鍵的一環，若能透過 3D 拆解模型令學生能確實掌握數學模，將更加有利於後續位置分析、動態分析皆更加容易學習、理解。

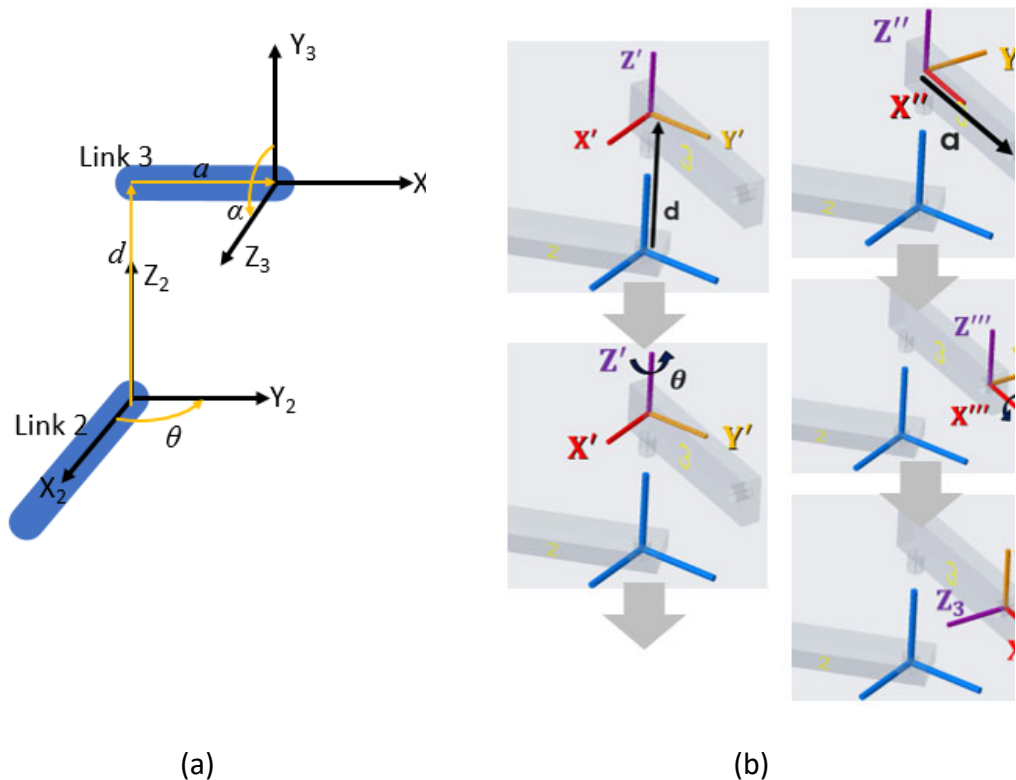


圖 7 機械手臂數學模型定義。(a)傳統教材之數學模型示意圖；(b)導入 3D 拆解模型說明數學模型定義。

## C. 操作實體機械手臂輔助學習

本課程將充分利用系上之豐富學習資源—多台機械手臂，包含上銀 SCARA 機械手臂(型號 RS405-LU)、Delta 六軸垂直關節型機械手臂(型號 DRV70L)等。以實體機械手臂說明機構簡圖，讓學生更實際了解書面表達與實際之關聯性；同時將安排讓學生簡單小程序控制機械手臂運動，實際感受機械手臂作動狀態，並可藉機針對自己無法理解之瓶頸點詳細察看，以更清楚理解機械手臂運動特性，並激起學習機器人學之動力，能促使學生克服學習機械手臂相關之艱深理論所遭遇之挫折。



圖 8 學生操作機械手臂紀錄照片。

#### D. 網路/線上教學影片

在教學的過程中將適時利用 Youtube 網站上的關於機械手臂運作影片做為課程教材，藉由實際範例可提升學生上課注意力。圖 9 為分別為應用於製作汽車鋁輪圈自動化產線之六軸重型機械手臂，圖 10 為應用於醫療手術之達文西機械手臂。另外，此門課程將針對重點基礎理論部分錄製課程教學影片，並上傳至 YouTube 平台開放觀看，讓學生可利用觀看影片能扎實鞏固基礎；程式撰寫部分也以切割畫面，同時呈現上課講義與程式撰寫畫面，將教學程式撰寫過程錄製成影片，讓學生可反覆觀看、學習。



圖 9 Youtube 機械手臂應用影片：輪圈自動化產線

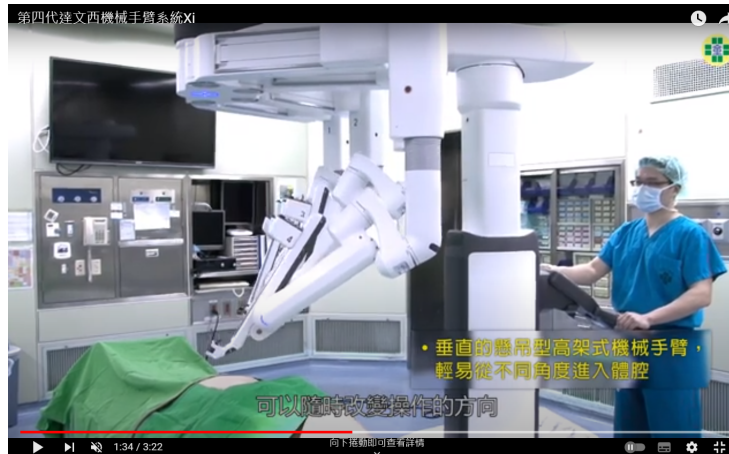


圖 9 Youtube 機械手臂應用影片：醫療達文西機械手臂

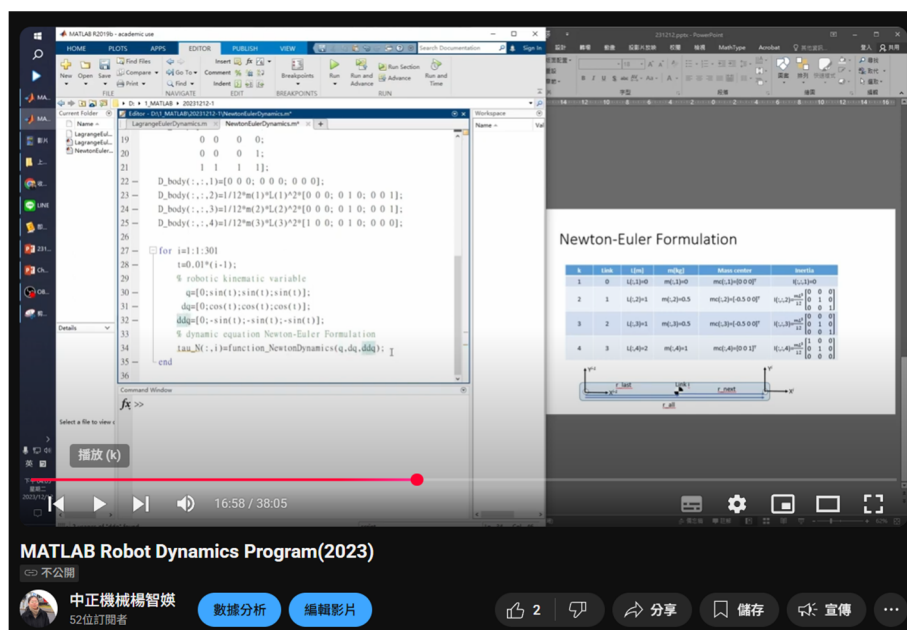


圖 11 本課程之線上影片

## (2) 教師教學反思

### A. 了解學生學習困難點

藉由執行這次的計畫，以不同思維帶領學生學習程式撰寫，並透過教學過程中互動，更深入了解學生對於撰寫程式學習之困難點。在現今自動化普及的年代中，機器人學是自動化產線設計之關鍵核心課程。機器人學之理論可分為兩個階段：(1)位置分析：根據機械手臂構型，依序定義座標系、建立順逆向位置分析、規劃運動軌跡路徑，可用於產線之自動取放動作；(2)動態分析：根據運動規劃，代入機械手臂實體特性(質量、慣量)，計算機械手臂整體負載剛性、致動器動力，以確認機械手臂如預期之精準定位、作動。學習此門課將令學生具備機械手臂設計、分析、規劃能力，有助於應用於規劃自動化產線。

### B. 掌握學生學習狀況

本計畫主要是在教學過程中與學生頻繁互動，更深入了解學生對於撰寫程式學習之困難點；並透過 Youtube 教學影片觀看熱點，了解學生程式撰寫過程中卡關於何處；最後在學期末進行學生意見調查與學習心得訪談，了解學生對於本課程之學習成效。藉由學生從此三方面獲得學生的反應與回饋，重新由學生的觀點審視這門必修課程的設計。中正機械的學生們大多從一般高中推甄/考試入學，因此數學計算與理論推導具有不錯的水平基礎，但對於三維空間、立體機構、機件運動卻較無法理解，即使應用過去幾何做圖概念，而無法順利銜接。透過介紹生活應用，線上影片讓學生先了解機械手臂之多方應用，學生被激發求知慾；接著在引導學生觀看線上基礎理論與程式撰寫教學影片，非課堂的多元教材讓課程學習更加豐富有趣，學生對此都給予正面反應，的確有達到正向學習效果。

## (3) 學生學習回饋

### (A) 考試成績、報告表現

學生成績為最容易追蹤學習成效之量化指標。本研究將追蹤成績與歷年學生成績進行比較，以觀察學生對於課程吸收狀況、對於機械手臂應用之掌控度。觀測由 109 學年到 113 學年的成績，在 110 學年因在課堂上加入程式撰寫分析機械手臂運動，造成課程難度提升，以至平均分數下降，且可以觀測到因研究生的撰寫程式能力差異較大，所以分數分布也較大，而在 111 學年和 112 學年的分數則有些起伏不定，但到 113 學年的分數確定有上升趨勢，可見此教學方式能有助於提升學習成效。

### (B) 期末問卷調查

問卷採滿意度五分法方式進行調查，預計於學期末施測，了解學生對於課程講授方式、課程內容難易程度、等進行詢問，以了解機械手臂 3D 化、動畫化、以及多元管道教學等方法，是否有效提升學生學習興趣與成效，並讓學生提供意見指出期望課程教學補強之處，以做為下次開授相同課程之改善依據。這門課隨著授課經驗累積，滿意度由 107 年的 4.30 逐漸升高至 109 年度的 4.66，但因 110 年度在課堂上加入程式撰寫分析機械手臂運動，造成課程難度提升，也使得滿意度連連下滑至 112 年度的 4.36，因而提此教學實踐計畫。在導入不同的程式

教學方法後，教學滿意度則出現回彈至 4.47，可見此教學方法更符合學生學習方式，有助於學生學習。

除了量化指標，學生亦有提出對課程的反應：

「老師教學認真，有教學熱忱且講課有條理，對學生而言收穫良多。」

「能夠了解手臂運作的過程，並運用程式解析末端點變化和關節變化，理論跟實作都很紮實。」

「本課程提供有關機器人的結構和應用操作的知識。計算機器人運作過程中的相關參數」

「建議老師課程講義不要留填空，讓學生於課堂上得以專心聽講，並記錄老師講授之額外訊息，而非紀錄既有理論資訊。」

從中獲得學生對於本人上課用心給予十分肯定，原本設計講義需抄寫筆記防止學生打瞌睡，也因課程引入很多應用資訊引發學生高度興趣，不僅不會在課堂中打瞌睡，還回饋想法表示他們想省去抄寫、欲更專心聽講口述內容。往後上機器人學時將根據學生學習狀況，逐年滾動式修改講義編寫方式。

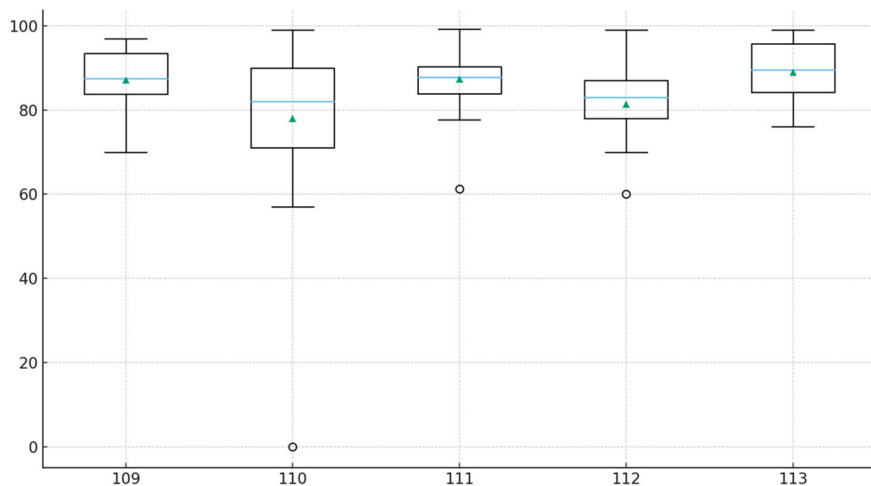


圖 12 109~113 學年機器人學之成績分布

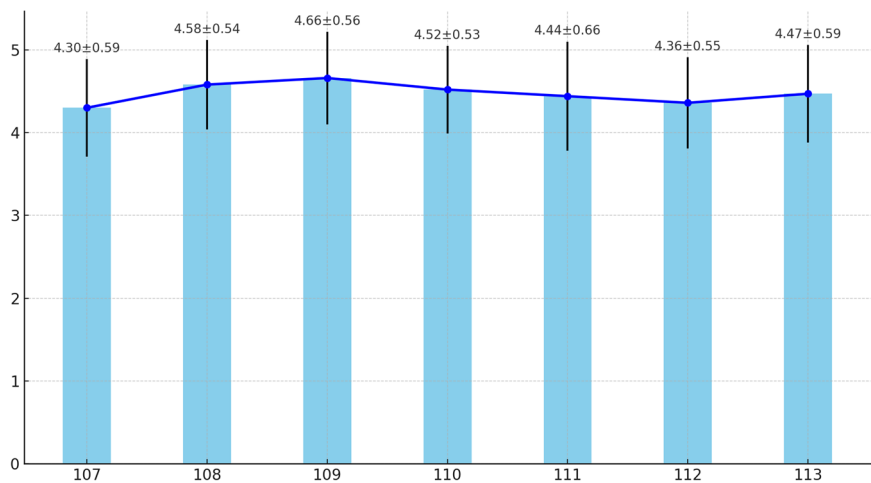


圖 12 109~113 學年機器人學之教學滿意度調查

### (C) 影片統計數據

線上教學影片為上傳之 Youtube 網站，可察看線上教學影片之數據分析，了解如何應用線上教學影片輔助學習。由影片被觀看時間點，可了解學生藉影片進行課程預習/複習或是考前重點瀏覽；由影片被觀看時間長度，可了解學生是快速瀏覽還是重點複習；由影片之續看率重要片段，了解學生對於哪一段內容較難以理解。



圖 12 線上教學影片之數據分析

## (二) 建議與省思 (Recommendations and Reflections)

執行計畫案之後，主持人深刻了解到由學生視角觀測課程，才能真正確認課程設計的妥適性，學生學習狀況在教學中才是課程重點。執行教學及研究方法，須時時觀測學生狀況並注重學生回饋意見，以即時進行課程安排之合適調整，才能計畫成功並有效達到預期之學習成效。

## 二、參考文獻 (References)

- [1] Pozzi, M; Prattichizzo, D; Malvezzi, M. "Accessible Educational Resources for Teaching and Learning Robotics," *Robotics*, 10(1):38, 2021.
- [2] Achilli, G. M.; Logozzo S.; Valigi M. C. "An educational Test Fig for kinesthetic Learning of Mechanisms for Underactuated Robotic Hands," *Robotics*, 11(5):115, 2022.
- [3] Hicks, B. L.; Hyde, D. C.. Teaching about CAI. *Journal of Teacher Education*, 24(2):120-125, 1973.
- [4] 李俊儀。「資訊科技融入數學教學模組之開發與研究—以國中平面幾何基礎課程教學為例」，國立交通大學碩士論文，2003。
- [5] 梁成一，「投影幾何之電腦輔助教學設計與成效研究」，大同大學工業設計研究所碩士論文，2004。
- [6] Aliane, N. "Teaching Fundamentals of Robotics to Computer Scientists," *Computer Applications in Engineering Education*, 19(3):615-620, 2011.
- [7] Flanders, M.; Kavanagh, R.C. "Build-A-Robot: Using virtual reality to visualize the Denavit-Hartenberg parameters," *Computer Applications in Engineering Education*, 23(6):846-853, 2015.
- [8] Canas, J. M.; Perdices, E.; Garcia-Perez, L.; Fernandez-Conde, J. "A ROS-Based Open Tool for Intelligent Robotics Education," *Applied Sciences-Basel*, 10(21):7419, 2020.
- [9] Bruner, J. S. "Toward a Theory of Instruction," W. W. Norton, NJ., 1966,.
- [10] 張春興、林清山，「教育心理學」，東華書局，1998。
- [11] 孫細、洪偉豪，問題導向學習法(PBL)之教學活動設計與實踐：以地理視野—南方區域為例，*地理研究*，第 75 期，2022。
- [12] Ee, J., and Tan, O. S. (2009). PBL Made Simple: Lessons for the Classroom. Cengage Learning Asia.
- [13] 林詩華，「傳統主題導向學習法」、傳統「問題引導學習法」及網路「問題引導學習法」學習成效之比較研究，國立交通大學碩士論文 2004