

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：PED1110390

學門專案分類/Division：教育

計畫年度：111 年度一年期 110 年度多年期

執行期間/Funding Period：2022.08.01 – 2023.07.31

創新機器人系統設計

Innovative Robot System Design

配合課程名稱：嵌入式系統設計

計畫主持人 (Principal Investigator)：陳慶瀚

協同主持人 (Co-Principal Investigator)：無

執行機構及系所 (Institution/Department/Program)：國立中央大學/資訊工程學系

成果報告公開日期：立即公開 延後公開 (統一於 2025 年 7 月 31 日公開)

繳交報告日期 (Report Submission Date)：2023 年 8 月 1 日

創新機器人系統設計

Innovative Robot System Design

一、研究動機與目的 Research Motive and Purpose

機器人 (Robotics) 是一門跨機械、電機電子和資工領域的學科，機器人系統設計、產品開發、領域應用方面的人才培育對臺灣未來產業技術發展有著重要意義，而在智慧製造和人工智慧的浪潮下，機器人教育更是有著迫切的創新需求。

本計畫旨在應對當前機器人教育中存在的兩個主要範式，即偏重理論與方法教學的範式和偏重做中學的自造者 (maker) 學習範式，對未來智慧製造趨勢所需人才培育不足的問題。為此，我們開發了一套創新的教材和教育機器人套件，以機器人系統設計方法論為教學核心理念，強調結構化和模組化的設計方法。從階層式系統架構設計、離散事件建模、到嵌入式軟體合成，以及機器人軟硬體整合，本計畫將提供全面的學習內容，幫助學習者逐步提升其架構設計能力和解決複雜系統問題的能力。

除了使學習者能夠增強架構設計的技術、提高解決複雜系統問題的能力，本計畫還同時以培養學習者團隊協作開發的精神為目標，期許學習者最終能成為未來獨當一面的機器人研發工程師，以及有能力管理產品設計和團隊開發的領導人才。本計畫之教學核心理念以謹慎、流程化的系統設計方法論為主，帶領學習者學習機器人設計的方法、應用和專案整合管理，以滿足未來智慧製造趨勢對於高素質機器人產業人才的需求，並期望能培養出具備創新思維和實踐能力的機器人專業人才，為機器人產業的發展做出積極貢獻。

二、研究問題 Research Question

典型的機器人產品開發流程如圖 1 所示，依照這樣的設計流程進行系統設計或產品開發，每一個環節幾乎都需要大幅仰賴系統工程師的個別設計經驗，且需額外花費大量心力進行整合，導致開發的時間、成本、可靠度和重複使用性都難以掌控，並非最有效率的途徑。在如今一個技術不斷推陳出新、趨勢快速變化的時代，傳統機器人教育方法中的兩個主軸，不論是偏重理論與方法教學的範式，抑或是偏重做中學的自造者 (maker) 學習範式，從產業的角度看，都未能適切符合當前的人才培育需求。若能培養學習者系統化的設計思考能力並且提升學習者對於解決問題之方法與流程的熟悉度，未來當學習者各自投入團隊研發工作時，想必便得以一個謹慎、一致性的程序進行設計，使得團隊的人力和時間分配都為最佳狀態，而每位團隊成員的經驗也得以發揮出最大效益，整個系統設計或產品開發的流程將更有效率。

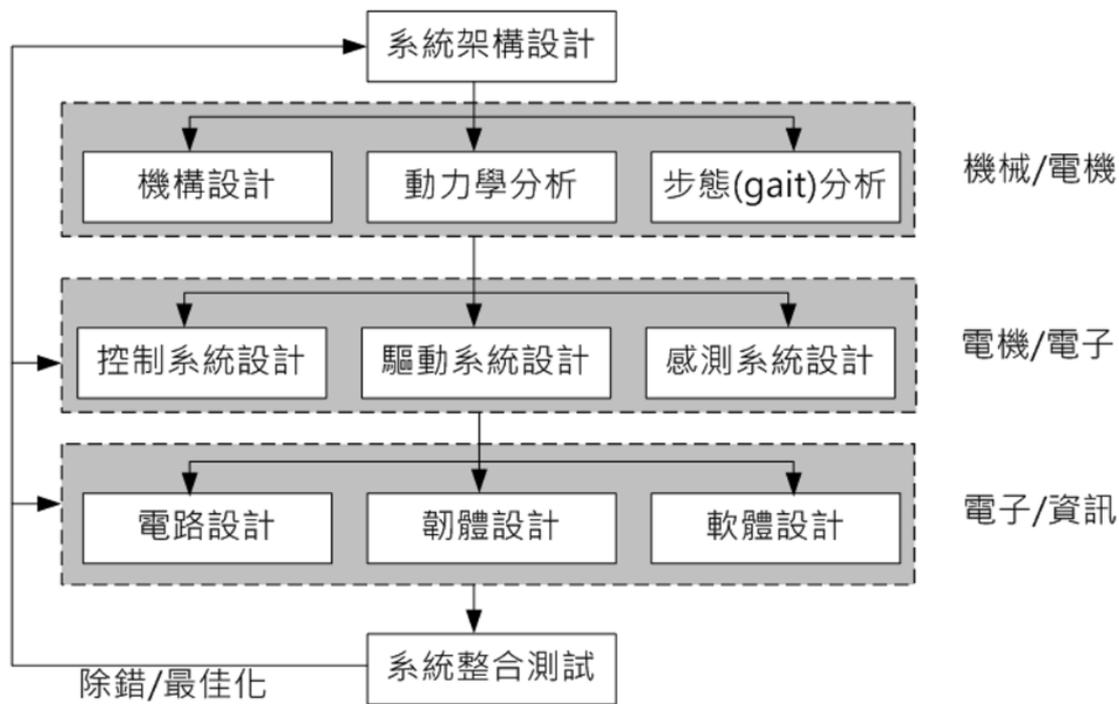


圖 1 典型機器人產品開發流程

三、文獻探討 Literature Review

機器人教育，常納入 STEM 教育的重要教學策略之一，其目的在於幫助學習者打好紮實的科學、技術、工程和數學知識基礎，培養學習者創新精神與實踐能力，促進創新型、創業型人才的成長。STEM 教育以跨學科性、趣味性、體驗性、情境性、協作性、設計性、藝術性、實證性和技術增強性等九項為核心理念。

在 Pablo De Cristóforis 等人[1] 提出的論文中，學生透過程式開發機器人並參與以機器人為中心所設計的課程或課外活動。該研究的評估數據顯示，有高達 90% 的學生覺得這種學習方式相當容易上手。

ERBPI 的優勢在於它允許定義廣泛的行為，並結合各種數學和邏輯概念。由於 ERBPI 可以與多個模擬器和機器人一起使用，它能夠適用於各種不同的課程。自 2008 年以來，LRSE 已經在兩種不同類型的課程中成功應用了 ERBPI，分別為一個短期的兩天課程和一個長達八週的擴展課程。

(一) 短期課程：

包括兩個 3 小時的會議，主要涵蓋基於行為的基本概念機器人。該課程以實踐動手為主，學生以輕鬆的方式學習程式編寫，並在二至三名學生組成的小組中進行合作。

(二) 擴展課程：

在八個 3 小時的會議上完成基於行為的基本概念機器人、進行多個實驗和模擬，以及真正的機器人。這個課程的主要目標是啟發學生通過科學的方法來開發不同的機器人行為，鼓勵他們提出假設，並將預期結果與實際測試結果進行比較，接著提出解釋和修改機器人的控制規則。課程強調實踐動手，學生以小組形式展開程式撰寫，每組由

兩到三名學生組成。

Berry, Carlotta A 等人[2] 提出若要將機器人有效地融入 STEM 教育管道當中，一個全面且多元的機器人課程至關重要，這樣的課程應該具有靈活性、豐富性和趣味性，以確保其得以永續發展。長遠的目標則是提升機器人教育的資源，使機器人技術能夠融入從孩童到大學各年齡層學生的教育課程，因為機器人技術具有多種應用和使用方式。

在小學階段，機器人能夠激發年輕學子對科學和數學的興趣，並鼓勵他們投身於 STEM 領域；在高中階段，機器人可用於數學、科學和工程學的實際應用，進而吸引更多學生涉足 STEM 領域；在大學層面上，機器人技術則可以幫助學生理解不同學科（如工程學、計算機科學、心理學）之間的關聯，展示將基礎理論應用於實際操作的方法，並教授硬體、軟體和電子相關技能。

透過這樣的綜合性機器人教育，我們能夠激發學生對科技的興趣，並啟發他們在不同學術和職業領域中發揮創造力和創新力。此外，也能夠培養學生解決問題和團隊合作的能力，這些都是現代社會和工作場所中極為重要的技能，對於培養未來的科技領袖和專業人才具有重大意義。

Timothy Bower 提出了[3] 以移動機器人進行自主操作的教學方法。許多高中和初學機器人的學生都對機器人技術充滿渴望，但是他們可能缺乏系統化的知識。這項研究從學生的角度出發，探討了機器人基礎技術、程式開發環境、軟體設計和演算法等方面，這些知識可以用來指導沒有基礎的機器人初學者撰寫自主移動機器人程式。同時，Timothy Bower 指出，應用機器人技術來滿足實際應用需求的可能性也在不斷擴大。

無論年齡和學歷如何，所有學習者都渴望學習如何構建機器人並撰寫機器人應用程式，機器人的跨領域特性使其成為年輕人探索科學、技術、工程和數學 (STEM) 職業可能性的理想工具。

Joel M. Esposito 提出了[4] 分析機器人網路教育的三大重點，包括學位、介紹性機器人課程和教育資源。在 67 個代表機構中，學位部分七個學士學位學程每年大約有 140 名學生獲得頒發；碩士研究生約有 268 人；博士研究生則有 83 人。在課程層面，共 65 個入門課程中的主題分佈，提出了可能需要標準化課程順序或統一教科書結構的看法，因為市場上存在一些差距，許多教師 (46%) 選擇撰寫自己的教學文章，但很少有教師 (10.8%) 選擇利用免費的網路課程來教授機器人相關課程。在程式設計語言方面，目前仍然以 MATLAB(62%) 和 C(52%) 為主要選擇，只有少數教師使用免費開源軟體，如機器人作業系統 ROS(28%) 或 OpenCV(17%)，用來支持這些課程實驗部分的硬體則極具多樣性。大多數教師認為低成本、小型機器人教具相對不足，這可能導致在教學實驗和實際操作方面面臨一些限制。

Peter Corke 等人[5] 實施了兩個大規模開放的網路課程 (MOOCs)，分別為昆士蘭科技大學 (QUT) 的機器人學，以及布里斯本大學的機器人視覺課程。每個課程持續六週，包含線上授課、評量、程式設計練習，以及選擇性的機器人實作或視覺系統設計專題。

QUT MOOCs 引入了兩項創新：首先是整合了自動分級的 MATLAB 程式作業；第二是使用自動化程式以評估專題成果。

Houcine Hassan 等人[6] 提出了一種多學科問題學習 (PBL) 導向的機器人手臂雛型系統實作及其控制系統的設計。該研究採用了低成本的機械手臂，教學目標是設計和實作一個包含控制器的完整機器人系統並鼓勵學生將他們設計的機器人與其他學生的機器人進行競爭。

這項研究結合了多學科問題學習的教學方法與實際機器人系統的開發，讓學生在實踐中學習並解決實際問題。學生可以在設計、實作和競爭機器人的過程中，培養解決問題、合作與創新的能力。

José Alberto Naves Cocota 等人[7] 提出機器人教學可以探索工程學習者的多學科、跨領域能力養成。在該論文中，探討了一個六自由度低成本機械手臂的開發教學，以激勵學生結合自動化與控制工程元素與機械工程元素。

Andrea Bonarini 等人[8] 設計並實施了一個短期課程，旨在探討情感機器人的設計。該課程包括兩天密集的簡短介紹課程和實驗室活動，跨學科的設計團隊為學生提供技術和建模的協助，並共同完成一個完善的原型設計。這些學生來自不同背景，但在該課程中高效地合作，從問題設定到整個工作演示，最終實現實體機器人能夠呈現四種不同的情緒狀態。教師對於該課程設計的評價以及來自學生的問卷調查反饋結果都顯示這個教學設計是成功且有用的。此一研究顯示了適切的教學設計得以使學生分享他們的能力來實現共同的目標。

這個課程鼓勵跨學科的團隊合作，讓來自不同領域的學生能夠彼此學習和協作。透過這樣的教學方式，學生不僅能夠學習實際的技術和知識，還能夠發展出解決問題、溝通和協作的的能力。

四、教學設計與規劃 Teaching Planning

本計畫旨在於課程中實踐一套機器人系統設計方法論，使得學習者可以在現有的知識和技能基礎上，節省大量摸索時間以盡快投入到新的研究領域和技術趨勢，並嘗試以此一階層式、模組化的系統設計方法論進行團隊研發，謹慎、完整，且有效率地進行系統整合。

於本計畫中實行教學的系統設計方法論結構如圖 2 所示，其為一套結合機器人系統設計之理論、方法、工具、技術和模型的設計流程。首先使用 IDEF0 技術建立系統的階層模組設計，接著使用由 Petri nets 發展而來的 GRAFCET 模型進行離散事件建模，分別描述其中的步驟 (Step) 和步驟轉移 (Transition)，最後，進行軟/硬體高階合成。基於 GRAFCET 的行為建模，提供了設計者一種更簡潔的工具來表示系統的離散事件，除了可處理典型的順序邏輯，更可以對平行發生的複雜事件邏輯和軟體演算法，快速建立其離散事件模型並進行整合，達到快速系統雛型化的目標。

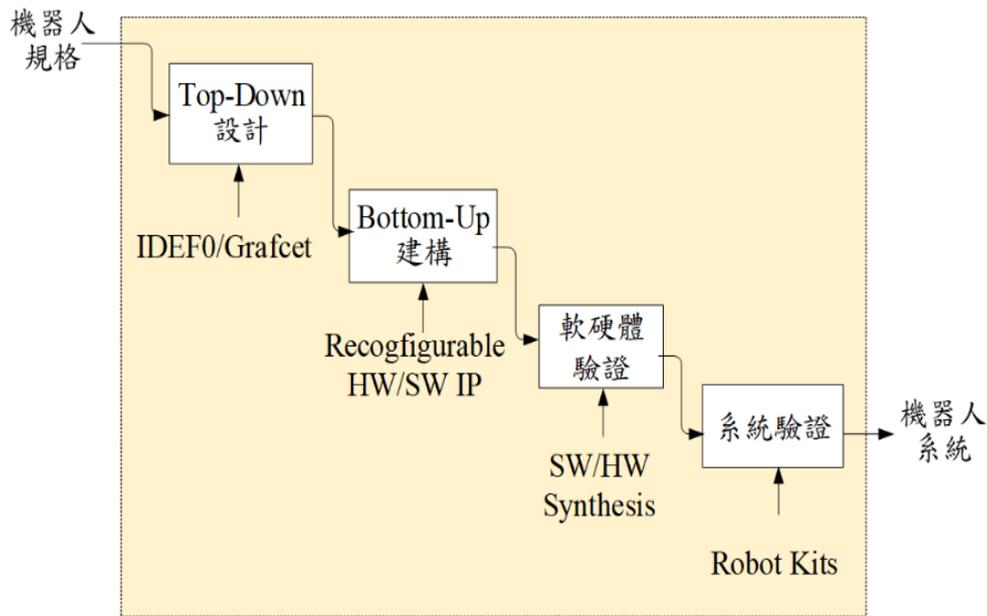


圖 2 機器人系統設計方法論

於課堂中，知識講授、上機實驗、小組討論、專題指導等活動會交互進行，並依照進度動態調整與安排。透過一系列的課程，學習者除了將對機器人的感測、控制、通訊等功能有深入了解，還可充分熟悉系統設計方法論的使用方式與不同的應用場合，藉此培養系統化的設計思考能力及熟悉解決問題方法流程，並得以小組為單位，融合彼此的創意，使用機器人系統設計方法論進行團隊合作開發，於期末時進行成果展示。

規劃之課程內容皆以系統設計方法論之角度切入，課程主題包括以下項目：

- (一) 機器人嵌入式系統
- (二) 機器人通訊模組
- (三) 機器人感測模組
- (四) 機器人控制模組
- (五) 機器人視覺
- (六) 機器人聽覺
- (七) 人工智慧與機器人
- (八) 機器人作業系統
- (九) 機器人中介軟體
- (十) 輪型機器人設計
- (十一) 兩足機器人設計
- (十二) 六足機器人設計
- (十三) 機械手臂設計
- (十四) 機器人作業系統 ROS2
- (十五) ROS2 + SLAM
- (十六) 智慧型 AGV 機器人
- (十七) 期末專題製作
- (十八) 期末專題展示。

五、研究設計與方法 Research Methodology

研究架構如圖 3 所示。本次開設「嵌入式系統設計」課程的授課對象包含資訊工程學系之大學部學生、碩士班學生，以及碩士在職專班學生。大部分學習者皆已具備基礎 C 語言程式設計能力和資料結構、演算法、計算機組織等背景知識，將藉由本課程結合這些知識，進行更深入及專業的技術研發能力訓練。

於課堂中共安排了 8 位課程助教，目的除了協助學習者進行上機實驗、解決學習者的各項問題，並於專題討論過程給予建議外，最主要是希望能同時透過這些互動來觀察學習者的學習成效以檢視當前的教學方式還需進行調整之處。

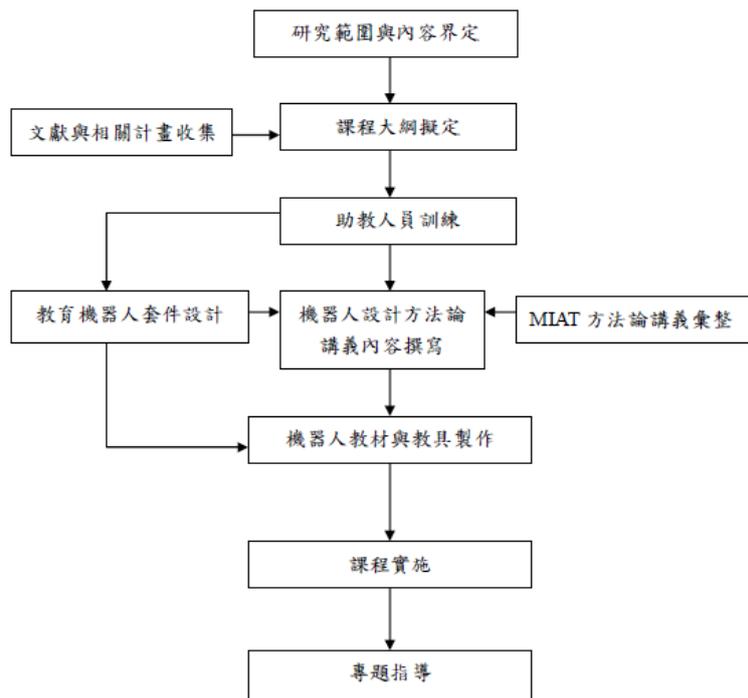


圖 3 研究架構圖

六、教學暨研究成果 Teaching and Research Outcomes

(一) 教學過程與成果

1. 教學過程

本課程主要提供四種機器人平台：輪型機器人、兩足機器人、六足機器人和機械手臂來進行實務導向的機器人設計，教導學習者從硬體組裝、測試、驅動程式開發、到中介軟體使用，以及基於系統設計方法論的應用系統開發練習。其中，輪型機器人如圖 4 所示；兩足機器人如圖 5 所示；六足機器人如圖 6 所示；而機械手臂則如圖 7 所示。



圖 4 輪型機器人

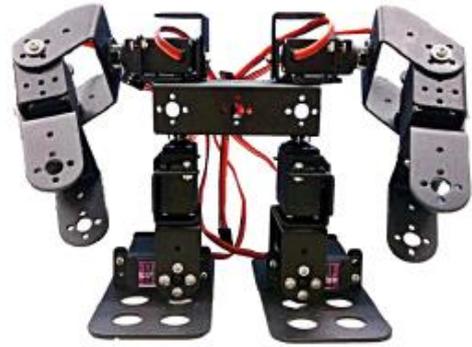


圖 5 兩足機器人

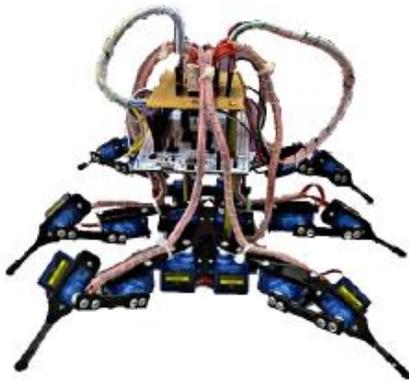


圖 6 六足機器人



圖 7 機械手臂

課堂內容將由知識講授、上機實驗、小組討論和專題指導等活動交互進行，並依照進度調整與安排。其中，知識講授和上機實驗說明的過程皆有進行錄影，於課程結束後會將影片檔案放至平台上供學習者複習。知識講授的進行方式如圖 8 和圖 9 所示；上機實驗的過程如圖 10 所示。另外，小組討論主要分為「上機實驗」和「專題實作」兩個項目，於學期初進行分組後，小組成員將於課堂中協同進行上機實驗操作，過程中可互相討論、解決彼此的疑問，以及發想可能的應用，並以小組為單位於期末共同設計出一項專題。透過這樣的方式，學習的過程便不再只有單方面的「學習」，還包括了個人的「思考」行為，以及團體的「討論」活動，使學習者具備實踐能力、創新思維和團隊精神。

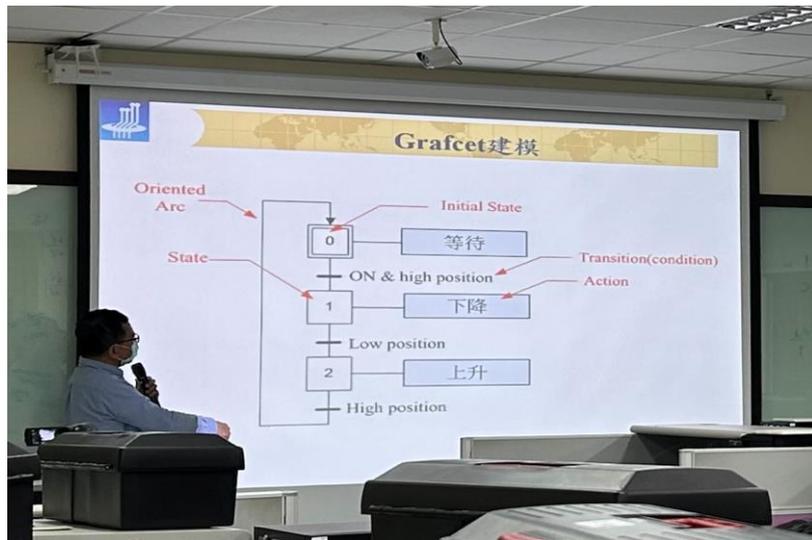


圖 8 講述 GRAFCET 建模範例過程



圖 9 講述軟體合成範例過程



圖 10 領取上機實驗材料過程

2. 教學成果

經由專題指導和上機實驗的過程，可以觀察到經由系統設計方法論，即便每位學習者的興趣和學習經歷有所差異、熟悉的技術領域也不同，對於平時較少接觸的研究領域和新的技術趨勢也都能夠快速投入討論和實作，使得團隊合作開發的過程有效率且十分融洽，於期末時皆有順利完成專題並進行成果展示。

本課程產生了多項團隊合作開發專題，每項專題皆依照系統設計方法論所設計，主題涵蓋之範圍廣泛，於此將透過表格呈現彙整結果，如表 1 所示。

表 1 除了描述各組專題名稱、動機和目的，以及實現方法外，還呈現了經由系統設計方法論第一個步驟——「以 IDEF0 建立系統階層模組設計」所產生的架構圖。於 IDEF0 中，命名的慣例是使用 A0 來表示最上層的系統，其下一階層包含 A1, A2, ..., An；而 A1 和 A2 下的子系統則分別表示為 A11, A12, ..., A1n 以及 A21, A22, ..., A2n，以此類推。

表 1 期末專題成果概述

專題名稱	簡介	A0 架構圖
<p>手勢辨識 LED 交警背心</p>	<p><u>動機和目的：</u> 為了使交通警察在夜晚或陰雨天能更順利指揮，此專旨在交警背心上加裝 LED 燈並使用動態顯示的方式，加強手勢所代表的意義。</p> <p><u>實現方法：</u> 主要分為三個子系統。藉由六軸感測器取得手部揮動時的角度與高度資訊後作為特徵值輸入 PNN 模型預測動作，最後透過 LED 矩陣顯示與手勢對應的圖形。</p>	
<p>貨物分揀系統</p>	<p><u>動機和目的：</u> 科技日新月異，工廠自動化是目前的產業趨勢。此專旨在實作工廠內常用到的物件偵測、貨品辨識等功能，並與機器手臂連動，將辨識 QR code 的功能與 AI 技術做整合，延伸為一項有實際效益的產品。</p> <p><u>實現方法：</u> 主要分為三個子系統。使用雷射測距儀辨識到輸送帶上的物體抵達指定位置後會回傳訊息使輸送帶停止，接著使用鏡頭拍攝照片並將影像傳至伺服器進行 QR code 辨識，而後將結果回傳。最後，機器手臂根據辨識出的類別結果將輸送帶上的物體夾取至指定位置，並在完成夾取動作時回傳訊息以再次啟動輸送帶。</p>	

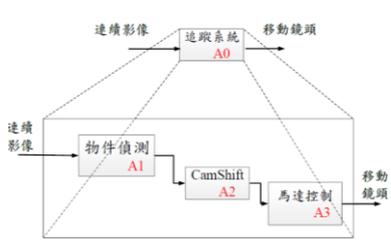
續下頁

表 1 (續) 期末專題成果概述

專題名稱	簡介	A0 架構圖
<p>自動澆花管理系統</p>	<p>動機和目的： 近來流行於辦公室種植綠色植物以增添辦公室氛圍進而提升工作效率；然而，當工作忙碌時，使用者很有可能會疏忽對所栽種物的關注而導致植物枯萎。因此，希望藉由這套系統，不僅能有效監控花草的狀態，還能以其中的自動化管理功能對植栽達到全方位的照顧。</p> <p>實現方法： 主要分為三個子系統。運用水位感測器和土壤溼度感測器分別獲取資訊後，會將數據儲存並傳送到 APP，讓使用者可隨時觀察植栽的狀態；同時，也會進行數據的判斷，使灑水器於需要時啟動。</p>	
<p>空氣品質與心律監測系統</p>	<p>動機和目的： 空氣污染對健康的潛在影響有很多，從身體裡細微的生理變化，至明顯的病徵如鼻子及喉嚨痕癢、氣喘、咳嗽、胸痛或胸悶等。因此，此專題旨在結合心律脈搏感測器與空污感測器模組，讓使用者能同時監測個人健康指標和居家環境品質，為健康把關。</p> <p>實現方法： 主要分為四個子系統。透過心律脈搏感測器與粉塵感測器分別獲得心跳血氧和空氣品質的資訊後，除了會將數據以圖表的方式呈現於 LCD 顯示器上，還會在心律異常或室內環境超過安全範圍時經由 Line Notify 傳送通知，以便使用者採取適當的行動。</p>	
<p>機械手臂之自動測距辨色系統</p>	<p>動機和目的： 在近代工業中，機械手臂已被廣泛應用。在實作課程中接觸到的範例是偵測手臂前方一固定距離之物體，並將之夾起，但是大部分的物體通常不會固定放置在一個確切位置上。因此此專題旨在實作一個會根據距離遠近改變機械手臂角度以夾取物體，並依物體顏色將物體分類的應用。</p> <p>實現方法： 主要分為三個子系統。使用超音波感測器測量與目標物體之距離後，將計算出各馬達所需轉動之角度數值。抓取物體後，會將物體放置於 RGB 感測器前方以感測物體顏色，接著根據顏色將物體放置於對應的區域。</p>	

續下頁

表 1 (續) 期末專題成果概述

專題名稱	簡介	A0 架構圖
兩軸追蹤系統	<p><u>動機和目的：</u> 在教學場合中常會藉由錄影留下課堂紀錄，讓學習者可重播複習；然而，攝影機通常只能定點攝影，若在講師移動到某些角度時，沒有人跟著調整攝影機的拍攝方向，就容易使影片不清楚，無法發揮最大的效果。因此，此專題希望能設計一套不需要人為操作即可自動對目標進行鎖定跟蹤的追蹤系統，使得拍攝都能呈現最好的效果。</p> <p><u>實現方法：</u> 主要分為三個子系統。使用攝影機利用背景建模的方式偵測出物體位置後，會利用 CamShift 演算法進行物件追蹤，並利用 PWM 的方式控制兩軸控制器調整方向。</p>	

(二) 教師教學反思

考量到部分學習者較不敢舉手發言或主動向教學團隊發問，於本次課程中我們特地在每節課固定的分組專題討論時間中，安排部分時間進行專題指導，由全體教學團隊至每組輔導各組的專題進行，主動為題目提出更多延伸建議並詢問學習者遇到的困難點。透過這樣的互動模式，每週都可以明顯感受到學習者思考和解決問題能力的提升，也觀察到學習者漸漸地能更勇於表達自身的想法，課程進展越來越順利。

(三) 學生學習回饋

附件一為針對課程所設計的滿意度問卷調查結果，此問卷為一不記名問卷，填答對象為參與本課程之 31 名學習者。問卷的設計方向主要是希望能對於「學習資源是否足夠並能有效幫助學習者？」、「遇到問題時是否有意願解決且擁有尋求幫助的管道？」、「團隊合作之氛圍與學習效果」、「教學方式與效果」、「教學態度」、「對課程之心得與建議」這幾個大項目進行分析，以理解本課程於各方面的成效並致力於改善未來課程的內容和教學方式。由問卷調查結果顯示，在以 5 分表示非常同意、1 分表示非常不同意的的情況下，各個項目的平均結果皆達到 4 分，整體來說，學習者對各項敘述表示同意。而附件二則為學習者課程心得與建議之統整結果。

七、建議與省思 Recommendations and Reflections

依據問卷調查結果對各大項目進行省思與分析，在「學習資源是否足夠並能有效幫助學習者？」大項中，平均結果為 4.15 分。參考其中細項，研判線上資源的使用率可能還是會受到每位學習者不同的學習習慣影響，目前可知會進行課程預習的人數略低於會進行課程複習的人數，未來若除了課程影片外可多提供一些練習題目等課後學習資源，或許能讓學習者的課後複習更有效果。而「遇到問題時是否有意願解決且擁有尋求幫助的管道？」大項的平均結果為 4.42 分，結果顯示九成以上的學習者對課程投入，且抱持積極、負責任的態度，在遇

到問題時願意面對並設法解決，也同時證實了教學團隊提供的溝通管道能給予學習者相當程度的幫助。另外，「團隊合作之氛圍與學習效果」大項的平均結果為 4.21 分，顯示大部分學習者樂於參與課堂，且課程活動有助於培養團隊意識。「教學方式與效果」和「教學態度」兩大項的平均結果則分別為 4.49 和 4.60 分，顯示學習者對課程滿意且認為課程安排適當，透過課程受益良多；此外，也認同教學團隊認真、有耐心，讓學習的過程得以順利進行。最後，在「對課程之心得與建議」中，多數學習者表示機器人的實驗有趣、實用，對於系統設計方法論感到有興趣且認同此方法論能為團隊開發提升效率。

為解決對未來智慧製造趨勢所需人才培育不足的問題，本計畫以機器人系統設計方法論為教學核心理念，幫助學習者逐步提升其架構設計能力和解決複雜系統問題的能力，並同時以培養學習者團隊協作開發的精神為目標。經由本學期的課程，我們確實看見大多數學習者對於這樣結構化和模組化的設計方法接受度很高，並透過期末專題的成果驗證了此套系統設計方法論在團隊協作時帶來的好處。未來我們的教學團隊也會繼續保持初衷，致力於培養具備創新思維和實踐能力的機器人領域專業人才，為產業發展做出積極貢獻。

参考文献 References

- [1] P. D. Cristoforis, S. Pedre, M. Nitsche, T. Fischer, F. Pessacq, and C. D. Pietro, "A Behavior-Based Approach for Educational Robotics Activities," *IEEE Transactions on Education*, vol. 56, no. 1, pp. 61-66, 2013.
- [2] C. A. Berry, S. L. Remy, and T. E. Rogers, "Robotics for All Ages: A Standard Robotics Curriculum for K-16," *IEEE Robotics & Automation Magazine*, vol. 23, no. 2, pp. 40-46, 2016.
- [3] T. Bower, "Teaching Introductory Robotics Programming: Learning to Program with National Instruments' LabVIEW," *IEEE Robotics & Automation Magazine*, vol. 23, no. 2, pp. 67-73, 2016.
- [4] J. M. Esposito, "The State of Robotics Education: Proposed Goals for Positively Transforming Robotics Education at Postsecondary Institutions," *IEEE Robotics & Automation Magazine*, vol. 24, no. 3, pp. 157-164, 2017.
- [5] P. Corke, E. Greener, and R. Philip, "An Innovative Educational Change: Massive Open Online Courses in Robotics and Robotic Vision," *IEEE Robotics & Automation Magazine*, vol. 23, no. 2, pp. 81-89, 2016.
- [6] H. Hassan, C. Dominguez, J.-M. Martinez, A. Perles, J.-V. Capella, and J. Albaladejo, "A Multidisciplinary PBL Robot Control Project in Automation and Electronic Engineering," *IEEE Transactions on Education*, vol. 58, no. 3, pp. 167-172, 2015.
- [7] J. A. N. Cocota, T. D'Angelo, and P. M. de Barros Monteiro, "A Project-Based Learning Experience in the Teaching of Robotics," *IEEE Revista Iberoamericana de Tecnologías del Aprendizaje*, vol. 10, no. 4, pp. 302-309, 2015.
- [8] A. Bonarini and M. Romero, "Robotics and Design: An Interdisciplinary Crash Course," *IEEE Transactions on Education*, vol. 56, no. 1, pp. 110-115, 2013.

附件 Appendix

附件一 課程滿意度問卷調查結果

敘述	非常同意 (5)	同意 (4)	無意見 (3)	不同意 (2)	非常不同意 (1)	平均值
學習資源是否足夠並能有效幫助學習者？						大項平均值：4.15
1. 在課堂之前，我會透過已事先上傳至平台的教材進行預習。	6 (19.35%)	19 (61.30%)	6 (19.35%)	0 (0.00%)	0 (0.00%)	4.00
2. 平台上每週課程的錄影檔案，有助於我達成課後複習的目的。	13 (41.94%)	14 (45.16%)	4 (12.90%)	0 (0.00%)	0 (0.00%)	4.29
遇到問題時是否有意願解決且擁有尋求幫助的管道？						大項平均值：4.42
3. 在這門課有概念不清楚或不懂的地方，我會想辦法找到答案。	14 (45.16%)	15 (48.39%)	2 (6.45%)	0 (0.00%)	0 (0.00%)	4.39
4. 當我遇到問題時，我會向老師或助教尋求幫助。	17 (54.84%)	11 (35.48%)	3 (9.68%)	0 (0.00%)	0 (0.00%)	4.45
團隊合作之氛圍與學習效果						大項平均值：4.21
5. 我會與同學溝通，了解自己的工作及為團隊做出貢獻。	13 (41.94%)	14 (45.16%)	4 (12.90%)	0 (0.00%)	0 (0.00%)	4.29
6. 每週進行小組討論時，我與同學進行討論的過程是愉快且順利的。	8 (25.81%)	19 (61.29%)	4 (12.90%)	0 (0.00%)	0 (0.00%)	4.13
教學方式與效果						大項平均值：4.49
7. 每週跟著老師的進度進行學習，這個步調是適合我的。	16 (51.61%)	13 (41.94%)	2 (6.45%)	0 (0.00%)	0 (0.00%)	4.45
8. 這個課程使我獲益良多。	18 (58.07%)	11 (35.48%)	2 (6.45%)	0 (0.00%)	0 (0.00%)	4.52
教學態度						大項平均值：4.60
9. 老師講課細心，有助於我吸收知識。	19 (61.29%)	11 (35.48%)	1 (3.23%)	0 (0.00%)	0 (0.00%)	4.58
10. 助教總是耐心協助，讓我能更輕易地跟上課程進度。	20 (64.52%)	10 (32.26%)	1 (3.22%)	0 (0.00%)	0 (0.00%)	4.61

附件二 學習者課程心得與建議之統整結果

讚👍
老師和助教都很關心專題的進度，給我們很多建議和幫助！
課程中的實驗都很實用
讚👍希望可以再修老師的課
老師教得很好，助教也幫助我非常多~
課程很好玩，助教人超 nice
收穫滿滿
老師教學很用心
課程教學有足夠的深度和廣度，再加上一定數量的實作，很明顯能感覺到自己在進步
機器人好好玩，課程很有趣也很實用~(*'▽'*)
第一次接觸到這樣的系統設計方法論，好酷！
第一次體會到團體合作開發原來可以那麼有效率~
在課程中收穫很多，教授在授課過程很仔細
很棒
助教非常用心！推推
課程好好玩，學到很多東西
每次都期待上機實驗，很好玩！
課堂上學到很多東西，也謝謝助教在課堂中的幫助
課堂真有趣，下次還想修老師的課
課程龐雜困難，不太容易學習，但老師跟助教都很願意解答問題
這學期學到很多，選這堂課真是選對了~
學習到很多，老師跟助教都很有耐心地給予幫助
助教人很好
課程很實用~
有問題的時候助教都很樂意幫忙
有時候上機實驗做得比較慢，雖然都已經下課了助教們還是會很有耐心協助我們，人超好~
這門課學習到很多機器人控制相關的知識以及實作經驗非常有用
助教人超好!!!
雖然課程氣氛很輕鬆，但內容很扎實，學到了很多以前從未接觸過的東西，收穫滿滿。
good
第一次有這樣可以實作機器人控制的機會，很開心，每次都期待當週的內容！