# 臺東大學綠色科學學刊

**第十五卷第一期　2025 年 05 月刊**
**實際刊登日期：2026 年 03 月 25 日**

發 行 人：　鄭憲宗 國立臺東大學 校長

主　　編：　胡焯淳 國立臺東大學理工學院 院長

副 主 編：　賴盈勳 國立臺東大學資訊工程學系 教授

校內編委：　陳孟炬 國立臺東大學應用科學系 副教授
吳慶堂 國立臺東大學應用數學系 教授
賴盈勳 國立臺東大學資訊工程學系 教授
黃協弘 國立臺東大學資訊管理學系 教授
林志輝 國立臺東大學生命科學系 副教授
朱力民 國立臺東大學綠能與資訊科技學系 教授
楊繼江 國立臺東大學生物醫學碩士學位學程 教授

執行編輯：　吳亦軒 資訊工程學系 助理教授
方培文 理工學院行政助理

出 版 者：國立臺東大學綠色科學學刊編輯委員　地　　址：95092 臺東市大學路二段 369 號
電　　話：089-318855 轉 6001　E-MAIL：greenscience@nttu.edu.tw

經銷編印：國立臺東大學理工學院　帳號：0390713060006
電話：089-318855 轉 6001　銀行：合作金庫商業銀行台東分行
戶名：國立臺東大學校務基金 401 專戶
(完成匯款後，請備註單位、姓名，回傳繳費收據至 089-517509，以利查核)

定　　價：單冊新臺幣 300 元
一年二期個人：新臺幣 600 元；機構：新臺幣 1200 元(均含郵資)

GPN：2010002853　　ISSN：2223-6961

(版權所有，轉載刊登本刊文章需先獲得本刊同意，翻印必究)

# 目 錄


智慧型人臉與行為辨識系統
/ 沈宏勳、鄒博森、黃士熏、柯信汶、陳明僑*..... 1

臺東縣中、高齡民眾醫療可近性、醫療品質與服務、 醫療滿意度及醫療忠誠度之研究 / 童岫瑜、林育珊*..... 19

國中運算思維與程式邏輯課程對學習動機與滿意度之影響
/ 温廷宇*、鄭國明..... 37

影片教學對國小學童動物保護認知、態度與行為之影響－以「同居人是貓」為例
/ 馬念痕*..... 49

發酵萃取物對卵巢切除誘導骨質疏鬆之預防潛力評估：以小鼠模型為例
/ 傅建堯、黃書菙*..... 79

融合注意力機制與視覺特徵之視網膜病變自動分級研究
/ 黃彥皓*、陳漢成..... 89

基於強化學習之無人機飛行控制
/ 黃彥皓*、任境梧、董祐聖、吳柏慶、甯勇捷..... 99

開發共軛焦顯微光譜系統用於微米有機發光材料螢光分析
/ 王順發*..... 111

IC 晶片散熱裝置同步封裝製程之模流分析
/ 蘇芳儀、蘇柏安、蘇柏翰、謝銘哲、鍾朝旭、朱力民*... 125

運用生成式人工智慧技術導入互動式擴增實境室內設計系統
/ 張耀中，胡修銘，李振偉，賴盈勳*..... 141

探討行動程式應用輔助原住民族語言學習研究之成效
/ 陳世曄，鄞少君，賴盈勳*..... 152

國立臺東大學在積體電路設計教育創新與實踐之研究
/ 曾志隆..... 163

影像類別與分類模型之適配度與效率分析 / 陳鈺儒、高韓英*..... 175

論以中醫五行生剋理論建立五臟功能運行的數學模型
/楊義清*，林志銘，陳耀煌..... 211

應用美洲獅演算法實現動力電池之實時參數最佳化
/呂宛岭、高崇銘、陳柔彣、王清安、劉恩睿*..... 219

# Contents

**Intelligent Face and Behavior Recognition System**
/ Hung-Shiun Shen, Po-Sen Tsou, Shih-Hsun Huang, Xin-Wen Ke, Ming-Chiao Chen*…. **1**

**The Relationship among Medical Accessibility, Medical Quality and Service, Medical Satisfaction, and Medical Loyalty towards Middle-aged and Older People in Taitung County** / Hsiu-Yu Tung, Yu-Shan Lin*……..... **19**

**The Impact of Computational Thinking and Programming Logic Curriculum on Junior High School Students Learning Motivation and Satisfaction**
/ Ting-Yu Wen* , Guo Ming Jeng..... **37**

**The Influences of Video Tutorial on Elementary School Students' Cognition, Attitude and Behavior of Animal Protection - Taking "My Roommate is a Cat" for Example**
/ Nien-Hen Ma……..... **49**

**Evaluation of Fermented Extracts in the Prevention of Osteoporosis Using an Ovariectomized Mouse Model** / Chien-Yao Fu, Shu-Wei Huang*…… **79**

**Automated Retinal Disease Grading Based on the Integration of Attention Mechanisms and Visual Features** / Yan-Hao Huang*, Han-Cheng Chen…… **89**

**Drone Motion Control Based on Reinforcement Learning**
/ Yan-Hao Huang*, Ching-Wu Jen, Yo-Sheng Tung, Bo-Cing Wu, Yong-Jie Ning.... **99**

**Invention of Confocal Microspectroscopic System for Fluorescence Analysis of Microscale Organic Materials** / Shun-Fa Wang*…… **111**

**Mold Flow Analysis for Synchronous Packaging Process of IC Chip Heat Dissipation Device** / Fang-Yi Su、Bo-An Su、Bo-Han Su、Ming-Jer Hsieh、Chao-Hsu Chung、Li-Ming Chu*…… **125**

**Applying Generative Artificial Intelligence for Interactive Augmented Reality Interior Design System**
/ Yao-Chung Chang, Hu- Hsiu Ming, Li- ChenWei, Ying-Hsun Lai*…. **141**

**A Study on the Effectiveness of Mobile Applications in Supporting Indigenous Language Learning** / Shih-Yeh Chen, Shao-Chun Yin, Ying-Hsun Lai*…… **152**

**A Study on Innovation and Implementation in Integrated Circuit Design Education at National Taitung University** / Chih-Lung Tseng*…… **163**

**Compatibility and efficiency analysis between image categories and classification models** / Yu-Ru Chen, Han-Ying Kao*…… **175**

**Constructing a Mathematical Model for Zang Organ Function Based on Wu Xing Generation and Control Theory in Traditional Chinese Medicine**
/ I-Ching Yang*, Chih-Ming Lin, and Yaw-Hwang Chen…… **211**

**Real-Time Parameter Optimization of Power Batteries Using Puma Optimizer**
/ Wan-Ling Lu, Chung-Ming Kao, Rou-Wen Chen, Qing-An Wang and En-Jui Liu*.... **219**

# 智慧型人臉與行為辨識系統

沈宏勳 、鄒博森 、黃士熏 、柯信汶 、陳明僑*

## 摘要

近年來，人工智慧技術與雲端運算的蓬勃發展，已成為各行各業提升效率與創新能力的關鍵驅動力。智慧型人臉與行為辨識系統的應用範圍越來越廣泛，包括監控、健康管理及自動化流程等領域。本研究實作一套智慧型人臉與行為辨識系統，提供有效的解決方案來管理人員進出及行為記錄。本系統結合了 YOLO 模型的物件偵測技術、MediaPipe 骨架識別以及 AWS 雲端系統所提供的人臉辨識服務，實現了多層次的行為辨識系統。透過 MediaPipe 系統，能夠準確捕捉人體骨架資訊，並計算特定角度以進一步分析行為模式；而 AWS 人臉辨識功能則用於確保實驗室人員身份辨識的精確性，提供高效的進出記錄。這些技術的整合，使系統能以簡單、實用且具有擴展性的方式，達成高度自動化的行為分析。此外，本系統附有直觀的前端網頁介面，能展示經處理的影片，並提供統計圖表來呈現人員與行為的綜合數據分析；此介面讓使用者能快速檢視實驗室活動，進一步提升管理效率與安全性。

**關鍵字:** 人臉辨識、行為辨識、雲端運算、人物追蹤。

沈宏勳，國立臺東大學資訊工程學系學生。Email: 11011271@gm.nttu.edu.tw
鄒博森，國立臺東大學資訊工程學系學生。Email: 11011236@gm.nttu.edu.tw
黃士熏，國立臺東大學資訊工程學系學生。Email: 11011248@gm.nttu.edu.tw
柯信汶，國立臺東大學應用數學系學生。Email: 11004132@gm.nttu.edu.tw
陳明僑(通訊作者)，國立臺東大學資訊工程學系助理教授。E-mail: joechen@nttu.edu.tw

# Intelligent Face and Behavior Recognition System

Hung-Shiun Shen , Po-Sen Tsou , Shih-Hsun Huang , Xin-Wen Ke , Ming-Chiao Chen*

## Abstract

In recent years, the rapid development of artificial intelligence and cloud computing has been a key driver of efficiency and innovation across various industries. Intelligent facial and behavior recognition systems have seen widespread applications in areas such as surveillance, health management, and automation. This paper presents the implementation of an intelligent facial and behavior recognition system designed to effectively manage personnel access and behavior records. The system integrates object detection using the YOLO model, skeleton recognition vis MediaPipe, and facial recognition services provided by AWS Cloud, forming a multi-level behavior recognition system. Through MediaPipe, the system accurately captures skeletal information and calculates specific angles to analyze behavior patterns. Meanwhile, AWS facial recognition ensures precise identification of laboratory personnel, streamlining access control and record-keeping. By integrating these technologies, the system enables highly automated behavior analysis in a simple, practical, and scalable manner. Additionally, it features an intuitive web-based front-end that displays processed videos and statistical charts, providing a comprehensive analysis of personnel activities and behaviors. This interface enables users to efficiently review laboratory activities, further enhancing management effectiveness and security.

**Keywords:** Facial Recognition, Behavior Recognition, Cloud Computing, Human Tracking

Hung-Shiun Shen, Undergraduate Student, Department of Computer Science and Information Engineering, National Taitung University. E-mail: 11011271@gm.nttu.edu.tw

Po-Sen Tsou, Undergraduate Student, Department of Computer Science and Information Engineering, National Taitung University. E-mail: 11011236@gm.nttu.edu.tw

Shih-Hsun Huang, Undergraduate Student, Department of Computer Science and Information Engineering, National Taitung University. E-mail: 11011248@gm.nttu.edu.tw

Xin-Wen Ke, Undergraduate Student, Department of Applied Mathematics, National Taitung University. E-mail: 11004132@gm.nttu.edu.tw

Ming-Chiao Chen (Corresponding Author), Assistant Professor, Department of Computer Science and Information Engineering, National Taitung University. E-mail: joechen@nttu.edu.tw

# 壹、前言

隨著人工智慧技術的迅速發展，其應用範圍已廣泛涵蓋日常生活與產業領域，包括監控系統、自動化管理及智慧城市建設等。在實驗室環境中，如何有效監控人員進出及分析行為模式，成為提升管理效率與安全性的重要課題。然而，許多現有解決方案對硬體資源與技術門檻的需求較高，使得小型實驗室難以負擔，進而限制了技術的普及化應用。

本研究的動機源於希望為實驗室提供一套成本較低且易於部署的智慧型人臉與行為辨識系統。透過結合現成的人工智慧工具與雲端服務，例如 YOLO 的物件偵測技術、MediaPipe 骨架識別及 AWS 的人臉辨識服務，實現高效的行為與身份辨識功能。

為了讓管理者能即時了解實驗室的運作狀況，本系統設計了一個直觀的前端使用者介面，用於展示經處理的影像及統計分析數據。此設計不僅降低了技術使用門檻，也提升了系統的實用性與可擴展性。藉此研究，我們希望探索如何在資源有限的情況下，透過整合現有技術，實現一套符合實際需求的智慧型監控系統，並為小型機構的智慧管理提供具體參考。

# 貳、文獻探討

## 一、目標檢測與追蹤

Zhang Y.等人(Zhang et al., 2021)在其研究中提出了 ByteTrack，一種專注於提高多目標追蹤精度的算法。其核心是通過匈牙利演算法(Hungarian Algorithm)匹配檢測框與追蹤 ID，即在物體追蹤中，將追蹤框與物體關聯起來。實現跨幀目標的連續追蹤。該算法的核心創新在於對每個檢測框進行關聯，即便是那些具有較低信任度的檢測框也被納入考慮，從而大幅提升了追蹤的穩定性和準確性。特別是在擁擠場景中，ByteTrack 能有效區分重疊對象，為目標的長期追蹤提供了支持。這對本研究的目標追蹤模組有重要啟示，特別是在使用 MediaPipe 進行骨架提取時，軌跡的穩定性可以直接影響行為辨識的準確性。

Redmon J.等人(Redmon et al., 2015)則提出了 YOLO (You Only Look Once)演算法，這是一種將目標檢測視為迴歸問題的創新方法。YOLO 將整個圖像劃分為網格，直接預測每個網格中物體的位置與類別。與傳統 R-CNN 系列方法相比，YOLO 透過單一卷積神經網路 (CNN) 完成端到端學習，不需經過候選區域生成步驟，大幅提高了目標檢測的速度與效率。YOLO 的主要貢獻包括其簡單高效的結構和出色的實時檢測能力。例如，其全卷積網路 (Fully Convolutional Network, FCN) 能處理任意大小的圖像，並靈活應對不同尺寸的物體。此外，YOLO 的損失函數設計進一步提升了預測框的定位精度，這對於行為辨識中需要高精度骨架數據的應用場景尤為重要。

在本研究中，採用了 Huang A.等人(Huang et al., 2023)提出的 YOLOv8 做為目標檢測模型，專為實時應用場景設計。相比於之前的版本，YOLOv8 在速度和準確性方面均有顯著提升，尤其是在複雜場景下對小型物體的檢測能力得到了加強。該模型的改進主要包括更高效的特徵提取網路和優化的損失函數，使其在推理速度上達到了與同類方法的領先水平。本研究中，YOLOv8 作為目標檢測模組的核心技術，不僅提供了穩定的檢測輸出，還為後續的追蹤和骨架提取提供了準確的輸入數據。

## 二、骨架提取

Bazarevsky V.等人(Bazarevsky et al., 2020)提出的 BlazePose 架構，是 Mediapipe 框架中的一個組件，一種針對移動設備優化的人體姿態估計方法。隨著智能設備的普及，對於即時、精確的姿態檢測需求不斷增長，尤其是在健康監測、運動分析、虛擬現實（VR）等領域。然而，傳統的姿態估計方法大多依賴於高性能的伺服器端處理，並且要求較高的計算資源，這使得它們難以在移動設備上實現。因此，BlazePose 的提出便是為了解決這一挑戰，並提供一種高效、輕量級的即時人體姿態檢測解決方案。BlazePose 引入了多階段的推理架構，旨在平衡計算效率和準確性。該架構首先使用一個輕量級的姿勢區域檢測器來快速確定人體所在的位置，這樣可以大幅減少後續處理的計算負擔。接下來，BlazePose 利用深度神經網絡進行關鍵點迴歸，精確地預測出人體的 33 個關鍵點，如**圖 1**，這比傳統的 17 點姿態估計提供了更高的細節，從而提升了姿態檢測的準確性。

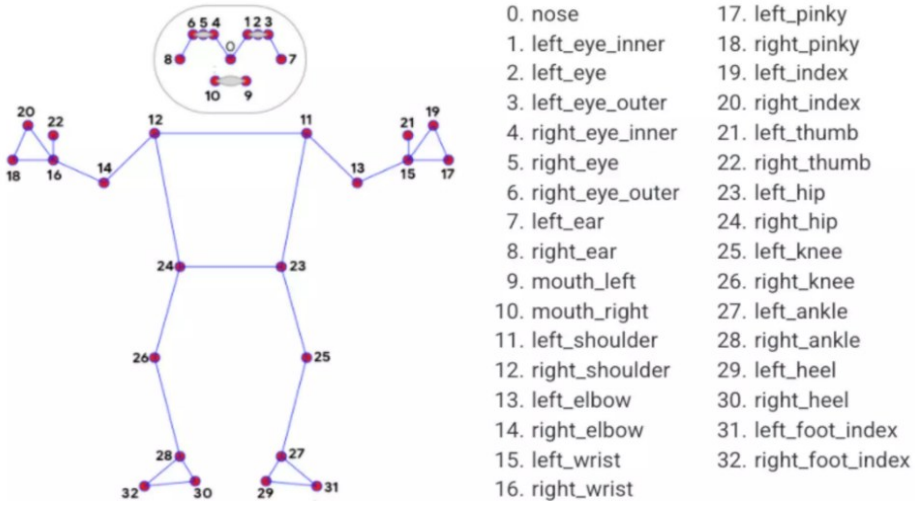



**圖 1** BlazePose 骨架節點(Bazarevsky et al., 2020)

## 三、行為辨識方法

Schlegel K.等人(Schlegel et al., 2024)提出了一種基於關節角度的行為辨識方法。該方法依托於人體骨架的結構，通過計算人體各關節之間的相對角度來提取動作特徵。

透過計算人體骨架中各關節之間的角度，這些角度特徵不僅可以準確反映出每個關節的運動範圍，還能夠捕捉到全身的動作模式。具體而言，這些角度是通過向量內積來計算的，這樣可以減少因攝影機視角變化而造成的影響，從而提高辨識準確性。人體行為往往具有強烈的時序性。為了有效捕捉行為中的時間依賴關係，作者選擇了長短期記憶網絡（LSTM）來建模時間序列特徵。LSTM 能夠捕捉長期依賴關係，對於行為辨識尤其重要，因為許多行為（如走路、跑步等）需要在時間上進行長時間的跟蹤和分析。在特徵提取後，作者使用多層感知機（MLP）作為分類器來區分不同的行為類型。該分類器對於提取出的角度特徵進行學習，並最終完成動作的識別。

Sengar S.等人(Sengar et al., 2024)提出了一種基於 MediaPipe 的高效人體姿態估計方法，專注於解決實時應用中因快速運動和遮擋而引起的準確性與效率問題。他們開發了一種多層次卷積神經網路(CNN)模型，結合角度計算與空間關聯性，提升了人體標誌點的準確性與穩定性。此外，針對遮擋情境，他們採用先驗知識和時序信息推測關鍵點位置，改善了模型的穩健性。其研究著重在肩膀和肘部的關鍵點，姿勢估計管道計算三個關鍵點之間的角度，分別為肩膀、肘部和手腕。使用反正切函數計算角度，所得角度從弧度轉換為度數以便進一步分析。該研究的模型可基於人體的解剖結構，將未遮擋的關鍵點作為參考，推測遮擋關鍵點的可能位置。例如，若肩膀和肘部的關鍵點已知，則可以根據人體幾何推測手腕的位置。在計算效率方面，作者對模型進行輕量化優化，使其能夠在嵌入式和移動設備上以低延遲運行。實驗結果顯示，該方法在動態場景下的平均誤差比傳統方法降低 15%，並提升了處理速度。此研究在人體姿態估計的準確性方面取得了顯著的進步，與現有解決方案相比，交並比 (IoU) 指標提高了 20%。此外，這些增強功能還使處理時間減少了約 30%，證實了整合到 MediaPipe 框架中的最佳化的有效性。這些進步有助於在需要即時數據處理的領域提供更靈敏和更精確的應用程式。

## 參、研究方法

如**圖 2** 的系統架構圖所示，本研究將系統主要分四個子系統，包括：管理介面、人臉辨識、行為辨識以及資料管理，管理介面用於查看及查詢影片紀錄，人臉辨識與行為辨識部分將影片處理，並將結果存入資料庫。以下將對系統的功能和實施方法進行詳盡的描述。

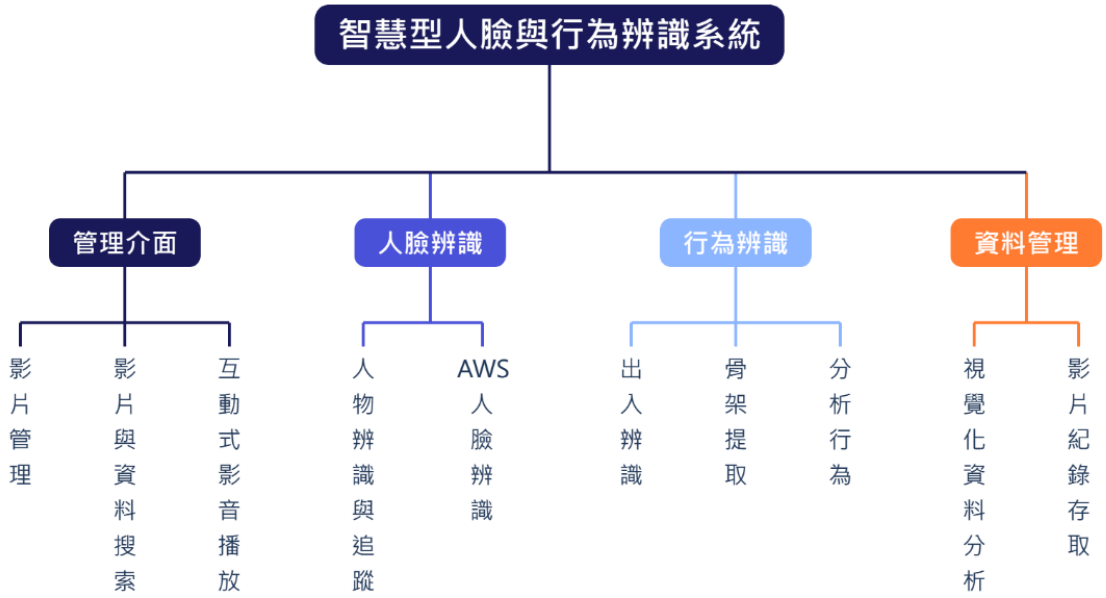



**圖 2** 系統架構圖

## 一、管理介面

本研究採用現代化網頁開發技術與方法論進行系統實作。在前端技術選擇上，採用 Alpine.js 作為核心框架，主要用於處理前端狀態管理和響應式更新，此框架的選擇基於其輕量級特性和優秀的性能表現。介面設計方面使用 Tailwind CSS 框架，通過其原子化的 CSS 類實現響應式設計，確保系統在不同設備上都能提供一致的使用體驗。

在後端技術架構上，選用 PHP 作為主要的伺服器端程式語言，透過實作 RESTful API 架構實現前後端的數據交互。數據存儲採用混合式架構，使用檔案系統管理影片資源，同時通過 JSON 格式存儲行為識別結果和系統配置信息。系統監控模組則採用即時數據收集和分析方法，實現對 CPU 使用率、記憶體使用情況和硬碟空間的動態監控。

功能實現方面，影片管理模組採用分層設計 pattern，實作包含檔案處理層、業務邏輯層和展示層。其中，檔案處理層負責處理影片上傳、存儲和格式驗證；業務邏輯層處理影片分類、標記和管理；展示層則提供直觀的使用者介面。行為識別模組採用事件驅動架構，通過非同步處理方式實現識別結果的即時更新和展示。為確保系統安全性，實作了完整的訪問控制機制，包括 Session 管理、權限控制和安全令牌驗證，同時對檔案上傳和存儲進行嚴格的安全控制。

系統優化方面採用多層次策略，包括前端資源延遲加載、後端快取機制實現、以及資料庫查詢優化等方法。通過這些技術的整合應用，成功建構了一個高效能、易維護且安全可靠的智慧型影像分析系統。此外，為確保系統的可維護性，實作了完整的日誌記錄和系統診斷機制，便於系統的持續維護和優化。

(一)影片管理

本研究設計了一套完整的影片管理機制，採用雙軌分類方法來處理影片資料。系統建立兩個主要資料夾，分別存放原始影片(videos/)和已處理影片(pre_videos/)，並提供狀態標記功能使影片可在這兩個分類間轉移。為確保系統安全性與效能，影片上傳機制整合了多項驗證功能，包含檔案類型驗證、安全性檢查，以及自動化的檔案權限設定。特別在檔案命名方面，採用時間戳記命名規則，有效提升檔案管理效率。

(二)影片與資料搜索

搜索功能的實作著重於多維度資料整合，建立了三種主要的搜索機制。首先是時間範圍搜索，支援精確至分鐘的時間區間篩選，可同時搜尋原始和已處理的影片檔案。其次在行為辨識搜索方面，系統整合了行為記錄檔中的 JSON 資料，能夠根據特定行為類型（如 Standing、Sitting 等）進行篩選。第三是人臉辨識搜索，除了支援已知人名的搜索外，也包含未知人員的篩選功能，並提供進出事件類型的分類搜索,搜索結果中更整合了辨識信心度資訊,提供更精確的資料參考。

(三)互動式影音播放

在播放器的實作上，我們整合了多項互動控制功能以提升使用體驗。播放控制除了基本的播放/暫停功能外，特別加入了 10 秒快進/倒退功能，並支援 0.5x 至 2.0x 的播放速度調整。為提高操作便利性，系統實作了鍵盤快捷鍵功能，包含空白鍵控制播放/暫停，以及左右方向鍵控制影片進度。在播放資訊顯示方面，即時顯示當前播放時間、總時長等資訊，並支援影片時間戳記的顯示。另外，也額外設計點選撥放功能，提供使用者點選影片行為發生時間點，並觀看該時間點的影片片段。特別考慮到跨裝置使用需求，播放器支援自適應縮放，確保在不同螢幕尺寸下都能維持良好的顯示效果。

## 二、人臉辨識

本系統實作了一個人臉辨識與追蹤方法，其流程如**圖 3**。首先，在人臉偵測上本系統採用了 YOLOv8n-face 模型作為人臉檢測器，它能夠快速準確地定位影片中偵測到的人臉區域。在偵測到人臉後，輸出一組矩形框，標識出圖像中存在的人臉位置，這些矩形框由兩組座標(x1, y1)，(x2, y2)來表示，並將擷取出的人臉傳至 AWS Rekognition 進行人臉辨識，再將人臉辨識的結果視為唯一 ID，再使用 ByteTrack 進行持續追蹤。

**圖 3** 人臉辨識與追蹤流程

(一)人物辨識與追蹤

人物辨識與追蹤分別由 YOLOv8 和 ByteTrack 組成，這兩部分的整合實現了從目標檢測到多幀追蹤的完整流程，適合用於多目標監控與行為分析的應用場景。

YOLOv8 是系統中的物件檢測模組，其主要任務是檢測每一幀畫面中的所有物體，並對其進行分類與定位。在系統中，YOLOv8 被初始化為一個專門負責人物檢測的模型，並通過以下步驟完成檢測任務：首先，YOLOv8 以高效的深度學習演算法結構處理每幀畫面，產生檢測框及其對應的物件類別和置信度。為了確保結果的準確性，程式設置了置信度和 IoU（Intersection over Union）的閾值，過濾掉低置信度或重疊過高的檢測框。接著，系統進一步過濾 YOLOv8 的輸出，僅保留類別 class_id 為 0 的人物目標，為後續的追蹤過程提供準確的輸入資料。

完成目標檢測後，檢測框的資料被傳遞至 ByteTrack，用於進行跨幀的目標追蹤。在每幀中，ByteTrack 會先處理高置信度的檢測框，將其與上一幀的追蹤結果進行匹配，確保目標的 ID 在多幀間保持一致。對於未能匹配的低置信度檢測框，ByteTrack 會進一步進行二次匹配，這使得演算法在目標出現短暫遮擋或低可見性的情況下仍能保持穩定的追蹤。並加入了平滑處理模組，進一步優化了 ByteTrack 的追蹤結果。檢測框的平滑處理減少了因畫面抖動或檢測器不穩定而導致的追蹤 ID 的變動，提升了整體追蹤的穩定性與準確性。最後，每個追蹤目標都被分配了一個唯一的 tracker_id，用於標記該目標的跨幀身份，這些 ID 與對應的檢測框一同輸出，並進行可視化標註。

(二)AWS 人臉辨識

在人臉辨識方面，嘗試使用穩定性較高的 AWS 雲端運算服務來取代 YOLOv8 模型，且由於攝影機位於較高的位置，導致畫面中擷取到的人臉解析度較不理想，經過多次測試後，使用 AWS Rekognition 的辨識準確率略高於使用單一 YOLOv8 模型的效果，因此最終採用 AWS Rekognition 來做人臉辨識。首先在 Rekognition 中創建一個集合，將每個想要辨識的人取大約 5~10 張包含正面以及上下左右約 30° 角的照片，並且將同一人以相同的標籤(External ImageId)做標記，最後將這些照片加入集合中。系統根據上述使用 YOLO 偵測到的人臉矩形座標，使用 numpy 將其切割成包含人臉的小圖像，將這些圖像以 JPEG 格式的字節流資料發送給

AWS Rekognition 進行辨識，Rekognition 會與集合中的人臉做比對，若有符合的人臉將會回傳對應的 External ImageId 和信心程度。

## 三、行為辨識

本研究的行為辨識系統，使用 MediaPipe Pose 進行骨架提取，結合幾何特徵分析，實現了人體行為辨識。本系統能有效辨識人類的基本行為模式，包括站立、坐下及行走等狀態。

### (一)出入辨識

在進出實驗室判斷中，系統根據物體移動時座標的改變判斷移動方向，並在門邊設立一條可觸發的虛擬檢測線，如**圖 4**，依據不同移動方向有不同觸發方式，當物體向左移時，以物體左邊界觸發檢測線視為進入，當物體向右移時，以物體右邊界觸發檢測線視為離開，並且在觸發加入了防誤觸機制，避免有人在檢測線中快速來回進出造成誤判。

**圖 4** 虛擬檢測線

### (二)骨架提取

骨架檢測部分，採用了 MediaPipe Pose 解決方案，然而 MediaPipe 預設只能在一個畫面中提取一個人的骨架，為使 MediaPipe 可以進行多人骨架提取，本系統在骨架提取上結合 YOLO11s 模型進行人物提取。並設置為最高複雜度模式以提升定位精確度。本系統將 YOLO11s 檢測與追蹤信任度設定為 0.7，結合關鍵點平滑處理，為後續行為分析提供高質量的骨架數據基礎。另外系統特別關注膝、臀關鍵節點的可見度，並設置 0.6 的最低可見信任度，確保姿態分析的可靠性。

### (三)行為分類

行為分析算法部分，本系統定義了三種行為，分別為坐下、站立、行走，利用 YOLO11s 模型提取人物框，再使用 MediaPipe 進行骨架提取。最後使用演算法進行行為分類，本演算法的核心基於 MediaPipe 提供的關鍵點檢測，這些關鍵

點包括肩膀、臀部、膝蓋和腳踝等部位。透過計算這些點的相對位置與角度，演算法能夠判斷當前姿勢的特徵。行為辨識流程如**圖 5**。

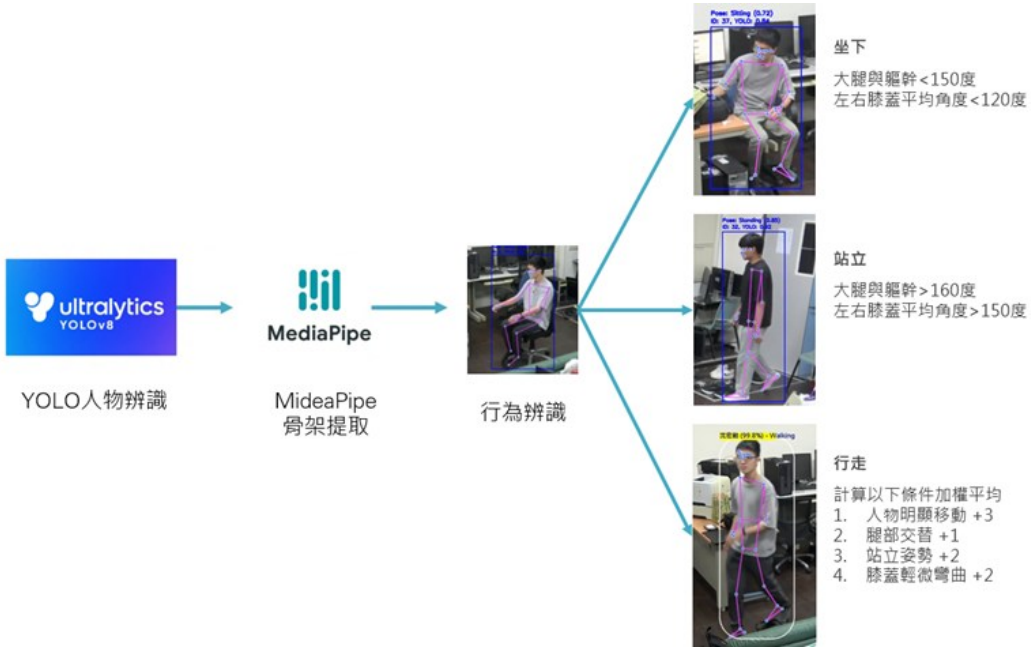



**圖 5** 行為辨識流程圖

為了實現行為判斷，演算法需要多個人體關鍵點的座標資訊，以得知膝關節與髖關節角度。本研究主要使用以下五個關節點，分別為臀部（H）、膝蓋（K）、腳踝（A）和左右肩膀（LS 和 RS）。

膝關節角度是由臀部（H）、膝蓋（K）和腳踝（A）三個關鍵點所構成。假設這三個關鍵點的座標分別為$H=(x_H,y_H)$、$K=(x_K,y_K)$、$A=(x_A,y_A)$，膝關節的角度 $\theta_K$可以使用以下的向量計算公式得出，膝關節角度$\theta_K$可以反映膝蓋的彎曲程度。

$$\theta_K = cos^{-1}\left(\frac{H-K}{\| H-K \|}\cdot\frac{A-K}{\| A-K \|}\right)$$

髖關節角度$\theta_{hip}$則是由肩膀中點(SM)與臀部中點(HM)和兩膝蓋中點(KM)之連線所構成，描述軀幹與大腿之間的夾角。

$$SM=\left(\frac{x_{LS}+x_{RS}}{2},\frac{y_{LS}+y_{RS}}{2}\right)$$

$$HM=\left(\frac{x_{LH}+x_{RH}}{2},\frac{y_{LH}+y_{RH}}{2}\right)$$

$$KM=\left(\frac{x_{LK}+x_{RK}}{2},\frac{y_{LK}+y_{RK}}{2}\right)$$

$$\theta_{hip} = cos^{-1}\left(\frac{SM-HM}{\| SM-HM \|}\cdot\frac{KM-HM}{\| KM-HM \|}\right)$$

1.站立行為

站立行為指膝關節與髖關節幾乎完全伸直，如**圖 6**。當髖關節接近 180°時，表示身體接近直立。因此若角度滿足以下條件則可以判斷為站立，分別為膝關節角度$\theta_K \geq 150°$，與髖關節角度$\theta_{hip} \geq 160°$。

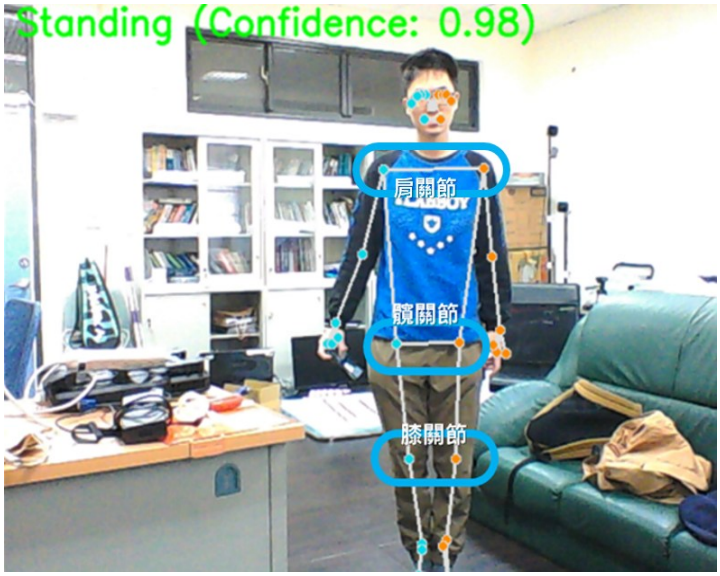



**圖 6** 站立行為示意圖

2.坐下行為

坐下行為是膝關節明顯彎曲且髖關節形成一定夾角的狀態，如**圖 8**。膝關節$\theta_K$與髖關節$\theta_{hip}$呈明顯彎曲狀態。因此若角度滿足以下條件則可判斷為坐下，分別為膝關節角度$\theta_K \leq 120°$，與髖關節角度在範圍$80° \leq \theta_{hip} \leq 120°$之間。

3.行走行為

行走行為採用多個條件判定，每一幀的判定會依照以下幾個主要特徵來計算行走分數，這個分數用來量化每一幀是否符合行走的特徵，當某幀的行走分數大於或等於 6 分時，表示該幀符合行走的特徵，並記錄在移動歷史中。並根據更新過的移動歷史，演算法會判斷人物是否正在行走。具體的判定方式為計算最近 3 幀的行走判定結果，並判斷若其中有超過 2 幀符合行走的特徵，則視為人物正在行走。

行走判定條件分別為(1)人物明顯移動(+3 分)，檢測人物整體關節的移動幅度；(2)腿部交替(+1 分)，檢測雙腳踝的垂直位置差異顯示出行走時的擺腿動作；(3)站立(+2 分)，軀幹保持接近垂直，即站立時的直立狀態；(4)膝蓋有輕微彎曲四個條件(+2 分)，以下將詳細說明每個條件的判定方式：

(1)人物明顯移動

將透過計算各關節的平均移動幅度來判斷人物是否在運動。對於某關節$P_i$，當前幀與上一幀的位置變化為$d(P_i)$。

$$d(P_i) = \|P_i(t) - P_i(t-1)\| = \sqrt{(x_i(t) - x_i(t-1))^2 + (y_i(t) - x_i(y-1))^2}$$

對所有關節取平均移動量，記為$\bar{d}$，其中 n 為關節數量。關節移動判定需滿足條件 $\bar{d}_{movement} > \epsilon_{movement}$，$\epsilon_{movement}$ 為移動檢測的閾值，設定為 0.005。

$$\bar{d}_{movement} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} d(P_i)$$

(2)腿部交替運動

通過雙腳踝的垂直位置差異來檢測。假設 $d_{left_leg}$和 $d_{right_leg}$分別是左腳踝與右腳踝的垂直座標，其差異$\Delta d_{leg}$如下所示，腿部交替運動判定需滿足條件$\Delta d_{leg}(t) > \epsilon_{leg}$，其中$\epsilon_{leg}$為腿部交替閾值，設定為 0.05。

$$\Delta d_{leg}(t) = \left|d_{left_leg} - d_{right_leg}\right|$$

其中，(3)站立與(4)膝蓋有輕微彎曲部分，演算法於前面站立與坐下行為中已提及，不再贅述，其中(4)膝蓋彎曲角度範圍為120°~170°，滿足此條件時可確定人物並非為坐下狀態。

## 四、資料管理

本研究開發一套整合性的視覺化資料分析系統，專注於處理和分析人體行為數據。使用者可以從前端介面下拉式選單中選擇特定日期時間的記錄檔案進行分析。這個選擇介面會自動掃描 behaviorLog 目錄，列出所有符合命名規則的 JSON 檔案，並將檔案名稱轉換為更易讀的日期時間格式顯示。當使用者選擇了特定的檔案後，系統會根據選擇的分析類型，將檔案名稱作為參數傳遞給相應的分析腳本，進而進行後續的數據分析和視覺化處理。

整個過程形成了一個完整的數據流：從原始記錄的存儲、處理、到最終的分析展示。此設計使得系統能夠有效管理和利用影片記錄數據，同時也為擴展更多分析功能提供了便利的基礎架構。透過這種模組化的設計，系統可以輕易地添加新的分析類型，或是修改現有的分析方法，而不需要改變基礎的數據存取架構。

(一)視覺化資料分析

系統採用 PHP 作為後端開發語言，結合 MySQL 資料庫進行數據管理，並整合 Chart.js 框架實現視覺化功能。

1.分析系統類型

主要提供了六種不同的分析類型：30 分鐘行為變化分析(觀察行為 30 分鐘內的變化趨勢)；行為持續時間分析(分析各行為的持續時間分布)；主體行為分布分析(分析不同主體的行為模式)；行為轉換頻率分析(研究行為轉換的模式和頻率；各時間點行為人數分析)統計各時段的行為人數；連續行為模式分析(分析行為的持續性特徵)；其中連續行為模式分析如**圖 7** 所示。

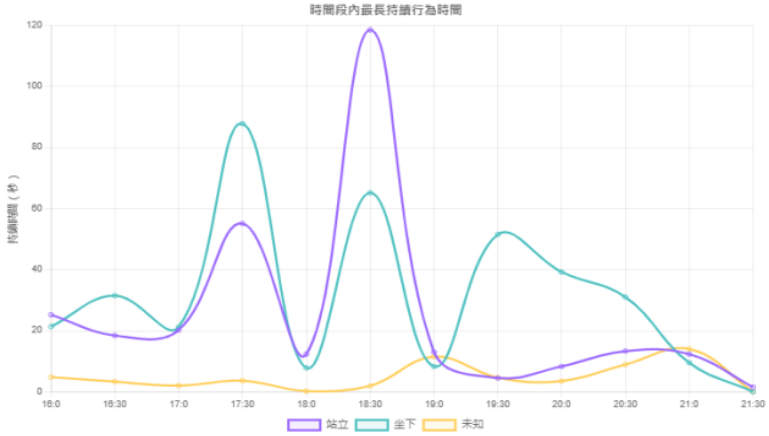



**圖 7** 連續行為模式分析圖

2.資料處理流程

系統採用分層處理架構設計：第一層進行數據預處理，負責數據格式驗證和清洗工作；第二層執行數據轉換，將 JSON 格式轉換為關聯式數據庫結構；第三層進行數據分析，產生統計結果和視覺化所需的數據格式。

(二)影片紀錄存取

影片紀錄存取的實現主要通過以下流程進行：首先，系統會將行為記錄以 JSON 格式保存於 behaviorLog 目錄下，檔案命名採用 "behavior_log_YYYYMMDD_HHMMSS.json"的格式，這種命名方式確保了檔案的時序性和可追溯性。接著，透過 process_behavior_log.php 進行檔案處理，這個檔案會執行以下步驟:建立與 MySQL 資料庫的連線、讀取指定的 JSON 檔案內容、解析 JSON 數據、清空舊有的資料表內容，最後將新的數據逐條插入資料表中。

在數據存儲方面，每條記錄都包含了完整的行為信息：包括主體 ID（subject_id）、行為者名稱（name）、行為類型（behavior）、開始幀（start_frame）、結束幀（end_frame）、時間戳記（timestamp）以及來源檔案名稱（log_file）。

# 肆、結果與討論

## 一、使用者介面

使用者介面主要分為(1)影片選擇區、(2)影片顯示區、(3)影片搜索區、(4)資料顯示區、(5)資料分析入口五個部分，如**圖 8** 所示。

**圖 8** 使用者介面

影片選擇區主要是提供使用者選擇影片的地方，在這區塊會將放入影片儲存資料夾的所有影片以排列顯示出來，影片顯示區則在使用者選擇影片後提供使用者觀看影片進行開始、暫停、快轉與影片進度調整的功能，而在影片顯示區下方的影片搜索區使用者可以透過影片產生的區間去搜索在使用者選擇區間的影片，右方則爲資料顯示區並提供網頁伺服器的系統資訊與人臉與行為辨識資料，此區域呈列影片中行為人臉辨識的所有資料，使用者可以藉由搜索區間與點擊影片的方式來顯示資料，並藉由點擊資料來查看人臉與行為事件發生的時間，最後放置資料入口將使用者導向後端資料分析的頁面。

## 二、人臉辨識

本研究結合 YOLOv8、AWS Rekognition、supervison ByteTrack，完成一個人臉辨識追蹤、進出實驗室的辨識系統。根據實驗結果(如**圖 9**)，在人臉辨識方面，即使畫面中的人臉偏小，但是系統採用 AWS Rekognition 的辨識準確率平均可達 85%，明顯優於單一使用 YOLOv8 模型的效果。在人物追蹤方面，因為攝影機角度或是畫面中多人重疊等問題，可能導致誤判造成被追蹤者與其 ID 不匹配。在進出實驗室的判斷方面，由於防誤觸機制的加入，使得準確率大幅提升。

**圖 9** 人臉辨識展示圖

## 三、行為辨識

本研究針對站立、坐下及行走三種基本行為進行辨識，並且實作了基於 MediaPipe 與 YOLO 的多人骨架提取與行為辨識，實際辨識成果如**圖 10** 所示。

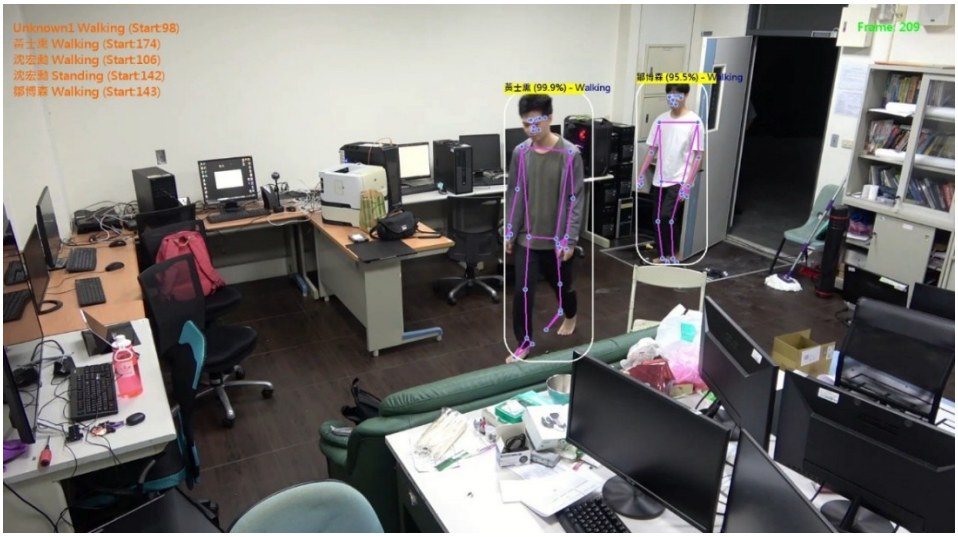



**圖 10** 行為辨識成果圖

實驗結果顯示，在站立行為的辨識方面，如**表 1**，系統於內容全為站立影片中的站立行為辨識率可達 92%。而在內容全為坐下影片中坐下行為的辨識率，如**表 2**，在全坐下影片中為 63%，顯著低於站立行為。這主要是由於採用了 2D 骨架繪製技術，該技術在拍攝者正面面向攝影機時，對坐下行為的關鍵動作捕捉效果較差。然而，當攝影機從側面拍攝時，系統的辨識效果明顯提升，顯示了角度對辨識結果的重要性。

**表 1**

*內容全為站立影片中站立行為辨識率*

| 行為 | 無法辨識 | 坐下 | 站立 | 總計 | 辨識率 |
|---|---|---|---|---|---|
| 辨識次數 | 163 | 190 | 4124 | 4477 | 92% |

**表 2**

*內容全為坐下影片中坐下行為辨識率*

| 行為 | 無法辨識 | 坐下 | 站立 | 總計 | 辨識率 |
|---|---|---|---|---|---|
| 辨識次數 | 202 | 5194 | 2818 | 8214 | 63% |

針對行走行為，即使人物在不同步態下移動，辨識結果依然具有相當的準確性。然而，當人物停止移動時，系統可能無法迅速做出反應，這在行為轉換的瞬間容易出現短暫的辨識失準。此外，在存在遮擋物的場景中，例如部分肢體被其他物件遮擋或人物處於擁擠環境，辨識的準確性大幅下降。這是因為遮擋會導致骨架追蹤的斷裂，進一步導致關鍵點錯位或跳動現象，進而影響辨識效果。

在簡單且無遮擋的環境中，本系統能夠穩定地辨識出站立、坐下及行走三種行為。然而，為了應對更加複雜的實際場景，未來需要進一步研究以提高遮擋情況下的辨識準確性，並改善辨識的即時性。此外，也可考慮結合 3D 骨架數據或其他深度學習模型，以提升系統在多角度、遮擋或動態背景下的辨識能力，使其更適用於真實世界中的應用場景。

## 四、資料庫管理

系統採用 LAMP (Linux/Apache/MySQL/PHP) 技術，實現了完整的開發環境整合。Apache 作為 Web 服務器，配合 PHP 的高性能運行時，為系統提供了穩定的執行環境。MySQL 的加入則為數據存儲和管理提供了強大支持，特別是在處理高併發訪問和複雜查詢場景時表現非常出色。

其次，在數據管理方面，系統透過 phpMyAdmin 實現了直觀的數據庫操作界面，大幅簡化了數據庫管理流程。透過精心設計的數據模型，包括行為記錄表（behavior_records）和分析快取表（analysis_cache），實現了高效的數據存取和分析處理。系統還採用 JSON 數據類型存儲複雜的行為詳情，既保持了數據結構的靈活性，又確保了查詢效率。

在性能優化層面，系統實施了多層次的優化策略。透過配置 PHP OpCache 和調整 MySQL 緩衝池大小，顯著提升了系統響應速度。實施的查詢優化機制，包括合理的索引設計和查詢快取策略，有效提高了數據檢索效率。此外，透過實現數據分區和定期維護機制，確保了系統在大規模數據處理場景下的穩定運行。

## 伍、結論

本研究的目的是建立一個適用於實驗室環境的智慧型人臉與行為辨識系統，該系統對實驗室中的人員進出與行為進行有效的監控。系統運用了人工智慧技術，如YOLO、ByteTrack、AWS Rekognition 與 MediaPipe，成功實現了多項功能性目標。系統能透過人臉辨識準確記錄每位進出實驗室的人員，並檢測陌生人的出現，以提升實驗室的安全性。此外，系統利用骨架提取並進行行為分析，能夠監控人員的活動情況。

YOLO 被應用於人物檢測，作為一個快速且準確的物件偵測模型，能即時檢測出實驗室內的人員位置，接著由 ByteTrack 則負責追蹤人物的移動軌跡，透過其高效的追蹤演算法，系統能夠準確捕捉並持續分析人員的行為。AWS Rekognition 則提供人臉辨識功能，能夠辨別進出實驗室的人員身份，並識別是否有陌生人出入。最後 MediaPipe 提取人體的骨架，通過計算骨架角度與運動特徵來進行行為辨識，從而分析人員在實驗室內的活動情況。並將所有辨識數據儲存於系統資料庫中。根據行為辨識實驗結果，在全站立的影片中，站立行為辨識率達到 92%，而在全坐下影片中，因採用 2D 骨架提取，坐下的影片辨識率為 63%。

系統也提供了直觀且易於操作的網頁介面，使用者可以查看原影片與辨識後的影片，也可查詢進出紀錄與行為分析結果。系統提供了六種不同的圖表分析方式，使得使用者可以清晰了解不同時間段內人員的行為分佈情況。

# 參考文獻

Bazarevsky, V., Grishchenko, I., Raveendran, K., Zhu, T., Zhang, F., & Grundmann, M. (2020). BlazePose: On-device real-time body pose tracking. *arXiv preprint arXiv:2006.10204.* https://arxiv.org/abs/2006.10204

Huang, A., Ju, X., Lyons, J., Murnane, D., Pettee, M., & Reed, L. (2023). YOLOv8: A high-performance object detection model. *arXiv preprint arXiv:2301.00501.* https://arxiv.org/abs/2301.00501

Redmon, J., Divvala, S., Girshick, R., & Farhadi, A. (2015). You only look once: Unified, real-time object detection. *arXiv preprint arXiv:1506.02640.* https://arxiv.org/abs/1506.02640

Schlegel, K., Jiang, L., & Ni, H. (2024). Using joint angles based on the international biomechanical standards for human action recognition and related tasks. *arXiv preprint arXiv:2406.17443.* https://arxiv.org/abs/2406.17443

Sengar, S., Kumar, A., & Ghosh, R. R. (2024). Efficient human pose estimation: Leveraging advanced techniques with MediaPipe. *arXiv preprint arXiv:2406.15649.* https://arxiv.org/abs/2406.15649

Zhang, Y., Sun, P., Jiang, Y., Yu, D., Weng, F., Yuan, Z., Luo, P., Liu, W., & Wang, X., (2021). ByteTrack: Multi-object tracking by associating every detection box. *arXiv preprint arXiv:2110.06864.* https://arxiv.org/abs/2110.06864

# 臺東縣中、高齡民眾醫療可近性、醫療品質與服務、醫療滿意度及醫療忠誠度之研究

童岫瑜[1]，林育珊[2*]

## 摘要

自健保開辦以來，在提升醫療品質、延長國人平均壽命，亦或是在健康照護上，皆有卓越的貢獻，更大幅提高了國人就醫的可近性(accessibility)，但由於臺灣受限於地理環境及交通，造成醫療資源分配不均，以至於許多偏鄉有保險卻無醫療的困境，臺東縣即將邁入聯合國世界衛生組織(WHO)定義之高齡社會(Aged Society)，未來對於慢性病及癌症的醫療照護需求將更為重要，本研究主要探討臺東縣中、高齡民眾對目前的醫療可近性、醫療品質與服務、醫療滿意度及醫療忠誠度之相關性，同時研究醫療滿意度對醫療品質與服務與忠誠度是否有中介效果。採橫斷面研究法，針對居住臺東縣 45-65 歲年齡民眾進行問卷調查，共回收問卷 331 份，使用 SPSS 軟體進行資料之統計分析，研究發現：(1)臺東縣民眾對於醫療可近性較無法認同；(2)醫療可近性正向影響醫療滿意度；(3)醫療可近性正向影響醫療忠誠度；(4)醫療品質與服務正向影響醫療滿意度；(5)醫療滿意度正向影響醫療忠誠度；(6)醫療品質與服務正向影響忠誠度；(7)醫療滿意度於醫療品質與服務與醫療忠誠度間具有中介效果。最後根據研究結果，建議相關單位能有配套措施落實在地醫療，以提升臺東地區醫療院所之醫療品質與服務。

**關鍵字：**高齡社會、醫療可近性、醫療品質與服務、醫療滿意度、醫療忠誠度

[1] 童岫瑜，臺東馬偕紀念醫院業務課課長。E-mail: kyle600919@gmail.com
[2] 林育珊（通訊作者），國立臺東大學資訊管理學系教授。E-mail: ysl.nttu@gmail.com

# The Relationship among Medical Accessibility, Medical Quality and Service, Medical Satisfaction, and Medical Loyalty towards Middle-aged and Older People in Taitung County

Hsiu-Yu Tung[1], Yu-Shan Lin[2*]

## Abstract

Since its launch in 1995, National Health Insurance (NHI) has made outstanding contributions to the promotion of medical quality, the extension of the average life of the people, and healthcare, especially the high medical accessibility. However, the limitations of Taiwan's geographical environment and transportation result in uneven distribution of medical resources; many rural villages have insurance coverage but no medical services. Since Taitung County is about to become an aged society as defined by the United Nations World Health Organization (WHO), the medical care needs for chronic diseases and cancer will be more critical in the future. This study explores the relationship among current medical accessibility, medical quality and service, medical satisfaction, and medical loyalty towards middle-aged and older people in Taitung County and whether medical satisfaction is an intermediary between medical quality and service and medical loyalty. A cross-sectional study was conducted to survey the 45-65-year-old people living in Taitung County. Three hundred thirty-one questionnaires were collected and analyzed using the SPSS software for statistical analysis. The study found that (1) People in Taitung County are less satisfied with medical accessibility; (2) Medical accessibility positively affects medical satisfaction; (3)Medical accessibility positively affects medical loyalty; (4) Medical quality and service positively affect medical satisfaction; (5) Medical satisfaction positively affects medical loyalty; (6) Medical quality and service positively influence medical loyalty; (7) Medical satisfaction plays an intermediary role between medical quality and service and medical loyalty. Finally, according to the study results, it is suggested that the relevant entities should have supporting measures ready to carry out local health care to improve the medical quality and service of medical institutions in Taitung County.

**Keywords:** Aged society, Medical accessibility, Medical quality and service, Medical satisfaction, Medical loyalty

[1] Hsiu-Yu Tung, Supervisor, Business Department, Taitung Mackay Memorial Hospital. E-mail: kyle600919@gmail.com

[2] Yu-Shan Lin (Corresponding Author), Professor, Department of Information Science and Management Systems, National Taitung University. E-mail: ysl.nttu@gmail.com

# 壹、前言

全民健康保險（健保）自民國 84 年 3 月 1 日開辦以來，已經運行超過 30 年，對於提升國民健康、延長壽命、提高醫療品質以及保障醫療可近性方面做出了顯著貢獻。根據健保署的調查，112 年民眾對於健保制度之滿意度高達 91.2%（自由健康網，2024）。然而，由於台灣的地理環境及交通因素，導致資源與人口的分布不均，尤其在醫療資源方面，城市與鄉村之間的差距非常明顯。尤其像臺東縣這樣的偏遠地區，受限於地理環境與交通問題，醫療資源的可獲得性與醫療服務的質量仍然存在挑戰。

臺東縣因其地理特性，大部分區域為山地和高山地帶，且地形狹長，交通極為不便，這使得當地的經濟發展受到阻礙，人口外移且分布不均。由於偏鄉人口較少，無法有效吸引醫療機構設立或醫師進駐，導致醫療資源的分佈問題更加嚴重。截至 113 年底臺東縣老年人口比例已經達到 20.11%（內政部戶政司網站，2025），進入高齡社會，而人口老化的趨勢使得慢性病和健康照護需求不斷上升。特別是在 45 至 64 歲這一群體中，他們的就醫人次及醫療支出已經超過全縣醫療費用的三分之一，這表明這一群體對醫療服務的需求非常大。

雖然健保的實施確實提升了醫療可近性，但由於城鄉差距的問題，臺東縣的醫療資源仍然相對匱乏。根據 112 年的統計，臺東縣平均每一醫療院所服務人口為 1,322 人，遠高於全國平均的 980 人。此外，臺東縣的每萬人口醫師數僅為 15.69 人，低於全國平均的 23.04 人，而每萬人口病床數則略低於全國的 43.07 床，僅有 42.12 床（重要性別統計資料庫，2024）。這些數據顯示臺東的醫療資源比其他縣市少得多，尤其是面對龐大的老年人口與慢性病需求時，醫療資源顯得捉襟見肘。

醫療可近性不僅影響病患的就醫滿意度，還直接關係到病患的忠誠度。根據南投縣仁愛鄉的調查，提升醫療可近性後，病患對醫療服務的滿意度有了明顯提高。這表明，醫療服務的便捷性能夠有效增強病患的滿意度，進而提高病患的忠誠度。因此，改善當地的醫療可近性，不僅能夠減少病患的就醫負擔，還能提高病患對醫療機構的忠誠度。

目前，臺東縣的醫療設施僅有一間區域醫院，且該醫院是當地唯一的後送醫院。這使得急重症病人往往需要從基層醫療機構或地區醫院轉診至區域醫院，而若缺乏某些專科或設施，則可能需要再轉診至其他醫學中心。這不僅對病患造成身心上的困擾，對病患的家屬而言，頻繁的奔波也增加了照護壓力。這種情況下，許多病患，特別是癌症等重病患者，會選擇跨縣市就醫，尋求更多醫療資源。然而，在地醫療的發展，不僅能減少病患的就醫成本，還能提高照護的便利性，從而提升醫療效果。

要實現更好的在地醫療服務，首先需要提升當地的醫療品質。然而，偏鄉地區人口分布不均、交通不便、公共設施不完善等問題，導致這些地區的醫療機構難以發展壯大。醫療機構的經營需要大量的專業人才，如醫師、醫療技術人員及護理人員，且醫療設備昂貴且需定期更新，這使得醫院的運營成本極高。尤其是在偏鄉地區，人口稀少且相對分散，醫療機構很難達到一定的規模，這使得醫療服務的供應能力受到限制。

此外，隨著健保的普及，病患對醫療費用的敏感度降低，更多關心的是醫療服務的質量和可近性。特別是偏鄉地區，由於交通不便和醫療資源匱乏，病患往往需要長時間往返於醫療機構，這不僅加重了病患的經濟負擔，也增加了病患的身心壓力。根據相關研究，醫療服務的品質和可近性是病患選擇醫療機構的重要考量因素。

臺東縣的醫療發展面臨著諸多挑戰，尤其是如何提升醫療服務的質量和可近性，並解決人才不足和基礎設施缺乏的問題。隨著醫療市場競爭的激烈，醫療機構必須在提升服務質量、病患滿意度和醫療忠誠度方面下功夫。針對偏鄉地區，除了改善交通設施外，還需要加強當地醫療資源的整合，鼓勵醫療專業人員下鄉服務，並通過政策支持來吸引醫療機構進駐。

針對臺東縣 45 至 65 歲的民眾，本研究設計了問卷調查，旨在探討醫療可近性、醫療品質、服務與滿意度之間的關係，並分析其對醫療忠誠度的影響。研究結果將有助於了解如何通過提升醫療可近性和服務質量來提高病患的滿意度與忠誠度，並進一步推動當地醫療體系的改善。這對於促進偏鄉地區的醫療發展，提升醫療服務的可及性與公平性具有重要意義。

## 貳、文獻探討

文獻部分探討醫療可近性、醫療品質與服務、醫療滿意度和醫療忠誠度及其相關性，以作為本研究進一步探究臺東縣45-65歲民眾對目前醫療感受之理論基礎與架構。

### 一、醫療可近性

醫療可近性是指病患能夠便捷地獲得所需醫療服務的程度。張雅雯（2002）指出，醫療可近性是以達到健康為目標，病患能輕易接觸到醫療資源的程度。吳依凡（2004）則進一步闡述，這是病人在罹患疾病後，能輕鬆就醫的便利性與可行性。Aday 和 Andersen (1974)認為，醫療可近性即是地區內可用的醫療資源是否能夠提供病患適當的就醫機會。Meade 和 Earickson (2000)擴大定義，認為醫療可近性是由多個因素組成，包括醫療資源的可得性、交通便利性、社經地位、個人健康需求以及支付能力等。

研究顯示，患者選擇醫療院所的三大考量因素通常為醫術、交通便利和親友推薦。根據陳倩妮（1998）的研究，病患選擇醫院時，主要的考量因素依次為交通便利、醫療設備、醫師的醫術及親友推薦，而「交通便利」是最重要的因素之一。姚美雲（2006）的研究則指出，在輕微病症時，病患會選擇就近醫療，但在急重症的情況下則會考慮醫療設備的完整性，傾向選擇大醫院。黃志暉（2004）的研究顯示，民眾就醫的主要因素包括醫師的醫術與醫德、服務態度、醫療設備、交通便利性和就醫環境的舒適程度。

此外，林民浩等（2016）指出，民眾在選擇門診就醫時會考慮「求近」，而在急診或住院時則偏好選擇鄰近地區內規模最大的醫院。根據 Stratmann (1975)的理論，病患選擇醫療院所時會考慮經濟成本、醫療時間、醫療便利性及社會心理因素，其中交通便利性仍然是最關鍵的決策因素之一。

Penchansky 和 Thomas (1981)提出，醫療可近性包括五個構面：可用性、可及性、便利性、可接受性和負擔能力。具體而言：

(一) 可用性(availability)：當地需有足夠的醫療資源，如醫師、護理人員、醫療設備等。
(二) 可及性(accessibility)：包括就醫的成本與時間，病患與醫療機構的距離以及候診時間。
(三) 便利性(accommodation)：指醫療資源的可得性，如預約掛號、網路資源等。
(四) 可接受性(acceptability)：病患對醫事人員服務態度的滿意度。
(五) 負擔能力(affordability)：病患是否能負擔合理的醫療費用。

Weissman 和 Epstein (1993)則認為可近性是指病患所在地是否有足夠且適當的醫療資源，能夠及時回復病患健康。藍忠孚（1981）總結多種定義，認為可近性是病患能否輕易接觸到醫療照護系統。若醫療可近性不足，會使病患難以獲得所需的醫療服務，從而導致健康需求未得到滿足。

醫療可近性也涉及就醫成本的問題。例如，花蓮偏遠地區的研究顯示，居住在偏遠地區的民眾認為就醫不便，且需花費更多時間獲得醫療服務。根據台灣公共衛生學會的調查，保險對象每次就醫的交通和時間成本也不容忽視。以臺東縣偏鄉地區為例，民眾前往市區就醫的交通時間平均需花費 90 分鐘，若再加上候診及就診時間，總時間可達 223 分鐘，是一般人的 3 至 4 倍。

因此，在目前的醫療環境中，醫療資源通常集中在人口密集、交通便利的地區。對於偏鄉地區的民眾而言，醫療可近性是一個迫切的需求，即能在最短時間內，花費最少的成本享有完整的醫療服務。一旦這些基本的醫療需求得到滿足，後續的醫療滿意度也會隨之提升。

綜合來看，醫療可近性不僅是交通便利和醫療資源的問題，更是病患選擇醫療院所的關鍵因素。隨著社會對醫療服務的要求日益增高，如何提高偏遠地區的醫療可近性，已成為現代醫療體系發展中的一大挑戰。

## 二、醫療品質與服務

醫療品質在不同地區的病患中，會因為醫療資源的差異而有所不同。醫療資源豐富的地區，病患的選擇較多，對醫療品質的期待也相對較高，包括醫師的專業、醫療設備的先進性、醫院的交通便利性、環境清潔、服務態度等。而在偏鄉地區，因為醫療資源匱乏，病患的期望則較低，主要希望能有醫師和基本的檢查設備。因此，不同地區的病患對醫療品質的需求存在顯著差異。

醫療品質與一般商品的品質不同，因為它結合了專業性且會根據病患的具體狀況而有所變化，無法簡單地用標準化條件衡量。Weitzman (1990) 將醫療品質分為三個層次：一是醫療照護的技術層次，包括醫師的醫術和照護病患的專業能力；二是醫療人員與病患之間的人際關係層次，包括醫病信任、滿意度和忠誠度；三是醫療照護的舒適層面，指的是醫院環境的整潔度、設施的舒適度等。

世界衛生組織（WHO）則建議，醫療體系應在六個品質領域尋求改善：有效性（提高健康照護結果）、效率（最大化資源利用）、可近性（醫療照護要及時且分佈合理）、可接受性/病人為中心（依病患需求和文化提供照護）、公平性（不因性別、種族、社

會地位有所差異）和安全性（降低風險和危害）。美國的 CMS 和 IOM 也對醫療品質給出了相應定義，強調醫療照護應精確無誤並提升健康結果，符合專業水準。

韓揆（1994）則將醫療品質定義為臨床品質和服務品質的綜合體，臨床品質主要指醫療人員對病患的診斷、治療及護理，而服務品質則涵蓋醫療院所的硬體環境、行政手續、服務態度等。醫療品質可被理解為「投入-製造-產出」的系統過程，包括病患與醫療機構接觸的所有環節，從人員態度到醫療環境、設施設備、流程等。

Zeithaml 等人（1996）研究指出，服務品質是區別不同行業的重要因素，並且是醫療院所競爭力的關鍵。Donabedian (1988) 將醫療服務品質定義為「無法具體衡量但可感知的服務」，強調醫療服務不僅關乎病患本身，也包括病患家屬和朋友的需求。美國國家科學院醫學研究機構則提出，醫療服務應以病人的需求為核心，並通過尊重與體貼的方式來決定臨床措施，實現以病人為中心的服務。

醫療服務品質的範圍非常廣泛，從就醫的便利性到醫療效果、時效性、適當性、效率、醫護人員的態度、病患隱私保護、醫療環境的衛生與安全等都會影響病患對醫療服務的滿意度。謝士明（1993）指出，醫病關係的質量與醫療服務的效果密切相關，服務品質的好壞反映了技術層面和人際互動層面的綜合水平。

尹衍樑（1983）提出，醫院服務品質應包含多個方面，如醫院位置、設備與規模、周遭環境、服務項目、收費標準、診療時間、餐飲質量等。周繼文（1995）則提出醫療服務品質的四個構面，包括醫療設施、醫療服務、醫護的親和性與可靠性、以及對病患安全的保障。

醫療品質與服務涵蓋了專業的技術層面、人際互動層面及硬體設施層面。在技術層面，主要關注醫師的專業技能與醫護人員的專業素質；在人際層面，關注醫護人員及行政人員的服務態度與病患的互動；在設施層面，則包括醫療設備的先進程度、醫院環境的舒適度和交通的便利性。總的來說，優質的醫療服務將是病患選擇醫療院所的決定性因素，並且影響他們對醫療機構的滿意度和忠誠度。

## 三、醫療滿意度

吳素禎(2017)認為醫療滿意度是病患接受醫療服務後所產生一連串的主觀感受，為接受醫療照護前的期待與在接受醫療照護後感受到的知覺間的差距。湯玲郎(1999)認為關於醫療服務業，友好的醫病關係與醫療品質能使病人對於醫療人員或醫療院所有較高評價的信任度及滿意度。滿意度目前已被廣泛運用到各種產業，包括餐飲業、旅遊業、觀光業、百貨業、交通電信業、醫療業等等。藍毓莉、江雪萍、王美慧、陳建智（2015）認為近幾年來，醫療產業競爭激烈，如何永續經營與發展，和多數企業經營策略是相同的，就是以最快速與有效的方式增加病患人數，因此如何提升病患滿意度與忠誠度已成為醫療院所推動及改善的重要課題。更是院內品質改善的指標。Linder-Pelz (1982)認為病患滿意度是病患對不同層面醫療品質的正向評估，是病患在接受醫療服務後所產生的主觀態度，其感受度會影響到滿意度，因此「病患滿意度」可作為「醫院服務品質結果」的評價。

病患滿意度是當病患開始接受醫療時的一連串知覺感受，因此，醫療院所應該透過各種問卷調查、客訴等，實際了解病患的需求與針對滿意度低的類別與流程進行改進，以便能提供更好的醫療品質與服務，如此才可獲得更高的滿意度。

**四、醫療忠誠度**

MacStravic (1994) 擁有忠誠的病患是醫療院所口碑的最佳代言人。但根據統計，病患不一定會因為對醫療滿意而推薦他人，卻會因為不滿意而去傳播不好的經驗，而且是滿意病人的三到四倍以上。因此醫療院所必須更加小心處理醫病關係，重視病患的忠誠度。蘇靖惠（2015）以醫院的經營角度來看，病患對醫院產生的忠誠度遠比對單一醫師所產生的忠誠度重要，因為，醫院不見得可以長久留住一位醫師，醫師可能退休、離職或者自行至外面開業，因此如何避免當某一醫師離職或退休時因此損失既有的病患，便更要思考如何提升醫院整體醫療品質並獲得病患滿意，進而產生忠誠度，而不是當某位醫師離院後，會產生原有的病患跟著離院的情況。因此如何留住病患，產生忠誠度，並會推薦給其他人。這也正是目前醫療院所努力的目標。

病患忠誠度源自於滿意度的影響，故當病患知覺感受對整體醫療服務品質滿意後，才會有後續的忠誠行動，並且表現在需要醫療時會優先選擇並樂意再度就醫，或因此推薦給他人。所以，醫療院所應該努力提升醫療品質與服務，透過滿意度的增加，進而提高忠誠度。擁有忠誠的病患，是創造營運績效最有效的方法。

**五、醫療可近性、醫療品質與服務、醫療滿意度及忠誠度之相關性**

隨著在地醫療可及性的提高，不僅能夠提升病患的醫療滿意度，還有助於降低死亡率和住院率。黃羽瑄（2010）研究發現，阻塞性中風病患距離醫院越遠，其發病後的死亡率越高，存活率也受到居家至醫院距離的影響，證實醫療可近性與中風死亡率有直接關聯。陳育穎(2017)則根據健保署資料分析偏鄉地區實施 IDS 計畫後的效果，發現西部的鄉鎮住院率顯著下降，而東部卻無此效果，反而出現住院率上升，指出東部未能充分提供所需的醫療資源。這些研究顯示，當病患無法獲得必要的醫療照護時，醫療滿意度勢必受到影響。

隨著社會進步與需求的變化，民眾對醫療服務的重視由單純的量的增加，轉向關注質的提升。尤瑞鴻（2014）指出，近年來國人對醫療品質的關注逐漸加強，醫療市場競爭激烈，許多醫院致力於改善醫療品質與服務，希望能夠提升病患滿意度並加強醫院的競爭力。藍毓莉等人（2015）也強調，提升醫療品質不僅能增進病患滿意度，還能創造忠誠度，從而促進醫療院所的發展。鄭成忠（2017）研究結果顯示，品質與服務的提升能夠顯著提升顧客滿意度和忠誠度，而滿意度對忠誠度有正向影響。

醫療院所的主要收入來自病患，醫療品質與服務的優劣直接影響病患的就醫意願，因此提升醫療品質不僅是提升病患滿意度的必要手段，也是穩定醫院財政、保證其永續經營的關鍵。特別是臺東等偏遠地區，由於交通與地理限制，醫療可及性相對較差，因此需要建立更完善的緊急醫療網絡，確保病患能在黃金時期內接受及時救治，降低跨區就醫的不便和成本。

隨著教育的提高和資訊科技的發展，加上健保的實施，病患的就醫自主性增加，會更加關注醫院的醫療品質、儀器設備、服務態度等因素。病患不僅會比較醫術水平，

還會參考朋友或親人的推薦，這使得醫療服務的選擇過程本身就已開始影響病患的滿意度。在病患選擇醫療院所的過程中，醫療品質與服務的各個方面，包括醫護人員的專業、診療時間、醫療環境、交通便利性等，會成為病患判斷是否滿意的依據。

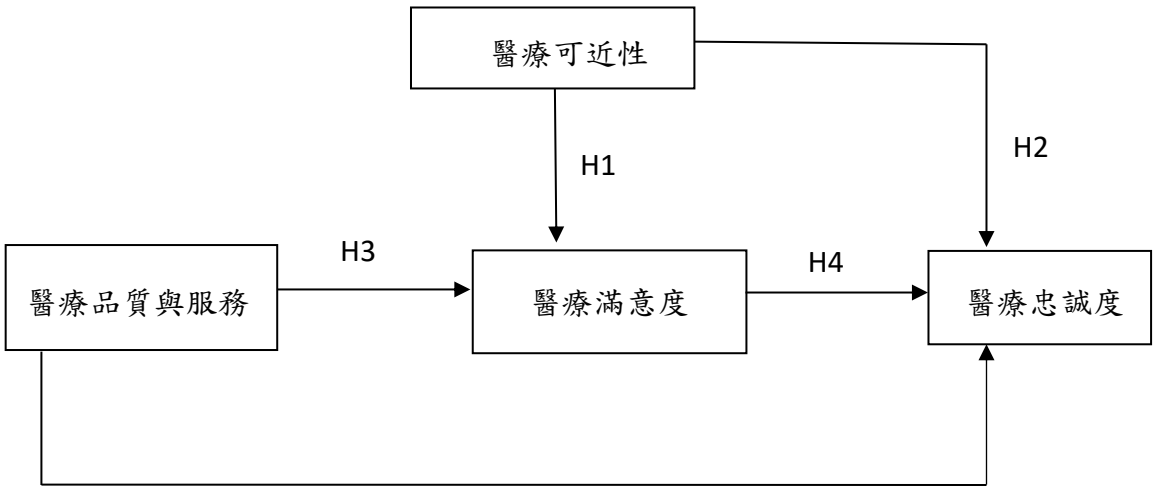
醫療服務不同於其他行業，其"服務"不僅僅是基於日常照顧，更多的是依賴醫護人員的專業知識與經驗，根據病人的具體情況提供定制化的治療。楊啟正（2016）指出，醫護人員在診治的每個過程中，已經開始為病患提供服務，這是醫療品質的核心部分。醫療品質不僅限於治療疾病，它還應包括對病患身心靈的全人照護，並通過病人為中心的服務理念來提升病患的整體滿意度。

研究顯示，醫療品質與服務是影響病患滿意度和忠誠度的關鍵因素。Cho 等（2004）的研究也證實，醫療品質和服務對病患滿意度有顯著影響，進而影響病患的忠誠度。隨著醫病關係日益緊張，醫療糾紛案件頻發，提升醫療品質與服務，超越病患的預期，可以有效提高病患的滿意度，增強病患對醫院的忠誠度，最終提升醫療院所的競爭力。

總結來說，醫療品質與服務不僅是影響病患滿意度的核心因素，更與醫院的經濟穩定和發展密切相關。隨著醫療市場競爭的加劇，醫療院所必須加強對病患需求的理解，提供高品質的醫療服務，才能在激烈的市場中保持競爭優勢。

## 參、研究方法

本研究探討醫療可近性、醫療品質與服務、醫療滿意度與醫療忠誠度之間的相關性，另外也探討醫療滿意度是否在醫療品質與服務及醫療忠誠度之間具有中介效果，研究架構如**圖 1** 所示。




H6：醫療滿意度於醫療品質與服務與醫療忠誠度之間具有中介效果

**圖 1.**研究架構圖

醫療可近性指的是「病患在接近醫療照護體系或在尋求醫療照護的過程中，是否容易而言」（藍忠孚，1981）。另一在城鄉差距與可避免住院之相關性研究中發現，醫療可近性為城鄉與可避免住院的部分中介因子。因此在合理的範圍和時間內，即可享有醫療服務，不但可提升疾病照護，降低住院率，更可因而提升醫療滿意度（李宜瑄，2015）。而偏遠民眾對於醫療資源有近五成認為是不足的（葉婉榆等，2012）。醫療可近性就是隨手可得的醫療，病患不需花費太多時間就可享有完整的醫療照護，享有在地醫療，而健保的實施，就是為了醫療資源能夠合理分配和普及，免除病患離鄉背井，因此訂出假說：

H1：醫療可近性正向影響醫療滿意度。

研究指出病患的總體滿意度和忠誠度呈現正向顯著相關（Mortazavi, Kazemi, Shirazi, & Aziz-Abadi, 2009），因此，倘若病患能夠在最短的時間和花費最少的就醫成本，即能享有在地醫療時，將會對該地區的醫療可近性產生滿意，而當病患因滿意當地醫療後，是否有醫療忠誠度的行為產生是值得探討的，因此訂出假說：

H2：醫療可近性正向影響醫療忠誠度。

有學者對醫療品質定義為醫療的臨床品質加服務品質。所謂臨床品質是以醫師為主，包括護理及醫事人員對病患直接提供收治、診斷及治療，服務品質則是指周邊設施與行政工作，包括硬體環境、規章制度、行政手續、醫療費用及服務態度等。隨著經濟愈發達，生活水平愈高，知識愈充足，民眾將愈重視醫療權益，醫療已不再是單純治癒疾病即可，而是期待在就醫過程中是否能獲得滿足，全民健保實施後，就醫之經濟障礙排除，病人之注意力將轉向品質訴求（韓揆，1994）。『相對於已往以「醫師為中心」或以「疾病為焦點」的醫療照護，目前「以病人為中心的照護」是以病患為照護主題的醫療品質』（趙子傑，2016），因此，病患追求更高層次的醫療品質與服務，醫院可以透過滿意度調查，實地瞭解醫療品質的好壞，所以醫療滿意度是醫療品質的指標。研究指出醫療品質與服務的重要性對病人的滿意度有直接的正面影響（O’Connor, 1988），醫療品質與服務與病患滿意度有正向關係（蘇靖惠，2015）。因此訂出假說：

H3：醫療品質與服務正向影響醫療滿意度。

顧客滿意度可以影響顧客忠誠度（Fornell, 1992），而病患滿意對其忠誠度有顯著正向影響（蘇靖惠，2015；郭德賓，2000），因此提出假說：

H4：醫療滿意度正向影響醫療忠誠度。

良好的品質與服務能讓顧客產生好的行為意圖，例如：好口碑、向他人推薦公司、顧客忠誠（Zeithaml, Berry, & Parasuraman, 1996）。服務品質中三個構面：有形性、保證性、體貼度顯著影響忠誠度（鄭雯馨，2013）。因此提出假說：

H5：醫療品質與服務正向影響醫療忠誠度。

醫療滿意為醫療服務品質與忠誠之中介效果（藍毓莉等，2015）。醫療品質與服務、顧客滿意度與顧客忠誠度三者是互為因果關係，並且相互依存（張慈桂、李燕鳴、蕭正光，1998）。顧客忠誠度為企業永續發展及競爭優勢的助力，當顧客有滿意的知覺感受，才能建立後續良好的關係，達成對企業的偏好，長期購買並推薦他人。因此提出假說：

H6：醫療滿意度於醫療品質與服務與醫療忠誠度之間具有中介效果。

本研究參酌學者進行醫療可近性、醫療品質與服務、醫療滿意度及醫療忠誠度之實證研究及相關文獻的彙整，初步發展出臺東縣中、高齡民眾對目前醫療環境知覺感受的相關調查問項，問卷內容及題項分別參考過去研究（蘇靖惠，2015；張慈桂等，1998；陳天順，2004；蔡文正、龔佩珍，2003），因此具備相當的內容效度，為求謹慎，針對問卷初稿進行專家意見收集再建立專家效度，經由醫療產業及學術界三位專家，分別針對題目的完整性、正確性和通暢性進行檢定與修正，以確保正式問卷嚴謹度。

本問卷初稿分為四大構面：醫療可近性(5 題)、醫療品質與服務(15 題)、醫療滿意度(6 題)、醫療忠誠度(3 題)，總計 29 題。經過專家意見提供後，增加醫療可近性問項 1 題，醫療品質與服務 1 題，總計 31 題。首先進行問卷前測，共計發放 30 份問卷。經預試後，修訂兩題語意較不完整之題項後，完成正式問卷。接續進行信度分析以確保問卷內容一致性，分析結果顯示四個構面 Cronbach's Aalpha 值介於 0.751~0.963 之間，整體信度為 0.964，顯示本問卷具有高信度。

正式問卷內容包含兩部分，即上述四構面及個人基本資料。構面部分採李克特五點尺度 (Likert 5-point scale)，分為「非常同意」、「同意」、「可接受」、「不同意」、「非常不同意」，分別給予 5 到 1 分之計分方式。

## 一、研究對象與抽樣方法

本研究採用橫斷式調查法，針對臺東縣 45 至 65 歲民眾進行便利抽樣，發放問卷依據臺東縣鄉、鎮、市人口比率發放。回收問卷整理後發現，發放問卷之地點雖在當地，但仍無法有效控制為該受訪者是實際住在該鄉鎮市之居民，例如，該名受訪者可能是洽公或是商務，故抽樣預定發放件數與實際回收件數有些微差距。問卷填答方式以當面問答或自填的方式進行問卷資料收集。正式問卷發放為期 1 個月，依據臺東縣各鄉鎮市人口比率，總計發放 350 份問卷，扣除無效問卷後 19 份，回收有效問卷為 331 份，回收比率 94.57%，將回收後問卷進行資料的分析與統計處理。

## 二、資料分析工具

問卷進行回收整理後，以 SPSS 統計套裝軟體進行資料的分析與處理，分析方法包括信度分析、敘述性統計、獨立樣本 t 檢定、單因子獨立樣本變異數分析(ANOVA)、Pearson 相關分析、迴歸分析等。

## 肆、研究結果

首先本研究使用 Cronbach's Alpha 進行內部一致性信度分析，結果顯示四構面之 alpha 值介於 0.804~0.951 之間，整體信度 0.963，顯示本問卷具有高信度。

背景變項的敘述性統計分析結果如下：男性 139 人(42%)，女性 192 人(58%)，女性多於男性。受訪者年齡以 45-50 歲 123 人(37.2%)為最多。受訪者教育程度以大專 129 人(39.0%)最多，其次為高中(職)有 126 人(38.1%)，兩者合計佔 77.1%，顯示本次受訪者教育程度為中上水準。在就醫時的第一優先選擇上，有 31.7%的受訪者表示需要就醫時會優先選擇診所，而優先選擇地區醫院和區域醫院的分別為 29.9%和 27.8%，只有 10%的受訪者表示會優先選擇當地衛生所，由此可見一般民眾對當地衛生所提供的醫療品質是比較不認同的，而有超過五成的病患則會優先選擇地區醫院、區域醫院或醫學中心，表示對大部分的民眾而言，在就醫選擇上還是對大醫院較具信心。到醫療院所花費的交通時間少於 15 分鐘的有 146 人(44.1%)為最多，顯示大部分民眾就醫時會選擇離家較近的醫療院所優先就醫，就醫交通時間必須花費超過 1 小時以上的亦佔 10.6%，顯示臺東地區偏鄉就醫極度不便。

選擇至醫療院所就醫的原因，受訪者考慮的第一主因為醫療設備有 119 人(16%)，第二為交通便利 109 人(14.7%)，第三為長期習慣有 100 人(13.5%)，接著依序是離家近、醫術高明、服務親切、親友推薦、停車方便、等候時間、醫院名氣，最後為其他因素，而選擇其他因素的原因皆表示為：僅此一家、沒得選擇、附近沒有其他醫院。

受訪者針對就醫時是否會選擇固定醫療院所就醫問項中，有 254 人(76.7%)表示會選擇固定的醫院就診，顯示近八成的病患在需要醫療時，會選擇固定醫院就醫。受訪者針對本人或家屬是否曾至外縣市就醫(含轉診、轉檢)問項，有 262 人(79.2%)表示自己或家人曾至外縣市就診，或曾經由臺東醫療院所轉診或轉檢至外縣市，由此可見臺東縣民眾跨縣市就醫的比率極高，可說明臺東縣醫療可近性確實是較不足的。分析受訪者對臺東醫療可近性的實際感受，除了就醫方便及交通便利介於可接受與同意之間(平均數分別為 3.13 和 3.06)，其餘平均數皆不到 3，因此可解釋臺東縣民眾對醫療可近性是較無法認同的。

所謂的醫療品質與服務，就是要能符合病患對醫療的期待，包含對於等候時間、醫護等工作人員的服務態度、軟硬體設施、醫療環境的整齊與清潔、標示清楚與否等，因此將問卷有關醫療品質與服務的 16 題問項，歸類為五大項，其中對醫療院所所有工作人員的服務態度與醫師專業能力平均為 3.65 最高，其他包括就醫時候診、掛號、領藥、檢查等個別等候時間、對醫療環境的指引標示、整齊與清潔、對醫療院所的軟硬體設施、交通便利性之平均數皆在 3.4 以上，而對醫療品質與服務整體平均數為 3.52，介於可接受與同意之間，顯示受訪者對目前就醫的醫療院所醫療品質與服務的實際感受屬中上程度。

醫療滿意度為病患在接受醫療服務的主觀知覺感受，在此因素的六題問項中，分別針對病患在目前就醫看診後，對醫療院所的實際感受。對醫療院所的服務態度平均為 3.63 為最高，其他包括在對目前看診的醫療院所環境設施、對交通的便利性、對醫護人員的專業能力、對醫療設備、對目前就醫的醫療院所整體滿意度之平均數皆在 3.3

以上，而對目前就醫的醫療院所整體醫療滿意度平均為 3.42，介於可接受與滿意之間，表示受訪者對於目前就醫的醫療院所有中上程度的滿意度。

醫療忠誠度是病患樂意並願意再度返診，並且願意推薦這家醫療院所給他人。因此在此因素問卷中有三個問項，需要醫療時，會優先選擇同一家醫療院所的平均數為 3.77，倘若醫師離職，仍願意選擇同一家醫院平均為 3.43，願意介紹其他人到同一家醫療所就醫看診的平均為 3.56，整體而言，受訪者對醫院整體的忠誠度平均為 3.59，介於可接受與同意之間，表示大部分的病患對於目前就醫的醫療院所是有中上程度的忠誠度。

以 Pearson 相關分析來檢定醫療可近性、醫療品質與服務、醫療滿意度、醫療忠誠度之間是否有顯著線性關係，結果發現：醫療可近性和醫療品質與服務有顯著正相關；醫療可近性與醫療滿意度有顯著正相關；醫療可近性與醫療忠誠度有顯著正相關；醫療品質與服務與醫療滿意度有顯著正相關；醫療品質與服務與忠誠度有顯著正相關；醫療滿意度與醫療忠誠度有顯著正相關。本研究四構面間皆有顯著正相關。

接續以迴歸分析來進行研究假說的驗證。以醫療可近性為自變數、醫療滿意度為依變數進行迴歸分析，結果顯示醫療可近性對醫療滿意度具有顯著正向影響($t=14.356$，$p<0.001$)，表示當病患感受到醫療可近性愈可隨手可得，也就是就醫愈方便和醫療資源愈充足，對醫療滿意度將會顯著提升，亦即醫療可近性正向影響醫療滿意度，故 H1 成立。

以醫療可近性為自變數、醫療忠誠度為依變數進行迴歸分析，結果顯示醫療可近性對醫療忠誠度具有顯著正向影響($t=9.312$，$p<0.001$)，表示當病患感受到醫療可近性愈可隨手可得，可以在當地以最方便、花費最少時間就可獲得醫療時，病患將會樂意再度就醫返診治療，亦即醫療可近性正向影響醫療忠誠度，故 H2 成立。

以醫療品質與服務為自變數、醫療滿意度為依變數進行迴歸分析，結果顯示醫療品質與服務對醫療滿意度具有顯著的正向影響($t=21.744$，$p<0.001$)，表示當病患感受到良好的醫療品質與服務，如醫療人員的服務態度親切、醫療院所軟硬體設備完善、醫護人員的專業能力佳、就醫環境的整齊清潔、交通的便利等，將相對顯著提升醫療滿意度，亦即醫療品質與服務正向影響醫療滿意度，故 H3 成立。

以醫療滿意度為自變數、醫療忠誠度度為依變數進行迴歸分析，結果顯示醫療滿意度對醫療忠誠度具有顯著的正向影響($t=15.998$，$p<0.001$)，表示當病患對醫療環境、等候時間、人員服務態度、醫療過程愈滿意，愈能顯著提升醫療忠誠度，亦即醫療滿意度正向影響醫療忠誠度，故 H4 成立。

以醫療品質與服務為自變數、醫療忠誠度為依變數進行迴歸分析，結果顯示醫療品質與服務對醫療忠誠度具有顯著的正向影響($t=14.013$，$p<0.001$)，表示當病患愈感受到好的醫療品質與服務時，愈能顯著提升醫療忠誠度，也就是當需要醫療時愈願意選擇同一家醫院，並且願意推薦給他人，亦即醫療品質與服務正向影響醫療忠誠度，故 H5 成立。

以迴歸分析檢驗醫療滿意度對醫療品質與服務和醫療忠誠度的中介效果(mediating effect)，結果顯示醫療品質與服務對醫療滿意度具有顯著之解釋力($\beta=0.768$、

p<0.001)，表示醫療品質與服務對醫療滿意度具有正向顯著的效果，再檢驗醫療品質與服務對醫療忠誠度也具有顯著之解釋力(β=0.611、p<0.001)，表示醫療品質與服務對醫療忠誠度也同時具有顯著且正向的效果。接續檢驗醫療滿意度對醫療忠誠度發現，仍具有顯著之解釋力(β=0.661、p<0.001)，表示醫療滿意度對醫療忠誠度具有顯著且正向的效果。最後以層級迴歸同時考驗醫療品質與服務、醫療滿意度對醫療忠誠度之解釋力時，雖然醫療品質與服務對醫療忠誠度仍具有顯著之解釋力(β=0.252、p<0.001)，但已由原先的(β=0.611)下降至(β=0.252)，而醫療滿意度對忠誠度仍然具有顯著之解釋力(β=0.468、p<0.001)，為部分中介效果，如**表 1** 所示。接續以 Sobel test 檢驗醫療滿意度對醫療品質與服務和醫療忠誠度的中介效果，結果顯示中介效果顯著(z=2.112、p=0.035)，顯示醫療品質與服務影響醫療滿意度進而影響醫療忠誠度，中介效果的標準化效果量則為 d=0.359，也就是說醫療品質與服務每增加一個標準差，會透過影響醫療滿意度，進而讓醫療忠誠度增加 0.359 個標準差，亦即醫療滿意度於醫療品質與服務與醫療忠誠度之間具有中介效果，故 H6 成立。

**表 1.**醫療滿意度為醫療品質與服務對醫療忠誠度之中介效果分析

| | **依變數** | **醫療滿意度** | | **醫療忠誠度** | |
|---|---|---|---|---|---|
| 自變數 | | Mode1 醫療品質與服務對滿意度 | Mode2 醫療品質與服務對醫療忠誠度 | Mode3 醫療滿意度對醫療忠誠度 | Mode4 醫療品質與服務、醫療滿意度對醫療忠誠度 |
| 醫療品質與服務 | Beta | .768*** | 0.611*** | | 0.252*** |
| | t | 21.774 | 14.013 | | 3.984 |
| | p | <0.001*** | <0.001*** | | <0.001*** |
| 醫療滿意度 | Beta | | | 0.661*** | 0.468*** |
| | t | | | 15.998 | 7.407 |
| | p | | | <0.001*** | 0.00*** |
| | $R^2$ | 0.59 | 0.374 | 0.438 | 0.464 |
| | Adj $R^2$ | 0.589 | 0.372 | 0.436 | 0.46 |
| | F | 474.124*** | 196.366*** | 255.949*** | 141.695*** |
| | 自由度 | (1, 329) | (1, 329) | (1, 329) | (2, 328) |

註：N=331, * p<.05, ** p< .01, *** p<.001

# 伍、結論與建議

本研究針對居住於臺東縣、年齡介於 45 至 65 歲的民眾進行調查，目的在探討其對醫療可近性、醫療品質與服務的感知，以及醫療滿意度與忠誠度之間的關聯性。研究發現，受訪者在選擇醫療院所時，最重視的因素依序為醫療設備完善、交通便利、長期就醫習慣、地理位置、醫術精湛、服務態度、親友推薦、停車便利、等候時間與醫院名聲。相較於其他研究指出親友推薦為關鍵因素（蘇靖惠，2015；洪啟庭，2014），臺東地區受限於醫療選擇有限及偏鄉特性，民眾更重視交通與長期習慣等實際因素。此外，隨著網路資訊發達與媒體宣傳普及，受訪者對親友推薦的依賴程度相對下降。調查也顯示，近八成受訪者曾赴外縣市就醫，凸顯當地醫療資源的不足及民眾對醫療品質的不信任感。研究指出，當病患面臨急重症時，會選擇前往大型醫院（姚美雲，2006），並且赴外就醫的比率及其所需花費的時間可作為衡量醫療可近性的指標（譚秀芬，1998）。

進一步分析發現，醫療可近性對醫療滿意度具有顯著正向影響。醫療可近性反映病患就醫的便利性與醫療系統的契合度，當就醫流程順暢且可及性高時，病患的滿意度自然提升。此一結論與過往研究一致，指出在偏遠地區設立分院可有效提升民眾的就醫滿意度與照護成效（王裕煒，2005）。本研究亦支持此觀點，顯示提供便捷醫療服務可改善疾病管理、降低住院率並提升整體滿意度。因此，推動提升當地醫療可近性，將是改善民眾醫療體驗與滿意度的首要任務。

本研究亦顯示，醫療可近性不僅影響滿意度，也對醫療忠誠度有正向作用。在醫療資源較缺乏的地區如關山鎮、蘭嶼與綠島等地，民眾的忠誠度較低；反觀醫療可近性較高的地區如海端與太麻里，忠誠度相對提升。雖然本研究樣本分布在各鄉鎮間不完全均衡，未來仍應進一步驗證此一發現的普遍性。同時，醫療品質與服務亦對醫療滿意度有顯著正向影響。當醫療技術專業、照護服務以病患為中心、並提供現代化設備時，將有效增進病患的滿意度，這與過往文獻結論一致（蘇靖惠，2015）。

最後，研究指出醫療滿意度與忠誠度之間亦有顯著正向關係，顯示提升病患滿意度是建立其忠誠度的關鍵。此外，醫療品質與服務不僅直接影響忠誠度，更透過醫療滿意度產生中介作用，這一發現與過去的研究（藍毓莉等，2015）一致。當病患對醫療服務感到滿意時，更可能持續選擇並推薦該院所。隨著病患醫療知識的提升及網路資訊的發達，民眾對醫療品質的要求與期待亦隨之提高，醫療院所需如同企業般經營，致力於開發新顧客、留住老顧客，積極提升品質、滿足多元需求，才能在競爭激烈的環境中維持其競爭力與永續發展。

根據研究結論提出以下建議以供政策參考與後續研究方向之用。首先，衛生福利部與健保署應更積極推動在地醫療發展，並提供完善的配套措施，以支持偏鄉地區的醫療體系及鼓勵醫師下鄉服務。雖然現行的整合式醫療服務（IDS）計畫已具一定成效，但針對特殊專科醫師人力不足的問題，仍有改善空間。政府應重視並提升中途地區醫療機構的服務品質，以進一步改善偏鄉地區民眾的醫療可近性。其次，醫療院所本身應更加注重醫療品質與服務水準的提升。從本研究結果顯示，醫療品質與服務與病患的醫療滿意度及忠誠度具有密切關聯。當民眾對醫療服務感到滿意時，將更傾向於持續選擇並忠誠於該院所，進而提升該醫療機構的競爭力與永續發展能力。此外，

臺東縣唯一的區域級教學醫院應加速升格為重度急救區域責任醫院，並主動引進更多急重症相關的專業醫師與技術人員，以確保在地病患能即時獲得必要的急重症醫療服務，減少外送轉院風險，真正實現「在地就醫」的目標。

在未來研究方面，建議可針對臺東縣山線與海線居民的醫療感受進行比較，深入分析兩地居民對於醫療可近性與品質的主觀感知，藉此作為改善地方醫療資源配置與服務品質的重要參考。最後，本研究尚未探討中西醫巡迴醫療對偏鄉地區醫療可近性與滿意度的實質影響，建議未來可針對此議題進行深入探究。此外，鑑於醫療環境的改善需要長期規劃與投入，未來研究可考慮採用縱向追蹤或實地訪談的方式，以更全面掌握病患需求，並為政策制定提供具體而實證的建議。

## 參考文獻

### 一、中文部分

內政部戶政司網站（2025）。**各縣市老化指數**。https://www.ris.gov.tw/app/portal/674。

尹衍樑（1983）。**就醫態度與轉院行為關係之研究**。國立臺灣大學商學研究所未出版碩士論文，臺北市。

尤瑞鴻（2014）。**醫療品質管理學**。3 版。臺北市：華杏。

王裕煒（2005）。**偏遠地區設立分院之效果與效益評估—以東部地區某公立醫院為例**。高雄醫學大學公共衛生學研究所碩士在職專班未出版碩士論文，高雄市。

自由健康網（2024）。**健保滿意度最新統計出爐！民眾維持 9 成高度滿意**。https://health.ltn.com.tw/article/breakingnews/4543921。

朱正一（2016）。**醫務管理-制度、組織與實務**。第二版。臺北：華杏。

李宜瑄（2015）。**在城鄉差距與可避免住院之相關性研究**。臺北：國立臺灣大學公共衛生學院健康政策與管理研究所碩士論文。

吳依凡（2004）。**醫療資源可近性對個人醫療利用的影響**。國立中央大學產業經濟研究所未出版碩士論文，桃園市。

吳素禎（2017）。**探討臺東市某醫院糖尿病門診病患照護滿意度之調查**。國立臺東大學身心整合與運動休閒產業學健康促進與休閒管理碩士班未出版碩士論文，臺東市。

周繼文（1995）。**服務品質量表發展方法與程序之研究**。國立交通大學工業工程研究所未出版碩士論文，新竹市。

林民浩、郭年真、陳威全、溫在弘（2016）。剖析臺灣民眾的就醫流動：利用引力模式評估就醫距離與醫療資源分布的影響。**臺灣公共衛生雜誌**，35(2)，136–151。

重要性別統計資料庫（2024）。**健康、醫療與照顧**。https://www.gender.ey.gov.tw/gecdb/Stat_Statistics_Field.aspx。

洪啟庭（2014）。**臺灣區域醫院眼科經營之策略**。國立中山大學高階經營碩士班未出版碩士論文，高雄市。

姚美雲（2006）。**民眾就醫行為分析－以斗六地區三家醫院為例**。國立雲林科技大學工業工程與管理研究所未出版碩士論文，雲林縣。

祝道松、彭雅惠、董鈺琪、龔建吉、陳秀珠、陶阿倫（2015）。**醫療機構成本與管理會計**。臺北：華杏。

陳天順（2004）。**金門縣民眾縣外就醫影響因素之探討**。臺北醫學大學醫務管理學研究所未出版碩士論文，臺北市。

陳全裕、楊宜青（2007）。提升高齡化無醫鄉之醫療照護水準-以田寮模式巡迴醫療為例。**臺灣老年醫學雜誌**，2，209-224。

陳育穎(2017)。**醫療可近性與可預防住院的關聯-檢測偏鄉巡迴醫療計畫的成效**。國立中央大學產業經濟研究所未出版碩士論文，桃園市。

陳倩妮（1998）。**服務品質與顧客滿意度相關探討—以醫療產業為例**。元智大學管理研究所未出版碩士論文，桃園市。

陳重銘、應立志、王萬琳、潘美芳（2017）。某醫療給付效益提升計畫之病患滿意度調查。**若瑟醫護雜誌**，11，45-61。

張雅雯（2002）。**醫療利用可近性—臺灣老人之實證研究**。國立中央大學產業經濟研究所未出版碩士論文，桃園市。

張慈桂、李燕鳴、蕭正光（1998）。全民健康保險實施後花蓮偏遠地區民眾醫療可近性之探討。**慈濟醫學**，10，201-209。

章殷超、溫在弘、賴美淑（2009）。利用地理資訊系統探討肝癌病患就醫地理可近性與醫院選擇間之相關性。**臺灣公共衛生雜誌**，28，517-529。

郭德賓（2000）。醫療服務業顧客滿意與競爭策略之研究。**產業管理學報**，1，231-256。

湯玲郎（1999）。**醫療服務品質與顧客滿意度之關係研究**。第一屆服務業績效管理研討會論文集。

黃羽瑄(2010)。**醫療可近性對臺灣地區中風病人死亡率的影響**。國立中央大學產業經濟研究所未出版碩士論文，桃園市。

黃志暉（2004）。**臺東地區主要競爭醫院忠誠病人之區辨研究**。高雄醫學大學公共衛生學研究所碩士在職專班未出版碩士論文，高雄市。

葉婉榆、陳志聖、鄒欣縈、劉宜華、吳柏樺、曹雅琪、呂佳容（2012）。花蓮縣偏遠與非偏遠地區民眾對於基層醫療保健服務的使用與需求之比較。**臺灣公共衛生雜誌**，31(4)，371-387。

楊劭為（2013）。**我國全民健康保險制度下醫療資源分配的公平性與效率**。國立成功大學工業與資訊管理學系未出版博士論文，臺南市。

楊啟正（2016）。**醫療專業，真的真的不是服務業**。擷取自 http://www.commonhealth.com.tw/article/article.action?nid=72648。

趙子傑（2016）。**實用醫療品質管理學**。臺北：華泰。

廖興中（2014）。臺灣基層醫療缺乏區域界定之初探：整合空間與非空間因素的分析。**行政暨政策學報**，58，121-152。

蔡文正、龔佩珍（2003）。民眾對基層診所評價與就醫選擇影響因素。**臺灣公共衛生雜誌**，22，181-193。

鄭成忠（2017）。**新自強號服務品質提升對顧客滿意度與忠誠度影響之分析 －以花蓮站為例**。國立東華大學公共行政學系未出版碩士論文，花蓮縣。

鄭雯馨（2013）。**睡眠醫學中心服務品質與忠誠度探討：以中部某醫學中心為例**。中山醫學大學醫學資訊學系未出版碩士論文，臺中市。

謝士明（1993）。**建立我國醫院醫療品質保證計畫模式之研究**。臺北市：衛生署研究計畫報告。

藍忠孚（1981）。**尋求醫療服務過程之障礙—兼論醫療資源的分配與利用**。臺北：中央研究院三民主義研究所叢書。

藍毓莉、江雪萍、王美慧、陳建智（2015）。醫療服務品質對忠誠之影響－以滿意中介效果。**顧客滿意學刊**，11，223-240。

韓揆（1994）。醫療品質管理及門診服務品質定性指標。**中華公共衛生雜誌**，13，35-53。

譚秀芬（1998）。**嘉義縣阿里山鄉醫療資源利用現況及滿意度調查**。臺北：行政院衛生署八十七年度委託研究計畫(計畫編號：DOH87-NH-012)。

蘇靖惠（2015）。**門診服務品質、滿意度與忠誠度之關係-以屏東某區域教學醫院為例**。國立屏東大學企業管理學系未出版碩士論文，屏東市。

## 二、外文部分

Aday, L. A. & Andersen, R. M. (1974). A framework for the study of access to medical care. *Health Services Research*, 9, 208-220.

Baron, R. M., & Kenny, D. A. (1986). The moderator-mediator variable distinction in social psychological research: conceptual, strategic, and statistical considerations. *Journal of Personality and Social Psychology*, 51(6), 1173-1182.

Cho, W. H., Lee, H., Kim, C., Lee, S., & Choi, K. S. (2004). The impact of visit frequency on the relationship between service quality and outpatient satisfaction: a South Korean study. *Health Services Research*, 39(1), 13-34.

Donabedian, A. (1988). The quality of care: How can it be assessed? *The Journal of the American Medical Association*, 260(12), 1743-1748.

Fornell, C. (1992). A national customer satisfaction barometer: the Swedish experience. *Journal of Marketing*, 56(1), 6-21.

Linder-Pelz, S. (1982). Toward a theory of patient satisfaction. *Social Science & Medicine*, 16(5), 557-582.

Macstravic, R. S. (1994). Hospital patient loyalty: causes and correlates. *Journal of Hospital Marketing*, 8(2), 67-72.

Meade, M. F. & Earickson J. R. (2000). *Medical Geography*. New York: The Guilford Press.

Mortazavi, S., Kazemi, M., Shirazi, A., & Azizabadi, A. (2009). The relationships between patient satisfaction and loyalty in the private hospital industry. *Iranian Journal of Public Health*, 38(3), 60-69.

O'connor, S. J. (1988). *Service quality, services marketing, and the health care consumer: a study assessing the dimensions of service quality and their influence on patient satisfaction and intentions to return*. Doctoral dissertation, The University of Alabama at Birmingham.

Penchansky, R. & Thomas, J. W. (1981). The concept of access - definition and relationship to consumer satisfaction. *Medical Care*, 19, 127-140.

Stratmann, W. C. (1975). A study of consumer attitude about health care: The delivery of ambulatory services. *Medical Care*, 13(7), 537-548.

Weissman, J. S. & Epstein, A. M. (1993). The insurance gap: does it make a difference? *Annual Review Public Health*, 14, 243-270.

Weitzman, B. (1990). *Improving quality of care*. In Jonas and Kovner's health care delivery in the United States. Springer Publishing.

Zeithaml, V. A., Berry, L. L., & Parasuraman, A. (1996). The behavioral consequences of service quality. *Journal of Marketing*, 60(2), 31-46.

# 國中運算思維與程式邏輯課程對學習動機與滿意度之影響

溫廷宇*、鄭國明

## 中文摘要

**研究目的：**本研究旨在探討「運算思維與程式邏輯課程」對國中學生學習動機與學習滿意度之影響。隨著程式設計已成為 21 世紀核心素養的重要組成部分，瞭解此類課程如何影響學生的情意參與，對於課程改革與教學創新具有關鍵意義。

**研究方法：**本研究以建構主義學習理論與自我決定理論為基礎，採準實驗研究設計。研究對象為臺灣某國中兩班八年級學生，分為實驗組與控制組。實驗組接受為期四週之課程，內容包含運算思維框架、積木式程式設計，以及真實情境問題解決任務；控制組則依照現行科技課程教學。研究以驗證過的量表測量學生的學習動機與滿意度，並使用獨立樣本 t 檢定進行資料分析。

**研究發現：**研究結果顯示，實驗組學生在學習動機與學習滿意度兩項指標上均顯著高於控制組，且具有大效應量，顯示課程對學生學習具有顯著正向影響。具互動性、真實關聯性與以學生為中心的學習環境，有助於提升學生的參與感、學習樂趣與對課程的認同價值。

**研究價值：**本研究提供實證證據，證明將運算思維與程式邏輯融入國中課程，能有效促進學生的情意學習成效。研究強調學習自主性與問題導向學習在提升動機與滿意度方面的重要性，並為教育現場與政策制定者提供具體建議，以設計具吸引力與成效的運算課程，培養學生的數位素養與對程式設計的持久興趣。

**關鍵詞**：運算思維、程式邏輯、學習動機、學習滿意度、Scratch

溫廷宇(通訊作者)，國立高雄師範大學工業科技教育系所博士生。Email: 811071002@mail.nknu.edu.tw
鄭國明，國立高雄師範大學工業科技教育系所教授。Email: jgm0730@gmail.com

# The Impact of Computational Thinking and Programming Logic Curriculum on Junior High School Students Learning Motivation and Satisfaction

Ting-Yu Wen* , Guo Ming Jeng

## Abstract

**Purpose**–This study aims to explore the effects of a computational thinking and programming logic curriculum on junior high school students' learning motivation and satisfaction. As programming becomes a core component of 21st-century competencies, understanding how such curricula influence students' affective engagement is crucial for curriculum reform and instructional innovation.

**Design/methodology/approach**–Grounded in constructivist learning theory and Self-Determination Theory, this study adopted a quasi-experimental design. Two eighth-grade classes from a junior high school in Taiwan were divided into an experimental group and a control group. The experimental group engaged in a four-week course incorporating computational thinking frameworks, block-based programming, and real-world problem-solving tasks. The control group followed the standard technology curriculum. Learning motivation and satisfaction were measured using validated scales, and the data were analyzed using independent samples t-tests.

**Findings**–The results showed that students in the experimental group scored significantly higher in both learning motivation and satisfaction compared to the control group. Large effect sizes were observed, indicating strong positive impacts. The interactive, relevant, and student-centered learning environment contributed to increased engagement, enjoyment, and perceived value of the learning experience.

**Originality/value/implications**–This study provides empirical evidence that integrating computational thinking and programming logic into junior high school curricula can enhance students' affective learning outcomes. The findings highlight the value of learner autonomy and problem-based learning in promoting motivation and satisfaction. The study offers practical insights for educators and policymakers to develop effective, engaging computing curricula that support digital competence and sustained interest in programming.

**Keywords:** Computational Thinking, Programming Logic, Learning Motivation, Learning Satisfaction, Scratch

Ting-Yu Wen (Corresponding Author), Student, Department of Industry Technology Education, National Kaohsiung Normal University, Email:811071002@mail.nknu.edu.tw

Guo Ming Jeng, Professor, Department of Industry Technology Education, National Kaohsiung Normal University, Email:jgm0730@gmail.com

# 1. Introduction

## 1-1. Background

In the era of digital transformation, the ability to think computationally and engage in problem-solving using algorithmic processes has emerged as a vital literacy. Internationally, educational systems have embraced this paradigm by embedding programming and computational thinking into national curricula (Bocconi et al., 2016). Taiwan's 2019 Curriculum Guidelines (commonly known as the 108 Curriculum) are aligned with these global trends, introducing programming into junior high school technology courses with the intention of cultivating digital competence and future-ready skills.

From a theoretical standpoint, this curriculum reform is grounded in constructivist learning theory (Piaget, 1970; Papert, 1980), which posits that learners actively construct knowledge through experiences that are meaningful and contextually relevant. Programming, when approached through problem-based and project-based learning, offers such a context by promoting active engagement, logical reasoning, and iterative thinking. Furthermore, Self-Determination Theory (Deci & Ryan, 1985) suggests that learning environments that support autonomy, competence, and relatedness are more likely to foster intrinsic motivation—an essential component for sustained learning, especially in cognitively demanding subjects such as programming, where sustained engagement is critical.

This study seeks to explore whether a curriculum designed with these pedagogical and theoretical insights can indeed influence two key affective variables: learning motivation and learning satisfaction. These variables serve not only as indicators of student engagement but also as predictors of long-term academic persistence and success (Pintrich & De Groot, 1990). Computational thinking, motivation, and attitude are strongly interrelated and jointly influence programming achievement (Choi & Choi, 2023).

## 1-2. Research Objectives

This study aims to explore the impact of a computational thinking and programming logic course on junior high school students. The specific objectives are as follows:

1. To examine whether the course can enhance students' learning motivation.
2. To assess whether the course can improve students' learning satisfaction.
3. To provide empirical data and suggestions for future programming instruction and curriculum planning in junior high schools.

## 1-3. Research Questions

In line with the above objectives, this study addresses the following research questions:

1. Is there a significant difference in learning motivation between students who participate in the computational thinking and programming logic course and those who do not?

2. Is there a significant difference in learning satisfaction between students who participate in the computational thinking and programming logic course and those who do not?
3. What is the overall learning attitude of students towards the coding course?

# 2. Literature Review

## 2-1. Computational Thinking

Computational thinking (CT) is a methodical problem-solving process that involves formulating problems in a way that enables the use of computer-based tools for solving them. Wing (2006) emphasized that CT is a "fundamental skill for everyone, not just computer scientists." CT comprises components such as abstraction, decomposition, pattern recognition, and algorithmic design, all of which support higher-order thinking skills. Enhanced computational thinking contributes to higher programming self-efficacy and learning motivation among students (Yilmaz & Yilmaz, 2023).

From a theoretical perspective, Papert's Constructionism (1980) supports the use of programming tools (like Scratch) as a medium for learners to construct knowledge through designing and building computational artifacts. This process aligns with Bloom's revised taxonomy, situating CT at the upper levels of cognitive engagement—analyzing, evaluating, and creating.

## 2-2. Programming Logic

Programming logic refers to understanding the structural elements of code, such as sequence, conditionals, and iteration. It facilitates the application of CT in practice. Grover and Pea (2013) assert that programming logic is foundational for developing computational literacy. It helps reduce extraneous cognitive load (Sweller, 1988) by offering a structured framework for solving complex problems.

In educational settings, programming logic instruction often serves as a gateway to deeper computational learning. When taught using visual programming environments, learners can bypass syntax-related frustration and focus on the logic and flow of programs—an approach consistent with Cognitive Load Theory.

## 2-3. Learning Motivation

Learning motivation is influenced by internal and external factors that determine a student's willingness to engage with content. Self-Determination Theory (Deci & Ryan, 1985) distinguishes between intrinsic motivation (engagement due to interest) and extrinsic motivation (driven by external rewards or pressures). Previous studies suggest that effective programming curricula by emphasizing autonomy, challenge, and relevance. Students'

intrinsic programming motivation is positively associated with their computational thinking proficiency (Fagerlund et al., 2022).

Additionally, Flow Theory (Csikszentmihalyi, 1990) provides a lens through which motivation in programming tasks can be understood. When students are fully immersed in challenging but achievable programming tasks, they are more likely to experience a "flow" state, leading to deeper engagement and persistence.

### 2-4. Learning Satisfaction

Learning satisfaction reflects a student's overall appraisal of their learning experience and is strongly associated with their perception of teaching quality, curriculum relevance, and personal achievement. According to Keller's ARCS Model (1987)—which focuses on Attention, Relevance, Confidence, and Satisfaction—courses that incorporate real-world relevance and offer scaffolded success are more likely to produce satisfied learners.

In programming education, satisfaction can be increased by employing constructivist-aligned methods such as project-based learning, collaborative problem-solving, and immediate feedback—all of which support a positive learning climate.

### 2-5. Summary of Literature Review

Prior research and theoretical models converge on the view that computational thinking and programming logic instruction—when grounded in sound pedagogical practices—can yield cognitive, motivational, and affective benefits. Drawing from constructivist learning theory, cognitive load theory, and motivational psychology, this study hypothesizes that integrating computational thinking with programming logic in a junior high school context will positively influence students' motivation and satisfaction.

## 3. Research Methodology

### 3-1. Research Design

This study employed a quasi-experimental design with a pretest-posttest control group approach to investigate the effects of a computational thinking and programming logic curriculum on junior high school students' learning motivation and satisfaction. The quasi-experimental method is particularly suitable for educational contexts where randomized assignment is not feasible, allowing for practical implementation while maintaining internal validity (Cook & Campbell, 1979).

The research framework is grounded in constructivist learning theory, which posits that learners actively construct knowledge through experiences and reflection. The experimental curriculum was designed to align with constructivist principles by emphasizing active problem-solving, iterative design, and collaborative learning.

### 3-2. Ethical Considerations

This study adhered to standard ethical guidelines for educational research. Prior to data collection, ethical clearance was obtained from the institutional review board of the authors' affiliated university. All participants and their legal guardians were informed about the purpose, procedures, and voluntary nature of the study. Written informed consent was obtained from both students and their parents or guardians. Participants were assured that their responses would be kept confidential and used solely for research purposes. Anonymity was maintained throughout data collection, analysis, and reporting.

### 3-3. Participants

Participants were drawn from eighth-grade classes in a junior high school located in Miaoli County, Taiwan. A total of 56 students participated, with 28 assigned to the experimental group and 28 to the control group. To maintain instructional consistency and reduce contamination, intact classroom groups were used. The sampling approach was purposive, focusing on the accessibility and cooperation of the school site.

### 3-4. Research Instruments

To assess learning outcomes, two instruments were developed and validated:

1. Learning Motivation Scale
   Adapted from Pintrich and De Groot (1990), the scale includes intrinsic and extrinsic motivational components, reflecting the Self-Determination Theory (Deci & Ryan, 1985). The revised version contains 20 items tailored to the context of programming education.
2. Learning Satisfaction Scale
   This instrument measures satisfaction across multiple dimensions, including content relevance, instructional delivery, perceived learning, and affective responses. The scale comprises 18 items, developed based on existing models of learner satisfaction (Keller, 2010; Sun et al., 2008).

Both scales utilized a 5-point Likert response format, and expert review confirmed their content validity. A pilot study was conducted to ensure the reliability and internal consistency of both instruments, yielding Cronbach's alpha values above .85.

### 3-5. Teaching Intervention

The experimental group participated in a four-week curriculum centered on computational thinking and programming logic, incorporating constructivist and experiential learning strategies. Each weekly session lasted 45 minutes and included the following components:

- Introduction to computational thinking frameworks (Wing, 2006)

- Instruction on programming logic structures (sequence, conditionals, loops)
- Engagement with block-based programming environments such as Scratch
- Application of real-world problem-solving scenarios
- Collaborative projects to reinforce concepts through peer interaction

The control group continued with the standard technology education curriculum, focusing on general computer skills without explicit instruction in computational thinking or programming logic.

### 3-6. Data Collection and Analysis

Data were collected at two time points: before (pretest) and after (posttest) the intervention. Quantitative data were analyzed using SPSS 26.0, applying the following statistical techniques:

- Descriptive statistics to summarize sample characteristics
- Independent samples t-tests to compare post-intervention outcomes between groups
- Paired samples t-tests to analyze within-group pre-post changes
- Significance was determined at $\alpha = .05$

Effect sizes (Cohen's d) were calculated to determine the magnitude of observed effects, with benchmarks set at 0.2 (small), 0.5 (medium), and 0.8 (large).

## 4. Results and Discussion

### 4-1. Analysis of Learning Motivation

An independent samples t-test indicated that the experimental group ($M = 4.32$, $SD = 0.41$) scored significantly higher on the learning motivation scale compared to the control group ($M = 3.87$, $SD = 0.53$), $t(54) = 3.18$, $p < .01$, $d = 0.92$, representing a large effect.

These findings support the notion that integrating computational thinking principles enhances learners' motivation by fostering autonomy, competence, and relevance—three key constructs in Self-Determination Theory (Deci & Ryan, 1985). The use of visual, interactive tools reduced the intimidation often associated with text-based programming, thereby promoting a more engaging learning environment.

### 4-2. Analysis of Learning Satisfaction

The experimental group also reported significantly greater satisfaction ($M = 4.45$, $SD = 0.36$) than the control group ($M = 3.92$, $SD = 0.49$), $t(54) = 3.76$, $p < .01$, $d = 1.01$.

According to Keller's ARCS model (Attention, Relevance, Confidence, Satisfaction), instructional designs that incorporate real-life applications, gamified elements, and progressive challenge levels can substantially increase satisfaction. The results suggest that

the curriculum addressed students' psychological needs and enhanced their perception of learning value.

### 4-3. Discussion

The outcomes align with prior research demonstrating that computational thinking frameworks can improve both affective and cognitive learning outcomes (Grover & Pea, 2013; Brennan & Resnick, 2012). Students exposed to structured, visually-supported learning environments demonstrated more positive attitudes toward learning, consistent with Cognitive Load Theory (Sweller, 1988), which posits that reducing extraneous cognitive load enhances student engagement and retention.

Furthermore, the findings validate the constructivist premise that hands-on, authentic learning tasks foster deeper motivation and satisfaction. This has strong implications for the design of future technology education curricula. Project-based computational thinking instruction can re-engage apathetic students and improve their motivation and academic behavior (Díaz-Lauzurica & Moreno-Salinas, 2019).

These results are consistent with findings from Yilmaz and Yilmaz (2023), who observed a similar increase in student motivation following computational thinking instruction in middle school contexts. The alignment suggests that well-structured computational thinking curricula can have a broad positive impact on affective learning outcomes across diverse educational settings. However, the relatively short intervention period in this study may limit the extent to which long-term changes in motivation and satisfaction can be observed. Future studies employing longitudinal designs would be necessary to determine whether these gains are sustained over time and how they influence subsequent academic achievement or persistence in STEM-related fields.

## 5. Conclusions and Recommendations

### 5-1. Conclusions

Based on the empirical evidence, the study concludes that:

- A curriculum centered on computational thinking and programming logic significantly enhances learning motivation, likely due to increased relevance, perceived competence, and autonomy.
- Student learning satisfaction also improves under such instructional conditions, especially when interactive, problem-based methods are employed.
- Constructivist and self-determination-based instructional strategies are effective for promoting affective engagement in programming education.

### 5-2. Recommendations

For Curriculum Development

- Incorporate computational thinking as a core element in junior high school technology courses.
- Design curricula that emphasize problem-solving, logic, and creativity, rather than rote syntax memorization.

For Instructional Design

- Utilize visual programming environments, real-life problem contexts, and project-based learning to enhance student engagement.
- Embed formative assessments and reflection activities to deepen understanding.

For Teacher Training

- Provide professional development programs focused on computational thinking pedagogy and programming logic instruction.
- Encourage peer collaboration and community-based teaching resources to support curricular adoption.

**三、For Future Research**

- Expand the study to include diverse geographic regions and school types to enhance generalizability.
- Conduct longitudinal studies to examine the sustained effects of computational curricula on student motivation and achievement.
- Explore qualitative data such as interviews or classroom observations to gain insights into student experiences and instructional interactions.

## References

Bocconi, S., Chioccariello, A., Dettori, G., Ferrari, A., & Engelhardt, K. (2016). *Developing computational thinking in compulsory education-Implications for policy and practice* (No. JRC104188). Joint Research Centre.

Brennan, K., & Resnick, M. (2012). New frameworks for studying and assessing the development of computational thinking. *Proceedings of the 2012 Annual Meeting of the American Educational Research Association*, Vancouver, Canada.

Choi, S., & Choi, J. (2023). The influence and relationship between computational thinking, learning motivation, attitude, and achievement of Code.org in K-12 programming education. *arXiv preprint*. https://arxiv.org/abs/2412.14180

Chen, B. L. (2020). *Using project-based learning to enhance programming learning outcomes for elementary school students* (Unpublished master's thesis). National Taipei University of Education, Department of Computer Science.

Chen, J. H. (2018). *A study on the impact of integrating information technology into teaching on the learning motivation and effectiveness of junior high school students* (Unpublished master's thesis). National Changhua University of Education, Institute of Education.

Cook, T. D., & Campbell, D. T. (1979). *Quasi-experimentation: Design and analysis issues for field settings*. Houghton Mifflin.

Csikszentmihalyi, M. (1990). *Flow: The psychology of optimal experience*. Harper & Row.

Díaz-Lauzurica, L., & Moreno-Salinas, D. (2019). Computational thinking and robotics: A teaching experience in compulsory secondary education with students with high degree of apathy and demotivation. *Sustainability*, 11(18), 5109. https://doi.org/10.3390/su11185109

Fagerlund, J., Mikkonen, J., Mikkonen, T., & Lattu, M. (2022). Finnish teachers' and students' programming motivation and their role in teaching and learning computational thinking. *Frontiers in Education*, 7, 948783. https://doi.org/10.3389/feduc.2022.948783

Grover, S., & Pea, R. (2013). Computational thinking in K–12: A review of the state of the field. *Educational Researcher*, 42(1), 38–43. https://doi.org/10.3102/0013189X12463051

Keller, J. M. (2010). *Motivational design for learning and performance: The ARCS model approach*. Springer.

Li, Z. Q. (2017). *A study on the learning satisfaction and effectiveness of high school students in a digital learning environment* (Unpublished master's thesis). National Kaohsiung Normal University, Department of Industrial Technology Education.

Lin, Y. T., Tseng, Y. M., & Chien, S. Y. (2019). Enhancing computational thinking capability of preschool children by game-based smart toys. *Electronic Commerce Research and Applications*, 36, 100859. https://doi.org/10.1016/j.elerap.2019.100859

Papert, S. (1980). *Mindstorms: Children, computers, and powerful ideas*. Basic Books.

Piaget, J. (1970). *Science of education and the psychology of the child*. Orion Press.

Pintrich, P. R., & De Groot, E. V. (1990). Motivational and self-regulated learning components of classroom academic performance. *Journal of Educational Psychology*, 82(1), 33–40. https://doi.org/10.1037/0022-0663.82.1.33

Sweller, J. (1988). Cognitive load during problem solving: Effects on learning. *Cognitive Science*, 12(2), 257–285. https://doi.org/10.1207/s15516709cog1202_4

Wang, S. F. (2021). *A study on the learning motivation and satisfaction of upper-grade elementary school students participating in programming courses* (Unpublished master's thesis). National Pingtung University, Institute of Educational Technology.

Wing, J. M. (2006). Computational thinking. *Communications of the ACM*, 49(3), 33–35. https://doi.org/10.1145/1118178.1118215

Wu, Y. X. (2021). *An action research on the design and implementation of computational thinking and programming logic courses for junior high school students* (Unpublished master's thesis). National Tainan University, Institute of Information Education.

Yilmaz, R. M., & Yilmaz, F. G. K. (2023). The effect of generative artificial intelligence (AI)-based tool use on students' computational thinking skills, programming self-efficacy and motivation. *Education and Information Technologies*. https://doi.org/10.1007/s10639-023-11880-4

Wu, J. H., & Chen, T. H. (2022). Combining Webduino programming with situated learning to promote computational thinking, motivation, and satisfaction among high school students. *Sustainability*, 14(17), 10894. https://doi.org/10.3390/su141710894

## Appendix A

### Learning Motivation and Satisfaction Scale for Computational Thinking and Programming Logic Courses

**Instructions:** Please indicate your level of agreement with each statement by checking the box that best represents your opinion.

**Scale:**

□ **1** = Strongly Disagree □ **2** = Disagree □ **3** = Neutral □ **4** = Agree □ **5** = Strongly Agree

**Basic Information**

Gender: □ Male □ Female

**Section 1: Learning Motivation**

| No. | Item | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | I am interested in the computational thinking and programming logic course content. | □ | □ | □ | □ | □ |
| 2 | I find the course content engaging and stimulating. | □ | □ | □ | □ | □ |
| 3 | I believe computational thinking and programming logic are useful in real life. | □ | □ | □ | □ | □ |
| 4 | Learning this course has been a refreshing experience. | □ | □ | □ | □ | □ |
| 5 | I enjoy learning topics related to computational thinking and programming logic. | □ | □ | □ | □ | □ |
| 6 | I am confident that I will perform well in the assessments for this course. | □ | □ | □ | □ | □ |
| 7 | I am motivated to learn because I see this course as an opportunity for personal growth. | □ | □ | □ | □ | □ |
| 8 | I feel I have learned a lot through this course. | □ | □ | □ | □ | □ |

**Section 2: Learning Satisfaction**

| No. | Item | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 9 | I find the computational thinking and programming logic course to be effective. | □ | □ | □ | □ | □ |
| 10 | The course materials provide useful and relevant content. | □ | □ | □ | □ | □ |
| 11 | I believe I performed well in this course. | □ | □ | □ | □ | □ |
| 12 | This course encouraged collaboration and peer discussion. | □ | □ | □ | □ | □ |
| 13 | I enjoyed the computational thinking and programming logic course. | □ | □ | □ | □ | □ |
| 14 | I am satisfied with the overall experience of the course. | □ | □ | □ | □ | □ |

**Appendix B**

**Scoring Rubric**

- **Total Score Range:** 14 items × 5 points = **70 points maximum**
- **Interpretation Guide**:
  - 56–70 points: **High motivation and satisfaction**
  - 42–55 points: **Moderate motivation and satisfaction**
  - 28–41 points: **Low motivation and satisfaction**
  - Below 28: **Very low; intervention may be required**

You may also break down scores by section to independently assess motivation (Items 1–8) and satisfaction (Items 9–14).

---

**Appendix C**

**Teacher Reflection Log (Template)**

| Date | Lesson Topic | Student Engagement (1–5) | Notes on Participation & Interest | Teacher Reflections / Adjustments for Next Time |
|---|---|---|---|---|
| YYYY/MM/DD | e.g., Introduction to Loops in Scratch | □ 1<br>□ 2<br>□ 3<br>□ 4<br>□ 5 | Most students were excited to create animations. | Will allow more time for experimentation next time. |
| YYYY/MM/DD | | | | |
| YYYY/MM/DD | | | | |

Use this log weekly to reflect on student progress, engagement, and course design.

# 影片教學對國小學童動物保護認知、態度與行為之影響 ─ 以「同居人是貓」為例

馬念痕*

## 摘要

由於科技發達，現代人能夠更容易接觸到各式各樣的影片，學校教師也常常將影片納入教學方法之一，因此，如何善用孩子們平時常常接觸之事物來加強教育成了教師與家長的課題。同時，由於目前市面上環境相關影片大多偏向氣候變遷相關內容，其他主題都只是略微提及，研究者期望透過此研究，能提升動物保護之相關影片的出現率。本研究運用影片教學法，搭配前後測問卷以及影片後的延伸教學，在臺北市某國小六年級自然課上進行兩堂課 80 分鐘的教學活動，探討動畫式影片教學對學生的動物保護認知、態度及行為之影響，了解國小學童在看電視的同時，能否吸收到影片中的知識。研究結果是進行影片延伸教學後，學生的動物保護認知、態度及行為有顯著提升，然而只有「性別」在動物保護認知、態度及行為面向上有顯著差異，且女生優於男生，其他背景變項皆不影響結果。希望此研究可以幫助學校教師擁有更多元的選擇來提升學生的學習興趣與能力。

**關鍵字：影片教學、動物保護、認知態度行為**

馬念痕(通訊作者)，臺北市立大學環境教育與資源碩士班。Email：g10810004@go.utaipei.edu.tw

# The Influences of Video Tutorial on Elementary School Students' Cognition, Attitude and Behavior of Animal Protection - Taking "My Roommate is a Cat" for Example

Nien-Hen Ma*

## Abstract

Due to the development of science and technology, people have easier access to a variety of videos, and teachers often take videos into their teaching methods. Therefore, how to make good use of things that children often contact with to enhance education has become a topic for teachers and parents. At the meantime, since most environmental films on the market focus on climate change, other topics are only briefly mentioned, which is a pity. Therefore, the researcher hopes that through this study, the appearance rate of videos related to animal protection can be increased. This study uses the video tutorial, combined with pre- and post-test questionnaires and extended teaching after the video, to do the 80-minute teaching activities in the nature class of sixth grade elementary school in Taipei City to explore the influence of animated video tutorial on students' cognition, attitude and behavior of animal protection. This is to understand whether primary school children can absorb the knowledge in the film while watching TV. The result of the study is that after video tutorial, students' cognition, attitude and behavior of animal protection have significantly improved. However, only "gender" has significant differences in students' cognition, attitude and behavior of animal protection, and girls are better than boys. None of the other background variables affected the results. Hopefully, this research can help teachers have more diverse choices to enhance students' learning interests and abilities.

**Keywords: video tutorial, animal protection, knowledge-attitude-practice**

Nien-Hen Ma (Corresponding Author), Master's Program of Environmental Education and Resources, National Taipei University. Email：g10810004@go.utaipei.edu.tw

# 壹、前言

隨著網路世代的來到，許多影片隨手可得，YouTube 上各式各樣的影片如雨後春筍般湧出，更別說電視、街道上隨處可見的影像，我們的生活周遭儼然與影片無法分離。在學校裡，老師們更是利用 E-learning 與資訊融入教學等方法，讓學生們更能吸收與學習，因科技的進步使影片教學法越來越普及。

而小學生們普遍最先接觸的是二次元的紙片人物，也就是我們俗稱的動畫，不管是啟蒙卡通的巧虎，還是前陣子爆紅的鬼滅之刃，對於成人來說，分辨其真實性是輕而易舉的，甚至可以從中學習到許多知識與道理，但對於還在接觸這個世界的小朋友們來說，即使影片內容最後會揭露何謂對的與錯的事情，釐清其對錯還是成了一大挑戰，因此如何選擇孩子們在該年齡適合欣賞的影片，成為現代家長與老師們的責任。此外，每個人的生活環境都不一樣，同樣的年紀不會有同樣的遭遇，即使碰上相同的事件，得到的體悟與感想也不會一樣，因此在觀賞同一個影片時，會不會學習到的、體會到的、知識吸收程度都不一樣，是值得深思的。

另外，綜觀目前的影片，比較明顯的環境議題大多都與氣候變遷有關，例如末日災害－－颱風、地震、洪水等等，但環境倫理等主題就比較少成為動畫主題內容，這些過於注重天災而淺談其他環境議題的影片，無法給予小朋友們太多額外的刺激與資訊，因此希望找到相關議題的動畫來做研究。

而如何讓孩子們能有效的吸收與運用這些知識，是現代教師的難題，影片是一幕幕動態的畫面，具有聲音、影像、動作和劇情等四大特徵，這些特徵在吸引觀眾注意力和提升興趣方面皆有極大的幫助，透過影片的視聽體驗，除了可以提高學生的專注力、學習興趣與動機，更可以透過劇情等激勵學生的批判性思考（Bruning, 1992）。國內以影片教學為研究的論文也不勝枚舉，各大領域、各種重大議題的探討比比皆是，其成效多是正向而顯著。根據 ViewSonic 與翻轉教育於 2022 年 6 月共同執行「2022 全台數位教學現況大調查」，發現將資訊科技融入教學的頻率，總是使用和經常使用的比例共達到了 89%，其中，在數位化教學使用狀況中，撥放影片占了 57%（何琦瑜，2022），顯示教學現場的教師們大部分都會使用影片教學。而李怡慧與周倩（2023）表示，因為教科書內容跟不上快速的科技發展，使得網路資源不但重要且經常使用，而多數老師們最常透過 Google 搜尋教材，尤其會到 YouTube 搜尋影片用於教學，在老師的教學觀察中，發現 YouTube 裡的影片不只量多、更新快速，且結合時下議題；再者，教師們認為現今的學生在學習方式上偏愛透過影片，因此使用影片教學的意願甚高。

在 108 課綱中，為了落實十二年國民基本教育（以下簡稱十二年國教）課程的理念與目標，將「核心素養」做為課程發展之主軸，「核心素養」分有三大面向：「自主行動」、「溝通互動」、「社會參與」。三大面向又再細分為九大項目，其中「溝通互動」中的「符號運用與溝通表達」、「科技資訊與媒體素養」皆與影片教學有所相關。同時，「培養社會關懷和守護自然之價值觀與行動力」，是十二年國教自然科學領域課綱的課程目標之一，使學生能夠欣賞且珍惜大自然之美，增加愛護自然、珍愛生命及惜取資源的關懷心與行動力，進一步建構理性社會與永

續環境（國家教育研究院，2019）。

臺灣於 1998 年通過《動物保護法》，成為全球第 54 個立法保護動物的國家（台灣動物社會研究會，2022），其法案的第一條便提到：「為尊重動物生命及保護動物、增進動物福利，特制定本法。」（全國法規資料庫，2024）。在訂立法規後這數十年間，動物保護議題始終受到各界關注，即使如此，動物虐待事件仍然層出不窮，日本的《朝日新聞》報導中提及，日本警察廳的資料顯示，與 2020 年相比 2021 年的舉發虐待件數激增了 68 件，來到了 170 件，創下從 2010 年實施調查以來最多的一次（陳毅龍，2022）。在課堂上亦是如此，美其名以飼養昆蟲來觀察生態等課程，真的能夠教育學生了解生命的可貴、擁有對動物的同理心，還是給了小朋友玩弄生命的權利，這也是教育界長久下來不斷爭論的議題，因此，希望透過此研究來探討國小學童是否能夠透過影片習得與動物保護相關的素養。

綜觀以上，本研究欲探討的問題如下：

一、實施動畫式影片教學後，對國小學童動物保護之認知面向的前、後測差異情形為何？

二、實施動畫式影片教學後，對國小學童動物保護之態度面向的前、後測差異情形為何？

三、實施動畫式影片教學後，對國小學童動物保護之行為面向的前、後測差異情形為何？

四、不同背景變項的學生，在進行動畫式影片教學後，動物保護認知、態度、行為之成效為何？

## 貳、文獻回顧

以下分別對影片教學的理論、影片教學的策略，以及動物保護的研究，進行文獻回顧。

### 一、影片教學之理論

影片教學是指在教學過程中使用電子媒體來傳達教學內容的方法，即運用影片來做為教學的媒介與教材，藉由故事、情節和傳遞的情感、文化觀，透過欣賞、思考與討論等過程，來達到教學上的效果（籃慧蓮，2006）。

（一）布魯納的發現學習理論

美國心理學家布魯納（1966）提倡發現學習（Learning by Discovery），他鼓勵學生個人自己去思考、比較、對照、運用各種策略，以發現教材所含的重要概念。布魯納提出三個階段：1.動作表徵期（Enactive Representation）—「由做中學」的經驗。2.形象表徵期（Iconic Representation）—「由觀察中學」的經驗。3.符號表徵期（Symbolic Representation）—「由思考中學」的經驗。此外，布魯納提出螺旋式課程（Spiral Curriculum），認為教學者必須提供學習者以直接經驗的方式來進行學習，從圖像、替代經驗（如圖片、影片）這類的形象表現，再到語言、文字等的符號表現階段（張春興，1996）。

（二）雙碼理論

雙碼理論認為人類的認知包含兩個系統：語言系統(Verbal System)及非語言系統(Nonverbal System)，語言系統處理包含視覺、聽覺及其他形式的語文訊息;非語言系統處理包含視覺、嗅覺、觸覺等非語言訊息。王思堯（2004）指出，此理論支持了圖像對於學習的重要性，以及視覺性資料與文字資料詞彙能激發腦中的配合輔助，確實提升學習者的記憶。

（三）替代學習理論

Bandura（1977）提出替代學習理論，是社會學習理論的一個概念，學習者透過觀察並模仿後得到獎懲經驗，而產生的一種學習過程。替代學習強調教師以身作則及身教的重要性，使學生由觀察而產生替代性學習。

（四）情境學習理論

布朗(J. Brown)、柯林斯(A. Collins)及杜谷(P. Duguid)（1989）提出情境認知的概念，強調學習應在真實的情境中進行，並讓學生經由觀察、模仿、參與真實活動，在與社會互動中，了解知識的意義。

（五）多媒體學習理論

多媒體教學是指綜合文字、圖片、影像、與聲音等來呈現教學內容，並且能夠讓學習者對其內容做出有意義的連結。

**小結：**

綜合以上理論所得到的結論是：1.教師先創造適合的學習環境，給予適當的教材教具並透過情境式觀察與刺激，來鼓勵學生自主思考及知識建立。2.聲音與影像同時刺激，更能提升記憶力與專注力。

## 二、影片教學之策略

影片教學顧名思義就是經由電腦等多媒體工具融入教學內容來進行教學活動。施如齡與江宛臻（2010）提出，影片融入教學乃由影片分析、教學策略、與專業知識三大概念架構而成，教師需先分析影片內容，了解其中的影像、情節、構圖、角色，再融入教材之中才可以有效的引導學生進入影片。而進行影片教學時，透過教學活動與討論技巧的運用，更能加強影片在教學上的效果。

108 課綱自然科學領域的核心素養裡提及，希望學生藉著自己的好奇心，去探索世界的奧妙，並學習、思考生活周遭人事物之道理，理解與吸收相關的生活經驗；同時希望學生能運用媒體科技來關心時事，或是將其視為學習工具，在發現問題時能多多挖掘與探究。

而在議題融入手冊中，環境教育議題的其中一個學習主題為環境倫理，主要概念是對人、生命、環境的關懷，從體驗周遭環境與生命關懷，擴展到生態保育與環境守護。其實質內涵是希望學生了解人與周遭動物的互動關係，認識動物需求，並關切動物福利。

龔毅玲（2019）將影片教學融入自然領域之水資源環境教育教學中，發現能提高學生愛護水資源的態度和行為，以及節水行為的知識建立和行為實際執行。

而在影片教學後，學生對於臺灣水資源的知識和概況，確實都比教學前有更多的瞭解。何方瑜（2018）將國小四年級學童分為實驗組與控制組，並於實驗組做延伸教學，結果實驗組學生在動物保護態度的認知、情感和行為三面向的表現高於控制組；同時，實驗組學生在背景變項中，只有「性別」在動物保護態度情感面向中達顯著提升，且女生高於男生，其餘背景變項不影響結果。許婉禎（2012）運用《崖上的波妞》進行影片延伸教學，結果成效優於影片觀賞教學，而且在環境覺知、環境認知和環境行動策略皆達到顯著差異。此外，統合相關研究結果得知，有做影片延伸教學的學生在學習成效表現上，比僅做影片教學的學生表現佳，因此此研究以影片延伸教學為研究方法。

## 三、動物保護之研究

### （一）環境教育

根據環境教育法（2017），環境教育指運用教育方法，培育國民瞭解與環境之倫理關係，增進國民保護環境之知識、技能、態度及價值觀，促使國民重視環境，採取行動，以達永續發展之公民教育過程。

國際自然與自然資源保護聯盟(IUCN)(1970)提出，環境教育之定義為：「環境教育是對環境認知價值與澄清的一個過程，為發展介於人類、生物、自然環境之間關係所必需的技能和態度，同時也應用於環境品質的決策，以及自我的行為規範（楊冠政，1997）。」

而臺灣十二年國教中環境教育之目標包括：環境覺知與敏感度、環境概念知識、環境價值觀與態度、環境行動技能、環境行動經驗。其學習主題為：環境倫理、永續發展、氣候變遷、災害防救及能源資源永續利用（國家教育研究院，2019）。

### （二）動物保護

Peter Singer（1975）出版的「動物解放」書中曾描述：人與動物，從遠古以來，就存在著不可分的關係。當人類發展文明之後，對於動物的利用就更加頻繁，由於世界各國人口的增長、動物改成工廠式密集的飼養方式、在醫學與科學的實驗中大量地使用動物、人為濫捕，與利用其為娛樂工具等，急遽改變了人與動物的關係，也促使人們對這些問題重做思考，在這種新思考下產生了「動物保護運動」（鄭麗榕，2011）。而這股運動促使了 1800 年英國國會提出動物保護法案，並於 1824 年成立了第一個動物保護團體 SPCA(Society for the Prevention of Cruelty to Animals)，進而延續至今日。

#### 1.動物權利

動物權主義的基本原則是：就非人類動物（Nonhuman Animals）的本質上來說牠們應該有行為的自由，在牠們自己的生活圈中生活、居住，沒有人類刻意的傷害、虐待、和剝削。人類對非人類動物應予尊重，是基於人類的「物種主義」（費昌勇、楊書瑋，2011）。

關於動物權利，現今多以兩個不同的辯論觀點來述說，分別是結果論與義

務論。前者是由彼得·辛格所提出的，認為沒有任何道德基礎可以否定「不將人類與非人類動物的利益做平等之思考」，而這項利益便是受苦與享樂的能力，也就是動物有「感知」的能力（Rachels, 2009）；後者是湯姆·雷根所提出的，認為道德權利是最高的利益，且來自於原本即擁有之基本之利益。他認為如嬰兒等無法為其行為負責的人都應該視作道德考量的對象，而應予以尊重，因此動物也應當被給予一個與生俱來的「權利」而受到尊重（李凱恩，2014）。

在 1977 年 9 月 21 日倫敦舉行的動物權國際會議期間通過了「通用動物權利宣言」，提到所有的動物生命體都應該被尊重，包含野生動物、同伴動物、農場動物、實驗動物、經濟動物以及展演動物（何方瑜，2018）。而 1822 年英國通過了世界上第一部反虐待動物法令《禁止虐待家畜法案》，此後直到 2016 年為止，已有 100 多個國家將動物保護納入法規之中（陳清秀，2015）。

**2.動物福利**

1967 年英國政府成立「農場動物福利諮詢委員會」（於 1979 年改組為農場動物福利委員會）。該委員會提出動物都會有渴求「轉身、弄乾身體、起立、躺下和伸展四肢」的自由，也因此確立動物福利的「五大自由」：免受飢渴、營養不良的自由；免受痛苦、傷病的自由；免受恐懼、壓力的自由；免於因環境而承受痛苦的自由；表達天性的自由（台灣動物平權促進會，2020）。動物福利旨在於如何讓動物被人類合理的對待，這是動物保護的基本要求。而當人類無法避免而需要利用動物之時，基於基本道義及尊重，人們需給予動物適當的生存環境，並避免不必要的痛苦、傷害與實驗利用。

**3.動物保護之相關教學研究**

將動物保護相關論文依照教學方式統計整理後，發現大多數的研究者會使用多於一個的教學方式進行研究，而最常用到的教學方法皆偏向有劇情的，像是繪本以及體驗式教學，至於影片教學比較常與其他教學方法交叉使用，僅有兩位研究者單純只用影片教學法來進行研究。

**表 1.** 動物保護教學方法整理表

| 教學方式 | 繪本 (故事類) | 體驗 | 解說 | 影片教學 | 課程 |
|---|---|---|---|---|---|
| **論文數量** | 6 | 6 | 2 | 5 | 5 |

資料來源：研究者自行整理

其中，有使用影片教學的研究中，何方瑜（2018）之研究結果如上一節所述，實驗組學生在動物保護態度的認知、情感和行為三面向的表現高於控制組，且其背景變項中，僅「性別」在動物保護態度情感面向中達顯著提升。高汝美（2015）將影片教學融入國小六年級動物保護及生命教育課程，結果顯示有顯著提升學生保護動物的態度，與建立學生尊重生命的觀念。何瑞瑩（2012）將繪本與影片教學融入國小四年級生命教育課程，發現學生在保護「同伴動物」、「表演動物」與「野生動物」方面抱持積極正向的態度；在「生命」方面體悟出「生而平等」的想法。

# 參、研究方法

以下說明研究架構、研究對象、研究工具、研究流程與資料分析方式。

## 一、研究架構

現在科技的發達，讓學校老師們越來越常使用媒體教具來授課，影片教學也成了教師常常運用的教材之一，選擇適合的影片來教學可以達到課程的教學目標，並深化學生的學習（施如齡，2007）。本研究主要目的為探討動畫影片對學生的認知、情意、技能是否有影響，以及不同的背景變項是否會影響學生答題與回應。

本研究之研究架構圖如下：

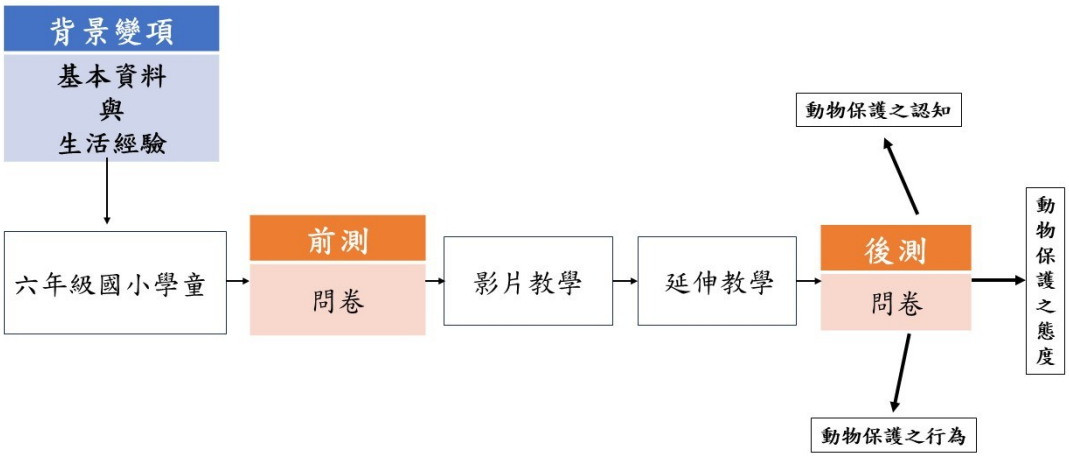



**圖 1** 研究架構圖

## 二、研究對象

本研究以臺北市區某國民小學六年級學童共 98 人為受測對象，學生班級人數分布如表 2，利用問卷、影片與延伸教材進行教學，在課堂中進行前測問卷、影片教學、後測問卷後，所得資料做兩種分析，其一為量化分析，以描述性統計、獨立樣本 t 檢定、成對樣本 t 檢定、單因子變異數做分析；其二為質性分析。

**表 2.** 研究對象之人數分布表

| | 一班 | 二班 | 三班 | 五班 | 總計 |
|---|---|---|---|---|---|
| **男生** | 11 | 12 | 13 | 13 | 49 |
| **女生** | 12 | 12 | 13 | 12 | 49 |
| **總計** | 23 | 24 | 26 | 25 | 98 |

## 三、研究工具

本研究透過影片教學與問卷做結果分析，施測工具包含了動畫影片、教材內容與問卷，其內容說明如下：

（一）問卷設計

為研究者自編之「影片教學之動物保護概念問卷」，問卷初稿參考國內相關文獻資料，經由研究者篩選與改編，再經歷專家效度檢定、預試等過程，最後形成正式問卷後再進行教學活動。內容設計包含兩大部分，分為「背景資料」與「動物保護概念測驗」。個人背景資料包含主要調查項目「性別」、「觀看過非中文發音的影片」、「養寵物經驗」、「去過動物園經驗」、「喜不喜歡動物」、「看到動物影片的反應」等六個變項及其他項目；動物保護概念問卷分為認知、態度與行為面向三大面向，每個面向皆有 10 題。認知面向之作答方式分為「是」、「否」與「不知道」，答對得到 1 分，答錯或不知道得到 0 分。此問卷認知面向分為三大主要概念，詳細內容如**表 3**。

**表 3.** 動物保護概念問卷之認知面向內容架構表

| 概念 | 題號 |
|---|---|
| **動物保護基本常識** | 1.2.3.4.5.6.7 |
| **動物行為之了解** | 8 |
| **動物收養法規** | 9.10 |

態度與行為面向之題目作答方式則有「非常同意」、「同意」、「不知道」、「不同意」、「非常不同意」五擇一的選擇，最高得到 5 分，最低得到 1 分。此問卷態度面向與行為面向各分為三大主要概念，詳細內容如表 4。

**表 4.** 動物保護概念問卷之態度與行為面向內容架構表

| 概念 | 題號 |
|---|---|
| **態度面向** | |
| **動物保護教育與內涵之態度** | 1.6.8 |
| **同理心** | 3.4.5.7* |
| **人與動物之互動** | 2.9.10* |
| **行為面向** | |
| **愛護動物行為** | 1.3 |
| **動物對待** | 4.6*.7*.9* |
| **飼主行為** | 2.5.8.10 |

註：態度第 7、10 題及行為第 6、7、9 題為反向題

**1.專家效度：**

問卷初稿編撰完成後，首先請指導教授對本問卷做初始審查，並且提供修改意見，再根據其建議修訂問卷內容，刪除不當題目，增加相關題型，修正文字描述，待修訂完成後，再煩請其他專家做內容效度。經由專家效度之問卷回收後，根據專家們的口頭意見斟酌保留、刪除或修改題目，而問卷選項上「適合」比例達 70%以上、「修正後適合」之題目則予以保留，而勾選「不適合」比例達 70%以上者即刪除。

**2.信度：**

將專家效度後的問卷修正成預試問卷，再投入一個班級進行預試後

做統計分析，認知面向做鑑別度、難度與答對率，態度及行為面向計算 Cronbach's α 係數，結果如**表 5**。

**表 5.** 預試問卷試題分析結果表

| **認知面向** | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **題號** | 鑑別度 | 難度 | 答對率 | 題目去留 |
| **1** | 0.33 | **0.835** | 91.30% | 修改 |
| **2** | 0.67 | 0.665 | 73.91% | 保留 |
| **3** | 0.33 | **0.835** | 91.30% | 修改 |
| **4** | 0.67 | 0.665 | 78.26% | 保留 |
| **5** | 0.33 | **0.835** | 91.30% | 修改 |
| **6** | 0.5 | 0.75 | 86.96% | 保留 |
| **7** | 0.5 | 0.75 | 86.96% | 保留 |
| **8** | 0.5 | 0.42 | 52.17% | 保留 |
| **9** | 0.5 | 0.25 | 30.43% | 保留 |
| **10** | 0.5 | 0.25 | 17.39% | 保留 |
| **態度面向** | | | Cronbach's α 值 ＝ 0.853 | |
| **行為面向** | | | Cronbach's α 值 ＝ 0.701 | |

註：**粗體字**表示題目在該項目表現未達標準者

從以上結果顯示，在認知面向題目中，鑑別度皆有達到標準，僅三題難度略超過範圍，經修改後保留；而態度與行為面向 α 值皆大於 0.7，故予以保留。

（二）影片內容分析

1.片名：「同居人是貓」 第一集

2.分析：主要以動物保護視角

(1)主角帶回貓咪→收養流浪動物（沒有正確的收養程序）

(2)貓咪的飲食有適當的準備→有照顧到貓咪的生理需求

(3)主角因厭惡與人交流而忽略貓咪的訊號→沒有照顧到貓咪的心理狀況

(4)由於貓咪的不明動作而去查閱書籍→有想要了解貓咪的行為，稍微關心起貓咪

(5)當著流浪動物的面前丟掉食物→告訴牠家裡的垃圾桶可以翻；因分享的東西被丟掉而興起敵意、不信任感

(6)給予貓咪一個家→有安全感

(7)貓咪自認沒有被虐待（會這樣想表示流浪時有遇到過分的事）→有滿足貓咪的某些心理需求

(8)當著貓咪的面倒下→讓貓咪沒有安全感，沒有照顧到貓咪的心理狀況

(9)貓咪與主角相依而睡→貓咪對主角產生信賴感

(10)貓咪放心不下主角→帶入感將主角連結到家人而擔心，表示漸漸產生歸屬感

3.影片選擇理由

市面上有關動物的影片比比皆是，但其中與動物保護有關的影片卻少之又少，更別說整部影片都圍繞在動物保護上，能在整齣劇裡其中一小段提到動物保護就足夠了。因此，先尋找與動物有關的影片，再審閱影片內容，確定與動物保護有關聯才留下，最後再從候選影片中選出最貼合研究者意願的影片。

（三）教學流程

本研究將入班進行教學活動，使用的教學工具有投影機、動畫影片、教學簡報、前後測問卷。教學活動總共有 80 分鐘，於國小六年級自然課授課，其教學流程如下：

1.先進行 10 分鐘前測，並回收前測問卷。

2.進行 10 分鐘「動物大觀園」相關重點複習。

3.播放 20 分鐘影片。

4.進行 30 分鐘延伸教學。

5.教學後進行 10 分鐘後測。

6.回收問卷。

**四、研究流程**

本研究為入班教學，以臺北市某國小六年級學生為研究對象，在經過文獻探討做為參考依據，擬定研究計畫，設計教學內容，與導師與專家們不斷討論中完成教案與教材，再進班教學，透過研究工具與學生上課回饋，進行量化與質性分析，最後就結果進行討論與提出可能的建議。研究流程如**圖 2**。

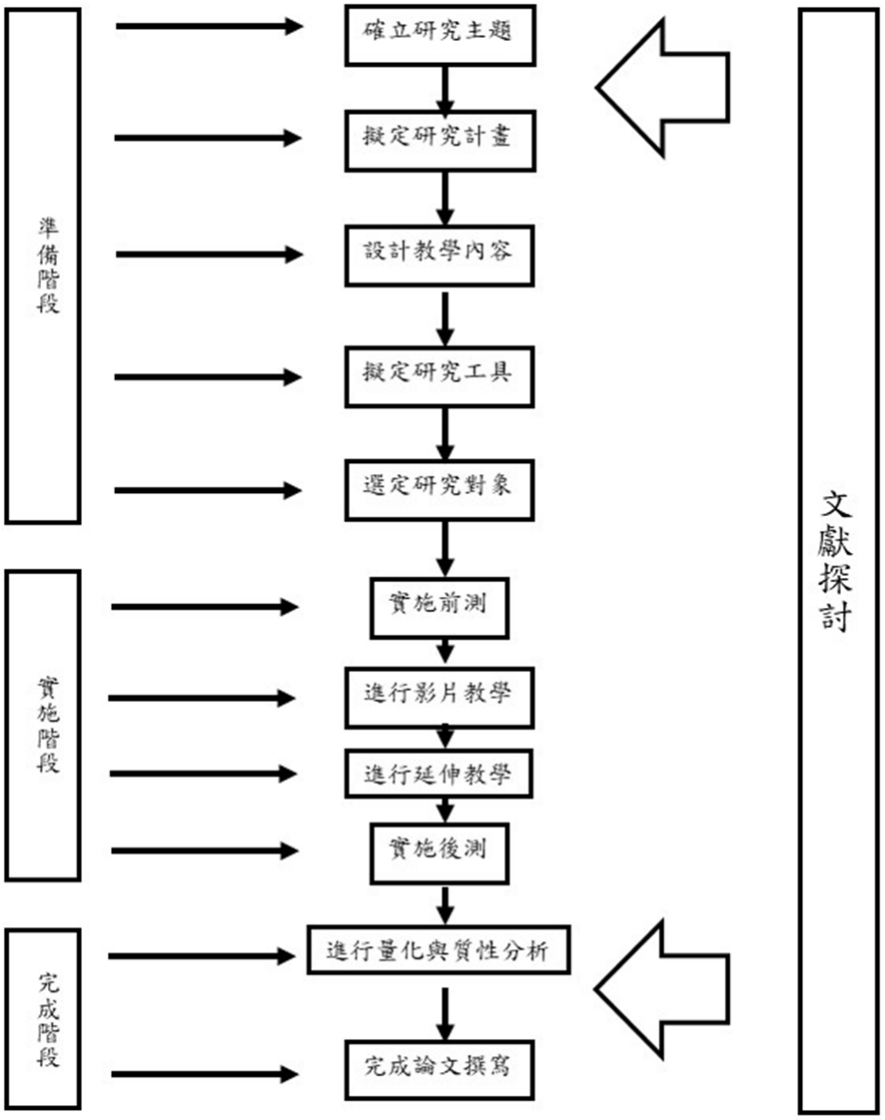



**圖 2** 研究流程圖

## 五、資料分析方式

本研究資料分析分為量化與質性部分，量化分析問卷中各面向題目之統計分析數據、基本資料與研究結果之相關性；而質性部分分析課程中學生的回饋、問卷簡答題的回答。

（一）量化部分

依照進行影片教學前後之問卷所得到的資料，經過整理與編碼後，以統計軟體 SPSS 30.0 進行數據處理與分析，統計分析項目如下：

1. 描述性統計：計算所有學生問卷中的平均值與標準差，作為其他統計分析的基礎值。
2. 獨立樣本 t 檢定：探討進行影片教學後，不同背景變項（二分組）的學生其動物保護認知、態度、行為表現有無顯著差異。
3. 成對樣本 t 檢定：探討進行影片教學前與後之動物保護認知、態度、行為的表現有無顯著差異，以及班級間是否有所差別，來分析影片教

學是否對受測者有效果。

4. 單因子變異數分析：探討進行影片教學後，不同背景變項（多分組）的學生其動物保護認知、態度、行為表現有無顯著差異。

（二）質性部分

本研究質性部分，針對教學課程中學生的提問與回答，以及後測問卷簡答題的答案做討論，期望學生能夠自由表達其意見與看法，做為教學後的回饋與參考。

## 肆、結果與討論

本研究將問卷調查之研究資料進行統計分析，結果分為研究樣本之基本資料分析；六年級學童動物保護之認知、態度與行為面向的前、後測差異；不同背景變項的六年級學童對動物保護認知、態度與行為之差異分析；與質性資料分析。

### 一、研究樣本之基本資料分析

本研究受測者為國小六年級學童共 98 人，並以「影片教學對國小學童動物保護素養影響之問卷」進行施測。此問卷之基本資料如**表 6**：

**表 6.** 個人基本資料分析統計（N＝98）

| 類別 | 項目 | 人數（人） | 百分比（%） |
|---|---|---|---|
| 1.性別 | 男生 | 49 | 50 |
| | 女生 | 49 | 50 |
| 2.是否觀看過非中文發音的影片 | 看過 | 74 | 75.5 |
| | 沒看過 | 24 | 24.5 |
| 3.有無養過寵物 | 有 | 70 | 71.4 |
| | 沒有 | 28 | 28.6 |
| 4.有無去過動物園 | 有 | 96 | 98 |
| | 沒有 | 2 | 2 |
| 5.喜不喜歡動物 | 喜歡 | 90 | 91.8 |
| | 不喜歡 | 8 | 8.2 |
| 6.看到與動物有關影片的反應 | 繼續看 | 38 | 38.8 |
| | 轉頭不看 | 5 | 5.1 |
| | 看是什麼動物 | 55 | 56.1 |

### 二、六年級學童動物保護之認知、態度與行為面向的前、後測差異

此處主要以成對樣本 t 檢定來分析學生在動物保護之認知、態度與行為面向上的前、後測情況。

（一）認知面向

由**表 7** 可知四個班級認知面向，前測的平均分數是 7.32 分，後測的平均分數是 8.62 分，兩者平均分數差異是 1.3 分，表示後測平均得分高於前測，而成對樣本 t 檢定結果 p 值<.001，代表前測與後測有顯著差異。

**表 7.** 動物保護認知面向前、後測之統計資料

| | N | 得分平均 | 標準差 | t 值 | p 值 |
|---|---|---|---|---|---|
| **前測** | 98 | 7.32 | 1.596 | -7.177*** | <0.001 |
| **後測** | 98 | 8.62 | 2.137 | | |

***表示 p 值<0.001

接著，進一步分析認知面向三個主要概念。從**表 8** 可知，動物行為之了解與動物收養法規之後測得分平均分數皆高於前測，其成對樣本 t 檢定 p 值皆<0.001，表示動物行為之了解與動物收養法規概念之前、後測有顯著差異；而動物保護基本常識的後測得分平均分數略低於前測，但成對樣本 t 檢定 p 值 0.657>0.05，表示動物保護基本常識概念之前、後測沒有顯著差異。此外，三個主要概念中，以「動物行為之了解」差異最大，平均相差 0.52 分；「動物保護基本常識」差異最小，平均相差 0.01 分。

**表 8.** 動物保護認知面向三個主要概念前、後測之統計資料

| 主要概念 | | 得分平均 | 標準差 | t 值 | p 值 |
|---|---|---|---|---|---|
| 動物保護基本常識 | 前測 | 6.41 | 1.200 | 0.445 | 0.657 |
| (7 題) | 後測 | 6.34 | 1.548 | | |
| 動物行為之了解(1 題) | 前測 | 0.40 | 0.492 | -9.864*** | <0.001 |
| | 後測 | 0.92 | 0.275 | | |
| 動物收養法規(2 題) | 前測 | 0.51 | 0.662 | -9.794*** | <0.001 |
| | 後測 | 1.35 | 0.734 | | |

***表示 p 值<0.001

（二）態度面向

由**表 9** 可知四個班級態度面向，前測的平均分數是 4.33 分，後測的平均分數是 4.47 分，兩者平均分數差異是 0.14 分，表示後測平均得分高於前測，而成對樣本 t 檢定 p 值 0.009<0.01，顯示在進行影片教學課程後，動物保護態度面向有顯著差異。

**表 9.** 動物保護態度面向前、後測之統計資料

| | N | 得分平均 | 標準差 | t 值 | p 值 |
|---|---|---|---|---|---|
| 前測 | 98 | 4.33 | 5.546 | -2.657** | 0.009 |
| 後測 | 98 | 4.47 | 5.570 | | |

**表示 p 值<0.01

接著，進一步分析態度面向三個主要概念。從**表 10** 可知，三個主要概念後測之平均得分分數皆高於前測，其成對樣本 t 檢定 p 值皆<0.05，因此三個概念之前、後測有顯著差異。而其中以「動物保護教育與內涵之態度」差異最大，相差 0.1467 分；「同理心」差異最小，相差 0.1425 分。

**表 10.** 動物保護態度面向三個主要概念前後測之統計資料

| 主要概念 | | 得分平均 | 標準差 | t 值 | p 值 |
|---|---|---|---|---|---|
| 動物保護教育與內涵之態度(3 題) | 前測 | 13.11 | 1.866 | -2.087* | 0.039 |
| | 後測 | 13.55 | 1.911 | | |
| 同理心(4 題) | 前測 | 17.05 | 2.695 | -2.317* | 0.023 |
| | 後測 | 17.62 | 2.534 | | |
| 人與動物之互動(3 題) | 前測 | 13.16 | 1.832 | -2.437* | 0.017 |
| | 後測 | 13.59 | 1.781 | | |

*表示 p 值<0.05

（三）行為面向

由**表 11** 可知四個班級行為面向，前測的平均分數是 4.11 分，後測的平均分數是 4.23 分，兩者平均分數差異是 0.12 分，表示後測平均分數高於前測，而成對樣本 t 檢定 p 值 0.007<0.01，顯示在進行影片教學課程後，動物保護行為面向有顯著差異。

**表 11.** 動物保護行為面向前、後測之統計資料

| | N | 得分平均 | 標準差 | t 值 | p 值 |
|---|---|---|---|---|---|
| 前測 | 98 | 4.11 | 5.023 | -2.776** | .007 |
| 後測 | 98 | 4.23 | 5.440 | | |

**表示 p 值<0.01

接著，進一步分析行為面向三個主要概念。從表 12 可知，三個概念後測之平均得分分數皆高於前測，但僅飼主行為的成對樣本 t 檢定 p 值 0.003<0.01，其前、後測有顯著差異；其他兩個概念的成對樣本 t 檢定 p 值皆>0.05，表示其前、後測沒有顯著差異。而其中以「飼主行為」差異最大，相差 0.19 分；「動物對待」差異最小，相差 0.05 分。

**表 12.** 動物保護行為面向三個主要概念前後測之統計資料

| 主要概念 | | 得分平均 | 標準差 | t 值 | p 值 |
|---|---|---|---|---|---|
| 愛護動物行為(3 題) | 前測 | 7.34 | 1.958 | -1.948 | 0.054 |
| | 後測 | 7.64 | 1.879 | | |
| 動物對待(4 題) | 前測 | 16.23 | 2.659 | -0.815 | 0.417 |
| | 後測 | 16.44 | 2.957 | | |
| 飼主行為(4 題) | 前測 | 17.54 | 2.529 | -3.074** | 0.003 |
| | 後測 | 18.28 | 2.705 | | |

**表示 p 值<0.01

根據以上研究結果顯示，進行影片延伸教學後，國小六年級學童動物保護認知、態度與行為皆有顯著提升，與何方瑜（2018）、高汝美（2015）、郭淑瑩（2008）、周佩蓉（2008）的研究結果相同。

## 三、不同背景變項的六年級學童對動物保護認知、態度與行為之差異分析

此處主要以獨立樣本 t 檢定來分析不同背景變項在學生之動物保護認知、態度與行為面向是否有影響，僅第六項「觀看動物影片反應」做單因子變異數分析，

最後再進行成對樣本 t 檢定來分析在不同背景變項下，影片教學對學生之動物保護認知、態度與行為面向是否有成效。

（一）性別

本研究受測對象共 98 人，包含男性 49 人，女性 49 人。從**表 13** 得知，女生的動物保護認知、態度、行為平均得分依然高於男生，且獨立樣本 t 檢定 p 值<0.05，表示有顯著差異。因此，在影片教學介入後，女生與男生之間的認知、態度、行為面向有顯著差異。

**表 13.** 不同性別動物保護三大面向後測之統計資料

| 三大面向 | 性別 | 得分平均 | 標準差 | t 值 | p 值 |
|---|---|---|---|---|---|
| 認知 | 男性 | 8.12 | 2.666 | -2.371* | 0.021 |
| | 女性 | 9.12 | 1.269 | | |
| 態度 | 男性 | 4.33 | 6.477 | -2.515* | 0.014 |
| | 女性 | 4.61 | 4.108 | | |
| 行為 | 男性 | 4.11 | 6.077 | -2.336* | 0.022 |
| | 女性 | 4.36 | 4.434 | | |

*表示 p 值<0.05

從表 14 得知，在認知面向中，男、女生後測成績皆進步，成對樣本 t 檢定 p 值<0.001，顯示男生與女生的動物保護認知面向均達顯著差異。在態度面向中，男生成對樣本 t 檢定 p 值 0.313>0.05；而女生後測成對樣本 t 檢定 p 值<0.001，顯示女生在動物保護態度面向達顯著差異，但男生未達顯著差異。在行為面向中，男生後測成對樣本 t 檢定 p 值 0.152>0.05；而女生後測成對樣本 t 檢定 p 值 0.004<0.01，顯示女生在動物保護行為面向達顯著差異，但男生未達顯著差異。

由統計數據資料可知，男、女生在進行影片教學之後，女生在動物保護認知、態度、行為面向上皆有顯著差異，但男生僅在認知面向上有顯著差異，態度與行為面向上則未達顯著差異。

**表 14.** 不同性別動物保護三大面向前、後測之統計資料

| 三大面向 | 性別 | | 得分平均 | 標準差 | Paired-t | p 值 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 認知 | 男性 | 前測 | 7.00 | 1.904 | -3.595*** | <0.001 |
| | | 後測 | 8.12 | 2.666 | | |
| | 女性 | 前測 | 7.63 | 1.149 | -7.967*** | <0.001 |
| | | 後測 | 9.12 | 1.269 | | |
| 態度 | 男性 | 前測 | 4.23 | 6.409 | -1.020 | 0.313 |
| | | 後測 | 4.33 | 6.477 | | |
| | 女性 | 前測 | 4.42 | 4.383 | -4.416*** | <0.001 |
| | | 後測 | 4.61 | 4.108 | | |
| 行為 | 男性 | 前測 | 3.99 | 5.103 | -2.722 | 0.152 |
| | | 後測 | 4.11 | 6.077 | | |
| | 女性 | 前測 | 4.22 | 4.716 | -2.237** | 0.004 |
| | | 後測 | 4.36 | 4.434 | | |

**表示 p 值<0.01，***表示 p 值<0.001

（二）是否觀看過非中文發音的影片

本研究觀看非中文發音影片之受測者，看過者共有 74 人；沒看過者共有 24 人。從**表 15** 得知，看過者與沒看過者獨立樣本 t 檢定 p 值>0.05，表示皆未達顯著差異。因此，在影片教學介入後，看過與沒看過非中文發音影片者之間的動物保護認知、態度、行為皆未達顯著差異。

**表 15.** 觀看不同語音動物保護三大面向後測之統計資料

| 三大面向 | 頻率 | 得分平均 | 標準差 | t 值 | p 值 |
|---|---|---|---|---|---|
| 認知 | 看過 | 8.77 | 1.983 | 1.205 | 0.231 |
| | 沒看過 | 8.17 | 2.548 | | |
| 態度 | 看過 | 4.43 | 5.660 | -1.339 | 0.184 |
| | 沒看過 | 4.60 | 5.174 | | |
| 行為 | 看過 | 4.23 | 5.637 | 0.068 | 0.946 |
| | 沒看過 | 4.22 | 4.894 | | |

從**表 16** 得知，看過者與沒看過者後測成績皆進步，但看過者僅有認知面向成對樣本 t 檢定 p 值<0.001，達顯著差異，而態度與行為面向成對樣本 t 檢定 p 值>0.05，表示未達顯著差異。而沒看過者三面向之成對樣本 t 檢定 p 值<0.05，達顯著差異。

**表 16.** 觀看不同語音動物保護三大面向前、後測之統計資料

| 三大面向 | 頻率 | | 得分平均 | 標準差 | Paired-t | p 值 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 認知 | 看過 | 前測 | 7.47 | 1.173 | $-6.086^{***}$ | <0.001 |
| | | 後測 | 8.77 | 1.983 | | |
| | 沒看過 | 前測 | 6.83 | 2.461 | $-3.762^{**}$ | 0.001 |
| | | 後測 | 8.17 | 2.548 | | |
| 態度 | 看過 | 前測 | 4.32 | 5.489 | -1.549 | 0.126 |
| | | 後測 | 4.43 | 5.660 | | |
| | 沒看過 | 前測 | 4.34 | 5.838 | $-3.968^{***}$ | <0.001 |
| | | 後測 | 4.60 | 5.174 | | |
| 行為 | 看過 | 前測 | 4.13 | 4.943 | -1.971 | 0.052 |
| | | 後測 | 4.23 | 5.637 | | |
| | 沒看過 | 前測 | 4.02 | 5.287 | $-2.093^{*}$ | 0.048 |
| | | 後測 | 4.22 | 4.894 | | |

$^{*}$表示 p 值<0.05，$^{**}$表示 p 值<0.01，$^{***}$表示 p 值<0.001

（三）養寵物經驗

本研究受測者有養或養過寵物者有 70 人，沒有養過者有 28 人。從**表 17** 得知，有經驗者的認知、態度、行為平均得分依然高於無經驗者，而獨立樣本 t 檢定 p 值>0.05，表示未達顯著差異。因此，在影片教學介入後，有養過寵物與沒有養過寵物者之間的認知、態度、行為皆未達顯著差異。

**表 17.** 飼養經驗動物保護三大面向後測之統計資料

| 三大面向 | 頻率 | 得分平均 | 標準差 | t 值 | p 值 |
|---|---|---|---|---|---|
| 認知 | 有 | 8.66 | 2.146 | 0.253 | 0.801 |
| | 無 | 8.54 | 2.151 | | |
| 態度 | 有 | 4.49 | 5.738 | 0.577 | 0.565 |
| | 無 | 4.42 | 5.190 | | |
| 行為 | 有 | 4.24 | 5.648 | 0.245 | 0.807 |
| | 無 | 4.21 | 4.972 | | |

從**表 18** 得知，有經驗者與無經驗者後測成績皆進步，而有經驗者認知與行為面向成對樣本 t 檢定 p 值<0.05，達顯著差異，而態度面向成對樣本 t 檢定 p 值>0.05，表示未達顯著差異。沒經驗者認知與態度面向成對樣本 t 檢定 p 值<0.05，達顯著差異，而行為面向成對樣本 t 檢定 p 值>0.05，表示未達顯著差異。

**表 18.** 飼養經驗動物保護三大面向前、後測之統計資料

| 三大面向 | 頻率 | | 得分平均 | 標準差 | Paired-t | p 值 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 認知 | 有 | 前測 | 7.50 | 1.462 | -4.901*** | <0.001 |
| | | 後測 | 8.66 | 2.146 | | |
| | 無 | 前測 | 6.86 | 1.840 | -7.288*** | <0.001 |
| | | 後測 | 8.54 | 2.151 | | |
| 態度 | 有 | 前測 | 4.38 | 5.237 | -1.702 | 0.093 |
| | | 後測 | 4.49 | 5.738 | | |
| | 無 | 前測 | 4.21 | 6.184 | -2.546* | 0.017 |
| | | 後測 | 4.42 | 5.190 | | |
| 行為 | 有 | 前測 | 4.12 | 5.100 | -2.121* | 0.038 |
| | | 後測 | 4.24 | 5.648 | | |
| | 無 | 前測 | 4.08 | 4.907 | -2.006 | 0.055 |
| | | 後測 | 4.21 | 4.972 | | |

*表示 p 值<0.05， ***表示 p 值<0.001

（四）去過動物園

本研究受測者去過動物園者有 96 人，沒有去過動物園者有 2 人。從表 19 得知，去過者的認知、態度平均得分低於沒去過者，而獨立樣本 t 檢定 p 值>0.05，表示未達顯著差異；而行為平均得分高於沒去過者，獨立樣本 t 檢定 p 值>0.05，表示未達顯著差異。因此，在影片教學介入後，去過與沒去過動物園者之間的認知、態度、行為皆未達顯著差異。

**表 19.** 動物園經驗動物保護三大面向後測之統計資料

| 三大面向 | 頻率 | 得分平均 | 標準差 | t 值 | p 值 |
|---|---|---|---|---|---|
| **認知** | 有 | 8.61 | 2.154 | -0.251 | 0.802 |
| | 無 | 9.00 | 1.414 | | |
| **態度** | 有 | 4.47 | 5.589 | -0.188 | 0.852 |
| | 無 | 4.55 | 6.364 | | |
| **行為** | 有 | 4.23 | 5.449 | 0.093 | 0.926 |
| | 無 | 4.20 | 7.071 | | |

從**表 20** 得知，去過與沒去過動物園者後測成績皆進步，而去過者三面向成對樣本 t 檢定 p 值<0.05，皆達顯著差異。沒去過者認知面向由於差異標準差為零，因此無法計算其相關性與 t 檢定，而態度與行為面向成對樣本 t 檢定 p 值>0.05，表示未達顯著差異。

**表 20.** 動物園經驗動物保護三大面向前、後測之統計資料

| 三大面向 | 頻率 | | 得分平均 | 標準差 | Paired-t | p 值 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **認知** | 有 | 前測 | 7.30 | 1.603 | -7.066*** | <0.001 |
| | | 後測 | 8.61 | 2.154 | | |
| | 無 | 前測 | 8.00 | 1.414 | x | x |
| | | 後測 | 9.00 | 1.414 | | |
| **態度** | 有 | 前測 | 4.34 | 5.458 | -2.382* | 0.019 |
| | | 後測 | 4.47 | 5.589 | | |
| | 無 | 前測 | 3.70 | 8.485 | -5.667 | 0.111 |
| | | 後測 | 4.55 | 6.364 | | |
| **行為** | 有 | 前測 | 4.11 | 5.037 | -2.610* | 0.011 |
| | | 後測 | 4.23 | 5.449 | | |
| | 無 | 前測 | 3.80 | 4.243 | -2.000 | 0.295 |
| | | 後測 | 4.20 | 7.071 | | |

*表示 p 值<0.05， ***表示 p 值<0.001

註:因為認知分數之差異標準差為零，因此無法計算其相關性與 t、p 值。

（五）喜歡動物

本研究受測者喜歡動物者有 90 人，不喜歡動物者有 8 人。從**表 21** 得知，喜歡者的認知、態度平均得分低於不喜歡者，其獨立樣本 t 檢定 p 值>0.05，表示未達顯著差異；僅行為平均得分高於不喜歡者，其獨立樣本 t 檢定 p 值>0.05，表示未達顯著差異。因此，在影片教學介入後，喜歡與不喜歡動物者之間的認知、態度、行為皆未達顯著差異。

**表 21.** 喜歡與否動物保護三大面向後測之統計資料

| 三大面向 | 頻率 | 得分平均 | 標準差 | t 值 | p 值 |
|---|---|---|---|---|---|
| **認知** | 喜歡 | 8.58 | 2.213 | -0.692 | 0.490 |
| | 不喜歡 | 9.13 | 0.835 | | |
| **態度** | 喜歡 | 4.46 | 5.682 | -0.454 | 0.651 |
| | 不喜歡 | 4.56 | 4.307 | | |
| **行為** | 喜歡 | 4.24 | 5.412 | 0.803 | 0.424 |
| | 不喜歡 | 4.08 | 5.915 | | |

從**表 22** 得知，喜歡動物與不喜歡動物者後測成績皆進步，而喜歡者認知與行為面向成對樣本 t 檢定 p 值<0.05，達顯著差異，但態度面向成對樣本 t 檢定 p 值>0.05，表示未達顯著差異。不喜歡者認知與態度面向成對樣本 t 檢定 p 值<0.01，達顯著差異，而行為面向成對樣本 t 檢定 p 值>0.05，表示未達顯著差異。

**表 22.** 喜歡與否動物保護三大面向前、後測之統計資料

| 三大面向 | 頻率 | | 得分平均 | 標準差 | Paired-t | p 值 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **認知** | 喜歡 | 前測 | 7.38 | 1.612 | -6.414*** | <0.001 |
| | | 後測 | 8.58 | 2.213 | | |
| | 不喜歡 | 前測 | 6.63 | 1.302 | -3.989** | 0.005 |
| | | 後測 | 9.13 | 0.835 | | |
| **態度** | 喜歡 | 前測 | 4.35 | 5.581 | -1.989 | 0.050 |
| | | 後測 | 4.46 | 5.682 | | |
| | 不喜歡 | 前測 | 4.08 | 4.764 | -5.656*** | <0.001 |
| | | 後測 | 4.56 | 4.307 | | |
| **行為** | 喜歡 | 前測 | 4.14 | 5.023 | -2.368* | 0.020 |
| | | 後測 | 4.24 | 5.412 | | |
| | 不喜歡 | 前測 | 3.76 | 3.701 | -1.534 | 0.169 |
| | | 後測 | 4.08 | 5.915 | | |

*表示 p 值<0.05，**表示 p 值<0.01，***表示 p 值<0.001

（六）看到動物影片的反應

本研究受測者看到動物影片反應，會繼續看者有 38 人，轉頭不看者有 5 人，會根據放映的動物選擇要不要看者有 55 人。從表 23 得知，看到動物影片會有不同反應者在動物保護認知、態度、行為面向上，p 值皆>0.05，顯示在動物保護認知、態度、行為上未達顯著差異。

**表 23.** 看影片反應動物保護三大面向後測之統計資料

| 三大面向 | 頻率 | 得分平均 | 標準差 | F 值 | p 值 |
|---|---|---|---|---|---|
| **認知** | 繼續看 | 8.61 | 2.542 | | |
| | 不看 | 9.60 | 0.548 | 0.539 | 0.585 |
| | 看是什麼動物 | 8.56 | 1.913 | | |
| **態度** | 繼續看 | 4.56 | 5.649 | | |
| | 不看 | 4.46 | 4.393 | 0.578 | 0.563 |
| | 看是什麼動物 | 4.44 | 5.273 | | |
| **行為** | 繼續看 | 4.34 | 5.076 | | |
| | 不看 | 3.86 | 4.775 | 2.219 | 0.114 |
| | 看是什麼動物 | 4.19 | 5.607 | | |

從**表 24** 得知，看到動物影片會繼續看、轉頭不看、選擇性看者三面向後測成績皆進步，僅不看者行為面向後測成績略微退步，而繼續看與轉頭不看者僅認知面向成對樣本 t 檢定 p 值<0.001，達顯著差異，態度與行為面向成對樣本 t 檢定 p 值>0.05，表示未達顯著差異。選擇看者三面向成對樣本 t 檢定 p 值<0.001，達顯著差異。

**表 24.** 看影片反應動物保護三大面向前、後測之統計資料

| 三大面向 | 頻率 | | 得分平均 | 標準差 | Paired-t | p 值 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **認知** | 繼續看 | 前測 | 7.32 | 1.817 | -4.004*** | <0.001 |
| | | 後測 | 8.61 | 2.542 | | |
| | 不看 | 前測 | 8.00 | 0.707 | -4.000* | 0.016 |
| | | 後測 | 9.60 | 0.548 | | |
| | 看是什麼動物 | 前測 | 7.27 | 1.496 | -5.471*** | <0.001 |
| | | 後測 | 8.56 | 1.913 | | |
| **態度** | 繼續看 | 前測 | 4.52 | 4.929 | -0.366 | 0.717 |
| | | 後測 | 4.56 | 5.649 | | |
| | 不看 | 前測 | 4.26 | 5.367 | -1.907 | 0.129 |
| | | 後測 | 4.46 | 4.393 | | |
| | 看是什麼動物 | 前測 | 4.22 | 5.570 | -3.745*** | <0.001 |
| | | 後測 | 4.44 | 5.273 | | |
| **行為** | 繼續看 | 前測 | 4.31 | 4.394 | -0.400 | 0.691 |
| | | 後測 | 4.34 | 5.076 | | |
| | 不看 | 前測 | 3.88 | 4.266 | 0.232 | 0.828 |
| | | 後測 | 3.86 | 4.775 | | |
| | 看是什麼動物 | 前測 | 4.00 | 4.979 | -3.668*** | <0.001 |
| | | 後測 | 4.19 | 5.607 | | |

*表示 p 值<0.05，***表示 p 值<0.001

根據以上研究結果顯示，進行影片延伸教學後，在所有背景變項中，僅「性別」在動物保護認知、態度、行為面向上達顯著差異，與何方瑜（2018）、賴柔君（2008）之研究結果相同，與王儷芬（2009）、林佩瑩（2008）、蔡佳紋（2007）之研究結果部分符合，與周佩蓉（2008）之研究結果不同。

## 四、質性資料分析

（一）學生對影片內容的回饋

為了瞭解學生在觀看動物動畫時，實際上學習到什麼，或是對什麼情節印象最深刻，不只是在授課期間對這方面提問題，也在後測問卷中多加了一個問答題，來了解學生對動畫內容的吸收程度。以下為後測問卷問答題內容的總整理：(Q 為問題、S 為學生回答編碼)

Q：關於影片中主角與貓咪之間的互動，你有什麼建議要給主角或貓咪？

1.針對影片內容回答者：

S1：人不要吃貓的飼料（9 人）

S2：主角要多陪貓咪玩一下（9 人）

S3：給主角：不要忘記吃飯

給貓咪：人不吃貓食　（3 人）

S4：貓咪，你的主人不吃你的東西

S5：兩個都不要亂吃東西

S6：貓咪很可愛的，牠不會傷害你

S7：建議主角先吃麥當勞

S8：不要浪費食物

S9：好好吃飯，你的貓咪會擔心你（3 人）

S10：天天開心，要睡飽喔！（3 人）

總結：從學生的回答可以發現，針對影片內容回答的學生，大部分都著重在吃東西上面，因為此部影片的最大特點，除了一開始將遊蕩貓咪撿回家之外，便是主角與貓咪之間的互動，也就是食物對峙，因此學生的焦點就都放在兩方的食物防衛戰上，顯示學生都有專心在做影片欣賞。

2.針對延伸教學內容回答者：

S11：不要亂帶貓咪回家，帶回家了要去了解牠（18 人）

S12：貓咪不要吃生魚片/不要給貓咪吃生魚片（8 人）

S13：主角不應該直接把貓咪帶回家（3 人）

S14：不要一直給別人一樣的食物（2 人）

S15：不要亂養外面的動物（2 人）

S16：記得植入晶片、健康檢查（2 人）

S17：對你的貓咪負責，不能棄養，要好好照顧牠

總結：從學生的回答可以發現，針對延伸教學內容做回答的學生，重點大部分擺在動物收養與飲食注意上面，表示這兩部分是在進行影片欣賞與延伸教學之後，學生印象最深刻並能學以致用的部分。

3.有其他感想者：

S18：我覺得作者不能棄養貓咪，否則牠們會很可憐

S19：主角應該要將貓咪放回原位
S20：沒想法（28 人）

總結：主張不能棄養的學生，甚至將話題延伸到動畫作者身上，顯示這位同學對這方面的認真與注重程度；另主張要將動物放回原位的學生，可能是認為責任感不夠的人沒有資格收養動物，因此建議主角將貓咪放回去，強調了負責任是收養的最重要品德。兩位同學的回答雖然焦點發散但很有個人想法，顯示即使是小學生，也可能有不同於標準答案的回答。

（二）進行課程時學生的回饋

進行影片教學時，會根據主題內容向學生提問，而本研究最希望得到的答案是能與影片內容結合或是相關回答，但只有兩個班中各一位學生的回答有提及影片或相關內容，比預期的答案數量還少。第一位同學的回答與貓咪的食物有關，認為貓咪可以吃生魚，因為影片中的貓咪就吃了主角帶去的生魚片，所以給了觀賞者一個「貓咪可以這麼做」錯覺，這時便透過延伸教學來肯定或是給予正確答案；另一位同學認為影片中貓咪關心主人的樣子便是動物有感情的證明，呼應了這次教學的主軸之一。

另外，有位學生在進行教學後，針對後測問卷同樣的題目提了疑問，他將認知面向第 9 題：「不用爸爸媽媽的同意，18 歲的你/妳也可以自己去收容所認養。」中的「爸爸媽媽」視為同居人，並對其提出疑問，因為在延伸教學中有提到，領養動物前，需要先經過家人或是同居人的同意才能進行領養手續，因此這位同學將這題的重點擺在了同居人的條件上，而不是研究者原本的題意－成年與否上，讓研究者覺知這道題目的缺陷，往後會多留意在題目設計上，也欣慰學生有確切地吸收與思考教學內容。

（三）學生問卷背景內容分析

在做前測問卷時，會讓學生填寫個人基本資料，其中第 9 題提問受測者本人是否喜歡動物，然後第 11 題會問喜歡的動物前三名順序，照理來說，只有勾選「喜歡」的人才會在排序題上填入答案，但事實上，勾選「不喜歡」的 8 位學生中，有 5 位同學寫出喜歡的動物順序，同時從第 10 題「看到動物影片的反應」回答來看，5 人都選擇「看是什麼動物」，因此推測他們不是喜歡全部的動物，而是只喜歡特定的動物，才會如此作答。

# 伍、結論

本研究目的在探討利用動畫搭配延伸教學，是否會對國小學童動物保護認知、態度與行為造成影響，並藉由實驗結果，來推論此方法運用在各領域課程與任何學生上的可行性。本研究之結論與建議分述如下：

**一、實施動畫式影片教學後，對國小學童動物保護之認知面向，達顯著提升**

進行影片教學後，受測者的後測成績高於前測，且成對樣本 t 檢定表示顯著差異，其中又以認知面向中的兩個主要概念「動物行為之了解」與「動物收養法規」有顯著差異。根據統計，四個班級後測均有進步，其中有三個班達顯著差異，而題目答對率皆有所提升。顯示動畫式影片教學對國小六年級學童在動物保護認知面向上有正面提升效果。

**二、實施動畫式影片教學後，對國小學童動物保護之態度面向，達顯著提升**

進行影片教學後，受測者的後測成績高於前測，且成對樣本 t 檢定表示顯著差異，其中態度面向中三個主要概念「動物保護教育與內涵之態度」、「同理心」與「人與動物之互動」皆有顯著差異。根據統計，四個班級中有三個班後測有進步並達顯著差異。顯示動畫式影片教學對國小六年級學童在動物保護態度面向上有正面提升效果。

**三、實施動畫式影片教學後，對國小學童動物保護之行為面向，達顯著提升**

進行影片教學後，受測者的後測成績高於前測，且成對樣本 t 檢定表示顯著差異，其中又以行為面向中一個主要概念「飼主行為」有顯著差異。根據統計，四個班級中有三個班級後測有進步，但僅兩個班級達顯著差異。顯示動畫式影片教學對國小六年級學童在動物保護行為面向上有正面提升效果。

四、在進行動畫式影片教學後，背景變項中僅「性別」在動物保護認知、態度與行為面向上達顯著提升，且女生高於男生

（一）性別：將所有學生分為「男生」與「女生」兩組來討論，並利用獨立樣本 t 檢定來分析，結果發現在進行影片教學後，兩組人員在動物保護認知、態度與行為面向上皆有進步，且三大面向皆達顯著差異，顯示學生性別會影響教學課程介入之成效。再者，將兩組人員利用成對樣本 t 檢定分析前、後測分數，發現進行影片教學後，男生只有認知面向達顯著差異，而女生在三大面向上均達顯著差異，顯示課程介入對女生的影響較大。

（二）觀看非中文發音影片、養寵物經驗、動物園經驗、喜歡動物、看到動物影片的反應：結果發現在進行影片教學後，所有人在動物保護認知、態度與行為面向上皆有進步，但三大面向皆未達顯著差異，顯示這些背景變項並不會影響教學課程介入之成效。

從以上兩點來看，任何經驗皆不會影響國小六年級學童對動物保護影片欣賞與延伸教學的吸收，只有「性別」會造成學習成效差異。

總結：與龔毅玲（2019）、何方瑜（2018）、高汝美（2015）、何懿洲（2013）、許婉禎（2012）研究結果一致，影片延伸教學能有效提升國小學童動物保護之認知、態度與行為；並與何方瑜（2018）、江沛晨（2010）、賴柔君（2008）研究結果相符，在學生背景變項中，僅「性別」在學生動物保護之認知、態度與行為上有顯著差異，其他經驗不會影響其學習成效。

# 參考文獻

## 一、中文部分

王思堯（2004）。**學習教材與認知風格對於學習績效與教材評量的影響**。未出版碩士論文，國立中央大學，桃園市。

王儷芬（2009）。**繪本教學對國小低年級學生犬隻動物保護教學之研究**。未出版碩士論文，國立臺中教育大學，臺中市。

台灣動物社會研究會（2022，January 15）。**動保入憲：為什麼台灣需要於憲法中納入動物保護**。摘錄自 12 月 12 日，2023，從 https://www.east.org.tw/action/8581。

台灣動物平權促進會（2020）。**動物平權－籠鍊犬**。摘錄自 3 月 5 日，2024，從 https://www.taeanimal.org.tw/kamishibai/equalrights.html#。

江沛晨（2010）。**探討電視劇《交響情人夢》應用於音樂學習成就影響之研究－以后里國中二年級學生為例**。未出版碩士論文，國立臺北教育大學，臺北市。

全國法規資料庫（2021，May）。**動物保護法**。摘錄自 9 月 26 日，2023，從 https://law.moj.gov.tw/LawClass/LawAll.aspx?PCode=M0060027。

全國法規資料庫（2013，January）。**野生動物保育法**。摘錄自 9 月 26 日，2023，從 https://law.moj.gov.tw/LawClass/LawAll.aspx?pcode=M0120001。

全國法規資料庫（2017，November）。**環境教育法**。摘錄自 12 月 6 日，2023，從 https://law.moj.gov.tw/LawClass/LawAll.aspx?pcode=O0120001。

李榮杰（2011）。**錨式影片融合多媒體簡報教學成效~以國小六年級環境教育議題為例**。未出版碩士論文，國立中正大學教育學院，嘉義縣。

李鑑慧（2009）。十九世紀英國動物保護運動與基督教傳統。**新史學，20**（1），125-179。

李淑真（2002）。**野生動物保育教學對國小四年級學童的知識、態度及行為意向影響之研究**。未出版碩士論文，臺中師範學院，臺中市。

李怡慧、周倩（2023）。數位教科書或網路教材資源？臺灣國高中資訊科技教師之使用現況、觀點與期待。**教科書研究，16**（1），45-77。

李凱恩（2014）。Regan 與動物權。**應用倫理評論，56**，1-8。

何懿洲（2013）。**環境教育影片教學對國中學生節能減碳知識、態度與行為意向之影響－以±2°C影片為例**。未出版碩士論文，國立臺灣師範大學，臺北市。

何方瑜（2018）。**影片教學對國小四年級學生動物保護態度影響之研究**。未出版碩士論文，國立臺北教育大學，臺北市。

何瑞瑩（2012）。**以動物保護為軸之國小中年級生命教育課程行動研究**。未出版碩士論文，銘傳大學，桃園市。

林君潔（2010）。**運用影片教學對國小高年級學童的環境議題認知與態度影響之研究**。未出版碩士論文，國立高雄師範大學，高雄市。

林佩瑩（2008）。**同伴動物保護課程對台北市某國小中年級學生動物保護知識、態度及行為意向影響之實驗研究**。未出版碩士論文，國立臺灣師範大學，臺北市。

周靜怡（2016）。**國中國文科教師運用影片教學法之使用意願研究**。未出版碩士論文，中華大學，新竹市。

周佩蓉（2008）。**國小低年級學童動物保護教育之研究**。未出版碩士論文，國立屏東教育大學，屏東市。

奇摩新聞(2022，April 7)。**日本虐待動物檢舉創新高 去年 170 件半數以上是貓、「這個傷害行為」遠超虐待件數**。摘錄自 3 月 5 日，2024，從 https://tw.news.yahoo.com/%E6%97%A5%E6%9C%AC%E8%99%90%E5%BE%85%E5%8B%95%E7%89%A9%E6%AA%A2%E8%88%89%E5%89%B5%E6%96%B0%E9%AB%98-%E5%8E%BB%E5%B9%B4170%E4%BB%B6%E5%8D%8A%E6%95%B8%E4%BB%A5%E4%B8%8A%E6%98%AF%E8%B2%93-%E9%80%99%E5%80%8B%E5%82%B7%E5%AE%B3%E8%A1%8C%E7%82%BA-%E9%81%A0%E8%B6%85%E8%99%90%E5%BE%85%E4%BB%B6%E6%95%B8-100600700.html。

施如齡、江宛臻 (2010)。**以數位敘事工具融入行動學習系統提升學生創造力之教學設計**。第四屆行動與無所不在數位學習研討會，臺南市。

徐憶屏（2015）。**提升國小四年級學童對經濟動物的態度之教學研究**。未出版碩士論文，國立屏東大學，屏東市。

高汝美（2015）。**影片教學融入國小高年級動保教育與生命教育之研究—以電影「十二夜」、「與豬豬一起上課的日子」為例**。未出版碩士論文，銘傳大學，桃園市。

高世欣(2007)。**台北市立動物園兒童動物園區執行國小動物保護教育現況研究**。未出版碩士論文，國立東華大學，花蓮縣。

陳辛慶（2007）。**影片教學對國中生科技態度影響之研究**。未出版碩士論文，國立高雄師範大學，高雄市。

陳榮鴻（2009）。**多媒體簡報融合影片教學於國小一年級英語科之成效**。未出版碩士論文，佛光大學，宜蘭縣。

陳清秀（2015）。動物保護之法理基礎與世界動物保護趨勢。**植根雜誌，31**(2)，71-80。

陳美盈(2013)。**國小學童實施動物保護繪本教學之行動研究**。未出版碩士論文，大葉大學，彰化縣。

張春興（1996）。**教育心理學－三化取向的理論與實踐**（初版）。臺北市：東華書局股份有限公司。

莊曉君（2006）。**英語卡通影片教學對國小學童英語學習成就、學習動機影響之研究**。未出版碩士論文，國立臺南大學，臺南市。

許婉禎（2012）。**宮崎駿動畫中的環境教育意涵－國小三年級學生對動畫《崖上的波妞》中隱含環境教育之認知研究**。未出版碩士論文，大葉大學，彰化縣。

郭曉慧（2011）。**國小教師應用環保影片於環境教育教學之認知與態度－科技接受模式之應用**。未出版碩士論文，國立臺南大學，臺南市。

郭素珠（2013）。**以閱讀繪本進行國小三年級學生於動物保護認知與實踐之研究—以彰化縣鹿東國小為例**。未出版碩士論文，大葉大學，彰化縣。

郭淑瑩（2008）。**故事教學進行國小低年級學生環境教育之研究—以動物保護繪本為例**。未出版碩士論文，臺北市立大學，臺北市。

國家教育研究院（2019）。**議題融入說明手冊**。新北市：國家教育研究院。

國家教育研究院（2019）。**十二年國教課綱-自然科學領域**。新北市：國家教育研究院。

國家教育研究院（2022）。**十二年國教課程綱要總綱**。新北市：國家教育研究院。

教育百科(2012，February 23)。**布魯納(Jerome_S._Bruner)**。摘錄自 10 月 20 日，2023，從 https://pedia.cloud.edu.tw/Entry/WikiContent?title=%E5%B8%83%E9%AD%AF%E7%B4%8D%28Jerome_S._Bruner%29&search=%E5%B8%83%E9%AD%AF%E7%B4%8D%28Jerome_S._Bruner%29。

教育百科(2000，December)。**替代性學習**。摘錄自 10 月 21 日，2023，從 https://pedia.cloud.edu.tw/Entry/Detail/?title=%E6%9B%BF%E4%BB%A3%E6%80%A7%E5%AD%B8%E7%BF%92。

教育百科(2000，December)。**情境學習**。摘錄自 10 月 21 日，2023，從 https://pedia.cloud.edu.tw/Entry/Detail/?title=%E6%83%85%E5%A2%83%E5%AD%B8%E7%BF%92。

教育部國民及學前教育署(2012)。**國民中小學九年一貫課程綱要重大議題（環境教育）**。臺北市：教育部國民及學前教育署。

黃嘉勝（2004）。資訊科技媒體融入於我國科技教育之教學探討。**生活科技教育月刊，37**（6），14-21。

黃安妮（2006）。**以蜜蜜甜心派動畫教學提升學生的幸福感之行動研究**。未出版碩士論文，國立臺東大學，臺東縣。

隋子霈（2008）。**自我概念影片教學對兒童自我概念之影響**。未出版碩士論文，玄奘大學，新竹市。

曾明麗（2005）。**影片教學融入國小四年級水生家族教學之研究**。未出版碩士論文，臺北市立大學，臺北市。

費昌勇、楊書瑋（2011）。動物權與動物對待。**應用倫理評論，51**，75-103。楊冠政（1997）。**環境教育**。臺北市：明文書局。

維基百科(2022，May 12)。**訊息處理理論**。摘錄自 10 月 20 日，2023，從 https://zh.m.wikipedia.org/zh-tw/%E8%A8%8A%E6%81%AF%E8%99%95%E7%90%86%E7%90%86%E8%AB%96。

維基百科(2022，July 4)。**地球高峰會**。摘錄自 12 月 7 日，2023，從 https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E5%9C%B0%E7%90%83%E9%AB%98%E5%B3%B0%E6%9C%83。

維基百科(2023，February 14)。**動物權利**。摘錄自 12 月 9 日，2023，從 https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E5%8B%95%E7%89%A9%E6%AC%8A%E5%88%A9。

維基百科(2023，November 3)。**動物福利**。摘錄自 12 月 9 日，2023，從 https://zh.wikipedia.org/wiki/%E5%8B%95%E7%89%A9%E7%A6%8F%E5%88%A9。

蔡秀紋（2009）。**生命教育卡通影片教學對國小學童生命態度影響之研究**。未出版碩士論文，國立高雄師範大學，高雄市。

蔡佳紋（2007）。**國小中年級犬隻動物保護教學之實驗研究**。未出版碩士論文，國立臺中教育大學，臺中市。

鄭麗榕（2011）。「體恤禽獸」：近代台灣對動物保護運動的傳介及社團創始。**台灣風物，61**（4），11-44。

劉依如（2009）。**動物福利教育解說活動對國小學童動物福利知識與態度之影響研究**。未出版碩士論文，國立臺灣師範大學，臺北市。

賴柔君（2008）。**生命教育影片教學對國小高年級學童自我概念、生命價值觀與生活適應影響之研究**。未出版碩士論文，國立高雄師範大學，高雄市。

賴治民（2012）。獸醫公共衛生政策執行與動物福利。**應用倫理評論，56**，46-56。

聯合新聞網（2023，October 19）。**新北虐貓「茶茶案」定讞 虐待動物犯罪入獄第一人**。摘錄自 3 月 5 日，2024，從 https://udn.com/news/story/7321/7514994。

翻轉教育（2023，March 24）。**「學生一年比一年難帶，該怎麼辦？」10 招帶你抓回學生的專注力**。摘錄自 12 月 12 日，2023，從 https://flipedu.parenting.com.tw/article/000139。

翻轉教育（2022，July 26）。**2022 數位學習教學現況大調查看見校園的 3 大挑戰**。摘錄自 3 月 1 日，2024，從 https://flipedu.parenting.com.tw/article/007507。

關懷生命協會（2018，February 9）。**淺談動物倫理**。摘錄自 2 月 29 日，2024，從 https://www.lca.org.tw/avot/6650。

籃慧蓮(2006)。電影教學在國小生命教育課程上的應用。**視聽教育雙月刊，48**(1)，21-34。

龔毅玲（2019）。**應用影片媒體推廣水資源環境教育之行動研究**。未發表碩士論文，國立嘉義大學，嘉義市。

MBA 智庫百科(2016，September 28)。**戴爾的經驗之塔理論**。摘錄自 10 月 17 日，2023，從 https://wiki.mbalib.com/zh-tw/%E6%88%B4%E5%B0%94%E7%9A%84%E2%80%9C%E7%BB%8F%E9%AA%8C%E4%B9%8B%E5%A1%94%E2%80%9D%E7%90%86%E8%AE%BA。

James, R. (2015)。**道德哲學要義**（林逢棋譯）。臺北市：桂冠圖書。(原作 2009 年出版)

## 二、英文部分

Bruning, M. J. (1992). VIS: Technology for Multicultural Teacher Education. *TechTrends, 37*(1), 13-14.

Collins, A. (1989). *Cognitive apprenticeship and instructional technology.* Technical Report, 474. Champaign: University of Illinois at Urbana Champaign.

Fraser, D. (1998). *Animal welfare Encyclopedia of animal rights and animal welfare.* Westport, Conn: Greenwood Press.

Krashen, S. (1982). *Principles and Practice in Second Language Acquisition* (pp. 65-78). Pergamon: Oxford.

UNIVERSAL DECLARATION OF ANIMAL RIGHTS1977-UDAR(n. d.). Retrieved December 9, 2023, from http://jose.kersten.free.fr/aap/pages/uk/UDAR_uk.html

# 發酵萃取物對卵巢切除誘導骨質疏鬆之預防潛力評估：以小鼠模型為例

傅建堯[1]、黃書葦[2]*

## 中文摘要

骨質疏鬆症是常見於絕經後婦女的代謝性骨骼疾病，與雌激素缺乏密切相關。近年研究指出，腸道菌相與骨骼健康之間具有重要關聯。本研究使用卵巢切除（OVX）小鼠作為模型，探討經發酵後之淡竹葉（*Lophatherum gracile*）萃取物對骨質疏鬆的預防效果。實驗中，發酵萃取物經口餵食八週，評估其對骨密度、骨微結構、生化指標及腸道菌相的影響。結果顯示，萃取物可顯著提升骨體積比例與骨小梁厚度，並調節血清中骨生成與骨吸收相關指標（如 osteocalcin、P1NP 與 CTX-I）。此外，腸道菌相分析顯示該發酵物有助於恢復 OVX 小鼠菌群平衡，增加有益菌相。綜合結果指出，發酵淡竹葉萃取物具有改善骨質疏鬆及調節腸道微生態的潛力，為腸道菌相導向之骨質疏鬆預防策略提供新方向。

**關鍵字**：骨質疏鬆、發酵萃取物、腸道菌相、卵巢切除術、骨密度。

[1] 傅建堯，國軍台中總醫院骨科部

[2] 黃書葦(通訊作者)，國立臺東大學應用科學系助理教授，OCRID:0000-0003-3251-9918，E-mail: swhuang@nttu.edu.tw

# Evaluation of Fermented Extracts in the Prevention of Osteoporosis Using an Ovariectomized Mouse Model

Chien-Yao Fu[1], Shu-Wei Huang[2]*

## Abstract

One of the major reasons for osteoporosis is the lack of estrogen in postmenopausal women. Recent research has discovered that the gut microbiota is one of the main players in bone health and that the doable way to correct the condition is to alter the microbial community. Ovariectomized mice serve as, was a model used for these tests. The objective of this experiment was to figure out whether the application of fermented plant extracts that are supplied with bioactive compounds could be served as a preventive method through the direct modulation and enhancement of the gut microbiota and thus loaded bones that were tested for the presence of specific biochemical signaling molecules as a measure of bone density. Bones were assessed with a micro-computed tomography instrument to read the bone mineral density, then blood serum biomarkers along with the measured parameters related to bone metabolism were evaluated showing the efficiency of the treatment. Also, fermentation of the extract was performed, and subsequent analysis of the gut microbiome was undertaken to study changes in the gut microbiota for the possible microbiota-related mechanisms. Due to this research paper, we see gut microbiota or microbial composition as the key to the bone matrix reabsorption and offer a new, microbiome-targeted strategy for prevention and management of osteoporosis as a potential solution.

**Keyword:** Osteoporosis, Fermented Extract, Gut Microbiota, Ovariectomy, Bone Mineral Density.

[1] Chien-Yao Fu, Department of Orthopaedic Surgery, Taichung Armed Forces General Hospital, Taichung City, Taiwan.

[2] Shu-Wei Huang (Corresponding Author), Assistant Professor, Department of Applied Science, National Taitung University, Taitung City, Taitung County, Taiwan. OCRID: 0000-0003-3251-9918, E-mail: swhuang@nttu.edu.tw

# 1. Introduction

Osteoporosis is a condition in which the entire body's bone metabolism is dysfunctional and results in a decrease in the quantity of bone and its micro-architectural structure to exist which causes the increased possibility of fractures (Föger-Samwald, Dovjak, Azizi-Semrad, Kerschan-Schindl, & Pietschmann, 2020). While this disease usually affects individuals at an older age, it is a substantial problem for postmenopausal women as it results from a low estrogen rate (Yong & Logan, 2021). The study shows that about 19% of the women experienced spinal fractures in contrast to 12% among the male counterparts, which marks a very big difference between the genders. Apart from aging, the main factors susceptible to the ailment include a female gender, lower weight, certain ethnicities, family diseases, hormonal changes, and a wrong | unhealthy diet. Additionally, less physical activity and smoking can significantly elevate the chances of becoming a victim of the disease.

Osteoporotic fractures, particularly those occurring in the hip, spine, and wrist, significantly impair quality of life and increase mortality risk in affected individuals. The socioeconomic burden of osteoporosis is considerable, emphasizing the importance of preventive strategies, early diagnosis, and effective treatment methods to mitigate the health impact and healthcare costs associated with osteoporotic fractures.

Osteoporosis has bisphosphonates, which suppress the activity of osteoclasts, selective estrogen receptor modulators (SERMs), calcitonin, and parathyroid hormone (PTH) analogs as the main treatment options (Cronin et al., 2022). However, some drug like Alendronate, one of the bisphosphonates, is a drug that leads to saturnine banes and heartburn but it recovers in the time of 30-60 minutes when patient stands up after eating. Others the long-term bisphosphonate use could also cause osteonecrosis of the jaw and atypical femoral fractures, which are very serious. Raloxifene is a component of SERMs, which lowers the possibility of fracture but it might even be linked with the development of venous thromboembolism as a side effect. The use of calcitonin is a typical mild course that makes one feel sick or throw up sometimes. Teriparatide, for example, falls into the PTH analogs series, which work by means of the bone-strengthening action, however, due to the high price and the possibility to be used in the selected treatments, can bring negative outcomes to patients. Consequently, the currently available methods are not effective, and the high demand for novel treatment procedures has arisen.

The recent research has pointed out that the sickness of the intestinal flora has more than are the bone our metabolism, the guts microflora is of crucial importance of the skeleton health regulator (Ibáñez, Rouleau, Wakkach, & Blin-Wakkach, 2019; Seely, Kotelko, Douglas, Bealer, & Brooks, 2021). To modify the microbiota in the intestine is a prospective way of treating osteoporosis. Probiotics and prebiotics have been discovered to be the beneficial way of preventing bone health by making the process of calcium absorption more effective and by also by their immunomodulatory effect, in the end, reducing the osteoclast formation. For example, lactic acid bacteria reuteri supplementation has reduced the osteoclastogenic process and greatly slowed down the progress of osteoporosis (Nilsson, Sundh, Bäckhed, & Lorentzon, 2018). Prebiotics also in the same way are a way to enhance calcium absorption and bone density. Despite these hopeful results, current research in the modulation of the gut microbiota in osteoporosis is still in the preliminary stage, it is also limited to clinical evidence and the knowledge of design of the mechanisms. More

investigation into microbiota-targeted therapies, including fermented extracts, is necessary to have a clear picture of how they work and their biological mechanism. Thus, this study aims to evaluate the potential of fermented extracts to prevent osteoporosis in an OVX mouse model by modulating gut microbiota, ultimately providing novel insights into microbiome-targeted therapeutic approaches.

## 2. Materials and Methods

### 2-1. Animal Model

Female C57BL/6 mice (8 weeks old) were divided into three groups: (1) Sham-operated control, (2) OVX without treatment, and (3) OVX with fermented extract supplementation. Mice underwent bilateral ovariectomy under anesthesia following standard protocols. Animals were housed under controlled environmental conditions with a 12-hour light/dark cycle and provided standard diet and water ad libitum. All experimental procedures were approved by the Institutional Animal Care and Use Committee (IACUC).

### 2-2. Fermented Extract Preparation and Administration

Fermented extracts were prepared from *Lophatherum gracile* using standard fermentation procedures followed by extraction and purification. The process included solid-liquid separation to remove plant debris, cell disruption via mechanical homogenization, primary purification through filtration or centrifugation to remove insoluble impurities, and further purification via chromatography techniques to obtain bioactive compounds.

### 2-3. Administration of Fermented Extracts

Mice in the treatment group began receiving fermented extracts three days postovariectomy surgery. The fermented extracts were administered orally once daily for eight consecutive weeks at a dose of 200 mg *Lophatherum gracile* extract per kg mouse body weight.

### 2-4. Bone Mineral Density and Micro-CT Analysis

Bone density was assessed using micro-computed tomography (micro-CT). Trabecular bone volume, cortical thickness, and bone mineral density (BMD) were measured at the femur and lumbar spine.

### 2-5. Biochemical Marker Analysis

Serum samples were collected at baseline, 4 weeks, and 8 weeks to assess osteocalcin, alkaline phosphatase (ALP), and C-terminal telopeptide of type I collagen (CTX-I) levels using ELISA.

### 2-6. Gut Microbiome Analysis

16S rRNA sequencing was performed to examine gut microbiota composition before and after fermented extract administration. Differential abundance analysis compared microbial profiles among groups.

### 2-7. Statistical Analysis

All data were analyzed using SPSS. One-way ANOVA with Tukey's post hoc test was used for multiple group comparisons. Correlation analysis between bone parameters and microbiota changes was performed.

# 3. Results

## 3-1. Bone Volume Fraction (BV/TV) Analysis

The results of the analysis showed considerable differences in the bone volume ratio (BV/TV) between the test groups. The control group (Group A) showed a normal level of bone density of about 21%. Conversely, PBS treatment group (Group C) has had ovariectomy, which led to a significant decrease in BV/TV to around 16%, pointing to a great loss of bone due to estrogen deficiency. The group receiving a commercially available treatment for osteoporosis (Group B) did get a BV/TV of 15%, which

suggests the risk of continued bone loss. A remarkable change in BV/TV in the extracttreated group (Group D) was observed, which was about 20%, a number that was not only superior to the PBS group but also was equal to the control level.

## 3-2. Trabecular Thickness (Tb.Th) Analysis

Regarding trabecular thickness (Tb.Th), differences among the groups were relatively subtle. Group A registered the highest average measurement of the trabecular thickness which was around 80 µm. Group C had less thickness by approximately 75 µm, while the thickness stayed almost stable in Group B, at 78 µm, slightly below the control level. The Tb. Th. in Group D turned out to be near 72 µm showing just menial impairment over the control but a lot less relative to the PBS group. Therefore, the results suggest that fermented extract offers some safeguard against the weakening of trabecular microarchitecture.

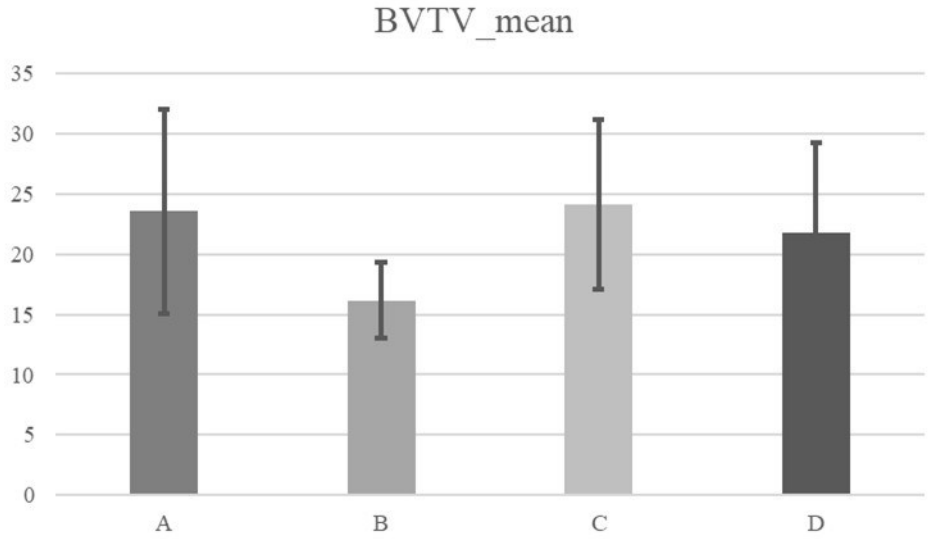



**Figure 1.** Bone Volume Fraction (BV/TV %). (A) CTL (sham-operated), (B) commercial osteoporosis drug, C OVX, and D (OVX + fermented extract).

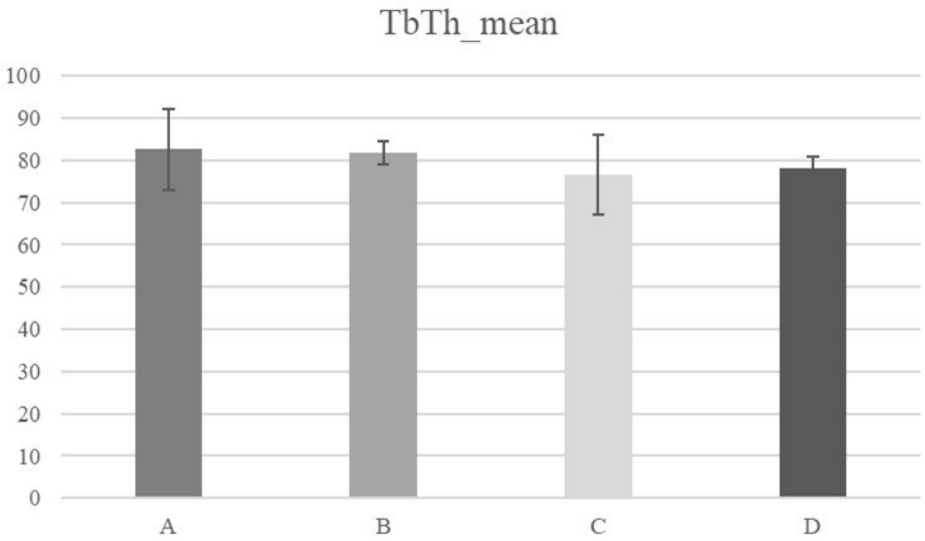



**Figure 2.** Trabecular Thickness (Tb.Th). (A)CTL showed the highest values. While the PBS group (C) showed a reduction, the fermented extract group (D) maintained Tb.Th close to the baseline level, indicating protective effects on trabecular microarchitecture.

### 3-3. Serum Biomarkers of Bone Metabolism

The Serum biochemical analysis manifested a marked decreased instances in the bone formative markers, that is osteocalcin and type I collagen N-terminal propeptide in the OVX untreated mice in the control group that was sham operated than those rats those whose bone resorption was activity was low. And in the untreated OVX group compared to sham-operated controls, alongside elevated levels of bone resorption markers such as C-terminal cross-linking telopeptide of type I collagen, indicating enhanced bone resorption activity ($p < 0.05$). In contrast, OVX mice treated with fermented extracts exhibited significantly increased serum OSTEOC and P1NP levels, indicative of enhanced bone formation, and significantly reduced CROSSL levels, reflecting suppressed bone resorption activity ($p < 0.05$).

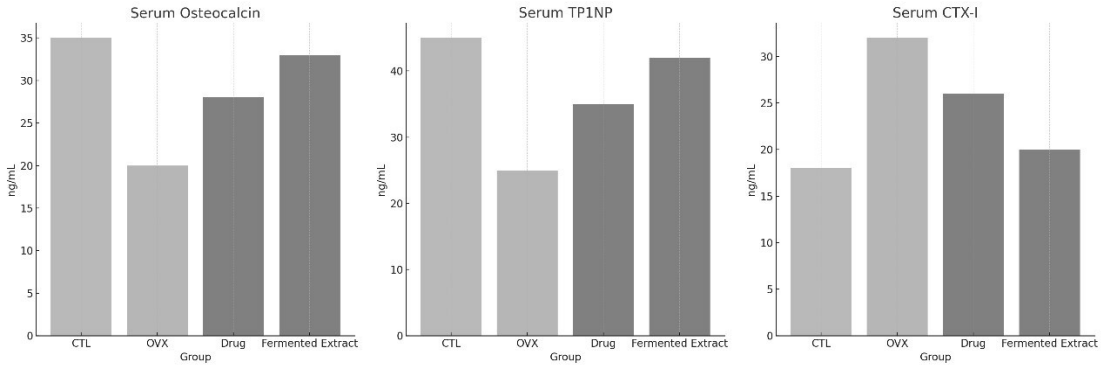



**Figure 3.** Serum levels of bone metabolism markers.

### 3-4. Gut Microbiota Composition

16S rRNA sequencing analysis demonstrated marked gut microbiota dysbiosis in OVX mice, characterized by decreased beneficial bacterial populations and increased harmful bacteria. Fermented *Lophatherum gracile* extract supplementation partially restored microbiota balance, significantly increasing the relative abundance of beneficial bacteria, including specific taxa previously associated with improved bone health, compared to untreated OVX mice ($p < 0.05$).

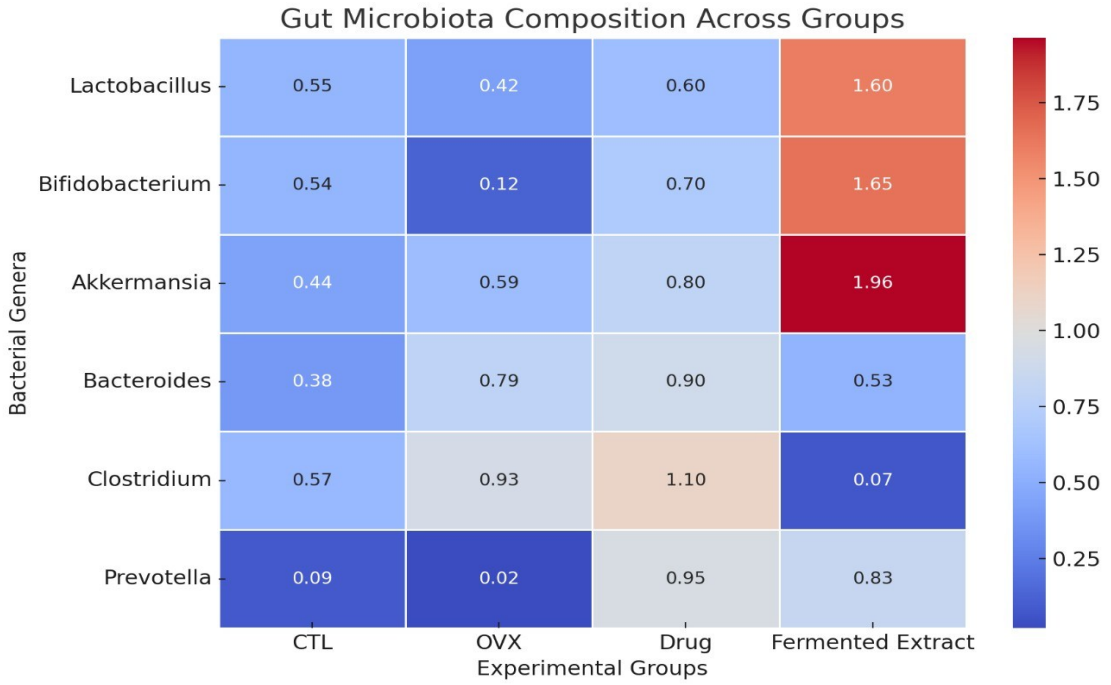



**Figure 4.** Heatmap of gut microbiota composition across experimental groups. Relative abundances of six representative bacterial genera were assessed by 16S rRNA sequencing.

## 4. Discussion

The research aimed at testing whether fermented Lophatherum gracile extract preserves the bone density and functionality of female mice that have been being unprotected to a postmenopausal OXV mouse (Li, Boer, Oei, & Medina-Gomez, 2021). Here represented data reveal the depressed BV/TV and Tb.Th as it was estimated by losing the bone volume fraction and reduction of thickness in the mice under the OVX, the fermented extract treatment also turned around the bone loss induced by OVX mice. These improvements were similar to those of the sham-operated group, and in some cases, they were even better than those of the mice that got an osteoporosis drug, thus implying that the fermented product has the potential to promote bone growth.

In addition, the serum biochemical markers further supported this observation (Williams,

Anastasopoulou, & Sapra, 2025). The OVX group had only 20% of the normal content of the osteocalcin(Karsenty, 2023) and P1NP(Takada et al., 2020) proteins which are the most common in bone formation while being double that of CTX-I (Dolan et al., 2024) which belongs to the early phase of bone remodeling. The effects of the mixture were a full recovery of osteocalcin and P1NP levels and an extraordinary reduction in CTX-I which signified the shift of the balance toward the desired bone formation and dullness of osteoclastic activity. These data are going to the fact that the bone remodeling balance is favorable to a bone formation-possessing phase.

In addition to bone-specific effects, this research has reported 16s rRNA analysis of gut microbiota (Bose & Sharan, 2024; Resciniti, Biesiekierski, Ghasem-Zadeh, & Moschonis, 2024). This process-known as dysbiosis experienced during OVX, has a decreased abundance of lactobacilli (He, Bertram, Yin, & Nie, 2024; Resciniti et al., 2024), bifidobacteria, and akkermansia (Niu et al., 2024) that was somewhat mitigated by the fermented extract being added. The microbial alterations matched the improvements in bone parameters ensuring that the "gut-bone axis" is a newer idea (Zaiss, Jones, Schett, & Pacifici, 2019). Importantly, the fermented extract group exhibited a microbiota profile that resembled that of the sham-operated control group to a greater extent than it did with the OVX group, which highlights the extract-influenced gut homeostasis.

The exciting aspect of the research concerning the gut microbiota and bone metabolism is the interaction between them. This research is based on the theory that some bacteria assist in the obtaining of calcium, decreasing inflammation and modulating defenses of the entire organism, by themselves controlling osteoclast and osteoblast activity. The augmented number of useful bacteria seen in the fermented extract group is consistent with the aforementioned concepts and indicates that microbiota may be one of the mechanisms that act to mediate the bone-protective effects of the extract.

However, several limitations must be acknowledged. The investigation that had been worked out in the animals for a brief time, and the evidence was still not definitive because it might be not fully representing human physiology. Additionally, the specific bioactive compounds that are produced as a result of the signaling pathways and the precise signaling pathways involved still have to be unveiled. Upcoming endeavors merging metabolomics, transcriptomics, and longer treatment durations should be enlisted to allow for the understanding of the real mechanisms.

## 5. Conclusion

In conclusion, the fermented *Lophatherum gracile* extract was effective in preventing the loss of bone and promoting the formation of bone in the OVX-induced osteoporosis mouse model. These effects were even better in a few aspects and in others like the commercial osteoporosis drugs. The accompanied modulation of gut microbiota composition reveals a two-line mechanism with both the local plug and the systemic being affected. This research brings to light the use of microbiota targeted nutritional interventions as novel strategies for the prevention and management of osteoporosis. Further clinical studies are required to prove these findings and to find their translational applications in human populations.

## 6. References

Bose, S., & Sharan, K. (2024). Effect of probiotics on postmenopausal bone health: a preclinical meta-analysis. Br J Nutr, 131(4), 567-580. doi:10.1017/s0007114523002362

Cronin, O., Lanham-New, S. A., Corfe, B. M., Gregson, C. L., Darling, A. L., Ahmadi, K. R., . . . Ralston, S. H. (2022). Role of the Microbiome in Regulating Bone Metabolism and Susceptibility to Osteoporosis. Calcif Tissue Int, 110(3), 273-284. doi:10.1007/s00223-021-00924-2

Dolan, E., Dumas, A., Esteves, G. P., Takarabe, L. L., Perfeito, L. A. M., Keane, K. M., . . . Swinton, P. A. (2024). The Influence of Nutrition Intervention on the P1NP and CTX-1 Response to an Acute Exercise Bout: A Systematic Review with Meta-Analysis. Sports Med, 54(11), 2889-2906. doi:10.1007/s40279-024-02087-0

Föger-Samwald, U., Dovjak, P., Azizi-Semrad, U., Kerschan-Schindl, K., & Pietschmann, P. (2020). Osteoporosis: Pathophysiology and therapeutic options. Excli j, 19, 10171037. doi:10.17179/excli2020-2591

He, W., Bertram, H. C., Yin, J. Y., & Nie, S. P. (2024). Lactobacilli and Their Fermented Foods as a Promising Strategy for Enhancing Bone Mineral Density: A Review. J Agric Food Chem, 72(32), 17730-17745. doi:10.1021/acs.jafc.4c03218

Ibáñez, L., Rouleau, M., Wakkach, A., & Blin-Wakkach, C. (2019). Gut microbiome and bone. Joint Bone Spine, 86(1), 43-47. doi:10.1016/j.jbspin.2018.02.008

Karsenty, G. (2023). Osteocalcin: A Multifaceted Bone-Derived Hormone. Annu Rev Nutr, 43, 55-71. doi:10.1146/annurev-nutr-061121-091348

Li, R., Boer, C. G., Oei, L., & Medina-Gomez, C. (2021). The Gut Microbiome: a New Frontier in Musculoskeletal Research. Curr Osteoporos Rep, 19(3), 347-357. doi:10.1007/s11914-021-00675-x

Nilsson, A. G., Sundh, D., Bäckhed, F., & Lorentzon, M. (2018). Lactobacillus reuteri reduces bone loss in older women with low bone mineral density: a randomized, placebo-controlled, double-blind, clinical trial. J Intern Med, 284(3), 307-317.

doi:10.1111/joim.12805

Niu, H., Zhou, M., Zogona, D., Xing, Z., Wu, T., Chen, R., . . . Xu, X. (2024). Akkermansia muciniphila: a potential candidate for ameliorating metabolic diseases. Front Immunol, 15, 1370658. doi:10.3389/fimmu.2024.1370658

Resciniti, S. M., Biesiekierski, J. R., Ghasem-Zadeh, A., & Moschonis, G. (2024). The Effectiveness of a Lactobacilli-Based Probiotic Food Supplement on Bone Mineral Density and Bone Metabolism in Australian Early Postmenopausal Women:

Protocol for a Double-Blind Randomized Placebo-Controlled Trial. Nutrients, 16(8). doi:10.3390/nu16081150

Seely, K. D., Kotelko, C. A., Douglas, H., Bealer, B., & Brooks, A. E. (2021). The Human Gut Microbiota: A Key Mediator of Osteoporosis and Osteogenesis. Int J Mol Sci, 22(17). doi:10.3390/ijms22179452

Takada, J., Dinavahi, R., Miyauchi, A., Hamaya, E., Hirama, T., Libanati, C., . . . Grauer, A. (2020). Relationship between P1NP, a biochemical marker of bone turnover, and bone mineral density in patients transitioned from alendronate to romosozumab or teriparatide: a post hoc analysis of the STRUCTURE trial. J Bone Miner Metab, 38(3), 310-315. doi:10.1007/s00774-019-01057-1

Williams, C., Anastasopoulou, C., & Sapra, A. (2025). Biochemical Markers of Osteoporosis. In StatPearls. Treasure Island (FL) ineligible companies. Disclosure: Catherine Anastasopoulou declares no relevant financial relationships with ineligible companies. Disclosure: Amit Sapra declares no relevant financial relationships with ineligible companies.: StatPearls Publishing Copyright © 2025, StatPearls Publishing LLC.

Yong, E. L., & Logan, S. (2021). Menopausal osteoporosis: screening, prevention and treatment. Singapore Med J, 62(4), 159-166. doi:10.11622/smedj.2021036

Zaiss, M. M., Jones, R. M., Schett, G., & Pacifici, R. (2019). The gut-bone axis: how bacterial metabolites bridge the distance. J Clin Invest, 129(8), 3018-3028. doi:10.1172/jci128521

# 融合注意力機制與視覺特徵之視網膜病變自動分級研究

黃彥皓*、陳漢成

## 摘要

本研究對視網膜病變影像進行多類別分類，並採用結合卷積神經網路（CNN）局部特徵提取能力與 Transformer 架構全域建模能力，提升模型對病灶區域的辨識能力。此外進一步生成病變區域的可視化熱力圖，提高深度學習模型的可解釋性。訓練結果顯示，模型於第 35 個訓練週期(epoch)達到最佳表現，驗證資料及準確率為 46.67%，Precision 為 37.22%，Recall 為 36.51%，F1-score 為 36.20%，顯示模型具備穩定的學習能力。在可視化結果中觀察到模型確實聚焦於影像中具病理特徵的區域。整體而言，本研究展示 CvT 模型在視網膜影像分析應用中的潛力，並透過可視化技術增強深度學習模型在醫學診斷中的解釋性。

**關鍵字:** Grad-CAM、Conformer、糖尿病視網膜病變

黃彥皓(通訊作者)，國立臺東大學綠能與資訊科技學系 助理教授，E-mail: yhhuang@nttu.edu.tw
陳漢成，國立臺東大學綠能與資訊科技學系 學生，E-mail: 11302202@gm.nttu.edu.tw

# Automated Retinal Disease Grading Based on the Integration of Attention Mechanisms and Visual Features

Yan-Hao Huang *, Han-Cheng Chen

## Abstract

In this Research, a multi-class classification framework for retinal lesion images is proposed by leveraging Convolutional Neural Networks (CNNs) and Transformer architectures. The model integrates the local feature extraction capabilities of CNNs with the global context modeling power of Transformers. To further improve the interpretability of the deep learning model, class activation maps (heatmaps) were generated to visualize the regions of interest associated with pathological features.

Experimental results demonstrate that the model achieved its optimal performance at the 35th training epoch, attaining a validation accuracy of 46.67%, a precision of 37.22%, a recall of 36.51%, and an F1-score of 36.20%. These metrics indicate a consistent and stable learning process. Furthermore, the visualization results clearly show that the model accurately attends to clinically significant regions in the retinal images.

Overall, the findings highlight the potential of the Convolutional vision Transformer (CvT) in retinal image analysis, offering not only robust classification performance but also enhanced interpretability.

**Keywords:** Grad-CAM、Conformer、Diabetic Retinopathy

Yan-Hao Huang (Corresponding Author), Assistant Professor, Department of Green Energy and Information Technology National Taitung University. E-mail: yhhuang@nttu.edu.tw

Han-Cheng Chen, Student, Department of Green Energy and Information Technology National Taitung University. E-mail: 11302202@gm.nttu.edu.tw

# 壹、前言

隨著深度學習技術的迅速發展，人工智慧在醫學影像分析中的應用日益廣泛，特別是在眼科領域中，透過影像資料進行視網膜疾病的早期檢測與分類已成為輔助診斷的重要方向(Daanouni et al., 2021)。視網膜病變如糖尿病視網膜病變（Diabetic Retinopathy, DR）與黃斑部病變（Macular Degeneration, AMD）等疾病，若能及早發現並處理，可有效降低視力惡化甚至失明的風險。其中糖尿病視網膜病變是糖尿病患者最常見的視覺併發症之一，病灶可能包括微血管瘤、視網膜出血、硬性滲出物與新生血管增生等異常，初期症狀不明顯，卻可能隨著時間而導致永久視力損失，故及時檢測與分級診斷至關重要。

然而傳統診斷方法倚賴眼科醫師透過專業知識與臨床經驗逐張判斷眼底影像，不僅耗時費力，也容易因醫師間的主觀差異導致診斷不一致的問題。為此發展一套高效、準確且可解釋的自動化視網膜病變診斷系統，成為當前智慧醫療研究的重點目標之一。

在醫學影像領域中，機器學習（Machine Learning）技術的導入已為診斷流程帶來顯著突破。從傳統的支持向量機（SVM）、隨機森林（Random Forest）等經典演算法，到現今以卷積神經網路（CNN）為主體的深度學習架構，皆廣泛應用於影像分類、分割與偵測任務中(Daanouni et al., 2021；Gulshan et al., 2016) 。這些模型能透過大量標註資料進行學習，自動提取影像中的病灶特徵，已成功應用於胸腔 X 光、腦部 MRI、乳房攝影與視網膜 OCT 等多種影像模態的診斷分析中。

結合卷積神經網路與自注意力機制（Self-Attention）的混合式架構模型 Convolutional vision Transformer（CvT）(Wu et al., 2021)，在多項電腦視覺任務中展現出優異表現。該模型保留了 CNN 在局部特徵擷取上的優勢，並融合 Transformer 的全域建模能力，使其在處理高解析度、病灶分佈不均的醫學影像時，能更全面掌握影像中的語意關聯與結構資訊，有效提升分類精度與穩健性。在醫學影像研究中，已有學者將類似架構應用於肺部 CT、乳房 X 光與病理切片等領域，並取得良好成效。

然而深度學習模型普遍存在「黑箱作業」的問題，即模型在做出分類決策時缺乏可解釋性。這種現象在醫學應用中特別敏感，因為臨床醫師往往需要明確理解模型的預測依據，才能將其納入實際診療流程。因此如何提升模型可解釋性(Interpretability)與信任度，已成為人工智慧醫療應用的重要研究方向之一（Tjoa & Guan, 2020）。

為了解決上述問題，本研究引入 Gradient-weighted Class Activation Mapping(Grad-CAM）技術（Selvaraju et al., 2017），針對視網膜病變分類任務進行模型可視化分析。透過生成熱力圖，我們得以觀察模型在進行分類預測時所關注的區域，進一步判斷其是否與實際病灶特徵相符，增強模型在臨床上的可採用性與說服力。

本研究以公開資料集 RetinaMNIST 作為實驗基礎，建立基於 CvT 架構的 Conformer 模型，進行視網膜病變影像之多類別分類任務。為提升模型的透明性與臨床價值，本研究同時整合 Grad-CAM 可視化技術進行模型解釋，期望建構一套兼具準確性與可解釋性的 AI 輔助診斷系統，為未來智慧眼科與遠距診療提供技術基礎與應用參考。

## 貳、文獻探討

近年來深度學習技術在醫學影像分析領域的迅速發展，人工智慧系統已廣泛應用於視網膜疾病的自動分類與診斷。視網膜疾病如糖尿病視網膜病變（Diabetic Retinopathy, DR）和黃斑部病變（Macular Degeneration, AMD）等，若能及早偵測，對視力保存具有關鍵意義。傳統的卷積神經網路（Convolutional Neural Networks, CNNs）已被廣泛應用於眼底影像與 OCT（Optical Coherence Tomography）影像中病灶的辨識，顯示出相當高的準確性(Gulshan et al., 2016)。然而 CNN 雖擅長局部特徵擷取，但在全域結構建模上仍有所不足。

為克服此限制，近期研究引入 Transformer 架構處理醫學影像，並提出如 Vision Transformer（ViT）與 Convolutional vision Transformer（CvT）等模型，強化模型對長距離特徵關聯的理解能力(Wu et al., 2021)。CvT 模型透過結合 CNN 的局部感受野與 Transformer 的全域注意力，提升模型對病灶結構的辨識能力與分類準確度。此外研究(Daanouni et al., 2021)提出將 Self-Attention 機制應用於糖尿病視網膜病變之診斷架構，結合 MobileNet CNN 與注意力模組，並透過 Grad-CAM 對模型進行可視化解釋，提升醫療影像的判讀可信度與臨床實用性。

除了用於分類與辨識任務外，Convolutional Vision Transformer（CvT）也逐漸被應用於其他醫療影像分析任務，如影像配準。研究中提出一種結合 CvT 與 CNN 的新穎影像配準框架 CvTMorph (Chen et al., 2024)，專門用於建構 4D 醫學影像中的呼吸運動模型。此架構針對現有影像配準方法難以有效提取局部特徵的問題，設計了一個混合式深度學習模型，利用 CvT 的全域建模能力與 CNN 的局部特徵擷取能力，同時整合縮放與平方層以提升微分同胚（diffeomorphic）變換的穩定性。該研究於 4D-Lung 與 DIR-Lab 資料集上進行評估，並與多種傳統與深度學習影像配準方法進行比較，實驗結果顯示 CvTMorph 在準確度與結構保留性方面皆優於現有技術，展示 CvT 架構於醫學影像配準任務中的潛力。

這項工作為 CvT 在醫療影像領域的應用開拓了新方向，也間接驗證了該架構在其他任務（如視網膜影像分類）的泛化能力與靈活性，為本研究採用 CvT 架構處理視網膜病變分類任務提供有力支持。

另一方面，深度學習模型在醫學領域的應用仍面臨「黑箱問題」，即缺乏可解釋性，限制其臨床推廣。為了解釋模型判斷依據，Selvaraju 等人（2017）提出 Gradient-weighted Class Activation Mapping（Grad-CAM）技術(Selvaraju et al., 2017)，藉由計算輸出類別對特定卷積層特徵圖的梯度，生成關注區域的熱力圖。該方法已被證實可有效呈現模型判斷依據，增強模型透明度與臨床信任度(Tjoa & Guan, 2020)。

綜合上述結合 CvT 模型與 Grad-CAM 可視化技術應用於視網膜疾病分類，不僅可提升模型對病灶區域的辨識能力，也可透過可視化結果輔助醫師理解模型決策依據，提升人工智慧在智慧醫療中的可用性與實用性。

## 參、研究方法

為提升模型對全域特徵的建模能力，Transformer 架構在許多研究中被引入，並衍生出多種視覺應用變體 (Dosovitskiy et al., 2020)。其中，Convolutional Vision Transformer（CvT）模型結合 CNN 的局部感受野特性與 Transformer 的全域關聯建模能力，成為 Conformer 架構的代表之一，在圖像分類與醫學影像任務中展現出優異的性能(Wu et al., 2021)。此類混合架構不僅強化模型對複雜特徵的辨識能力，也提升在小型資料集上的泛化表現。

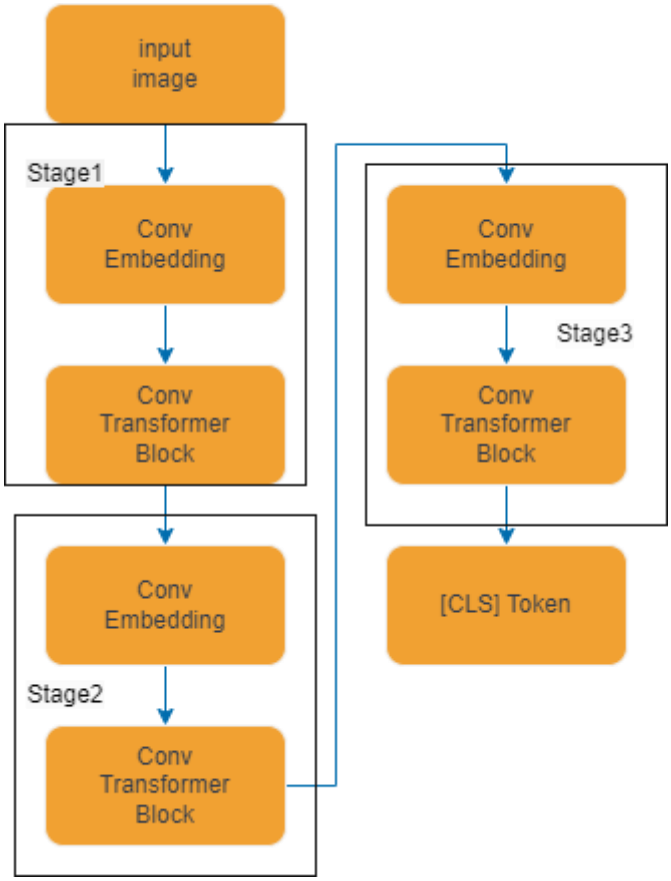



**圖 1** CvT 流程圖

CvT 的整體架構可分為三個主要階段，Stage 1 是低層次特徵提取，提取基本圖像邊緣、紋理等局部特徵。Stage 2：中層次特徵表示，包含 Transformer Block 數量：2~6 個（根據模型規模），學習圖像中更複雜的區域關係和結構特徵。Stage 3：高層次語義建模，Transformer Block 數量：10~20 個（依 CvT 模型的大小），用來建構語義豐富

的全局特徵，並在此階段進行分類任務。

每個階段包含以下兩個部分：

1.卷積式標記嵌入（Convolutional Token Embedding）：

- 將輸入影像或前一階段的特徵圖進行重塑為 2D 空間結構。
- 使用具有重疊區域的卷積操作，提取局部空間特徵。
- 應用層正規化（Layer Normalization）處理。

2.卷積式變壓器區塊（Convolutional Transformer Block）：

- 在查詢（Q）、鍵（K）、值（V）嵌入中引入深度可分離卷積操作，稱為卷積式投影。
- 取代傳統 ViT 中的位置線性投影，提升模型的局部感知能力。
- 僅在最後一個階段加入分類標記（[CLS] token），進行最終分類。

這種設計使得 CvT 能夠在保留 Transformer 全局建模能力的同時，增強對局部特徵的捕捉，提升了模型在圖像分類等任務中的表現。

模型可解釋性分析：

為強化模型的臨床可解釋性，本研究採用 Grad-CAM（Gradient-weighted Class Activation Mapping）作為可視化工具，有助於捕捉影像中具判別性的結構特徵。本研究進一步分析模型於糖尿病視網膜病變（Diabetic Retinopathy）分類任務中所關注的視覺區域，並將產生之熱力圖與實際病灶位置進行對比，以評估模型是否能正確聚焦於相關病理特徵。

Gradient-weighted Class Activation Mapping（Grad-CAM）是一種用於深度卷積神經網路的可視化技術（Selvaraju et al., 2017），其主要目的是強化模型在圖像分類或辨識任務中的可解釋性。Grad-CAM 可產生一個「熱力圖」，用來表示模型在做出某一類別預測時，關注於輸入影像中的哪些區域。

Grad-CAM 的核心原理是透過反向傳播，取得模型對某一目標類別的預測分數對於特定卷積層特徵圖的梯度，進而量化各通道（channel）在該類別預測中的重要性，這些梯度反映了輸出對於每一個特徵圖的貢獻程度，因此可視為每個特徵圖對該預測類別的「權重」。

## 肆、實驗結果與討論

### 一、資料集

RetinaMNIST 是 MedMNIST 資料集中的一部分，主要包含來自眼底攝影（Fundus Camera）的視網膜影像，標註了不同程度的視網膜病變。該資料集常用於開發與驗證視網膜疾病的分類模型，如糖尿病視網膜病變的分級任務。由於視網膜病變常表現為局部細小病灶（如微血管瘤、硬性滲出）與整體視網膜色調改變（如黃斑水腫或視神經盤變化），因此需要一種能同時兼顧「局部細節」與「全域結構」理解的深度學習模型(Yang et al., 2023)。RetinaMNIST 共包含 1600 張視網膜影像，分為五類：

No DR (沒有糖尿病視網膜病變的跡象)、Mild DR (輕度非增殖型糖尿病視網膜病變)、Moderate DR (中度非增殖型糖尿病視網膜病變)、Severe DR (嚴重非增殖型糖尿病視網膜病變) 及 PDR (增殖型糖尿病視網膜病變)。

## 二、評估指標

為了全面評估所提出模型的效能，本研究採用了多項常見的分類指標進行分析。首先，透過訓練與驗證準確率（accuracy）衡量模型整體的分類正確程度，以評估模型在不同資料階段的學習表現。另一方面為了更深入探討模型在各類別間的預測能力，亦納入精確率（precision）、召回率（recall）與 F1 分數（F1-score）進行補充說明。精確率反映模型對正樣本預測的準確性，召回率則表示模型能成功找出所有正樣本的能力，而 F1 分數則為精確率與召回率的加權調和平均，可作為在類別分布不均時更穩健的整體指標。透過這些評估指標，本研究得以更完整掌握模型在視網膜病變分類任務中的效能與泛化能力。

## 三、Grad-CAM 可視化判讀結果

本研究以 RetinaMNIST 資料集為基礎，訓練 Conformer-CvT 模型進行糖尿病視網膜病變之多類別分類。實驗過程共訓練 80 個 epoch。

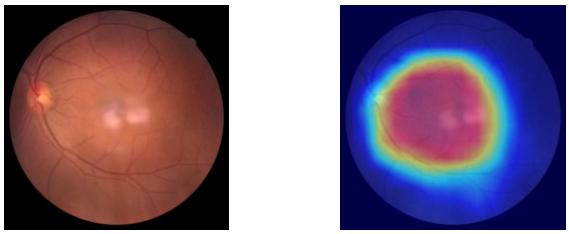


**圖 2** 分類 No DR 原圖與熱力圖

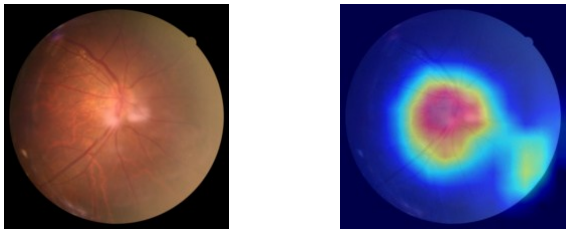


**圖 3** 分類 Mild DR 原圖與熱力圖

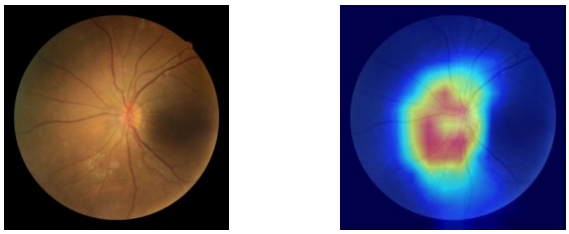


**圖 4** 分類 Moderate DR 原圖與熱力圖

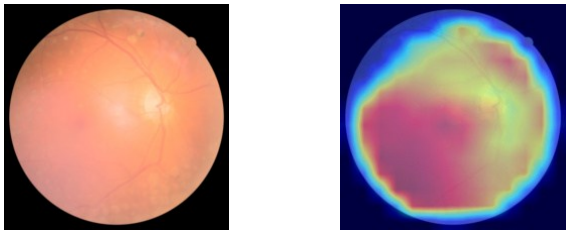


**圖 5** 分類 Severe DR 原圖與熱力圖

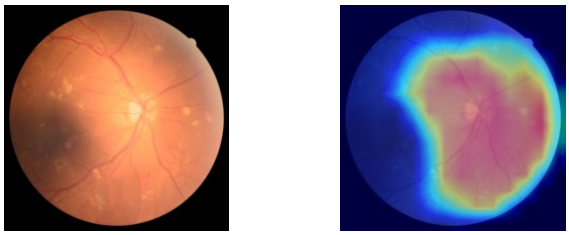


**圖 6** 分類 PDR 原圖與熱力圖

## 四、討論

模型在訓練集上表現穩定，從第 21 個 epoch 起，訓練準確率逐步上升，最終於第 69 epoch 達到 100% 的訓練準確率，顯示模型已充分學習資料中的特徵模式。然而在驗證集上的表現相對較不穩定，訓練時整體驗證準確率約介於 42.50% 至 56.67% 之間，最高達到 56.67%，顯示模型可能存在過擬合（overfitting）的情形。

進一步觀察精確率、召回率與 F1-score，可以發現這些指標普遍落在 30.20% 至 38.17% 之間，表現與驗證準確率一致，未顯著提升。儘管模型在訓練階段學習良好，但對於驗證資料的泛化能力仍有待加強，可能受限於資料集規模、類別不平衡或部分類別特徵重疊等因素。

本研究採用 RetinaMNIST 資料集進行視網膜病變影像之多類別分類，資料集中共分為五個類別，分別標示為類別 0 至類別 4。如圖 2 所示，類別 0 為正常視網膜影像，未顯示明顯病理特徵；如圖 3 所示，類別 1 表示輕度視網膜病變，可能出現初步微血管瘤；如圖 4 所示，類別 2 為中度病變，影像中可觀察到局部滲出物與血斑；如圖 5 所示，類別 3 屬於嚴重病變，常伴隨明顯視網膜出血或大範圍微血管異常；如圖 6 所示，類別 4 為最嚴重的增殖性糖尿病視網膜病變（Proliferative DR），特徵包括新生血管生成與視網膜結構破壞。由於類別間在影像表現上呈現連續性變化，使得模型在辨別中度與嚴重病變時，容易發生類別混淆的情況。

在模型訓練完成後，本研究進一步應用 Grad-CAM（Gradient-weighted Class Activation Mapping）技術進行特徵可視化分析，以探討模型在判斷過程中關注的區域

是否與實際病灶一致。可視化實作中，我們選定 Conformer 模型中屬於中階表徵層的 stage2.patch_embed.proj 作為目標層，該層具有良好的空間感受能力，適合觀察中層語意特徵的活化情形。

由生成的 Grad-CAM 熱力圖結果可觀察到，在正常視網膜中(圖 2)，模型的注意力分布較為平均，並未集中於特定病灶區域。而在輕度與中度病變影像中（圖 3 與圖 4），模型會逐漸聚焦於視網膜中央或靠近視神經盤的局部異常區域，如微血管瘤或細微出血點，顯示模型已學習到判斷病灶的重要位置。對於嚴重與增殖性病變（圖 5 與圖 6），熱力圖則展現出更明顯且強烈的高亮活化區，聚焦於大面積滲出或新生血管密集分布區域，與臨床病理特徵具高度一致性。

然而在部分案例中，Grad-CAM 結果也顯示模型有時會錯誤聚焦於非病灶區域，或因病灶過小、邊界模糊導致模型辨識困難。尤其是在類別 2 與類別 3 的交界影像中，由於影像特徵的模糊過渡，可能導致模型誤判為相鄰等級，反映出模型對於中度與嚴重病變的邊界學習仍有進步空間。此外個別影像雜訊、亮度不均或資料前處理不一致也可能是導致分類不準確與注意力偏移的潛在因素。

整體而言，Grad-CAM 可視化結果不僅有助於理解模型的分類依據，也能作為臨床決策的輔助工具。透過視覺化呈現模型注意力集中區域，我們得以確認模型確實學習到了與醫學病理特徵高度相關的資訊，證實了 CvT 架構在視網膜影像分類任務中的可行性與應用潛力。同時這也提示後續研究可進一步針對難以區分的類別進行區塊重加權、資料擴增或多尺度特徵強化等機制，以提升整體模型的辨識準確度與穩定性。

## 伍、結論

本研究提出了一種基於 Convolutional Vision Transformer（CvT）的深度學習模型，用於糖尿病視網膜病變（Diabetic Retinopathy, DR）的自動化分類與分級。通過使用 RetinaMNIST 資料集，並應用了多種資料增強技術（如 Mixup、CutMix、AutoAugment）與正則化技術（如 Label Smoothing），我們成功訓練了一個高效且具有良好泛化能力的分類模型。為了提高模型的可解釋性，我們採用了 Grad-CAM 技術來視覺化模型對不同病變級別的關注區域，並進一步應用了 aug_smooth 與 eigen_smooth 進行平滑處理，改善可視化結果的穩定性。

實驗結果顯示，該模型在糖尿病視網膜病變分類任務中表現出色，成功識別不同病變級別，並展示了較強的臨床可解釋性。透過可視化熱力圖的對比分析，模型能夠有效地聚焦於影像中的病灶區域，為臨床診斷提供支持。實驗表明 CvT 結構能夠有效率的分級視網膜病變並在提高診斷準確率，並且可視化熱力圖也說明了該模型能夠聚焦在視網膜的主要特徵點上。

本研究也存在一定的局限性。例如資料集規模相對較小，未來可以嘗試更大規模的資料集以進一步驗證模型的穩定性與泛化能力。此外未來可以探索將其他可解釋性技術與本研究中的 Grad-CAM 結合，進一步提升模型的臨床可解釋性和透明度。

## 引用文獻

Chen, P., Zou, X., & Gou, Y. (2024). CvTMorph: Improving Local Feature Extraction in Medical Image Registration for Respiratory Motion Modeling with Convolutional Vision Transformer. Current Medical Imaging, 20(1), e15734056302592.

Daanouni, O., Cherradi, B., & Tmiri, A. (2021). Self-attention mechanism for diabetic retinopathy detection. Paper presented at the Emerging Trends in ICT for Sustainable Development: The Proceedings of NICE2020 International Conference, 79–88.

Gulshan, V., Peng, L., Coram, M., Stumpe, M. C., Wu, D., Narayanaswamy, A., Venugopalan, S., Widner, K., Madams, T., & Cuadros, J. (2016). Development and validation of a deep learning algorithm for detection of diabetic retinopathy in retinal fundus photographs. Jama, 316(22), 2402–2410.

Selvaraju, R. R., Cogswell, M., Das, A., Vedantam, R., Parikh, D., & Batra, D. (2017). Grad-cam: Visual explanations from deep networks via gradient-based localization. Paper presented at the Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision, 618–626.

Tjoa, E., & Guan, C. (2020). A survey on explainable artificial intelligence (xai): Toward medical xai. IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems, 32(11), 4793–4813.

Wu, H., Xiao, B., Codella, N., Liu, M., Dai, X., Yuan, L., & Zhang, L. (2021). Cvt: Introducing convolutions to vision transformers. Paper presented at the Proceedings of the IEEE/CVF International Conference on Computer Vision, 22–31.

Yang, J., Shi, R., Wei, D., Liu, Z., Zhao, L., Ke, B., Pfister, H., & Ni, B. (2023). Medmnist v2-a large-scale lightweight benchmark for 2d and 3d biomedical image classification. Scientific Data, 10(1), 41.

Dosovitskiy, A., Beyer, L., Kolesnikov, A., Weissenborn, D., Zhai, X., Unterthiner, T., Dehghani, M., Minderer, M., Heigold, G., & Gelly, S. (2020). An image is worth 16x16 words: Transformers for image recognition at scale. arXiv Preprint arXiv:2010.11929,

# 基於強化學習之無人機飛行控制

黃彥皓*、任境梧、董祐聖、吳柏慶、甯勇捷

## 摘要

隨著無人機技術與影像辨識精度的提升，無人機的應用已從軍事擴展至民生領域。本研究使用強化學習控制無人機，通過物理模擬驗證其性能，透過改進獎勵函數，提升無人機的飛行軌跡的準確性，實現更加穩定且高效的飛行控制。具體而言，研究模擬了直線前進與固定路徑的飛行，並使用 TRPO 與 PPO 方法，將目標點與模擬飛行的位置進行誤差計算，實驗結果顯示，驗證優化超參數與獎勵機制，TRPO 可以更優化飛行路徑，進一步提升飛行性能。

**關鍵字：**無人機、強化學習、獎勵函數、模擬飛行。

黃彥皓(通訊作者)，國立臺東大學綠能與資訊科技學系 助理教授，E-mail: yhhuang@nttu.edu.tw
任境梧，國立臺東大學綠能與資訊科技學系 學生，E-mail: 11022120@gm.nttu.edu.tw
董祐聖，國立臺東大學綠能與資訊科技學系 學生，E-mail: 11022126@gm.nttu.edu.tw
吳柏慶，國立臺東大學綠能與資訊科技學系 學生，E-mail: 11122121@gm.nttu.edu.tw
甯勇捷，國立臺東大學綠能與資訊科技學系 學生，E-mail: 11122130@gm.nttu.edu.tw

# Drone Motion Control Based on Reinforcement Learning

Yan-Hao Huang *, Ching-Wu Jen , Yo-Sheng Tung , Bo-Cing Wu , Yong-Jie Ning

## Abstract

The application of Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) has significantly expanded from military operations to civilian sectors, driven by advancements in drone technology and improved image recognition precision. This study investigates the application of reinforcement learning for UAV control, with performance validation conducted through physical simulations. We propose an enhanced reward function to improve the accuracy of UAV flight trajectories, thereby achieving more stable and efficient flight control. Specifically, the research simulates flight scenarios involving straight-line and fixed-path trajectories. The Trust Region Policy Optimization (TRPO) and Proximal Policy Optimization (PPO) algorithms are employed to compute the error between target points and simulated flight positions. Experimental results demonstrate that optimizing hyperparameters and reward mechanisms, particularly with TRPO, leads to superior flight path optimization and enhanced overall flight performance.

**Keywords**: uav, reinforcement learning, reward function, simulated flight.

Yan-Hao Huang (Corresponding Author), Assistant Professor, Department of Green Energy and Information Technology, National Taitung University, E-mail: yhhuang@nttu.edu.tw

Ching-Wu Jen, Student, Department of Green Energy and Information Technology, National Taitung University, E-mail: 11022120@gm.nttu.edu.tw

Yo-Sheng Tung, Student, Department of Green Energy and Information Technology, National Taitung University, E-mail: 11022126@gm.nttu.edu.tw

Bo-Cing Wu, Student, Department of Green Energy and Information Technology, National Taitung University, E-mail: 11122121@gm.nttu.edu.tw

Yong-Jie Ning, Student, Department of Green Energy and Information Technology, National Taitung University, E-mail: 11122130@gm.nttu.edu.tw

# 壹、簡介

Unmanned Aerial Vehicles (UAVs): An Emerging Technology for Logistics (Rana et al., 2016)中顯示了無人機在多項領域中的應用。無人機技術已從早期軍事用途發展至多樣化的民生應用。在初期，無人機主要被用於娛樂和新聞媒體領域，如航空飛行拍攝和影片錄製，為相關產業提供了更廣闊的發展前景(Kaufman & Somaiya, 2013)。

在農業實際應用中，無人機被用於農產品的採收和害蟲防治(Mogili & Deepak, 2018) (Costa et al., 2012)0 ，透過無人機的巡視與監視，掌握農產品的生長、成熟度，部分特定水果可利用無人機進行自動採收，從而提升採收效率。在於害蟲防治方面，更可以通過無人機進行高精度的空中噴灑，相較於人工方式，無人機作業範圍更廣，並能減少藥物浪費，通過無人機均勻噴灑，更能夠確保每株植株都受到了一定的保護力。。

傳統無人機導航系統依賴於全球定位系統（GPS）或人工控制，在特定環境中面臨諸多挑戰。例如，在室內空間、城市峽谷或茂密森林等環境中，GPS 訊號易受干擾或完全無法接收，導致無人機無法正常運作。在這些環境中，無人機需克服訊號障礙，不僅要求其具備卓越的飛行操控能力，還需即時處理並避開障礙物，在缺乏 GPS 訊號的情況下保持穩定飛行。此外，連線異常等突發狀況亦會導致無人機無法正確執行任務，甚至造成嚴重的損壞與財產損失。

這些問題限制了無人機的操作範圍，阻礙了其在多種環境下的應用。因此，環境限制下的無人機控制技術是未來發展的重要方向。近年來，人工智慧技術的快速發展為無人機導航提供了全新的解決方案。先進的深度影像技術和機器視覺顯著提升了無人機的環境感知能力，使其能夠有效識別環境深度與障礙物(Li et al., 2019)。結合強化學習方法，無人機可在訓練過程中學習如何應對不同環境狀態，並通過獎勵函數的計算輸出最佳控制策略。

本研究旨在應用強化學習優化無人機的飛行方法，使其在複雜現實環境中實現更穩定、高效的飛行控制。我們著重於無人機的常見基礎動作，並設計最佳獎勵函數以提升強化學習效果。我們的模擬模型基於 Jacopo Panerati 等人開發的 gym-pybullet-drones 平台(Panerati et al., 2021)。該平台基於 Bullet 物理引擎，構建了專為四軸飛行器控制設計的 OpenAI Gym 環境。此整合平台提供簡易的介面，方便用戶將強化學習整合至虛擬飛行環境中。該物理引擎基於真實碰撞模型和空氣動力學理論構建物理仿真模型，使我們能夠模擬接近現實環境的狀況，在高擬真環境中推導四軸無人機的控制策略，實現精確的飛行控制。通過引入位置狀態並在仿真環境中反覆模擬測試與訓練，我們調整獎勵函數，結合多種連續型強化學習方法，使無人機高效完成預定的多項基礎飛行動作。我們設計了多種獎勵函數與終止方法，並呈現了這些模型在不同飛行動作中的測試結果，用於評估系統性能和穩定性。實驗結果表明，相較於其他連續型強化學習方法，TRPO 在我們設計的多項測試中表現更優。

## 貳、文獻探討

隨著深度強化學習（Deep Reinforcement Learning, DRL）在機器學習與智能控制領域的廣泛應用，許多研究致力於提升策略學習的穩定性與樣本效率。為克服傳統策略梯度方法在訓練過程中面臨的高變異性與不穩定性問題，許多研究提出了一系列改良型演算法，其中最具代表性的便是 Trust Region Policy Optimization（TRPO）與 Proximal Policy Optimization（PPO）(Liu et al., 2019)。

其中，TRPO 是由 Schulman 等人(Schulman et al., 2015) 提出的一種具理論基礎的強化學習演算法，旨在透過限制策略變動範圍，以實現策略效能的單調提升。該方法透過在每次策略更新時引入信賴域限制（如 Kullback-Leibler 散度），確保策略更新不會偏離原始策略過遠，進而避免策略崩潰的風險。實驗結果顯示，TRPO 在多項模擬任務中皆展現穩健的表現，如機器人游泳、跳躍、行走以及 Atari 遊戲的圖像輸入控制任務。即使進行多項近似簡化以利於實作，TRPO 仍能在大多數情況下維持策略效能的穩定提升，並且對超參數的敏感性較低，顯示其良好的泛化能力與實用性。

然而，早期 TRPO 方法無法有效利用離線策略數據，需要大量線上互動，這限制了其在許多現實世界應用中的性能。因此，後續有許多人不斷改進優化 TRPO。例如，Wenjia Meng 等人(Meng et al., 2021) 提出了一種離線策略 TRPO 方法，稱為 off-policy TRPO，該方法通過單調地優化一個使用線上和離線數據的替代目標函數（surrogate objective function），來保證策略的單調改進。實驗結果顯示，與其他使用離線數據的信任區域策略方法相比，該方法表現出更優越的性能。

而在 TRPO 的基礎上，Schulman 等人(Schulman et al., 2017) 更進一步提出了 PPO，旨在兼顧演算法的穩定性與實作效率。PPO 採用 Actor-Critic 架構，其核心思想為在策略更新過程中引入「裁剪機制」（Clipped Objective），以限制新舊策略間的變動幅度。此方法簡化了 TRPO 中需進行的二階優化與限制條件，進而降低實作難度並加快訓練速度。PPO 被廣泛應用於各種高維連續控制任務中，包含機器人操控、自主導航與無人機控制等領域，並已被證實能有效解決非線性與高維度控制問題。

Gu, Y 等人(Gu et al., 2021)更提出帶有策略反饋的 PPO（PPO-PF），他們具體的定義了策略網路和價值網路的損失函數，以確保其策略更新滿足信任區域的無偏估計。實驗結果表明，與 PPO 相比，PPO-PF 具有更快的收斂速度、更高的獎勵和更小的獎勵方差。

綜上所述，TRPO 與 PPO 作為現代強化學習中的代表性演算法，不僅在理論上具備收斂與穩定性的優勢，在實務應用上也被證實能有效解決非線性與高維度控制問題。因此，本研究主要使用 TRPO 與 PPO，通過設計任務、改進獎勵值並比較兩者的性能，驗證本研究提出的獎勵值設計之可行性。

# 參、研究方法

## 一、研究步驟

本研究採用 gym-pybullet-drones 模擬平台(Panerati et al., 2021)，因其具有簡單的接口，可便捷地獲取無人機的各項狀態並設定四軸的轉速。相較於其他無人機模擬軟體，如 Unreal Engine 4 上的 Airsim (Smyth et al., 2018)和 ROS (Li et al., 2019) ，gym-pybullet-drones 安裝更為容易，功能亦更為強大，且對硬體設備的要求較低。狀態蒐集方面，主要以無人機的三維位置為狀態空間，用於計算與獎勵函數中預定位置的偏移距離，以提升位置變化的穩定性。動作輸出方面，採用 PPO (Schulman et al., 2017) 和 TRPO (Schulman et al., 2015) 等連續動作空間的強化學習方法，通過不斷更新動作函數以及對應的獎勵和狀態，在達到預設的獎勵閾值後，將用於 Bullet 物理引擎的測試。測試結果將以圖表呈現無人機的三維位置、三維速率、加速度、角速率、角加速度以及四軸馬達轉速隨時間的變化。

本研究利用 PyBullet 模擬真實環境中的無人機空氣動力學和碰撞運動學，並使用 Gym 提供的強化學習環境標準 API，設置和運行訓練環境，通過 Gym PyBullet Drones 擴展包連接 Bullet 引擎。

## 二、模型訓練環境建置

模型訓練環境包括代理的允許動作、環境狀態以及獎勵或懲罰機制。代理作為學習者和決策者，通過策略和學習演算法的互動，學習在環境中完成特定任務 (Luo et al., 2024)。策略將環境狀態映射到動作的機率分佈，而學習演算法根據經驗迭代改進策略，以最大化長期累積獎勵 (Kalidas et al., 2023)。

本研究使用 Gym 提供的強化學習環境，並將無人機動作直接導入動作類別。動作空間採用連續動作，允許各軸馬達具有不同轉速，以實現三維空間的自由移動。狀態空間選擇無人機的三維位置，並通過計算不同時間的預期位置，將其設定為目標點。獎勵函數設計為目標點與無人機實際位置的差值，即無人機在接近目標點時將獲得更高的獎勵。

## 三、TRPO (Trust Region Policy Optimization)

TRPO (Trust Region Policy Optimization) (Schulman et al., 2015) 是一種基於策略迭代改良的強化學習方法。其透過限制策略函數的變動範圍，實現穩定的策略更新。TRPO 主要採用信賴域方法，約束策略函數的更新幅度，以維持新策略與舊策略目標函數的接近程度。TRPO 中的信賴域有助於防止過大的策略函數變動，從而提升訓練的穩定性。

除了傳統的最大化目標函數方法外，TRPO 在更新策略函數時，為避免偏離正確的回報獎勵函數，引入信賴域作為約束條件，防止更新幅度過大。最後，採用拉格朗日乘數法解決最大化目標函數與信賴域約束條件的問題。

信賴域方法是 TRPO 改良策略迭代的重要創新。其核心概念是在每次迭代中定義一個包含當前舊策略的信賴域。當新函數位於此區域內時，該新目標函數的模型被視為可接受。最終，在此信賴域內進行優化，以持續提高目標函數的獎勵值。信賴域的定義採用 KL 散度，其在 TRPO 中扮演限制策略函數變動的主要角色，控制策略更新的幅度，避免新策略過度偏離舊策略。

拉格朗日對偶則用於同時處理信賴域與梯度 g 的更新方向，將約束條件的 KL 散度海森矩陣納入目標函數，以求得同時滿足信賴域限制與最大化目標函數的解。

$$\theta_{k+1} = \theta_k + \sqrt{\frac{2\delta}{g^T H^{-1} g}} H^{-1} g \quad (1)$$

為減輕直接求解海森矩陣$H^{-1}$的計算負擔，TRPO 利用共軛梯度法近似求解海森矩陣 $x \approx H^{-1}g$，透過$H_x$迭代找出最接近解答的 x，取代計算海森矩陣的負擔。

**四、PPO (Proximal Policy Optimization)**

PPO(Proximal Policy Optimization) (Schulman et al., 2017) 是一種利用策略梯度法的強化學習方法。其主要目標是控制策略更新，提升訓練的穩定性，避免新策略與舊策略的目標函數變化過大，穩定性能波動。同時，保持穩定性、性能和簡化演算法設計。

PPO 方法透過與環境的互動收集數據，並使用隨機梯度更新目標函數。與傳統策略函數利用梯度下降法收斂類似，PPO 的目標是最大化累積回饋。然而，PPO 引入了新的剪裁技術，以控制策略更新的範圍。PPO 採用一階導數最佳化方法，解決 TRPO 二次近似的複雜度，並透過設計剪裁機制防止過大的更新。當新目標函數與舊目標函數的模型適合程度差距達到設定的剪裁值時，禁止新策略對舊策略的過度偏離。

PPO 主要使用裁剪函數限制更新幅度。透過裁剪函數 clip，將新舊策略機率比率限制在一定範圍內([1 - ϵ, 1 + ϵ]，ϵ 為常數)平衡更新步長，防止策略更新中過大的幅度變化導致學習過程的不穩定。

其更新策略網路的方法是透過最大化裁剪後的目標函數進行更新：

$$LCLIP(\theta) = Et[\min(rt(\theta)At, clip(rt(\theta), 1-\epsilon, 1+\epsilon)At)] \quad (2)$$

$rt(\theta)$為新舊策略獎勵比，$At$ 為優勢估計， $\epsilon$ 為裁剪範圍。透過新舊策略獎勵比與優勢估計，兩參數選擇隨機動作中，相較平均行動更符合所需對應狀態的動作機率進行增強或減弱。最後，加入 clip 函數的剪裁機制，使新策略與舊策略的變動幅度不會過大。

其中，優勢估計(Advantage Estimation)：

$$A(s,a) = Q(s,a) - V(s) \quad (3)$$

透過同一狀態下指派隨機動作得到的行動 Q 值與使用當前目標函數的動作，兩者的回報相減。若為正值，表示在狀態 s 下選擇行動 a 相較於其他可能動作的平均值（即當前策略目標函數）表現更佳，應增強 a 動作的選擇概率。總結來說，優勢估計用於評估特定狀態下，行動相對於平均策略動作的優劣，以增強或減少該動作出現的機率。

# 肆、結果分析與探討

## 一、直線前進的飛行動作

本研究設計一目標點，其座標為 [變動的$x$值, 0, 1]，其中變動的$x$值為時間 t 與設定速度的乘積。透過計算當前狀態與目標點間的偏移量，並以此偏移量作為回報函數的輸入。獎勵值計算公式為若偏移量平方小於 2，則獎勵值為 2 − (偏移量平方)，若偏移量平方大於等於 2，則獎勵值為 0。

$$\Delta = \sqrt{\left(x_{current} - x_{target}\right)^2 + \left(y_{current} - y_{target}\right)^2 + \left(z_{current} - z_{target}\right)^2} \qquad (4)$$

偏移量 Δ 根據各軸的當前位置與目標點之間的差值計算：。

$$R = \max(0, 2 - \Delta^2) \qquad (5)$$

若偏移量 Δ 大於 $\sqrt{2}$，則獎勵為 0。訓練步數 (time_steps) 設定為 1e7，每 100 次訓練記錄回報函數，每 1000 次輸出結果。

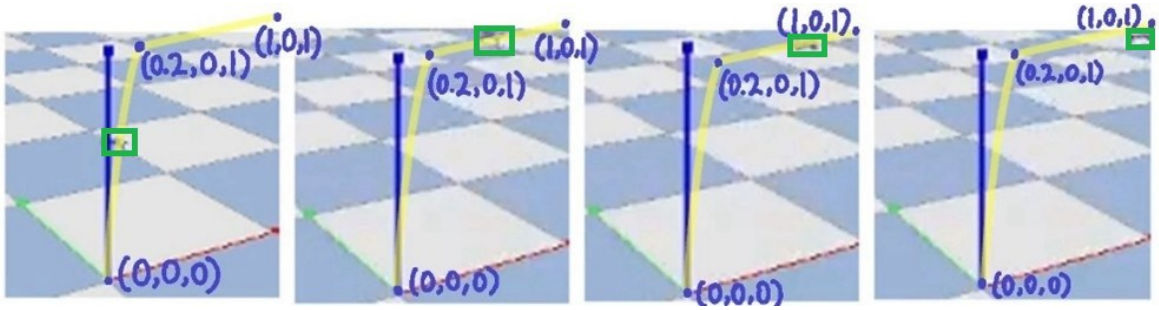



**圖 1** 在 bullet 中模擬飛行圖

**圖 1** 以黃線呈現無人機在 Bullet 物理模擬環境中的飛行軌跡並展示了模擬中，隨時間變化之無人機的確切位置(以綠色方框標示)。如圖所示，實驗目標為使無人機以 0.1 單位/秒的速度沿 x 軸正向移動，並同時達到 z＝1 的目標高度。因此，在 z＜1 的階段，無人機同時向 x 軸和 z 軸正向移動。一旦達到 z＝1 附近，無人機則主要沿 x 軸方向前進，並維持 z 軸的穩定性。

實驗初始位置為 [0, 0, 0]，座標系定義如下：x 軸（紅線）為右方正向、y 軸（綠線）為前方正向、z 軸（藍線）為上方正向。

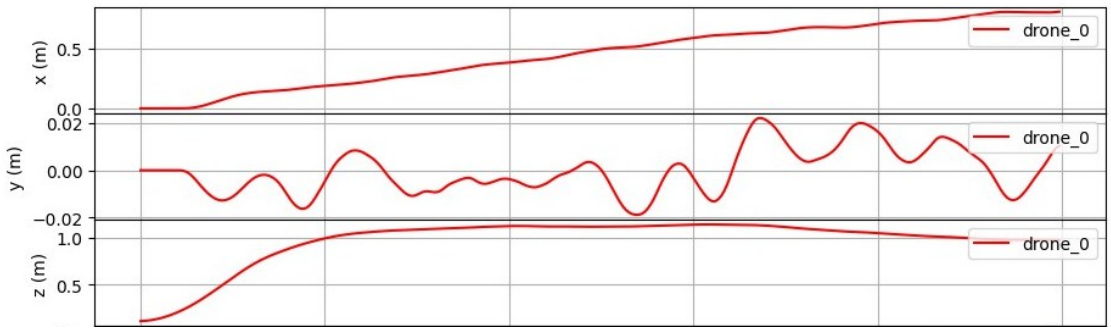



**圖 2** TRPO 直線飛行的軌跡圖

在此次實驗中，我們對直線飛行動作進行了測試，評估無人機在進行直線移動時的表現。目標是驗證無人機是否能夠準確地沿著 x 軸正向飛行，並且在 y 軸和 z 軸上的控制也能夠達到預期的穩定效果。

**圖 2** 顯示了應用 TRPO 演算法後，相對於出發點的三軸位置隨時間之變化。從結果可見，無人機能穩定沿 x 軸前進，與目標點的偏移在可接受範圍內。在 y 軸方面，位移波動小，顯示控制穩定；而 z 軸高度在達到目標後亦能維持穩定，符合預期。

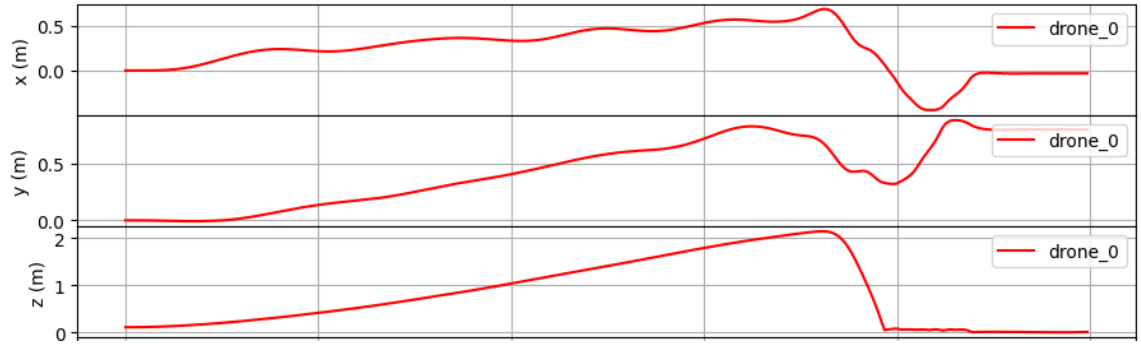



**圖 3** 應用 PPO 直線飛行的軌跡圖

**圖 3** 則為 PPO 演算法應用於相同任務的表現結果。無人機在前 7 秒內能沿 x 軸正確前進，但其後出現明顯偏移。在 y 軸方向控制表現不佳，出現劇烈擺動，顯示穩定性不足；在 z 軸方面，雖一開始能上升至目標高度，但無法長時間穩定維持，整體飛行表現不如 TRPO。

## 二、正方形飛行軌跡

本研究延續直線前進飛行的設計概念，規劃一組固定的正方形飛行軌跡。目標點座標為[變動的 x 值, 變動的 y 值,1]，以此方法來模擬正方形飛行的軌跡。接下來，我們計算目前狀態與目標點之間的偏移量，並以此偏移量來計算回報函數。獎勵值的計算公式為 2－（偏移量的平方），如果此值小於 0，則獎勵值為 0。

以下為設定正方形軌跡飛行的方法：將飛行分為四個階段，模擬正方形四條邊的移動：

(一)在方形路徑的第一段，目標點的 (x ,y)值從 (0,0) 變化到(1,0)。
(二)在第二段，目標點的 (x ,y)值從 (1,0) 變化到(1,1)。
(三)在第三段，(x ,y)值從 (1,1) 變化到(0,1)。
(四)在第四段，目標點的(x ,y)值從 (0,1) 變化到(0,0)。

如**圖 4** 所示，黃色軌跡代表無人機的實際飛行路徑並展示了模擬中，隨時間變化之無人機的確切位置(以綠色方框標示)，無人機地面起飛，先垂直上升至[1,0,1] ，再沿著邊長為 1 的正方形路徑飛行。

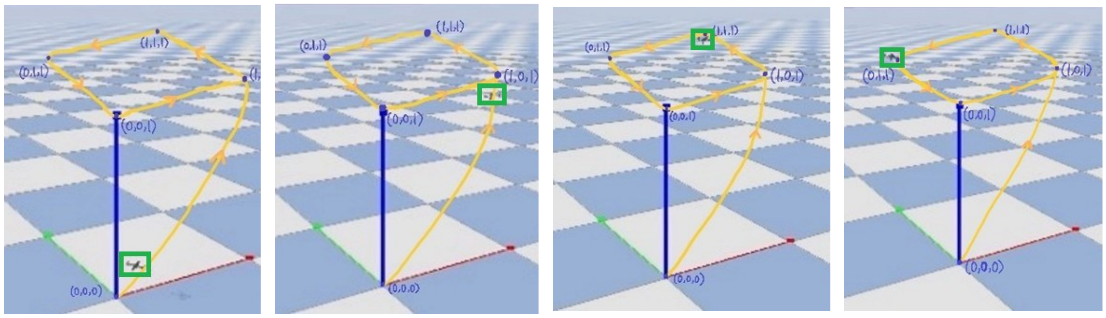


**圖 4** 在 bullet 中沿正方形飛行圖

實驗初始位置為 [0, 0, 0]，座標系定義如下：x 軸（紅線）為右方正向、y 軸（綠線）為前方正向、z 軸（藍線）為上方正向。

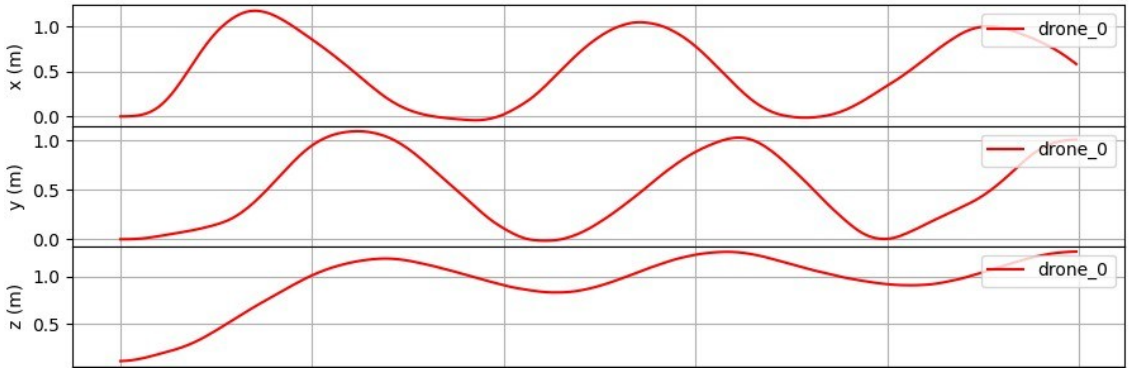



**圖 5** TRPO 繞行正方形航線的飛行軌跡圖

由於 TRPO 在直線飛行任務中展現穩定表現，因此我們進一步測試其在更複雜的正方形飛行任務中的適應性。此實驗旨在觀察 TRPO 是否能於多方向變化中維持有效控制。

**圖 5** 顯示 TRPO 演算法控制下的飛行結果。無人機在 x 軸變化的第一與第三階段皆能於一秒內精準到達目標點；而在第二與第四階段（需維持 x 軸，改變 y 軸）中，也成功保持在原定 x 軸位置，穩定完成目標點遷移。

y 軸飛行表現亦類似，於需移動的階段能平順前進，於需維持的階段則穩定停留，呈現良好飛行能力。z 軸則於第 2 秒達到目標高度 z=1 並於後續時間內穩定保持，僅出現輕微抖動，整體控制表現穩定。

**表 3** 正方形航線的偏移值

| 時間 | 實際位置 | 目標位置 | 偏移量 | 偏移距離平方 |
|---|---|---|---|---|
| 2 | [0.89,0.95,1.01] | [1,1,1] | [0.11,0.05,0.01] | 0.0147 |
| 2.5 | [0.46,1.09,1.15] | [0.5,1,1] | [0.04,0.09,0.15] | 0.0322 |
| 3 | [0.08,0.92,1.15] | [0,1,1] | [0.08,0.08,0.15] | 0.353 |
| 3.5 | [-0.03,0.50,1.05] | [0,0.5,1] | [0.03,0,0.05] | 0.0034 |
| 4 | [0.03,0.11,0.91] | [0,0,1] | [0.03,0,0.05] | 0.0211 |
| 4.5 | [0.42,0.003,0.83] | [0.5,0,1] | [0.08,0.003,0.17] | 0.035309 |
| 5 | [0.89,0.17,0.90] | [1,0,1] | [0.11,0.17,0.1] | 0.051 |
| 5.5 | [1.02,0.53,1.08] | [1,0.5,1] | [0.02,0.03,0.08] | 0.0077 |

$MSE = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}(\text{實際位置} - \text{目標位置})^2$=0.025089

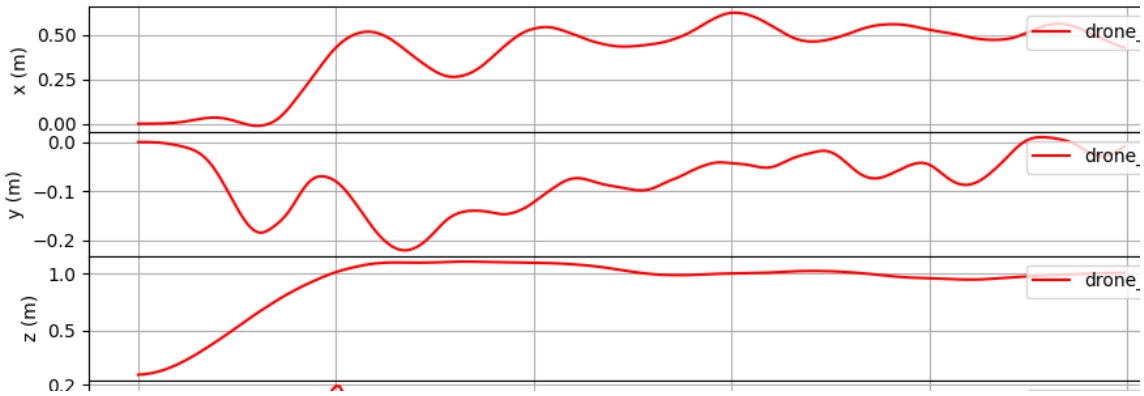



**圖 6** 應用 PPO 繞行正方形航線的飛行軌跡圖

從**圖 6** 中，我們可以看出，PPO 繞行正方形航線時，於第一與第三階段（x 軸移動）中，無法準確飛抵目標點；於第二與第四階段（需維持 x 軸，改變 y 軸）中，亦出現明顯偏移，未能維持原位。y 軸飛行亦顯示不穩定，前進與停留階段均無法穩定控制，飛行方向與幅度變動明顯。惟 z 軸表現相對穩定，無人機在 2 秒時，提升至指定點 z=1 上，並持續維持在此目標點中，在後續的 8 秒行動中，沒有出現太多飛離目標點的動作產出。

## 三、討論

從**圖 2** 可觀察到，TRPO 在直線飛行任務中的 x 軸表現達到預期目標，顯示在速度驅動控制下，無人機能夠沿直線路徑穩定前進，並準確抵達目標位置。這項結果驗證了我們所設計之直線飛行控制策略的有效性。雖然 y 軸上仍存在些微偏移，但偏差幅度相對有限，顯示 y 軸方向的控制亦具備一定準確度。此偏移可能與飛控系統中微小誤差、外部環境干擾或演算法設計參數相關。未來可針對 y 軸控制機制進一步優化，進一步分析控制信號的時序圖，並探討 TRPO 如何通過調整控制律（例如 PID 控制）來減小誤差，以降低偏移程度。z 軸表現則展現出良好的穩定性。無人機在達到預定高度後，能有效保持高度變化於最小範圍內，顯示 z 軸控制策略已趨成熟，具備維持飛行高度的能力。TRPO 的信賴域優化方法有效避免了策略崩潰，提高了學習的穩定性。

**圖 3** 顯示，PPO 在直線飛行任務中，於前 7 秒內能在 x 軸方向精確移動，顯示其具備學習正確移動方向的能力。然而在最後 3 秒中，x 軸出現明顯偏移，可能與 PPO 所採用的裁剪機制（clipping）無法有效限制策略更新幅度有關，導致策略不穩定。在 y 軸上，飛行表現不佳，可能是獎勵函數設計偏向強化 x 軸動作，使得 y 軸移動行為未被充分鼓勵。另一可能原因為觀測狀態空間資訊不足，例如未納入偏航角數據，導致 y 軸方向控制準確度降低。未來，我們將嘗試增加 y 軸移動的獎勵項，並擴充觀測狀態空間資訊。z 軸方面則表現出高度不穩定的現象，雖於初期能逐步貼近目標高度，後期仍快速偏離。與 y 軸問題相似，可能源於獎勵設計未能有效懲罰偏離行為，未來應加入更多懲罰項以限制垂直方向誤差並調整獎勵函數以提高 z 軸穩定性，相較 TRPO，PPO 明顯更不適用於本研究所提之方法。

**圖 5** 顯示，TRPO 在正方形繞行任務中於三個軸向皆表現穩定，x 與 y 軸無論在移動或靜止階段，皆能依循正確策略完成飛行控制，z 軸則穩定維持在目標高度 z=1。本結果說明 TRPO 能夠有效學習並執行多方向動作序列，展現其於複雜飛行任務中的良好適應能力與穩定性。

相對地，**圖 6** 顯示 PPO 在此任務中表現不如預期。x 與 y 軸均無法完成正確的繞行動作，甚至於 y 軸出現反向移動現象，顯示其對多方向控制的適應性不足。唯一表現穩定的是 z 軸，無人機能維持在目標高度 z=1 附近，除了輕微抖動外，未出現明顯高度偏移。本結果說明 PPO 無法有效學習並執行多方向動作序列，其於複雜飛行任務中的適應能力與穩定性極差。

綜合而言，TRPO 在本研究中於直線與正方形繞行任務中皆展現出良好的學習能力與控制表現，而 PPO 雖能初步學習直線飛行方向，於複雜路徑控制上仍顯不足，顯示未來仍需針對策略更新穩定性與獎勵設計進行優化。

## 伍、結論

本研究分別採用兩種處理連續動作的強化學習方法(TRPO、PPO) 對無人機飛行控制模型進行訓練與測試，並分析其於不同飛行任務中的表現。實驗結果顯示，TRPO 在直線與正方形軌跡的飛行任務中展現出更為穩定且高效的學習能力，而 PPO 雖在初期 x 軸直線飛行表現尚可，但整體飛行穩定性與策略精確度皆顯不足，尤其在複雜軌跡控制上表現欠佳。

我們推測，PPO 容易陷入區域最小值的情況，可能源於其策略裁剪（clipping）機制雖能控制策略更新幅度，但在較為嚴格的控制場景中，可能抑制了策略的有效探索與學習。而 TRPO 所採用的 KL 散度限制，能夠更有效地控制新舊策略間的變動幅度，使策略更新更加穩定，避免因更新步幅過大而導致策略崩潰。這一穩定性正是 TRPO 在本研究中表現優異的關鍵原因。

PPO 優勢在於其演算法結構相對簡單，運算資源消耗較低，但為了提升其在本模型中的適應性，未來可嘗試調整裁剪範圍，或透過增加探索範圍與動作雜訊，進一步提升策略學習能力與表現。

綜合實驗結果，TRPO 於本研究中的無人機飛行控制任務中，無論是在策略收斂速度、飛行穩定性，或任務完成準確度方面，均優於 PPO，顯示其更適合應用於本模型的飛行控制訓練。未來研究將朝向更複雜的飛行軌跡設計發展，除了直線與正方形路徑外，也將嘗試螺旋、曲線、動態路徑等多變環境下的控制挑戰。同時，將針對現有演算法與獎勵函數進行進一步優化，並引入更多動態參數，如轉速與傾角控制模擬，期望提升無人機於各種複雜環境中維持機體穩定性與完成指定任務的能力。

# 引用文獻

Rana, K., Praharaj, S., & Nanda, T. (2016). Unmanned aerial vehicles (UAVs): An emerging technology for logistics. *International Journal of Business and Management Invention, 5*(5), 86-92.

Kaufman, L., & Somaiya, R. (2013). Drones offer journalists a wider view. *The New York Times*.

Mogili, U. R., & Deepak, B. (2018). Review on application of drone systems in precision agriculture. *Procedia Computer Science, 133*, 502–509.

Costa, F. G., Ueyama, J., Braun, T., Pessin, G., Osório, F. S., & Vargas, P. A. (2012). The use of unmanned aerial vehicles and wireless sensor network in agricultural applications. Paper presented at the *2012 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium,* 5045–5048.

Li, Z., Dekel, T., Cole, F., Tucker, R., Snavely, N., Liu, C., & Freeman, W. T. (2019). Learning the depths of moving people by watching frozen people. Paper presented at the *Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition,* 4521–4530.

Panerati, J., Zheng, H., Zhou, S., Xu, J., Prorok, A., & Schoellig, A. P. (2021). Learning to fly—a gym environment with pybullet physics for reinforcement learning of multi-agent quadcopter control. Paper presented at the *2021 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS),* 7512–7519.

Liu, B., Cai, Q., Yang, Z., & Wang, Z. (2019). Neural trust region/proximal policy optimization attains globally optimal policy. *Advances in Neural Information Processing Systems, 32*.

Schulman, J., Levine, S., Abbeel, P., Jordan, M., & Moritz, P. (2015). Trust region policy optimization. Paper presented at the *International Conference on Machine Learning,* 1889–1897.

Meng, W., Zheng, Q., Shi, Y., & Pan, G. (2021). An off-policy trust region policy optimization method with monotonic improvement guarantee for deep reinforcement learning. *IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems, 33*(5), 2223–2235.

Schulman, J., Wolski, F., Dhariwal, P., Radford, A., & Klimov, O. (2017). Proximal policy optimization algorithms. *arXiv Preprint arXiv:1707.06347*.

Gu, Y., Cheng, Y., Chen, C. P., & Wang, X. (2021). Proximal policy optimization with policy feedback. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems, 52*(7), 4600–4610.

Smyth, D. L., Glavin, F. G., & Madden, M. G. (2018). Using a game engine to simulate critical incidents and data collection by autonomous drones. Paper presented at the *2018 IEEE Games, Entertainment, Media Conference (GEM),* 1–9.

Luo, F., Xu, T., Lai, H., Chen, X., Zhang, W., & Yu, Y. (2024). A survey on model-based reinforcement learning. *Science China Information Sciences, 67*(2), 121101.

Kalidas, A. P., Joshua, C. J., Md, A. Q., Basheer, S., Mohan, S., & Sakri, S. (2023). Deep reinforcement learning for vision-based navigation of UAVs in avoiding stationary and mobile obstacles. *Drones, 7*(4), 245.

# 開發共軛焦顯微光譜系統用於微米有機發光材料螢光分析

王順發*

## 摘要

近年來，有機發光材料廣泛應用於生醫、材料、光電和物理化學等領域，尤其，生物探針和有機發光二極體的開發需要新型有機發光材料。然而，如何精確量測有機發光材料的螢光光譜卻具有相當程度的困難。本文介紹共軛焦顯微光譜系統之開發、設計、架設和功能展示，此自製系統能同步觀察微米樣品和量測螢光光譜，螢光偵測區域僅為一微米大小，此系統的光學設計可避免多種常見的光譜偏差。藉由此系統的開發，能深入探討有機發光材料的光物理性質與發光機制，有助於化學界與業界開發新型的發光材料。

**關鍵字**：共軛焦顯微光譜技術、有機發光材料、光致發光光譜、顯微影像、雷射激發

王順發(通訊作者)，國立臺東大學應用科學系助理教授。E-mail: wangshunfa@nttu.edu.tw

# Invention of Confocal Microspectroscopic System for Fluorescence Analysis of Microscale Organic Materials

Shun-Fa Wang*

## Abstract

Organic luminescent materials with highly-tunable luminescence property have been intensively investigated by scientists and engineers due to their remarkable role in diverse research fields, such as biomedicine, photonics, physics, and chemistry. A preliminary and crucial step to characterize the organic luminescent materials in powder is fluorescence spectroscopic analysis utilizing a conventional spectrophotometer. However, this commonly-used approach often results in unignorable distortion in spectrum because of the following reasons: polymorphism, defect emission, and interplays of scattering and absorption between light and materials. In this study, a confocal microspectroscopic system, designed with excitation laser, microscope, camera, and miniature spectrometer, is invented, and employed to obtain the intrinsic fluorescence emission of the organic luminescent materials. This system realizes fluorescence detection in image and spectrum at the same time for a single micrometer-sized luminescent powder, which is impossible by commercially-available photospectrometers. I carefully validate the functions of this system by using a powder solution of tetraphenylethene, an iconic molecule of aggregation-induced emission, and confirm its excellent performance and accuracy. The invention of the confocal microspectroscopic system is highly expected to facilitate the new design of organic luminescent materials and promote our understandings of the luminescence mechanism.

**Keywords**: Confocal microspectroscopic technique, Organic luminescent materials, Photoluminescence spectrum, Microscopic image, Laser excitation

Shun-Fa Wang (Corresponding Author), Assistant Professor, Department of Applied Science, National Taitung University. E-mail: wangshunfa@nttu.edu.tw

# 壹、前言

有機分子組成的發光材料具有高附加價值與用途廣泛的優勢，長久以來受到學術界與產業界高度關注。尤其近年來，生物顯微影像(bio-imaging)、光通訊(optical communication)和有機發光二極體(organic light-emitting diode; OLED)等研究領域蓬勃發展(Kikuchi et al., 2010; Tian et al., 2021, Salehi et al., 2019)，對功能性有機發光材料的需求大幅增加，帶動許多化學界與材料界的學者積極開發各式新型有機發光材料，並投入有機螢光分子和螢光奈米粒子的基礎與應用相關研究(Wolfbeis, 2015)。新型有機發光材料的開發與合成，大幅促進生醫與光電產業革新，並推動突破性的基礎科學進展。

舉例來說，特定的有機螢光分子具有獨特光致發光現象—聚集誘導發光(aggregation-induced emission; AIE)，這類型的有機螢光分子，溶在溶液時，也就是分子為單體狀態時，幾乎不發光；但此類型的分子在高濃度液態或固態時，能發出高亮度的螢光(Zhao et al., 2020; Wang et al., 2020)。有趣的是，AIE 發光材料還能依據分子上的官能基不同，而具有多種的螢光放光顏色，如圖 1 所示(König et al., 2023)。AIE 有機分子可聚集形成高螢光亮度的奈米粒子，常作為超高解析顯微影像技術的生物探針(bio-probe)。2017 年，Fang 與共同研究學者發表一篇開創性的研究論文(Fang et al., 2017)，他們利用四苯乙烯(tetraphenylethene, TPE)衍生物組成的 AIE 奈米粒子(粒子大小為 15 奈米)標記 HeLa 細胞，藉由 STED (stimulated emission depletion)超高解析顯微影像技術成功辨識 HeLa 細胞上的微管結構，而這些微管結構難以用傳統的共軛焦顯微影像觀察。值得一提的是這類型的 AIE 有機發光奈米粒子能在生物體複雜的環境中，維持高螢光亮度，這與傳統的螢光染料分子容易受多樣生物分子干擾而減弱螢光強度有所不同，因此，AIE 有機螢光分子合成與開發，能深入且微觀地觀察生物體細胞結構和成長動態。

另一種相當熱門的有機發光分子為熱活化延遲螢光(thermal activated delayed fluorescence, TADF)有機分子，TADF 有機分子在 OLED 產業被視為下一世代的光電有機材料，這是因為這類型的有機分子相較於傳統的 OLED 發光材料，具有更高的螢光發光效率。2012 年，Hiroki Uoyama 等學者設計一系列的咔唑二氰基苯(carbazolyl dicyanobenzene)分子(Uoyama et al., 2012)，這類分子具有高效的 TADF 發光特性，值得注意的是，當咔唑分子的取代基改變時，螢光放光波長會大幅度地紅移或藍移，Uoyama 等學者以此研究基礎提出 TADF 的發光機制。至今，化學界深受此研究啟發，吸引眾多化學家投入 TADF 有機分子的合成與機制探討。

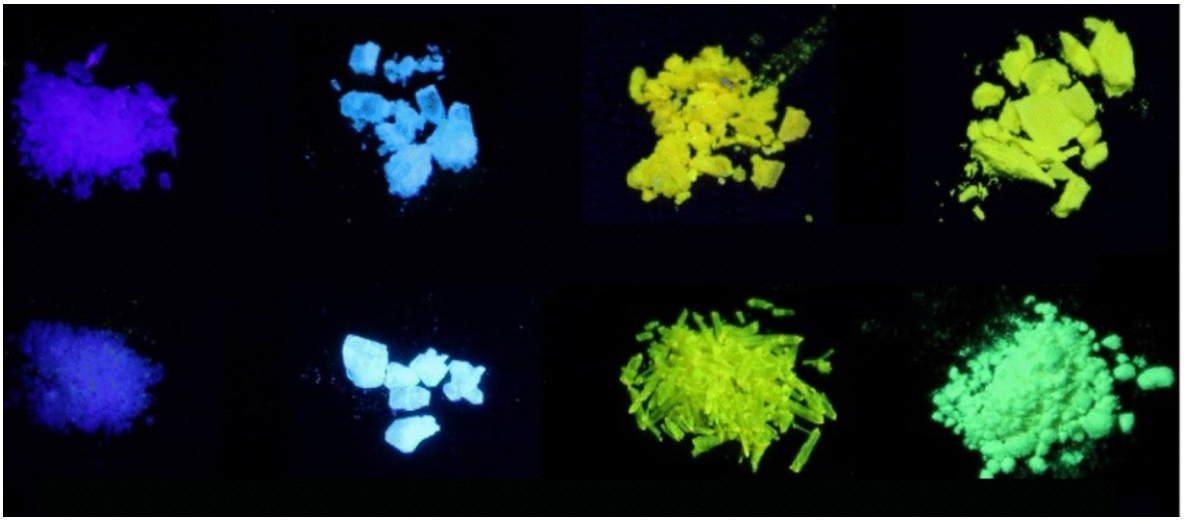


**圖1** 聚集誘導發光材料的螢光影像，不同分子所組成的粉體能發出多種螢光顏色(König et al., 2023)。

## 貳、開發共軛焦顯微光譜技術之目的

現今，新型的有機發光分子已被廣泛利用於多個研究領域與工業界，隨著越來越多發光材料的出現，對其進行精確的光物理性質量測就越來越重要，其中，螢光光譜能提供發光材料電子鬆弛與能階結構的資訊，這在應用與基礎的研究中是不可或缺的重要資訊。然而，現今學界與業界多數的學者和工程師時常忽視一個重要問題—如何得到發光材料精確的螢光光譜？這是個不容忽視且需要特別重視的問題。

傳統上，化學合成得到有機發光分子後，經過分離純化，能得到有機發光分子的粉體，這些粉體在顯微鏡的觀察下，會發現其主要的組成是微米到毫米大小的晶體。當需要測量這些微小粉體的螢光光譜時，常見的作法會將粉體以兩片蓋玻片包覆並固定，直接放入市售的螢光光譜儀樣品槽內進行螢光光譜測量。然而，這樣的量測方式實際上存在許多光譜失真的問題，所測得的光譜往往不是材料真正的螢光。以下我將討論造成光譜失真的各種因素。

新型有機發光材料在螢光顯微鏡下觀察，會時常發現結晶具有不同螢光顏色，這是因為這些結晶具有多晶型(polymorph)或是晶體具有結構缺陷(defect)，導致螢光影像中，同時出現兩種或多種不同顏色的螢光(Anthony et al., 2010; Zhang et al., 2012)。傳統的螢光光譜儀所使用激發光，其光束寬度在毫米尺度，這使得樣品中大量的結晶同時被激發，這些結晶個別發出的螢光同時進入光譜儀的偵測器，因此，傳統螢光光譜儀所測得的光譜會包含兩種或多種螢光帶，光譜寬度比實際螢光寬，如圖 2 所示，所以個別結晶的發光難以用傳統的螢光光譜儀區分。

使用傳統的螢光光譜儀測量有機發光材料還具有多種測量誤差的問題，導致光譜測量誤差的原因主要為以下四種：(1)不同的結晶多晶型具有不同的螢光放光波長，傳

統螢光光譜儀無法局部測量不同晶型的螢光光譜。(2)結晶本身的晶格缺陷會導致放光波長位移，這又稱為缺陷發光(defect emission)，傳統的螢光光譜測量方法無法排除(或單獨偵測)缺陷結晶的發光。(3)自吸收效應(re-absorption)，結晶發出的螢光被結晶本身或周遭結晶吸收，導致短波長範圍的螢光強度下降，使光譜形狀偏移或扭曲。(4)多重光散射(multiple light scattering)，多個緊密堆疊的微米晶體會在晶體表面反覆散射螢光，這導致測量的螢光光譜偏移或扭曲(Müller et al., 2001)。

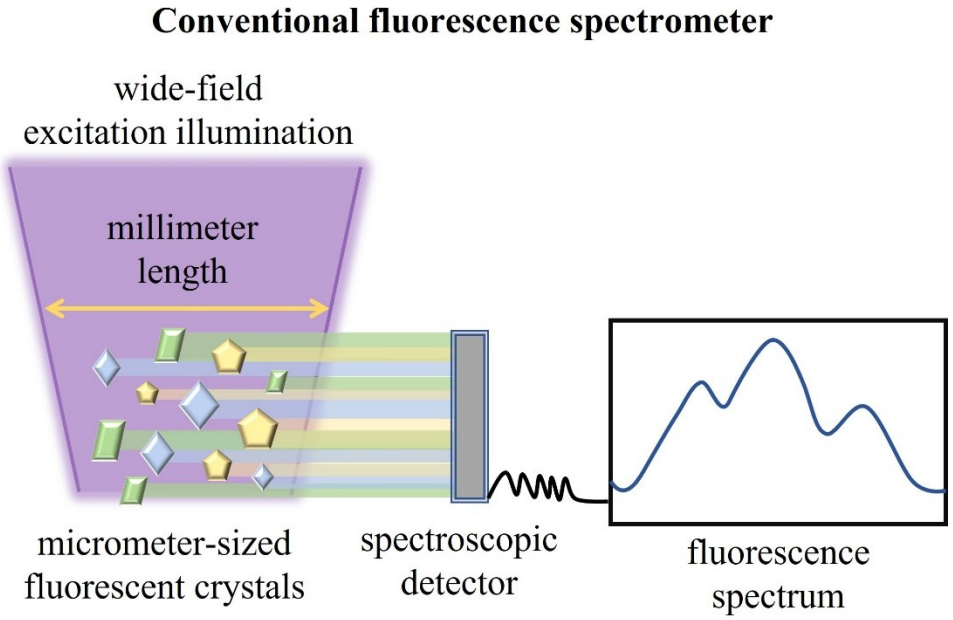



**圖2** 傳統螢光光譜儀測量有機發光材料示意圖。

以上四種因素導致測量有機發光材料的螢光光譜出現相當程度的偏差，然而，市面上各廠牌的螢光光譜儀都無法有效解決這些問題。因此，為了得到有機發光材料精確的螢光光譜，我自行開發一套新的光譜與成像系統—共軛焦顯微光譜系統。圖 3 為共軛焦顯微光譜系統的設計概念圖，此系統結合雷射、顯微鏡、相機與微型光譜儀，雷射以聚焦方式激發樣品局部位置，只測量雷射焦點處(約一微米大小)的螢光光譜，搭配顯微影像成像技術，能直接觀察樣品的螢光顯微影像，並同時偵測動態螢光光譜，因此此系統能在有機發光材料粉末中測量特定多晶型的螢光光譜，這與傳統螢光光譜儀以寬場激發方式且沒有影像成像有所不同。此外，使用共軛焦技術能有效降低系統偵測到非聚焦面的螢光與周遭環境的雜光，使收集的螢光訊號僅來自於雷射焦點處(非成像平面與焦點外的光，大部分被軛焦針孔阻擋，無法進入光譜儀)。此系統的光學設計為激發光和螢光偵測在同一方向，這能避免自吸收和多重散射造成光譜失真的問題，確保光譜的準確性。圖 4 為此系統的特點與傳統螢光光譜儀的比較。

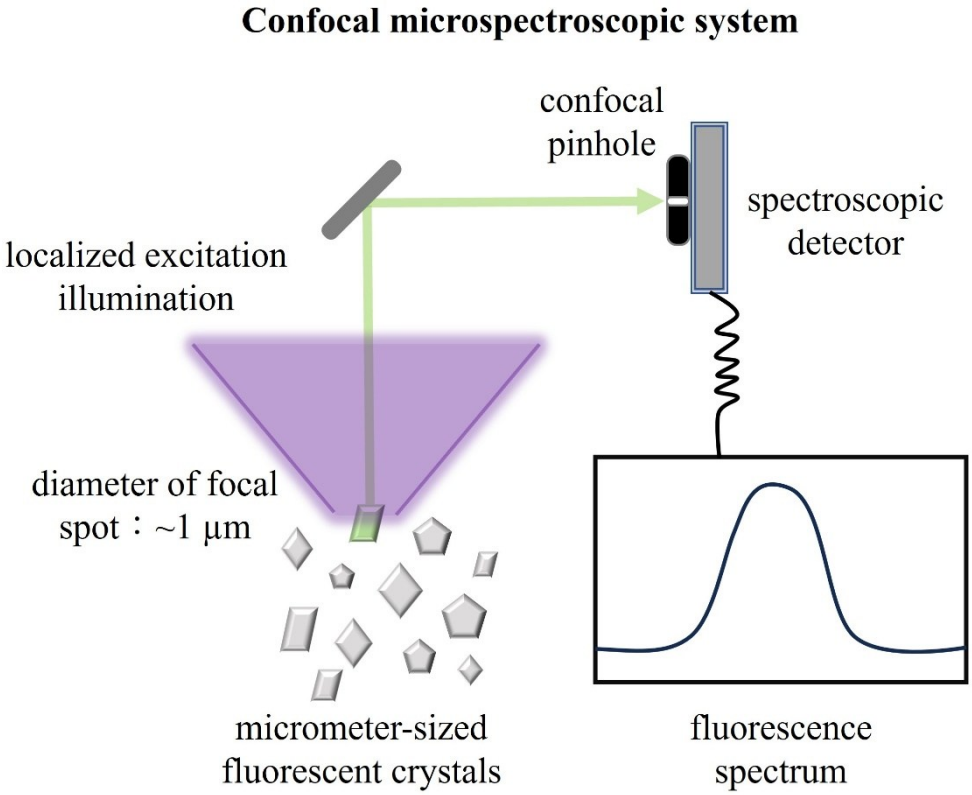



**圖3** 自行開發的共軛焦顯微光譜系統用於測量有機發光材料概念圖。

**Advantages of my microspectroscopic system**

1. true fluorescence spectrum of single microcrystals
2. simultaneous imaging and spectroscopic measurements available
3. enable to identify defect emission
4. very little re-absorption effect
5. no multiple light scattering
6. low cost

**Disadvantages of conventional spectrometer**

1. complicated and distorted fluorescence spectrum from ensemble microcrystals
2. no imaging function
3. hard to identify defect emission
4. significant re-absorption effect
5. strong multiple light scattering
6. expensive

**圖4** 共軛焦顯微光譜系統與傳統螢光光譜儀之特點比較。

## 參、共軛焦顯微光譜系統之構造

此自製的共軛焦顯微光譜系統包含雷射、顯微鏡、CCD (charge-coupled device)相機與微型光譜儀。利用接近紫外光波長範圍的 405 奈米雷射作為激發光源，將雷射導入光學籠式系統後進入一台改裝的正立式顯微鏡，雷射經過 40 倍放大倍率的物鏡後，高度聚焦於樣品上，雷射焦點直徑約為一微米，透過移動載台水平方向的位移，可以選擇雷射的照射位置。樣品發出的螢光經由物鏡接收，引導至成像與光譜測量系統，首先，螢光先通過二向色鏡，再經由凸透鏡聚焦螢光，此聚焦螢光由分光鏡分成兩道：一道為相機接收，另一道穿透共軛焦針孔後由微型光譜儀接收。共軛焦針孔能減少非聚焦面的螢光訊號的干擾，讓偵測的光譜只包含雷射焦點處的螢光。此自製系統的設計可避免上述造成光譜失真的四項因素，並能同時進行樣品的顯微觀察與螢光光譜量測。

**圖 5** 為共軛焦顯微光譜系統之光學裝置圖，本系統可以概分成雷射光路、顯微鏡以及影像與光譜的三大部分，以下為各部分的詳細介紹：

**雷射光路：**

此系統以波長為 405 奈米的連續波雷射(Shanghai Dream Lasers Technology, SDL-405-RLM-200T)作為激發光源，使用中性密度濾光片(neutral density filter)調整雷射功率，透過滑軌平台上的可調式光圈的前後移動，確認雷射為水平準直的平行光，之後將雷射導入光學牢籠系統中。牢籠中的雷射光束需位於牢籠正中心處，可使用籠式定位板(cage alignment plate)確認，之後以二向色分光鏡(dichroic mirror)將雷射反射至正立式顯微鏡。

**顯微鏡：**

其基本架構主要是建立於一台低成本、改裝後的正立式顯微鏡(motic)，我們移除顯微鏡的目鏡與觀測頭，讓雷射可以直接導入顯微鏡物鏡中，透過顯微鏡載台與調節輪的操作可三維移動樣品。樣品受到雷射激發後發出的螢光被物鏡接收，沿著雷射前進的相反方向將螢光引導至影像與光譜系統。

**影像與光譜系統：**

從顯微系統接收到的螢光需以 425 奈米長波通濾光片將 405 奈米雷射散射光移除，避免雷射散射光進入影像與光譜系統。濾光片過濾後的螢光經由凸透鏡聚焦，目的是為了將螢光影像成像於 CCD 相機並透過光纖傳輸到微型光譜儀。光路中安裝一片二向色分光鏡，使聚焦的螢光分成兩道，一道由相機接收，另一道穿透直徑 50 微米的共軛焦針孔後進入光纖，引導至微型光譜儀中。需特別注意的是，共軛焦針孔的裝設位置需在顯微系統的成像平面。

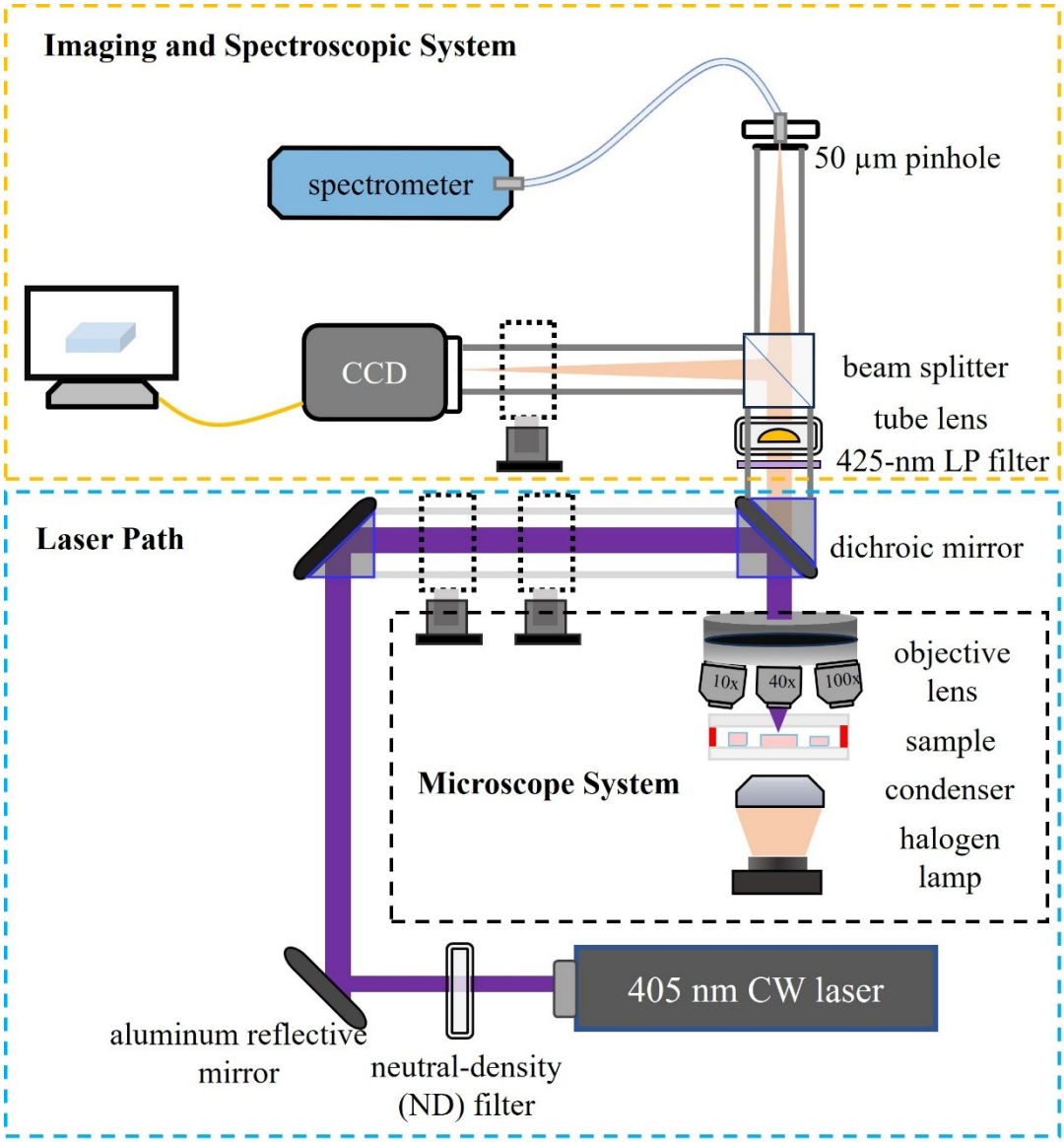



**圖 5** 共軛焦顯微光譜系統之光學裝置圖。

## 肆、螢光光譜校正方式

透過此共軛焦顯微光譜系統所測得的光譜需要再經過兩種不同的光譜校正方法，分別為波長精度校正與光譜波形校正，以下為兩種校正方法的介紹：

**波長精度：**

為了校正微型光譜儀的波長位置，避免出現光譜波長偏移，故需要對光譜儀進行波長精度校正。我們使用市售的波長校正光源—汞氬燈，利用此光源照射共軛焦顯微光譜系統上的物鏡，如**圖 6** 所示，之後按照以下的步驟操作：

1. 打開光譜儀操作軟體上的快速查看模式，並記錄光源的光譜。
2. 記錄光譜中各個波峰的像素。

3. 使用 Excel 建立像素與光源實際波長的對應表格。
4. 選擇真實波長作為因變數 Y。選擇像素作為自變數 X，執行線性迴歸後可得到線性迴歸的函數。
5. 記錄此函數的截距以及第一、第二和第三係數。
6. 輸入函數的截距與係數於光譜儀的操作軟體，完成波長精度校正。

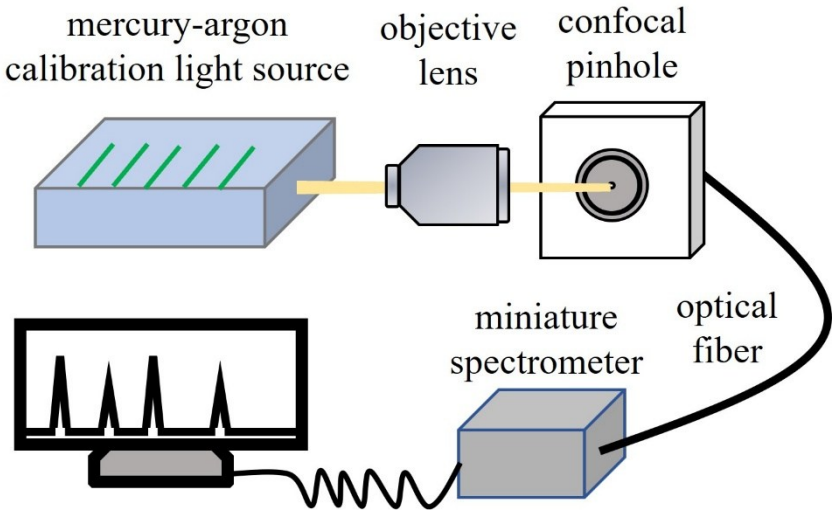



**圖6** 光譜儀的波長精度校正示意圖。

**光譜波形校正：**

波長精度校正後，需要再校正光譜波形，這是因為光學系統的光學零件和光譜儀具有波長依賴性。舉例來說，反射鏡對每個波長的反射率皆不相同，而透鏡、濾光片與光纖對各個波長具有不同的穿透率，此外，光譜儀對各波長的感光靈敏度亦不相同，這些因素會導致量測的光譜波形偏移而失真。為了使自製的顯微光譜系統能測到精確的光譜，必須使用標準螢光樣品作校正。我使用兩種不同螢光波長的標準品作為校正樣品，其一為莫耳濃度為 $5\times10^{-3}$ M 的硫酸奎寧(quinine sulfate)，溶劑為 0.1 M 的硫酸；另一樣品為 $1\times10^{-5}$ M 磺化羅丹明 101(sulforhodamine 101)，以乙醇作為溶劑，透過以下方程式獲得光譜校正函數 $s(\lambda_{Em})$：

$$I(\lambda_{Em}) = \frac{I^u(\lambda_{Em})}{s(\lambda_{Em})}$$

$I^u(\lambda_{Em})$和 $I(\lambda_{Em})$分別為未校正和校正後的光譜。未校正光譜是光譜系統所測量的螢光光譜，而校正後光譜是使用市售具有校正功能螢光光譜儀所量測的光譜，校正後光譜也可使用文獻上的數據。未來使用共軛焦顯微光譜系統量測光譜時，只需將測出的光譜數據除以光譜校正函數，即可獲得樣品真實的光譜圖。

此研究工作中，光譜波形校正利用螢光光譜儀(Horiba, FluoroMax Plus)測量硫酸奎寧和磺化羅丹明 101 標準溶液，所得到的光譜數據與此顯微光譜系統量測的光譜作比較，如**圖 7** 和**圖 8**。

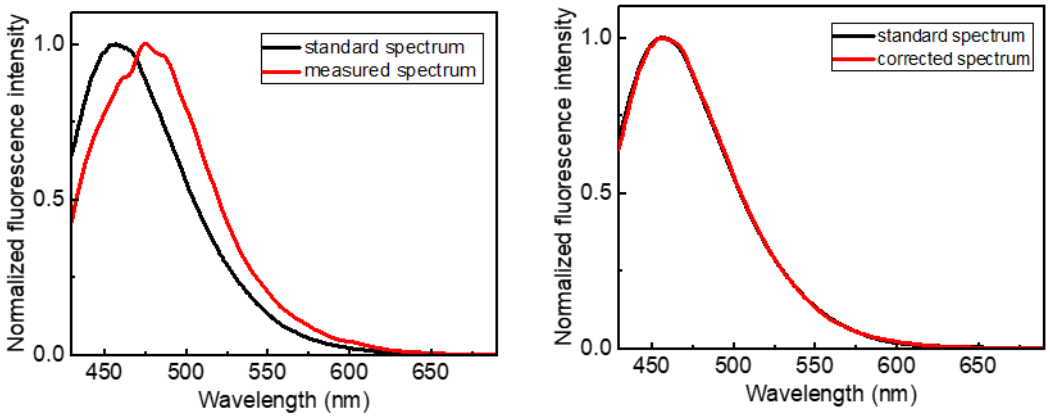



**圖 7** 硫酸奎寧標準光譜(黑線)與顯微光譜系統測得的光譜(紅線)比較圖(左圖)，標準光譜(黑線)與校正後的顯微光譜(紅線)比較圖(右圖)。

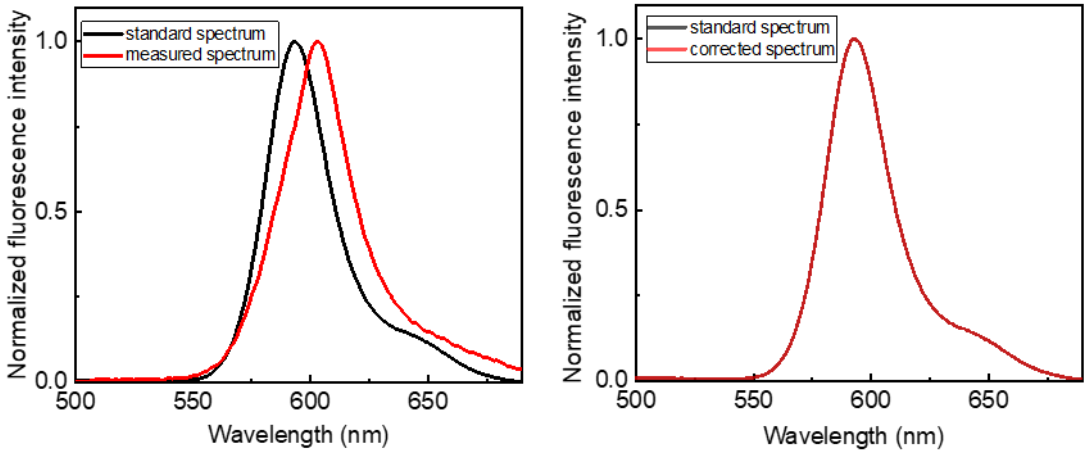



**圖8** 磺化羅丹明101標準光譜(黑線)與顯微光譜系統測得的光譜(紅線)比較圖(左圖)，標準光譜(黑線)與校正後的顯微光譜(紅線)比較圖(右圖)。

## 伍、儀器開發成果與功能展現

**圖 9** 為按照上述儀器架設步驟所完成的共軛焦顯微光譜系統實際照片，分別從三個不同視角拍攝此共軛焦顯微光譜系統，其中各個主要構造由紅色數字 1 到 8 表示該用途。

1、405 奈米連續波雷射：用於激發有機發光材料的激發光源。

2、中性密度濾光片：用於調整雷射功率。

3、二向色分光鏡：將短波長的激發光反射，其餘波長皆穿透。

4、物鏡：將雷射聚焦於待測物表面。

5、長波通濾光片與凸透鏡：阻隔雷射散射光並使螢光聚焦於相機與光譜儀。

6、共軛焦針孔與光纖：阻擋非聚焦面的光，只收集聚焦面的光。

7、CCD 相機：將螢光轉成影像。

8、微型光譜儀：從光纖接收螢光分光後轉成光譜數據。

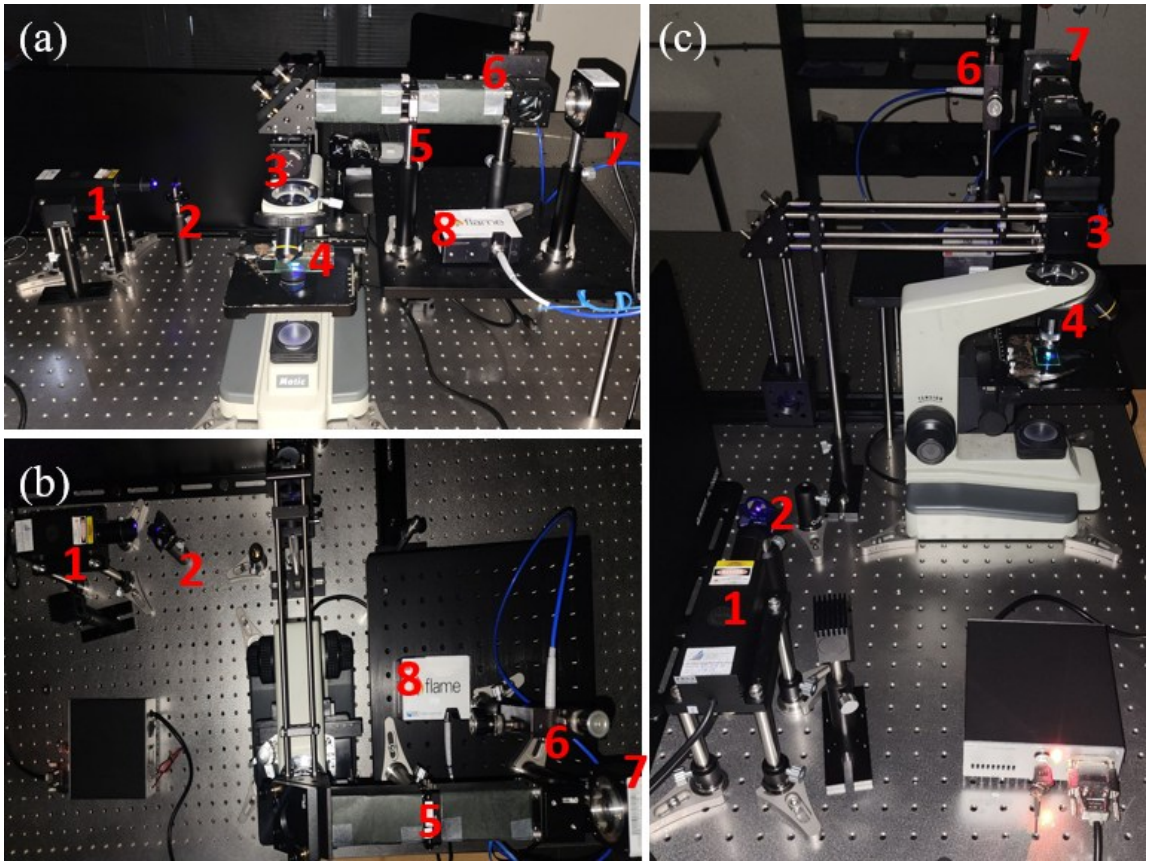



**圖 9** 共軛焦顯微光譜系統各個視角之照片。

此共軛焦顯微光譜系統能同步觀測樣品的螢光影像與偵測螢光光譜，如**圖 10** 所示，這樣的功能可判別不同多晶型的螢光並個別進行光譜測量。以下以實際測量案例說明此系統的功能。

我使用著名的聚集誘導發光染料四苯乙烯微米晶體溶液作為螢光樣品，分別以傳統螢光光譜儀和共軛焦顯微光譜系統測量此溶液的螢光光譜，並進行光譜比較。四苯乙烯分子在聚集狀態下具有獨特的發光，這種分子在許多研究領域中展現出巨大的應用潛力，例如在生物成像、光電材料和感測器等領域都有實際應用例子(Zhao et al., 2020)。透過共軛焦顯微光譜系統可以清楚觀察到四苯乙烯樣品溶液中，有兩種不同發光顏色的晶體，如**圖 11**，這代表四苯乙烯結晶具有兩種多晶型，分別發出綠色和藍色的螢光。這兩種多晶型的螢光能以共軛焦顯微光譜系統個別測量，所得的螢光光譜如**圖 12(a)**，藍色多晶型的光譜峰值為 430 奈米，綠色多晶型的光譜峰值為 460 奈米。然而，以傳統螢光光譜儀測量同一溶液時，螢光光譜顯示出廣闊的光譜帶寬，如**圖 12(b)**，代表此光譜圖包含了兩種螢光成份，從此光譜圖難以分辨這兩種多晶型所發出的特定的螢光。

藉由此案例的比較，可得知此自製的共軛焦顯微光譜系統能觀察晶體的螢光影像、測量微米晶體的大小並得到晶體個別的螢光光譜，這是傳統螢光光譜儀達不到的強大顯微光譜技術。

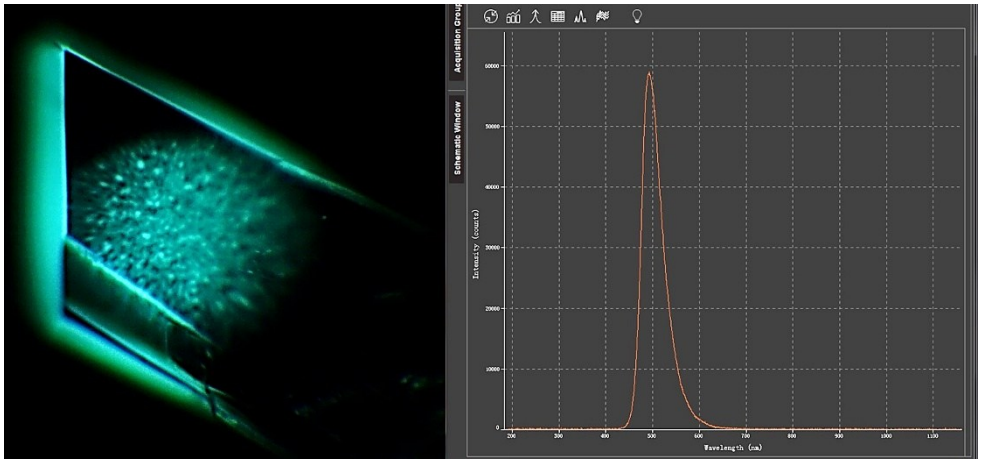


**圖 10** 同步偵測聚苯乙烯結晶的螢光顯微影像(左圖)和螢光光譜(右圖)。

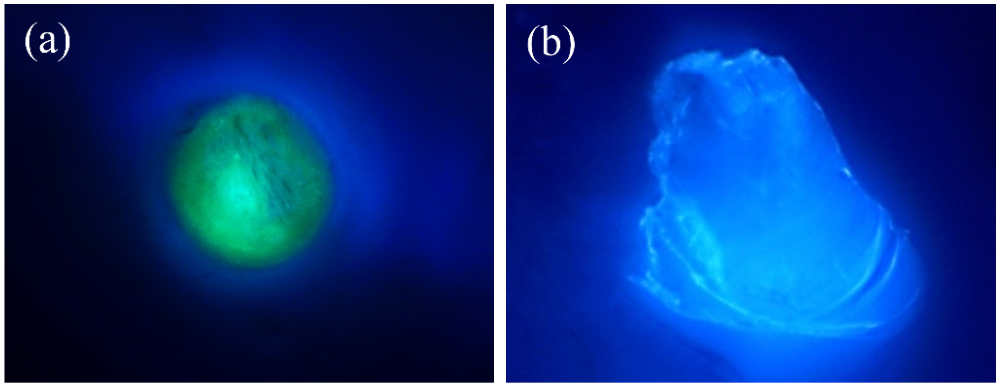



**圖 11** 聚苯乙烯多晶型的螢光顯微影像，(a)綠色螢光結晶和(b)藍色螢光結晶。

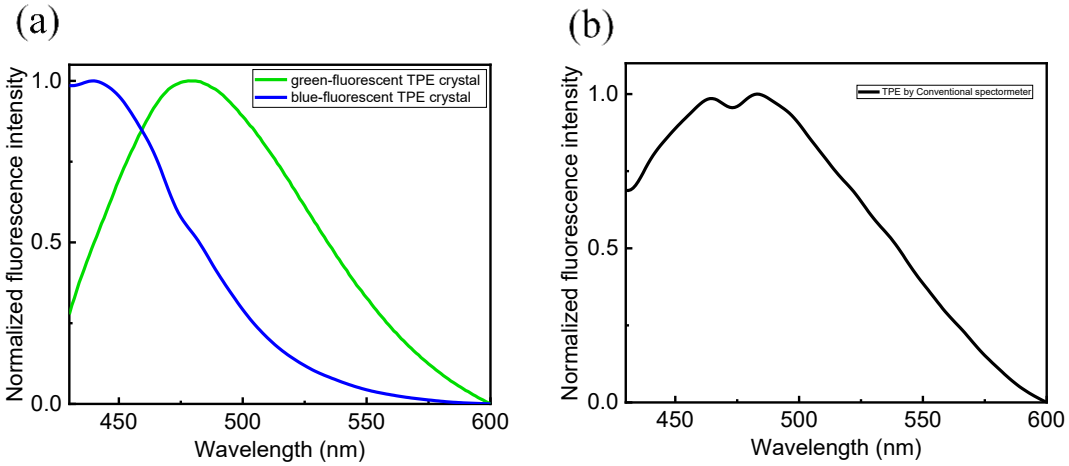



**圖 12** (a)共軛焦顯微光譜系統測量聚苯乙烯微米晶體溶液所得的螢光光譜，藍色螢光晶體(藍線)與綠色螢光晶體(綠線)可分別測得。(b)傳統螢光光譜儀測量同一粉體溶液所得的螢光光譜。

## 陸、結論

本文提出共軛焦顯微光譜系統之開發、設計、架設和功能展示，架設此系統所需的主要設備為激發雷射、顯微鏡、相機和微型光譜儀。此系統的開發目的為精確測量有機發光材料的螢光光譜，解決以下四種傳統螢光光譜儀在量測有機發光材料時遇到的問題：(1)無法區分結晶多晶型的螢光，有機發光材料的不同多晶型所發出的螢光會包含在同一張光譜，難以分辨多晶型個別的螢光光譜、(2)無法區分結晶本身的螢光和結晶晶格缺陷導致的缺陷發光，這兩種發光放光波長不同、(3)自吸收效應，材料發出的螢光被自身或鄰近材料吸收、(4)多重光散射，材料發出的螢光被鄰近材料反覆散射。以上四種因素造成有機發光材料的螢光光譜具有相當程度的偏差，且時常被無意地忽略。本研究開發的共軛焦顯微光譜系統能有效解決上述的問題，並能動態地同步偵測材料的螢光影像以及材料局部的螢光光譜，系統可測量的螢光波長範圍為 430 到 700 奈米，藉由裝設共軛焦針孔於成像平面，可排除非聚焦面的光線，使偵測的材料大小限縮在直徑 1 微米，這樣的光學系統設計能精確地得到微米材料的螢光光譜。經由實際偵測案例—聚集誘導發光的四苯乙烯粉體溶液的螢光光譜測量，確認此系統的強大功能。

有機發光材料在生醫、材料、光電和物理化學等研究領域有著巨大的應用潛力，藉由開發共軛焦顯微光譜系統，能系統性檢測有機發光材料的光物理性質並深入研究發光特性與機制，這有助於化學界設計新型發光分子，對生物探針、感測器、顯示技術、光電元件、生醫材料和結晶學等研究領域具有重大貢獻。未來，我們將使用此系統對更多有機發光材料進行光物理研究與探討，也將拓展此系統到各種的發光材料上，例如：量子點、鈣鈦礦太陽能材料和碳點。

# 引用文獻

Anthony, S. P. & Draper, S. M. (2010) Nano/microstructure fabrication of functional organic material: polymorphic structure and tunable luminescence. *The Journal of Physical Chemistry C*, *114*, 11708–11716. https://doi.org/10.1021/jp100594w

Fang, X.; Chen, X.; Li, R.; Liu, Z.; Chen, H.; Sun, Z.; Ju, B.; Liu, Y.; Zhang, S. X.-A.; Ding, D.; Sun, Y. & Wu, C. (2017) Multicolor Photo-Crosslinkable AIEgens toward Compact Nanodots for Subcellular Imaging and STED Nanoscopy. *Small*, *13*, 1702128. https://doi.org/10.1002/smll.201702128

Kikuchi, K. (2010) Design, synthesis and biological application of chemical probes for bio-imaging. *Chemical Society Reviews*, *39*, 2048–2053. https://doi.org/10.1039/B819316A

König, N.; Godínez-Loyola, Y.; Yang, F.; Laube, C.; Laue, M.; Lönnecke, P.; Strassert, C. A. & Hey-Hawkins, E. (2023) Facile modification of phosphole-based aggregation-induced emission luminogens with sulfonyl isocyanates. *Chemical Science*, *14*, 2267–2274. https://doi.org/10.1039/D3SC00308F

Müller, M. G.; Georgakoudi, I.; Zhang, Q.; Wu, J. & Feld, M. S. (2001) Intrinsic fluorescence spectroscopy in turbid media: disentangling effects of scattering and absorption. *Applied Optics*, *40*, 4633–4646.

Salehi, A.; Fu, X.; Shin, D. H. & So, F. (2019) Recent advances in OLED optical design. *Advanced Functional Materials*, *29*, 1808803. https://doi.org/10.1002/adfm.201808803

Tian, D. & Chen. Y. (2021) Optical waveguides in organic crystals of polycyclic arenes. *Advanced Optical Materials*, 9, 2002264. https://doi.org/10.1002/adom.202002264

Uoyama, H.; Goushi, K.; Shizu, K.; Nomura, H. & Adachi, C. (2012) Highly efficient organic light-emitting diodes from delayed fluorescence. *Nature*, *492*, 234–238. https://doi.org/10.1038/nature11687

Wang, S.-F.; Lin, J.-R.; Ishiwari, F.; Fukushima, T.; Masuhara, H. & Sugiyama, T. (2020) Spatiotemporal Dynamics of Aggregation-Induced Emission Enhancement Controlled by Optical Manipulation. *Angewandte Chemie International Edition*, *59*, 7063–7068. https://doi.org/10.1002/anie.201916240

Wolfbeis, O. S. (2015) An overview of nanoparticles commonly used in fluorescent bioimaging. *Chemical Society Reviews*, *44*, 4743–4768. https://doi.org/10.1039/C4CS00392F

Zhang, C & Lin, J. (2012) Defect-related luminescent materials: synthesis, emission properties and applications. *Chemical Society Reviews*, *41*, 7938–7961. https://doi.org/10.1039/C2CS35215J

Zhao, Z.; Zhang, H.; Lam, J. W. Y. & Tang, B. Z. (2020) Aggregation-Induced Emission: New Vistas at the Aggregate Level. *Angewandte Chemie International Edition*, *59*, 9888–9907. https://doi.org/10.1002/anie.201916729

# IC 晶片散熱裝置同步封裝製程之模流分析

蘇芳儀[1]、蘇柏安[1]、蘇柏翰[1]、謝銘哲[2]、鍾朝旭[1]、朱力民[1]*

## 摘要

本研究以模流分析軟體(moldflow)進行 IC 晶片散熱裝置同步封裝製程之模流分析，由模擬結果可得沖膠時間短，塑料流動快，IC 晶片散熱裝置內較快填滿，所以初期溫度分佈較低，較快被加熱到環境溫度，沖膠時間長，塑料流動慢，IC 晶片散熱裝置內較慢填滿，因此初期溫度分佈較高，但較慢被加熱到環境溫度。非注入處需花費約 1/4 期程完成充填，本研究 IC 晶片散熱裝置之上蓋設計可使塑料快速均勻分佈。IC 晶片散熱裝置內邊緣區域溫度分佈變化大於中心區域溫度分佈變化。在壓力方面，較長的沖膠時間致使塑料以較低的速率進行填充，以減少局部高壓區域的形成，使塑料能夠較均勻的分佈。沖膠完成需要有一定的時間，才可達到 IC 晶片散熱裝置內壓力平衡。沖膠時間合理設定可有效提升產品的一致性與性能，同時優化製程效率。

**關鍵字:** IC、晶片 、封裝、散熱裝置、模流分析

[1] 蘇芳儀，國立臺東大學綠能與資訊科技學系學生。E-mail: 11022101@gm.nttu.edu.tw
[1] 蘇柏安，國立臺東大學綠能與資訊科技學系學生。E-mail: dces20527@gmail.com
[1] 蘇柏翰，國立臺東大學綠能與資訊科技學系學生。E-mail: 11302204@gm.nttu.edu.tw
[2] 謝銘哲，國立臺東專科學校動力機械科 副教授。E-mail:mjhsieh@ntc.edu.tw
[1] 鍾朝旭，國立臺東大學綠能與資訊科技學系學生。E-mail: 11022115@gm.nttu.edu.tw
[1] 朱力民(通訊作者)，國立臺東大學綠能與資訊科技學系教授。E-mail: lmchu@nttu.edu.tw

# Mold Flow Analysis for Synchronous Packaging Process of IC Chip Heat Dissipation Device

Fang-Yi Su[1]、Bo-An Su[1]、Bo-Han Su[1]、Ming-Jer Hsieh[2]、Chao-Hsu Chung[1]、Li-Ming Chu[1]*

## Abstract

This study uses moldflow analysis software to analysis for synchronous packaging process of IC chip heat dissipation device. The simulation results revealed that when the injection time is short, the plastic flows quickly, and the IC chip heat dissipation device is filled quickly, so the initial temperature distribution is low and it is heated to the ambient temperature quickly. When the injection time is long, the plastic flows slowly, and the IC chip heat dissipation device is filled slowly, so the initial temperature distribution is high, but it is heated to the ambient temperature slowly. It takes about 1/4 of the process to complete the filling of the non-injected area. So the cover design of the IC chip heat dissipation device in this study can make the plastic quickly and evenly distributed. The temperature distribution variation in the edge area of the IC chip heat dissipation device is greater than that in the center area. In terms of pressure, a longer injection time causes the plastic to fill at a lower rate, reducing the formation of local high-pressure areas and making the plastic more evenly distribution. The injection completed must take a certain time to achieve pressure balance in the IC chip heat dissipation device. Reasonable setting of the injection time can effectively improve the consistency and performance of the product, while optimizing the process efficiency.

**Keywords**: IC、Chip、Packaging、Heat Dissipation Device、Mold flow analysis

[1] Fang-Yi Su, Student, Department of Green Energy and Information Technology, National Taitung University. E-mail:11022101@gm.nttu.edu.tw

[1] Bo-An Su, Student, Department of Green Energy and Information Technology, National Taitung University. E-mail:dces20527@gmail.com

[1] Bo-Han Su, Student, Department of Green Energy and Information Technology, National Taitung University. E-mail:11302204@gm.nttu.edu.tw

[2] Ming-Jer Hsieh, Associate Professor, Department of Power Mechanical Engineering, National Taitung Junior College. E-mail: mjhsieh@ntc.edu.tw

[1] Chao-Hsu Chung, Student, Department of Green Energy and Information Technology, National Taitung University. E-mail:11022115@gm.nttu.edu.tw

[1] Li-Ming Chu (Corresponding Author), Professor, Department of Green Energy and Information Technology, National Taitung University. E-mail: lmchu@nttu.edu.tw

## 壹、前言

由於大多數的電子商品趨向於輕薄化與高功能化，促使電子封裝內部晶片需處理快速且微小化發展。因此將會使電子元件熱通量急速增加，所以該如何有效的降低溫度，為近年來極為重視的問題。

如**圖 1** 及**圖 2** 所示，一般的半導體晶片，通常設置於一半導體基板上並於其上覆蓋有一散熱片，利用該散熱片與該半導體晶片相接觸，以將該半導體晶片運作時所產生的熱源利用增加散熱面積的方式傳導出去，以紓解半導體晶片熱量過多的問題。

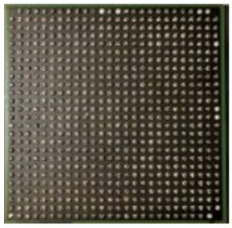


**圖 1** 半導體基板

**圖 2** 散熱片

隨著半導體製程的持續進步，現有之半導體元件除了效能逐漸提升之外，其體積也逐步縮小，但是相對的，也造成現有半導體元件運作時所產生的熱量逐漸增加，為了提升散熱效率以避免半導體元件因溫度過高，導致效率下滑甚至是損壞，因此便有了半導體晶片之散熱片的存在。

然而散熱片與該半導體晶片逐漸微小化的情形下，造成銲合或嵌合作業的不便，相對影響製程時間，提高其成本。現今 IC 產品趨向輕、薄、短、小，所以 IC 散熱片的設計也越來越小，這樣的方向會造成 IC 在封裝散熱片的時後產生許多的取件對位的作業時間太長與品質穩定的問題。IC 散熱片設計的方式都是搭配實體 IC 大小來設計 1 對 1 的產品，如需大量生產，無法有效率快速生產。

因此藉由該定位框架將該複數散熱片框圍於內，即可透過移動該定位框架至該半導體基板上時，連同被框圍於內之複數散熱片一併移動並與該半導體基板上之半導體晶片快速定位、結合，有別於習知一次僅能將一片散熱片放置於該半導體晶片上的結合動作，本製程具有縮短該半導體晶片結合散熱片製程時間的功效增進，不但能提升生產的效率，更進一步達到省時、節能的目的。

## 貳、文獻探討

1970 年代電腦逐漸普及以後，數值解析法也漸漸被提出。自 1980 年起，隨著理論的基礎日趨完善，數值的計算與電腦設備的快速發展，電腦輔助工程 CAE (Computer-Aided Engineer)系統的功能和計算精度都有很大提高，各種基於產品 3D 建模的 CAE 系統應運而生，並已成為產品分析和產品優化的重要工具。為提昇產業的競爭力，及減少現場實際試誤的材料消耗與時間成本，使業者邁向更快速及更精密生產流程，使用 CAE 模流分析軟體，並進行產品設計分析，作為開模前模擬與測試的重要依據。

射出成型的加工分為三項變化階段，分別為塑化階段、充填階段、冷卻階段，充填即為射出形成，充填過程是利用壓力來推動塑料熔膠往前進，一般而言塑料在模穴

內充填的過程是趨向阻力最小的地方流動，單位時間內塑料流動的距離愈大即該區域的流動阻力相對較小，反之移動愈慢則該區域流動阻力愈大。塑料本身具有的黏度也是影響流動阻力的因素，塑料黏度對溫度與剪切率的影響較大，因此在熱傳速率、塑件肉厚、局部溫度高低，均對流動阻力大小有所影響。有許多研究針對塑膠射出的成型製程進行模流分析(林育均,2021; 林晉賢,2023; 顏伯諭,2022; Jansen et al.,1998;Kabanemi et al.,1998; Subramanian et al.,2005;Tantakom,1998)，藉由改變產品結構的設計與製程條件的選擇與控制，來找出最優的製程方法。

就 IC 晶片散熱片專利分析分佈來看，有中華民國發明專利第 I221332 號，專利名稱-半導體封裝件(日月光半導體製造股份有限公司,2004)，其專利內容闡述一種半導體封裝件，包含：相互連接而可熱交換的一晶片模組及一散熱片、複數引接腳、複數連接該晶片模組及引接腳的銲線，及一封裝膠體。每一引接腳具有一內引接腳段。每一內引接腳段具有一連接部、一遠離該連接部之銲線部，及一連結該連結部與銲線部的凸伸部。該散熱片可與該等引接腳之凸伸部連接，使得該散熱片可向上靠近該等連接部，藉此可使得灌膠製程時上下模流速度均勻，而使得該封裝膠體無孔洞產生。中華民國發明專利第 I246758 號，專利名稱-防止散熱片偏移之晶片封裝構造(日月光半導體製造股份有限公司,2006)，其專利內容闡述一種防止散熱片偏移之晶片封裝構造，其係主要包含有一基板、一晶片、一黏著劑及一散熱片，該晶片與該黏著劑係設置於該基板，該散熱片係具有一接合部，該接合部係具有一鎖合通孔，該黏著劑係黏著該散熱片之該接合部底面並填充於該鎖合通孔中，以構成一固定該散熱片之膠鎖機構，防止該散熱片偏移。中華民國發明專利第 I247401 號，專利名稱-散熱片(日月光半導體製造股份有限公司,2006)，其專利內容闡述一種適用於封裝製程的散熱片，此散熱片係由圓形頂部、複數個之支撐部以及連接並介於圓形頂部與支撐部之間的環型側翼所組成，而複數個開口係形成於每一支撐部的位置上，其範圍自圓形頂部邊緣延伸至支撐部的底部上緣。中華民國發明專利第 I248182 號，專利名稱-避免散熱片與銲線接觸的封裝結構及其製程(日月光半導體製造股份有限公司,2006)，其專利內容闡述提供一種避免散熱片與銲線接觸的封裝結構及其製程，係在晶片上方設置一間隔物以及一可撓性結構，使得進行封膠步驟而導致散熱片發生形變時，間隔物以及可撓性結構就可抵靠住散熱片而不致讓散熱片壓迫到下方的銲線。中華民國發明專利第 I267179 號，專利名稱-散熱片與其應用(日月光半導體製造股份有限公司,2006)，其專利內容闡述一種適用於封裝製程的散熱片，此散熱片具有一圓形弧面板部，並且其圓形弧面板部的中央係高於或等於環狀凸起的高度；如此一來，當封膠模具內模穴的水平頂面下壓至散熱片上而使其產生變形時，圓形弧面板部就不會壓迫到下方的金屬線，而環狀凸起同樣也可發揮防止溢膠的功能。其專利內容闡述本創作係有關於半導體封裝，特別是指改良散熱效率的封裝。本創作半導體封裝結構包括一基材中央有一第一開口，一散熱片黏貼於基材之底部表面，散熱片之底部表面有溝渠凹痕，而溝渠凹痕包括多個凹洞與多個溝槽，晶片黏著於散熱片上表面，基板上有黏著一絕緣加強支撐片，在基材、晶片、散熱片和絕緣加強支撐片間的空間以液態膠材料以充填囊封，預先成型的焊錫凸塊鎔接於基材之導電焊墊處。

由上所述皆針對單一 IC 晶片封裝製程，因此本研究提出 IC 晶片散熱裝置同步封裝製程的構想，一次製程，可封裝多個半導體晶片，縮短製程時間並提升生產的效率，達到迅速接單與快速出貨之目標，進而提升市場競爭力。並進行其模流分析，以找出操作之最佳參數。

## 參、研究方法

**圖 3-5** 為本研究所使用的封裝結構包含的主要元件，半導體晶片、封裝基板、封裝上蓋。封裝基板是一種用於支撐和連接封裝中各種電子元件的基礎結構；封裝上蓋則是覆蓋在封裝結構頂部的外殼或蓋板，其作用是保護內部電子元件，提供機械支撐和防護，其設計和材料多取決於封裝的應用和需求；而塑料則用於填充封裝結構中的空隙，固定內部元件並提供額外的保護層，其材料特性對封裝的可靠性及熱機械性能有顯著影響。

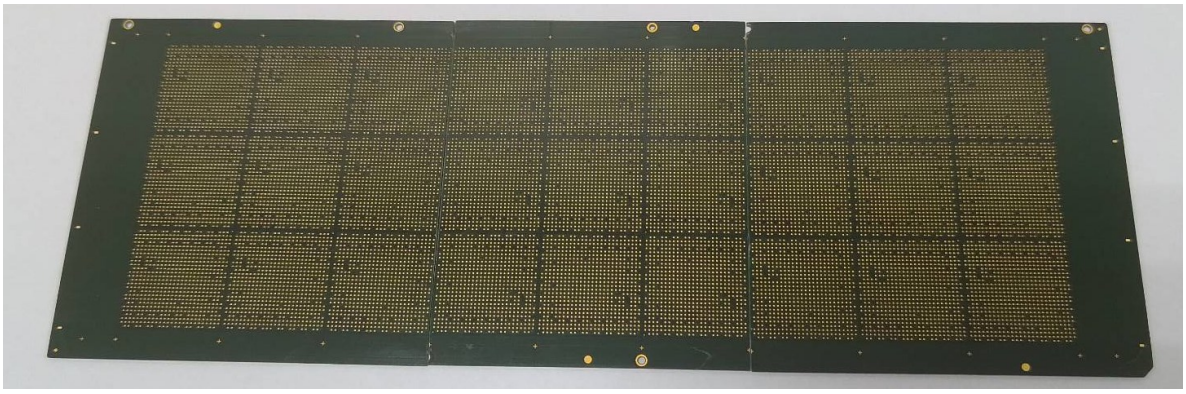


**圖 3** 半導體晶片底面

**圖 4** 半導體晶片正面

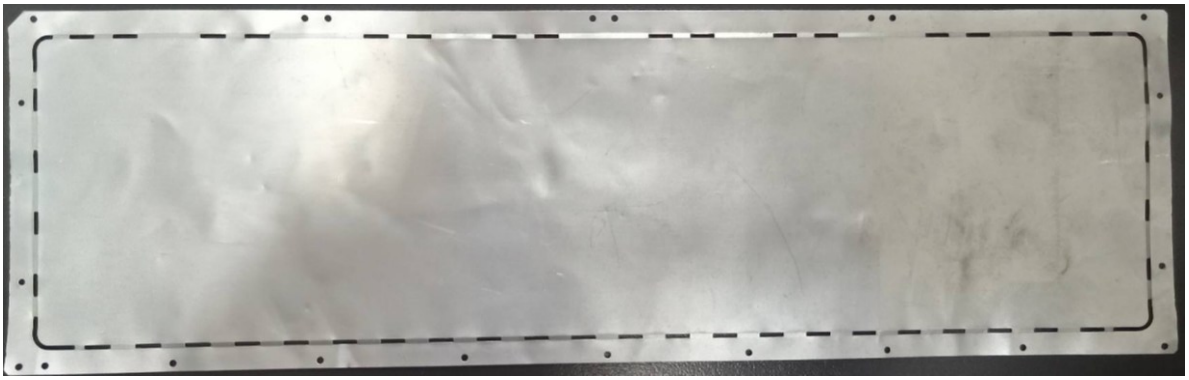


**圖 5** 上蓋

探討 IC 晶片散熱裝置內的數學模型時，因塑料會受到擠壓、速度變化、溫度變化等行為，在理論分析上可藉由連續、動量及能量方程式進行描述如下：

**連續方程式**

塑料在加工過程會產生相變化或流動變形的情況，但是其質量依然須符合質量守恆定律。此質量守恆定律可以密度在空間的連續方程式表示：

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \overline{\nabla} \times \left(\rho \vec{V}\right) = 0 \tag{1}$$

式中 ρ 為塑膠料密度，$\vec{V}$為塑膠料速度向量，可於直角座標中寫成：

$$\vec{V} = V_1 \vec{e}_1 + V_2 \vec{e}_2 + V_3 \vec{e}_3 \tag{2}$$

式中$\vec{e}_1, \vec{e}_2, \vec{e}_3$為三個方向之單位向量，$\overline{\nabla}$為一向量微分運算子，可在直角坐標系上表示如下：

$$\overline{\nabla} = \vec{e}_1 \frac{\partial}{\partial x_1} + \vec{e}_2 \frac{\partial}{\partial x_2} + \vec{e}_3 \frac{\partial}{\partial x_3} \tag{3}$$

在直角坐標系$(x_1, x_2, x_3)$中，可解連續方程式如下：

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_1}(\rho V_1) + \frac{\partial}{\partial x_2}(\rho V_2) + \frac{\partial}{\partial x_3}(\rho V_3) = 0 \tag{4}$$

**動量方程式**

描述塑料在加工過程中受力產生的動量變化或力平衡，由牛頓定律推導而得，可將向量縮寫形式可寫做如下：

$$\rho\left[\frac{\partial V}{\partial t} + (V \times \overline{\nabla}) \cdot V\right] = -\overline{\nabla} P + \overline{\nabla} \times \tau + \rho f \tag{5}$$

式中 P 為流體壓力，τ 為應力張量，$f$ 為作用力，在此將黏滯造成之問題以予忽略，在直角坐標系$(x_1, x_2, x_3)$中可寫作三項方程式如下：

$$\rho\left[\frac{\partial V_1}{\partial t} + V_1 \frac{\partial V_1}{\partial x_1} + V_2 \frac{\partial V_1}{\partial x_2} + V_3 \frac{\partial V_1}{\partial x_3}\right] = -\frac{\partial P}{\partial x_1} + \left[\frac{\partial \tau_{11}}{\partial x_1} + \frac{\partial \tau_{21}}{\partial x_2} + \frac{\partial \tau_{31}}{\partial x_3}\right] + \rho f_1 \tag{6}$$

$$\rho\left[\frac{\partial V_2}{\partial t} + V_1 \frac{\partial V_2}{\partial x_1} + V_2 \frac{\partial V_2}{\partial x_2} + V_3 \frac{\partial V_2}{\partial x_3}\right] = -\frac{\partial P}{\partial x_2} + \left[\frac{\partial \tau_{12}}{\partial x_1} + \frac{\partial \tau_{22}}{\partial x_2} + \frac{\partial \tau_{32}}{\partial x_3}\right] + \rho f_2 \tag{7}$$

$$\rho\left[\frac{\partial V_3}{\partial t} + V_1 \frac{\partial V_3}{\partial x_1} + V_2 \frac{\partial V_3}{\partial x_2} + V_3 \frac{\partial V_3}{\partial x_3}\right] = -\frac{\partial P}{\partial x_3} + \left[\frac{\partial \tau_{13}}{\partial x_1} + \frac{\partial \tau_{23}}{\partial x_2} + \frac{\partial \tau_{33}}{\partial x_3}\right] + \rho f_3 \tag{8}$$

上述式中應力張量 τ 可以矩陣形式表示如下：

$$\tau = \begin{bmatrix} \tau_{11} & \tau_{12} & \tau_{13} \\ \tau_{21} & \tau_{22} & \tau_{23} \\ \tau_{31} & \tau_{32} & \tau_{33} \end{bmatrix} \tag{9}$$

**能量方程式**

系統能量之間的轉換，需符合能量守恆之原則，於不可壓縮流體之方程式可表示如下：

$$\rho C_p \left[\frac{\partial T}{\partial t} + (\vec{V} \cdot \overline{\nabla}) \cdot T\right] = -\overline{\nabla} \times \vec{q} + \eta \Phi_v \tag{10}$$

式中左半部 T 為溫度，η 為黏度，$C_p$為流體之定壓比熱，$\vec{q}$為熱通量之向量，右半部第一項$-\overline{\nabla} \times \vec{q}$為熱傳導(Conduction)項，第二項為黏滯散逸(Viscous Dissipation)項，若只考慮第一項熱傳導，則由 Fouricr 熱傳導定律與溫度關係可表示如下：

$$\vec{q} = -k\overline{\nabla}T \tag{11}$$

式中 k 為熱傳導係數，能量方程式可表示如下：

$$\rho C_p \left[\frac{\partial T}{\partial t} + (\vec{V} \cdot \overline{\nabla}) \cdot T\right] = k \times \overline{\nabla}^2 + \eta\Phi_v \tag{12}$$

上式為黏滯散逸係數，在直角坐標系$(x_1 x_2 x_3)$中可表示如下：

$$\Phi_v = 2\left[\left(\frac{\partial V_1}{\partial x_1}\right)^2 + \left(\frac{\partial V_2}{\partial x_2}\right)^2 + \left(\frac{\partial V_3}{\partial x_3}\right)^2\right] + \left[\frac{\partial V_2}{\partial x_1} + \frac{\partial V_1}{\partial x_2}\right]^2 + \left[\frac{\partial V_3}{\partial x_2} + \frac{\partial V_2}{\partial x_3}\right]^2 + \left[\frac{\partial V_1}{\partial x_3} + \frac{\partial V_3}{\partial x_1}\right]^2 - \frac{3}{2}\left[\frac{\partial V_1}{\partial x_1} + \frac{\partial V_2}{\partial x_2} + \frac{\partial V_3}{\partial x_3}\right]^2 \tag{13}$$

由 13 式可知牛頓流體黏滯加熱項與剪切率的平方為正比關係，當產品為厚度較小之薄塑件或射出速度較高時，會導致較高的黏滯加熱產生而使得塑料發生燒焦及劣化的情形。

## 肆、結果與討論

本研究針對 IC 封裝製程中的沖膠時間進行模擬分析，探討其對封裝製程的影響。沖膠時間作為封裝製程中的關鍵參數，直接影響塑料流動性、壓力分佈及固化過程，進而影響產品的穩定性與機械性能。本研究通過模擬技術，分析不同條件下晶片散熱裝置內部壓力與溫度分佈的變化，並定量化研究其對材料流動行為。

### 一、沖膠時間比較

沖膠時間作為 IC 封裝製程中的重要參數，直接影響塑料在晶片散熱裝置中的流動行為與分佈狀態。本研究設定環境溫度(欲封裝之標的物)為 160 ºC，沖膠初始溫度為 85 ºC，填充的體積百分比為 100%，固化時間為 60 秒。圖 6 至圖 11 顯示，系統性調整沖膠時間為 1、5、10、15、20、30 秒，分析沖膠時間對封裝品質的影響。圖中顯示，沖膠時間越短，IC 晶片散熱裝置內越快填充完成，非注入處需花費 1/4 期程完成充填，本研究 IC 晶片散熱裝置之上蓋設計可使塑料均勻分佈。

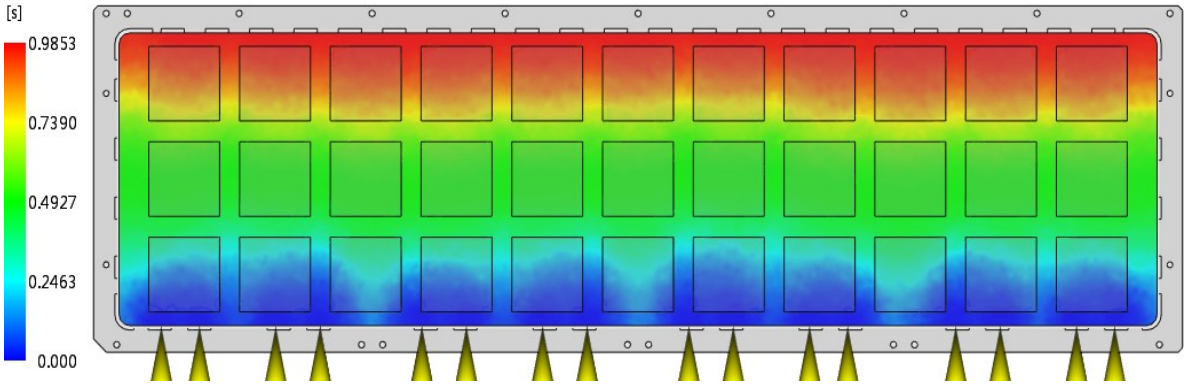



**圖 6** 沖膠時間 1 秒填充圖

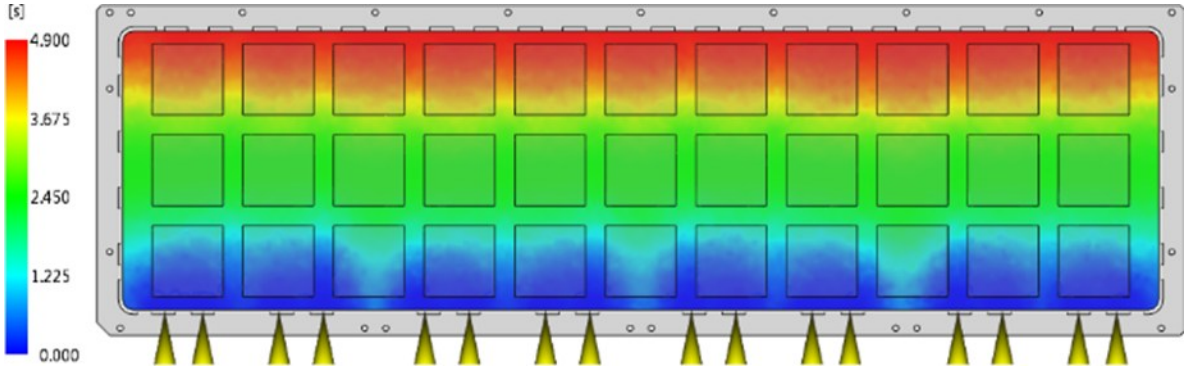



**圖 7** 沖膠時間 5 秒填充圖

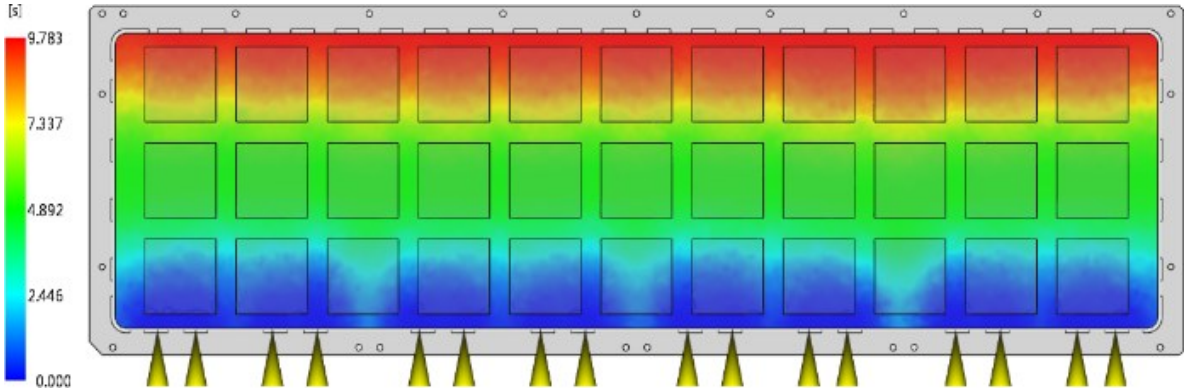



**圖 8** 沖膠時間 10 秒填充圖

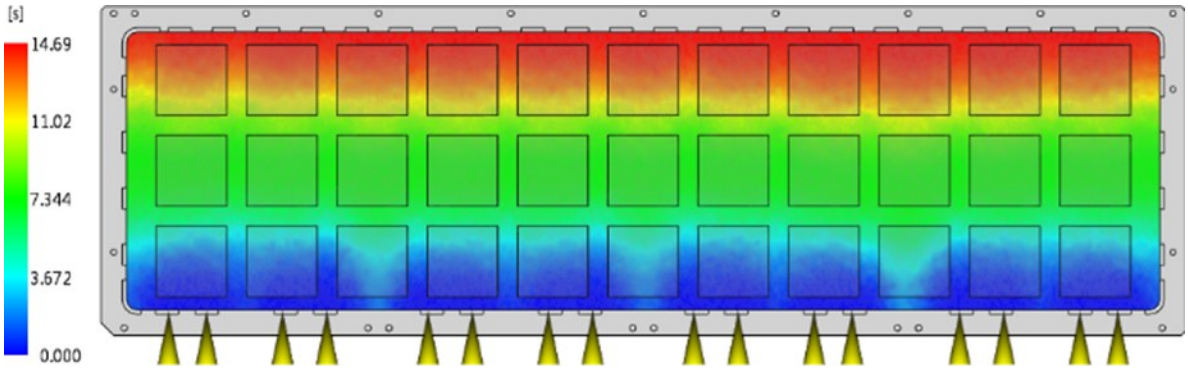



**圖 9** 沖膠時間 15 秒填充圖

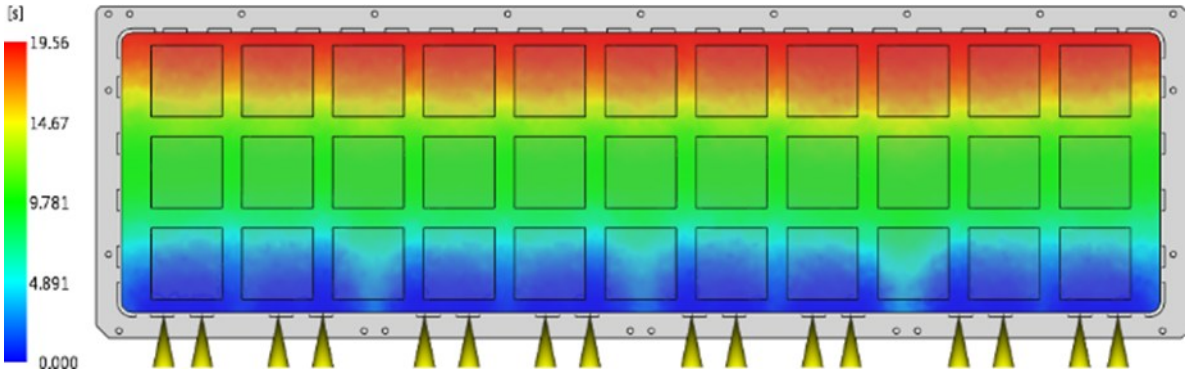



**圖 10** 沖膠時間 20 秒填充圖

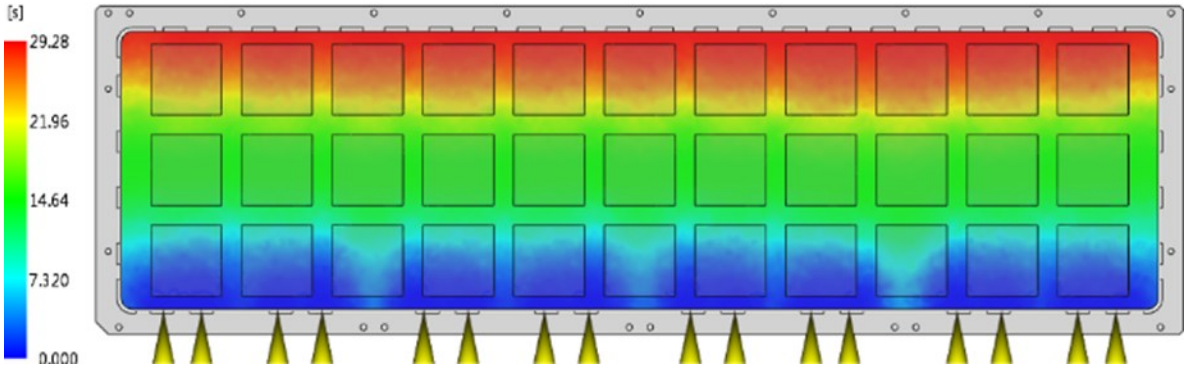



**圖 11** 沖膠時間 30 秒填充圖

**圖 12 至圖 17** 顯示沖膠時間在 1 秒時之 IC 晶片散熱裝置內溫度分佈與沖膠時間的變化圖。圖中顯示，射入區域因溫度低於顯示溫度刻度，所以呈現白色狀態。本研究設定環境溫度為 160℃，塑料初始溫度為 85℃。所以圖中也顯示，沖膠時間短，塑料流動快，IC 晶片散熱裝置內較快填滿，所以溫度分佈較低、但較快被加熱到 160℃，沖膠時間長，塑料流動慢，IC 晶片散熱裝置內較慢填滿，所以溫度分佈較高，但較久被加熱到 160℃。

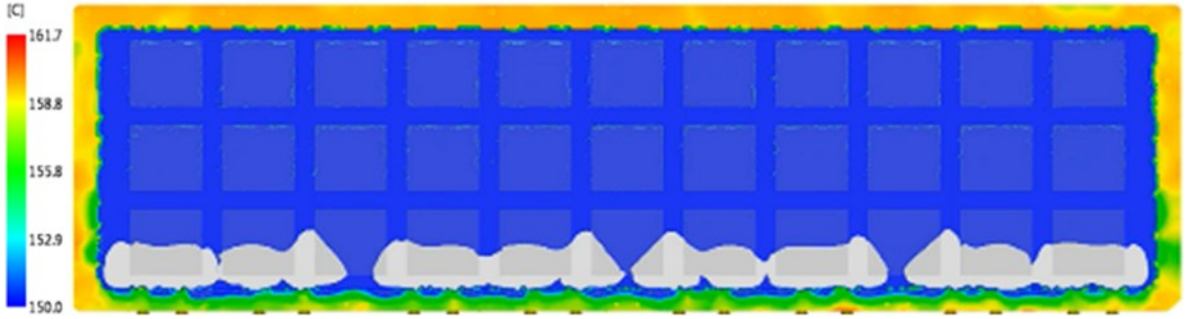



**圖 12** 沖膠時間 1 秒溫度變化

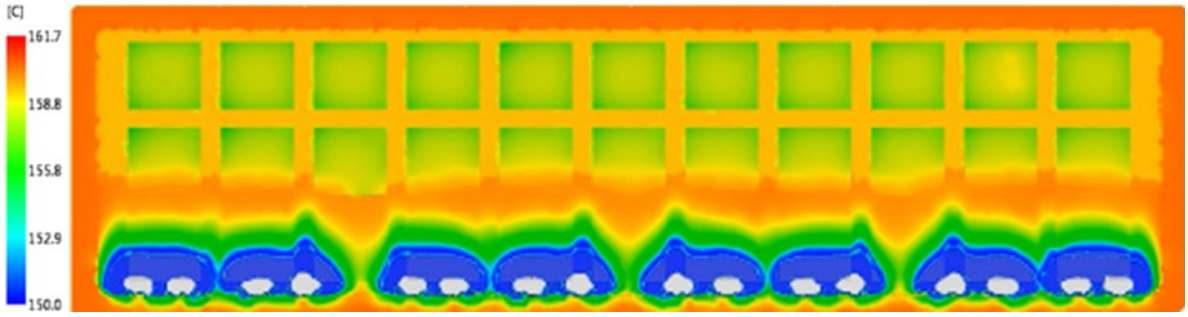



**圖 13** 沖膠時間 5 秒溫度變化

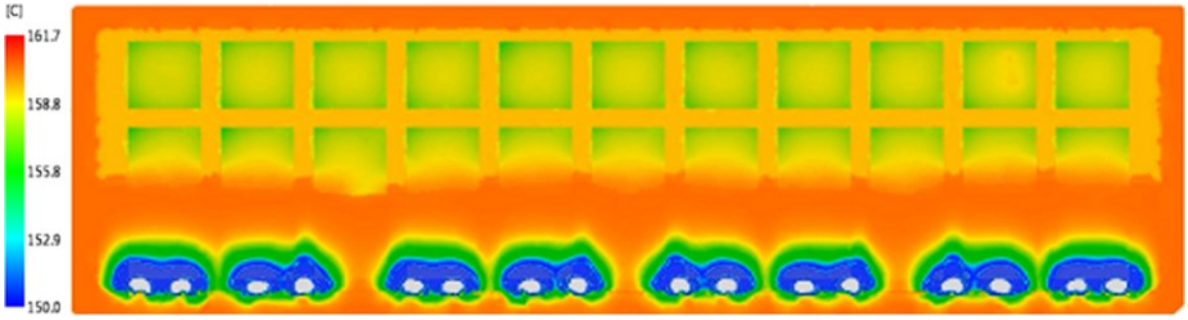



**圖 14** 沖膠時間 10 秒溫度變化

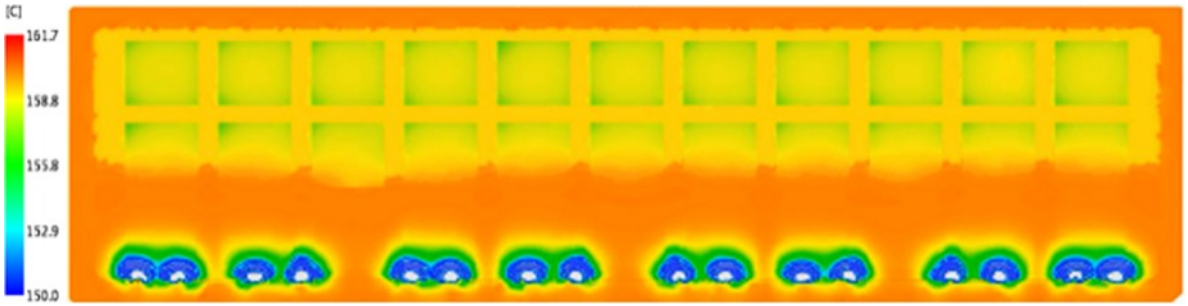



**圖 15** 沖膠時間 15 秒溫度變化

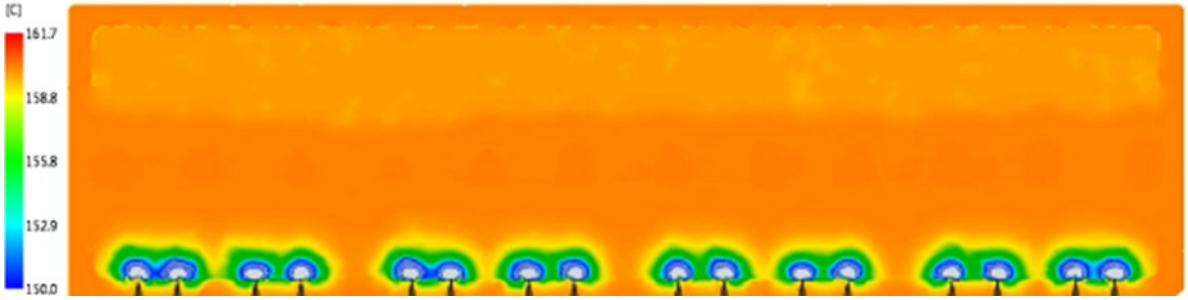



**圖 16** 沖膠時間 20 秒溫度變化

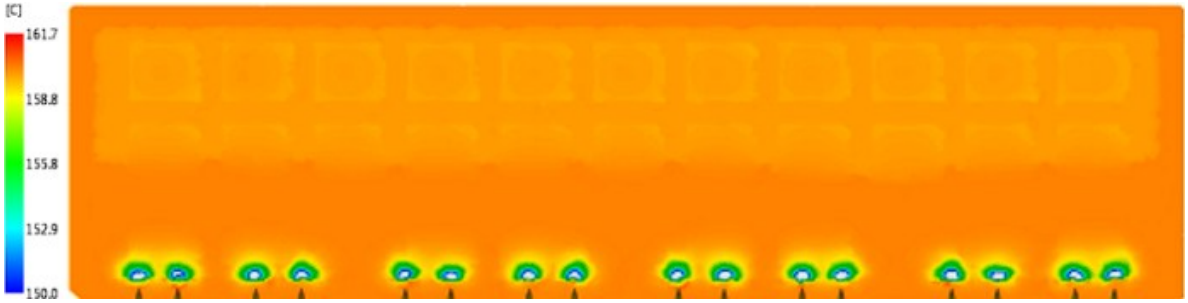



**圖 17** 沖膠時間 30 秒溫度變化

溫度量測點如**圖 18** 之 IC 晶片散熱裝置內的三個中心測量點，黑色-N193890、紅色-N199185、藍色-N194398 所示，及圖 19 之 IC 晶片散熱裝置內的三個邊緣測量點，黑色-N336054、紅色-N196124、藍色-N200231 所示，藉由溫度數據進行分析。

**圖 20 至圖 25** 顯示，短沖膠時間(在第 1 秒)條件下，IC 晶片散熱裝置內三個中心測量點間的溫度差異較大，最高可達 7.2°C；而隨著沖膠時間增加至 20 秒，IC 晶片散熱裝置內的三個中心測量點間的溫度差異逐漸減小至 0.3 °C 以內，表示 IC 晶片散

熱裝置內的溫度分佈趨於均勻。所以沖膠時間對 IC 晶片散熱裝置內的中心區域溫度分佈具有顯著影響。

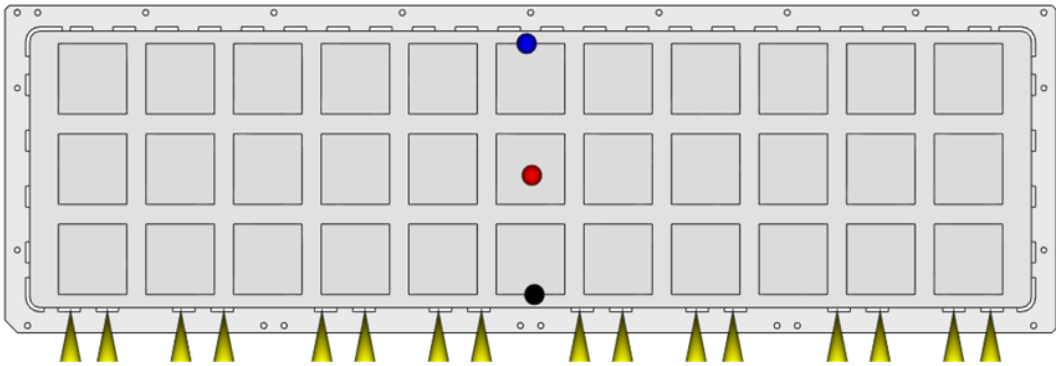


**圖 18** 中心測量點(座標:黑-N193890;紅-N199185;藍-N194398)

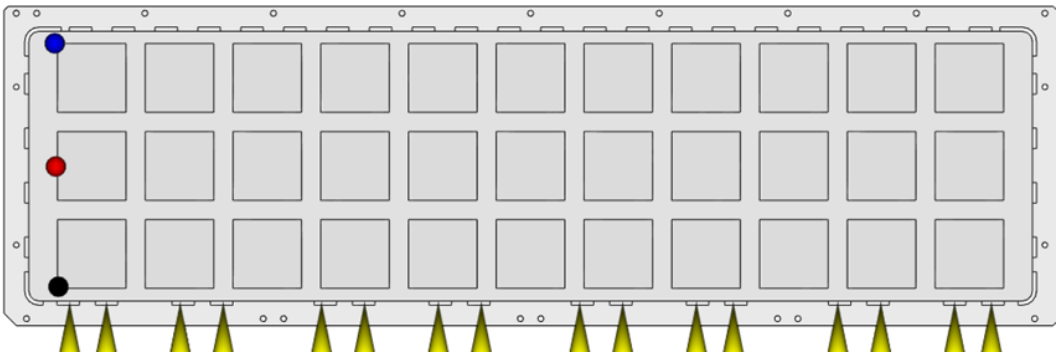


**圖 19** 邊緣測量點(座標:黑-N336054;紅-N196124;藍-N200231)

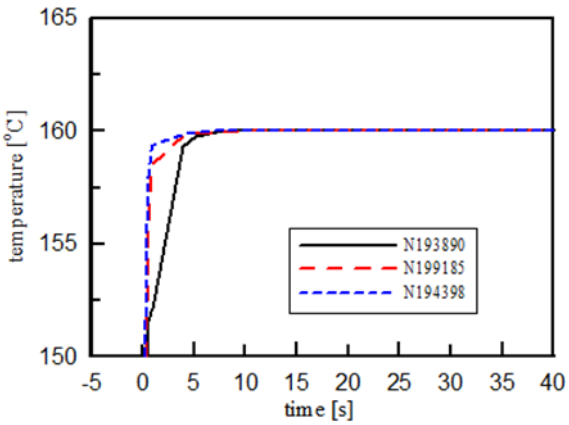



**圖 20** 中心區域沖膠時間 1 秒

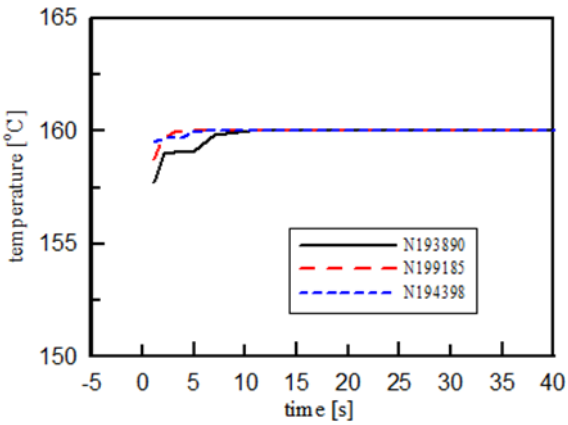



**圖 21** 中心區域沖膠時間 5 秒

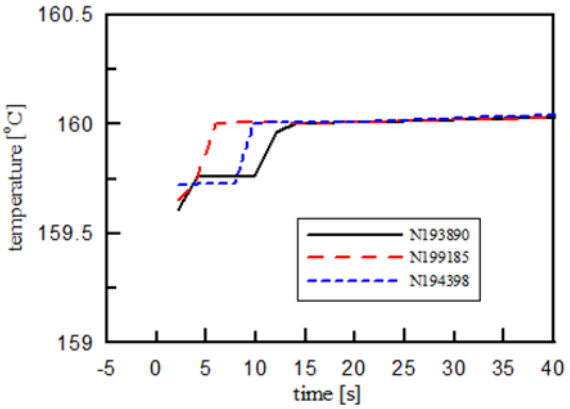



**圖 22** 中心區域沖膠時間 10 秒

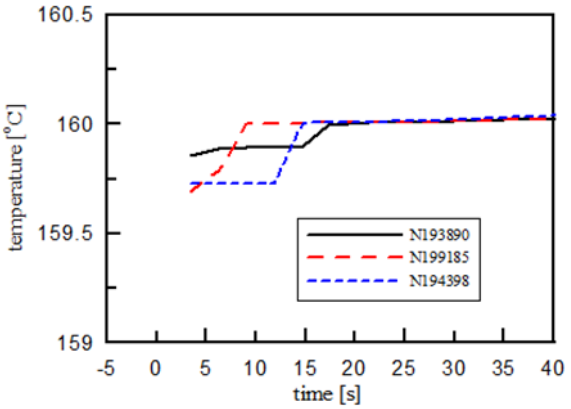



**圖 23** 中心區域沖膠時間 15 秒

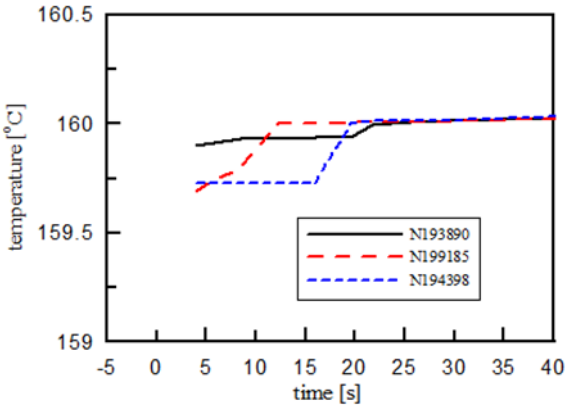



**圖 24** 中心區域沖膠時間 20 秒

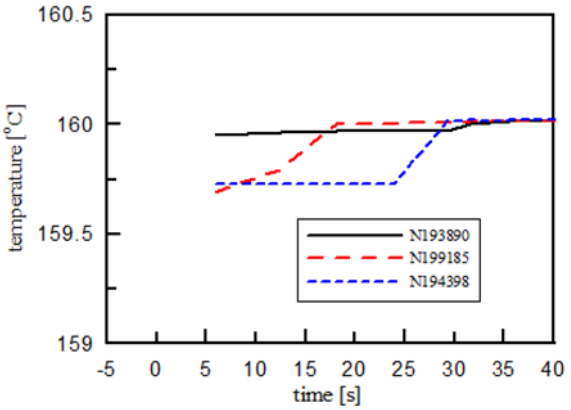



**圖 25** 中心區域沖膠時間 30 秒

**圖 26 至圖 31** 顯示，短沖膠時間(在第 1 秒)條件下，IC 晶片散熱裝置內三個邊緣測量點間的溫度差異較大，最高可達 21°C；而隨著沖膠時間增加至 20 秒，IC 晶片散熱裝置內三個邊緣測量點間的溫度差異逐漸減小至 3 °C 以內，表示 IC 晶片散熱裝置內溫度分佈趨於均勻。所以沖膠時間對 IC 晶片散熱裝置內邊緣區域溫度分佈具有顯著影響。但 IC 晶片散熱裝置內邊緣區域溫度分佈變化大於中心區域溫度分佈變化

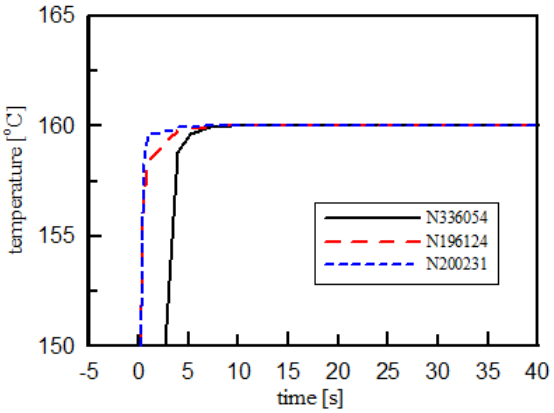



**圖 26** 邊緣區域沖膠時間 1 秒

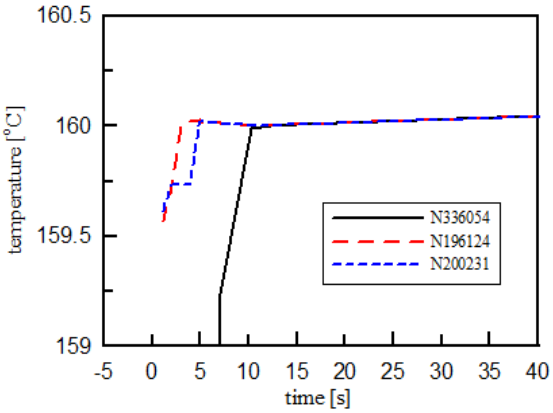



**圖 27** 邊緣區域沖膠時間 5 秒

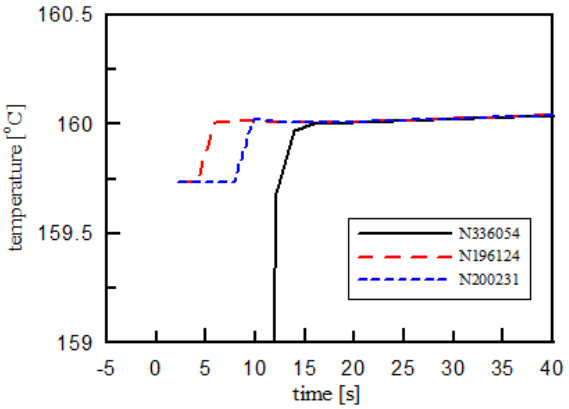



**圖 28** 邊緣區域沖膠時間 10 秒

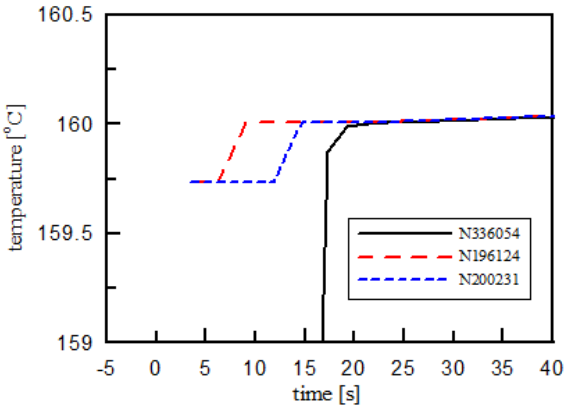



**圖 29** 邊緣區域沖膠時間 15 秒

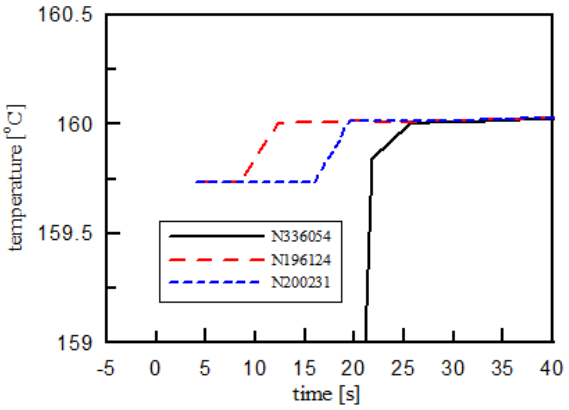



**圖 30** 邊緣區域沖膠時 20 秒

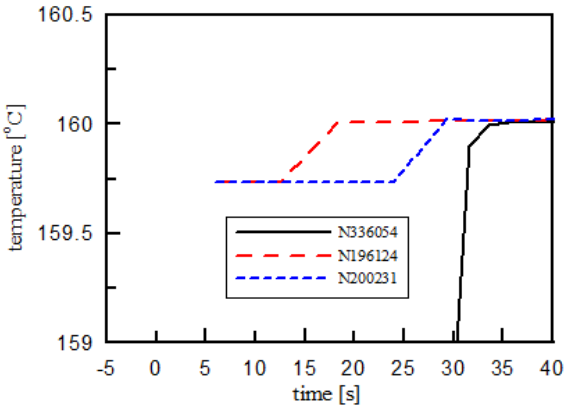



**圖 31** 邊緣區域沖膠時間 30 秒

**圖 32 至圖 35** 顯示，沖膠完成時之 IC 晶片散熱裝置內壓力分佈與沖膠時間的變化圖、各圖之壓力刻度範圍不同。圖 32 顯示，因沖膠完成時間較短，所以射入區域壓力較大，短時間內 IC 晶片散熱裝置內壓力無法平衡，圖 33 和圖 34 也有相似的趨勢，圖 35 顯示，因沖膠完成時間較長，所以射入區域壓力較小，在一定的時間內 IC 晶片散熱裝置內壓力達平衡。

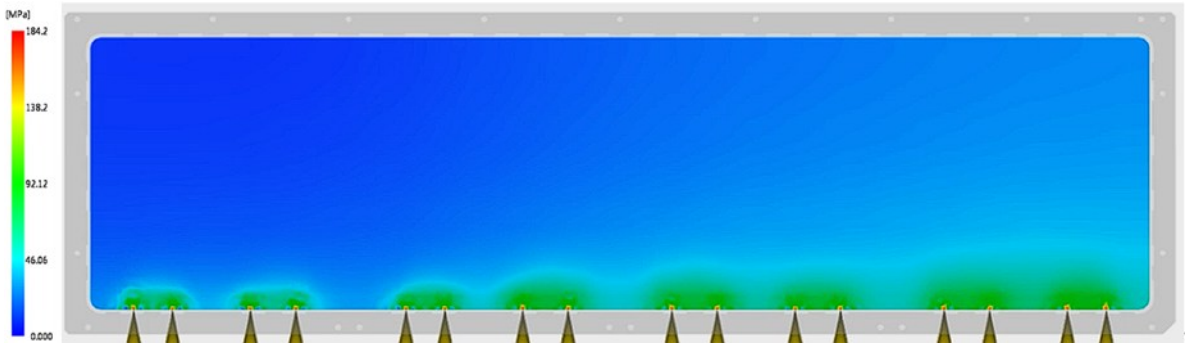



**圖 32** 沖膠時間 1 秒填充完成時壓力分佈

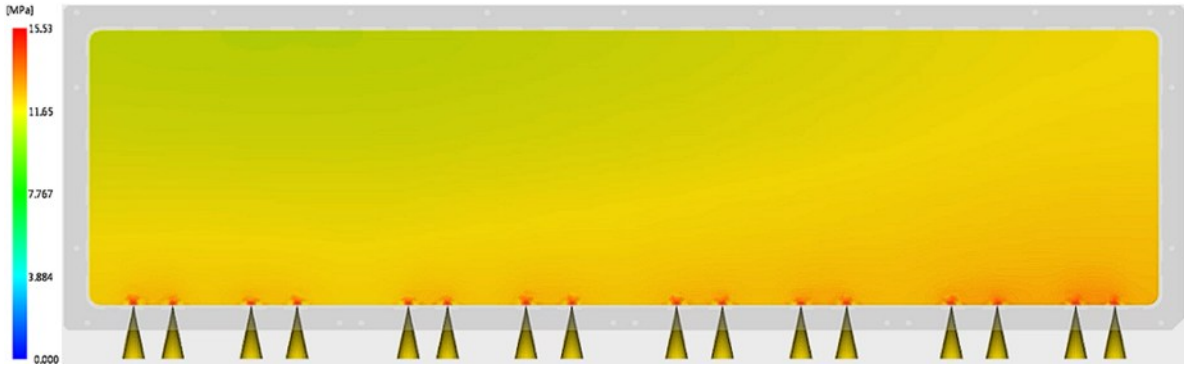



**圖 33** 沖膠時間 10 秒填充完成時壓力分佈

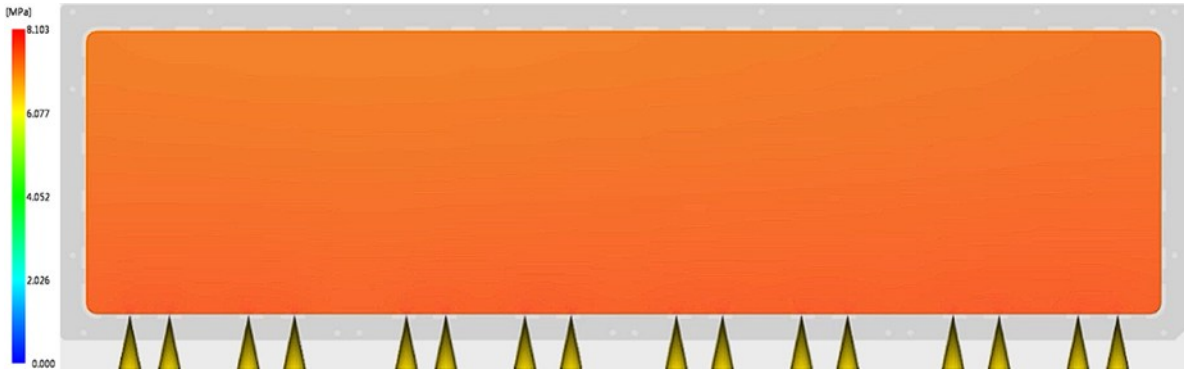



**圖 34** 沖膠時間 15 秒填充完成時壓力分佈

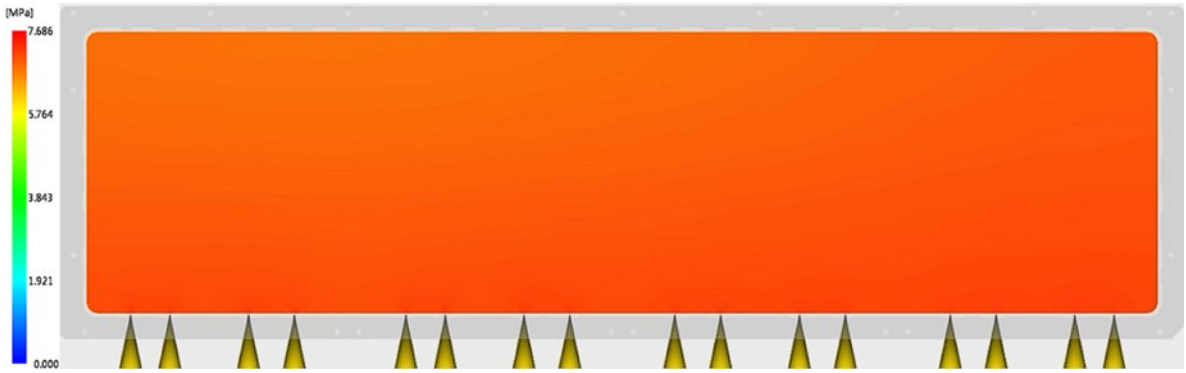



**圖 35** 沖膠時間 20 秒填充完成時壓力分佈

## 伍、結論

本研究以模流分析軟體(moldflow)進行 IC 晶片散熱裝置同步封裝製程之模流分析，綜合以上模擬結果可作以下總結：

1. 沖膠時間越短，IC 晶片散熱裝置內越快填充完成，非注入處需花費約 1/4 期程完成充填，本研究 IC 晶片散熱裝置之上蓋設計可使塑料快速均勻分佈。
2. 沖膠時間短，塑料流動快，IC 晶片散熱裝置內較快填滿，所以初期溫度分佈較低，但較快被加熱到 160℃，沖膠時間長，塑料流動慢，IC 晶片散熱裝置內較慢填滿，因此初期溫度分佈較高，但較慢被加熱到 160℃。
3. 短沖膠時間(在第 1 秒)條件下，IC 晶片散熱裝置內三個中心測量點間的溫度差異較大，最高可達 7.2℃，三個邊緣測量點間的溫度差異較大，最高可達 21℃；而隨著沖膠時間增加至 20 秒，IC 晶片散熱裝置內三個中心測量點間的溫度差異逐漸減小至 0.3 ℃ 以內，三個邊緣測量點間的溫度差異逐漸減小至 3 ℃ 以內，所以 IC 晶片散熱裝置內邊緣區域溫度分佈變化大於中心區域溫度分佈變化。
4. 在壓力方面，較長的沖膠時間致使塑料以較低的速率進行填充，以減少局部高壓區域的形成，使塑料能夠較均勻的分佈。沖膠完成需要有一定的時間，才可達到 IC 晶片散熱裝置內壓力平衡。本研究案例沖膠壓力為 2MPa，沖膠時間須至少 20 秒才能達到壓力平衡。
5. 沖膠時間合理設定可有效提升產品的一致性與性能，同時優化製程效率。

# 參考文獻

## 一、中文部分

日月光半導體製造股份有限公司(2004)。半導體封裝件。中華民國發明專利第I221332號。

日月光半導體製造股份有限公司(2006)。防止散熱片偏移之晶片封裝構造。中華民國發明專利第I246758號。

日月光半導體製造股份有限公司(2006)。散熱片。中華民國發明專利第I247401號。

日月光半導體製造股份有限公司(2006)。避免散熱片與銲線接觸的封裝結構及其製程。中華民國發明專利第I248182號。

日月光半導體製造股份有限公司(2006)。散熱片與其應用。中華民國發明專利第I267179號。

林育均(2021)。運動鏡框成型條件優化之研究(碩士論文)。台南市：南台科技大學。

林晉賢(2023)。塑膠射出成型的模流分析與快速置換模仁的研發(碩士論文)。高雄市國立高雄科技大學。

顏伯諭(2022)。光學塑膠元件射出成型製程模流分析之多目標加工參數優化設計與驗證(碩士論文)。嘉義市：國立嘉義大學。

## 二、外文部分

Jansen, K. M. B., Van Dijk, D. J., & Husselman, M. H. (1998). Effect of processing conditions on shrinkage in injection molding. *Polymer Engineering & Science, 38*(5), 838–846. 10.1002/pen.10249

Kabanemi, K. K., Vaillancourt, H., Wang, H., & Salloum, G. (1998). Residual stresses, shrinkage, and warpage of complex injection molded products: Numerical simulation and experimental validation. *Polymer Engineering & Science, 38*(1), 21–37. 10.1002/pen.10162

Subramanian, N. R., Tingyu (Leon), L., & Seng, Y. A. (2005). Optimizing warpage analysis for an optical housing. *Mechatronics (Oxford), 15*(1), 111–127. 10.1016/j.mechatronics.2004.05.004

Tantakom, P. (1998). *Processing strategies for thin wall injection molding* Available from Dissertations & Theses Europe Full Text: Science & Technology https://www.proquest.com/docview/304433172

# 運用生成式人工智慧技術導入互動式擴增實境室內設計系統

張耀中 ，胡修銘 ，李振偉 ，賴盈勳*

## 摘要

隨著資訊科技的快速發展，科技導入在室內設計領域的應用也變得日益普及，為設計流程帶來了前所未有的便利與創意發揮空間。然而，傳統的設計輔助工具通常缺乏即時交互性，大多僅能提供靜態或單向性的設計建議，導致使用者在設計過程中難以直接參與或即時調整設計內容，限制了設計師的自主性與創意表現。本研究提出一個結合生成式人工智慧與擴增實境技術建立一互動式室內設計系統，目的在提供更直覺且沉浸式室內設計體驗。本研究系統架構包含生成式物件模型，其能根據使用者輸入的關鍵字自動生成各式室內設計所需的家具或裝飾物件等，並搭配擴增實境技術將生成之物件即時呈現於現實空間中。使用者可透過手勢控制或觸控操作，在擴增實境環境中自由地調整、旋轉與擺放生成物件，實現具互動性的設計體驗。此外，本系統具備即時預覽與修改功能，使用者可即時檢視空間中物件的擺放效果，並依需求快速調整設計布局，大幅減少傳統設計過程中繁瑣的重複嘗試與修正。本研究並進一步探討根據不同生成物件參數下對於整體物件生成影響與分析，降低整體物件生成幻覺與錯誤分析。本研究透過擴增實境沉浸式特性，使用者能從多角度觀察設計成果，有助於提前發現潛在的設計問題與空間不協調之處，提升整體設計品質與效率。

**關鍵字：**生成式人工智慧、擴增實境、互動設計、室內設計系統

張耀中，國立臺東大學資訊工程學系 教授、E-mail: ycc@nttu.edu.tw
胡修銘，國立臺東大學資訊工程學系、E-mail: 11201903@gm.nttu.edu.tw
李振偉，國立臺東大學資訊工程學系、E-mail: 11301904@gm.nttu.edu.tw
賴盈勳(通訊作者)，國立臺東大學資訊工程系所 教授、E-mail: yhlai@nttu.edu.tw

# Applying Generative Artificial Intelligence for Interactive Augmented Reality Interior Design System

Yao-Chung Chang , Hu- Hsiu Ming , Li- Chen Wei , Ying-Hsun Lai*

## Abstract

With the rapid advancement of information technology, the integration of technological innovations into the field of interior design has become increasingly prevalent, offering unprecedented convenience and creative flexibility to the design process. However, traditional design assistance tools often lack real-time interactivity, typically providing only static or unidirectional design suggestions. To address these challenges, this study proposes an interactive interior design system that integrates generative artificial intelligence (AI) with augmented reality (AR) technology, aiming to provide a more intuitive and immersive design experience. The system architecture features a generative object modeling component that automatically generates various furniture and decorative items based on user-inputted keywords. Users can intuitively manipulate the generated objects within the AR environment using gesture controls or touchscreen interactions, enabling free adjustment, rotation, and placement of objects to achieve an interactive design experience. Moreover, the system offers real-time preview and modification functionalities, allowing users to immediately visualize the spatial arrangement of objects and rapidly adjust the design layout as needed, thereby significantly reducing the iterative trial-and-error processes commonly associated with traditional design workflows. This study further investigates the impact of different generation parameters on the quality and accuracy of the produced objects, aiming to minimize generative hallucinations and reduce object generation errors. Consequently, the proposed system enhances both the overall quality and efficiency of interior design projects.

**Keywords:** Generative AI、Augmented Reality、Interactive Design、Interior Design System

Yao-Chung Chang, Professor, Department of Computer Science and Information Engineering, National Taitung University, Email: ycc@nttu.edu.tw

Hu- Hsiu-Ming, Department of Computer Science and Information Engineering, National Taitung University, Email: 11201903@gm.nttu.edu.tw

Li- Chen-Wei, Department of Computer Science and Information Engineering, National Taitung University, Email: 11301904@gm.nttu.edu.tw

Ying-Hsun Lai (Corresponding Author), Professor, Department of Computer Science and Information Engineering, National Taitung University, Email: yhlai@nttu.edu.tw

# 壹、研究背景

近年來，資訊與通訊技術的迅速發展對各產業領域帶來了深遠的變革，其中尤以室內設計領域為甚。先進數位工具的導入為設計流程提供了提升效率、精確度與創意探索的新契機。然而，儘管技術有所進步，傳統的電腦輔助設計系統仍普遍存在互動性不足的問題，多僅能提供靜態視覺化與單向性建議，致使設計師與最終使用者在設計環境中無法動態互動，限制了即時回饋、反覆試驗與創意自主的空間。在室內設計領域，AI 技術的引入使得設計流程得以更加高效、智慧與個性化。特別是生成式AI的崛起，為設計者提供了多樣且富有創意的設計選項，使得室內設計的可能性大幅擴展。Liu 和 Wang（2024）提出「Mental-Gen」設計方法，透過腦機介面（Brain-Computer Interface, BCI）結合生成式 AI 模型，來協助使用者更有效地表達其室內空間設計意圖。此外，生成式AI也透過自然語言和視覺引導，讓設計方案的生成更加直觀且易於理解（Le 等, 2023）。然而，目前多數 AI 設計輔助工具仍存在著明顯的局限性，特別是在互動性與即時性方面，往往無法滿足設計師或一般消費者對於設計自由度與即時回饋的需求，因此Jang 和Lee( 2023）提出一套名為 GAIA（Generative AI-enabled Interactive Architectural design）的方法，結合大型語言模於建築資訊建模系統，以實現更互動式的設計過程。其研究結果顯示，該方法不僅能加強 AI 與設計師間的互動效率，也突顯了生成式語言模型在建築設計協作中的潛力。另一方面，擴增實境技術的興起，也為室內設計領域帶來不同之契機。透過擴增實境技術，使用者能夠將虛擬物件直接投影至現實空間中，提供沉浸式的視覺與操作體驗，進一步提升設計過程的直觀性與參與感（Shum 等, 2023）。然而，目前市場上的設計系統大多僅將 AR 作為展示工具，缺乏與 AI 系統的深度整合，導致設計流程仍然存在互動性不足與修改不便的問題。

基於上述挑戰與需求，本研究提出一套結合生成式人工智慧與擴增實境技術之互動式室內設計系統，其透過即時、直覺且沉浸式的互動方式，提升使用者參與度、創意表現與設計效率。系統核心包含一套基於關鍵字驅動的生成式人工智慧模型，能依據使用者輸入的關鍵字，自動生成各式家具與裝飾物件，並動態對應個別設計圖。此系統不僅具自動生成設計物件的能力，亦能透過擴增實境環境提供使用者即時擺放、調整與修改物件的功能。生成的物件將藉由AR視覺化技術即時呈現在現實空間中，使用者可透過自然互動方式，如手勢控制與觸控操作，自由操控、旋轉與調整物件位置，實現高度互動的設計體驗。本研究亦探討生成參數對於物件品質的影響，並致力於降低生成過程中可能出現的幻覺與錯誤，確保設計成果在功能性與美學上的可靠性。本研究期望透過此系統的建置，解決傳統 AI 輔助設計工具所面臨的互動性不足問題，並提供設計師與消費者一個易於操作、靈活且具備即時反饋的設計平台。最終，本研究將有助於推動室內設計邁向智慧化、個性化與高度參與性的發展方向，為未來設計產業注入新的創新動能。

# 貳、文獻探討

## 2.1. 生成式人工智慧

生成式人工智慧（Generative Artificial Intelligence, GAI）已成為能自動生成數位內容（如影像、音樂與自然語言文本）的關鍵技術。GAI 的主要目標在於提升內容創作的效率與可及性，使高品質內容得以更快速地產出。隨著資料集規模與模型架構的持續擴展，GAI 系統能夠從使用者輸入中提取並理解意圖資訊，進而學習更全面且貼近真實世界的資料分佈，產生更具真實感與精緻度的內容（Cao 等, 2023）。與此同時，「人工智慧生成內容」（AI-Generated Content, AIGC）概念亦逐漸受到重視。AIGC 指的是藉由先進 GAI 技術自動產生、非由人類直接創作的內容，能顯著簡化內容生產流程，在短時間內大量生成各類型的內容。例如，由 OpenAI 開發的語言模型 ChatGPT，能有效理解並有意義地回應人類語言輸入；而 DALL-E 則能根據簡單的文字描述，在數分鐘內生成獨特且高品質的圖像（Cao 等, 2025; Liu 等, 2024）。

近年來，AI 技術迅速發展，並廣泛應用於藝術、廣告與教育等多個領域（Anantrasirichai & Bull, 2022；Kietzmann 等, 2018）。其中，AI 繪圖工具如 Stable Diffusion 與 ComfyUI 已被廣泛應用於快速生成高品質的圖像資源。這些工具不僅豐富了教學內容，亦有效提升了學習效率與互動性。透過即時的視覺回饋與創意探索功能，生成式人工智慧工具有助於營造更生動、有趣且具參與感的學習環境，促進學習者的積極投入與學習成果的提升（羅禎倞, 2024；徐志溢, 2023）。而在藝術設計方面，生成式人工智慧可透過大規模資料學習不同的設計風格與元素，快速生成多樣化的設計方案，顯著提升設計效率與創造力（Zhou & Wang, 2024）。此外，生成式人工智慧結合自然語言處理技術，使用者僅需輸入簡單的文字描述，即可自動生成具體的設計圖像與方案，此舉大幅降低了設計門檻，並促進了使用者參與設計流程的意願與可能性，進一步擴展了創意產出的範疇。

## 2.2 擴增實境

擴增實境（Augmented Reality, AR）作為一種新興體驗技術，透過將電腦生成的虛擬內容與特定地點或活動結合，強化了使用者對現實世界的感知與互動體驗。近年來，隨著行動裝置的普及與運算能力提升，AR 應用已變得更加便攜並廣泛部署於行動平台上。初期的 AR 內容觀看方式多透過網路攝影機或行動裝置掃描 QR 碼，進行網頁或行動應用程式的互動，而後續技術演進則引入了頭戴式顯示器（Head-Mounted Display, HMD）作為觀看介面。使用者配戴 HMD（例如 AR 眼鏡）時，能夠在顯示螢幕上同時觀看虛擬內容與真實環境，或透過連接相機即時映射真實場景（Yuen et al., 2011）。目前，AR 技術已廣泛應用於醫療保健、餐旅、教育、旅遊、文化、軍事、建築、設計、工程、遊戲與娛樂等多個領域，展現出其跨領域整合與推動產業創新的潛力（Hsieh, 2018）。

在設計領域中，AR 技術可讓使用者將虛擬設計元素即時融合至現實環境中，創造沉浸式的互動體驗。使用者得以即時觀察、調整虛擬物件的位置、尺寸與其他屬性，直觀且高效地實現設計構想。此特性不僅顯著提升了專業設計師的工作效率，同時亦降低了一般使用者參與設計過程的門檻，使其能夠以更具體、真實的方式參與空間規劃與設計決策。近年來，業界與學界亦開始探索將 GAI 與 AR 技術結合，期望開發出更具互動性與直覺性的設計輔助工具。透過將 GAI 自動生成的設計元素即時導入 AR 環境，使用者能於真實空間中迅速完成設計布局，並即時進行調整與最佳化（Zhang et al., 2024）。然而，目前此領域之研究與應用仍處於初步階段，大多數現有系統在互動性、即時反饋與自適應調整等方面仍存在不足，尚無法完全滿足使用者對於即時參與與自由設計操作的需求。

基於上述現況，如何有效整合生成式人工智慧與擴增實境技術，建立一套真正具備即時互動性與沉浸感的室內設計系統，成為值得深入探討的重要課題。因此，本研究將在系統性分析 GAI 與 AR 技術的整合模式，提出更完善的系統架構與技術方法，以提升室內設計過程中的互動性、即時性與創造力表現，並為未來智慧設計應用提供具體可行的技術參考與發展方向。

## 參、研究方法

### 一、系統架構

本研究將主要探討 GAI 與 AR 技術整合於室內設計應用服務，在 GAI 部分主要採用一開源生成式圖像生成工具 Stable Diffusion 作為整體圖像產生應用。Stable Diffusion 是一個深度學習生成式模型，可以根據文字描述於潛在空間中進行噪聲預測與邊解碼建立圖像或物件。本研究搭配採用 ComfyUI 使用者圖像介面來管理整體 Stable Diffusion 自定義的生成流程。ComfyUI 支援多種 Stable Diffusion AI 模型並可透過流程管理方式建立自己想要風格與透過提示詞來產生想要圖像。而在 AR 部分則主要採用 Unity 套件在行動裝置部分建立使用者相關互動介面與功能服務，將運用 Unity 行動裝置應用程式串接 ComfyUI 提供之 API，供使用者從語音或文字輸入框輸入預想生成物件的提示詞，提送至 ComfyUI 生成 3D 模型並儲存至指定資料夾。系統運用 System watcher 來監聽該資料夾有無檔案新增，若有則匯入至 Unity 並加載至場景中，使用者再將 AR 眼鏡連結到行動裝置上，AR 眼鏡即可呈現生成的 3D 模型，整體系統流程圖如**圖 1** 所示。

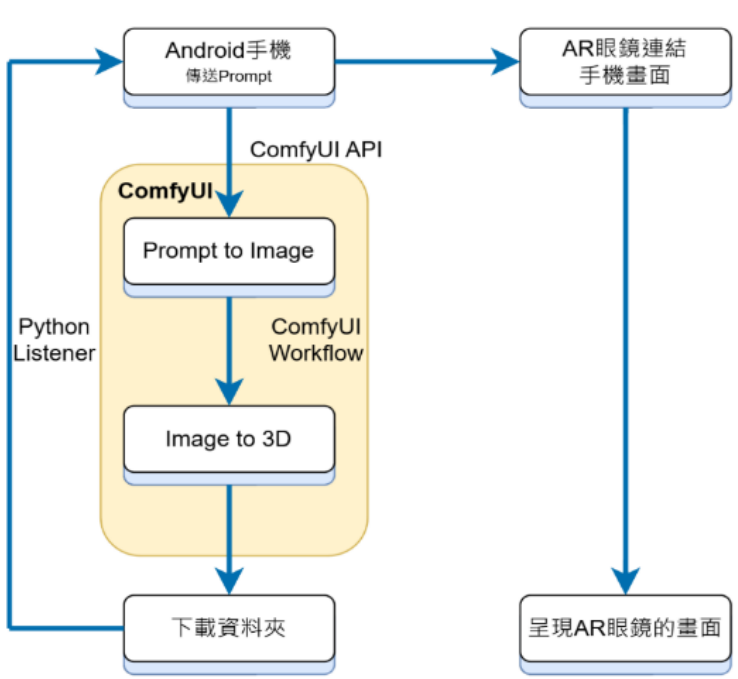



**圖 1.** 系統流程圖

## 二、生成式 2D 物件模組

首先，本研究利用 ComfyUI 建立一個基於生成式 AI 的 2D 物件生成流程。該流程以自然語言提示（Prompt）為起點，並透過文生圖（Text-to-Image）模型將描述性文字轉換為對應的圖像。整體生成模型流程中將主要包含以下功能區塊

(一) Checkpoint 加載器：主要用於載入 Stable Diffusion 的主模型提供後續圖片生成風格參考，而 Checkpoint 加載器其可串接包含模型、CLIP 模組與變分自編碼器(Variational Autoencoder，VAE)。

(二) CLIP 模組：該模組將主要用於理解提示詞語意並將提示詞語意轉換成為 Stable Diffusion 所需採用語意向量，以便讓模型理解所需生成圖像。

(三) 空 Latent 圖像模組（Empty Latent Image Node）：該模組主要用於建立一個潛在向量空間（Latent Space），讓圖像生成於該設定潛在向量空間降低整體運算效能。

(四) K 採樣器：K 採樣器負責生成潛在圖像（Latent Image）顯示，控制生成過程中的隨機種子、cfg 比例與取樣演算法等相關參數。其根據初始潛在圖像、文字提示語意向量與採樣演算法生成最後潛在圖像。

(五) VAE 解碼：該模組則負責將最後潛在圖像解碼還原至圖像空間，產出對應的視覺內容。VAE 同時可透過編碼將圖像空間圖片編碼至潛在圖像空間，讓其生成模型可進行參考。

本研究流程以 Checkpoint 加載器載入經訓練完成的模型檔案（本案例中為 realvisxl），並連接至 CLIP 模組以解析語意。主要提示詞經由 CLIP 文本編碼模組進行語意嵌入，並同時接入負面提示詞以過濾掉不必要的影像特徵。同時，本研究透過空 Latent 圖像模組初始化圖像的介面，設定最後圖像解析度為 512 x 512，並將其與語意條件一起傳入 K 採樣器。K 採樣器則根據設定條件進行生成潛在空間圖片，圖片完成後再透過 VAE 解碼將潛在表示還原為最終圖片並顯示使用者可見之圖像檢視。整題 ComfyUI 生成流程如**圖 2** 所示。

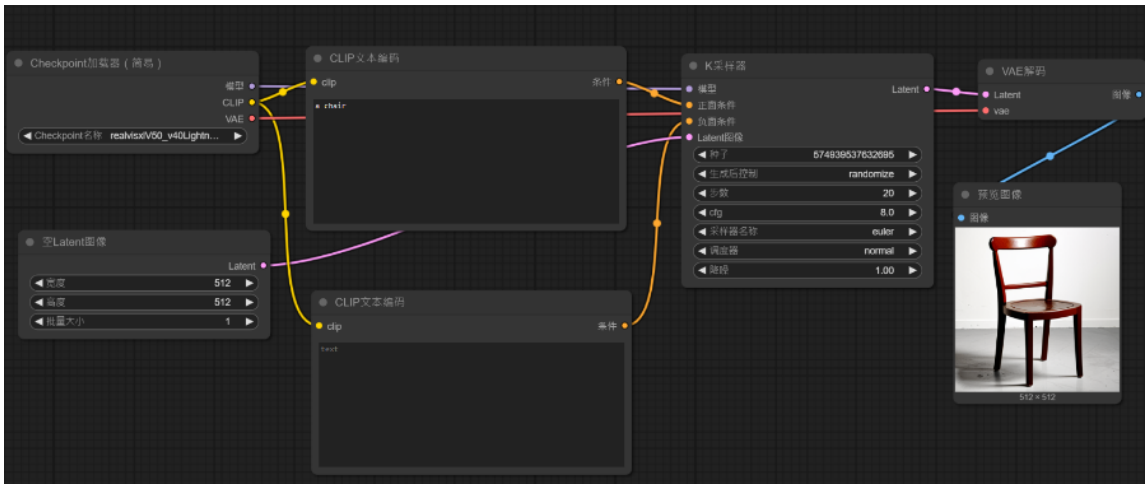



**圖 2.** ComfyUI Text to Image 流程

## 三、2D 圖像轉換 3D 物件

在完成 2D 圖像生成之後，利用 ComfyUI 進一步將靜態圖像轉換為可用於擴增實境的 3D 模型，流程如**圖 3** 所示。此流程整合了 Stable-Fast-3D 節點，將生成圖像透過 Stable-Fast-3D 建構對應的三維網格結構，以利擴增實境應用。因為生成式 3D 模型容易將 2D 圖像的背景和主體物件做混和再生成，因此首先透過 Image Remove Background (rembg)模組，去除 2D 圖像背景，只保留乾淨的主體，以利後續生成乾淨的 3D 模型。背景去除後的圖像，會被傳入圖像轉換為遮罩的相關 模組，**圖 3** 範例是使用 alpha mask，作為 3D 建模時的遮罩參考。

接著，該遮罩與圖像一併輸入至 Stable Fast 3D Sampler 模組進行 3D 模型構建。在此步驟中，系統會根據輸入參數如 foreground_ratio、texture_resolution、remesh 及 vertex_count 來控制生成結果的細緻程度與模型大小。以圖 3 為例，設定 foreground_ratio 為 0.90、texture_resolution 為 2048、remesh 為 none，並將 vertex_count 設定為 20000，以確保模型細節完整呈現。生成後的 3D 網格模型可即時預覽，透過 Stable Fast 3D Preview 節點檢視生成結果之視角與貼圖效果，並可透過 Stable Fast 3D Save 節點將結果匯出成標準 3D 格式檔案(glb)，進行後續 AR 系統整合、3D 列印或動畫應用。

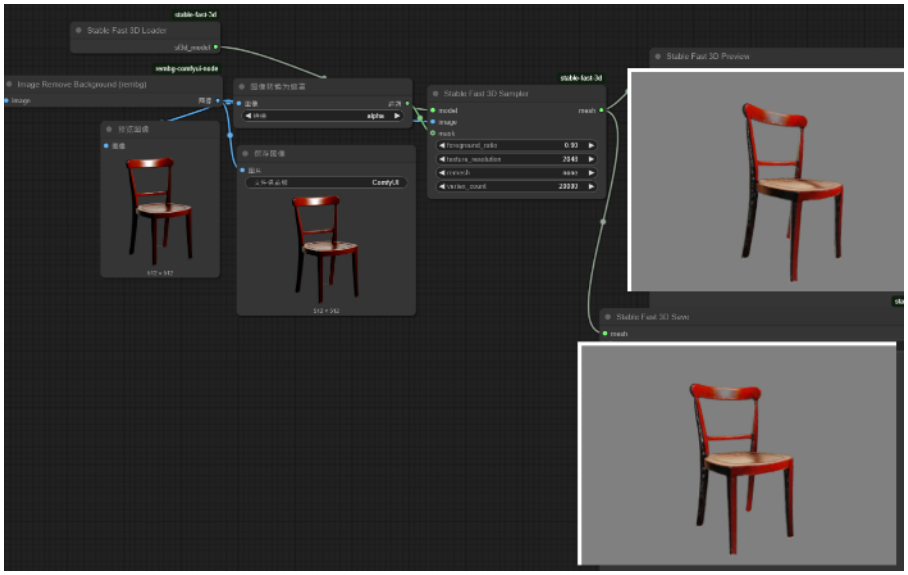


**圖 3.** ComfyUI Image to 3D 流程

## 四、 API 串接與擴增實境應用

將利用 ComfyUI 製作的 workflow 打包成 API，Unity 使用此 API 即可做到同樣效果，接著透過指定 3D 模型輸出路徑，將生成之 3D 模型自動儲存至輸出路徑的資料夾。此輸出機制為 Unity 前端應用程式抓取 3D 模型呈現給使用者的資料來源。

在 Unity 端，系統利用 C#語言中的 FileSystemWatcher 元件建立一套事件驅動的即時資源監控架構。該元件可持續偵測指定資料夾中新增的模型檔案，一旦偵測到新資源生成，便會自動觸發事件，將 3D 模型載入與做渲染，並將模型呈現出來，如圖 4 所示。最終，此流程可打包成 APK 應用程式，供使用者下載至 Android 行動裝置之中，並配合 AR 裝置進行顯示。使用者透過行動裝置即可產製 3D 模型，並將其利用 AR 裝置即時映射至真實場域中，呈現沉浸式的擴增實境體驗。

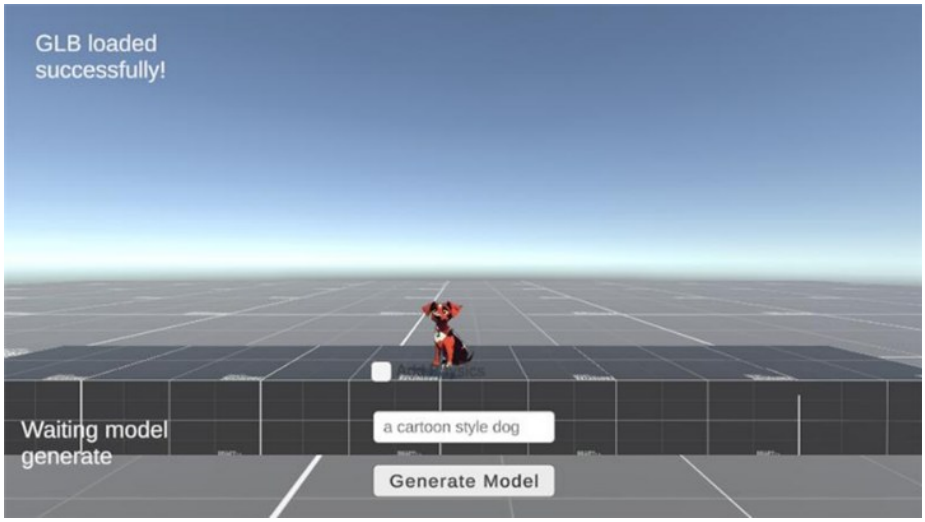



**圖 4.** 偵測是否有輸出新的 3D 模型，並將 3D 模型呈現出來

# 肆、實驗成果

## 一、生成式家具功能實現

本研究以室內設計為核心，開發了一套創新的 AI 驅動三維空間佈局生成系統。該系統透過生成式 AI 技術，能夠根據使用者的自然語言描述，快速生成客製化的室內設計所需物件，並且使用者能配戴 AR 眼鏡將 3D 模型呈現出來，供使用者做設計使用。本系統採用 AI 生成技術，將使用者的自然語言需求轉化為具體的三維空間佈局。例如，當使用者輸入「舒適的書房空間，包含木質桌子、木質椅子和木質書櫃」時，系統能夠即時生成符合描述的室內空間模型，如**圖 5** 所示。

**圖 5.** 使用者可以配戴 AR 眼鏡將 3D 模型呈現在現實生活中

## 二、生成式參數實驗影響

本研究進一步探討對於生成式模型中相關參數對於整體物件生成影響，本研究將主要採用以下參數進行分析設定討論。

- Foreground_ratio：該參數控制圖片中哪個區域是要進行建模的區塊，參數依據是根據遮罩（mask）來判定，數值介於 0～1 之間，如果參數太低會導致只生成部分區域，例如只生成椅腳，太高則會因為太多雜訊導致生成的模型出現異常。
- Texture_resolution: Texture_resolution 為控制生成模型貼圖的細節度。太低會導致圖片模糊，太高則會大幅增加生成時間。
- Remesh: 該參數指是控制是否調整、重新構建潛在圖像（latent image）或實際圖像的結構資訊，以利後續的重繪（inpainting）、合成、解析度轉換或風格融合。
- Vertex_count: 該參數則為控制模型的複雜度與細緻度，即用多少個頂點構成整個 3D 網格，在本研究採用 Stable-Fast-3D 模型目前版本最高只能設定 20,000。

整體相關實驗數據與生成結果如表 1 所示，經實驗各參數的影響結果，影響最大為 vertex_count，如果參數過低會導致模型複雜度和細緻度大幅下滑，因此盡量保持設定最高 20,000，而第二影響最大為 Foreground_ratio，因為這會影響訓練內容，參數過低只會生成圖片部分區塊的模型，參數過高則會把圖片雜訊全部都一起拿去生成模型。Texture_resolution 和 Remesh 影響會小一點，主要是影響最終模型的精緻度如何。

**表 1. 生成式參數實驗結果**

| **Foreground_ratio** | 0.90 | 1.00 | 0.20 | 0.90 | 0.90 | 0.90 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Texture_resolution** | 2,048 | 2,048 | 2,048 | 512 | 2,048 | 2,048 |
| **Remesh** | none | none | none | none | triangle | none |
| **Vertex_count** | 20,000 | 20,000 | 20,000 | 20,000 | 20,000 | 100 |
| **3D 模型** | | | | | | |

## 結論

本研究成功整合 ComfyUI 生成式 AI 技術與 Unity 環境，建立一套從自然語言輸入開始直至 3D 模型即時生成完整流程，並將流程打包成 API 供 Unity 做使用，將生成出來了 3D 模型應用在擴增實境。透過 Stable Fast 3D 等模型的串接與資源監控機制的建構，使用者僅需輸入描述語句，即可一鍵完成模型生成並於行動裝置中配合擴增實境進行視覺化呈現，實現高效率 3D 模型的製作。

本系統有找出相對穩定的參數與模型配置，但仍不是最好的結果，如模型生成精度、背面結構還原、貼圖細節還原與載入效能等問題。針對這些限制，後續將持續優化生成參數的設定邏輯（如 cfg、step、seed）、進行提示詞模板化開發，以及更多模型加入訓練過程。目前參數與模型設定皆是設定好不可更改，因此未來會進一步發展動態參數調整與自動優化機制，以提升整體生成品質與使用體驗。

本研究未來將持續朝向三個主要方向進行發展：一為提升語意準確性與視覺保真度，二為優化互動操作與即時體驗，三為拓展應用情境至教育、數位展演等多元領域，而不是僅使用在室內設計領域。藉由技術不斷迭代與創新，本系統未來期望可以持續降低 3D 創作門檻，為大眾提供更智慧且高效的創作工具，推動生成式 AI 技術不僅在空間與內容創作領域中的落地應用，也能運用在更多的領域上。

# 參考文獻

羅禎倪（2024）。AI 工具 ComfyUI 輔助 2D 人型角色動畫應用於各景別之研究。〔碩士論文。嶺東科技大學〕**臺灣博碩士論文知識加值系統**。https://hdl.handle.net/11296/uhj3zm。

徐志溢（2023）。基於 Stable Diffusion 模型和 LoRA 優化訓練生成人臉表情。〔碩士論文。國立高雄科技大學〕**臺灣博碩士論文知識加值系統**。https://hdl.handle.net/11296/j597b4。

Anantrasirichai, N., & Bull, D. (2022). Artificial intelligence in the creative industries: a review. *Artificial intelligence review*, 55(1), 589-656.

Cao, Y., Li, S., Liu, Y., Yan, Z., Dai, Y., Yu, P. S., & Sun, L. (2023). A comprehensive survey of ai-generated content (aigc): A history of generative ai from gan to chatgpt. *arXiv preprint arXiv:2303.04226*.

Cao, Y., Li, S., Liu, Y., Yan, Z., Dai, Y., Yu, P., & Sun, L. (2025). A survey of ai-generated content (aigc). *ACM Computing Surveys*, 57(5), 1-38.

Hsieh, M. C., & Lee, J. J. (2018). Preliminary study of VR and AR applications in medical and healthcare education. *J Nurs Health Stud*, *3*(1), 1.

Liu, J., Wang, Z., Xie, J., & Pei, L. (2024). From ChatGPT, DALL-E 3 to Sora: How has Generative AI Changed Digital Humanities Research and Services?. *arXiv preprint arXiv:2404.18518*.

Kietzmann, J., Paschen, J., & Treen, E. (2018). Artificial intelligence in advertising: How marketers can leverage artificial intelligence along the consumer journey. *Journal of Advertising Research*, *58*(3), 263-267.

Yuen, S. C. Y., Yaoyuneyong, G., & Johnson, E. (2011). Augmented reality: An overview and five directions for AR in education. *Journal of Educational Technology Development and Exchange (JETDE)*, *4*(1), 11.

# 探討行動程式應用輔助原住民族語言學習研究之成效

陳世曄[1]、鄞少君[2]、賴盈勳[2*]

## 摘要

臺灣原住民語言隨著原民人口減少與都市化影響，目前僅少數原住民族人員能流利使用與理解原住民語言意涵，整體原民語言文化傳承已逐步面臨瀕危情況。雖政府現將原民語言學習納入課綱之中，但傳統教學往往著重於課本講義教學而無法實際應用於生活應用中造成整體學習效果有限。而隨著科技發展，如何結合現代科技以提升學習動機與成效亦成為本土語言教育的關鍵研究方向。

本研究嘗試結合行動程式應用搭配情境學習方式，針對 15 名排灣族學生，進行六週資訊輔助族語教學，運用情境生活所需詞彙與對話融入整體教學環境，並透過前後測量化數據與質性訪談，探討資訊對學習成效的影響。研究發現，行動學習系統的易用性影響學生族語學習態度，而系統有用性則可增強學生族群認同與整體族語學習成效。透過本研究顯示科技在族語教育中的持續保存與傳承族語，並提升學習動機之價值契機。

**關鍵字：**行動學習、原民語言學習、科技輔助、學習動機

[1] 陳世曄，國立成功大學工程科學所 副教授，E-mail: sychen-ncku@gs.ncku.edu.tw
[2] 鄞少君，國立臺東大學資訊工程學系，E-mail: shaojaun07@gmail.com
[2] 賴盈勳(通訊作者)，國立臺東大學資訊工程學系所 教授、E-mail: yhlai@nttu.edu.tw

# A Study on the Effectiveness of Mobile Applications in Supporting Indigenous Language Learning

Shih-Yeh Chen[1], Shao-Chun Yin[2], Ying-Hsun Lai [2]*

## Abstract

The indigenous languages of Taiwan are increasingly endangered due to declining indigenous populations and the impacts of urbanization. At present, only a small number of indigenous individuals can fluently use and comprehend the meanings embedded in indigenous languages, placing the overall linguistic and cultural heritage at risk. Although the government has incorporated indigenous language learning into the national curriculum, traditional instructional approaches predominantly focus on textbook-based teaching, with limited opportunities for practical application in daily life, thereby constraining overall learning effectiveness. With the rapid advancement of technology, integrating modern technological tools to enhance learning motivation and outcomes has become a critical research direction in the field of indigenous language education.

This study explores the integration of mobile application technology with situational learning approaches. A six-week technology-assisted indigenous language instruction program was conducted with 15 Paiwan students. The instructional design incorporated daily situational vocabulary and conversational contexts into the learning environment. Quantitative data were collected through pre- and post-tests, complemented by qualitative interviews, to examine the impact of technological intervention on learning outcomes. The findings reveal that the perceived ease of use of the mobile learning system significantly influenced students' attitudes toward indigenous language learning, while the perceived usefulness of the system enhanced both students' ethnic identity and their overall language acquisition performance. This study highlights the critical role of technology in preserving and transmitting indigenous languages and underscores its potential in fostering greater learning motivation and engagement.

**Keywords:** Mobile Learning, Indigenous Language Learning, Technology Assisted Learning, Learning Motivation

[1] Shih-Yeh Chen, Associate Professor, Department of Engineering Science, National Cheng Kung University. E-mail: sychen-ncku@gs.ncku.edu.tw

[2] Shao-Chun Yin, Student, Department of Computer Science and Information Engineering, National Taitung University. E-mail: shaojaun07@gmail.com

[2] Ying-Hsun Lai (Corresponding Author), Professor, Department of Computer Science and Information Engineering, National Taitung University, Email: yhlai@nttu.edu.tw

# 壹、前言

台灣原住民族語言正面臨嚴重的流失危機。根據聯合國教科文組織（UNESCO）的報告，台灣有 5 種原住民族語言被列為「極度危險」級別，9 種語言屬於「脆弱」類別，另有 16 種語言則處於接近滅絕的狀態。語言的流失不僅意味著語音系統的消失，更象徵著文化、歷史及價值觀的喪失。導致語言衰退的原因多樣，主要包括政府早期推行的國語政策、官方語言教育的強制實施，以及原住民族群之間通婚現象的增加等因素。自台灣政府積極推行國語政策以來，原住民族語言在學校教育、媒體報導與公共場合中的使用率大幅下降，日常生活中母語接觸機會日益減少，進一步加劇了語言傳承的困難。此外，隨著跨族群通婚比例上升，語言在家庭環境中的純粹性亦逐漸消失，加速了原住民族語言的流失進程。

語言不僅是溝通的工具，更是文化傳承的核心與族群身份認同的重要象徵。每一種語言背後承載著該族群獨特的歷史經驗、價值體系與世界觀。當一種語言消失時，亦代表著該族群的智慧、傳統習俗與文化觀念的消逝。語言與文化多樣性的減少，不僅對原住民族群本身造成衝擊，對整個人類文明的多樣性與文化發展亦構成重大損失。隨著全球化與現代化進程加速，語言與文化的多樣性正遭遇前所未有的挑戰，這一現象已成為台灣及全球各國亟需共同面對的重要課題。 為因應語言流失的危機，台灣政府自 1996 年起推動多項原住民族語言保存與傳承政策，積極開發教材、設置族語課程，並提供研究與教學資源的經費支持，以促進原住民族語言的學習與復興。然而，傳統語言教育方式成效有限。許多學校開設的原住民族語言課程數量不足，且教學多偏重於課本講解，缺乏與日常生活情境結合，致使學生的學習動機普遍偏低，語言保存工作面臨嚴峻挑戰。

隨著資訊科技的快速發展，行動學習（Mobile Learning）逐漸成為克服語言學習困難的有效途徑。智慧型手機、平板電腦等數位設備的普及，使得語言學習不再受限於傳統教室或教材，學生能夠隨時隨地進行學習，提升學習的靈活性與自主性，亦顯著增強了學習興趣與滿意度。政府推動的「5G 示範教室計畫」便是一例，藉由強化校園網路基礎設施，提升師生數位素養，為本土語言教育提供了創新的學習平台。此類數位化學習模式，不僅有助於原住民族學生於各種情境下持續進行語言學習，亦有助於原住民族語言與文化的廣泛推廣，進一步促進語言保存與傳承。

原住民族語言的保存與復興是一項長期且艱鉅的任務，需仰賴政府政策支持、社會大眾關注以及教育體系的共同努力。除持續強化傳統語言教育外，積極引入現代科技應用，開發多元化的數位學習資源，將是提升學習成效與激發學習動機的重要策略。唯有整合傳統與創新之力，方能使台灣原住民族語言在全球化浪潮中得以持續發展，延續其獨特文化價值，並由新世代肩負起語言傳承與文化保存的使命。

# 貳、文獻探討

## 一、資訊輔助

本研究探討的科技輔助學習工具是手機，這一工具與傳統的桌面電腦相比，具有顯著的優勢，特別是在行動性與便利性方面。手機的便攜性使得學習者可以隨時隨地進行學習，不再受到傳統學習空間的限制。這樣的特點不僅為學習者提供了極大的靈活性，也打破了時間與空間上的障礙，尤其在現代快節奏的生活中，學習的時間可以更加靈活地安排。傳統的電子學習（E-learning）確實能夠有效提升學習成效，但其一大限制在於必須依賴固定的學習場所，學習者必須在電腦前進行學習。然而，移動學習（M-Learning）則利用智慧型手機等無線設備來克服這些限制，讓學習者能在任何地方、任何時間進行學習。移動學習（M-Learning）的便捷性讓學習者可以利用碎片化的時間，例如通勤、排隊等時候進行短時間的學習，這樣不僅提升了學習效率，也能增強學習的持續性，學習者能夠在更自由的時間和環境中學習，會大大提升其學習動機與學習成效（Traxler, 2007）。這樣的學習模式，除了提升了學習的靈活性，還能使學習者能夠根據自身的需求和進度進行自主學習（Georgiev et al., 2004）。移動學習的優勢在於其結合了個人設備、社交互動和內容交流，這些元素相互融合，提升了學習的自主性與靈活性（Crompton, 2013）。學習者除了能夠透過手機進行知識的學習，還能參與到社交互動中，與他人分享學習成果和進行討論，這樣的互動有助於增進學習效果並保持學習動機。此外，手機的多媒體功能對語言學習尤其重要。語言學習不僅依賴於文字學習，更多的是透過聽力、口語、語音模仿和發音練習來增強語言能力。也讓學習者能夠更直觀地進行語言學習，例如透過語音錄製等方式，進一步增強學習者的學習動機與學習效果（Chen et al., 2022），手機作為一種移動學習工具，不僅突破了傳統學習的空間限制，還提供了更多互動性和自主學習的機會，這些特點使其成為現代學習的重要輔助工具。

## 二、族語-本土語言學習

全球語言多樣性正面臨嚴重的挑戰，100 年內將有多達 90%的語言面臨消失的風險（Crystal, 2002）。語言的消失不僅會影響日常的溝通交流，還會導致與語言密切相關的文化、歷史和傳統知識的流失。聯合國教科文組織在其報告中強調，語言不僅是溝通工具，還承載著民族的文化和智慧，因此語言的消失意味著一整個族群的世界觀和價值觀的消逝（聯合國教科文組織, 2003）。語言流失的原因複雜多樣，其中包括殖民化歷史、社會結構變遷、教育政策的影響等因素（Galla, 2016）。特別是在許多被殖民的國家中，殖民政府強制推行外語或官方語言，使得原住民語言逐漸被邊緣化，甚至消失。隨著全球化的進程，語言和文化的同質化現象越發明顯，這使得許多小語種和少數民族語言無法在日常生活中得到使用和傳承。Billings（引自 Chos, 2021）認為，語言是土地的聲音，它不僅反映了人類的思維和表達，也與土地、自然環境密切相連。當語言消失時，隨之而來的是那些與該語言相關的傳統智慧的流失。這些智慧可能包括植物醫療知識、氣候變化的認知、與自然界的和諧相處方式等，這些都是無法輕易被其他語言所替代的寶貴遺產。

為了應對語言的流失，許多社區積極發起語言復興運動，尤其是針對年輕一代的語言教育（Cantoni, 1996）。這些活動的目標是重新點燃年輕人對本土語言的興趣，確保語言在下一代中得以延續。語言復興的活動包括編纂詞典、錄音和製作語音資料庫

等，以保存語言的口音、語法結構和詞彙等元素（McIvor et al., 2018）。此外，隨著科技的發展，數位工具和移動學習已成為語言復興的重要輔助力量。科技的進步提供了更便捷的學習平台，讓學習者可以隨時隨地接觸和學習原住民族語言。研究顯示，數位工具和移動學習有助於提升學習者的參與度和學習動機，從而有效推動語言復興（Jones, 2014；Pulla, 2020）。通過利用智慧型手機、平板電腦等設備，學習者可以進行語音訓練、視頻學習，甚至參與語言交流和互動，這不僅增加了學習的趣味性，也讓語言學習變得更加靈活和可及。語言復興是一項綜合性的社會工程，涉及政策、社區參與、教育和科技等多方面的努力。隨著數位化學習工具的廣泛應用，語言復興工作有望得到更大的推動，並且能夠吸引更多年輕人參與其中，從而實現語言的傳承與發展。

## 參、研究方法

### 一、行動應用設計

本研究所開發之行動應用程式採用 MIT App Inventor 2 平台進行建置。該平台為一基於雲端之開發環境，使用者可透過網頁瀏覽器進行 Android 應用程式之視覺化設計與開發。其設計介面直觀，支援積木式程式編輯，可有效降低程式設計門檻，適用於教育與原型開發場域。在應用程式開發階段，系統支援以內建模擬器或實體 Android 裝置進行即時測試與除錯，提升開發效率與應用穩定性。開發完成後，應用程式可匯出並上架至 Google Play 商店，提供使用者下載與安裝，實現廣泛推廣與實務應用。

本系統設計核心功能包括使用者介面建構、語音錄製模組與本地資料儲存機制。使用者可透過應用程式進行語音錄製，並將錄音資料儲存於個人化資料庫中，以利後續反覆播放與學習應用。此設計強調互動性與學習便捷性，亦可作為語言記錄與習得進度之追蹤工具。系統整體架構與資料流處理流程如**圖 1** 所示，呈現本行動學習系統之模組化與功能整合特性。

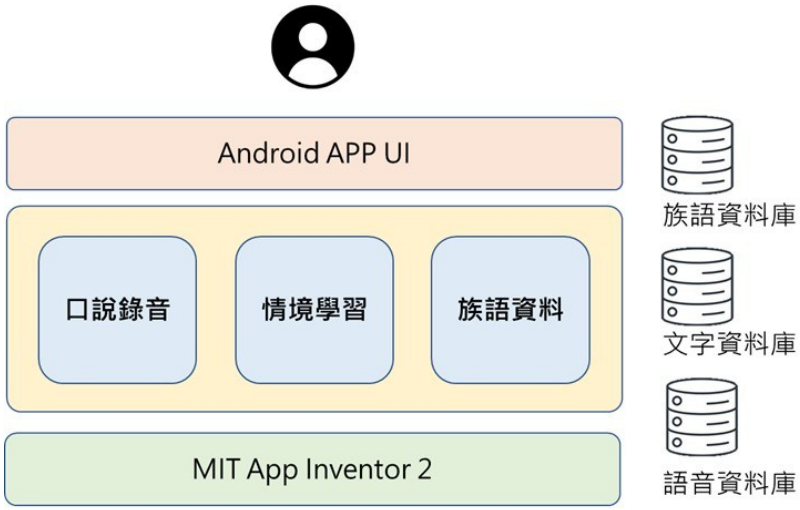



**圖 1**. 系統功能架構

本行動學習應用程式整合多項功能模組，以支援原住民族語言之語音記錄、管理與回饋學習歷程。系統介面設主要功能按鍵包括「錄音」、「語音資料庫」、「刪除語詞」與「播放」等四項核心操作功能，相關功能程式設計如**圖 2** 所示。

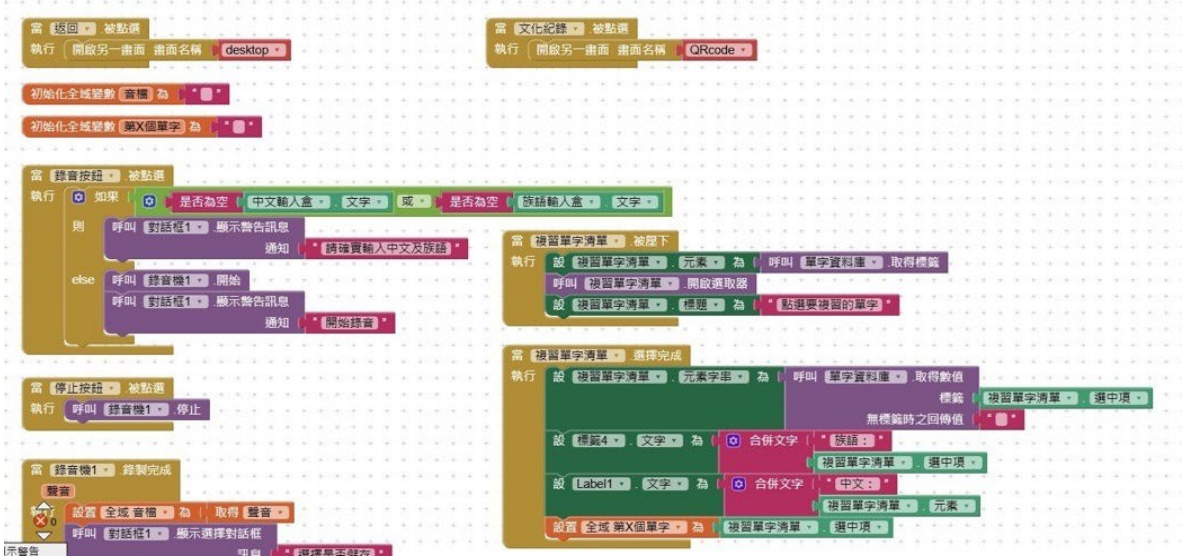



**圖 2**. 族語應用功能程式圖

當使用者按下「錄音鍵」後，即可啟動語音錄製功能，系統將即時擷取語音訊號並轉換為數位格式進行儲存，支援隨時中止與重錄，方便學生反覆練習。透過「語音資料庫鍵」，使用者可檢視目前已儲存之語音內容，系統將依照時間戳記與語詞標籤進行分類顯示，提升資料檢索效率。為維持資料品質與學習焦點，設計有「刪除語詞鍵」，可移除不正確或不再需要的語音資料，便於管理個人語音記錄。最後，系統亦提供「播放鍵」，供使用者重複播放錄製內容，以強化語音回饋學習機制，並達成自我檢核與矯正發音之目的。學習者可搭配整體情境學習如日常生活、婚禮節慶等建立關鍵詞並學習相關族語學習，整體應用使用者介面如**圖 3** 所示。

**圖 3.** 族語應用程式介面

## 二、學習課程設計

本研究設計之族語學習活動架構，採三階段教學流程，結合文化導入、語音訓練與科技輔助學習，以提升學生語言能力與學習動機。透過行動應用程式結合教室教學情境，強化學生族語發音能力與學習參與度，具體設計如下：

(一)引發學習動機

課程開端透過播放原住民族古謠影片，引導學生從生活經驗出發，建立與族語文化的情感連結。此階段強調族語學習的重要性與語言傳承之意義，藉由視覺與聽覺刺激，引發學生學習族語的內在動機與文化認同。

(二)主要學習活動

進入語音學習核心階段時，由教師進行課文朗讀，協助學生掌握正確發音與語調節奏，並進行即時指導與錯誤修正。隨後學生使用行動應用程式進行語音錄製與個人資料儲存，每筆錄音皆可標註對應單字及拼音資訊，協助自我追蹤學習進度。學生可根據自身錄音結果進行多次重錄，藉由反覆練習與聽力比對，自主修正語音誤差。教師在活動進行中則進行行間巡視，提供個別化語音指導與正向回饋，提升學習成效。

(三)綜合與互動活動

課程尾聲設計互動分享環節，學生可自由聆聽同儕錄音作品，促進彼此間語音輸出之比較與交流,強化語音辨識與社會性互動學習。教師亦可透過全班討論，彙整學生反映之發音困難點，進行針對性澄清與複習，作為課程總結之補充，鞏固語音學習成果。

## 三、研究工具

本研究採用混合方法設計，結合量化測驗與質性訪談，全面評估行動應用程式輔助族語學習系統對學生語言能力提升之成效與使用經驗。

(一)族語能力測驗

為驗證行動應用程式對族語聽說能力之促進效果，本研究設計族語能力測驗作為主要量化評量工具。測驗內容分為口說與聽力兩大構面。口說部分涵蓋課文朗讀與情境對話練習，學生須透過行動裝置錄製語音，由專業教師依語音正確性與語調自然度進行評分。聽力部分則包括基本聽辨與情境式對話理解，題型以是非題與選擇題呈現，旨在測量學生對族語語意與語境的理解能力。測驗分為前測與後測，並透過分數差異分析學習成效之變化與顯著性，作為系統教學成效之評估依據。

(二)課後訪談

為補足量化評量無法捕捉之學習歷程與主觀經驗，研究設計課後半結構式訪談，蒐集學生對使用行動應用程式進行族語學習之回饋與觀點。訪談重點聚焦於學習過程中遭遇之困難、操作系統的易用性、資訊科技在族語學習中所扮演的角色，以及對自身語言學習動機與成效的主觀評價。此質性資料將用以補充與詮釋量化數據，深化對學習成效與使用經驗之整體理解。

# 肆、實驗結果與討論

## 一、實驗設計

本研究採用前實驗設計，對國小排灣族學生進行行動應用程式輔助族語學習課程，並執行前後測。學生可錄製族語文字、中文解釋及語音。在研究最後分析資訊輔助學生對於族語學習動機是否提升。

(一)實驗對象：臺東縣某偏鄉小學中年級之排灣族原住民學生，共十五位學生，使用族語類別為東排灣族語。

(二)實驗流程：學生使用資訊輔助學習族語，並在課前和課後進行專家設計的測驗（聽力 60%、口說 40%）及課後訪談將探討學習過程對學生族語能力的影響。

(三)實驗時間：本研究於 113 年 5 月至年 6 月的本土語言課程時間。每節課共 40 分鐘。

(四)使用教材及實施方式：課程以第四階教材第三課。課程以學生與老師對話紀錄族語為主。

## 二、族語能力成效影響

本研究欲了解在資訊輔助學習使用前與使用後，對於學生的學習成效是否有所差異，使用「成對樣本 T 檢定」進行分析，對同一群樣本學生前後不同時間之測驗平均數，是否有顯著差異。

(一)族語能力測驗前、後測平均數

本研究族語能力測驗前測與後測成績之平均數與標準差，如表 1 所示。前測平均數為 42.1，後測平均數 54.6，族語能力前、後測之平均數來看，在使用科技輔助情境學習後，族語能力測驗是有所成長的，故此繼續分析前、後測驗是否具有顯著差異。

**表 1.** 族語能力測驗統計描述

| | N | 最小值 | 最大值 | 平均值 | 標準偏差 |
|---|---|---|---|---|---|
| 前測 | 15 | 22.00 | 62.00 | 38.6667 | 9.91151 |
| 後測 | 15 | 30.00 | 86.00 | 52.4667 | 12.43191 |
| 有效 N (listwise) | 15 | | | | |

(二)族語能力前、後測驗成對樣本 T 檢定

為評估行動應用程式輔助族語學習系統對學生語言能力之影響，本研究對參與者進行前、後測成績之成對樣本 t 檢定分析。根據表 2 所示，學生在前測的平均成績為 38.7 分，標準差為 6.5；後測平均成績提升至 52.0 分，標準差為 7.2。t 檢定結果顯示，前後測成績差異達統計顯著水準（$p < 0.05$），表示學生在接受行動應用程式輔助學習後，其族語能力有顯著提升。以此可以推論透過行動應用程式學習族語是具有顯著學習成效，學生學習成績包含口說能力以及聽力能力，代表學生透過應用程式學習系統學習到口說能力以及聽力能力是有明顯的進步。

透過上述分析得出，學生在經由行動應用程式系統對於學生學習口說及聽力是具有顯著的提升，能夠幫助學生學習到應該學的知識及族語能力。

**表 2.** 族語能力前測與後測成績成對樣本 T 檢定

| | 成對差異 | | | | | t | 自由度 | 顯著性（雙尾） |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 平均值 | 標準差 | 標準誤平均值 | 信賴區間 下限 | 信賴區間 上限 | | | |
| 前測 - 後側 | -13.80 | 9.54089 | 2.46345 | 19.08357 | 8.51643 | -5.602 | 14 | .000 |

(三)效度分析

效度分析主要為評估測量工具是否能真實且準確反映所欲測量之概念核心，亦即測驗結果與實際能力之符合程度。為確保本研究族語能力測驗之內容效度，前後測試題均由具原住民族語教育背景之專家設計，並參考原住民族語言能力檢定之規範進行編制。測驗內容涵蓋聽力與口說兩大構面，比例分配為聽力占 60%、口說占 40%，與現行原住民族語能力檢測標準一致，確保其設計具代表性與一致性。

此外，測驗題項皆取材自教育部公告之「原住民族語文九階教材」，使試題內容具備課程對應性與文化適切性，有助於真實反映學生在族語聽說能力方面之學習成果。整體而言，本測驗工具具備良好之內容效度，能有效作為評估行動應用程式輔助族語學習成效之依據。

(四)課後訪談分析

訪談分析主要聚焦於學生在使用行動應用程式輔助族語學習過程中的體驗與感受。透過訪談的方式，對 15 位參與課程活動的學生進行詢問，了解他們在學習過程中的感受與心得。以下將對收集的資料進行整理與分析，結果如下：

1. 學習動機提升：學生在使用行動應用程式輔助族語學習後，普遍表示十分喜歡且覺得學習過程有趣。他們認為最具幫助的是系統的便捷性，這顯示出科技輔助族語學習不僅能提升學生的學習興趣，還具備高度的便利性。以下為相關學生的回饋：
   (1). 使用手機錄音，可以知道自己唸得好不好。
   (2). 錄音可以存擋，還可以聽聽其他同學唸出來的如何。
   (3). 喜歡在課堂上使用手機學習族語。
2. 使用的困難點: 在訪談時，學生表示使用資訊輔助族語學習系統時，仍遇到一些困難。這表明該系統在某些方面仍需進一步改進和最佳化。學生的回饋：
   (1). 對英文不熟，有時候會找不到英文字母。
   (2). 一直在用打字，只有學到一點點族語。

## 伍、結論

過去，由於缺乏適合課堂使用的族語學習軟體，族語教學資源受到限制，傳統的學習方式多依賴書籍或線下教學，這些方法缺乏互動性，難以持續激發學生興趣，尤其對年輕學生而言，學習變得枯燥無味。因此，族語學習效果未達理想，成為當前教育體系中的一大挑戰。為了解決這一問題，本研究開發了一款資訊輔助的族語學習軟體，專為課堂及各種學習情境設計。這款軟體不僅能夠在課堂上提供互動式的學習體驗，還能夠靈活地適應不同的學習環境，讓學生能夠在家中或其他場所進行自學。軟體的設計融合了現代科技，這提升了學習的互動性，也增加了學習的趣味性，藉此激發了學生的學習動機。

根據研究結果，學生在使用該資訊輔助族語學習軟體後，學習成效有了顯著的提升。無論是語音發音、語言理解還是語法運用，學生的能力都得到了明顯的增強。特別是在發音和聽力理解方面，學生的學習成果顯著優於傳統學習方式，這也表明該工具對語言學習有著積極的促進作用。此外，軟體的學習設計也使學生能夠在不受時間和空間限制的情況下進行自主學習，這對於族語學習的持續性和普及性具有重要意義。

這一結果證明，資訊輔助學習工具不僅能有效提升學生的學習興趣，還能顯著提高學習效果，尤其在族語學習中，這樣的工具能夠彌補傳統學習方式的不足，為族語的保存和傳承開創了新的可能性。未來，這款資訊輔助族語學習軟體有望成為原住民族語言教育中不可或缺的一部分，幫助更多學習者在輕鬆且富有趣味的情境中掌握和應用族語，進一步促進族語文化的保存與發展。

# 參考資料

Billings, D. (2022). The loss of indigenous languages. Вестник антропологии, 100-112.

Cantoni, G. (1996). Stabilizing indigenous languages (p. 186). Flagstaff: Northern Arizona University.

Crompton, H. (2013). The benefits and challenges of mobile learning. Learning and leading with technology, 41.

Crystal, D. (2002). Language death. Cambridge university press.

Galla, C. K. (2016). Indigenous language revitalization, promotion, and education: Function of digital technology. Computer Assisted Language Learning, 29(7), 1137-1151.

Georgiev, T., Georgieva, E., & Smrikarov, A. (2004, June). M-learning-a New Stage of E-Learning. In International conference on computer systems and technologies CompSysTech (Vol. 4, No. 28, pp. 1-4).

Godwin-Jones, R. (2014). Games in language learning: Opportunities and challenges.

McIvor, O., & Anisman, A. (2018). Keeping our languages alive: Strategies for Indigenous language revitalization and maintenance. In Handbook of cultural security (pp. 90-109). Edward Elgar Publishing.

Pulla, S. (2020). Mobile learning and indigenous education in Canada: A synthesis of new ways of learning. In Indigenous studies: Breakthroughs in research and practice (pp. 175-199). IGI Global Scientific Publishing.

Tang, K. Y., Chen, C. C., Hwang, G. J., & Tu, Y. F. (2022). Did library learners benefit from m-learning strategies? Research-based evidence from a co-citation network analysis of the literature. Educational technology research and development, 70(5), 1719-1753.

Traxler, J. (2007). Defining, discussing, and evaluating mobile learning: The moving finger writes and having writ.... International Review of Research in Open and Distributed Learning, 8(2), 1-12.

# 國立臺東大學在積體電路設計教育創新與實踐之研究

曾志隆*

## 摘要

近年來全球半導體產業快速發展，凸顯出積體電路（IC）設計人才日益迫切的需求。台灣雖在全球半導體製造中扮演關鍵角色，然在IC設計教育中，學術理論與產業實務間的落差依然是一大挑戰。位於台灣東部的國立臺東大學（NTTU）相較於台灣西部大學資源匱乏，近年來仍致力推廣積體電路設計課程，採取漸進模組式和專題導向的教學模式來推動IC設計教育。本研究探討NTTU在積體電路設計晶片教育創新與實踐之研究。

首先，NTTU必須與國家實驗研究院台灣半導體研究中心(TSRI)和台灣積體電路製造股份有限公司(TSMC)三方首次共同簽署合約。其次，簽約完成後方能使用台灣半導體研究中心IC設計軟體，學生必須一步一步依循整套IC設計流程來設計電路。接著，學生晶片設計完成後，必須通過台積電製程部門所設下的驗證關卡。最後，學生IC設計通過驗證後方能下線，請台積電製作晶片。晶片製作完成後，學生必須量測晶片功能，驗證與其當初設計電路功能是否一致。

NTTU 可以整合基礎課程、軟體模擬與專題製作導向學習的漸進式教學模式，讓學生使用台積電 180 奈米製程，從電路設計、電路前模擬、電路佈局、DRC 驗證、LVS 驗證、寄生效應萃取、電路後模擬，最後下線請台積電製作晶片。NTTU 已發展出適合學生背景的 IC 設計培育方法，並提出一套可持續且具擴展性的半導體 IC 設計人才培育模式。

**關鍵字:** 積體電路設計、國立臺東大學、晶片製作、半導體高等教育

曾志隆(通訊作者)，國立臺東大學綠能與資訊科技學系助理教授。Email: tsengcl@nttu.edu.tw

# A Study on Innovation and Implementation in Integrated Circuit Design Education at National Taitung University

Chih-Lung Tseng*

## Abstract

In recent years, the rapid development of the global semiconductor industry has underscored the growing demand for skilled professionals in integrated circuit (IC) design. Although Taiwan plays a key role in the global semiconductor manufacturing landscape, a significant gap remains between academic theories and industrial practices in IC design education. Located in eastern Taiwan and comparatively under-resourced relative to universities in the western region, National Taitung University (NTTU) has made consistent efforts in promoting IC design education. The university has adopted a progressive, modular, and project-based teaching approach to bridge the gap between theory and practice.

This study explores NTTU's innovation and implementation in IC design chip education. First, NTTU must sign a tripartite agreement for the first time with the National Applied Research Laboratories Taiwan Semiconductor Research Institute (TSRI) and Taiwan Semiconductor Manufacturing Company (TSMC). Following the agreement, NTTU gained access to IC design software provided by TSRI, allowing students to follow the complete IC design flow step by step. After completing their chip designs, students must pass verification procedures established by TSMC's fabrication division. Finally, only upon successful verification can the designs proceed to tape-out and fabrication by TSMC. Once the chips are produced, students are required to test and validate the functionality of their chips to ensure consistency with their original circuit designs.

NTTU has developed an integrated, progressive instructional model that combines fundamental course, software simulation, and project-based learning. Using TSMC's 180nm process technology, students can participate in the entire IC design process, including schematic design, pre-simulation, circuit layout, design rule checking (DRC), layout vs schematic (LVS) verification, parasitic extraction and post-simulation, ultimately completing tape-out and chip manufacturing. Through these efforts, NTTU has established an integrated IC design training model based on the student background, and proposed a sustainable and scalable talent training model for the semiconductor IC design field.

**Keywords**: Integrated Circuit (IC) Design, National Taitung University (NTTU), Chip Manufacturing, Semiconductor Higher Education.

Chih-Lung Tseng (Corresponding Author), Assistant Professor, Department of Green Energy and Information Technology, National Taitung University. E-mail: tsengcl@nttu.edu.tw

# Introduction

The development of integrated circuit (IC) design has become a cornerstone of technological innovation and economic competitiveness. The IC industry now lies at the heart of modern electronic devices, with applications spanning mobile phones, wearable devices, artificial intelligence (AI), and even quantum computing systems (Chiang & Kuo, 2021). Taiwan holds a leading position in global semiconductor manufacturing and design, home to world-renowned companies such as Taiwan Semiconductor Manufacturing Company (TSMC), MediaTek Inc., and Realtek Semiconductor Corporation. Despite these technological advances, cultivating IC design talent remains a challenge, especially at universities in remote areas with limited resources. While top-tier institutions such as National Yang Ming Chiao Tung University and National Taiwan University have established comprehensive IC research systems and foster strong industry collaborations, regional universities like National Taitung University (NTTU) face significant obstacles. These problems include limited laboratory facilities, small number of professional teachers, and large gaps in students' basic knowledge.

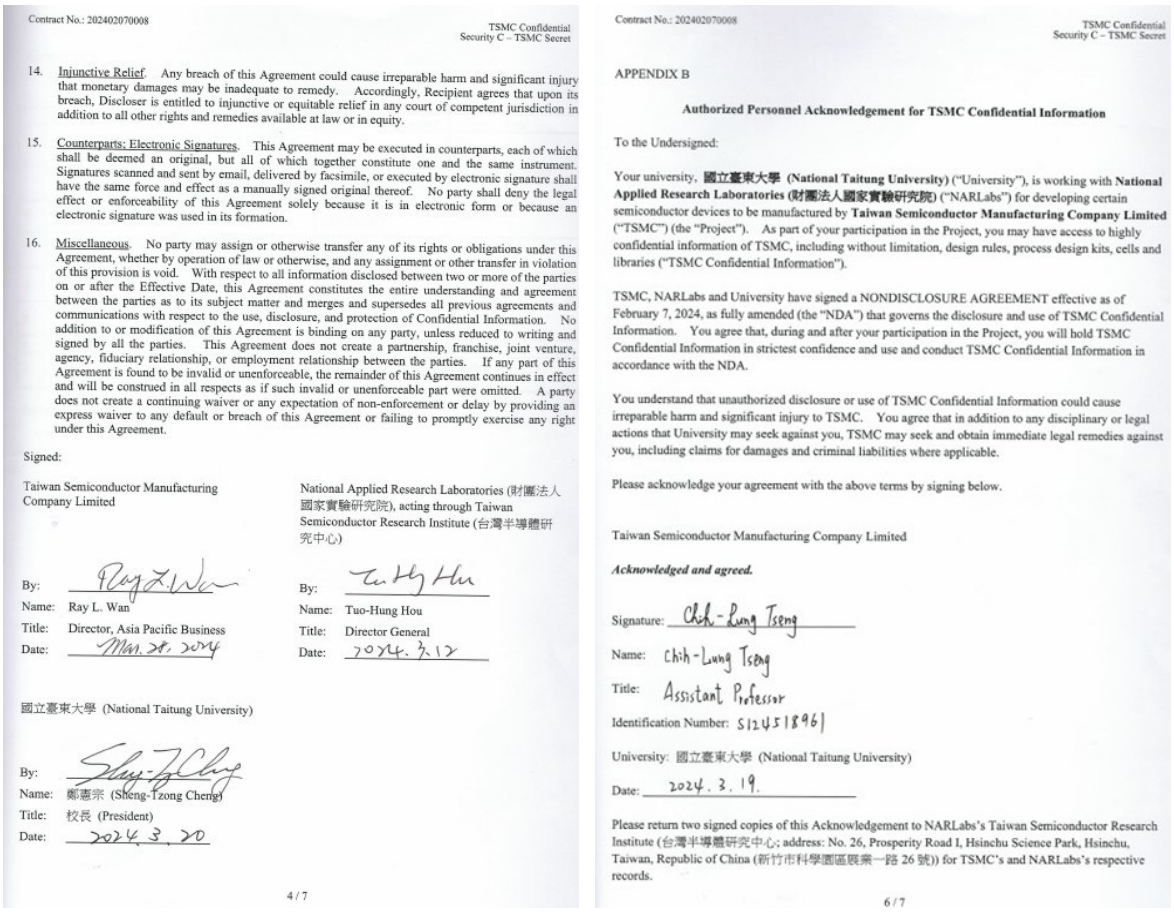
According to Lin and Hsieh (2022), the modular integration of circuit design support tools can help mitigate resource constraints while maintaining high teaching quality. Many studies have emphasized the importance of practice-oriented IC design education that aligns closely with industry needs. For instance, Chiang and Kuo (2021) found that project-based learning significantly enhances student engagement and technical proficiency in VLSI courses. Moreover, Su and Chen (2020) highlighted the need for localized course development tailored to students' diverse backgrounds and regional resource limitations. International studies also support diversified models of IC design education. For example, Ahmed and Riaz (2021) demonstrated that hybrid learning platforms combining simulation tools and remote laboratories improve both course accessibility and student engagement. These findings confirm the value of adaptive and context-sensitive educational strategies.

As Taiwan to lead the global semiconductor industry, extending IC education to non-metropolitan regions becomes increasingly vital. As Taiwan to lead the global semiconductor industry, extending IC education to non-metropolitan areas becomes increasingly important. In eastern Taiwan, NTTU has taken the initiative to implement a localized IC course designed specifically for students with limited access to resources. In recent years, NTTU has worked to bridge the gap between academic theory and industrial practice—not only addressing talent cultivation shortfalls but also responding to the needs of regional development by providing students with access to high-value knowledge aligned with national semiconductor strategies (Ministry of Education, 2022; National Development Council, 2023).

Figure 1 shows a major milestone in 2024, when NTTU signed its first tripartite agreement with the National Applied Research Laboratories Taiwan Semiconductor Research Institute (TSRI) and Taiwan Semiconductor Manufacturing Company (TSMC). This agreement, which includes confidentiality clauses regarding TSMC process technologies and silicon intellectual property, marked the starting point of NTTU's IC design education initiative. Leveraging TSRI's IC design software and TSMC's chip fabrication capabilities, NTTU adopted a progressive, modular, and project-based teaching model to promote IC design education. Departing from traditional lecture-based instruction, NTTU emphasizes hands-on circuit verification in its foundational electronics and circuit theory courses. This pedagogical approach aligns with national policies promoting localized

semiconductor education and encourages regional universities to participate in Taiwan's innovation-driven economy (Lin & Hsieh, 2022).

This paper explores NTTU's instructional strategies, implementation outcomes, and potential in the field of IC design education. It also offers recommendations for future educational innovation and the development of sustainable semiconductor talent cultivation programs.



Contract No.: 202402070008 TSMC Confidential Security C – TSMC Secret

14. Injunctive Relief. Any breach of this Agreement could cause irreparable harm and significant injury that monetary damages may be inadequate to remedy. Accordingly, Recipient agrees that upon its breach, Discloser is entitled to injunctive or equitable relief in any court of competent jurisdiction in addition to all other rights and remedies available at law or in equity.

15. Counterparts; Electronic Signatures. This Agreement may be executed in counterparts, each of which shall be deemed an original, but all of which together constitute one and the same instrument. Signatures scanned and sent by email, delivered by facsimile, or executed by electronic signature shall have the same force and effect as a manually signed original thereof. No party shall deny the legal effect or enforceability of this Agreement solely because it is in electronic form or because an electronic signature was used in its formation.

16. Miscellaneous. No party may assign or otherwise transfer any of its rights or obligations under this Agreement, whether by operation of law or otherwise, and any assignment or other transfer in violation of this provision is void. With respect to all information disclosed between two or more of the parties on or after the Effective Date, this Agreement constitutes the entire understanding and agreement between the parties as to its subject matter and merges and supersedes all previous agreements and communications with respect to the use, disclosure, and protection of Confidential Information. No addition to or modification of this Agreement is binding on any party, unless reduced to writing and signed by all the parties. This Agreement does not create a partnership, franchise, joint venture, agency, fiduciary relationship, or employment relationship between the parties. If any part of this Agreement is found to be invalid or unenforceable, the remainder of this Agreement continues in effect and will be construed in all respects as if such invalid or unenforceable part were omitted. A party does not create a continuing waiver or any expectation of non-enforcement or delay by providing an express waiver to any default or breach of this Agreement or failing to promptly exercise any right under this Agreement.

Signed:

Taiwan Semiconductor Manufacturing Company Limited
By: Ray L. Wan
Name: Ray L. Wan
Title: Director, Asia Pacific Business
Date: Mar. 28, 2024

National Applied Research Laboratories (財團法人國家實驗研究院), acting through Taiwan Semiconductor Research Institute (台灣半導體研究中心)
By: Tuo-Hung Hou
Name: Tuo-Hung Hou
Title: Director General
Date: 2024. 3. 12

國立臺東大學 (National Taitung University)
By: Sheng-Tzong Cheng
Name: 鄭憲宗 (Sheng-Tzong Cheng)
Title: 校長 (President)
Date: 2024. 3. 20

4 / 7

Contract No.: 202402070008 TSMC Confidential Security C – TSMC Secret

APPENDIX B

**Authorized Personnel Acknowledgement for TSMC Confidential Information**

To the Undersigned:

Your university, **國立臺東大學 (National Taitung University)** ("University"), is working with **National Applied Research Laboratories (財團法人國家實驗研究院)** ("NARLabs") for developing certain semiconductor devices to be manufactured by **Taiwan Semiconductor Manufacturing Company Limited** ("TSMC") (the "Project"). As part of your participation in the Project, you may have access to highly confidential information of TSMC, including without limitation, design rules, process design kits, cells and libraries ("TSMC Confidential Information").

TSMC, NARLabs and University have signed a NONDISCLOSURE AGREEMENT effective as of February 7, 2024, as fully amended (the "NDA") that governs the disclosure and use of TSMC Confidential Information. You agree that, during and after your participation in the Project, you will hold TSMC Confidential Information in strictest confidence and use and conduct TSMC Confidential Information in accordance with the NDA.

You understand that unauthorized disclosure or use of TSMC Confidential Information could cause irreparable harm and significant injury to TSMC. You agree that in addition to any disciplinary or legal actions that University may seek against you, TSMC may seek and obtain immediate legal remedies against you, including claims for damages and criminal liabilities where applicable.

Please acknowledge your agreement with the above terms by signing below.

Taiwan Semiconductor Manufacturing Company Limited

***Acknowledged and agreed.***

Signature: Chih-Lung Tseng
Name: Chih-Lung Tseng
Title: Assistant Professor
Identification Number: S124518961
University: 國立臺東大學 (National Taitung University)
Date: 2024. 3. 19.

Please return two signed copies of this Acknowledgement to NARLabs's Taiwan Semiconductor Research Institute (台灣半導體研究中心; address: No. 26, Prosperity Road I, Hsinchu Science Park, Hsinchu, Taiwan, Republic of China (新竹市科學園區展業一路 26 號)) for TSMC's and NARLabs's respective records.

6 / 7

**Figure 1.** *National Taitung University (NTTU), Taiwan Semiconductor Research Institute (TSRI), and Taiwan Semiconductor Manufacturing Company (TSMC) signed a confidentiality agreement on TSMC's semiconductor process and intellectual property rights.*

## Research Methods

### 1. Research Structure

This study adopts an action research methodology to explore the application of experiential learning in IC design education when faced with pedagogical challenges. The research centers on the design and implementation of an experiential learning-based instructional model, grounded in theoretical content from IC design textbooks and supported by practical training using computer server workstations. The objective is to examine how students' understanding of IC design theories evolves after participating in the experiential learning program and how they identify, address, and resolve problems encountered during the learning process. Particular attention is paid to how students develop conceptual thinking related to chip design and internalize circuit design knowledge, thereby strengthening cognitive retention. At the same

time, the study also aims to foster professional growth among instructors.

Action research is a practice-oriented research methodology that encourages practitioners to adopt a reflective, inquisitive, and critical stance toward their own professional practices. It involves a systematic process of inquiry into real-world problems encountered in the classroom with the goal of finding strategic solutions. Through an iterative cycle of planning, implementation, reflection, revision, and re-implementation, this method seeks to improve existing conditions, enhance teaching practices, and promote educators' professional development and empowerment.

**Figure 2** shows the action research cycle for IC design education. This study aims to explore the effectiveness and challenges of IC design education at NTTU. The research focuses on three major dimensions: course design, student learning experience, and project-based outcomes.

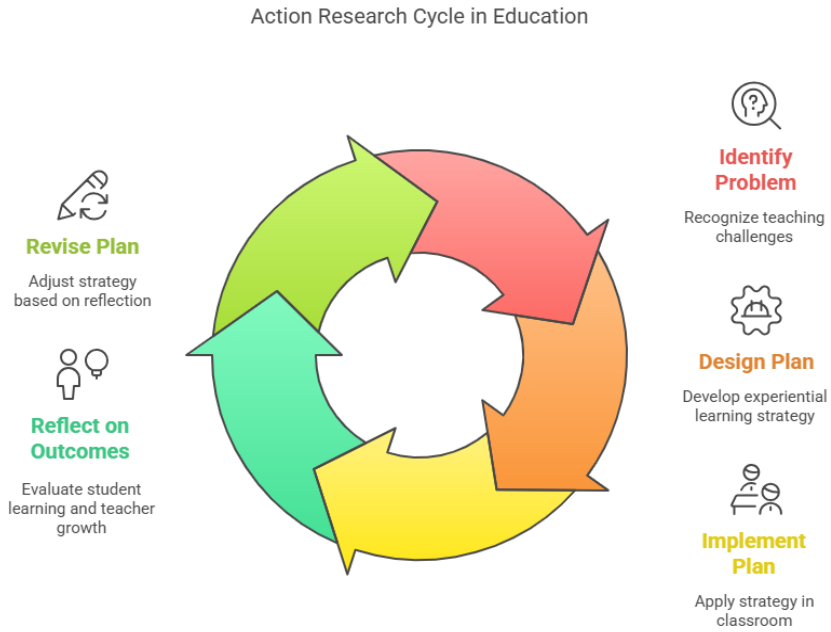



**Figure 2.** *IC design action research architecture diagram*

(1) Course Design Analysis

This study analyzes NTTU's IC design course, including its structure, learning objectives, teaching tools, and evaluation methods. The foundational courses include Electronics and Circuit Theory, while the core course, IC design, fully incorporates professional electronic design automation (EDA) tools such as Cadence Virtuoso.

(2) Student Learning Experience

The research evaluates the experiences of undergraduate and graduate students enrolled in IC-related courses through student satisfaction surveys. Additionally, selected students participated in semi-structured interviews to further investigate the challenges they faced, their motivations, and learning processes throughout the course.

(3) Evaluation of Project-Based Outcomes

Students' final project outcomes in the IC design course were assessed based on innovation, functional implementation, design complexity, and documentation quality. Furthermore, selected projects were benchmarked against academic standards and industry internship performances.

The action research methodology employed enables students to engage in systematic inquiry within real-world circuit design contexts. Through a continuous cycle of action and reflection, students remain actively involved in improving their designs to meet the requirements of tape-out fabrication. This cyclical process of research and practice strengthens their knowledge and expertise in IC design, ultimately providing a comprehensive representation of NTTU's educational reality in this domain.

## 2. Research Questions

This study is a form of action research conducted by the instructor within the teaching context. It primarily investigates both foundational and core courses related to IC design in the undergraduate and graduate programs. The objective is to integrate experiential learning into IC design education, thereby enhancing students' acquisition and application of professional knowledge in chip design. By collaborating with Taiwan Semiconductor Research Institute (TSRI) and Taiwan Semiconductor Manufacturing Company (TSMC), the study connects educational practices with local industry and regional development, fostering students' understanding of the value of chip design. Concurrently, the instructor continually reflects on and adjusts instructional practices to ensure the effectiveness of student learning outcomes in IC design education.

## 3. Scope of the Study

The study centers on courses related to IC design, specifically focusing on foundational courses such as Electronics and Circuit Theory, and the core course in IC design. The overall scope encompasses the innovation and practical implementation of chip design education at NTTU.

## 4. Experimental Subjects and Fields

(1) Experimental Subjects：

The primary participants are master's students from the Department of Green Energy and Information Technology, who enrolled in the IC design course. Undergraduate participants include second-year students taking Electronics and Circuit Theory, as well as third- and fourth-year students involved in capstone projects in the Department of Green Energy and Information Technology at NTTU.

(2) Experimental Fields：

The study was conducted in classrooms and computer workstation laboratories within the Department of Green Energy and Information Technology at NTTU. It was further extended through collaborative agreements with TSRI and TSMC, using IC design software provided by TSRI and chip fabrication support from TSMC.

## 5. Research Methods and Tools

The study adopts an action research methodology. During instructional practice, a diversified strategy of experiential learning was implemented to promote autonomous learning among students. Upon signing agreements with TSRI and TSMC, instructors were required to

apply for user accounts, which students could only obtain through instructor verification. After acquiring accounts, permissions for EDA tool usage and IP registration were required, followed by process technology and intellectual property authorization applications. Due to TSMC's strict confidentiality policies regarding process technologies, all chip design work was conducted exclusively through secure online platforms.

## Results and Discussion

**Figure 3** shows the flowchart of the IC design process. The design begins with the specification of chip functionality, followed by a series of steps that systematically fulfill these functional requirements through circuit design. The IC design workflow consists of the following stages: defining chip functional requirements → circuit schematic design → pre-circuit simulation → layout design → design rule verification → parameter extraction → post-circuit simulation → chip fabrication.

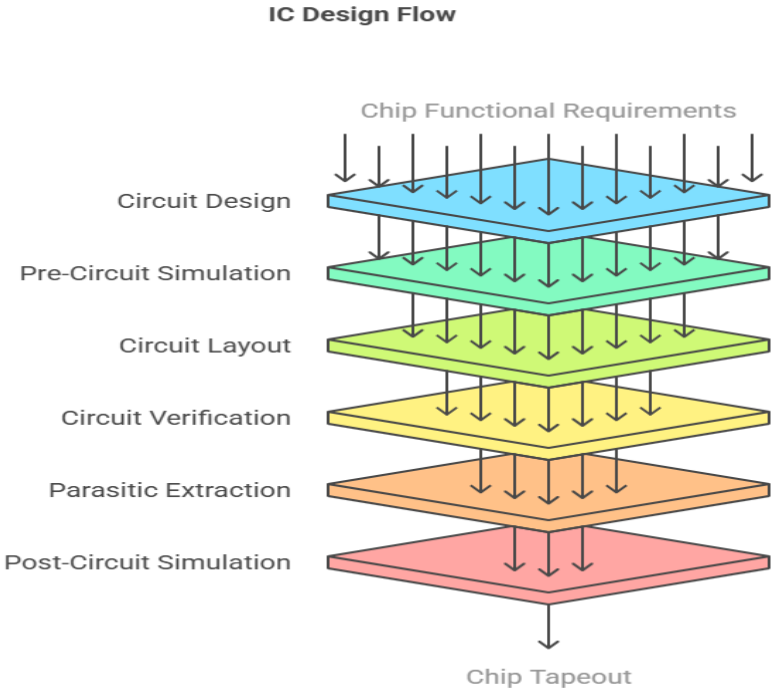



**Figure 3.** *IC design process flowchart*

**Figure 4** shows a student-designed circuit schematic. The schematic drawing is a critical point in the IC design process, where the intended chip functionality is translated into a concrete circuit architecture. During this stage, students must determine the appropriate selection and functionality of various electronic components and represent them using standardized circuit symbols. These components are interconnected via wiring, which denotes the direction of current flow and the paths of signal transmission throughout the circuit.

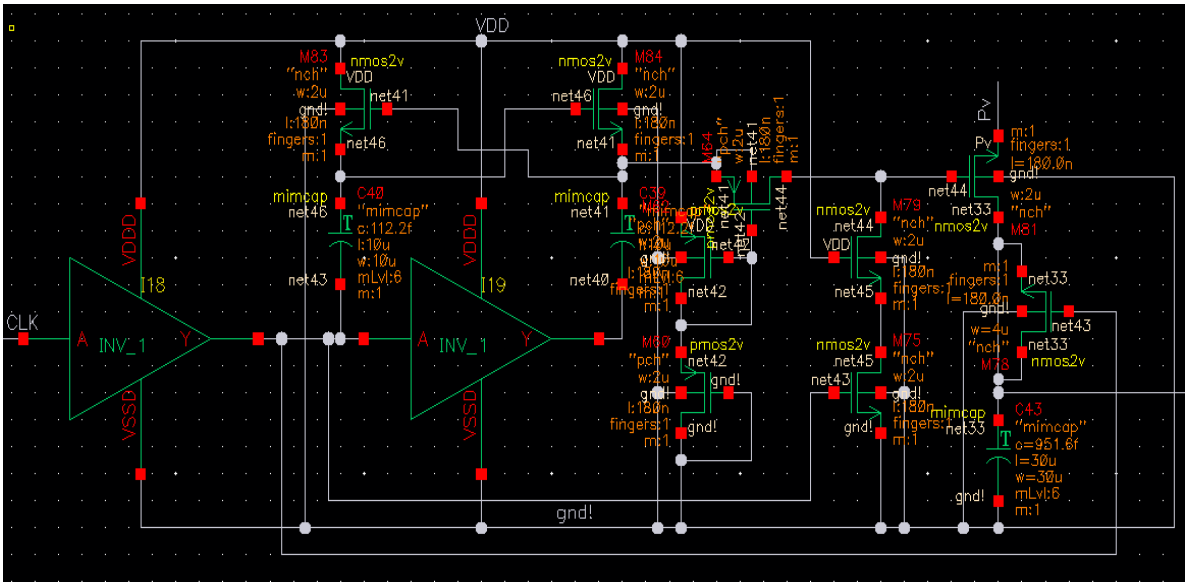



**Figure 4.** *Student-designed circuit schematic diagram*

**Figure 5** shows a circuit simulation diagram created by a student. Once the circuit design is completed, a pre-circuit simulation is conducted to evaluate whether the design meets the specified functional requirements of the chip. The primary purpose of pre-circuit simulation is to predict and verify the behavior of the circuit before it proceeds to physical implementation. By using EDA tools, the circuit can be executed in a virtual environment to analyze its performance and behavior under various conditions. Such simulations typically include DC operating point analysis, frequency response analysis, and transient analysis. These analyses ensure the circuit performs reliably and stably across different operating conditions. The results from the pre-circuit simulation are instrumental in identifying potential design flaws early in the process, such as improper voltage biasing, signal distortion, or excessive power consumption. Detecting these issues in the early stages helps prevent costly errors during fabrication and testing. Through this process, the reliability and robustness of the circuit design are significantly enhanced, thereby improving the overall efficiency of the IC design workflow.

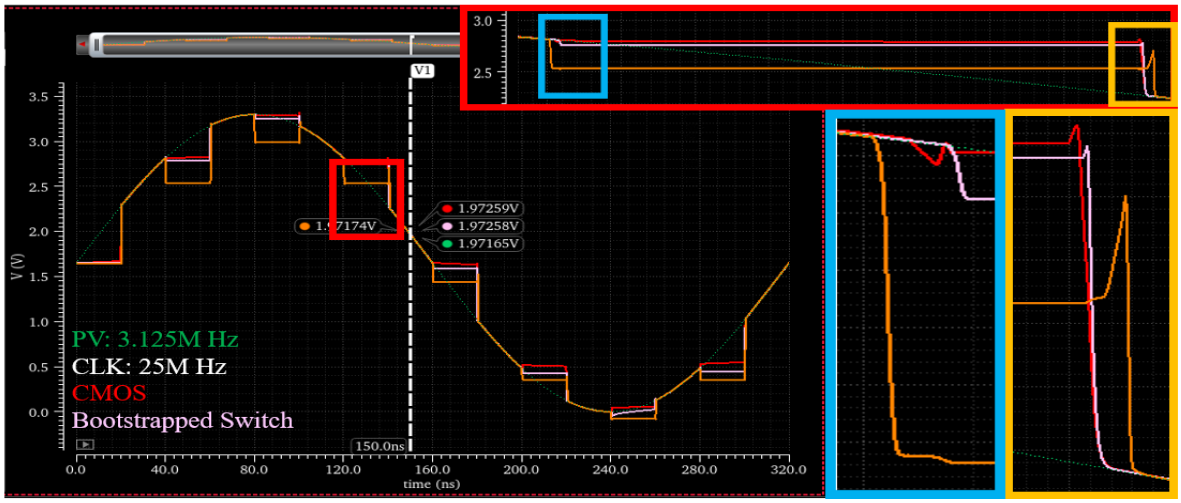
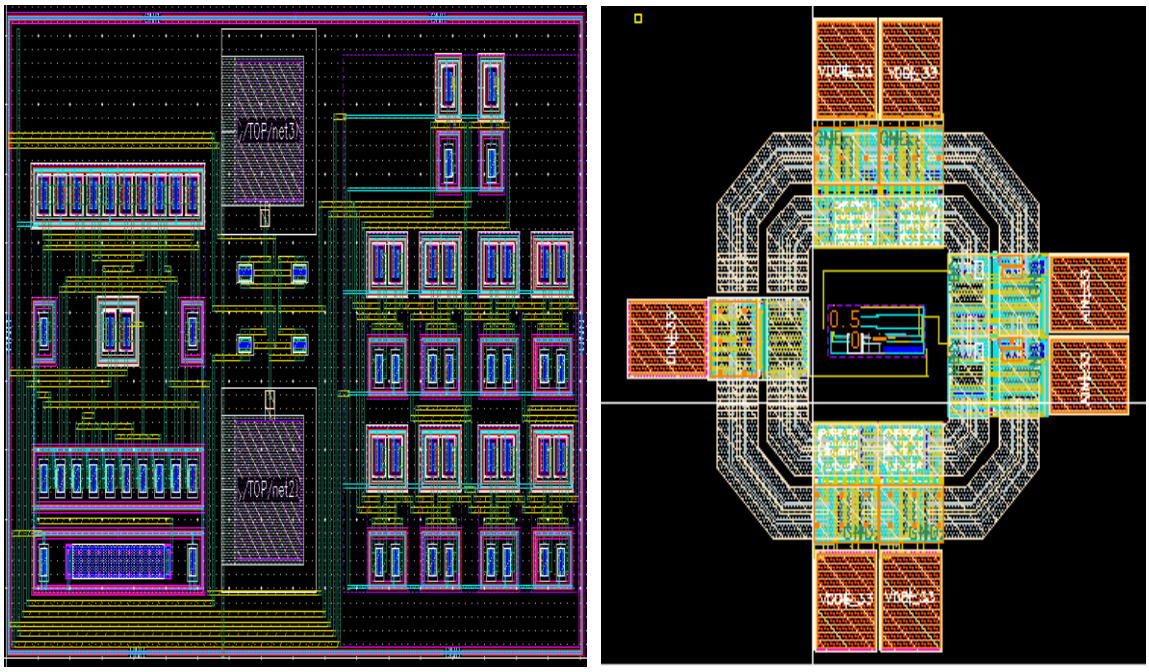



**Figure 5**. *Student-generated circuit simulation diagram*

**Figure 6** shows student-generated circuit layout diagrams. Figure 6(a) shows the layout without I/O pad circuits, while Figure 6(b) includes the I/O pad circuits. While a circuit schematic provides a symbolic representation of an electronic circuit using simplified graphic symbols and interconnections of power and signal lines, it differs significantly from the actual physical layout required for fabrication. Therefore, once the schematic is completed, the next critical step is to proceed with the circuit layout design.

A circuit schematic typically comprises four main components: component symbols, interconnections, nodes, and annotations. The symbols represent actual electronic components, although their visual representations may differ from the physical appearance of real-world components. However, these symbols accurately convey essential attributes, such as the number and function of terminals.

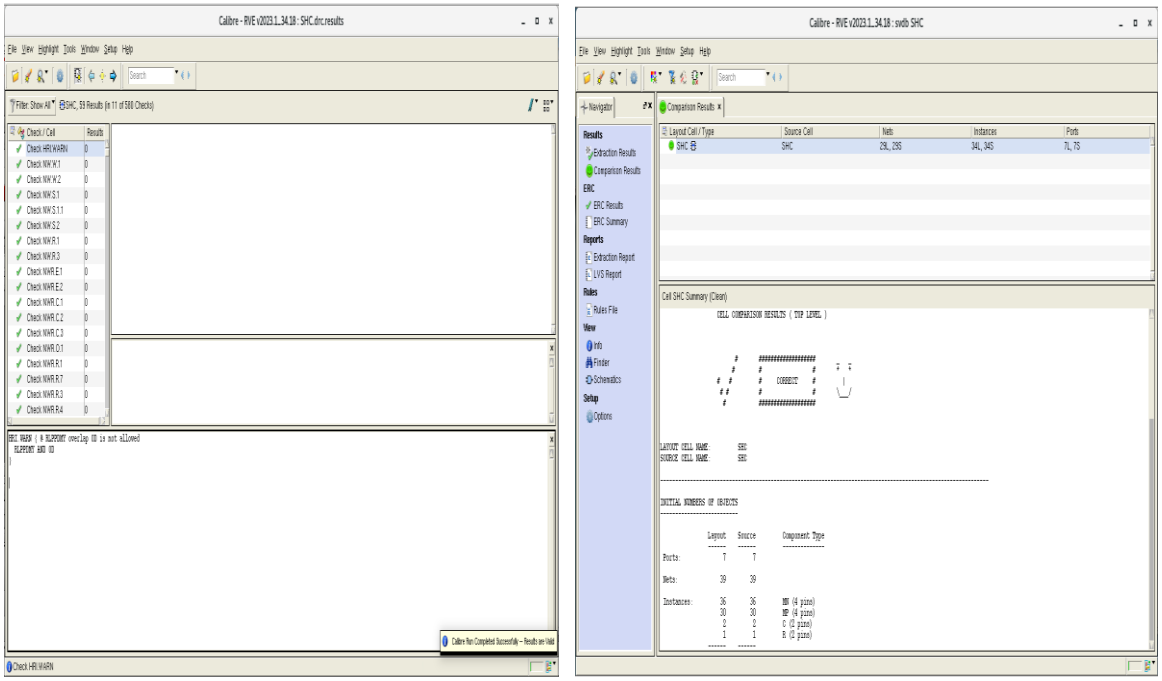
In layout design, although the schematic's functional requirements must be faithfully preserved, the physical implementation often demands adjustments and optimizations based on practical constraints such as area, performance, manufacturing process limitations, and parasitic effects. As a result, the layout is not a one-to-one reproduction of the schematic but rather a refined and implementable version tailored for fabrication and performance enhancement.




**(a)** **(b)**

**Figure 6.** *Student-generated circuit layout diagrams: (a) without I/O pad circuits and (b) with I/O pad circuits*

Figure 7 shows student-implemented circuit verification diagrams. Figure 7(a) shows a successful design rule check (DRC), while Figure 7(b) shows a successful layout versus schematic (LVS) verification. DRC is a critical step in the integrated circuit design flow, ensuring that the physical layout complies with the semiconductor manufacturing process constraints. DRC systematically examines the layout for violations of predefined geometric rules that, if unaddressed, could lead to fabrication failures or suboptimal device performance.



**(a)** **(b)**

**Figure 7**. *Student-generated circuit verification diagrams: (a) DRC passed and (b) LVS passed*

Typical DRC rules include constraints such as minimum line width, spacing between features, layer-to-layer distances, via dimensions, and other geometry-related limitations dictated by the process technology. DRC scans the entire layout and highlights any rule violations, enabling designers to detect and resolve issues prior to tape-out, thereby reducing manufacturing risks and associated costs. By ensuring conformance to fabrication specifications, DRC enhances the robustness of the design and minimizes the need for costly rework, ultimately shortening development cycles and optimizing production efficiency.

LVS verification complements DRC by confirming that the final physical layout accurately reflects the original schematic design. While DRC ensures that the layout meets geometric and process constraints, it does not verify the functional correctness or logical equivalence of the layout with the intended design. LVS addresses this gap by comparing the netlist extracted from the layout to the original schematic netlist, ensuring that connections, component instances, and circuit hierarchy are preserved. Together, DRC and LVS form the foundation of physical verification in IC design, safeguarding both manufacturability and functional integrity.

Once circuit verification is completed, layout parasitic extraction (LPE) is performed to quantify the impact of layout-induced parasitic elements on circuit behavior. This process is essential to ensure that the physical layout does not degrade the intended electrical performance. If the post-circuit simulation results fail to meet the original specifications, corrective actions must be taken. These may include circuit enhancement, parasitic analysis, or even redesigning both the schematic and the layout to meet performance requirements.

One of the major challenges at this stage is the inherent trade-off between minimizing chip area and managing parasitic effects. While layout designers strive to reduce chip size to optimize cost and integration density, aggressive area minimization can exacerbate parasitic capacitance and resistance, ultimately degrading circuit performance. Consequently, layout modification at this stage can be time-consuming and resource-intensive.

Following layout refinement, post-circuit simulation is conducted to validate the final

circuit performance under realistic parasitic conditions. If the post-circuit simulation closely matches the results of the pre-circuit simulation, the design is deemed ready for tape-out. The completed design can then be submitted to the TSRI for fabrication via TSMC.

## Conclusions

The findings of this study on the IC design course at NTTU hold significant implications for engineering education in remote areas. Three key themes emerged from the data: (1) localized and progressive course design, (2) the effectiveness of project-based learning, and (3) alignment with industry needs.

### 1. Localized and Scalable Course Design

The IC design course developed at NTTU demonstrates that a comprehensive and modern engineering education can be successfully implemented even in remote regions. The course progresses from basic circuit design and simulation to hands-on layout and verification, enabling students to develop both theoretical understanding and practical skills. This stepwise approach is particularly effective for students with limited prior knowledge, making it especially suitable for educational contexts in eastern Taiwan and other non-metropolitan areas.

### 2. Impact of Project-Based Learning

Project-based learning significantly enhanced students' motivation and self-confidence. Students reported that engaging in hands-on projects helped them understand real-world challenges in IC system design, such as workflow sequencing, debugging, and performance constraints. They also gained experience in teamwork and role allocation. These outcomes are consistent with constructivist learning theory and suggest that hands-on engagement should be central to technical education.

### 3. Alignment with Industry Demands

By incorporating industry-standard tools such as Cadence Virtuoso, the course equips students with practical competencies that enhance their employability and readiness for internships. Some students noted that their final projects were valuable assets during job interviews. Compared to resource-rich national universities, NTTU has leveraged intensive design practice to overcome geographic and resource limitations, illustrating that high-quality engineering education is not exclusive to elite institutions.

## Acknowledgments

This research was supported by the Ministry of Education Teaching Practice Research Program (Grant No. PEE1135286). The authors also wish to thank the National Applied Research Laboratories Taiwan Semiconductor Research Institute (TSRI) and Taiwan Semiconductor Manufacturing Company (TSMC) for their technical assistance and support.

## References

Ahmed, S., & Riaz, M. (2021). Blended learning for IC design: Enhancing accessibility through simulation tools and remote labs. *IEEE Transactions on Education*, 64(4), 330–338.

Baker, R. J. (2019). CMOS: Circuit design, layout, and simulation (4th ed.), Wiley.

Chen, M.-Y., & Hsu, C.-Y. (2021). Challenges and innovations in Taiwan's IC design education. *Journal of Engineering Education and Practice*, 14(2), 45–60.

Chiang, Y.-C., & Kuo, C.-H. (2021). Enhancing student engagement in VLSI design through project-based learning: *A case study in Taiwanese universities. Journal of Engineering Education Research*, 24(2), 145–162.

Economic Daily News. (2023). TSMC opens scholarship for rural IC talents. Retrieved from IEEE. (2022). IEEE international roadmap for devices and systems (IRDS).

Ko, P.-C., & Lai, T.-H. (2020). Regional disparity in Taiwan's STEM education and industry linkage. *Taiwan Journal of Education Policy*, 32(1), 79–95.

Lin, M.-T., & Hsieh, W.-L. (2022). Modular integration of circuit design tools for resource-constrained universities: *A teaching innovation approach. International Journal of Engineering Education*, 38(1), 75–88.

Ministry of Education. (2022). National strategy for semiconductor education and talent cultivation.

National Development Council. (2023). Taiwan 2030 semiconductor blueprint. Retrieved from

Shieh, J.-S. (2021). Design and verification of AI-integrated chips for education. International Journal of VLSI Design, 18(3), 118–130.

Su, C.-P., & Chen, W.-C. (2020). Localized curriculum development for integrated circuit design in rural universities. *Journal of Semiconductor Education*, 12(3), 210–225.

Yeh, W.-C., & Lin, H.-L. (2022). The role of cloud EDA tools in remote IC education. *IEEE Transactions on Education*, 65(4), 385–392.

# 影像類別與分類模型之適配度與效率分析

陳鈺儒 、高韓英*

## 中文摘要

本論文旨在探討各種神經網路模型應用於辨識不同圖像類別的適切程度。本論文收集了 2018-2023 已發表的影像處理相關論文，其中包括 400 筆以上之影像判別資料，根據使用的神經網路模型和分類結果進行了詳細分析和比較，並使用資料包絡分析(Data Envelopment Analysis, DEA)評估不同神經網路識別模型與圖像類別與之間的效率。本研究發現混合卷積神經網絡(Hybrid CNN)應用於動物類別圖像，而使用深度卷積神經網路（Deep CNN)於植物圖像有較高的分類準確度與分類效率分數。研究結果對於理解圖像與模型之間的關聯性具有重要意義，也有助於選擇最適合的神經網路模型來處理不同類型的圖像數據，從而提高影像處理的準確度和效率。

**關鍵詞**：影像處理，類神經網路模型，資料包絡分析，效率評估

陳鈺儒，國立東華大學資訊工程系
高韓英(通訊作者)，國立東華大學資訊工程系教授，E-mail: teresak@gms.ndhu.edu.tw

# Compatibility and Efficiency Analysis Between Image Categories and Classification Models

Yu-Ru Chen , Han-Ying Kao*

## Abstract

This study aims to verify the compatibility between different image categories and neural network models. This work compiles papers published between 2018 and 2023 with experiments related to image processing, and conducts a detailed analysis and comparison of their classification results and model parameters. We also use Data Envelopment Analysis (DEA) to evaluate the efficiency for classifying various image category types by applying neural network models. This study finds that classifying animal images with hybrid convolutional neural networks (hybrid CNN) and classifying plant images with deep convolutional neural networks (deep CNN) gain higher classification accuracy as well as efficiency scores. The research findings are significant for understanding the relationship between image types and classification models, and beneficial in selecting the most suitable models for handling different types of image data. This can improve the accuracy and efficiency of image processing as suggested by the findings to of this paper.

**Keywords**: Image Processing, Neural Network Models, Data Envelopment Analysis, Efficiency Evaluation.

Yu-Ru Chen, Department of Computer Science and Information Engineering, National Dong Hwa University.
Han-Ying Kao (Corresponding Author), Professor, Department of Computer Science and Information Engineering, National Dong Hwa University, E-mail: teresak@gms.ndhu.edu.tw

# 壹、緒論

近年來，深度學習在影像處理[1]領域取得了顯著的突破，神經網路可以自動學習圖像中的特徵，並具有良好的分類性能。然而，神經網路的訓練過程需要大量的數據資料且耗時長，資料取得不易。另外，相同的神經網路模型在處理不同圖像類別的分類任務時，可能會受到樣本大小、參數設定、神經網路層數等因素的影響而產生差異。對於不同的神經網路模型，這種影響更加複雜，而這種不一致性可能對結果的準確性和穩定性造成重要影響。

因此，本研究的動機在於比較不同神經網路模型應用於不同圖像類型分類的結果，評估其分類性能和穩定性，進一步發現不同圖像類型與神經網路模型的適配程度，以提供更有效和準確的影像分類解決方案。

本研究將探討各種不同的神經網路模型，如人工神經網絡[2](Artificial Neural Network, ANN)卷積神經網路[3](Convolutional Neural Network, CNN)、Visual Geometry Group (VGG)[4]等，將使用上述模型來分類不同類型的圖像數據集，以比較它們在分類結果方面的表現，包含準確率(Accuracy)、精確率(Precision)、召回率(Recall)等[5]。為了評估分類性能和穩定性，本論文另使用資料包絡分析法(Data Envelopment Analysis, DEA)[6]作為效率衡量指標。透過這項研究將期望發現不同圖像類型之最佳的神經網路分類模型，為影像分類領域提供更深入的理解。

本研究之內容架構如**圖 1** 所示，本節緒論包含研究背景與內容，第二節文獻探討主要是說明本研究中所提到的相關評估指標、理論及方法，其中包含各類神經網路模型以及資料包絡分析法，第三節研究方法將說明資料收如何收集與缺失值處理與效率分析的數學模型與參數，第四節說明實證結果與分析，最末第五節敘述結論與未來研究方向。

**圖 7.** 研究內容架構圖

# 貳、文獻探討

## 一、影像處理應用

影像處理[1]是指對圖像進行分析、修改、加工、增強或理解的技術。它可以應用於各種領域，包括醫學影像、安全監控、人臉識別、自動駕駛、圖像檢索等。以下是一些影像處理的應用：

(一) 圖像增強和修復：

即通過降噪、去模糊、銳化、對比度增強等方法，改善圖像的品質和細節。

Liu [7] 提出了(Probabilistic Diverse GAN, PD-GAN)，一種用於圖像修補的概率多樣性生成對抗網絡。PD-GAN 可以生成多個修補結果，並且這些修補結果在帶有不同孔洞區域的圖像修復上較完整逼真。

(二) 特徵檢測和提取：

識別圖像中的特定對象、形狀、邊緣或紋理，例如人臉檢測、物體識別、角點檢測等。Chai[8]提出了一種用於 3D 物體檢測的方法，可以在 2D 透視範圍影像中學習 3D 表示。並通過融合攝像頭影像來提高效果。在 Waymo Open 數據集上，他們的方法在行人檢測方面表現優秀，模型較小效率較高。

(三) 圖像分割：

將圖像分成不同的區域或對象，例如醫學影像中的器官分割、物體分割等。Lu[9]提出計算機視覺越來越擅長於在圖像和視頻中分割物體,但通常忽略了與物體相關的場景效果，如陰影、反射和煙霧等。為了解決這個問題，使用自動識別物體及其效果並使用自監督方式，只用普通視頻進行訓練，無需手動標籤，並且能自動生成各種物體和效果的全景遮罩。展示了現實世界視頻中不同主題（汽車、動物、人）之間的交互作用和複雜效果的結果。

(四) 物體追蹤和檢測：

追踪和檢測圖像中的物體，例如運動目標跟踪、行人檢測等。Stadler [10]提出了一種新的遮擋處理策略,優於基於特徵的方法,不需要單獨的重新識別網絡。改進了基於回歸的方法的軌跡管理，處理缺失的檢測和處理離開圖像邊界的軌跡。進一步提高了性能並超越了最先進的方法。

(五) 圖像分類和識別：

根據圖像的內容將其歸類到不同的類別中,例如手寫數字識別、圖像分類等。Yan [11]提出一個名為「Primitive Representation Learning Network (PREN)」的網絡，用於將視覺文字表示應用於並行解碼。將視覺文字表示與帶有 2D 注意機制的編碼器-解碼器模型結合，提出了名為「PREN2D」的框架，以解決注意力方法中的對齊問題。在英文和中文場景文字識別任務上的實驗結果表明，PREN 在準確性和效率之間取得了平衡，而 PREN2D 有更好的表現。

## 二、神經網路模型

影像處理常見的模型有人工神經網路(Artificial Neural Networks，ANN)與卷積神經網路，ANN 模仿生物神經網路的結構。而卷積神經網路 (Convolutional Neural Networks，CNN)，是用於圖像處理的最常見模型之一，在影像處理中佔有非常重要的地位,在影像辨識上的精確度可以達到超過人類的水準。可有效地從圖像中提取特徵，並在分類、檢測等任務中取得優秀的成果。以下將介紹重要的 CNN 模型：

(一) LeNet

LeNet 由 LeCun 等人[3]所提出,該論文將 LeNet 應用於光學字元辨識(Optical character recognition, OCR)和文件中的字體識別(character recognition)。這篇論文的出現代表神經網路(Artificial Neural Networks, ANN)從傳統的對圖像進行直接操作，演變成了現代的卷積神經網絡（Convolutional Neural Networks, CNN)，這種結構能夠從圖像中提取特徵，為影像處理領域帶來了重大的進展。由**圖 2**

LeNet 模型架構圖中可以看到 LeNet 的網路架構共有七層：卷積層(Convolutions)、池化層(Subsampling)、卷積層、池化層、全連接卷積層(Fully Connected)、全連接層、連接層(Gaussian Connection)。

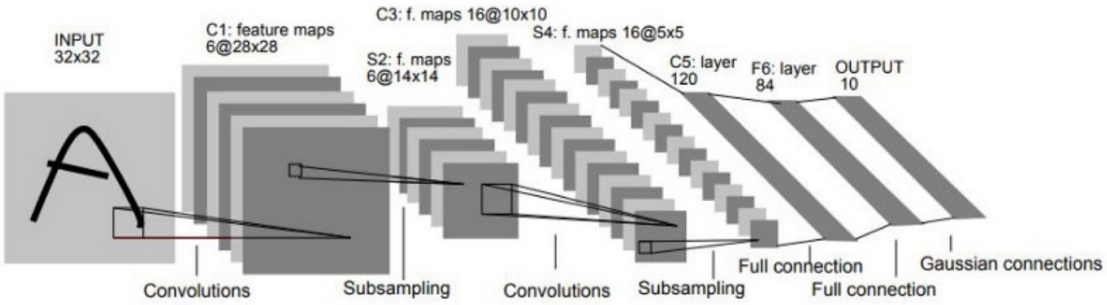



**圖 2.** LeNet 模型架構圖[3]

(二) AlexNet

為 Krizhevsky [12]提出的卷積神經網路並在同年的 ImageNet LSVRC 競賽中奪得了冠軍。**圖 3** 為 AlexNet 模型架構圖中可以看到 AlexNet 的架構有八層，共使用五個卷積層、三個全連接層。新增的卷積層可以處理更複雜的圖像與更多的特徵。卷積操作後的特徵圖會通過 (Rectified Linear Unit, ReLU)激活函數進行轉換將所有負值的輸出都設置為零從而引入了非線性。這有助於網絡更好地學習複雜的特徵和模式並減少不必要的資料。AlexNet 在深度學習和影像處理領域引起了重大的變革，使其不再只是學術研究的領域，而是實際應用的解決方案。這導致了神經網絡在各種行業中的廣泛應用，包括金融[13]、醫療[14]、農業[15]等。

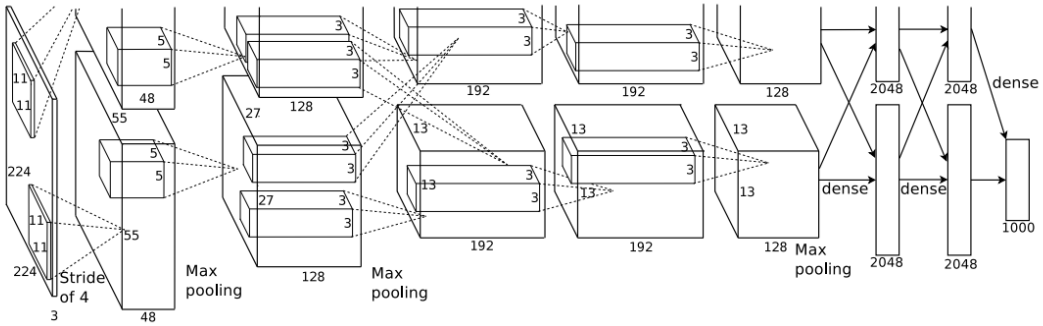



**圖 3.** AlexNet 模型架構圖[12]

(三) VGG

由 Simonyan & Zisserman [4]提出的卷積神經網路，並在 ImageNet LSVRC 的分類競賽中獲得了第二名。VGGNet 有許多不同的結構，例如 VGG11, VGG13, VGG16, VGG19，其差異在於網路的層數。與 AlexNet 相比 VGG 使用了更小的卷積核、更多的卷積層，這樣的設計增加了網絡的深度，從而提升特徵提取的能力。VGG 的深度和簡單的架構啟發了許多後續的模型設計。它強調了增加網絡深度的重要性，並通過使用多個小卷積核的方法來提取特徵。這個思想對於後來的深度模型設計，如 ResNet [16]和 Inception [17]等，產生了重大影響。

## 三、資料包絡分析法

由於神經網路在影像分類領域已經能夠獲得良好的分類結果，然而，對於不同圖像類別和不同神經網路模型，無法直接找到最好的分類結果而需要多種網路一起比較。因此，本研究使用資料包絡分析法(Data Envelopment Analysis, DEA)[6]作為評估效率的指標，以評估不同神經網路訓練參數對分類結果的相關程度。

資料包絡分析法是一種非參數的效率評估方法，用於評估相對效率和效能評估，本節將會介紹 DEA 在影像處理的應用與 DEA 中的 CCR 模型 Charnes ,Cooper & Rhodes [18]與 BCC 模型 Banker, Charnes & Cooper [19]。

假設有 $n$ 個決策單位需要被評估，每一決策單位均有 $m$ 個投入 ($i$=1,...,$m$)、$s$ 個產出因子 ($r$=1,...,$s$)，分別以 $X_{1j}, X_{2j}, \ldots, X_{mj}$ 和 $Y_{1j}, Y_{2j}, \ldots, Y_{sj}$ ($j$=1,...,$n$)表示投入與產出項目，則第 $k$ 個決策單位的效率值 $E_k$ 計算方式如式(1)所示，其中 $v_i$ 和 $u_r$ 所對應的投入與產出的加權權重，$\varepsilon$ 為一個非負數的極小值，其主要的作用是確保所有的加權權重均為正數。效率值為 $E_k$ 並介於 0 與 1 之間。

(一) CCR 線性模型

CCR 模型 [18]是由 Charnes、Cooper 和 Rhodes 於 1978 年提出的，它是 DEA 的最早發展的模型之一，也是 DEA 的基礎。CCR 模型主要用於評估多個相同或類似單元的相對效率。CCR 模型主要用於評估單元的相對效率也是本研究所使用的效率評估模型，CCR 模型通過建立線性規劃問題，計算每個單元的效率得分。在這個問題中，每個單元的輸入和產出數量作為變數，並且要滿足資源限制和生產平衡的條件。 通過解決這個線性規劃問題，可以獲得每個單元的效率得分。

$$Max \quad E_k = \frac{\sum_{r=1}^{s} u_r Y_{rk}}{\sum_{i=1}^{m} v_i X_{ik}}$$

$$s.t. \quad \frac{\sum_{r=1}^{s} u_r Y_{rj}}{\sum_{i=1}^{m} v_i X_{ij}} \le 1, \quad j = 1,2,\ldots,n \qquad (1)$$

$$u_r, v_i \ge \varepsilon \quad r = 1,2,\ldots,s \quad , \quad i = 1,2,\ldots,m$$

$$\sum_{i=1}^{m} v_i X_{ik} = 1 \qquad (2)$$

(二) BCC 線性模型

BCC 模型[19]在 CCR 模型的基礎上進一步發展而來，BCC 模型引入了一個額外的變數 u_0 來考慮生產過程的變動規模報酬情況。這個額外的變數使得 BCC 模型可更全面地評估決策單位的效率，包含衡量技術效率(Technical Efficiency, TE)與規模效率(Scale Efficiency, SE)，使其在效率評估上更為全面和有深度。在 BCC 模式中，上述 CCR 之數學模式(1)擴充為下列式(3)，原限制式式(2)則不變。

$$
\begin{aligned}
Max \quad & E_k = \frac{\sum_{r=1}^{s} u_r Y_{rk} - u_0}{\sum_{i=1}^{m} v_i X_{ik}} \\
s.t. \quad & \frac{\sum_{r=1}^{s} u_r Y_{rj} - u_0}{\sum_{i=1}^{m} v_i X_{ij}} \le 1, \quad j = 1,2,\ldots,n \\
& u_r, v_i \ge \varepsilon \quad r = 1,2,\ldots,s \quad , \quad i = 1,2,\ldots,m \\
& u_0 \qquad \text{unrestricted in sign}
\end{aligned}
\tag{3}
$$

(三) DEA 在影像處理的相關應用

DEA 在影像處理領域的應用相對較少，因為它主要用於評估效率、效能、生產效率、技術效率和經濟效率的方法，可以應用於各種組織和行業，例如企業、醫院、學校等。而在影像處理中更常見的是使用基於比較的定性評估、定量評估指標（如 PSNR、SSIM 等）以及人工智能模型的性能評估（如精度、召回率等）然而，DEA 作為一種效率評估方法，可以提供一種不同的視角，用於評估和比較影像處理的效率和效能。有關 DEA 在影像處理相關應用：Xie [20]提出了一種改善遙感影像融合的方法，該方法針對影像處理中的問題進行了改進。通過引入梯度約束項，該方法有效地將全色影像的空間訊息轉移到融合結果中。同時，利用核函數保留了多光譜影像的光譜信息。為了選擇最佳參數，研究採用資料包絡分析方法，並整合了當前最先進的影像質量指標。通過視覺知覺度量和融合指標的評估，實驗結果表明該方法優於其他常用的影像融合技術。Bozorgmanesh [21]這篇論文提出了一種結合資料包絡分析和影像處理的方法來改善影像分割的效果。該方法利用 DEA 作為評估性能的工具，用於比較不同的影像分割方法並選擇適當的參數值。通過將不同類別影像（如動物、建築等）的計算時間和準確性的平均值作為輸入和輸出，該方法處理了大量的輸入和輸出數據。實驗結果表明，所提出的方法在影像分割方面具有優越性能。

## 參、研究方法

本節說明研究流程架構、資料蒐集與處理、資料說明與投入產出項之選擇、及研究限制。

### 一、研究方法架構

本研究之研究方法根據圖 1 研究內容架構圖中的研究方法展開說明：

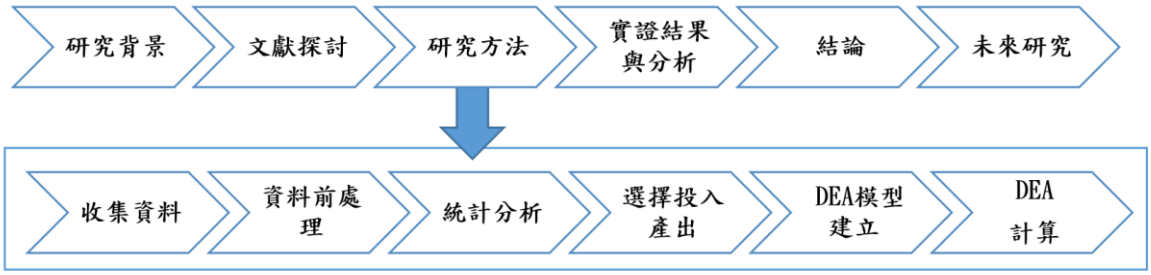



**圖 4.** 研究方法圖

(一) 資料蒐集：收集來自 IEEE Xplore 的相關論文資料，包含 37 篇影像分類相關論文，並取得 400 筆不同影像類別、模型、參數的資料。

(二) 資料前處理:對收集的資料進行整理與處理,包括新增欄位以及遺失值處理。

(三) 統計資料分析：對已收集資料進行統計分析

(四) 投入產出選擇：DEA 投入與產出變數選擇。

(五) DEA 模型建立：建立 DEA 模型以計算各分類網路模式之效率。

(六) DEA 效率計算。

## 二、 資料蒐集與處理

本研究所蒐集的資料來自 IEEE Xplore Digital Library[22]，時間跨度為 2018 年至 2023 年。共收集了 37 篇與影像分類相關的論文，其中包括 28 篇會議論文和 9 篇期刊論文，共計 400 筆實驗資料。這些論文涵蓋了不同的影像類別、模型和參數。

本章節分為兩部分第一部分為所收集論文的影像分類，第二部分為所收集論文的模型分類。首先,本文將 37 篇影像分類論文分成 7 種影像類別分別是:動物(Animals)、身體部位(Body parts)、符號(character)、食物與飲料(Food and drink)、害蟲(Pest)、植物(Plant)、科技(Technology)。

(一) 動物(Animals)包含：魚類與鳥類。[23-24]

(二) 身體部位(Body parts)包含：牙齒、皮膚、細胞、腦。[25-35]

(三) 符號(Character)包含：手寫文字與符號。[36-42]

(四) 食物與飲料(Food and drink)包含：食物、水果、飲料。[43-46]

(五) 害蟲(Pest)包含：蟲與果蠅。[47-49]

(六) 植物(Plant)包含：花、樹、木頭、種子。[50-57]

(七) 科技(Technology)包含：太陽能板與晶圓。[58-59]

其次,在模型分組部分,本研究考慮 AlexNet[12]、ANN[2]、CNN[3]、DenseNet[60]、EfficientNet[61]、GoogLeNet[62]、Inception[17]、KNN[56]、LeNet[3]、MobileNet[64]、ResNet[16]、SVM[56]、VGG[4]、Xception[65]，ShuffleNet[66]、SqueezeNet[67]、GhostNet[68] 和 random forest[48]等模型。將前述模型依照其特性和結構進行分類，以分析不同影像類別和不同神經網路模型的適切性，並為後續的效率分析提供基礎。

(一) 人工神經網路(ANN)

ANN [37,41,48,57]人工神經網路是一種基於生物神經元結構的計算模型，它模仿人腦的神經元之間的連接和信息傳遞。人工神經網路可用於解決多種問題，包括影像處理、自然語言處理等。不同於卷積神經網路，ANN 通常是全連接的，每個神經元與上一層的每個神經元都有連接，因此在大型問題上可能需要更多的參數和計算資源。

(二) 傳統卷積神經網路(Traditional CNN)：

傳統卷積神經網路是最早的卷積神經網路模型，包含 AlexNet、CNN、LeNet [23,28,29,33,37-41,45,48,50-52,56]，其與 ANN 的差異是新增了卷積層和池化層組成。這些層次的組合有助於提取圖像中的特徵，從而將複雜的圖像模式轉換為更高層次的表示。傳統 CNN 在影像分類、目標檢測等任務上取得了很好的成果，但在處理更深和複雜的模型時，可能會遇到梯度消失等問題。

(三) 深度卷積神經網路(Deep CNN)：

深度卷積神經網路是傳統 CNN 的延伸，包含 DenseNet、ResNet、VGG、Xception、Inception、GoogLeNet [23,24,27,28,30-32,36-40,43-48,50-56,58,59]，通常具有更深的網路結構，可以更有效率的處理複雜的特徵。這種類型的模型通常包含更多的層次，如殘差塊(Residual Blocks)、密集塊(Dense Blocks)等，這些結構有助於解決梯度消失問題，並進一步提升性能。

(四) 輕量級卷積神經網路(Lightweight CNN)：

輕量級卷積神經網路是專為移動設備等資源受限的環境而設計的模型，包含 EfficientNet、MobileNet、ShuffleNet、SqueezeNet 和 GhostNet [25,32,36,40,43,46,47,52,56,58]，相較於傳統 CNN 或者深度 CNN，輕量級卷積神經網路使用可分離卷積等輕量級結構，以減少參數和計算量，但同時保持優秀的性能。

(五) 混合卷積神經網絡(Hybrid CNN)：

包含 Semantic components and ResNet、CNN and SVM、Inception and ResNet [23-26,33-35,37,38,42,53,59 ]，其將多個不同結構或配置的 CNN 模型組合在一起，以提高整體性能。每個 CNN 可能具有不同的結構或是在不同的數據子集上訓練的，然後將它們組合起來形成一個更強大的模型。這種方法旨在充分利用多個 CNN 的優點，以提高模型的性能。

(六) 其他 Other：

常指的是基於傳統機器學習的模型，如支持向量機(SVM)和最近鄰居(KNN)等。這些方法在早期被廣泛應用於影像處理和分類任務。優勢在於解釋性強和易於實現，但在處理複雜的特徵和大數據時可能受限於性能。本類模式包含：SVM、KNN、HOG[46]、random forest 等[29,41,46,49,48,57]。

## 三、 資料說明與投入產出項之選擇

(一) 資料欄位概述：

將介紹資料庫欄位，其中包含了論文本身原本存在的欄位，以及在整理資料後新增的欄位。經整理後資料可以讓資料更具有可解釋性和可用性，以便於進一

步的研究分析和結果呈現。

1. image type：圖像類別分類。
2. samples：資料庫圖片樣本大小。
3. training %：資料庫訓練圖片樣本百分比。
4. Validation %：資料庫驗證圖片樣本百分比。
5. Model：模型類別。
6. epoch：訓練的回合數。
7. batch：訓練的批次大小。
8. learning rate：學習率。
9. Training Accuracy：模型在訓練集上的準確率，如下式(4)所示：
   True positive (TP): 預測爲正例，實際爲正例
   True Negative (TN): 預測爲正例，實際爲負例
   False Positive (FP): 預測爲負例，實際爲負例
   False Negative (FN): 預測爲負例，實際爲正例

   $$Accuacy = \frac{TN+TP}{TP+TN+FP+FN} \quad (4)$$

10. Val Accuracy：模型在驗證集上的準確率。
11. Testing Accuracy：模型在測試集上的準確率。是最終用來評估模型性能的指標。模型在測試數據上的表現反映其在實際應用中的能力。
12. Merge ACC：新增欄位，Merge ACC 是一個用於合併不同準確率結果的欄位。由於每篇論文的實驗設計可能不同，導致準確率結果表達存在差異性，有時可能會缺少 Training Accuracy、Val Accuracy 或 Testing Accuracy 數據。在本論文中，首先以 Testing Accuracy 代表準確度若無此資料依次以此類推，利用 Val Accuracy 和 Training Accuracy 代表準確度。本研究之 Merge ACC 選取邏輯如下：

```
if (testing_accuracy != "NA")
{       merge_acc = testing_accuracy;       }
else if (val_accuracy != "NA")
{       merge_acc = val_accuracy;       }
else if (training_accuracy != "NA")
{       merge_acc = training_accuracy;       }
else
{       merge_acc = "NA";       }
```

13. Recall：原本欄位，模型的召回率。召回率是指在所有真實正例中，模型成功找到並預測出的正例數量的比例，其計算公式如(5)所示：

    $$Recall = \frac{TP}{TP+FN} \quad (5)$$

14. Precision ：原本欄位，模型的精確率。精確率是指在所有被模型預測為正例的樣本中，實際為正例的數量的比例，其計算公式如(6) 所示：

    $$Precision = \frac{TP}{TP+FP} \quad (6)$$

15. F1-Score：原本欄位，模型的 F1 分數。F1 分數是召回率和精確率的調和平均值，它綜合考慮了兩者的影響，用於評估模型的整體性能。F1-Score 計算公式如(7) 所示：

$$\text{F1-Score} = \frac{2*(R*p)}{R+P} \quad (7)$$

(二) 使用欄位說明：經上述說明，本研究將使用以下欄位進行分析和評估：

1. image type：用於進行圖像類別分析。
2. samples：資料庫圖片樣本大小，是影像訓練模型的重要指標。
3. training %：訓練比例，表示資料庫中訓練圖片樣本所占的百分比。
4. Model：將所有訓練模型分為 6 類並以此欄位進行後續圖像類別分析。
5. epoch：訓練的回合數。是影像訓練模型的重要指標。
6. Merge ACC：評估模型在圖像分類結果的重要指標。
7. Recall：評估模型在圖像分類結果的重要指標。
8. Precision：評估模型在圖像分類結果的重要指標。

(三) DEA 模型參數描述

本研究根據資料包絡分析 CCR 模型乘法模型[69]設計，考慮 $n$ 個決策單位（即本研究中之各實驗樣本），變數$X_{k1}$、$X_{k2}$、$X_{k3}$為決策單位 $k$ 的三項投入變數，(samples、training %、epoch)，$Y_{k1}$、$Y_{k2}$、$Y_{k3}$為各實驗樣本之三項產出變數 (Merge ACC、Recall、Precision)。$E_k$為效率分數，由於三項投入變數對於效率的影響為乘法性關係，所以在效率分式中採用相乘的方式計算$X_{k1} * X_{k2} * X_{k3}$；三項產出變數相互獨立故在效率分式中採用加法型計算之。本研究之參數與變數如**表 1** 所示，變數之選擇說明如下所示。

**投入變數選擇**：將實驗的重要參數作為投入變數。在資料表中，收集了樣本數(samples)、訓練比率(training %)、測試比例(testing %)、驗證比例(validation %)、時期(epoch)、批次(batch)、學習率(learning rate)等。本研究認為樣本數與訓練比率、時期等參數較為重要且資料較完整，因此將這些參數視為投入變數，由於以上變數相互影響故使用相乘的方式評估模型的效率。

**產出變數之選擇**：本研究認為準確度(Accuracy)是重要的評估指標，然而由於每篇論文的實驗結果呈現方式各不相同，導致資料表中可能缺乏準確度指標。為解決此問題，本研究新增了 Merge ACC 欄位，用於合成模型效能的準確度指標。另外，部分論文可能未提供準確度，而使用精確率(Precision)、召回率(Recall)和 F1-Score 等指標來評估模型。因此，選擇合成準確度(Merge ACC, 請參考第三章第三節說明）、精確率(Precision)和召回率(Recall)作為產出變數，以全面衡量模型效能。

<<**表 4**. DEA 模式之參數與變數列表>>

### 四、研究限制

本研究在探討影像分類相關論文時,僅限於收集了 2018 年至 2023 年期間在 IEEE Xplore 數據庫上發表的論文資料，並採用文獻回顧方法進行資料收集和分析。然而，由於蒐集範圍、報告差異和資料庫限制，本研究存在以下限制：

**資料偏向性**：某些特定的圖像類別、模型或參數的數據可能較為集中，而其他可能重要的領域未被完全納入，這可能導致對於整個領域的全面性理解不足。

**資料差異**：不同作者間可能使用不同的資料庫、模型、評估指標等，這可能對分析和結果產生影響，且難以進行直接比較。

**分類器差異**：許多論文中未明確交代 CNN 模型中特徵擷取和分類器的部分，本研究只採用模型與最後的分類準確度進行分析，未涵蓋所有分類器可能導致結果差異。

**實驗驗證限制**：本研究僅依賴文獻報告的結果，未進行實際實驗或執行模型等相關驗證，可能存在著實驗結果的限制和不確定性。

## 肆、實證結果與分析

### 一、統計分析

準確度為影像處理中的重要指標因此本節將對資料進行圖像分類與模型分類的統計分析，其中以合成準確度 Merge ACC 為主要分析對象。表 2 與圖 5 為 7 種圖像類別對神經網路模型 Merge ACC 的統計分析，共 328 筆實驗樣本資料(全部 400 筆扣除資料不全之 72 筆資料)，NA 代表資料過少無法計算，說明如下：

**動物(Animals)**：共有 3 種神經網路模型 Deep CNN、Hybrid CNN、Traditional CNN 其中表現最好的是 Hybrid CNN，平均 Merge ACC 為 0.9382，代表 Hybrid CNN 對動物的圖像具有非常出色的分類結果。

**身體部位(Body parts)**：共有 5 種神經網路模型 Deep CNN、Hybrid CNN、Lightweight CNN、Other、Traditional CNN 其中表現最好的是 Traditional CNN，Merge ACC 平均 0.9293 代表 Traditional CNN 對身體部位的圖像具有非常出色的分類結果。

**符號(Character)**：共有 6 種神經網路模型 ANN、Deep CNN、Hybrid CNN、Lightweight CNN、Other、Traditional CNN 其中表現最好的是 Hybrid CNN，平均 Merge ACC 平均 0.9651，代表 Hybrid CNN 對符號的圖像具有非常出色的分類結果。較差的是 Traditional CNN Merge ACC 平均 0.5254，造成 Traditional CNN 較低的原因可能為資料包含手寫文字與符號，且每種文字之間存在外觀差異，這使得模型在處理這些外觀差異時可能遇到困難。

**食物與飲料(Food and drink)**：共有 6 種神經網路模型 Deep CNN、Lightweight CNN、Other、Traditional CNN 其中表現最好的是 Traditional CNN，平均 Merge ACC 為 0.9836，代表 Traditional CNN 對食物與飲料的圖像具有非常出色的分類結果。較差的是 Deep CNN 在 Merge ACC 中最大最小值相差較大造成平均值較低，可能原因為食物和飲料類別包含了各種不同種類的食物、水果和飲料，其外觀特徵和組成成分存在較大的多樣性導致分類結果差異較大。

**害蟲(Pest)**：共有 5 種神經網路模型 ANN、Deep CNN、Lightweight CNN、Other、Traditional CNN 其中表現最好的是 Other Merge ACC 平均 0.9612，代表 Other 對害蟲的圖像具有非常出色的分類結果。

**植物(Plant)**：共有 6 種神經網路模型 ANN、Deep CNN、Hybrid CNN、Lightweight CNN、Other、Traditional CNN 其中表現最好的是 Deep CNN 平均 Merge ACC 0.9339，代表 Deep CNN 對植物的圖像具有非常出色的分類結果。

**科技(Technology)**：共有 3 種神經網路模型 Deep CNN、Hybrid CNN、Lightweight CNN 其中表現最好的是 Lightweight CNN，平均 Merge ACC 0.9928 代表 Lightweight CNN 對科技的圖像具有非常出色的分類結果。

<<**表 5**. 圖像類別之 Merge ACC >>

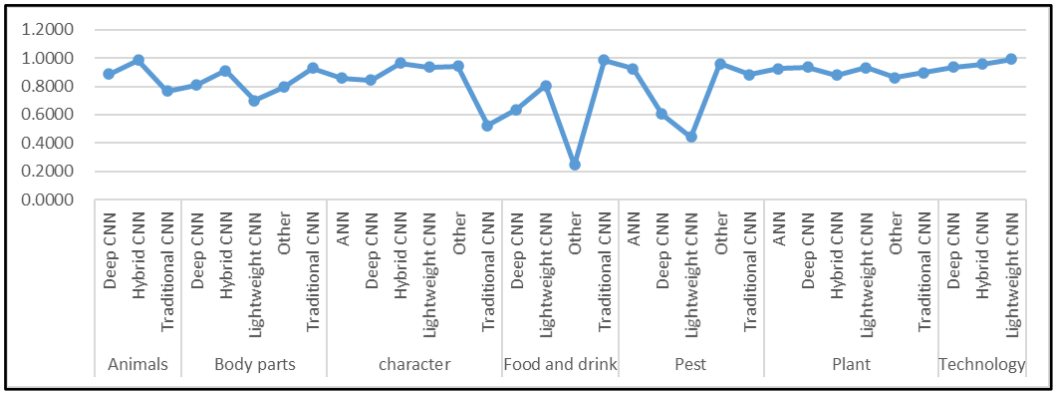



**圖 5.** 圖像類別之 Merge ACC 平均圖

**表 3** 與**圖 6** 為 6 種圖神經網路模型對圖像類別 Merge ACC 的統計分析，共 328 筆資料(全部 400 筆扣除資料缺值之 72 筆資料)，NA 代表資料過少無法計算，資說明如下：

(一) 人工神經網路(ANN)：

分析 3 種圖像類別 character、Pest、Plant，整體看來雖然資料量較少但是使用 ANN 的所有圖像類別都具有較好分類性能。

(二) 深度卷積神經網路(Deep CNN)：

分析 6 種圖像類別 Animals、Body parts、character、Food and drink、Pest、Plant， 其中 Food and drink 與 Pest 類別表現較差，可能原因為食物和飲料類別包含了各種不同種類的食物、水果和飲料，其外觀特徵的不同可能導致分類結果差異較大。害蟲類別的特徵相對較複雜，包括它們的外形、顏色、紋理等方面的變化。這些特徵可能在不同害蟲之間存在較大的差異，使得模型再提取和區分這些特徵時面臨一定問題，導致分類結果差異較大。

(三) 混合卷積神經網絡(Hybrid CNN)：

分析 6 種圖像類別 Animals、Body parts、character、Plant，整體來看所有使

用 Hybrid CNN 的圖像類別都可以取得較好的分類成果。其中平均 Merge ACC 最高的為 Animals Merge ACC 平均 0.9999 代表 Hybrid CNN 對 Animals 圖像具有非常出色的分類結果。

(四) 輕量級卷積神經網路(Lightweight CNN)：

分析 6 種圖像類別 Body parts、character、Food and drink、Pest、Plant、Technology 其中除了 Pest 類別以外都有較高的分類結果，可能由於害蟲因為種類不同與特徵複雜造成使用 Lightweight CNN 分類無法取得較好的結果。

(五) 傳統卷積神經網路(Traditional CNN)：

分析 6 種圖像類別 Animals、Body parts、character、Food and drink、Pest、Plant，其中除了 character 類別以外都有較高的分類結果。這可能是因為 character 類別包含手寫文字，手寫文字受到寫字習慣、大小、工整程度等影響特徵可能較複雜，這使得模型在處理這些外觀差異時可能遇到困難，導致效率評估結果較低。

(六) 其他 Other：

分析 5 種圖像類別 Body parts、character、Food and drink、Pest、Plant，其中 Merge ACC 平均最低的為 Food and drink 為 0.2475，只有一筆資料可能由於資料較少而造成資料分類結果較差。Merge ACC 平均最高的為 Pest 為 0.9612，代表使用 Other 模型可能在 Pest 圖像分類上取得較好的結果。

整體而言 7 種圖像類別與神經網路模型都可以找到較好的分類結果即為較高的準確度，但每種模型所需要的訓練參數與結果都不同。因此本研究將以 DEA 分析模型的訓練參數與分類結果來衡量投入參數與產出分類結果之間的關係。

## 二、DEA 結果分析

本研究使用資料包絡分析法(DEA)對投入變數(samples、training %、epoch)，產出變數(Merge ACC、Recall、Precision) 進行效率分析並以 SCORE 代表效率分數，並將結果與 Merge ACC 一起進行分析。這有助於深入瞭解模型的效能和適用性。

<<**表 6**.模型類別之 Merge ACC >>

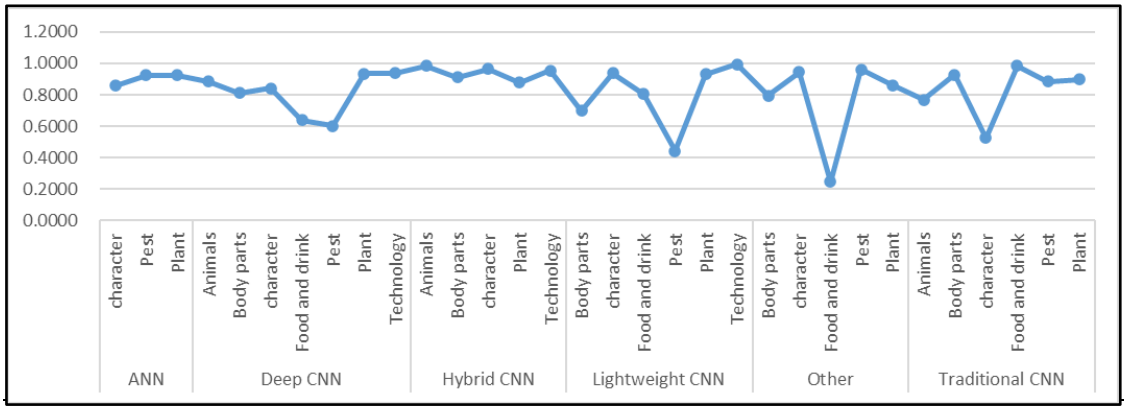



**圖 6.** 模型類別之 Merge ACC 平均圖

此外，由於 DEA 需要完整的投入與產出資料所以本研究在處理資料中的遺失值時提出了 3 種效率評估模型，以確保資料的完整性和分析的準確性：

**模型 Model-A**：模型 Model-A 為完整的數據，將刪除包含缺失值的資料項目，並直接對剩餘的完整資料進行分析，不需進行額外的處理步驟。5 種圖像類別與 5 種神經網路模型總共 47 筆資料。

**模型 Model-B**：模型 Model-B 為完整的投入與產出遺失值估計，對於投入資料存在缺失的資料項目刪除缺失的資料，並對於產出資料存在缺失的項目，將使用該指標的最小值來進行替代(Merge ACC 0.0351, Recall 0.2521, Precision 0.2460)。6 種圖像類別與 6 種神經網路模型總共 216 筆資。

**模型 Model-C**：模型 Model-C 為投入與產出遺失值估計，對於投入資料存在缺失的資料項目使用該指標的平均值來進行替代(Samples 78631, training % 0.6604, epoch 71)；對於產出資料存在缺失的項目，使用該指標的最小值來進行替代(Merge ACC 0.0351, Recall 0.2521, Precision 0.2460)。。7 種圖像類別與 6 種神經網路模型總共 400 筆資料。

上述模型確保資料在後續分析中的完整性與可靠性，同時克服了遺失值可能引發的分析偏差，進一步說明如下：

(一) 模型 Model-A

下**表 4** 為模型 Model-A 的圖像分類 DEA 效率分析，下圖 7 為模型 Model-A 的圖像分類 DEA 效率折線圖，SCORE 表示 DEA 模式計算之效率分數。

1. 身體部位(Body parts)：共有 3 種神經網路模型 Deep CNN、Hybrid CNN、Lightweight CNN ，DEA SCORE 平均最高的為 Lightweight CNN SCORE 平均 0.1363 最低的為 Deep CNN SCORE 平均 0.3431，整體看來呈現 DEA SCORE 較低可能原因為在效率評估中無法充分利用資源或優化輸入輸出比導致身體部位 DEA 效率分數較低。
2. 符號(Character)：共有 3 種神經網路模型 Deep CNN、Hybrid CNN、Lightweight CNN，DEA SCORE 平均最高的為 Lightweight CNN SCORE 平均 0.2842 最低的為 Hybrid CNN SCORE 平均 0.1793，整體看來呈現 DEA SCORE 較低可能原因為在效率評估中無法充分利用資源或優化輸入輸出比導致符號 DEA 效率分數較低。
3. 食物與飲料(Food and drink)：共有 3 種神經網路模型 Deep CNN、Lightweight CNN、Other，DEA SCORE 平均最高的為 Lightweight CNN SCORE 平均 0.2842 最低的為 Other SCORE 平均 0.0457，其中 Other 模型 DEA SCORE 較其他模型低因此本研究認為 Other 與食物與飲料類別適配程度較低。
4. 害蟲(Pest)：共有 2 種神經網路模型 Deep CNN、Traditional CNN，DEA SCORE 平均 最高的為 Traditional CNN SCORE 平均 0.2632 最低的為 Deep CNN SCORE 平均 0.2451，整體看來呈現 DEA SCORE 較低可能原因為在效率評估中無法充分利用資源或優化輸入輸出比導致害蟲 DEA 效率分數較低。
5. 植物(Plant)：共有 3 種神經網路模型 Deep CNN、Lightweight CNN、

Traditional CNN，DEA SCORE 平均最高的為 Deep CNN SCORE 平均 0.7155 最低的為 Lightweight CNN SCORE 平均 0.1614，其中 Deep CNN 模型 DEA SCORE 較其他模型高因此本研究認為 Deep CNN 與植物類別適配程度較高。

下**表 5** 為模型 Model-A 的模型分類 DEA 效率分析，下**圖 8** 為模型 Model-A 的模型分類 DEA 效率折線圖，進一步說明如下：

<<**表 7**.模型 Model-A 的圖像分類 DEA 效率分析>>

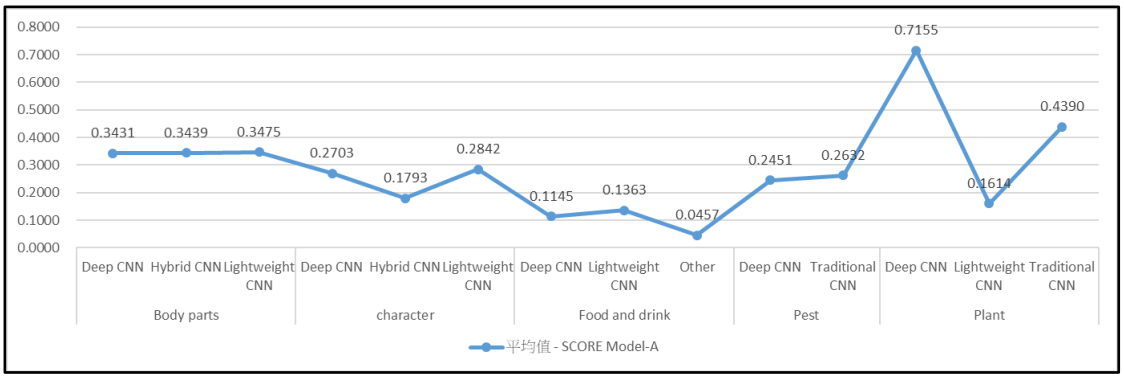



**圖 7.** 模型 Model-A 的圖像分類 DEA 效率折線圖

<<**表 8**.模型 Model-A 的模型分類 DEA 效率分析>>

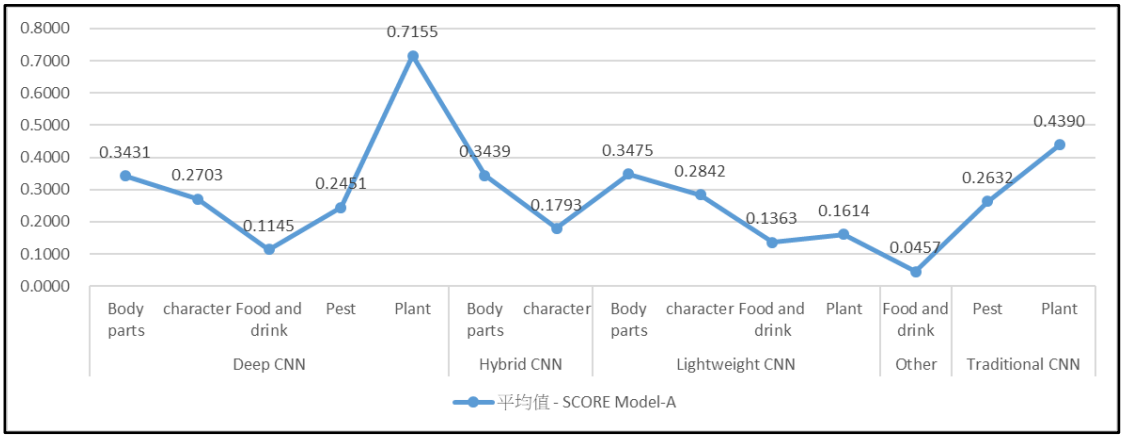



**圖 8.** 模型 Model-A 的模型分類 DEA 效率折線圖

1. 深度卷積神經網路(Deep CNN): 共有 5 圖像類別 Body parts、character、Food and drink、Pest、Plant，DEA SCORE 平均最高的為 Plant SCORE 平均 0.7155 最低的為 Food and drink SCORE 平均 0.1155，其結果表明 Deep CNN 對 Plant 類別適配性較高與對 Food and drink 適配性較低。
2. 混合卷積神經網絡(Hybrid CNN): 共有 2 圖像類別 Body parts、character，DEA SCORE 平均最高的為 Body parts SCORE 平均 0.3439 SCORE 最低的為 character SCORE 平均 0.1793，整體看來呈現 DEA SCORE 較低可能原因為在效率評估中無法充分利用資源或優化輸入輸出比導致 Hybrid

CNN DEA 效率分數較低。

3. 輕量級卷積神經網路(Lightweight CNN): 共有 4 圖像類別 Body parts、character、Food and drink、Plant，DEA SCORE 平均 最高的為 Body parts SCORE 平均 0.3475 最低的為 Food and drink SCORE 平均 0.1323，整體看來呈現 DEA SCORE 較低可能原因為在效率評估中無法充分利用資源或優化輸入輸出比導致 Lightweight CNN DEA 效率分數較低。
4. 其他 Other: 只有 Food and drink 類別 DEA SCORE 平均為 0.0457，結果表明 Other 與 Food and drink 的適配度較低。
5. 傳統卷積神經網路(Traditional CNN)共有 2 圖像類別 Pest、Plant，DEA SCORE 平均 最高的為 Plant SCORE 平均 0.4390 最低的為 Pest SCORE 平均 0.2632，整體看來呈現 DEA SCORE 較低可能原因為在效率評估中無法充分利用資源或優化輸入輸出比導致 Traditional CNN 效率分數較低。

(二) 模型 Model-B

下**表 6** 為模型 Model-B 的圖像分類 DEA 效率分析，下**圖 9** 為模型 Model-B 的圖像分類 DEA 效率折線圖，進一步說明如下：

1. 身體部位(Body parts): 共有 4 種神經網路模型 Deep CNN、Hybrid CNN、Lightweight CNN、Traditional CNN，DEA SCORE 平均最高的為 Hybrid CNN 0.3685 SCORE 最低的為 Hybrid CNN 0.3014，整體看來呈現 DEA SCORE 較低可能原因為在效率評估中無法充分利用資源或優化輸入輸出比導致身體部位 DEA 效率分數較低。
2. 符號(Character)：共有 5 種神經網路模型 ANN、Deep CNN、Hybrid CNN、Lightweight CNN、Traditional CNN，DEA SCORE 平均 最高的為 Lightweight CNN 0.1361 SCORE 最低的為 Traditional CNN 0.0933，其中 Traditional CNN 模型 DEA SCORE 較其他模型低因此本研究認為 Traditional CNN 與符號類別適配程度較低。
3. 食物與飲料(Food and drink)：共有 3 種神經網路模型 Deep CNN、Lightweight CNN、Other，DEA SCORE 平均最高的為 Hybrid CNN 0.3685 SCORE 最低的為 Other 0.0456，其中 Other 模型 與模型 Model-A 相比其 DEA SCORE 依然較其他模型低因此本研究認為 Other 與食物與飲料類別適配程度較低。
4. 害蟲(Pest)：共有 5 種神經網路模型 Deep CNN、Hybrid CNN 、Lightweight CNN、Other、Traditional CNN，DEA SCORE 平均最高的為 Other 0.4170 SCORE 最低的為 Lightweight CNN 0.0459，其中 Lightweight 模型 DEA SCORE 較其他模型低因此本研究認為 Lightweight 與害蟲類別適配程度較低。
5. 植物(Plant)：共有 4 種神經網路模型 Deep CNN、Hybrid CNN 、Lightweight CNN、Traditional CNN，DEA SCORE 平均最高的為 Deep CNN 0.5835 SCORE 最低的為 Lightweight CNN 0.2351，其中 Deep CNN 模型與模型 Model-A 相比其 DEA SCORE 依然較其他模型高因此本研究認為 Deep

CNN 與植物類別適配程度較高。

6. 科技(Technology)：共有 2 種神經網路模型 Deep CNN、Lightweight CNN，DEA SCORE 平均最高的為 Deep CNN 0.3955 SCORE 最低的為 Lightweight CNN 0.3920，整體看來呈現 DEA SCORE 較低可能原因為在效率評估中無法充分利用資源或優化輸入輸出比導致身體部位 DEA 效率分數較低。

<<**表 9**.模型 Model-B 的圖像分類 DEA 效率分析>>

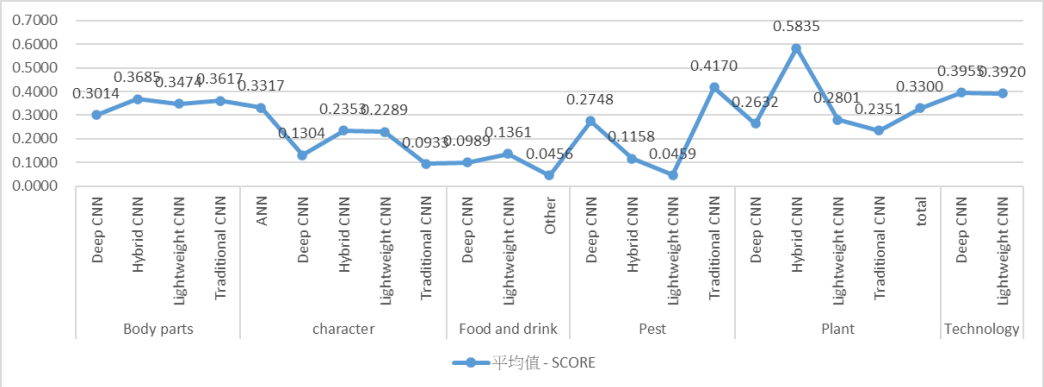



**圖 9.** 模型 Model-B 的圖像分類 DEA 效率折線圖

**表 7** 為模型 Model-A 的模型分類 DEA 效率分析，下**圖 10** 為模型 Model-A 的模型分類 DEA 效率折線圖。此外，根據不同分類模式分析如下：

<<**表 10**.模型 Model-B 的模型分類 DEA 效率分析>>

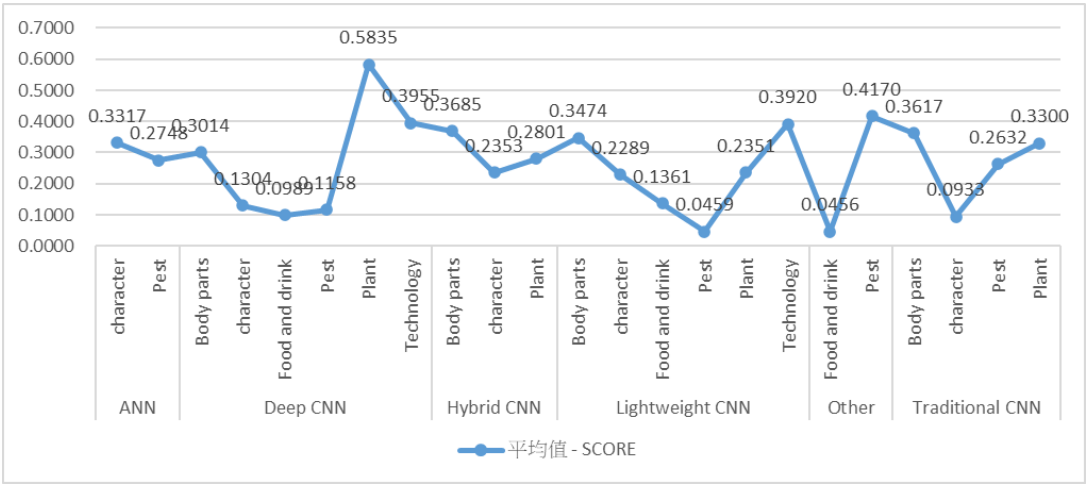



**圖 10.** 類別 B 的模型分類 DEA 效率折線圖

1. 人工神經網路(ANN)：共有 2 圖像類別 character、Pest，為模型 Model-B 新增的神經網路模型，DEA SCORE 平均最高的為 character 0.3317 SCORE 最低的為 Pest 0.2748，整體看來呈現 DEA SCORE 較低可能原因為在效率

評估中無法充分利用資源或優化輸入輸出比導致 ANN DEA 效率分數較低。

2. 深度卷積神經網路(Deep CNN)：共有 5 圖像類別 Body parts、character、Food and drink 、Pest、Plant，DEA SCORE 平均 最高的為 Plant 0.5835 SCORE 最低的為 Food and drink 0.0989 其結果依然表明 Deep CNN 對 Plant 類別適配性較高與對 Food and drink 適配性較低。
3. 混合卷積神經網絡(Hybrid CNN)：共有 3 圖像類別 Body parts、character、Plant，DEA SCORE 平均最高的為 Body parts 0.3685 SCORE 最低的為 character 0.2353，整體看來呈現 DEA SCORE 較低可能原因為在效率評估中無法充分利用資源或優化輸入輸出比導致 Hybrid CNN DEA 效率分數較低。
4. 輕量級卷積神經網路(Lightweight CNN)：共有 6 圖像類別 Body parts、character、Food and drink、Plant、Pest、Technology，DEA SCORE 平均 最高的為 Technology 0.3685 SCORE 最低的為 character 0.2353，整體看來呈現 DEA SCORE 較低可能原因為在效率評估中無法充分利用資源或優化輸入輸出比導致 Hybrid CNN DEA 效率分數較低。
5. 其他 Other：共有 2 圖像類別 Food and drink、Pest，Pest 為模型 Model-B 新增的圖像類別，DEA SCORE 平均最高的為 Pest 0.4170 SCORE 最低的為 Food and drink 0.0456 結果表明 Other 對 Pest 圖像類別適配性較高對 Food and drink 適配性較低。
6. 傳統卷積神經網路(Traditional CNN)共有 4 圖像類別 Body parts、character、Pest、Plant 其中 Body parts、character 為模型 Model-B 新增的圖像類別，DEA SCORE 平均最高的為 Body parts 0.3617 SCORE 最低的為 character 0.0933，結果表明 Traditional CNN 對 character 適配性較低。

(三) 模型 Model-C

下**表 8** 為模型 Model-C 的圖像分類 DEA 效率分析，下**圖 11** 為模型 Model-C 的圖像分類 DEA 效率折線圖。

<<**表 11**.模型 Model-C 的圖像分類 DEA 效率分析>>

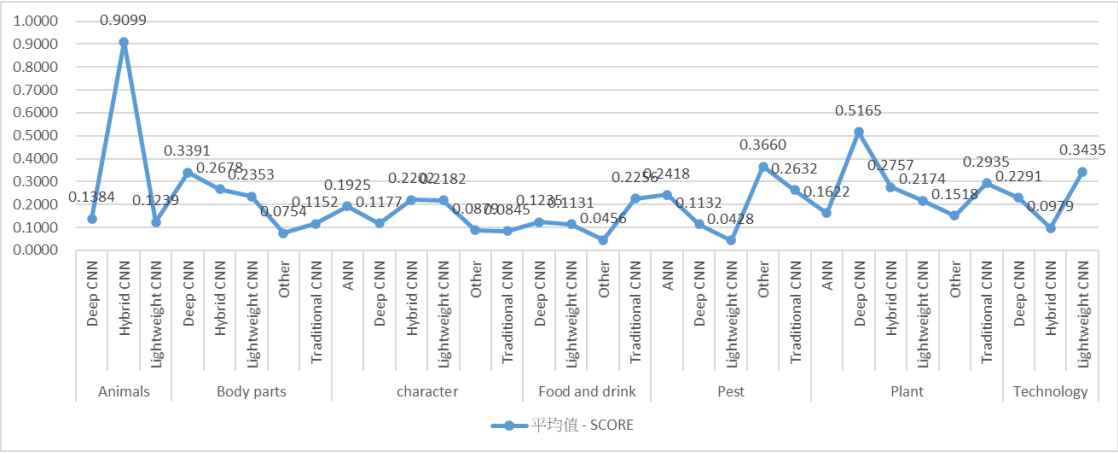



**圖 11.** 模型 Model-C 的圖像分類 DEA 效率折線圖

1. 動物(Animals)：共有 3 種神經網路模型 Deep CNN、Hybrid CNN 、

Lightweight CNN，DEA SCORE 平均最高的為 Hybrid CNN SCORE 平均 0.9099 最低的為 Lightweight CNN SCORE 平均 0.1239，這表示相對於其他模型，Hybrid CNN 在動物圖像分類上具有較高的效率，這也代表動物類別對於 Hybrid CNN 的適配程度較高。

2. 身體部位(Body parts)：共有 4 種神經網路模型 Deep CNN、Hybrid CNN、Lightweight CNN、Other、Traditional CNN，DEA SCORE 平均最高的為 Deep CNN SCORE 平均 0.3391 最低的為 Other SCORE 平均 0.0754，結果表示 Other 在身體部位圖像分類適配程度較低。
3. 符號(Character)：共有 6 種神經網路模型 ANN、Deep CNN、Hybrid CNN、Lightweight CNN、Other 、Traditional CNN，DEA SCORE 平均最高的為 Hybrid CNN SCORE 平均 0.2202 最低的為 Traditional CNN SCORE 平均 0.0845，整體看來與模型 Model-A、Model-B 相似依然呈現 DEA 效率較低的情況，也依然認為 Other 與食物與飲料類別適配程度較低。
4. 食物與飲料(Food and drink)：共有 3 種神經網路模型 Deep CNN、Lightweight CNN、Other、Traditional CNN，DEA SCORE 平均 最高的為 Traditional CNN SCORE 平均 0.2256 最低的為 Other SCORE 平均 0.0456，整體看來依然呈現 DEA 效率較低的情況。
5. 害蟲(Pest)：共有 6 種神經網路模型 ANN、Deep CNN、Hybrid CNN 、Lightweight CNN 、Traditional CNN ，DEA SCORE 平均最高的為 Lightweight CNN SCORE 平均 0.3660 最低的為 Other SCORE 平均 0.0428，整體看來依然呈現 DEA 效率較低的情況。
6. 植物(Plant)：共有 4 種神經網路模型 ANN、Deep CNN、Hybrid CNN 、Lightweight CNN、Other、Traditional CNN，DEA SCORE 平均最高的為 Deep CNN 0.35165 SCORE 平均 最低的為 Other SCORE 平均 0.1518，整體平均 SCORE 有些微下降但 Deep CNN SCORE 平均 0.5165 依然是相對較高的效率分數，依然可以認為植物圖像與 Deep CNN 較適配。
7. 科技(Technology)：共有 2 種神經網路模型 Deep CNN、Hybrid CNN 、Lightweight CNN，DEA SCORE 平均最高的為 Lightweight CNN SCORE 平均 0.3435 S 最低的為 Hybrid CNN SCORE 平均 0.0979，整體看來依然呈現 DEA 效率較低的情況。

下**表 9** 為模型 Model-C 的模型分類 DEA 效率分析，下**圖 12** 為模型 Model-C 的模型分類 DEA 效率折線圖。此外，根據不同分類模式分析如下：

**<<表 12**.模型 Model-C 的模型分類 DEA 效率分析>>

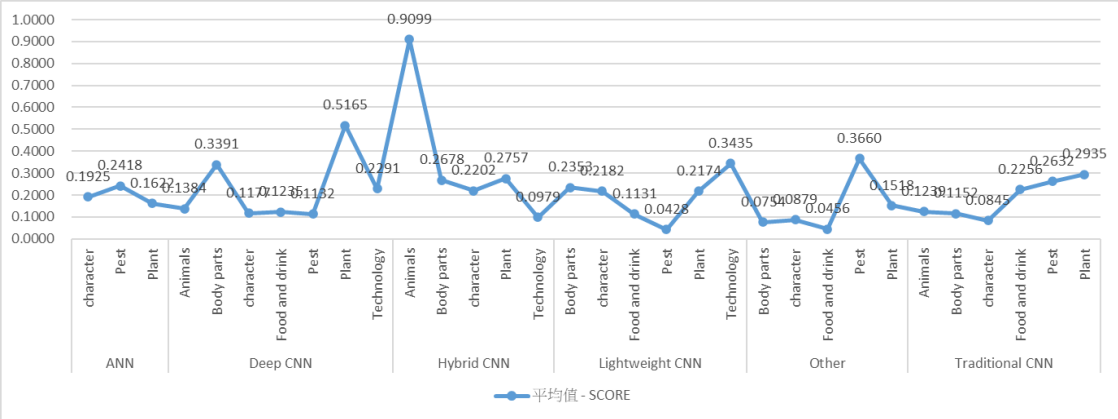



**圖 12.** 模型 Model-C 的模型分類 DEA 效率折線圖

1. 人工神經網路(ANN): 共有 3 圖像類別 character、Pest、Plant，DEA SCORE 平均最高的為 Pest SCORE 平均 0.2418 最低的為 Plant SCORE 平均 0.1622，整體看來依然呈現 DEA 效率較低的情況。
2. 深度卷積神經網路(Deep CNN): 共有 7 圖像類別 Animals、Body parts、character、Food and drink、Pest、Plant、Technology，DEA SCORE 平均 最高的為 Plant 0.5165 SCORE 平均最低的為 Pest SCORE 平均 0.1132，整體看來 Plant 類別相較於其他類別效率較高，代表 Deep CNN 對 Plant 類別適配性較高。
3. 混合卷積神經網絡(Hybrid CNN): 共有 5 圖像類別 Animals、Body parts、character、Plant、Technology，DEA SCORE 平均最高的為 Animals SCORE 平均 0.9099 最低的為 Technology SCORE 平均 0.0979，結果表明 Hybrid CNN 對 Animals 類別適配性較高。
4. 輕量級卷積神經網路(Lightweight CNN): 共有 6 圖像類別 Body parts、character、Food and drink、Pest、Plant、Technology，DEA SCORE 平均最高的為 Technology SCORE 平均 0.3435 最低的為 Pest SCORE 平均 0.0438，結果依然代表 Lightweight CNN 對 Pest 類別適配性較低。
5. 其他 Other: 共有 5 圖像類別 Animals、Body parts、character、Food and drink、Pest、Plant，DEA SCORE 平均 最高的為 Pest SCORE 平均 0.3660 最低的為 Food and drink SCORE 平均 0.0456，結果依然代表 Other 對 Food and drink 適配性較低。
6. 傳統卷積神經網路(Traditional CNN)共有 6 圖像類別 Animals、Body parts、character、Food and drink 、Pest、Plant，DEA SCORE 平均最高的為 Plant 平均 0.2935 最低的為 character SCORE 平均 0.0845 其中 character 結果依然代表 Traditional CNN 對 character 類別適配性較低。

下**表 10** 為模型 Model-ABC 的圖像分類 DEA 效率比較表，下**圖 13** 為模型 Model-ABC 的圖像分類 DEA 效率比較折線圖。

1. 動物(Animals)：共有 3 種神經網路模型 Deep CNN、Hybrid CNN 、Lightweight CNN，此為模型 Model-C 新增的圖像類別，以模型 Model-C 結果來看，Hybrid CNN 對動物圖像分類上具有較高的效率，這也表示表動物類別對於 Hybrid CNN 的適配程度較高。

2. 身體部位(Body parts)：共有 4 種神經網路模型 Deep CNN、Hybrid CNN、Lightweight CNN、Other、Traditional CNN，在模型 Model-ABC 所有 DEA SCORE 平均中最低的為模型 Model-C 新增的 Other SCORE 平均 0.0754，結果表示 Other 在身體部位圖像分類適配程度較低，
3. 符號(Character：共有 6 種神經網路模型 ANN、Deep CNN、Hybrid CNN、Lightweight CNN、Other 、Traditional CNN，整體看來與模型 Model-A、Model-B 相似依然呈現 DEA 效率較低的情況，結果顯示 Other 與食物與飲料類別適配程度較低。
4. 食物與飲料(Food and drink)：共有 3 種神經網路模型 Deep CNN、Lightweight CNN、Other、Traditional CNN，整體看來與模型 Model-A、Model-B 相似依然呈現 DEA 效率較低的情況。
5. 害蟲(Pest)：共有 6 種神經網路模型 ANN、Deep CNN、Hybrid CNN 、Lightweight CNN 、Traditional CNN，DEA SCORE 最高的為 Lightweight CNN 整體看來與模型 Model-A、Model-B 相似依然呈現 DEA 效率較低的情況。
6. 植物(Plant)：共有 4 種神經網路模型 ANN、Deep CNN、Hybrid CNN 、Lightweight CNN、Other、Traditional CNN，在模型 Model-ABC 所有 DEA SCORE 平均中 Deep CNN SCORE 平均 0.5165 依然是相對較高的效率分數，依然可以認為植物圖像與 Deep CNN 較適配。
7. 科技(Technology)：共有 2 種神經網路模型 Deep CNN、Hybrid CNN 、Lightweight CNN，整體看來與模型 Model-A、Model-B 相似依然呈現 DEA 效率較低的情況。

<<**表 13**.模型 Model-ABC 的圖像分類 DEA 效率比較表>>

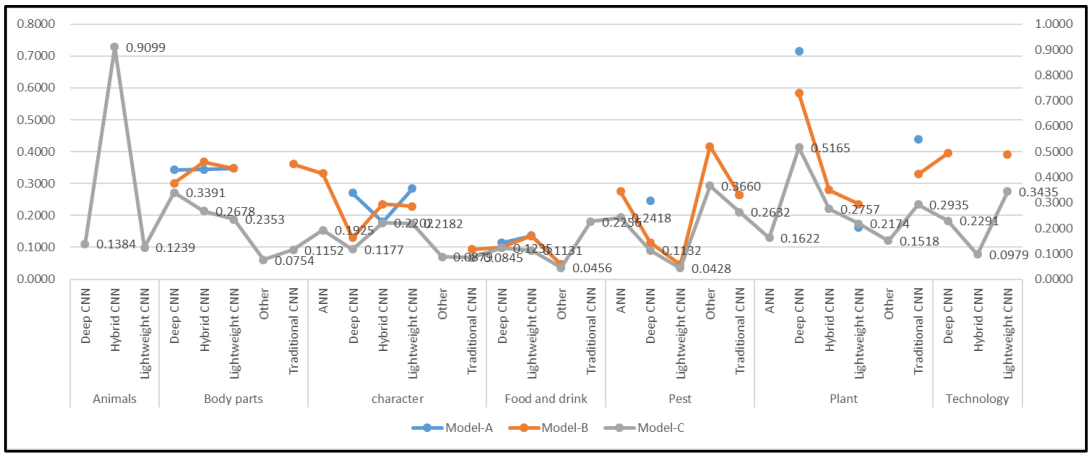



**圖 13.** 模型 Model-ABC 的圖像分類 DEA 效率折線圖

下**表 11** 為模型 Model-ABC 的模型分類 DEA 效率比較表，下**圖 14** 為模型 Model-ABC 的模型分類 DEA 效率比較折線圖。此外，就分類模式分析：

1. 人工神經網路(ANN)：共有 3 圖像類別 character、Pest、Plant，整體看來與模型 Model-A、B 相似依然呈現 DEA 效率較低的情況。
2. 深度卷積神經網路(Deep CNN)：共有 7 圖像類別 Animals、Body parts、

character、Food and drink、Pest、Plant、Technology，在模型 ABC 所有 DEA SCORE 平均中 Plant 類別相較於其他類別效率較高，代表 Deep CNN 對 Plant 類別適配性較高。

3. 混合卷積神經網絡(Hybrid CNN)：共有 5 圖像類別 Animals、Body parts、character、Plant、Technology，在模型 Model-ABC 所有 DEA SCORE 平均中 Animals SCORE 平均 0.9099 效率結果表明 Hybrid CNN 對 Animals 類別適配性較高。
4. 輕量級卷積神經網路(Lightweight CNN)：共有 6 圖像類別 Body parts、character、Food and drink、Pest、Plant、Technology，其中 Pest 依然與模型 B 相似代表 Lightweight CNN 對 Pest 類別適配性較低。
5. 其他 Other：共有 5 圖像類別 Animals、Body parts、character、Food and drink、Pest、Plant，其中 Food and drink 與模型 Model-A、B 相似依然代表 Other 對 Food and drink 適配性較低。Body parts、character DEA 效率分數較低可能原因為模型 Model-C 對於投入資料存在缺失的資料使用該指標的平均值替代；對於產出資料存在缺失資料使用最小值來進行替代。而造成效率分數下降。
6. 傳統卷積神經網路(Traditional CNN)：共有 6 圖像類別 Animals、Body parts、character、Food and drink 、Pest、Plant， character 依然與模型 Model-B 相似代表 Traditional CNN 對 character 類別適配性較低。

**<<表 11**. 模型 Model-ABC 的模型分類 DEA 效率比較表>>

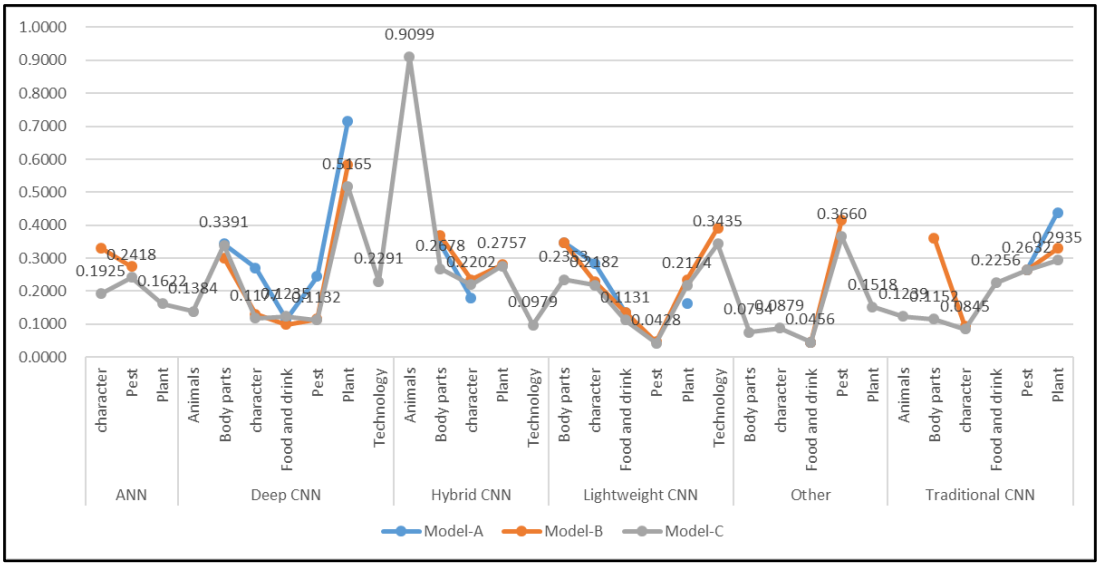



**圖 14.** 模型 Model-ABC 的模型分類 DEA 效率比較折線圖。

本研究發現 DEA 效率分析中動物類別與 Hybrid CNN 適配性較高，植物類別與 Deep CNN 適配性較高。其他影像類別與神經網路模型 DEA 效率分數較低的可能原因為以下兩點 1.每種圖像類型包含較多圖像例如符號類別包含手寫文字與符號，這種特徵不同造成模型在前處理與訓練上有許多差異。2.產出缺值資料使用最小值填補，造成效率分數較低。

# 伍、結論與未來研究方向

本研究根據包括七種影像類別及六種神經網路模型的 400 筆資料，進行分析與分類效率評估。探討了不同圖像類型與神經網路模型之間的適配程度，以減少在不同神經網路模型參數測試方面所需的時間，同時也追求更優異的準確度。

透過 DEA 計算圖像類別與神經網路模型的分類效率，本研究歸納適配的圖像類別與神經網路模型：Hybrid CNN 用於判讀動物圖像、與 Deep CNN 用於判別植物圖像，分別得到最高準確度，這顯出不同圖像類別下模型選擇的重要性。

本研究不僅為不同圖像類別的分類任務提供了神經網路模型選擇的建議，同時也揭示了模型在不同類別中性能的差異。這些發現對於進一步改進和優化影像處理模型具有參考價值，也為未來相關研究提供了有價值的啟示。

本研究有以下幾點可在未來檢討與改進：

**一、增加影像分類論文數量**

增加論文數量有助於深入瞭解不同影像類別和模型之間的效能差異，並提供更全面的效能評估結果。

**二、對結果進行實驗或執行模型**

對結果進行實驗與分析以驗證本研究提出的結論和發現，可以通過使用相同的影像類別和模型，以及相似的評估方法和指標來進行實驗。這將有助於驗證結果的可靠性。

**三、對不同投入與產出進行分析**

進一步分析和探討不同投入與產出之間的關係，以及使用更全面的效能評估方法，將有助於深入瞭解模型的效能和改進的方向。這將提高研究的可靠性和實用性，並為相關領域的應用提供更具價值的結果和建議。

# 參考文獻

Gupta, D., Bhurchandi, K., & Murala, S. (2022). Computer Vision and Image Processing: 7th International Conference, Nagpur, India, November 4-6, 2022, Revised Selected Papers, Part I.

Frank Rosenblatt (1957). The Perceptron: A Probabilistic Model for Information Storage and Organization in the Brain. Psychological Review, 65(6), 386-408.

LeCun, Y., Bottou, L., Bengio, Y., & Haffner, P. (1998). Gradient-Based Learning Applied to Document Recognition. Proceedings of the IEEE, 86(11), 2278-2324.

Simonyan, K., & Zisserman, A. (2015). Very Deep Convolutional Networks for Large-Scale Image Recognition. Proceedings of the International Conference on Learning Representations (ICLR).

T.Saranyaa, S.Sridevi, C.Deisyc, Tran Duc Chungd, M.K.A.Ahamed Khane. (2019). Performance Analysis of Machine Learning Algorithms in Intrusion Detection System: A Review. In Proceedings of the Third International Conference on Computing and Network Communications (CoCoNet'19)

Farrell, M.J. (1957). The Measurement of Productive Efficiency. Journal of the Royal Statistical Society, 120, 253-290.

Liu, H. (2021). PD-GAN: Probabilistic Diverse GAN for Image Inpainting. IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 20-25 June 2021. DOI: 10.1109/CVPR46437.2021.00925

Chai, Y. (2021). To the Point: Efficient 3D Object Detection in the Range Image with Graph Convolution Kernels. IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 20-25 June 2021. DOI:10.1109/CVPR46437.2021.01574

Lu, E. (2021). Omnimatte: Associating Objects and Their Effects in Video. IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 20-25 June 2021. DOI: 10.1109/CVPR46437.2021.00448

Stadler, D. (2021). Improving Multiple Pedestrian Tracking by Track Management and Occlusion Handling. IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 20-25 June 2021. DOI: 10.1109/CVPR46437.2021.01081

Yan, R. (2021). Primitive Representation Learning for Scene Text Recognition. IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 20-25 June 2021. DOI: 10.1109/CVPR46437.2021.00035

Krizhevsky, A. (2017). ImageNet classification with deep convolutional neural networks. Communications of the ACM, 60(6), 84–90

Barra, S. (2020). Deep learning and time series-to-image encoding for financial forecasting. IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica, 7(3), 683-692. DOI: 10.1109/JAS.2020.1003132

Tian, Z. (2022). Retinal Medical Image Classification Based on Deep Convolutional Neural Network AlexNet. The 4th International Conference on Industrial Artificial Intelligence (IAI), 24-27 August 2022. DOI: 10.1109/IAI55780.2022.9976745

Dong, C. (2021). Classification of strawberry diseases and pests by improved AlexNet deep learning networks. In Proceedings of the 13th International Conference on Advanced

Computational Intelligence (ICACI), May 14-16, 2021, pp. 1-6. DOI: 10.1109/ICACI52617.2021.9435893

He, K., Zhang, X., Ren, S., & Sun, J. (2016). Deep Residual Learning for Image Recognition. Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 770-778.

Szegedy, C. (2016). Rethinking the Inception Architecture for Computer Vision. In Proceedings of the 2016 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), June 27-30, 2016. DOI: 10.1109/CVPR.2016.308

Charnes, A., & Cooper, W. W., & Rhodes, E., Measuring the efficiency of decision making units. European Journal of Operational Research, 1978(2), 429-444.

Banker, R.D., & Charnes, A., & Cooper, W.W., Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis. Management Science, 1984. 30, 1078–1092.

Xie, Q. (2019). Image Fusion Based on Kernel Estimation and Data Envelopment Analysis. International Journal of Information Technology & Decision Making, 18(02), 487-515.

Bozorgmanesh, H. (2022). Comparing image segmentation methods using data envelopment analysis. Computational Mathematics and Computer Modeling with Applications (CMCMA), 1(1), 48-55. DOI: 10.52547/CMCMA.1.1.48

IEEE Xplore Digital Library. (2023). [https://ieeexplore.ieee.org/Xplore/home.jsp].

Li, Y. (2022). The Fine-Grained Recognition of Bird Images Based on Joint Semantic Components and ResNet. In Proceedings of the 5th International Conference on Artificial Intelligence and Big Data (ICAIBD), May 27-30, 2022. DOI: 10.1109/ICAIBD55127.2022.9820403

Agarwal, A. K. (2021). Transfer Learning Inspired Fish Species Classification. In Proceedings of the 8th International Conference on Signal Processing and Integrated Networks (SPIN), August 26-27, 2021.

Shah, H. A. (2022). A Robust Approach for Brain Tumor Detection in Magnetic Resonance Images Using Finetuned EfficientNet. IEEE Access, 10, 65426-65438. DOI: 10.1109/ACCESS.2022.3184113

Vo-Le, C. (2021). Breast Cancer Detection from Histopathological Biopsy Images Using Transfer Learning. In Proceedings of the 2020 IEEE Eighth International Conference on Communications and Electronics (ICCE), January 13-15, 2021. DOI: 10.1109/ICCE48956.2021.9352069

Jibhakate, P. (2022). Early Glaucoma Detection Using Machine Learning Algorithms of VGG-16 and Resnet-50. In Proceedings of the 2022 IEEE Region 10 Symposium (TENSYMP), July 01-03, 2022. DOI: 10.1109/TENSYMP54529.2022.9864471

Zhang, J. (2021). Image Detection of Dental Diseases Based on Deep Transfer Learning. In Proceedings of the 2nd International Conference on Artificial Intelligence and Computer Engineering (ICAICE), November 05-07, 2021. DOI: 10.1109/ICAICE54393.2021.00151

Meng, N. (2019). Large-Scale Multi-Class Image-Based Cell Classification With Deep Learning. IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics, 23(5), 2091-2098. DOI: 10.1109/JBHI.2018.2878878

Huq, A. (2020). Robust Deep Neural Network Model for Identification of Malaria Parasites in Cell Images. In Proceedings of the 2020 IEEE Region 10 Symposium (TENSYMP), June 05-07, 2020. DOI: 10.1109/TENSYMP50017.2020.9230832

Gurses, A. (2020). Tooth Restoration and Dental Work Detection on Panoramic Dental Images via CNN. In Proceedings of the 2020 Medical Technologies Congress, November 19-20, 2020. DOI: 10.1109/TIPTEKNO50054.2020.9299272

Liu, J. (2022). VGG, MobileNet and AlexNet on Recognizing Skin Cancer Symptoms. In Proceedings of the 2022 3rd International Conference on Electronic Communication and Artificial Intelligence (IWECAI), January 14-16, 2022. DOI: 10.1109/IWECAI55315.2022.00107

Duvvuri, K. (2022). Detection of Brain Tumor Using CNN and CNN-SVM. The 3rd International Conference for Emerging Technology (INCET), 27-29 May 2022. IEEE. DOI: 10.1109/INCET54531.2022.9824725.

Mhasawade, A. (2023). Comparative study of SVM, KNN and Decision Tree for Diabetic Retinopathy Detection. The 2023 International Conference on Computational Intelligence and Sustainable Engineering Solutions,1-6, . DOI: 10.1109/CISES58720.2023.10183456.

Zhou, C. (2021). COVID-19 Detection Based on Image Regrouping and Resnet-SVM Using Chest X-Ray Images. IEEE Access, 9, 81902-81912. DOI: 10.1109/ACCESS.2021.3086229.

Goel, P. (2022). A Pre-Trained CNN based framework for Handwritten Gujarati Digit Classification using Transfer Learning Approach. Proceedings of the 4th International Conference on Smart Systems and Inventive Technology (ICSSIT), January 20-22, 2022. DOI: 10.1109/ICSSIT53264.2022.9716483

Miloud, K. (2021). Arabic Handwriting Recognition System Based on Genetic Algorithm and Deep CNN Architectures. Proceedings of the 2021 International Conference on Decision Aid Sciences and Application (DASA), December 07-08, 2021. DOI: 10.1109/DASA53625.2021.9682380

Sun, J. (2022). Handwritten Ancient Chinese Character Recognition Algorithm Based on Improved Inception-ResNet and Attention Mechanism. Proceedings of the 2022 IEEE 2nd International Conference on Software Engineering and Artificial Intelligence (SEAI), June 10-12, 2022. DOI: 10.1109/SEAI55746.2022.9832356

Zhao, Z. (2022). Research on single-character image classification of Tibetan ancient books based on deep learning. Proceedings of the 2022 3rd International Conference on Computer Vision, Image and Deep Learning & International Conference on Computer Engineering and Applications (CVIDL & ICCEA), May 20-22, 2022. DOI: 10.1109/CVIDLICCEA56201.2022.9824018

Li, X. (2022). SwordNet: Chinese Character Font Style Recognition Network. IEEE Access, 10, 8388-8398. DOI: 10.1109/ACCESS.2022.3143795

Liu, W. (2020). Comparisons on KNN, SVM, BP and the CNN for Handwritten Digit Recognition. The 2020 IEEE International Conference on Advances in Electrical Engineering and Computer Applications (AEECA) 1-5, DOI: 10.1109/AEECA49918.2020.9213482.

Jindal, V. (2023). Multiclassification Hybrid Model Using CNN and SVM for National Emblems. The 2023 World Conference on Communication & Computing (WCONF)

Yadav, S. (2021). Automated Food image Classification using Deep Learning approach. Proceedings of the 7th International Conference on Advanced Computing and Communication Systems (ICACCS), March 19-20, 2021. DOI: 10.1109/ICACCS51430.2021.9441889

Mishra, R. (2022). Banana ripeness classification using transfer learning techniques. Proceedings of the 2022 International Conference on Computing, Communication, Security and Intelligent Systems (IC3SIS), June 23-25, 2022. DOI: 10.1109/IC3SIS54991.2022.9885244

Abhijit, M. (2021). Detecting faulty bottle caps using CNN model. Proceedings of the 2nd International Conference on Smart Electronics and Communication (ICOSEC), October 07-09, 2021. DOI: 10.1109/ICOSEC51865.2021.9591780

Nguyen, T. T. (2021). VinaFood21: A Novel Dataset for Evaluating Vietnamese Food Recognition. Proceedings of the 2021 RIVF International Conference on Computing and Communication Technologies (RIVF), August 19-21, 2021. DOI: 10.1109/RIVF51545.2021.9642151

Zhou, S. (2020). Efficient Convolutional Neural Network for Pest Recognition - ExquisiteNet. Proceedings of the 2020 IEEE Eurasia Conference on IOT, Communication and Engineering (ECICE), October 23-25, 2020. DOI: 10.1109/ECICE50847.2020.9301938

Peng, Y. (2019). FB-CNN: Feature Fusion-Based Bilinear CNN for Classification of Fruit Fly Image. IEEE Access, 8, 3987-3995. DOI: 10.1109/ACCESS.2019.2961767

Tao, D. (2019). A Novel Model for Sex Discrimination of Silkworm Pupae From Different Species. IEEE Access, 7, 165328-165335. DOI: 10.1109/ACCESS.2019.2953040

Singh, A. (2020). CNN Based Detection of Healthy and Unhealthy Wheat Crop. Proceedings of the 2020 International Conference on Smart Electronics and Communication (ICOSEC), September 10-12, 2020. DOI: 10.1109/ICOSEC49089.2020.9215340

Satoto, B. D. (2021). Corn Seed Classification Using Deep Learning as an Effort to Increase Corn Productivity. Proceedings of the 2021 5th International Conference on Informatics and Computational Sciences (ICICoS), November 24-25, 2021. DOI: 10.1109/ICICoS53627.2021.9651846

Narvekar, C. (2020). Flower classification using CNN and transfer learning in CNN - Agriculture Perspective. Proceedings of the 3rd International Conference on Intelligent Sustainable Systems (ICISS), December 03-05, 2020. DOI: 10.1109/ICISS49785.2020.9316030

He, M. (2021). Flower Image Classification Based on Multi-scale Dense Residual Network. Proceedings of the 2021 6th International Conference on Image, Vision and Computing (ICIVC), July 23-25, 2021. DOI: 10.1109/ICIVC52351.2021.9526970

Praba, R. D. (2021). Foliar Disease Classification in Apple Trees. Proceedings of the 2021 International Conference on Advancements in Electrical, Electronics, Communication, Computing and Automation (ICAECA), October 08-09, 2021. DOI: 10.1109/ICAECA52838.2021.9675529

Hashim, N. M. Z. (2022). Grey Oyster Mushroom Classification toward a Smart Mushroom Grading System for Agricultural Factory. Proceedings of the 2nd International Conference on Intelligent Technologies (CONIT), June 24-26, 2022. DOI: 10.1109/CONIT55038.2022.9847864

Liu, S. (2020). Real-time Classification of Rubber Wood Boards Using an SSR-based CNN. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 69(11), 8725 - 8734. DOI: 10.1109/TIM.2020.3001370

Huixian, J. (2020). The Analysis of Plants Image Recognition Based on Deep Learning and Artificial Neural Network. IEEE Access, 8, 68828-68841.

Chen, X. (2020). A Light-Weighted CNN Model for Wafer Structural Defect Detection. IEEE Access, 8, 24006-24018. DOI: 10.1109/ACCESS.2020.2970461

Rahman, M. R. (2021). CNN-based Deep Learning Approach for Micro-crack Detection of Solar Panels. Proceedings of the 3rd International Conference on Sustainable Technologies for Industry 4.0 (STI), December 18-19, 2021. DOI: 10.1109/STI53101.2021.9732592

Huang, G. (2017). Densely Connected Convolutional Networks. In Proceedings of the Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), arXiv:1608.06993

Tan, M. (2019). EfficientNet: Rethinking Model Scaling for Convolutional Neural Networks. Proceedings of the International Conference on Machine Learning (ICML), 2019. arXiv:1905.11946

Szegedy, C. (2015). Going Deeper with Convolutions. Proceedings of the Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2015. arXiv:1409.4842

Nugrahaeni, R. A. (2016). Comparative analysis of machine learning KNN, SVM, and random forests algorithm for facial expression classification. Proceedings of the 2016 International Seminar on Application for Technology of Information and Communication (ISemantic), August 05-06, 2016. DOI: 10.1109/ISEMANTIC.2016.7873831

Andrew G. (2017). MobileNets: Efficient Convolutional Neural Networks for Mobile Vision Applications. Proceedings of the Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), arXiv:1704.04861

Chollet, F. (2017). Xception: Deep Learning with Depthwise Separable Convolutions. Proceedings of the Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), arXiv:1610.02357

F. N. Iandola, M. W. Moskewicz, K. Ashraf, S. Han, W. J. Dally, and K. Keutzer, “Squeezenet:Alexnet-level accuracy with 50x fewer parameters and<1mb model size,” arXiv:1602.07360, 2016.

X. Zhang, X. Zhou, M. Lin, and J. Sun: “An extremely efficient convolutional neural network for mobile devices,” arXiv:1707.01083, 2017.

K. Han, Y. Wang, Q. Tian, J. Guo, C. Xu and C. Xu, “GhostNet: More Features from Cheap Operations,” arXiv:1911.11907, 2020,.

吳, 何. (2008). 組織效率與生產力評估：資料包絡分析法.**前程文化事業股份有限公司.**

**表 14.** DEA 模式之參數與變數列表

| | |
|---|---|
| $n$ | DEA 模式決策單位（實驗樣本）個數 |
| $s$ | DEA 模式產出個數，本研究共有 3 項產出，(準確度、精確率、召回率) |
| $m$ | DEA 模式投入個數，本研究共有有 3 項投入，(樣本數、訓練比率、時期) |
| $X_{k1}$ | 代表決策單位 $k$ 的 Samples 變數 |
| $X_{k2}$ | 代表決策單位 $k$ 的 training %變數 |
| $X_{k3}$ | 代表決策單位 $k$ 的 epoch 變數 |
| $Y_{k1}$ | 代表決策單位 $k$ 的 Merge ACC 變數 |
| $Y_{k2}$ | 代表決策單位 $k$ 的 Recall 變數 |
| $Y_{k3}$ | 代表決策單位 $k$ 的 Precision 變數 |
| $E_k$ | 決策單位 $k$ 的效率值。 |

**表 15.** 圖像類別之 Merge ACC

| image type | Model | 平均值 - Merge ACC | 標準差 - Merge ACC | 最大值 - Merge ACC | 最小值 - Merge ACC | 計數 - Merge ACC |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Animals | Deep CNN | 0.8856 | 0.0458 | 0.9400 | 0.7700 | 10 |
| | Hybrid CNN | 0.9832 | 0.0259 | 0.9999 | 0.9318 | 11 |
| | Traditional CNN | 0.7667 | NA | 0.7667 | 0.7667 | 1 |
| Body parts | Deep CNN | 0.8104 | 0.2256 | 0.9860 | 0.3202 | 31 |
| | Hybrid CNN | 0.9108 | 0.0542 | 0.9830 | 0.7400 | 32 |
| | Lightweight CNN | 0.6999 | 0.4131 | 0.9920 | 0.4078 | 2 |
| | Other | 0.7938 | 0.2070 | 0.9990 | 0.2450 | 30 |
| | Traditional CNN | 0.9293 | 0.0698 | 0.9950 | 0.7050 | 33 |
| character | ANN | 0.8596 | 0.1505 | 0.9660 | 0.7531 | 2 |
| | Deep CNN | 0.8425 | 0.0963 | 1.0000 | 0.3522 | 74 |
| | Hybrid CNN | 0.9651 | 0.0111 | 0.9886 | 0.9417 | 11 |
| | Lightweight CNN | 0.9361 | 0.0409 | 0.9650 | 0.9071 | 2 |
| | Other | 0.9435 | 0.0035 | 0.9460 | 0.9410 | 2 |
| | Traditional CNN | 0.5254 | 0.3393 | 0.9903 | 0.0351 | 20 |
| Food and drink | Deep CNN | 0.6376 | 0.2496 | 0.9402 | 0.1266 | 32 |
| | Lightweight CNN | 0.8054 | 0.1065 | 0.9283 | 0.7399 | 3 |
| | Other | 0.2475 | NA | 0.2475 | 0.2475 | 1 |
| | Traditional CNN | 0.9836 | NA | 0.9836 | 0.9836 | 1 |
| Pest | ANN | 0.9250 | NA | 0.9250 | 0.9250 | 1 |
| | Deep CNN | 0.6033 | 0.1701 | 0.8500 | 0.4679 | 6 |
| | Lightweight CNN | 0.4433 | 0.0515 | 0.5232 | 0.3826 | 6 |
| | Other | 0.9612 | 0.0288 | 0.9946 | 0.9050 | 14 |
| | Traditional CNN | 0.8833 | 0.0491 | 0.9500 | 0.8333 | 4 |
| Plant | ANN | 0.9247 | NA | 0.9247 | 0.9247 | 1 |
| | Deep CNN | 0.9339 | 0.0492 | 0.9967 | 0.8352 | 24 |
| | Hybrid CNN | 0.8791 | NA | 0.8791 | 0.8791 | 6 |
| | Lightweight CNN | 0.9317 | 0.0143 | 0.9471 | 0.9188 | 3 |
| | Other | 0.8620 | 0.0036 | 0.8645 | 0.8594 | 2 |
| | Traditional CNN | 0.8973 | 0.0775 | 0.9672 | 0.7090 | 11 |
| Technology | Deep CNN | 0.9360 | 0.0527 | 1.0000 | 0.8530 | 14 |
| | Hybrid CNN | 0.9550 | 0.0198 | 0.9690 | 0.9410 | 2 |
| | Lightweight CNN | 0.9928 | 0.0188 | 1.0000 | 0.9463 | 8 |

**表 16.** 模型類別之 Merge ACC

| Model | image type | 平均值 - Merge ACC | 標準差 - Merge ACC | 最大值 - Merge ACC | 最小值 - Merge ACC | 計數 - Merge ACC |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ANN | character | 0.8596 | 0.1505 | 0.9660 | 0.7531 | 2 |
| | Pest | 0.9250 | NA | 0.9250 | 0.9250 | 1 |
| | Plant | 0.9247 | NA | 0.9247 | 0.9247 | 1 |
| Deep CNN | Animals | 0.8856 | 0.0458 | 0.9400 | 0.7700 | 10 |
| | Body parts | 0.8104 | 0.2256 | 0.9860 | 0.3202 | 31 |
| | character | 0.8425 | 0.0963 | 1.0000 | 0.3522 | 74 |
| | Food and drink | 0.6376 | 0.2496 | 0.9402 | 0.1266 | 32 |
| | Pest | 0.6033 | 0.1701 | 0.8500 | 0.4679 | 6 |
| | Plant | 0.9339 | 0.0492 | 0.9967 | 0.8352 | 24 |
| | Technology | 0.9360 | 0.0527 | 1.0000 | 0.8530 | 14 |
| Hybrid CNN | Animals | 0.9832 | 0.0259 | 0.9999 | 0.9318 | 11 |
| | Body parts | 0.9108 | 0.0542 | 0.9830 | 0.7400 | 32 |
| | character | 0.9651 | 0.0111 | 0.9886 | 0.9417 | 11 |
| | Plant | 0.8791 | NA | 0.8791 | 0.8791 | 6 |
| | Technology | 0.9550 | 0.0198 | 0.9690 | 0.9410 | 2 |
| Lightweight CNN | Body parts | 0.6999 | 0.4131 | 0.9920 | 0.4078 | 2 |
| | character | 0.9361 | 0.0409 | 0.9650 | 0.9071 | 2 |
| | Food and drink | 0.8054 | 0.1065 | 0.9283 | 0.7399 | 3 |
| | Pest | 0.4433 | 0.0515 | 0.5232 | 0.3826 | 6 |
| | Plant | 0.9317 | 0.0143 | 0.9471 | 0.9188 | 3 |
| | Technology | 0.9928 | 0.0188 | 1.0000 | 0.9463 | 8 |
| Other | Body parts | 0.7938 | 0.2070 | 0.9990 | 0.2450 | 30 |
| | character | 0.9435 | 0.0035 | 0.9460 | 0.9410 | 2 |
| | Food and drink | 0.2475 | NA | 0.2475 | 0.2475 | 1 |
| | Pest | 0.9612 | 0.0288 | 0.9946 | 0.9050 | 14 |
| | Plant | 0.8620 | 0.0036 | 0.8645 | 0.8594 | 2 |
| Traditional CNN | Animals | 0.7667 | NA | 0.7667 | 0.7667 | 1 |
| | Body parts | 0.9293 | 0.0698 | 0.9950 | 0.7050 | 33 |
| | character | 0.5254 | 0.3393 | 0.9903 | 0.0351 | 20 |
| | Food and drink | 0.9836 | NA | 0.9836 | 0.9836 | 1 |
| | Pest | 0.8833 | 0.0491 | 0.9500 | 0.8333 | 4 |
| | Plant | 0.8973 | 0.0775 | 0.9672 | 0.7090 | 11 |

**表 17.** 模型 Model-A 的圖像分類 DEA 效率分析

| image type | Model | 平均值 - SCORE | 標準差 - SCORE | 最大 - SCORE | 最小 - SCORE | 計數 - SCORE |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Body parts | Deep CNN | 0.3431 | 0.0019 | 0.3457 | 0.3411 | 4 |
| | Hybrid CNN | 0.3439 | NA | 0.3439 | 0.3439 | 1 |
| | Lightweight CNN | 0.3475 | NA | 0.3475 | 0.3475 | 1 |
| character | Deep CNN | 0.2703 | 0.0070 | 0.2774 | 0.2601 | 5 |
| | Hybrid CNN | 0.1793 | 0.0004 | 0.1799 | 0.1787 | 8 |
| | Lightweight CNN | 0.2842 | NA | 0.2842 | 0.2842 | 1 |
| Food and drink | Deep CNN | 0.1145 | 0.0274 | 0.1321 | 0.0674 | 5 |
| | Lightweight CNN | 0.1363 | NA | 0.1363 | 0.1363 | 1 |
| | Other | 0.0457 | NA | 0.0457 | 0.0457 | 1 |
| Pest | Deep CNN | 0.2451 | 0.0165 | 0.2567 | 0.2334 | 2 |
| | Traditional CNN | 0.2632 | 0.0146 | 0.2831 | 0.2483 | 4 |
| Plant | Deep CNN | 0.7155 | 0.4165 | 1.0000 | 0.1588 | 9 |
| | Lightweight CNN | 0.1614 | 0.0022 | 0.1629 | 0.1598 | 2 |
| | Traditional CNN | 0.4390 | 0.4859 | 1.0000 | 0.1538 | 3 |

**表 18.** 模型 Model-A 的模型分類 DEA 效率分析

| Model | image type | 平均值 - SCORE | 標準差 - SCORE | 最大 - SCORE | 最小 - SCORE | 計數 - SCORE |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Deep CNN | Body parts | 0.3431 | 0.0019 | 0.3457 | 0.3411 | 4 |
| | character | 0.2703 | 0.0070 | 0.2774 | 0.2601 | 5 |
| | Food and drink | 0.1145 | 0.0274 | 0.1321 | 0.0674 | 5 |
| | Pest | 0.2451 | 0.0165 | 0.2567 | 0.2334 | 2 |
| | Plant | 0.7155 | 0.4165 | 1.0000 | 0.1588 | 9 |
| Hybrid CNN | Body parts | 0.3439 | NA | 0.3439 | 0.3439 | 1 |
| | character | 0.1793 | 0.0004 | 0.1799 | 0.1787 | 8 |
| Lightweight CNN | Body parts | 0.3475 | NA | 0.3475 | 0.3475 | 1 |
| | character | 0.2842 | NA | 0.2842 | 0.2842 | 1 |
| | Food and drink | 0.1363 | NA | 0.1363 | 0.1363 | 1 |
| | Plant | 0.1614 | 0.0022 | 0.1629 | 0.1598 | 2 |
| Other | Food and drink | 0.0457 | NA | 0.0457 | 0.0457 | 1 |
| Traditional CNN | Pest | 0.2632 | 0.0146 | 0.2831 | 0.2483 | 4 |
| | Plant | 0.4390 | 0.4859 | 1.0000 | 0.1538 | 3 |

**表 19.** 模型 Model-B 的圖像分類 DEA 效率分析

| image type | Model | 平均值 - SCORE | 標準差 - SCORE | 最大 - SCORE | 最小 - SCORE | 計數 - SCORE |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Body parts | Deep CNN | 0.3014 | 0.0927 | 0.3455 | 0.1356 | 5 |
| | Hybrid CNN | 0.3685 | 0.0227 | 0.3889 | 0.3439 | 5 |
| | Lightweight CNN | 0.3474 | NA | 0.3474 | 0.3474 | 1 |
| | Traditional CNN | 0.3617 | NA | 0.3617 | 0.3617 | 1 |
| character | ANN | 0.3317 | NA | 0.3317 | 0.3317 | 1 |
| | Deep CNN | 0.1304 | 0.0781 | 0.4404 | 0.0569 | 74 |
| | Hybrid CNN | 0.2353 | 0.1010 | 0.4354 | 0.1787 | 11 |
| | Lightweight CNN | 0.2289 | 0.0783 | 0.2842 | 0.1735 | 2 |
| | Traditional CNN | 0.0933 | 0.0975 | 0.4230 | 0.0182 | 19 |
| Food and drink | Deep CNN | 0.0989 | 0.0343 | 0.1317 | 0.0390 | 11 |
| | Lightweight CNN | 0.1361 | 0.0001 | 0.1361 | 0.1360 | 2 |
| | Other | 0.0456 | NA | 0.0456 | 0.0456 | 1 |
| Pest | Deep CNN | 0.2748 | NA | 0.2748 | 0.2748 | 1 |
| | Hybrid CNN | 0.1158 | 0.1000 | 0.2557 | 0.0485 | 6 |
| | Lightweight CNN | 0.0459 | 0.0053 | 0.0542 | 0.0397 | 6 |
| | Traditional CNN | 0.4170 | 0.0623 | 0.4646 | 0.2688 | 14 |
| Plant | Deep CNN | 0.2632 | 0.0146 | 0.2831 | 0.2483 | 4 |
| | Hybrid CNN | 0.5835 | 0.3590 | 1.0000 | 0.1588 | 21 |
| | Lightweight CNN | 0.2801 | 0.0313 | 0.3139 | 0.2270 | 6 |
| | Traditional CNN | 0.2351 | 0.1277 | 0.3826 | 0.1598 | 3 |
| | total | 0.3300 | 0.2404 | 0.9846 | 0.1538 | 10 |
| Technology | Deep CNN | 0.3955 | 0.0914 | 0.5194 | 0.3031 | 4 |
| | Lightweight CNN | 0.3920 | 0.0793 | 0.5194 | 0.3020 | 8 |

**表 20.**模型 Model-B 的模型分類 DEA 效率分析

| Model | image type | 平均值 - SCORE | 標準差 - SCORE | 最大 - SCORE | 最小 - SCORE | 計數 - SCORE |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ANN | character | 0.3317 | NA | 0.3317 | 0.3317 | 1 |
| | Pest | 0.2748 | NA | 0.2748 | 0.2748 | 1 |
| Deep CNN | Body parts | 0.3014 | 0.0927 | 0.3455 | 0.1356 | 5 |
| | character | 0.1304 | 0.0781 | 0.4404 | 0.0569 | 74 |
| | Food and drink | 0.0989 | 0.0343 | 0.1317 | 0.0390 | 11 |
| | Pest | 0.1158 | 0.1000 | 0.2557 | 0.0485 | 6 |
| | Plant | 0.5835 | 0.3590 | 1.0000 | 0.1588 | 21 |
| | Technology | 0.3955 | 0.0914 | 0.5194 | 0.3031 | 4 |
| Hybrid CNN | Body parts | 0.3685 | 0.0227 | 0.3889 | 0.3439 | 5 |
| | character | 0.2353 | 0.1010 | 0.4354 | 0.1787 | 11 |
| | Plant | 0.2801 | 0.0313 | 0.3139 | 0.2270 | 6 |
| Lightweight CNN | Body parts | 0.3474 | NA | 0.3474 | 0.3474 | 1 |
| | character | 0.2289 | 0.0783 | 0.2842 | 0.1735 | 2 |
| | Food and drink | 0.1361 | 0.0001 | 0.1361 | 0.1360 | 2 |
| | Pest | 0.0459 | 0.0053 | 0.0542 | 0.0397 | 6 |
| | Plant | 0.2351 | 0.1277 | 0.3826 | 0.1598 | 3 |
| | Technology | 0.3920 | 0.0793 | 0.5194 | 0.3020 | 8 |
| Other | Food and drink | 0.0456 | NA | 0.0456 | 0.0456 | 1 |
| | Pest | 0.4170 | 0.0623 | 0.4646 | 0.2688 | 14 |
| Traditional CNN | Body parts | 0.3617 | NA | 0.3617 | 0.3617 | 1 |
| | character | 0.0933 | 0.0975 | 0.4230 | 0.0182 | 19 |
| | Pest | 0.2632 | 0.0146 | 0.2831 | 0.2483 | 4 |
| | Plant | 0.3300 | 0.2404 | 0.9846 | 0.1538 | 10 |

**表 21.**模型 Model-C 的圖像分類 DEA 效率分析

| image type | Model | 平均值 - SCORE | 標準差 - SCORE | 最大 - SCORE | 最小 - SCORE | 計數 - SCORE |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Animals | Deep CNN | 0.1384 | 0.0115 | 0.1462 | 0.1082 | 10 |
| | Hybrid CNN | 0.9099 | 0.2592 | 1.0000 | 0.1312 | 11 |
| | Lightweight CNN | 0.1239 | NA | 0.1239 | 0.1239 | 1 |
| Body parts | Deep CNN | 0.3391 | 0.0942 | 0.4367 | 0.0996 | 31 |
| | Hybrid CNN | 0.2678 | 0.0567 | 0.4279 | 0.2149 | 32 |
| | Lightweight CNN | 0.2353 | 0.1586 | 0.3474 | 0.1231 | 2 |
| | Other | 0.0754 | 0.0576 | 0.2943 | 0.0314 | 30 |
| | Traditional CNN | 0.1152 | 0.1064 | 0.3673 | 0.0382 | 33 |
| character | ANN | 0.1925 | 0.1452 | 0.2951 | 0.0898 | 2 |
| | Deep CNN | 0.1177 | 0.0726 | 0.3857 | 0.0543 | 74 |
| | Hybrid CNN | 0.2202 | 0.0802 | 0.3815 | 0.1748 | 11 |
| | Lightweight CNN | 0.2182 | 0.0921 | 0.2833 | 0.1531 | 2 |
| | Other | 0.0879 | 0.0004 | 0.0881 | 0.0876 | 2 |
| | Traditional CNN | 0.0845 | 0.0827 | 0.3713 | 0.0183 | 20 |
| Food and drink | Deep CNN | 0.1235 | 0.0422 | 0.2149 | 0.0391 | 32 |
| | Lightweight CNN | 0.1131 | 0.0280 | 0.1361 | 0.0819 | 3 |
| | Other | 0.0456 | NA | 0.0456 | 0.0456 | 1 |
| | Traditional CNN | 0.2256 | NA | 0.2256 | 0.2256 | 1 |
| Pest | ANN | 0.2418 | NA | 0.2418 | 0.2418 | 1 |
| | Deep CNN | 0.1132 | 0.1021 | 0.2558 | 0.0449 | 6 |
| | Lightweight CNN | 0.0428 | 0.0044 | 0.0497 | 0.0376 | 6 |
| | Other | 0.3660 | 0.0543 | 0.4070 | 0.2369 | 14 |
| | Traditional CNN | 0.2632 | 0.0146 | 0.2831 | 0.2483 | 4 |
| Plant | ANN | 0.1622 | NA | 0.1622 | 0.1622 | 1 |
| | Deep CNN | 0.5165 | 0.3697 | 1.0000 | 0.1554 | 24 |
| | Hybrid CNN | 0.2757 | 0.0408 | 0.3139 | 0.2004 | 6 |
| | Lightweight CNN | 0.2174 | 0.1033 | 0.3366 | 0.1563 | 3 |
| | Other | 0.1518 | 0.0006 | 0.1522 | 0.1514 | 2 |
| | Traditional CNN | 0.2935 | 0.2360 | 0.9847 | 0.1506 | 11 |
| Technology | Deep CNN | 0.2291 | 0.2449 | 0.9664 | 0.0857 | 14 |
| | Hybrid CNN | 0.0979 | 0.0005 | 0.0982 | 0.0975 | 2 |
| | Lightweight CNN | 0.3435 | 0.0695 | 0.4548 | 0.2647 | 8 |

**表 22.** 模型 Model-C 的模型分類 DEA 效率分析

| Model | image type | 平均值 - SCORE | 標準差 - SCORE | 最大 - SCORE | 最小 - SCORE | 計數 - SCORE |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ANN | character | 0.1925 | 0.1452 | 0.2951 | 0.0898 | 2 |
| | Pest | 0.2418 | NA | 0.2418 | 0.2418 | 1 |
| | Plant | 0.1622 | NA | 0.1622 | 0.1622 | 1 |
| Deep CNN | Animals | 0.1384 | 0.0115 | 0.1462 | 0.1082 | 10 |
| | Body parts | 0.3391 | 0.0942 | 0.4367 | 0.0996 | 31 |
| | character | 0.1177 | 0.0726 | 0.3857 | 0.0543 | 74 |
| | Food and drink | 0.1235 | 0.0422 | 0.2149 | 0.0391 | 32 |
| | Pest | 0.1132 | 0.1021 | 0.2558 | 0.0449 | 6 |
| | Plant | 0.5165 | 0.3697 | 1.0000 | 0.1554 | 24 |
| | Technology | 0.2291 | 0.2449 | 0.9664 | 0.0857 | 14 |
| Hybrid CNN | Animals | 0.9099 | 0.2592 | 1.0000 | 0.1312 | 11 |
| | Body parts | 0.2678 | 0.0567 | 0.4279 | 0.2149 | 32 |
| | character | 0.2202 | 0.0802 | 0.3815 | 0.1748 | 11 |
| | Plant | 0.2757 | 0.0408 | 0.3139 | 0.2004 | 6 |
| | Technology | 0.0979 | 0.0005 | 0.0982 | 0.0975 | 2 |
| Lightweight CNN | Body parts | 0.2353 | 0.1586 | 0.3474 | 0.1231 | 2 |
| | character | 0.2182 | 0.0921 | 0.2833 | 0.1531 | 2 |
| | Food and drink | 0.1131 | 0.0280 | 0.1361 | 0.0819 | 3 |
| | Pest | 0.0428 | 0.0044 | 0.0497 | 0.0376 | 6 |
| | Plant | 0.2174 | 0.1033 | 0.3366 | 0.1563 | 3 |
| | Technology | 0.3435 | 0.0695 | 0.4548 | 0.2647 | 8 |
| Other | Body parts | 0.0754 | 0.0576 | 0.2943 | 0.0314 | 30 |
| | character | 0.0879 | 0.0004 | 0.0881 | 0.0876 | 2 |
| | Food and drink | 0.0456 | NA | 0.0456 | 0.0456 | 1 |
| | Pest | 0.3660 | 0.0543 | 0.4070 | 0.2369 | 14 |
| | Plant | 0.1518 | 0.0006 | 0.1522 | 0.1514 | 2 |
| Traditional CNN | Animals | 0.1239 | NA | 0.1239 | 0.1239 | 1 |
| | Body parts | 0.1152 | 0.1064 | 0.3673 | 0.0382 | 33 |
| | character | 0.0845 | 0.0827 | 0.3713 | 0.0183 | 20 |
| | Food and drink | 0.2256 | NA | 0.2256 | 0.2256 | 1 |
| | Pest | 0.2632 | 0.0146 | 0.2831 | 0.2483 | 4 |
| | Plant | 0.2935 | 0.2360 | 0.9847 | 0.1506 | 11 |

**表 23.** 模型 Model-ABC 的圖像分類 DEA 效率比較表

| Model | image type | 平均值 - SCORE | | |
|---|---|---|---|---|
| | | Model-A | Model-B | Model-C |
| Animals | Deep CNN | NA | NA | 0.1384 |
| | Hybrid CNN | NA | NA | 0.9099 |
| | Lightweight CNN | NA | NA | 0.1239 |
| Body parts | Deep CNN | 0.3431 | 0.3014 | 0.3391 |
| | Hybrid CNN | 0.3439 | 0.3685 | 0.2678 |
| | Lightweight CNN | 0.3475 | 0.3474 | 0.2353 |
| | Other | NA | NA | 0.0754 |
| | Traditional CNN | NA | 0.3617 | 0.1152 |
| character | ANN | NA | 0.3317 | 0.1925 |
| | Deep CNN | 0.2703 | 0.1304 | 0.1177 |
| | Hybrid CNN | 0.1793 | 0.2353 | 0.2202 |
| | Lightweight CNN | 0.2842 | 0.2289 | 0.2182 |
| | Other | NA | NA | 0.0879 |
| | Traditional CNN | NA | 0.0933 | 0.0845 |
| Food and drink | Deep CNN | 0.1145 | 0.0989 | 0.1235 |
| | Lightweight CNN | 0.1363 | 0.1361 | 0.1131 |
| | Other | 0.0457 | 0.0456 | 0.0456 |
| | Traditional CNN | NA | NA | 0.2256 |
| Pest | ANN | NA | 0.2748 | 0.2418 |
| | Deep CNN | 0.2451 | 0.1158 | 0.1132 |
| | Lightweight CNN | NA | 0.0459 | 0.0428 |
| | Other | NA | 0.4170 | 0.3660 |
| | Traditional CNN | 0.2632 | 0.2632 | 0.2632 |
| Plant | ANN | NA | NA | 0.1622 |
| | Deep CNN | 0.7155 | 0.5835 | 0.5165 |
| | Hybrid CNN | NA | 0.2801 | 0.2757 |
| | Lightweight CNN | 0.1614 | 0.2351 | 0.2174 |
| | Other | NA | NA | 0.1518 |
| | Traditional CNN | 0.4390 | 0.3300 | 0.2935 |
| Technology | Deep CNN | NA | 0.3955 | 0.2291 |
| | Hybrid CNN | NA | NA | 0.0979 |
| | Lightweight CNN | NA | 0.3920 | 0.3435 |

# 論以中醫五行生剋理論建立五臟功能運行的數學模型

楊義清[1]，林志銘[1]，陳耀煌[2]

## 摘要

本研究嘗試以中醫五行生剋理論為基礎，建立一個能夠描述五臟功能動態變化的數學模型。五行理論中，肺、肝、腎、心、脾分別對應金、木、水、火、土，透過彼此間的「相生」與「相剋」作用來體現臟腑功能之間的調節與互動。研究中將這些作用關係表示成一組五臟功能運行指數 $x_N(t)$ 的線性常微分方程組，並推導出解析解的可能形式。結果指出由於模型中會存在特徵值實部為正的情況，方程組的解將呈指數發散，導致五臟功能指數超出正常範圍 $[0,1]$ ，與實際生理意義相矛盾；數值模擬亦證實此一結果。不過，本研究初步展示了傳統中醫理論與現代數學建模整合的可能性，為中醫理論的現代詮釋與應用研究開啟嶄新方向。

**關鍵字**：器官間訊息交流、中醫五行生剋理論

[1] 楊義清(通訊作者)，國立臺東大學應用科學系教授、E-mail: icyang@nttu.edu.tw
[1] 林志銘，國立臺東大學應用科學系副教授、E-mail:cmlin@nttu.edu.tw
[2] 陳耀煌，國立高雄科技大學電子工程系(第一校區)、E-mail:yhchen1963@nkust.edu.tw

# Constructing a Mathematical Model for Zang Organ Function Based on Wu Xing Generation and Control Theory in Traditional Chinese Medicine

I-Ching Yang[1], Chih-Ming Lin[1], and Yaw-Hwang Chen[2]

## Abstract

This paper presents a mathematical model aimed at describing the dynamic functional interactions among the five Zang organs, based on Wu Xing generation and control theory in Traditional Chinese Medicine. In this theory, the Lung, Liver, Kidney, Heart, and Spleen correspond to Metal, Wood, Water, Fire, and Earth, respectively. Their mutual "generation" (sheng) and "control" (ke) relationships represent the regulation and interaction among Zang organ functions. These relationships are expressed as a system of linear ordinary differential equations for the functional indices $x_N(t)$ of the five Zang organs, and the analytical form of the solution is derived. The results indicate that, due to the presence of eigenvalues with positive real parts, the solution diverges exponentially, causing the Zang organ function indices to exceed the physiological range of $[0, 1]$, which contradicts actual biological meaning. Numerical simulations also confirm this outcome. Nevertheless, this study preliminary demonstrated the feasibility of combining Traditional Chinese Medicine theory with modern mathematical modeling and provided a new direction for the interpretation and applied research of Traditional Chinese medicine.

**Keywords**: Organ Crosstalk, Wu Xing Generation and Control Theory in Traditional Chinese Medicine

[1] I-Ching Yang (corresponding author), Professor, Department of Applied Science, National Taitung University. E-mail: icyang@nttu.edu.tw

[1] Chih-Ming Lin, Associate Professor, Department of Applied Science, National Taitung University. E-mail: cmlin@nttu.edu.tw

[2] Yaw-Hwang Chen, Associate Professor, Department of Electronic Engineering, National Kaohsiung University of Science and Technology (First Campus). E-mail: yhchen1963@nkust.edu.tw

## 壹、前言與文獻探討

近年來，西方醫學研究上日益重視「器官間訊息交流(organ crosstalk)」這個概念(Husain-Syed, McCullough, Birk, Renker, Brocca, Seeger, & Ronco, 2015)，指出人體內臟器官並非各自獨立運作，而是透過神經、免疫與內分泌路徑形成複雜的訊息網絡，協同維持生理上的穩定態。例如，腦腸軸(gut-brain axis)揭示了腸道菌叢與中樞神經之間的雙向調控，顯示情緒與腸道健康密切相關(Wang & Kasper, 2014; Mayer, Knight, Mazmanian, Cryan, & Tillisch, 2014)；腸肝軸(gut-liver axis)則強調腸道屏障與肝臟代謝功能的交互影響(Albillos, de Gottardi, & Rescigno, 2020)；腸肺軸(gut-lung axis)亦逐漸受到關注，特別在呼吸道感染與慢性肺病中的角色(Dang, & Marsland, 2019)。尤其是肝腎軸(hepatobiliary-renal axis)( Ginès, Guevara, Arroyo, & Rodés, 2003)與心腎軸(Cardiorenal axis)( Virzì, Clementi, & Ronco, 2016)之間的生理交互，更是在器官衰竭與代償反應中佔據關鍵地位。這些系統性互動的研究不僅開啟我們對人體生理調控的理解，也為整合性醫療、慢性病管理提供了嶄新契機。

在西方醫學揭示器官間複雜交互作用的同時，中醫理論亦早已提出臟腑之間「相生相剋」的動態關係，並以五行生剋理論建構出完整的功能性整體觀。五臟之間透過生剋制化達成生理平衡，與現代醫學中所謂「器官間訊息交流」具有高度對應性。因此，若能將中醫五行生剋的系統性觀點以現代數學語言加以形式化，不僅有助於理論的現代詮釋，也可能為器官交談的研究提供新穎的系統建模途徑。本研究嘗試建構一套以五行生剋關係為基礎的五臟功能動態數學模型，旨在提供一個理論架構來探討進一步拓展整合醫學的量化研究可能性。

五行生剋理論是中醫建構整體性醫學觀的核心基礎之一，其將自然界的五種基本元素：金、木、水、火、土，將之對應於五臟系統中的肺、肝、腎、心、脾。根據明代張介賓《類經圖翼・運氣》所載(張介賓，1999)：

**故自其相生者言，則水以生木，木以生火，火以生土，土以生金，金以生水。**
**自其相克者言，則水能克火，火能克金，金能克木，木能克土，土能克水。**

因此，五臟之間透過「相生」與「相剋」兩大作用機制維持動態平衡，「相生」指的是一種促進與支持關係，如木生火、火生土等；相剋則指制約與抑制關係，如木剋土、火剋金等，五行生剋關係如圖一所示。在人體生理層面，這種關係體現為臟腑功能之間的調節與互動，從而達到整體協調與病理防衛的目的。在中醫理論，五行生剋理論不僅解釋了五臟之間的功能互依，還能被運用於反映人體與自然環境間的連動性，當然這個環節在本文裡還不會被納入考慮。當五臟中某一器官功能過強或過弱時，將影響其生剋鏈中的其他器官，進而產生連鎖反應導致疾病的發生。本文中，我們將變數 $N \in \{1,2,3,4,5\}$ 依序地象徵五臟：肺(金)、肝(木)、腎(水)、心(火)、脾(土)，因此變數 $x_N(t)$ 則分別代表五臟的功能運行指數，並要求代表五臟的正常生理範圍為 $[0,1]$ 。

## 貳、研究方法與結果

中醫五行生剋理論中，除了存在「相生」與「相剋」的動態平衡機制外，另有因五臟之間的生剋關係失衡，從而產生的「相乘」與「相侮」的複雜互動機制。圖二中以肺臟為例介紹了「生剋乘侮」的病理變化，但在此我們先考慮僅以「相生」與「相剋」來建立動態數學模型。從圖二所示，『土生金』表示屬金的肺臟功能 $x_1(t)$ 會受到屬土的脾臟功能 $x_5(t)$ 所影響，產生相生作用 $ax_5(t)$ ， $a$ 象徵相生作用的強度；『火剋金』表示肺臟會受到屬火的心臟功能 $x_4(t)$ 所影響產生相剋作用 $-bx_4(t)$ ， $b$ 象徵相剋作用的強度。據此，肺臟功能運行指數的變化可以微分方程式表示為

$$\frac{dx_1(t)}{dt} = ax_5(t) - bx_4(t) \quad 。 \qquad (1)$$

對於肝臟、腎臟、心臟與脾臟功能運行指數的變化則是將之與肺臟的情況視為一致的，也就是使用相同的相生作用的強度 $a$ 與相剋作用的強度 $b$ ，所以這四臟均可依循中醫五行生剋理論分別表示成微分方程式：

$$\frac{dx_2(t)}{dt} = ax_3(t) - bx_1(t) \quad ， \qquad (2)$$

$$\frac{dx_3(t)}{dt} = ax_1(t) - bx_5(t) \quad ， \qquad (3)$$

$$\frac{dx_4(t)}{dt} = ax_2(t) - bx_3(t) \quad ， \qquad (4)$$

$$\frac{dx_5(t)}{dt} = ax_4(t) - bx_2(t) \quad 。 \qquad (5)$$

下面將五臟功能運行指數考慮為 $1\times5$ 列向量

$$\mathbf{x}(t) = [x_1(t) \quad x_2(t) \quad x_3(t) \quad x_4(t) \quad x_5(t)] \quad ， \qquad (6)$$

則 Eq.(1) - (5) 可改寫成

$$\frac{d}{dt}\mathbf{x}^{\mathrm{T}}(t) = \mathbf{A}\mathbf{x}^{\mathrm{T}}(t) \quad ， \qquad (7)$$

其中 $\mathbf{x}^{\mathrm{T}}(t)$ 為 $5\times1$ 行向量，而

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & -b & a \\ -b & 0 & a & 0 & 0 \\ a & 0 & 0 & 0 & -b \\ 0 & a & -b & 0 & 0 \\ 0 & -b & 0 & a & 0 \end{bmatrix} \quad 。 \qquad (8)$$

由於 Eq.(7) 是一矩陣微分方程，想要找出 $\mathbf{x}^{\mathrm{T}}(t)$ 的解析解，可以先試著將矩陣 $\mathbf{A}$ 對角化。

假設存在一變換矩陣 $\mathbf{P}$ (invertible matrix)可進行相似轉換(similarity transformation)

$\mathbf{PAP}^{-1}=\mathbf{D}$ ， (9)

則有對角矩陣 (diagoal matrix )為

$$\mathbf{D}=\begin{bmatrix}\lambda_1 & 0 & 0 & 0 & 0\\ 0 & \lambda_2 & 0 & 0 & 0\\ 0 & 0 & \lambda_3 & 0 & 0\\ 0 & 0 & 0 & \lambda_4 & 0\\ 0 & 0 & 0 & 0 & \lambda_5\end{bmatrix}。 \quad (10)$$

因此，Eq.(7)將可轉換成

$\frac{d}{dt}\mathbf{P}\mathbf{x}^{\mathrm{T}}(t)\mathbf{P}^{-1}=\mathbf{PAP}^{-1}\mathbf{P}\mathbf{x}^{\mathrm{T}}(t)\mathbf{P}^{-1}=\mathbf{DP}\mathbf{x}^{\mathrm{T}}(t)\mathbf{P}^{-1}$ ， (11)

引入一個新的行向量

$\mathbf{y}^{\mathrm{T}}(t)=\mathbf{P}\mathbf{x}^{\mathrm{T}}(t)\mathbf{P}^{-1}$ ， (12)

最後 Eq.(11) 將成為

$\frac{d}{dt}\mathbf{y}^{\mathrm{T}}(t)=\mathbf{D}\mathbf{y}^{\mathrm{T}}(t)$ ， (13)

若以分量來表示的話，就成為

$\frac{dy_N(t)}{dt}=\lambda_N y_N(t)$ ， (14)

然後就可以獲得

$y_N(t)=y_{N0}\exp(\lambda_N t)$ 。 (15)

所以想解出 $x_N(t)$ ，必然要先設法求出 $\lambda_N$ 及 $\mathbf{P}$ 。

利用行列式

$\det|\mathbf{A}-\lambda\mathbf{1}|=0$ ， (16)

可以得出特徵值所滿足的方程式

$\lambda^5-5ab^2\lambda^2+5a^3b\lambda-(a^5-b^5)=0$ 。 (17)

Eq.(16) 是 λ 的五次方程式，通常會有一個實數根及四個複數根，所以我們設

$\lambda_n=\alpha_n+i\beta_n$ ， (18)

其中 $\beta_{n=5}=0$ (唯一的實數根) 。對於 $y_N(t)$ 的解即可表示為

$y_n(t)=y_{n0}e^{\alpha_n t}e^{i\beta_n t}$ 。 (19)

根據 Eq.(12)，五臟功能運行指數則為

$\mathbf{x}^{\mathrm{T}}(t)=\mathbf{P}^{-1}\mathbf{y}^{\mathrm{T}}(t)\mathbf{P}$ ， (20)

其分量形式可被表示為

$x_N(t)=\sum_n\sum_m\mathbf{P}_{nm}\mathbf{P}_{mN}y_n(t)$ 。 (21)

若設

$Q_{nN} = \sum_m \mathbf{P}_{nm}\mathbf{P}_{mN}$ ， (22)
可以發現 $x_N(t)$ 將會是 $y_n(t)$ 的線性疊加
$x_N(t) = \sum_n Q_{nN}\, y_{n0} e^{\alpha_n t} e^{i\beta_n t}$ 。 (23)
從 Eq.(23) 的形式來看，只要存在有 $\alpha_n > 0$ ， $e^{\alpha_n t}$ 將導致

$\lim_{t\to\infty} x_N = \pm\infty$ ， (24)

這個結果將造成 $x_N > 1$ 的矛盾，使得用來描述五臟運行的數學模型無法運作。最後，我們用數值方法來進行五臟運行的數學模型計算，假設相生作用的強度 $a = 0.012$ 及相剋作用的強度 $b = 0.012\$b = 0.015\$$ ,並給出五臟運行的起始狀態為 $\mathbf{x}(0) = [0.81 \quad 0.71 \quad 0.79 \quad 0.87 \quad 0.75]$ 。計算出來的 $x_N(t)$ 如圖三所示。結果顯示運算經過 500 次的迭代後均會發散，符合上段文章所評估的結果。

## 參、討論與結論

本文以中醫五行生剋理論為基礎，建構出一組描述五臟功能運行的線性微分方程系統，嘗試以數學形式來呈現五行理論中「相生」與「相剋」的交互作用。透過矩陣對角化方法與解析解推導，我們發現由於模型中會存在實部為正的特徵值，則解的指數增長特性將導致五臟功能指數發散，與實際生理範圍 $[0,1]$ 產生矛盾，顯示此模型初步尚無法穩定描述五臟平衡狀態。進一步的數值模擬也證實了此預測結果，系統在有限步驟內即出現發散現象。從本文所建構的數學模型中，『土生金』的相生作用僅是脾臟功能 $x_5(t)$ 決定肺臟功能 $x_1(t)$ 的增加，而『火剋金』的相剋作用也僅是心臟功能 $x_4(t)$ 決定肺臟功能 $x_1(t)$ 的減少.，很顯然這樣的解讀難以充分反映實際生理動態。不過，本研究初步展示了傳統中醫理論與現代數學建模整合的可能性，為中醫理論的現代詮釋與應用研究開啟嶄新方向。

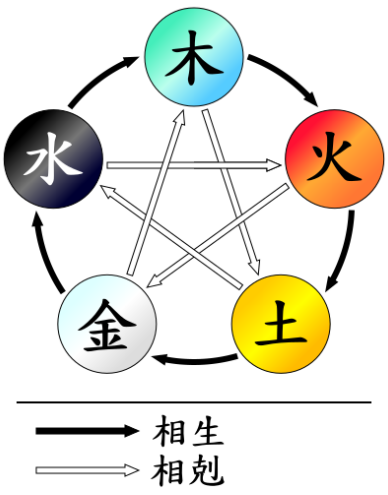



**圖 1.** 五行生剋圖

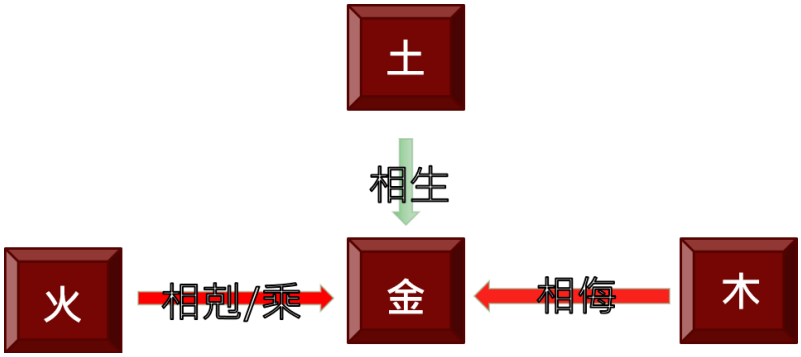



**圖 2.** 肺臟的生剋乘侮（本文只考慮相生相剋兩種機制）

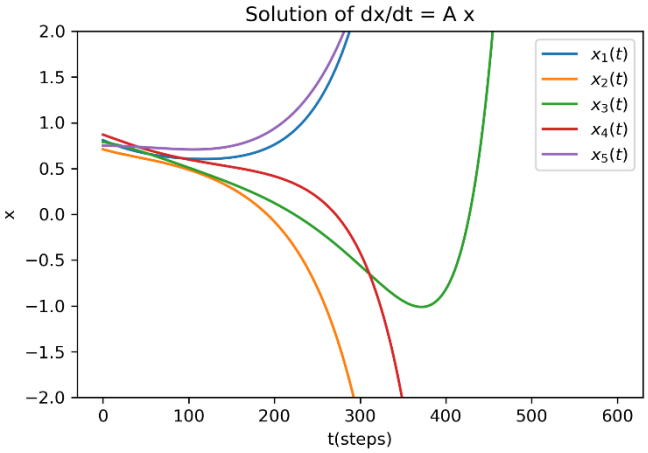



**圖 3.** 五臟生剋數學模型的模擬結果

## 致謝

作者(楊義清)感謝張益鋒在五臟生剋數學模型模擬的協助。

# 引用文獻

## 一、中文部分

(明)張介賓 (1999)。**類經圖翼**。見李志庸主編，《張景岳醫學全書》(頁 625)。北京：人民中醫藥出版社。

## 二、外文部分

Albillos, A., De Gottardi, A., & Rescigno, M. (2020). The gut-liver axis in liver disease: Pathophysiological basis for therapy. *Journal of hepatology*, *72*(3), 558-577.

Dang, A. T., & Marsland, B. J. (2019). Microbes, metabolites, and the gut–lung axis. Mucosal immunology, 12(4), 843-850.

Ginès, P., Guevara, M., Arroyo, V., & Rodés, J. (2003). Hepatorenal syndrome. *The Lancet*, *362*(9398), 1819-1827.

Husain-Syed, F., McCullough, P. A., Birk, H. W., Renker, M., Brocca, A., Seeger, W., & Ronco, C. (2015). Cardio-pulmonary-renal interactions: a multidisciplinary approach. Journal of the American College of Cardiology, 65(22), 2433-2448.

Mayer, E. A., Knight, R., Mazmanian, S. K., Cryan, J. F., & Tillisch, K. (2014). Gut microbes and the brain: paradigm shift in neuroscience. *Journal of Neuroscience*, *34*(46), 15490-15496.

Virzì, G. M., Clementi, A., & Ronco, C. (2016). Cellular apoptosis in the cardiorenal axis. *Heart failure reviews*, *21*, 177-189.

Wang, Y., & Kasper, L. H. (2014). The role of microbiome in central nervous system disorders. *Brain, behavior, and immunity*, *38*, 1-12.

# 應用美洲獅演算法實現動力電池之實時參數最佳化

呂宛岭 、高崇銘 、陳柔彣 、王清安 、劉恩睿*

## 摘要

電池管理系統為推動鋰電池技術發展的核心關鍵，其中電池建模的優化技術是實現電池性能最大化的重要途徑。為因應實際駕駛情境中快速負載變化所帶來的挑戰，並改善因使用環境變化導致電池狀態估測不準確的問題，本文提出一種新穎的電池建模方法，採用美洲獅演算法即時估測電池電氣特性，實現系統運行過程中的即時採樣與有效監控輸入輸出信號。研究首先透過電池脈衝測試建立完整的電池測試模型，接著利用美洲獅演算法具備的快速收斂與全域搜尋能力進行鋰電池參數最佳化。實驗結果顯示，所提方法在參數辨識上的平均絕對誤差為 5.9054%。本研究所提出之線上參數辨識技術，未來可進一步應用於電池充電狀態與健康狀態的高精度估測。

**關鍵字：**電池管理系統、美洲獅演算法、線上型參數辨識、混合動力脈衝特性測試程序

呂宛岭，國立臺東大學綠能與資訊科技學系學生、Email: 11122123@gm.nttu.edu.tw
高崇銘，國立臺東大學綠能與資訊科技學系學生、Email: 11222134@gm.nttu.edu.tw
陳柔彣，國立臺東大學綠能與資訊科技學系學生、Email: 11122119@gm.nttu.edu.tw
王清安，國立臺東大學綠能與資訊科技學系學生、Email: 11122127@gm.nttu.edu.tw
劉恩睿 (通訊作者)，國立臺東大學綠能與資訊科技學系 助理教授、Email: ejliu@nttu.edu.tw

# Real-Time Parameter Optimization of Power Batteries Using Puma Optimizer

Wan-Ling Lu , Chung-Ming Kao , Rou-Wen Chen , Qing-An Wang and En-Jui Liu*

## Abstract

Battery management system (BMS) is a key enabler for the advancement of lithium battery technologies, with battery modeling optimization playing a vital role in maximizing performance. To address the challenges posed by rapid load fluctuations during real-world driving and to mitigate inaccuracies in battery state estimation caused by environmental variations, this research proposes a novel battery modeling approach. The method employs Puma Optimizer (PO) to estimate the electrical characteristics of lithium batteries in real time, enabling effective sampling and monitoring of system input and output signals during operation. A comprehensive battery test model is first constructed through pulse testing. Then, leveraging the PO's fast convergence and global search capabilities, the method optimizes battery parameters. Experimental results indicate a mean absolute error of 5.9054% in parameter identification. The proposed online identification technique holds promise for future applications in high-accuracy estimation of state of charge (SOC) and state of health (SOH).

**Keywords:** Battery Management System, Puma Optimizer, Online Parameter Estimation, Hyper Pulse Power Characteristic

Wan-Ling Lu, College student, Department of Green Energy and Information Technology, National Taitung University. Email: 11122123@gm.nttu.edu.tw

Chung-Ming Kao, College student, Department of Green Energy and Information Technology, National Taitung University. Email: 11202205@gm.nttu.edu.tw

Rou-Wen Chen, College student, Department of Green Energy and Information Technology, National Taitung University. Email: 11122119@gm.nttu.edu.tw

Qing-An Wang, College student, Department of Green Energy and Information Technology, National Taitung University. Email: 11122127@gm.nttu.edu.tw

En-Jui Liu (Corresponding Author), Assistant Professor, Department of Green Energy and Information Technology, National Taitung University. Email: ejliu@nttu.edu.tw

## 壹、前言

最近幾十年來因為溫室效應導致地球暖化，各種極端氣候頻傳，因此減少碳排為世界各國刻不容緩的議題，大多數國家預計 2050 年前完成淨零碳排目標(O. C. Anika et al., 2022)，歐盟甚至訂定了在 2035 年停止銷售燃油車的計劃，德國也計畫在 2050 年全面禁止柴油和汽油車的使用，臺灣也訂下了 2050 完成淨零碳排目標，國發會在 2025 年發布總體減碳行動計畫，新增六大部門總共 20 項旗艦計畫(林佳慧, 2024)，其中交通部旗下運輸部門，希望商用車輛電動化即無碳化，因此純電車成為重要項目之一，鋰電池作為電動車內最重要的元件之一，扮演了提供能量的角色，但是鋰離子電池雖有優異的儲能表現，但是電池若過度充電或放電，可能會導致熱失控，一但發生火勢往往難以控制，而且隨著電池長期充電及放電的往復循環，會引發電池壽命、容量減少的現象，為了使用者的安全及延長鋰離子電池的使用年限，凸顯了電池管理系統(Battery Management System, BMS)的重要性。

BMS 包含六大功能：電池狀態監控、平衡管理、熱管理、老化與健康預估、診斷與預警(Yang et al., 2023)，電池狀態監控主要負責監控電池的電壓、電流和溫度，確保運作安全，同時透過平衡管理讓每顆電芯的電量保持一致，避免單一電芯過度充放電，延長整體壽命。熱管理功能控制電池的溫度，讓電池在適合的環境下工作，防止過熱或過冷帶來的損傷。BMS 還能預測電池老化情況，評估健康狀態，提前發現問題，並在異常時發出警告，防止意外發生。良好的 BMS 能讓電動車的續航表現更穩定，降低駕駛者的里程焦慮，同時也能提升整體系統的效率和安全，加速推動交通邁向無碳轉型(Gabbar et al., 2021, Cheng et al., 2010)。

## 貳、文獻探討

BMS 中電池狀態監控與診斷預警牽扯到電池建模技術的精度，目前電池建模技術多樣，可分為電化學模型(Electrochemistry Module, EM)、等效電路模型(Equivalent Circuit Model, ECM)和熱模型(Thermal Model, TM)(Liu et al., 2024)，其中 Newman 等人提出的 P2D (Pseudo-Two-Dimensional, P2D)模型屬於電化學模型(Newman et al., 1993)，可描述電池內部的濃度分佈、電位變化等物理化學特性，具備明確物理意義，適用於鋰離子電池的微觀研究。然而， P2D 模型參數過多且計算複雜限制了其應用，因此提出了一種簡化方法，單粒子模型(Single Particle Model, SPM)，SPM 也屬於電化學模型，透過單一活性粒子代表整個電極，Santhanagopalan 等人系統性地比較了各種電池模型，指出 SPM 用單一顆代表性粒子來描述每個電極的鋰離子濃度分佈，可以在保持合理預測準確度的同時，大幅降低計算成本，適合即時監測(Santhanagopalan et al., 2006)。由於電化學模型複雜度較高，等效電路模型更為普遍(杨佳兴, 2023)，如內阻模型 (Internal Resistance, Rint)，Johnson 建立了最簡單的 Rint，包括與電阻串連的理想電壓源(V. H. Johnson, 2002)。由於 Rint 無法模擬電池內部的極化現象，而一階等

效電路模型 (First-Order Resistor-Capacitor, 1RC)和二階等效電路模型(Second-Order Resistor-Capacitor, 2RC)，可以模擬電池中極化現象，Nejad 等人對上述模型利用雙擴展卡爾曼濾波器(Dual-EKF)演算法的非線性系統辨識技術遞歸估計模型參數和狀態，發現 2RC 可以在精度和複雜度之間取得平衡(Nejad et al., 2016)，Mohamed 等人對 1RC 和 2RC 的參數估計進展進行全面回顧，表示 2RC 能夠準確地表示電池的非線性行為。這在高估計精度和可管理的運算複雜性之間提供了平衡，使其適用於即時應用，同時符合線上電池管理系統的實際要求(Mohamed et al., 2025)。電池模型參數的辨識可分為在線(Online)和離線(Offline)方法，離線方法雖然準確度高，但不適合實時應用；而在線方法雖然可以實時更新，但需要更多計算資源(Li et al., 2025)。

為了建立適用於行車模型的快速運算演算法，演算法須具備運算簡單且高效的最佳化計算，而群體智能演算法透過模仿生物行為進行最佳化計算，運算簡單且能高效搜尋全域最佳解(Jiao et al., 2024, Rani et al., 2024)，廣泛應用於電池參數估算，比較常見的方式是應用於離線的參數辨識。本研究應用元啟發式演算法於鋰離子電池線上參數辨識，首先建立混合動力脈衝特性測試程序，接著應用美洲獅演算法 (Puma Optimizer, PO) 實現鋰電池在線型參數辨識，以助計畫未來用於電池老化估計，後續會針對研究方法及步驟進行詳細介紹，本研究流程如**圖 1**。

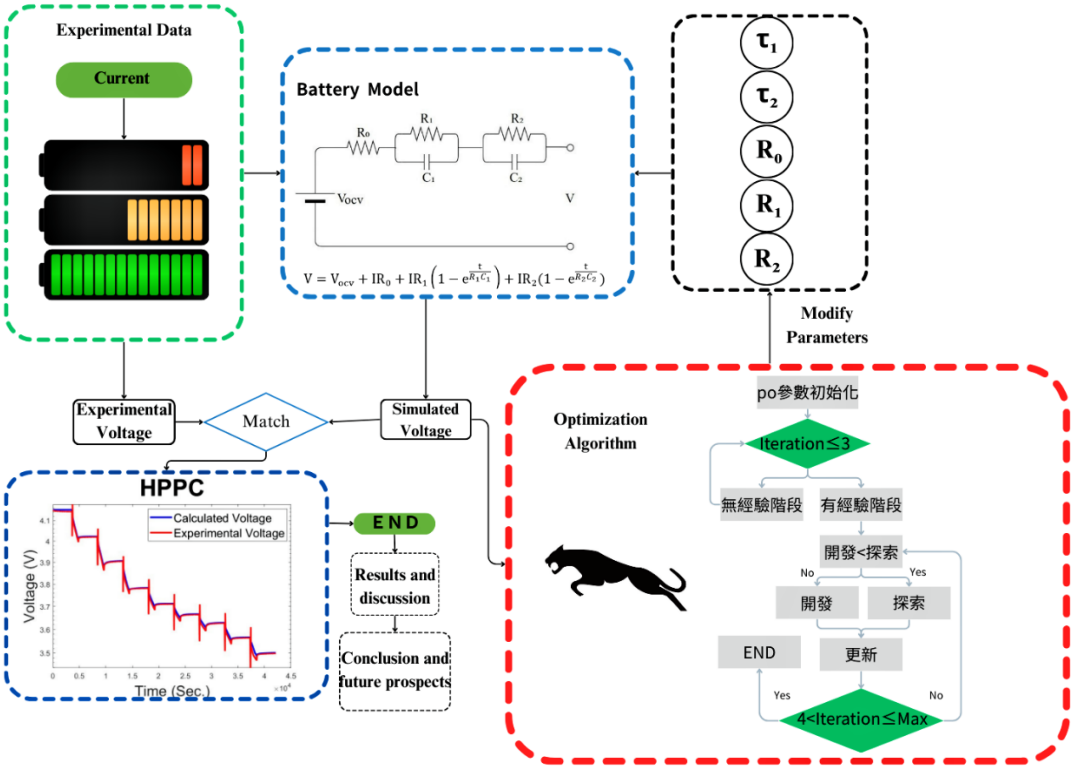
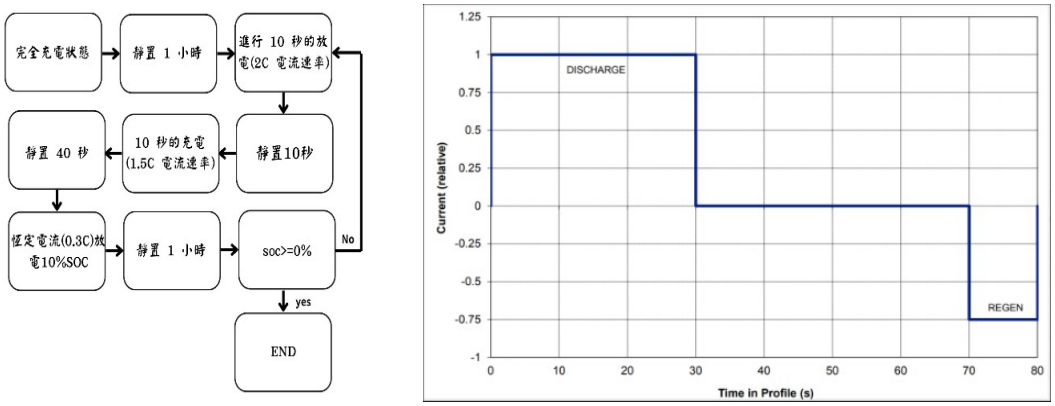



**圖 1.** *研究流程圖*

# 參、研究方法

## 一、電池測試實驗

混合動力脈衝特性測試程序(Hyper Pulse Power Characteristic, HPPC)為美國愛達荷國家實驗室(Idaho National Laboratory)發布的動力電池測試手冊(Doughty, D. H., & Crafts, C. C., 2006)中的測試方法， HPPC 測試的目的是研究電池在脈衝電流條件下的電壓響應特性。通過分析 HPPC 測試數據，可以識別並提取電池的關鍵參數。 HPPC 測試的目的為確定每 10% 的充電狀態(State of Charge, SOC)下電池 10 秒充、放電的功率。 HPPC 測試會進行多組電流脈衝測試，每組測試的 SOC 相差 10%，為了使電池的電化學效應影響到最低，需靜置 1 小時才能進入下一組測試，完整 HPPC 測試步驟如下：HPPC 測試包含多組電流脈衝測試，每組測試之間的 SOC 間隔為 10%，實驗流程圖 2，重複 10 次。




(a) (b)

**圖 2.** *HPPC 之(a)實驗流程圖與(b)單一脈衝電流曲線*(Doughty, D. H., & Crafts, C. C., 2006)

## 二、電池建模

鋰電池模型主要用於模擬其電化學行為，透過電壓源、電阻和電容等電路元件來描述電池的充放電特性。目前常見的模型包括戴維寧等效電路模型(Thevenin)、電池等效模型(The Partnership for a new Generation of Vehicles, PNGV)(Geng et al., 2022)和多階 RC 模型。其中，2RC 模型是鋰離子電池常用的一種等效電路建模方式(Lai et al., 2018)。這個模型如圖三所示由一個開路電壓源 $V_{ocv}$、一個串聯的內部電阻 $R_0$、以及兩組並聯的電阻與電容 $R_1$-$C_1$、$R_2$-$C_2$ 組成。 $V_{ocv}$ 表示在開路狀態下的理論電壓，$R_0$ 代表電池的內電阻，主要反映出電子導體、離子導體及接觸電阻造成的瞬時電壓降，$R_1$-$C_1$ 和 $R_2$-$C_2$ 則分別模擬電池在不同時間尺度上的極化現象與動態響應，這種 2RC 模型能細緻地描述鋰電池在充放電過程中出現的各種動態電壓變化，因此被廣泛用於電池性能模擬、狀態估測，以及 BMS 系統的開發中(Mohamed et al., 2025)。

$$V = V_{ocv} + IR_0 + IR_1\left(1 - e^{\frac{t}{R_1C_1}}\right) + IR_2(1 - e^{\frac{t}{R_2C_2}}) \quad (1)$$

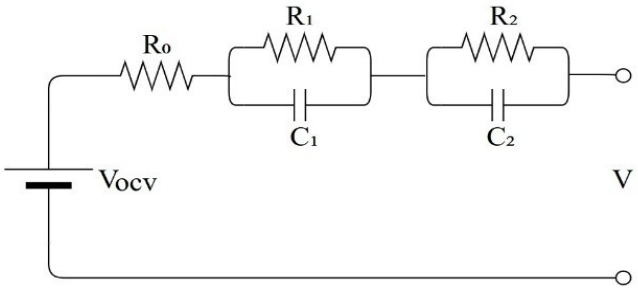



**圖 3.***動力電池電路模型*

## 三、美洲獅演算法

美洲獅演算法是一種群體智慧演算法，由 Abdollahzadeh 等人提出(Abdollahzadeh et al., 2024)，其靈感來源於美洲獅的獵食行為。該演算法在探索與開發階段皆具備強大的機制，能夠在最佳化過程中執行相變操作，以維持探索與開發的平衡。下面將介紹該演算法的搜尋機制。

(一) 無經驗階段

在初期階段，由於美洲獅對環境不熟悉且無法確定獵物的位置，因此會同時執行探索(Exploration)與開發(Exploitation)行為，以尋找適合狩獵的區域。在演算法的前三次迭代中，探索與開發模式同步進行。起初，系統中有 N 隻美洲獅，在每次迭代時，原始美洲獅群體 A 會分別透過探索與開發機制產生兩個新群體，分別記為 Aexplore 和 Aexploit，並將這三個群體合併成 Apop= [A Aexplore Aexploit]。接著，根據適應度值對 Apop 進行排序，並在每次迭代結束時，僅保留適應度最佳的前 N 隻美洲獅，以確保群體的優化效果。

在完成三次迭代後，系統會計算 f1 和 f2 兩個函數。這兩個函數如(2)~(3)的結果將用於計算探索分數 ScoreExplore 及 ScoreExploit 開發分數根據這些分數決定在有經驗階段應執行的模式，以提高演算法的適應性與效率。

$$f1_{mode} = PF1 \cdot \left(\frac{Seq^1_{Cost\ mode}}{Seq_{Time}}\right) \quad (2)$$

*where mode =exploit or explore*

$$f2_{mode} = PF2 \cdot \left(\frac{Seq^1_{Cost\ mode} + Seq^2_{Cost\ mode} + Seq^3_{Cost\ mode}}{Seq^1_{Time} + Seq^2_{Time} + Seq^3_{Time}}\right) \quad (3)$$

*where mode =exploit or explore*

$f1_{mode}$ 和 $f2_{mode}$ 分別對應於探索模式與開發模式下的 *f1* 和 *f2* 計算方式。變數 *Seqt Costmode* 代表第 t 次迭代時，在開發或探索模式下，美洲獅在改進前與

改進後的計算結果之差。 *Seqt Time* 則表示每個模式被選中的次數，在無經驗階段，由於探索與開發模式在前三次迭代會同時進行，因此其數值固定為 1。 *PF1* 和 *PF2* 則為 *f1* 及 *f2* 的優先度因子，用於調整兩者的相對重要性。

$$Score_{mode} = (PF1 \cdot f1_{mode}) + (PF2 \cdot f2_{mode}) \quad (4)$$
*where mode =exploit or explore*

$f1_{mode}$ 和 $f2_{mode}$ 則分別對應於(2)和(3)的計算結果接著，透過(4)分別計算探索與開發的分數。若 $Score_{Explore}$ 大於 $Score_{Exploit}$，則在有經驗階段優先選擇探索模式；反之，則進入開發模式，以確保演算法能夠根據當前情境自適應的調整策略。

(二)有經驗階段

在完成前三次迭代後，美洲獅將根據經驗選擇要執行的模式。在此階段，每次迭代選擇一種模式進行，並且會持續根據情境變化調整模式選擇。此時， PO 會使用 *f1*、*f2* 和 *f3* 進行評分。需要注意的是，此階段的 *f1* 和 *f2* 與無經驗階段的 f1 和 f2 計算方式不同。接下來，將透過(5)～(7)來說明 *f1*、*f2* 及 *f3* 的計算方式。

函數 *f1* 的計算方式如式(5)所示：

$$f1_t^{mode} = PF1 \cdot \left| \frac{Cost_{old}^{mode} - Cost_{new}^{mode}}{T_t^{mode}} \right| \quad (5)$$
*where mode =exploit or explore*

其中， $f1_t^{mode}$ 代表探索與開發模式下的 *f1* 計算方式， *t* 表示當前的迭代次數，而 *PF1* 為優先權常數， *Costmode old* 和 *Costmode new* 分別代表上一次選擇該模式時，*N* 隻美洲獅中最佳適應度值，以及該模式執行後， *N* 美洲獅中最佳適應度值。

*Tmode t* 則表示該模式在上一次被選擇後未被選擇的迭代數。*F1* 的設計可增加探索模式的比重，使演算法在陷入區域最優解時執行更多的全局探索，以提升最優解的多樣性與尋優能力。函數 *f2* 的計算方式如方程式 (6)所示：

$$f2_t^{mode} = PF2 \cdot \left| \frac{S_{t,1}^{mode} + S_{t,2}^{mode} + S_{t,3}^{mode}}{T_{t,1}^{mode} + T_{t,2}^{mode} + T_{t,3}^{mode}} \right| \quad (6)$$
*where mode =exploit or explore*

*f2mode t* 代表不同模式下的 *f2* 計算方式， *t* 為當前迭代次數，而 *PF2* 是優先權常數， *Smode t,1* 表示在當前迭代中，不同模式下，美洲獅群改進前後最佳適應度值的差異， *Smode t,2* 則表示在上一次選擇開發或探索模式時，美洲獅群改進前後最佳適應度值的差異，而 *Smode t,3* 代表在前兩次選擇開發或探索模式時，美洲獅群改進前後最佳適應度值的差異。

此外，*Tmode t,1*、*Tmode t,2*、*Tmode t,3* 分別記錄了探索與開發模式在不同階

段未被選中的次數， *f2* 計算不同迭代次數間的性能變化以及模式選擇的影響，因此該函數有助於在探索模式之後促使演算法執行更多局部開發，提高解的質量並加速收斂。

函數 *f3* 的計算方式如方程式 (7)所示：

$$f3_t^{mode} = \begin{cases} if\ selected,\ f_{3\,t}^{mode} = 0 \\ otherwise, f_{3\,t}^{mode} + PF3 \end{cases} \quad (7)$$
*where mode =exploit or explore*

*f3mode t* 代表探索或開發模式下的 *f3* 計算方式，其中 *t* 為當前的迭代次數。*PF3* 是一個常數。 *PF3* 的作用是調整分數較低模式被選擇的機率，數值越接近 1，該模式被選中的機率越高。

如果某個模式在迭代過程中未被選取，則 *f3* 的數值會持續上升，從而增加該模式在後續迭代中被選擇的可能性，反之，當模式被選取後， *f3* 的數值將被設為 0，以降低其再次被選擇的機率。這樣的機制確保了所有模式都有機會被執行，避免演算法過度集中於某一模式而陷入局部最優解。

方程式(8)為探索及開發模式的計算方式

$$F_t^{mode} = \left(\alpha_t^{mode} \cdot \left(f1_t^{mode}\right)\right) + \left(\alpha_t^{mode} \cdot \left(f2_t^{mode}\right)\right) + \left(\delta_t^{mode} \cdot \left((lc) \cdot f3_t^{mode}\right)\right) \quad (8)$$
*where mode =exploit or explore*

$F_t^{mode}$ 為該次迭代探索與開發模式的分數，*lc*、$\alpha$ 及 $\delta$ 的定義列於(9)~(13):

$$lc = \begin{Bmatrix} \{|Cost_{old} - Cost_{New}|\}^{exploitation}, \\ \{|Cost_{old} - Cost_{New}|\}^{exploration} \end{Bmatrix} \quad (9)$$
*where mode =exploit or explore*

$$0 \notin lc$$

$$\alpha_t^{mode} = \begin{Bmatrix} if\ F^{Exploit} > F^{Explore}, \alpha^{Exploit} = 0.99 \\ \alpha^{explore} = \lceil \alpha^{explore} - 0.01, 0.01 \rceil \end{Bmatrix} \quad (10)$$
*where mode =exploit or explore*

$$\alpha_t^{mode} = \begin{Bmatrix} otherwise, \alpha^{Explore} = 0.99 \\ \alpha^{exploit} = \lceil \alpha^{exploit} - 0.01, 0.01 \rceil \end{Bmatrix} \quad (11)$$
*where mode =exploit or explore*

$$\delta_t^{exploit} = 1 - \alpha_t^{exploit} \quad (12)$$

$$\delta_t^{explore} = 1 - \alpha^{explore} \quad (13)$$

方程式(10)和(11)中， *αmode t* 分別代表探索與開發模式的 $\alpha$ 值，而 *Fmode t* 對應於上一次開發與探索模式的分數， PO 會根據探索與開發模式的分數來動態調整式(8)中 *f1* 和 *f2* 的比重，以確保探索與開發的平衡。

當開發模式的分數大於探索模式的分數時，表示開發模式的權重過小，因此

透過 $\alpha$ 來線性降低探索模式的比重，讓演算法更傾向於開發模式，反之亦然 $\delta$ 與 $\alpha$ 呈反比關係，當 $\alpha$ 近 1 時，代表當前迭代與前一次迭代的影響程度較大，這時 $\delta$ 會趨近於 0，使得演算法的多樣性降低，參數 *lc* 則用來計算該次迭代前後，探索與開發模式各自的最佳適應度值差異。透過不斷計算探索與開發模式的分數 PO 能夠靈活切換不同的模式，既能有效防止演算法過早收斂而陷入局部最優解，又能避免過度進行全局搜尋而導致解的不精確，從而提升整體優化效果。

(三) 探索模式(Exploration Phase)

美洲獅在尋找獵物時，會選擇前往新的區域探索，或者隨機接近其他美洲獅，並食用牠們的獵物。在探索模式下，美洲獅可能會隨機跳到搜尋空間中的某個點，或是在其他美洲獅之間尋找獵物，以提高獵食成功率。PO 在執行探索模式時，首先根據適應度值對美洲獅群 *A* 進行排序，將美洲獅按適應度從小到大排列，排序後的群體記為 $A_{sort}$。接著，演算法會根據式(14) 來更新美洲獅的位置，使其能夠更有效地探索解空間，尋找更優的解。

$$Z_{i,G} = R_{Dim} * (UB - LB) + LB \tag{14}$$

$$Z_{i,G} = X_{a,G} + G \cdot (X_{a,G} - X_{b,G}) + G \cdot \begin{pmatrix} ((X_{a,G} - X_{b,G}) - (X_{c,G} - X_{d,G})) \\ + ((X_{c,G} - X_{d,G}) - (X_{e,G} - X_{f,G})) \end{pmatrix} \tag{15}$$

$rand_1$ 如果大於 0.5 執行式(14)，小於則執行式(15)。$R_{Dim}$ 為[0~1]的隨機數，UB 為上邊界，LB 為下邊界，$X_{a,G}$、$X_{b,G}$、$X_{c,G}$、$X_{d,G}$、$X_{e,G}$、$X_{f,G}$ 為在美洲獅群中隨機選擇的 6 隻美洲獅的解。 $G$ 是一個方向因子，用來決定美洲獅的移動方向。

當 $rand_1$ 的數值大於 0.5 時，演算法會在上下界範圍內隨機產生一個新的解，讓美洲獅跳到搜尋空間內的隨機位置，強化全局探索能力。反之，若 $rand_1$ 小於或等於 0.5，則透過隨機選擇的六隻美洲獅的座標來計算新解，使美洲獅能夠根據種群內的資訊調整位置，以提高搜索效率並提升解的品質。

$$X_{new} = \begin{cases} Z_{i,G}, if\ j = j_{rand} \\ rand_3 \le U\ X_{a,G},\ otherwise \end{cases} \tag{16}$$

$$NC = 1 - U \tag{17}$$

$$p = \frac{NC}{Npop} \tag{18}$$

$$if\ CostX_{new} < CostX_i \ ： \quad X_{a,G} = X_{new} \quad Otherwise： \quad U = U + p \tag{19}$$

方程式(16)中，$Z_{i,G}$ 是使用式(14)和(15)生成的解，$j_{rand}$ 為介於 [1,*dim*]之間的整數，$rand_3$ 是介於 [0,1]之間的隨機數，*U* 則是一個初始值為 0.2、範圍介於 [0,1]

之間的遞減數質。根據式(19)，$CostX_{new}$ 代表新生成美洲獅的適應度值，而 $CostX_i$ 為原本美洲獅的適應度值。$U$ 會透過 $p$ 的計算持續遞增，並且 $p$ 的計算方式如(18)所示，其中 $Npop$ 代表美洲獅的總數量。

PO 會根據美洲獅群的適應度值排序，並使用(19)透過替換座標來產生新解 $X_{new}$。排名較前的美洲獅適應度較高，座標更新較高；而排名較後的美洲獅適應度較低，會有較小範圍的座標更新，以降低其適應度。隨著 PO 的執行，$U$ 值越高，解的多樣性會比較高。

最後，PO 根據適應度值的優劣來更新美洲獅群體：如果新生成的美洲獅適應度值比原來的更佳，則用新解替換舊解；否則，保留原本的數值，以確保種群中的優質解不會被劣化，從而提高演算法的穩定性與收斂速度。

(四) 開發模式(Exploitation Phase)

$$
\begin{aligned}
&if\ rand_4 \geq 0.5\ ：\\
&X_{new} = \frac{\left(\frac{mean(Sol_{total})}{Npop}\right)\cdot X_1^r - 1}{1 + (\alpha \cdot rand_5)}\beta \times X_i 1 + (\alpha \cdot rand_5)\\
&\textbf{\textit{otherwise}}：\\
&\textbf{\textit{if}}\ rand_6 \geq L\ ：\\
&X_{new} = Puma_{male} + (2 \cdot rand_7)\cdot exp(randn_1)\cdot X_2^r - X_i\\
&\textbf{\textit{otherwise}}：\\
&X_{new} = \\
&(2 \times rand_8) \times \frac{(F_1 \cdot R \cdot X(i) + F2 \cdot (1-R)\cdot Puma_{male})}{(2 \cdot rand_9 - 1 + randn_2)}\\
&-Puma_{male}
\end{aligned}
\tag{20}
$$

$$X_2^r = round(1 + (Npop - 1)\cdot rand_{10}) \tag{21}$$

$$R = 2 \cdot rand_{11} - 1 \tag{22}$$

$$F_1 = randn_3 \cdot exp\left(2 - Iter \cdot \left(\frac{2}{MaxIter}\right)\right) \tag{23}$$

$$F_2 = w \times (v)^2 \cdot cos\big((2 \times rand_{12}) \cdot w\big) \tag{24}$$

$$w = randn_4 \tag{25}$$

$$v = randn_5 \tag{26}$$

方程式(20)~(26)中，$rand_4$、$rand_5$、$rand_6$、$rand_7$、$rand_8$、$rand_9$ 為介於 [0,1] 之間的隨機數，如果 $rand_4$ 大於等於 0.5 將執行快速奔跑的動作，否則進行伏擊，其中伏擊又分成兩種操作，當 $rand_6$ 大於等於 $L$，則進行短跳，否則進行長跳，$L$ 為一常數，設為 0.67，$mean$ 表示平均，$Sol_{total}$ 表示所有解的總和，$Npop$ 是整個美洲獅群，$Xr\,2$ 是在整個種群中隨機選擇的一個解，$Puma_{male}$ 是全體最優秀的個體，β 為隨機產生的一個整數，不是 0 就是 1；$\alpha$ 也是一個常數，設為 2；$exp$ 表示指

數函數，$rand_1$ 和 $rand_2$ 是符合常態分佈的隨機數，$Xr\ 2$ 是隨機選擇的一個解，由式(21)計算。式(20)中的 $F1$、$F2$ 由式(23)和(24)計算，$R$ 為式(22)計算得出，為介於 [-1,1]之間的方向因子，$exp$ 為指數函數，$Iter$ 為當前迭代次數，$MaxIter$ 為最大迭代次數；方程式(24)中，$cos$ 為 $cosine$ 函數，$randn_4$ 與 $randn_5$ 為符合常態分佈的整數；以上 $randn_1$ 的取值範圍皆介於 [-4,4]之間；在開發模式結束時，會比較新解與舊解的適應度值，只保留較優秀的個體。

## 四、在線型鋰離子電池參數辨識

參數辨識分為兩種在線方法跟離線方法，離線方法是指在測試環境中預先測量與計算所有可能的參數，建立一個完整的電池模型。這種方法需要大量的計算資源，因為它一次性估算所有電量百分比 SOC 下的參數。但離線方法不適用於車載平台，在線方法指的是在車輛運行時即時讀取電池的部分關鍵參數，並透過演算法快速計算當前電池的狀態。辨識鋰離子電池參數的在線方法研究方法包括實驗數據收集、計算模擬電壓、演算法，實驗數據包實驗電壓與電流，模擬電壓會與實驗電壓做比較如圖五，演算法則是計算最佳解，然後修改電池參數回傳算出新的模擬電壓，等到所有實驗數據點比較完之後停止計算，表 1 則是 PO 演算法相關設定參數。

**表 1.** *美洲獅演算法參數設定*

| | |
|---|---|
| Run Time | 2 |
| Agent | 30 |
| Iteration | 5 |

## 五、參數辨識目標函數

在進行鋰離子電池的參數辨識時，選擇合適的目標函數對於提高模型的準確性和穩定性至關重要。目標函數的選擇不僅影響參數辨識結果，還影響整個電池管理系統。透過目標函數，可以更精確地評估模型預測值和實際測量值的差距。這些目標函數能夠讓我們理解模型在不同情境下的表現，並進行改進。本文選用均方根誤差 (Root-Mean-Square Error, RMSE)做為目標函數，如方程式(27)所示，其中 $N$ 代表實驗數據的數量，$V_{calculate}$ 為模擬電壓，$V_{experimental}$ 為實驗電壓。

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{t=1}^{N}\left(V_{calculate} - V_{experimental}\right)^2} \tag{27}$$

## 肆、結果與討論

本研究透過 HPPC 測試獲取鋰離子電池的充放電數據，並利用 PO 進行在線參數辨識。在線參數辨識的基礎是離線參數辨識，透過擷取離線方法的最小與最大的最佳參數，來設置在線方法參數辨識的上下界，在利用 PO 進行在線參數辨識，計算結果如表 2，圖 4 為參數比對和誤差圖，圖 5 是 PO 實時參數辨識結果，依據實驗電壓與計算電壓的計算結果與理論值高度接近，所以該方法能夠有效辨識電池等效電路模型中的關鍵參數，包括 $R_0$、 $R_1$、 $Tau_1$、 $R_2$ 和 $Tau_2$，並提供準確的參數變化趨勢。以下為本文誤差計算方式，分別是平均絕對誤差 (Mean Absolute Error ,MAE) 和平均絕對百分比誤差 (Mean Absolute Percentage Error ,MAPE)，方程式(28)和(29)中 $n$ 是樣本數， $Y_i$ 為實際測量值， $X_i$ 為模型預測值，*MAE* 和 *MAPE* 是兩個常用的指標，可以幫助我們評估模型的性能並進行參數的優化。

MAE

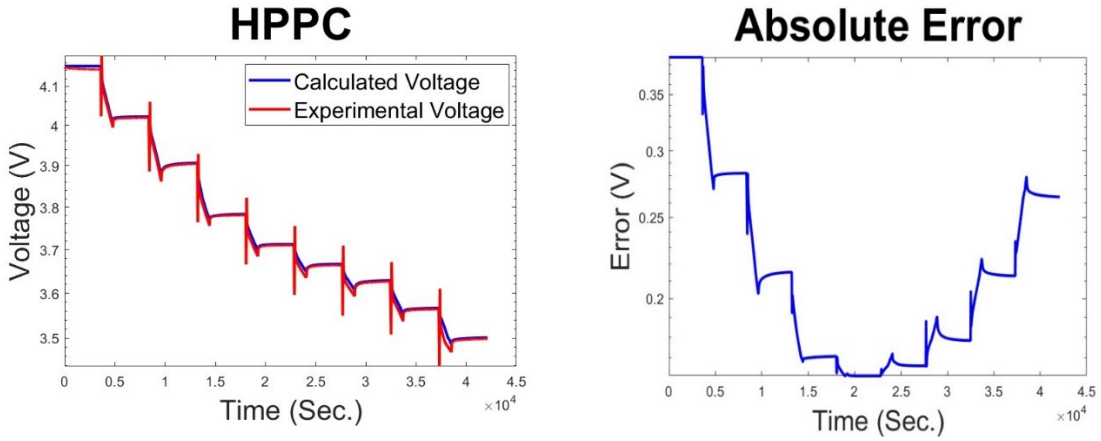
$$MAE = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}|Y_i - X_i| \tag{28}$$

MAPE

$$MAPE = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\frac{|Y_i - X_i|}{|Y_i|} \tag{29}$$

**表 2.** *鋰電池參數辨識結果*

| | |
|---|---|
| Mean Absolute Error (MAE) | 0.22332 V |
| Mean Absolute Percentage Error (MAPE) | 5.9054 % |




(a) (b)

**圖 4** *演算法計算與實驗電壓的(a)比對與(b)誤差圖*

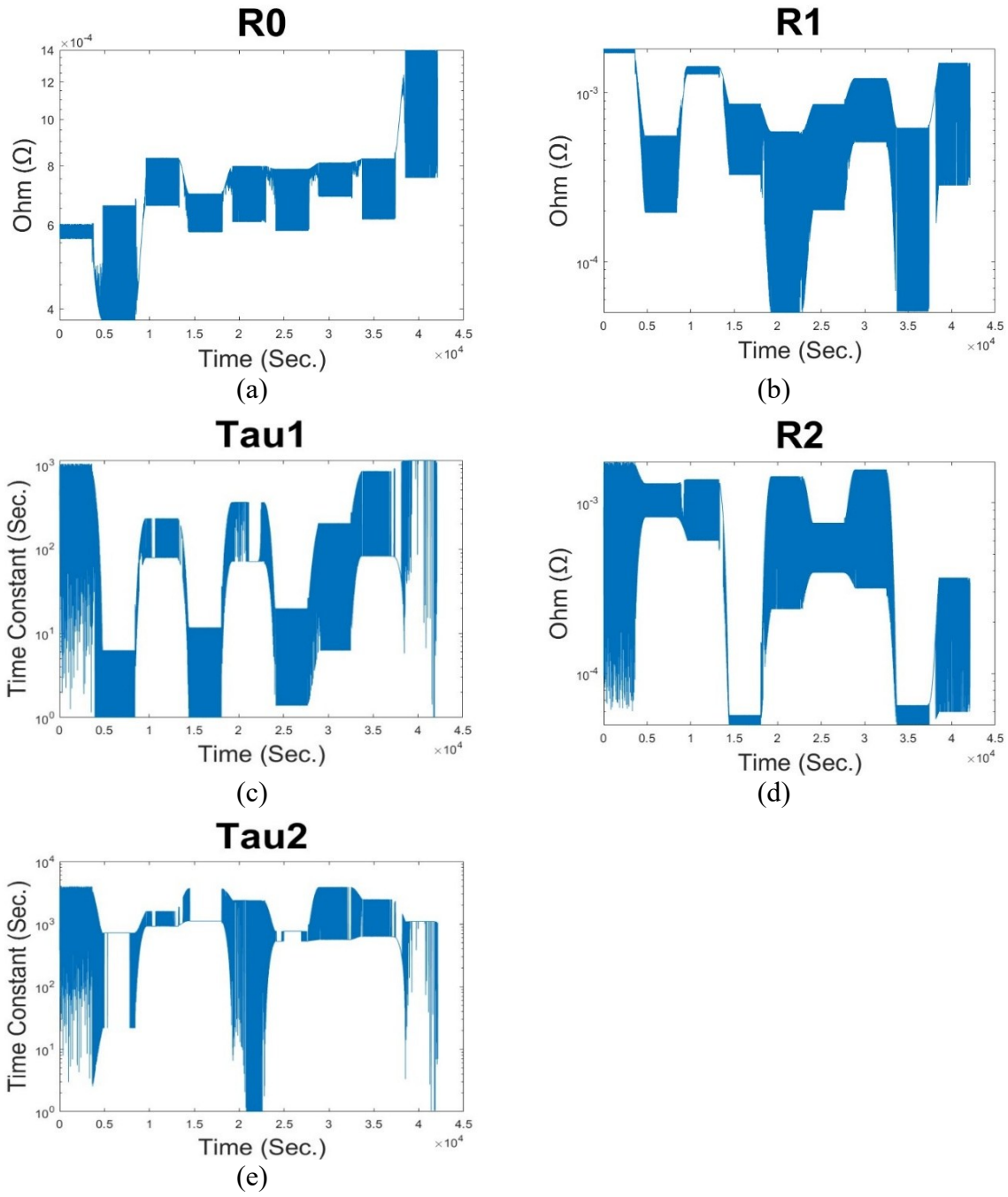



**圖 5.** *動力電池電路參數 (a)$R_0$、(b)R1、(c)$Tau_1$、(d)$R_2$、(e)$Tau_2$之結果圖*

## 伍、結論與未來工作

研究結果顯示該演算法能有效提升參數辨識的精度，並在 $R_0$、$R_1$、$Tau_1$、$R_2$ 及 $Tau_2$ 等關鍵參數的辨識中，達到了良好的收斂與穩定性。此外，參數驗證結果顯示，所建立的模型能夠準確反映鋰離子電池的動態行為，證明了 PO 在鋰電池參數估測領域的可行性與潛力。

未來的研究方向將著重於進一步改良美洲獅演算法，以提升在線參數辨識的計算效率與準確性，並降低運算成本。同時，考量環境因素對電池性能的影響，未來將納入溫度變因，建立更完善的熱耦合模型，以模擬電池在不同溫度條件下的行為，近年 Ding 等人論文回顧，要準確預測鋰離子電池的老化程度，模型參數的精準辨識是關鍵 (Ding et al., 2023)，在此基礎上期望提升電池老化狀態的預測能力。

# 陸、參考文獻

## 一、中文

林佳慧. (2024). 地方政府推動產業淨零轉型之方向初探. **臺灣經濟研究月刊**, 47(3), 49-55.

杨佳兴. (2023). 锂离子动力电池模型理论综述. **Journal of Advances in Physical Chemistry**, 12, 59.

## 二、外文

Anika, O. C., Nnabuife, S. G., Bello, A., Okoroafor, E. R., Kuang, B., & Villa, R. (2022). Prospects of low and zero-carbon renewable fuels in 1.5-degree net zero emission actualisation by 2050: A critical review. *Carbon Capture Science & Technology*, *5*, 100072.

Abdollahzadeh, B., Khodadadi, N., Barshandeh, S., Trojovský, P., Gharehchopogh, F. S., El-kenawy, E. S. M., ... & Mirjalili, S. (2024). Puma optimizer (PO): a novel metaheuristic optimization algorithm and its application in machine learning. *Cluster Computing*, 27(4), 5235-5283.

Cheng, K. W. E., Divakar, B. P., Wu, H., Ding, K., & Ho, H. F. (2010). Battery-management system (BMS) and SOC development for electrical vehicles. *IEEE transactions on vehicular technology*, *60*(1), 76-88.

Doughty, D. H., & Crafts, C. C. (2006). FreedomCAR： electrical energy storage system abuse test manual for electric and hybrid electric vehicle applications (No. SAND2005-3123). Sandia National Laboratories (SNL), Albuquerque, NM, and Livermore, CA (United States).

Ding, S., Li, Y., Dai, H., Wang, L., & He, X. (2023). Accurate Model Parameter Identification to Boost Precise Aging Prediction of Lithium-Ion Batteries: A Review. Advanced Energy Materials, 13(39), 2301452.

Gabbar, H. A., Othman, A. M., & Abdussami, M. R. (2021). Review of battery management systems (BMS) development and industrial standards. *Technologies*, *9*(2), 28.

Geng, Y., Pang, H., & Liu, X. (2022). State-of-charge estimation for lithium-ion battery based on PNGV model and particle filter algorithm. *Journal of Power Electronics*, *22*(7), 1154-1164.

Johnson, V. H. (2002). Battery performance models in ADVISOR. *Journal of power sources*, *110*(2), 321-329.

Jiao, L., Zhao, J., Wang, C., Liu, X., Liu, F., Li, L., ... & Yang, S. (2024). Nature-Inspired Intelligent Computing: A Comprehensive Survey. *Research*, *7*, 0442.

Liu, W., Teh, J., & Shi, J. (2024). A review of lithium-ion battery models. *Battery-Integrated Residential Energy Systems*, 33-59.

Li, H., Jia, H., Xiao, P., Jiang, H., & Chen, Y. (2025). Research Progress on State of Charge Estimation Methods for Power Batteries in New Energy Intelligent Connected Vehicles. Energies, 18(9), 2144.

Lai, X., Zheng, Y., & Sun, T. (2018). A comparative study of different equivalent circuit models for estimating state-of-charge of lithium-ion batteries. *Electrochimica Acta*, *259*, 566-577.

Mohamed, M. A., Yu, T. F., Ramsden, G., Marco, J., & Grandjean, T. (2025). Advancements in parameter estimation techniques for 1RC and 2RC equivalent circuit models of lithium-ion batteries： A comprehensive review. *Journal of Energy Storage*, 113, 115581.

Newman, J., Doyle, M., & Fuller, T. F. (1993). Modeling of galvanostatic charge and discharge of the lithium/polymer/insertion cell. *Journal of the Electrochemical society*, *140*(6), 1526-1533.

Nejad, S., Gladwin, D. T., & Stone, D. A. (2016). A systematic review of lumped-parameter equivalent circuit models for real-time estimation of lithium-ion battery states. *Journal of Power Sources*, *316*, 183-196.

Rani, R., Jain, S., & Garg, H. (2024). A review of nature-inspired algorithms on single-objective optimization problems from 2019 to 2023. *Artificial Intelligence Review*, *57*(5), 126.

Santhanagopalan, S., Guo, Q., Ramadass, P., & White, R. E. (2006). Review of models for predicting the cycling performance of lithium ion batteries. *Journal of power sources*, *156*(2), 620-628.

Yang, S., Liu, X., Shen, L., & Zhang, C. (2023). *Advanced Battery Management System for Electric Vehicles* (Vol. 1). Springer.