

## 設計與探索深度學習技術於科技輔助教學運用 – 以電子實驗課程為例

陳世曄<sup>1</sup>、賴槿峰<sup>2</sup>、陳鎮宇<sup>2</sup>、賴盈勳<sup>1\*</sup>

1.國立臺東大學資訊工程學系 2.國立成功大學工程科學所

### 摘要

在科技及網路技術發展下，科技輔助教學發展出一種不同的教育學習模式，學生可透過科技的運用建立自主學習樣態。老師亦可以搭配科技輔助教學來檢視學生學習情況並給予適當教學指引來改善整體學生學習情況。本研究以大學電子實驗課程為例，嘗試結合深度學習運算技術建立一機器視覺輔助教學工具，用來幫助同學對於基礎電子電路實驗建立教學指引。透過技術輔導教學工具設計導入用來快速檢核同學在電子電路實驗中常犯的錯誤進行檢核並給予輔助，縮短傳統電子課程實驗中需要依賴老師或助教介入檢核時間，讓同學可快速根據輔助系統自我檢核學習並獲得學習成效改善。

**關鍵字：**深度學習運算、科技輔助教學、自主調節學習

## Design and exploring deep learning to technology-assisted instruction: Case study of electronic experiment course

Shih-Yeh Chen<sup>1</sup>, Zhen-Yu Chen<sup>2</sup>, Chin-Feng Lai<sup>2</sup>, Ying-Hsun Lai<sup>1\*</sup>

1. Department of Computer Science and Information Engineering, National Taitung University. 2. Department of Engineering Science, National Cheng Kung University.

### Abstract

With the development of deep learn technology and Internet technology, a different educational learning model has been developed called technology-assisted instruction (TAI). Students can establish self-regulated learning style through TAI technology. Teachers can also review student learning and give appropriate teaching guidelines to improve overall student learning with TAI technology. This research tries to combine deep learning computing technology to establish a machine vision-assisted teaching tool at electronic experiment courses. This tool is used to help students establish teaching guidelines for basic electronic circuit experiments. It is used to quickly check the mistakes that students often make in the electronic circuit experiment and provide assistance, shortening the time required to rely on the teacher or assistant to intervene in the inspection. Through the research results, students can quickly self-regulated learning according to the auxiliary system and obtain improvement in learning effectiveness.

**Keywords:** Deep learning, Technology-assisted instruction, Self-regulated learning

---

陳世曄，國立臺東大學資訊工程學系副教授。E-mail: sychen@nttu.edu.tw

賴槿峰，國立成功大學工程科學所教授。E-mail: cinfon@ieec.org

陳鎮宇，國立成功大學工程科學所碩士。E-mail: zhenyuc19@gmail.com

賴盈勳 (通訊作者)，國立臺東大學資訊工程學系副教授。E-mail: yhlai@nttu.edu.tw

## 壹、前言

藉由科技輔助教育達成自我學習的目的在國內始於「教育 4.0」的政策，隨著工業及科技技術的發展，在教育過程中向學生灌輸知識的手段也漸漸獲得了科技的輔助，從資訊科學的角度來看，教育的本質即為老師對學生在知識訊息上的傳播，然而資訊科學本身的研究項目中包括了資訊的接收、分析、處理、分類、存取、檢視以及維護，多是教育者本身在教學時需要花心力從事的工作。因此，將教育利用資訊科學橫跨的計算機科學、心理學等等的理論與技術實施於教育上，再提供教育者輔助的同時，也能替代教育者的部分工作，在此應用領域達到質與量的提升。

在電機資訊領域中，電子與電路學的實驗中，實驗運作的成功需要滿足所有正確的條件，然而無法運作只需要其中的一個步驟出錯便無法運作。這對於同樣付出努力但卻因為某些不確定因素而導致實驗無法運作的同儕是不進公平的評分方式，因為硬體故障導致實驗無法運作等因素。如此狀況將導致評分方法偶有不公，但若是要求教學者在該階段多下工夫卻又會導致人工檢查過於耗費時間及人力成本，同時陷入了左右為難的處境。而站在教育者的角度，無非是要降低電路板評分及除錯工作的負擔，況且每個人的學習能力及進度不一致的情況下，面對不同的實驗時，系統的泛用性也非常重要，若是能夠自動分辨多種不同實驗種類並給予評分及操作建議，於教育者而言便能更加方便的使用。在該領域的實驗課程普遍而言於評分階段對於實驗的分數都是成功運作與否，評分並無彈性的區間，但是對於學生來說，做實驗是花更多的時間來修正錯誤，往往實驗無法運作的學生付出的努力也許不比其他實驗成功的同學少。因此，如何建立一可輔助同學在課程中找出錯誤並建立自我調節學習成為一關鍵研究目標。

以這樣子的出發點為考量，本論文開發了一套基於電腦視覺的電路實驗評分系統，透過機器學習的模型對於電路板的實驗依據元件的位置、數量等資訊給於相對應的評分以及操作上的建議。在電路實驗中每一項電路實驗對於電腦視覺系統的成像而言，就算是同樣的元件安插方式，負責成像捕捉的系統鏡頭捕捉成像時的光線、電路板位置、元件安插角度、電線顏色等等的提取到的資訊都是截然不同的資訊，因此需要許多處理程序使系統足以忽略外在環境等因素所造成的雜訊並成功進行辨識。辨識完成後，需要有合適的演算法用以對辨識結果進行不同實驗的分數。該環境中需要一套智慧系統可以依據學生不同的狀況來進行評分，來解決在一樣的實驗中，不同學生所製作的不同成果所得到的不同分數，落實科技輔助教育於電子電路實驗領域。然而若僅僅是給予分數，對於一個初踏入此領域的新手而言，難免對於如何修正感到困惑，而這樣實驗類型的錯誤更是會因為每個操作者不一樣的操作方式而有所不同，因此再給予分數之餘若能更進一步提供協助，才能達到真正輔助學習的目的。

## 貳、文獻探討

### 一、電腦視覺與深度學習

自光學成像鏡頭硬體設備的日益精進，對比人力而言，機器擁有長期而言相對低廉的成本且排除過熱、故障等因素，機器不需要休息時間，加上在特定領域，機器可以擁有比人類更有效率且精準的作業成果。因此人類便試圖利用光學鏡頭來使電腦進行以往只有人工能夠作業的一切視覺相關的作業以達到降低人力成本以及提高穩定性的目的。隨著近幾年機器學習與深度學習的研究無論是質或是量都正以爆炸性的成長直線上升，應用

的領域也漸漸與生活密不可分(LeCun et al., 2010; LeCun et al., 2012)。然而談到深度學習技術應用於電腦視覺領域的研究更是繁不勝數，其中又以著名的卷積神經網路(Convolution Neural Network, CNN)最為適用於影像的處理(Eigen et al., 2014; Torras, 2012)。開發者們利用這複雜的技術為電腦視覺提高了利用率，從先前單純處理像素、顏色、紋理等等訊號處理，演變成擁有經驗法則經過學習的智慧辨識。然而其被應用在各種領域，舉凡生活中與人體相關的視覺辨識應用、用於道路交通的自駕車、娛樂的相關各種視覺特效濾鏡、工業發展相關的精準自動化辨識，到醫學領域的各種電腦視覺輔助系統，可見電腦視覺大大的影響著現今社會的人們(Aldalil, 2021; Lai et al. 2020; Ma et al. 2021)。

在電腦視覺系統中，不管是熱成像、光學成像、距離感測器等等，若要應用於特定目標的檢測，都需要經過一連串的处理步驟方能挑出特定的檢測區域，在影像的處理上，而將這些無用的影像資訊去除的技術則為「去雜訊」。在許多影像處理的起始階段會先使用灰階畫將圖片進行轉換，再接著進行後續的各種處理，目的在於將 RGB 三通道的影像資訊轉為灰階的單通道，灰階化的影像在處理上能夠使用的手法也更加的多元，在去雜訊的處理方法中，常見的雜訊為不規則分佈於影像中的細微雜訊點。Wang (2006) 提出了一類多通道濾波器，其基於小波轉換(Wavelet Transform)，提出了雙哈爾小波(Haar wavelet)轉換，進一步應用於影像的濾波器中，從而達到去雜訊、邊緣增強等效果。此外，用於去除雜訊主流的非線性濾波器除了以上方法，還有許多運作原理大不相同的濾波器，像是中值濾波器、卡爾曼濾波器等等。

在電腦視覺領域當中也可以依照物件特徵的精細程度來劃分為粗、細粒度。大部分電腦視覺的物件辨識屬於細粒度的分析，基於科技對人類的貢獻度，細粒度的分析更能夠做到一些人類肉眼所無法做到的任務。而這樣子的細粒度辨識所面臨的挑戰主要有兩個層面，分別是判定區域的定位以及從這些區域中學習細粒度特徵，而一般的細粒度物件特徵學習均是依賴卷積特徵，像是 Fu et al. (2014)提出的圖片標記細分化方法，其根據視覺的圖像相關概念，將原本的分類物，進行更進一步的標籤細分，例如，將建築物進一步分類為百貨大廈、學校、或是公寓大樓。而為了能夠有更強的特徵學習，He et al. (2016) 提出的深度殘差網路問世，透過如下圖的優化殘差函數將 CNN 擴充至 152 層。在速度及辨識率上均有提升。在預測部分 YOLO v3 採用的方法為將每個辨識框都使用對數機率迴歸(Logistic Regression)預測出分數，再將擁有多個高分數重疊的框設置為最後的預測框，這樣的方法使得準確率部分又更往上一層樓(Redmon & Farhadi, 2018)。而在 2020 年，第四版本的 YOLO v4 問世，雖不是與前三版本同一作者，但第四版基於第三版的架構，加上了跨階段局部網路(Cross Stage Partial Network 53, CSPNet53)、金字塔場景解析網路(Pyramid Scene Parsing Network, PSPNet)以及金字塔注意力網路(Pyramid Attention Network, PAN)的架構，使得訓練的數據特徵得到更多的強化，運用到的技術以及準確度更不是前幾個版本能夠同日而語的。而本研究中須被辨識之物件為電子元件，其體積小，但外觀差異甚大，因此在辨識上於攝影機正常對焦的情況下使用 Yolo 辨識系統都能夠有不錯的辨識結果。

## 二、科技輔助教育

科技輔助教育最早可以追溯到 Liu (1960)的實驗，基於電腦的教學方法將線性代數教學實施了自動化策略，利用電腦實施的教學可以依照不同學生的程度將不同學生分配到不同的組別，讓學生可以依照自己的學習速度進行最有效率的學習。而後來 Pepert (1973) 在電腦教學中加入了依照不同學生而定的不同學習內容以及即時的反饋兩個功能，用以改進數學領域的教育方式。然而，於 1970 年的圖靈講座上，人工智慧先驅的 Minsky 也在

講座中提到了使用電腦輔助教學的主要目的是幫助學生調整他們的思維過程，讓學生能夠在遇到困難時能夠思考該如何利用這些科技設備的幫助來突破難關(Minsky, 1970)。Qinfei (2010) 提出了以 IT(Information Technology) 技術輔助高等教育中電子領域的學習與知識管理的有效結合。其中高等教育指的是大學階段，其研究中分析指出，在這資訊科技的時代，學校將不再是學生學習的唯一場所，在人們使用不斷進步的通訊技術實施遠端學習的同時，在這樣的教學環境中的教師、學生、教學內容三者之間的關係已經發生了本質上的改變，學生在其中成為了教學的主動方，這讓學生可以利用科技的方便性在解決問題的過程能夠實現更多的創新及實踐性。

在以往的觀念中，人類對於機器所能執行的任務領域的認知不外乎重複性高且需要大量時間的任務，但自人工智慧的高速發展至今的過程，人們不斷地試圖讓機器能夠瞭解人類的情感，試著透過文字、影像等等的特徵，讓機器能夠辨識出帶有情感的任務，像是利用機器分析人類撰寫的文章等等，又或者是讓機器透過文字文件的形式對於不同文本的內容給於反饋，因此近幾年在許多領域的自動評分系統正如雨後春筍般出現。然而評分系統多半會出現在教育界，而教育界中的教與學在比例的落差上非常巨大，因此常常造成一位教師需要審閱非常大量的資訊後給出評價，此時在一些開放性的問題上常常會面臨每個人對於事物認知上的誤差導致的評分標準不一的問題，因此在這樣的情況下基於文字的智慧評分系統將可以派上用場。

Wang(2018)年就提出了基於自深度學習與自然語言處理的自動論文評分系統，其利用雙向長短期記憶模型(Long Short-Term Memory, LSTM)來獲取語意訊息，利用 Kaggle 平台上提共的公開論文集來訓練出可以自動提取文章重點內容的模型。Li 等人(2019) 提出了一套基於手機照相功能的自動作業評分系統，相對於需要特定儀器設備的系統，能夠用更加方便的方法來達到作業批改的目的。透過 Chen(2018)等人團隊提出的 DeepLabv3+ 架構來進行答案區的辨識，並利用文字辨識來辨別學生的答案。除了基於文字文件的評分，也有許多用於科技方面的自動評分系統，Demir (2010)提出了 C++ 程式設計的自動評分系統，其系統根據教師派發的作業，對於學生的作答進行程式碼的重構，並給予分數。在類似領域中，Rao 等人(2020)開發出一套用於 C++作業系統底層程式的自動評分系統，其旨在這個科技進步快速的年代，電資領域的學習者數量是以往的好幾倍，因此為了能夠使教與學都能顧及到以往的教学品質，並且將自動評分系統逐漸的於教學領域中漸漸普及，開發了搭配完整課程使用的自動評分系統，並稱之為 Code Assessment Extension 又簡稱為 CODE 系統。課程者要為 Linux 作業系統底層的程式碼教學，其根據不同的課程檢測學生的城市是否符合作業系統底層之運作理念，並予以給分，並且表明了隨著時間的推移，學生對於自動評分系統之使用也漸漸習慣，繳交作業的數量以及作業分數也隨著一次一次的歷程而慢慢提高，且對於學生的程式撰寫能力有著正向的影響。而目前較多的自動評分系統被應用於工業的產品分級上，透過機器視覺對於產品或是特定物品外觀的識別，分別給予不同的級別。

而利用科技輔助教育於電子電路實驗中，Li 等人 (2019) 提出了一套方法利用 Yolo v3 來檢驗印刷電路板上的原件是否有安裝正確，而其應用算是用於工業領域，因此在教育領域中，本研究所提出之方法可謂對此領域之科技教育踏出了第一步，待將來硬體設備發展更加成熟之時便可擁有更好的流程方法以及辨識結果，屆時在此領域之科技輔助將更加全面。因此，本研究令學習者透過單一的電子元件排列之圖像進行電子電路實驗之元件安插，在這領域的學習上也使學習者更能夠輕鬆上手並有更好的學習成效。

## 參、研究方法

### 一、研究項目及條件假設

在初階的電子電路基礎教育當中，若是要求學習者看著複雜的電路示意圖 (Circuit Diagram, 又稱 Schematic) 來完成電路實驗，著實是不切實際的，因此目前許多電子電路教材針對基礎的電子電路實驗，都會附上方便基礎能力者學習的麵包板電路圖 (Breadboard Circuit Diagram)，如 ELECTROTHOUGHTS、Makezine 及國內的物聯網教育平台 CAVEDU 等物聯網學習平台。就像程式設計的初學者需要養成編寫程式碼保有易讀性的道理一樣，這樣的麵包版電路圖不僅讓學習者有明確的參考及理解依據，也在電子電路的基礎學習階段能夠養成保持電路板整齊易懂的特性，對於學習者也是有益而無害的。

本研究的目標物件為電路板上的各種資訊，因此需使用電子電路實驗中所使用的「無焊麵包板」作為系統辨識的目標來進行電路實驗的評測對象。在電腦視覺辨識的角度，通常在電子電路的實驗當中，一種電路實驗於電路板上可以有數以百計的安插方法，像是具有積體電路 (Integrated Circuit, IC) 的實驗中，常常會遇到同一個 IC 的某兩個角為需要短路連接，再往外連接某個元件，其每一種方法對於系統成像鏡頭而言皆為不同的狀況，此時若是沒有限制，各種跨腳位、跨線路的方式再加上 IC 放置的方向等因素，會使實驗無法辨識，因此希望於理想評分結果的前提之下，需要限制電路板安插的規則，以防止辨識結果進入系統後呈現 False Negative 的情形或是實驗正確但檢測結果為錯誤的情況發生。除了元件與腳位的問題，電路板上的電線過多導致辨識不易更是導致電腦視覺系統辨識不易的一大原因。這樣的情況下，本研究需要假設在使用者遵照提供答案的元件分布進行安插，以避免複雜的線路以及確保電子元件的順序為一致，使系統能夠依照答案提供的元件分布對於使用者進行評分，而除了線路問題，依然有其他幾項例如元件是否存在故障等等基本假設，詳細假設條件如下：

1. 本研究排除跨線路問題，因為本研究採用單一鏡頭進行分析判斷，跨線路問題須透過多鏡頭方式進行階層分析。
2. 本研究假設電路板上之元件皆無故障，且安插時需準確確實將針腳插入電路板孔洞中。
3. 使用者須依照教學方的元件安插順序進行電子元件位置的擺設。
4. 假設電路板上之元件皆採用雙列直插封裝 (dual in-line package, DIP) 針腳封裝技術。
5. 不考慮實驗電路之電源供應問題。

### 二、電路圖像資料前處理

由於電腦上的網路攝影機所拍攝到的影像有極大機率出現雜訊，例如在電路板外出現電子元件導致辨識的錯誤，或是其他可能會導致系統出現錯誤的雜訊，因此在資料預處理的過程中需要將這些可能的雜訊排除，所以本研究在辨識之前做了多個預處理步驟讓原始資料進入系統開始辨識等程序之前得到乾淨且利於辨識的資料。以下會詳細介紹各個步驟所使用的函式及其運作的演算法。

- 灰階處理：須將電腦網路攝影機所取得的照片經過灰階處理，將 RGB 三維圖轉為一維的灰階圖檔，才能夠進一步進行後續的步驟。
- 二值化處理：此處的二值化處理先是使用高斯模糊將圖片上一些較為銳利的邊角模糊化，後再使用大津二值化演算法，找到最適當閾值能使二值化後的結果為黑白分布的共變異數最為接近。

- **形態學圖像處理**：形態學又稱數學形態學(Mathematic Morphology)，其主要從影像中去分析其中用於表達及描述影像形狀等重要資訊的分量，這些分量通常是影像中本質的形狀與特徵，操作這樣的參數來對影像進行處理。本論文利用這樣的方法來消除電路板影像上經過二值化處理過後所留下的大量小點，利用先侵蝕後膨脹的特性，電路板上的微小雜訊將會因侵蝕運算的運作而消失，將小點消除完畢後再膨脹回原來的邊界大小，使電路板的大小不受改變的同時去除電路板上的雜訊。
- **找出圖像中的所有邊界**：找出圖像中所有邊界的方法本研究使用 OPENCV 中的 Canny 邊緣檢測函式，利用 Canny 邊緣檢測找出實驗電路板上局部梯度最為巨大的幾條直線之特性，經過前面的幾個步驟所檢測出來的必定可以找到一條電路版四個邊的邊線，以利後續步驟的進行。
- **透過邊界找出封閉輪廓**：欲透過許多邊界找到封閉的輪廓，在此步驟使用 OPENCV 中的 findContours 函式，前面的步驟若是處理得當，在此步驟所找到的輪廓便會較少，此函式的運作原理相當簡單，就是將所有具有相同顏色的連續點互相連接，因此需要先透過二質化的影像找到邊界後再利用此函式將輪廓找出，然而函式回傳的值包含了輪廓資訊及其影像的拓撲資訊，意即輪廓的層次結構，利於後續找完輪廓之後的利用。透過上述資料前處理後可得到下面影像資料結果，如 Figure 1 所示。



Figure 1、影像資料前處理結果

### 三、電子元件定位

本研究於電子元件定位的部分採用 Yolo V4 即時辨識系統，因其快速且精準的特性，這套系統廣受各方開發者的青睞，但同時，其跨系統開發的特性，也讓不熟悉 C++底能的開發者無從摸索，同樣的，因為其 C++底層的原因使其運作速度可以更加即時。本嚴究於該系統中添加了兩項方便觀察電子元件分布特性之功能，包括元件數量的統計及元件座標的回傳。

取得這些值之後方可透過後續的系統整合以及評分規則演算法進行評分系統的運作。資料集的部分採用自行蒐集並標註的光學影像共 1050 張如 Figure 2 所示，其中又以電阻的標註資料最為大量，因為當電阻微精密電阻時在電路板上的辨識結果常會與較短的電線造成辨識率低落的問題，因此為解決此影響，將許多的影像資料中放入數量較多的電阻進行標註用於訓練。



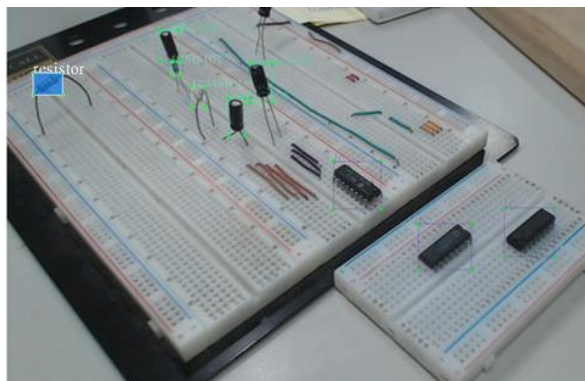


Figure 2、資料標註

對電子元件種類進行排列組合，並將每種可能匯出。在這個步驟會產生出元件組合的所有可能性，目的是將所有可能都賦予一個值，並且藉由這個值進行資料的過濾。而列入排列組合的元件種類包含以下幾種，其整體資料集資料如下表一所示。

Table 1. 元件資料集

	Component	Number Of data
◊ 電阻 (resistor)	resistor	3419
◊ 電容 (capacitor)	capacitor	2718
◊ 積體電路 (integrated circuit, ic)	ic	1912
◊ LED燈 (LED lamp)	led	300
◊ 電晶體 (transistor)	transistor	303
◊ 可變電阻 (variable resistance, vr)	variable resistance	95

#### 四、深度神經網路訓練

在電子元件實驗中，若是觀察元件的使用，會發現一些隱含的特徵存在其中，像是「LED 通常伴隨電阻一同出現」這樣子的特徵，因為訓練的資料集為電子元件的序列，因此對於機器而言這樣的特徵與文章中的上下文詞彙等語意特徵相似，因此使用目前用於語義特徵訓練最常使用的循環神經網路(Recurrent Neural Network, RNN)，而循環神經網路中最廣為人使用的是帶有長短期記憶功能的 LSTM(Long Short-Term Memory)，本研究利用一深度神經網路進行不同實驗的分類，網路的輸入層利用 Word Embedding 方法對每個資料集中的陣列進行嵌入，後續透過一個 RNN 中最廣為人使用的 LSTM 以及一個全連階層進行此模型的建構，因為訓練資料及採用的皆為分數較高的元素排列，因此可能存在像是”LED 需要與電阻一同出現”的類似語意的特徵，故利用 LSTM 的特性進行模型的建構，而因為分類的類型並非太過於複雜，因此使用簡單的一層 LSTM 以及一個全連接輸出層即可進行完美的分類，故在此不添加其他多餘的深度網路層。此其結構如下 Figure 3 所示。

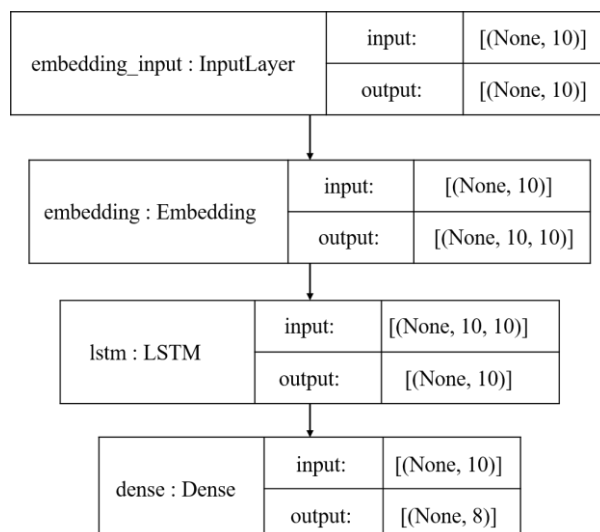


Figure 3. 深度學習模型結構

### 五、教學輔助評分檢測

在電子電路實驗中的電子元件，可將每種元件依照是否會被電流方向影響以及會不會產生電流訊號等條件分為主動與被動元件，一般被動元件專指消耗卻不產生新的電子訊號的元件，或是該元件只單純的讓通過的電流改變流量，例如：電容、電阻。反之，對於電流有增益效能、改變電流特性等特徵的元件則稱為主動元件。一般的電路板元件安插通常是以主動式元件為基礎，其他被動元件依照功能及主動元件的需求進行電路的配置，在簡單的電路實驗中常見的主動元件有「LED 燈 (LED lamp)」、「積體電路 (Integrated Circuit, IC)」，若是一項實驗當中缺少主動元件，對整體的影響比起被動元件的影響要大得多，因此會將主動元件與被動元件分開討論，依照電子元件安插之後的結果可以分為以下八種如 Table 2。

當元件個數多於正確答案時，實驗有機會可以運作，而當被動式元件數量錯誤時，是有機會讓實驗運作的，但實驗無法完全按照課程中的目標進行運作，例如 LED 閃爍實驗，當中若是少一顆電容，會影響 LED 的閃爍，但 LED 燈依然會亮，同理若是少了一顆電阻，可能造成 LED 硬體設備的損毀等等。當主動式元件數量錯誤時，不管其他元件以及排列正不正確，實驗都是無法運作的與無多出元件的實驗結果做出區分。因應用於初階電子電路實驗領域，因此給出分數後，更需要給出相對應的操作建議，讓教學更為完整，而本研究中所給予的協助為使用者於電路板中的每種元件是否有多餘或是缺少的提示，會經由比對元件數量得出結果，將多餘以及缺少的零件個數及種類告知使用者。

Table 2. 元件狀態列表

State	Number Of All Components	Number of Active Components	Sorting	Result
1.	Correct	Correct	Correct	Work
2.	More Than Correct Number	Correct	Correct	May Work
3.	Correct	Correct	Incorrect	Not Work
4.	Incorrect	Correct	Correct	May Work But Partly
5.	Incorrect	Correct	Incorrect	Not Work
6.	Incorrect	Incorrect	Correct	Not Work
7.	Incorrect	Incorrect	Incorrect	Not Work
8.	More Than Correct Number	Incorrect	Incorrect	Not Work



## 肆、結果與討論

### 一、深度學習元件識別

YOLO 辨識的訓練結果的 loss 以及本系統於影像辨識部分的成果，包括多種元件、影像處理前後、在充滿雜訊時的辨識成果以及元件辨識後依照座標順序將結果回傳，Figure 4 為深度學習模型結構為 YOLO 系統辨識元件之訓練成果，其訓練週期為 12,000 個多資料段(epoch)，並且實驗的資料在進入訓練前就將解析度降低，以免訓練時間過長。可以清楚看到自 1,200 個 epoch 開始即開始擁有不錯的收斂結果，且 loss 值也是持續下降至最後，達到高分辨率的整體訓練成果。

每張輸入的影像，經過 Yolo 的辨識加上座標定位的排序輸出本實驗進行了 約翰遜計數器(Johnson Counter)以及 555 定時器(555 Led Flashing)實驗的元件定位分析各 20 次，而其對每張照片的辨識、定位到後來按照順序打印出結果平均花費的時間為 22.03 秒，其中 Yolo 及時辨識系統平均花了 0.04 秒，其餘時間為其使用 OPENCV 等套件將圖片進行處理的時間，而其辨識定位及打印排序之演示如 Figure 5。圖中可以看出，兩個 LED 元件中，左邊的 LED 是略高於左邊的 IC 元件，為了辨識的正確性，在元件定位的打印順序上特別設定了一閾值，令其順序不會因為過於微小的偏差導致錯誤。

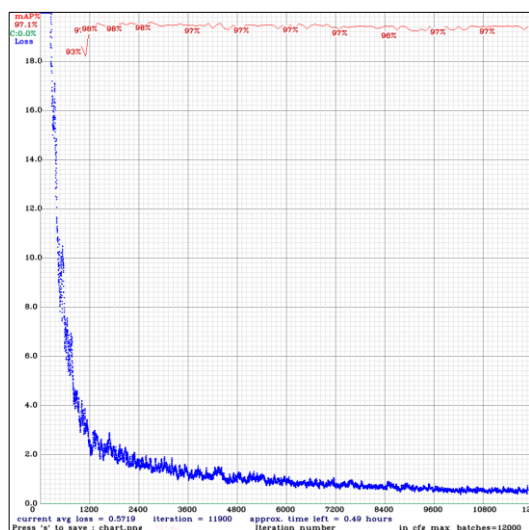


Figure 4. 深度學習訓練結果

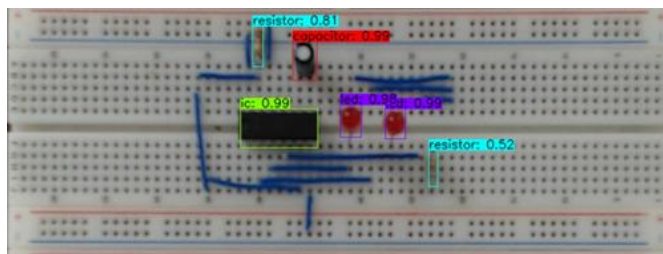


Figure 5. 元件識別標註

### 二、電子電路輔助教學檢測實驗

在輔助教學檢測階段，以 3 LED 閃爍的實驗為範例，其正確答案如 Figure 6 所示。分別以下列不同情況的 Input Data 作為評分依據，如 Table 3 所示。

實驗結果如預期中的依照使用者輸入的圖片進行計分以及操作的建議，對於各種情況，如主動式元件、被動式元件的缺少以及安插了多餘的元件的情況之下都能給出相對應的分數，在初學階段能夠給予學習者更多的幫助。然而系統非常依賴原建於電路板上的座標位置，因此像是電阻、電容、LED 等這類具有較長針腳的原件，需要注意角度導致辨識錯誤的問題，利用此特性，能養成電子電路實驗的原件安插整齊的好習慣，藉由這樣的便利性，進一步達到科技輔助教育與學習之目標。

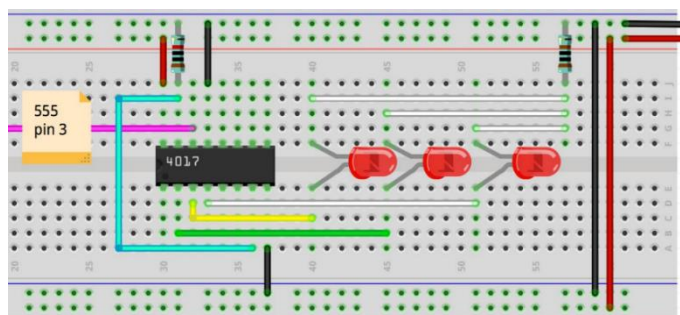


Figure 6. LED 閃爍正確電路

Table 3. 電子電路輔助教學檢測列表

狀況	電路佈線檢測畫面	系統評分結果
正確電路		<p>電子電路輔助教學檢測</p> <p>Score : 100 Conguatiuns! You have great answer!</p> <p>確定</p>
少一個主動式元件 - LED		<p>電子電路輔助教學檢測</p> <p>Score : 65 Please fill out 1 LED!</p> <p>確定</p>
少一個被動式元件 - 電阻		<p>電子電路輔助教學檢測</p> <p>Score : 85 Please fill out 1 Resistor!</p> <p>確定</p>
安插多餘元件		<p>電子電路輔助教學檢測</p> <p>Score : 90 Please remove 1 Resistor! Please remove 1 Capacitor!</p> <p>確定</p>

## 伍、結論

在科技自動化的時代，藉由科技輔助技術建立自我學習方式，往往可以提高學習效率。本研究提出一種運用深度學習技術用於基礎電子電路實驗的輔助檢測系統，對於電子自學者可以自動給予相對應的分數並根據實現方式給予建議動作，幫助學習者可運用科技輔助建立自主學習習慣，整體歸納以下本研究之系統總結出以下幾點結論。

- 運用深度學習技術建立元件辨識：面對元件繁多的電子電路實驗，往往充滿著各種可用與不可用的電子元件，本研究導入深度學習技術搭配影像處理手法使這些類似雜訊的存在不足以影響系統辨識的進行，辨識系統需要找出方法避開這些不存在電路板上但卻會被系統成功辨識出來的元件。
- 教學輔助評分：本實驗提出了一套語意連結網路來進行實驗元件狀態的表示以及依評分演算法來給予相對應分數，然而這樣一步步引導以及參照其實驗結果給予分數的理念都是對於該領域的初學者友善的表達，以及對於教育 4.0 的精神之實踐。
- 科技輔助學習實踐：透過以上這一系列的方法可以讓電子電路實驗的學習者能夠有更好的學習體驗，並且對於電子電路實驗所評估出來的結果也可讓評分教師作為參考，實際的去避免電子電路的非 0 即 1 的評分問題，不論教與學兩方都能得到科技輔助教育的實際幫助。

而在本研究中主要針對允許一種電路安插方式的規則假設下進行實踐，但真實電路可能包含多樣走線方式及電路接法，在未來也將透過多鏡頭視角並搭配樣本資料收集進而改善教學輔助檢測情況，並強化自主學習反饋所影響學習者學習成效與路徑方向進行研究探討。

## 陸、參考文獻

- Aldalil, M. (2020). A New Method for Measuring Leveling Heights Using Computer Vision Techniques. In 2020 International Conference on Computer, Control, Electrical, and Electronics Engineering (ICCCEEE) (pp. 1-6). IEEE.
- Chen, L. C., Zhu, Y., Papandreou, G., Schroff, F., & Adam, H. (2018). Encoder-decoder with atrous separable convolution for semantic image segmentation. In Proceedings of the European conference on computer vision (ECCV) (pp. 801-818).
- Demir, Ö. (2015). Automatic grading system for programming homework (Doctoral dissertation, Anadolu University (Turkey)).
- Eigen, D., Puhrsch, C., & Fergus, R. (2014). Depth map prediction from a single image using a multi-scale deep network. arXiv preprint arXiv:1406.2283.
- Fu, J., Wang, J., Rui, Y., Wang, X. J., Mei, T., & Lu, H. (2014). Image tag refinement with view-dependent concept representations. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 25(8), 1409-1422.
- He, K., Zhang, X., Ren, S., & Sun, J. (2016). Deep residual learning for image recognition. In Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition (pp. 770-778).
- Lai, Y. H., Wu, T. C., Lai, C. F., Yang, L. T., & Zhou, X. (2020). Cognitive optimal-setting control of AIoT industrial applications with deep reinforcement learning. IEEE Transactions on Industrial Informatics, 17(3), 2116-2123.
- LeCun, Y. A., Bottou, L., Orr, G. B., & Müller, K. R. (2012). Efficient backprop. In Neural networks: Tricks of the trade (pp. 9-48). Springer, Berlin, Heidelberg.
- LeCun, Y., Kavukcuoglu, K., & Farabet, C. (2010, May). Convolutional networks and applications in vision. In Proceedings of 2010 IEEE international symposium on circuits and systems (pp. 253-256). IEEE.

- Li, J., Gu, J., Huang, Z., & Wen, J. (2019). Application research of improved YOLO V3 algorithm in PCB electronic component detection. *Applied Sciences*, 9(18), 3750.
- Li, X., Yue, T., Huang, X., Yang, Z., & Xu, G. (2019). BAGS: an automatic homework grading system using the pictures taken by smart phones. *arXiv preprint arXiv:1906.03767*.
- Liu, C. L. (1960). *A study in machine-aided learning* (Doctoral dissertation, Massachusetts Institute of Technology).
- Ma, Y. W., Chen, J. L., Chen, Y. J., & Lai, Y. H. (2021). Explainable deep learning architecture for early diagnosis of Parkinson's disease. *Soft Computing*, 1-10.
- Minsky, M. (1970). Form and Content in Computer Science (1970 ACM turing lecture). *Journal of the ACM (JACM)*, 17(2), 197-215.
- Papert, S. A. (1973). *Uses of technology to enhance education*.
- Qinfei, Z. (2010, April). Effective combination between E-learning and KM in higher education: By the support of information technology. In *2010 2nd IEEE International Conference on Information Management and Engineering* (pp. 533-536). IEEE.
- Rao, D. M. (2019, October). Experiences with auto-grading in a systems course. In *2019 IEEE Frontiers in Education Conference (FIE)* (pp. 1-8). IEEE.
- Redmon, J., & Farhadi, A. (2018). YOLOv3: An incremental improvement. *arXiv preprint arXiv:1804.02767*.
- Torras, C. (Ed.). (2012). *Computer vision: theory and industrial applications*. Springer Science & Business Media.
- Wang, X. (2006). Moving window-based double haar wavelet transform for image processing. *IEEE Transactions on image processing*, 15(9), 2771-2779.
- Wang, Z., Liu, J., & Dong, R. (2018, November). Intelligent Auto-grading System. In *2018 5th IEEE International Conference on Cloud Computing and Intelligence Systems (CCIS)* (pp. 430-435). IEEE.