

具定位校正機制之群組機器人室內導航與控制系統之研究

彭君豪、簡宜興*、許陳鑑、王偉彥

國立臺灣師範大學電機工程學系

摘要

本論文提出具定位校正機制之群組機器人路徑追蹤以及路徑規劃演算法，透過融合里程計以及雷射距離感測器的設計，來解決里程計存在累積誤差的問題。在定位方面則是引進蒙地卡羅定位法，以粒子濾波器作為主要架構，藉由雷射資訊進行機器人自主定位，透過定位結果補償移動過程中里程計的誤差，來達到更好的控制效果。在路徑規劃方面，考慮到路徑會隨著機器人的移動而有所改變，基於 D*Lite 演算法的基礎，並將演算法推廣到群組，視其他機器人為障礙物，進行迴避。並交由 MySQL 伺服器進行資料統籌，減少機器人的運算負擔，讓機器人可以專心處理感測器資訊。在路徑追蹤方面，本文使用倒階控制法設計運動學控制器，將路徑規劃的結果當作參考信號，以蒙地卡羅定位以及里程計混合輸出結果取代過去所使用的里程計定位，以避免里程計的累計誤差。實驗結果表示此方法能使機器人準確運行於事先規劃好的軌跡之上，並且能夠發現群組中其他機器人的存在，並嘗試進行迴避。

關鍵字：群組機器人系統、D*Lite 演算法、蒙地卡羅定位、路徑追蹤控制。

Abstract

This paper presents path tracking algorithm incorporate localization correction mechanism based a planned path. The existed odometer cumulative error problems can be solved by fusing the odometer readings and localization results. For path planning, we apply the D* Lite algorithm to determine an optimal path and extend its use to multi-robot path planning, where other robots are viewed as obstacles to be avoided. A MySQL server is used to integrate information obtained from odometer readings and localization results by a Monte Carlo Localization (MCL) algorithm to reduce the loading of the robots so that they can concentrate on sensing the environment. As for path tracking, the paper uses backstopping method to design a kinematic controller where the planned path is considered as a reference signal. Experimental results show that the proposed method can control the robot to move along the planned path with good agreement.

Keywords: Multi-robot system, D* lite algorithm, Monte Carlo Localization (MCL), path tracking control.

壹、緒論

隨著機器人科技的持續發展，逐漸開始有人意識到多機器人可以同時多工執行任務，效率遠高於單一機器人獨立作業。群組機器人之間具備通訊與相互協作之功能，可以處理更複雜之問題。除此之外，當其中一個機器人故障時，其他機器人可取代故障機器人繼續工作，不影響整個團隊任務的進行，具備系統強健性。這些的優點，使得群組機器人成為機器人研究發展中熱門題目。

群組機器人導航是單一機器人導航的延伸研究，因此在群組機器人導航系統當中，依照任務性質可以區分為定位 (Li et al., 2014; Paull et al., 2014; Rashid et al., 2015; Rodríguez-Araújo et al., 2014; Shim & Cho, 2015)、路徑規劃 (Al-Mutib et al., 2011; Conkur, 2005; Ferguson & Stentz, 2005; Ge & Cui, 2002; Wang et al., 2015) 與控制 (Antonini et al., 2006; Chen et al., 2009; Chien et al., 2015; Chien et al., 2012; Martins et al., 2008;) 等三大主題。「定位」是為了讓機器人獲得當前位置，以提供控制與路徑規劃所需之資訊，廣義來說，可視為系統之回授，用以估測機器人之狀態。「路徑規劃」在傳統的導航任務當中，是負責規劃可通行之最佳路徑以提供機器人進行移動，而若要考慮到路徑追蹤控制，則除了規劃可通行的路徑之外，還需要設計機器人朝向角度以及抵達時間。「控制」泛指機器人路徑追蹤，即在取得定位回授以及路徑規劃結果之後，控制機器人的運行使機器人能精地行走於預定好的路徑。

機器人定位技術已發展很長一段時間，除了透過馬達速差取得里程計當前的位置 (Kao et al., 2013) 以及 GPS 透過衛星回傳當前位置 (Drawil et al., 2013) 之外。發展最多的定位演算法通常是透過距離傳感器，比如雷射測距儀、超音波或深度攝影機，在已知地圖進行定位估測。最早提出的卡爾曼濾波器 (Kalman, 1960)、貝氏濾波器 (Arulampalam et al., 2002; Ho & Lee, 2001) 以結合而成的馬可夫定位法(Markov localization) (Fox et al., 1999)，以及目前最普遍採用的蒙地卡羅定位法(Monte Carlo localization) (Dellaert et al., 1999)。蒙地卡羅定位法由 D. Fox 所提出，利用粒子濾波器為架構實現機器人定位法則，利用感測器融合後之障礙物資訊與環境地圖做對應，再利用貝式機率計算粒子與機器人之間的相似程度或是可信度，以此作為依據，逐漸淘汰不良的粒子，使粒子群逐漸收斂至同一區域，進而估測機器人在環境中移動時的位置。在定位演算法當中，主要的任務為全域定位(global localization)與位置追蹤

(position tracking), 全域定位的定義為在沒有預先知識(prior knowledge)下定位機器人位置, 定位演算法必須在全域不確定性(global uncertainty)下估測出機器人位置, 位置追蹤的目標是補償機器人在導航時所產生的里程計誤差, 因此前提是必須要知道機器人的初始位置。

路徑規劃方面以 1968 年由 Peter Hart 等人所提出之 A* Algorithm (Hart et al., 1968) 應用最為廣泛, 其精髓為啟發式搜索(heuristic), 並使搜尋具有方向性。A* Algorithm 的優點是演算法操作公式簡單且具有高計算效率, 但由於這種方向性搜尋法, 若起點與終點之間出現特殊障礙物, 如凹型障礙物(concave obstacles), 則將會陷入“暫時性”的區域最佳解, 造成過多的不必要搜尋, 此外 A*演算法規劃出來的路徑會緊貼著障礙物, 容易使機器人在移動時有安全上的顧慮, 並且 A*演算法缺乏路徑更新的機制。在 2005 年, Sven Koenig 所提出的 D*Lite (Koenig & Likhachev, 2005), 提出了路徑更新的概念, 在地圖發生變化時, 能夠利用過去搜尋的結果進行路徑更新, 減少更新路徑所需之時間。

路徑追蹤控制器, 顧名思義是使其能夠行走於預先規劃好的軌跡之上。主要可分為兩個控制策略: 第一個控制策略為運動學控制器, 另一策略則針對機器人動態模型設計控制器。De La Cruz 以及 Carelli (De La Cruz & Carelli, 2006) 提供了一種考慮動態模型的控制方法, 以速度和角速度作為控制器的輸入。然而, 如果參數選取錯誤或隨著時間大幅度的變化, 控制器的性能將會下降, 因此如何調整參數就是一個重要的課題。文獻 (Chen et al., 2009) 提出了一個兩階段的路徑追蹤滑動模式控制器, 其設計了一個滑動面。滑動模式控制可簡化輸入資訊, 具備強健性, 此文獻利用滑動模式控制用以消除系統的不確定性和外部干擾, 但訊號抖震的現象會導致控制力在兩數值中不斷切換, 造成系統的不穩定。文獻 (Li et al., 2010) 使用滑動 PID 控制器來解決外部干擾, 透過幅狀基底函數類神經網路(RBFNN)與自適應調節來解決訊號抖震的問題, 但因執行時間太冗長, 且機器人須及時動作, 因此並非為最佳的方法。Das 及 Kar (Das & Kar, 2006) 設計了一個適應性模糊控制器, 其參數可以即時調整, 而機器人的速度和角速度是利用類神經網路來控制 (Antonini et al., 2006)。然而, 執行類神經網路需要很高的運算量。

本論文設計並整合多個導航功能相關的演算法並將其應用於群組機器人上。因此, 我們需要考慮群組之間應該如何有效地避免碰撞, 如何規劃出一條避開彼此的路徑, 以及系統之

間該如何相互配合，以做出最妥善的任務安排。因此在路徑規劃方面，我們改良了傳統 D*Lite 演算法，將其服務對象由單機推廣到群組，並加入安全性機制，避免路徑貼牆，路徑追蹤控制方面，為了解決里程計長距離之累計誤差，我們引進雷射測距儀，並使用蒙地卡羅定位演算法來校正誤差，雖然增加了運算量，但也有效地降低了機器人的移動誤差，使得機器人能較準確地移動更遠的距離。

貳、具定位校正機制之路徑追蹤控制器設計

一、輪型機器人之運動學模型

輪型機器人最典型的模型如圖 1 (Fierro & Lewis, 1995) 所示， l 代表輪型機器人的車體寬度，車體左右兩邊有兩個驅動輪，而在車體的尾部有一個輔助輪。我們定義機器人實際位置 \mathbf{q} 和參考位置 \mathbf{q}_r 如下：

$$\mathbf{q} = [x, y, \theta]^T \in \mathcal{R}^3, \mathbf{q}_r = [x_r, y_r, \theta_r]^T \in \mathcal{R}^3 \quad (1)$$

其中 x 、 y 是橫軸與縱軸的實際位置， θ 是機器人的方向。 x_r 、 y_r 和 θ_r 是參考訊號。

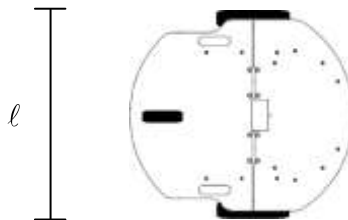


圖 1、輪型機器人外觀

機器人的運動學模型定義如下：

$$\begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & 0 \\ \sin \theta & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \mathbf{V} \quad (2)$$

其中 $\mathbf{V} = [v, \omega]^T$ ， v 代表機器人的移動速度， ω 代表機器人的角速度。

二、路徑追蹤控制器

前一小節中我們描述了輪型機器人的運動模型，發現機器人下一時刻的狀態，只與當前朝向角以及速度向量 \mathbf{V} 有關，所以只要能求出欲抵達目的地的控制速度向量 \mathbf{V}_c ，再將其轉換為左、右輪轉速，即能驅動輪型機器人前往目的地。接著，我們將探討如何進行誤差回授、透過倒階法 (Fierro & Lewis, 1995) 求得控制速度 \mathbf{V}_c ，以及如何換算出左、右輪速。我們定義位置誤差向量 \mathbf{q}_e 如(3)。圖 2 為機器人的位置誤差圖。

$$\mathbf{q}_e = \begin{bmatrix} q_{e1} \\ q_{e2} \\ q_{e3} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta & 0 \\ -\sin \theta & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_r - x \\ y_r - y \\ \theta_r - \theta \end{bmatrix} \quad (3)$$

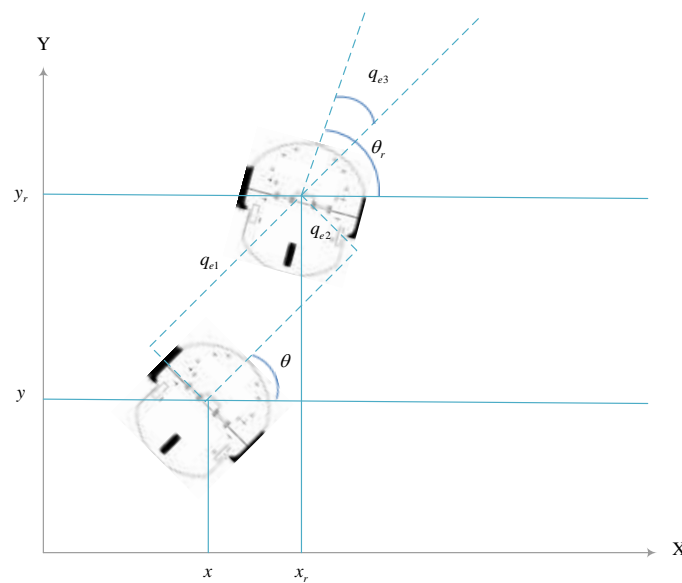


圖 2、機器人位置誤差圖

圖 2 中，我們定義了參考座標 \mathbf{q}_r ，其代表的意義為欲前往的目的地。當前實際位置 \mathbf{q} 與參考位置之間的關係，有旋轉量以及位移量兩個部分，所以誤差信號我們可以表示為旋轉矩陣的形式。有了誤差信號，我們就能夠透過倒階法來進行速度控制。首先經由(3)將 q_{e1} 做微分，則可得到(4)

$$\dot{q}_{e1} = (\dot{x}_r - \dot{x}) \cos \theta + (\dot{y}_r - \dot{y}) \sin \theta - (x_r - x) \dot{\theta} \sin \theta + (y_r - y) \dot{\theta} \cos \theta \quad (4)$$

將 $\dot{\theta} = \omega$ 和 $v = \dot{x} \cos \theta + \dot{y} \sin \theta$ 代入(4)，則可得到(5)

$$\dot{q}_{e1} = -v + \omega q_{e2} + v_r \cos q_{e3} \quad (5)$$

經由(3)將 q_{e2} 做微分，則可得到(6)

$$\dot{q}_{e2} = -\omega q_{e1} + v_r \sin q_{e3} \quad (6)$$

經由(3)將 q_{e3} 做微分，則可得到(7)

$$\dot{q}_{e3} = \dot{\theta}_r - \dot{\theta} = \omega_r - \omega \quad (7)$$

根據上列的計算，誤差方程式(3)可以寫成(8)。

$$\begin{bmatrix} \dot{q}_{e1} \\ \dot{q}_{e2} \\ \dot{q}_{e3} \end{bmatrix} = v \begin{bmatrix} -1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} + \omega \begin{bmatrix} q_{e2} \\ -q_{e1} \\ -1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} v_r \cos q_{e3} \\ v_r \sin q_{e3} \\ \omega_r \end{bmatrix} \quad (8)$$

其中 v_r 和 ω_r 是參考速度和參考角速度，且 $\mathbf{V}_r = [v_r, \omega_r]^T$ 。

在文獻 (Chen et al., 2009) 中，作者透過倒階控制法去設計速度控制器，如下：

$$\begin{bmatrix} v_c \\ \omega_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_r \cos q_{e3} + \alpha_1 q_{e1} \\ \omega_r + \alpha_2 v_r q_{e2} + \alpha_3 v_r \sin q_{e3} \end{bmatrix} \quad (9)$$

其中 $\mathbf{V}_c = [v_c, \omega_c]^T$ 是速度控制器。當 α_1 、 α_2 和 α_3 是正數時，可由定理 1 證明系統的穩定性。

定理 1: 如果運動學控制器設計如(9)，則當時間趨近無窮大時，機器人實際位置 \mathbf{q} 將會趨近參考位置 \mathbf{q}_r 。

證明: 考慮一個 Lyapunov-like 方程式如(10)。

$$V(q_{e1}, q_{e2}, q_{e3}) = \frac{1}{2}(q_{e1}^2 + q_{e2}^2) + \frac{1 - \cos q_{e3}}{\alpha_2} \quad (10)$$

將(10)做微分，則可得到(11)

$$\dot{V} = q_{e1} \dot{q}_{e1} + q_{e2} \dot{q}_{e2} + \frac{\sin q_{e3}}{\alpha_2} \dot{q}_{e3} \quad (11)$$

將(8)代入(11)，則可得到(12)

$$\dot{V} = q_{e1}(-v_c + \omega_c q_{e2} + v_r \cos q_{e3}) + q_{e2}(-\omega_c q_{e1} + v_r \sin q_{e3}) + \frac{\sin q_{e3}}{\alpha_2}(\omega_r - \omega_c) \quad (12)$$

將(12)整理過後，則可得到(13)

$$\dot{V} = -v_c q_{e1} + v_r q_{e1} \cos q_{e3} + v_r q_{e2} \sin q_{e3} + \frac{\sin q_{e3}}{\alpha_2}(\omega_r - \omega_c) \quad (13)$$

再將(9)式帶入(13)，則可得到(14)

$$\begin{aligned} \dot{V} &= -\alpha_1 q_{e1}^2 + v_r q_{e2} \sin q_{e3} + \frac{\sin q_{e3}}{\alpha_2}(-\alpha_2 v_r q_{e2} - \alpha_3 v_r \sin q_{e3}) \\ &= -\alpha_1 q_{e1}^2 - \frac{\alpha_3 v_r}{\alpha_2} \sin^2 q_{e3} \end{aligned} \quad (14)$$

由於 α_1 、 α_2 、 α_3 及 ν_r 為設計參數且皆為正值，則 $\dot{V} \leq 0$ 。根據 Barbalat lemma (Wang & Mendel, 1992)，我們可得到當時間趨近於無窮大時，位置誤差向量 \mathbf{q}_e 會趨近於零。

三、定位校正機制

本節將介紹利用蒙地卡羅定位演算法來校正里程計的過程。首先，輪型機器人回傳當前狀態 X_t 進入系統，系統將檢查資料類別當中蒙地卡羅定位是否完成，檢查的方法是察看暫存器內的定位結果是否與上一筆相異，如果蒙地卡羅定位完成則回傳定位的結果，如果定位沒有完成則直接將輪型機器人當前狀態 X_t 直接輸出成為下一狀態 \hat{X}_t 。

由於蒙地卡羅定位演算法是建立在已知環境地形的基礎下進行定位，描述定位的方式與地圖的解析度息息相關，而路徑追蹤控制器通常需要以釐米作為單位這樣做才足夠精細，所以在雷射校正機制當中需要進行座標系的映射，將定位結果映射到釐米座標系當中，除了比例上的調整之外，里程計本身是一個以起點當作原點紀錄相對座標的感測器，所以我們也需要將里程計映射到絕對座標，轉換的方式不外乎旋轉以及平移，我們可以使用齊次矩陣來描述如(15)所示，其中 x_0, y_0, θ_0 為蒙地卡羅定位初始的起點位置。 $x_{MCL}, y_{MCL}, \theta_{MCL}$ 則為當前時刻的定位結果。 R 代表單位相素對應到現實世界中多少釐米的比例常數。 x, y, θ 則為經定位校正過之下一狀態 \hat{X}_t 。

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ \theta \end{bmatrix} = R \begin{bmatrix} \cos \theta_0 & -\sin \theta_0 & 0 & -x_0 \\ \sin \theta_0 & \cos \theta_0 & 0 & -y_0 \\ 0 & 0 & 1 & -\theta_0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_{MCL} \\ y_{MCL} \\ \theta_{MCL} \end{bmatrix} \quad (15)$$

在經過座標轉換函數的映射之後，蒙地卡羅定位的結果與里程計回傳結果可映射在同一座標平面當中。接著我們將討論時間延遲的問題，里程計是讀取馬達編碼器速差，得知當前位置的感測器，取樣時間可以控制在 10 毫秒內，但蒙地卡羅定位乃是一個迭代演算法，每一筆定位結果都需經歷預測、權重計算以及重新取樣迭代才能取得，定位時間隨粒子數的多寡、地圖的複雜度以及擾動的範圍也有所不同，不過總體來說還是以秒為單位給予回授。這也代表收到雷射開始，直到蒙地卡羅定位計算完畢，定位的結果會有所延遲，以下使用圖 3 來進行說明。

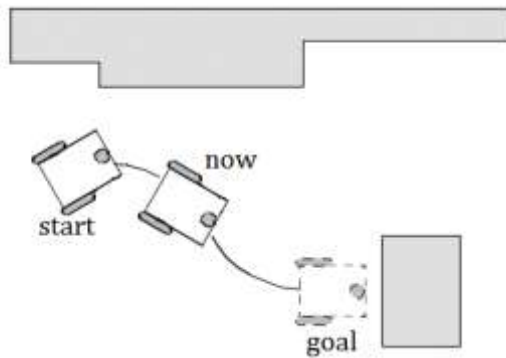


圖 3、定位延遲示意圖

輪型機器人一開始位於 start 的位置，欲前往 goal，在 start 的位置時接收雷射資料，當機器人走到 now 時定位完成，但此時並非位於收取雷射資訊的 start 而是位於 now，定位的回傳結果是由早些時間收取的雷射資訊計算而得，所得定位結果勢必與真實位置有所不同。為了解決此一問題，決定透過里程計補償定位延遲過程中的位移量，來達到定位延遲校正的作用，如(16)所示。其中 P 為蒙地卡羅定位的結果， ΔP_{Od} 為定位延遲過程中里程計的位移量， P' 則經定位延遲校正後之蒙地卡羅定位結果。

$$P' = P + \Delta P_{Od} \quad (16)$$

接著我們將討論長廊問題，由於蒙地卡羅定位演算法對於相似程度太高的地圖環境來說，時常會陷入區域最佳解，為了避免路徑追蹤控制器失控，本文採取濾除不合理的定位校正結果，來避免錯誤的校正導致錯誤的控制。在路徑追蹤控制器中，速度與角速度都是在系統的控制之下，因此如果定位的結果與控制的結果不相符，那麼此次定位的結果，有非常高的可能性是陷入區域最佳解。圖 4 為室內地形當中很容易出現的情況，圖中綠色圓圈代表機器人所在位置，紅色線段代表雷射，可以發現雖然朝向角不同，但是所收到的雷射資訊是完全相同，在輸入資訊完全無差異的情況下，蒙地卡羅定位將陷入區域最佳解，自然也不具備校正的能力。



圖 4、相似地形導致的朝向角大反轉

為了避免上述情況的發生，定位出來機器人朝向角與前一次定位的機器人朝向角加上取樣時間內的角位移數值大小超過門檻值的話，此次結果我們將不予採用。此外，在位移量方面，我們透過所記錄的前一時刻位置加上位移期間的移動量，作為本次定位成功與否的判斷標準，如果本次定位結果超過我們所設定的門檻值，本次定位將不採用。另外，如果定位結果位於牆內，本次的定位結果一樣不採計。

參、群組機器人導航系統

群組機器人系統可以共用機器人彼此的感測器資訊，處理更複雜的問題。在系統調度方面，也擁有更高的彈性，不會因單一機器人的故障，導致系統停止運作。感測器資訊共享的對策，對群組機器人來說是很重要的一個環節，畢竟群組本身就是一個複雜的系統。當考慮的層面更深、則應用的範圍越廣，原先單一機器人導航演算法，將不足以應付群組導航的任務。本章節將探討群組之間如何通力合作，以及提出導航演算法來執行群組機器人的導航任務。

一、群組機器人系統架構

群組機器人導航系統是利用群組中每一台機器人身上的感測器資訊來幫助完成任務，首要工作就是需要避免碰撞。碰撞的結果輕則朝向角發生偏移，嚴重一點可能導致設備掉落，甚至導致機器人故障。當前的機器人技術還無法做到全故障排除，因此應極力避免碰撞的發

生。因此，建立群組機器人之間互相溝通的管道十分重要，唯有將每一台機器人位置資訊通報給群組中的每個單位知曉，才能避免這種情況的發生。本論文提出的群組機器人伺服器端與客戶端的關係，伺服器作為機器人之間資訊傳遞的媒介並統整機器人所接收的地圖環境資訊，其角色等同於軍隊當中的司令官，能夠減少機器人客戶端的運算量，避免客戶端花費額外的運算量來等待其他機器人回傳資訊。

對於群組中每台輪型機器人，他們都擁有定位、路徑規劃、路徑追蹤以及更新資料庫的能力。演算法彼此的溝通透過發布/訂閱(publish/subscribe)架構進行設計，演算法運算完畢的結果無須傳送給特定的訂閱者，而是將資料彙整起來，分成一個或多個類別，有需要的演算法自行訂閱感興趣的資料。這個架構大大減低了演算法之間的相依性，方便進行抽換，程式的維護也更為單純。此外每個演算法分別使用一個執行緒進行平行處理，也避免的互相等待，造成控制延遲的問題。

二、群組機器人定位演算法

傳統的蒙地卡羅定位演算法，並沒有考量到多台機器人同時定位的問題，由於缺乏溝通協調的管道，機器人之間也無法分享彼此所獲得的資訊，進而導致難以完成任務。在本文所提出的系統架構中，使用 MySQL 作為資料儲存以及資訊交換的中繼站，將會記錄每一台機器人當前的位置，以及其移動的路徑，作為協調處理的資料儲存中心。機器人之間有了溝通協調之管道，就能夠分享彼此的資訊。

此外，使用傳統的蒙地卡羅定位演算法來做機器人定位，在單一機器人定位問題當中表現出眾，但是在群組機器人定位問題當中，部分雷射資訊有可能遭到其他機器人阻擋，如圖 5 所示，紅色及藍色圓圈代表機器人，橘色線段代表雷射資訊。因為沒有足夠的雷射資訊，定位演算法將無法準確地進行有效定位。為了解決雷射遭到阻擋，而無法正確定位的問題，本小節將提出改良型蒙地卡羅定位演算法以解決此問題。

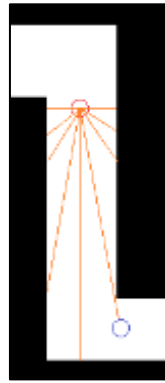


圖 5、機器人雷射遭阻擋示意圖

以下將介紹本論文提出的群組機器人定位演算法的步驟與說明。

步驟一：將 m 個粒子分布在環境地圖中，每個粒子姿態需與機器人相同，因此各粒子狀態須包含位置與朝向角，表示如下：

$$p_0^i = (x_0^i, y_0^i, \theta_0^i), i=1, 2, \dots, m \quad (17)$$

其中， p_0^i 代表粒子 i ， (x_0^i, y_0^i) 代表粒子所處座標， θ_0^i 代表粒子朝向角度。

步驟二：根據機器人所接收之指令，改變粒子位置與朝向角，如(18)。

$$p_t^i \sim \text{bel}(p_t^i | p_{t-1}^i, u_t), i=1, 2, \dots, m \quad (18)$$

其中 p_t^i 代表 t 時刻第 i 個粒子， bel 代表貝式機率，為 t 時刻控制指令。 u_t 為 t 時刻的控制力。

步驟三：經由無線網路連結 MySQL 資料庫，讀取每一台機器人當前的方位。

步驟四：找出錯誤雷射資訊，如圖 6 所示。我們以紅色機器人角度作為觀測主體，其位置為 $p(x_{R1}, y_{R1}, \theta_{R1})$ ，藍色機器人為觀測客體其位置為 $p(x_{R2}, y_{R2}, \theta_{R2})$ ， θ_{error} 為我們欲求被藍色機器人阻擋之雷射角度，其計算的方程式如(19)。接著，我們將移除此角度的雷射距離資訊。

$$\theta_{error} = \tan^{-1}\left(\frac{y_{R2} - y_{R1}}{x_{R2} - x_{R1}}\right) \quad (19)$$

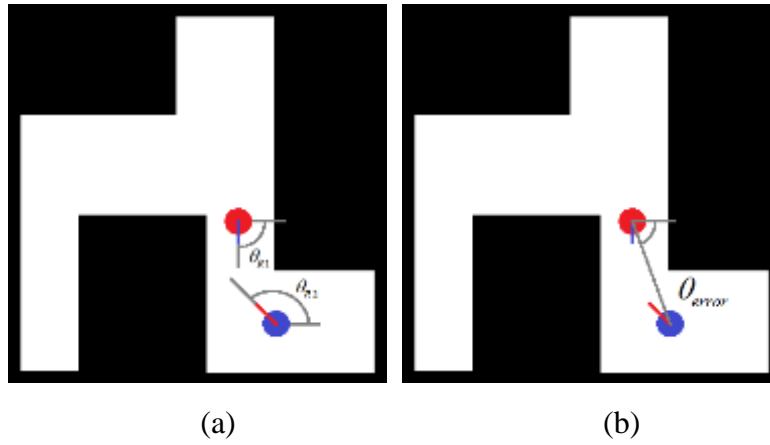


圖 6、找出錯誤雷射資訊示意圖 (a) 兩台機器人各自朝向角 θ_{R1}, θ_{R2}
 (b) 遭阻擋之雷射角度 θ_{error}

步驟五: 各粒子依據所在之位置計算模擬感測資訊, 依據模擬感測資訊與機器人實際獲得之感測資訊進行比對, 計算出各粒子所擁有之權重值, 並進行正規化, 使其總合為 1。

$$w_t^i = w(o_t | x_t^i, \hat{o}_t^i), i = 1, 2, \dots, m \tag{20}$$

$$\hat{w}_t^i = \frac{w_t^i}{\sum_{i=1}^m w_t^i} \tag{21}$$

其中, w_t^i 代表 t 時刻 i 粒子之權重值, o_t 為機器人在 t 時刻所獲得之感測資訊, x_t^i 代表 t 時刻 i 粒子之座標位置, \hat{o}_t^i 代表 t 時刻 i 粒子之模擬感測資訊, (21) 為正規化處理, \hat{w}_t^i 代表 t 時刻正規化後 i 粒子之權重值。

步驟六: 在重新取樣部分, 使用了隨機通用取樣法 (Pencheva et al., 2009), 或稱作輪盤法, 其作法是將粒子權重值進行正規化, 正規化後之粒子權重值總和為 1, 再依照每個粒子在族群權重值所佔比例切割出該粒子的面積, 權重值越高之粒子所切割出的面積越大, 再依據粒子所佔面積從 0 開始給予數值範圍, 面積越大者獲得之範圍越大。取樣時, 隨機產生一個 0 至 1 的數值, 依據產生之數值去對應擁有該數值之粒子, 將此粒子放入下一代粒子群體中, 再重新產生數值去取出粒子加入下一代粒子群體中, 直到下一代粒子總數與上一代粒子總數相同為止。

三、群組機器人路徑規劃演算法

由於群組機器人的路徑規劃需考慮其他機器人的方位(不同的機器人將視為障礙物)，因此相較於單一機器人的路徑規劃，我們要考慮多個動態障礙物的情況。在本論文中，群組機器人會不斷地透過雲端資料庫來更新自身機器人的當前位置資訊以及獲知其他機器人(動態障礙物)的位置資訊，當某一機器人執行路徑規劃時，即可更新障礙物資訊，如果參考點路徑發生變化，則只需局部地更新障礙物周圍節點，因此可避免過長的更新路徑時間成本。以下將介紹本論文提出的群組機器人路徑規劃演算法的步驟與說明。

步驟一：首先計算整張地圖的 $h(s, s_{start})$ 值，計算當前格點 s 與起點的距離，最常使用的方法是切比雪夫距離。此值的用意是評估起點移動到此進行啟發式搜索(heuristic)的成本，啟發式搜索即錯誤嘗試，利用 $h(s)$ 值的大小來評估起點移動到這個格點的成本，成本越高，即最短路徑的機會越小，所以只要持續的從成本最低的節點向外擴張，則找到最短路徑的速度越快。啟發式搜索以 Key 值的方式作呈現，同時存放 $\min(g(s), rhs(s)) + h(s, s_{start})$ 值以及 $rhs(s) \circ heuristic$ 值和 Key 值的計算方程式如(22)及(23)。

$$h(A,B)=\max(|B_x-A_x|, |B_y-A_y|) \quad (22)$$

$$Key=[\min(g(s), rhs(s))+h(s, s_{start}); rhs(s)] \quad (23)$$

接著，將地圖上所有節點的 rhs 和 g 值設成無限大，同時清空開放列表。然後將終點加入開放列表，並將 g 值設為無限大、 rhs 值設為零。以終點作為路徑規劃的起始節點 u ，目標是找到起點。

步驟二：找尋開放列表當中 Key 值最小者做為當前節點 u ，如果最小 Key 值節點不只一個，則任意選一，此時也代表路徑很有可能不只一組解。由於此時只有一個終點座標，所以當前節點即為終點座標。接著找尋當前節點 u 的後繼節點加入開放列表 s' ，並更新後繼節點 s' 的 g 值與 rhs 值。更新 g 值的方法為：當 $g=rhs$ ，則這個節點為 consistent，令 $g = \infty$ 。當 $g > rhs$ ，則這個節點為 over-consistent，令 $g=rhs$ 。當 $g < rhs$ ，則這個節點為 under-consistent，令 $g = \infty$ 。

D*Lite 演算法存在路徑貼牆的問題，如果規劃出來的路徑貼牆，會導致機器人與牆壁發生碰撞，因此讓機器人與牆壁保持安全距離，亦是一件重要的事情。在本文當中，我們考慮了地形成本函數，當位置 s 位於障礙物周圍時，移動成本將乘上一個係數 $T(s)$ ，更新 rhs 值的

方法如(24)。

$$rhs(s) = \begin{cases} 0, & \text{if } s = s_{start} \\ \min_{s' \in Pred(s)} (g(s') + T(s) * c(s', s)), & \text{otherwise} \end{cases} \quad (24)$$

步驟三: 如果機器人行走時偵測到障礙物, 由於機器人無法通過障礙物, 所以須將障礙物格點 rhs 值設成無限大, 並且放進開放列表。因為路徑發生變化, 需檢查障礙物後周圍節點的 rhs 值, 如果障礙物周圍節點 g 值與 rhs 值不相等, 則需放入開放列表。

重複上述步驟二及步驟三, 直到機器人抵達目的地或開放列表中沒有任何節點。如果開放列表中沒有任何節點, 代表機器人與目的地之間不存在可通行的路徑。從起點方向往 rhs 值最小的節點走, 即可抵達目的地。

肆、實驗結果

本實驗使用兩台 Pioneer 3-DX 輪型機器人搭配雷射測距儀 LMS-100, 其外觀如圖 7 所示, 此機器人離地高度為 21.5 公分, 寬度為 38 公分, 迴轉半徑為 26 公分, 配有里程計、超音波以及電子羅盤。其鋁製的車身可減輕機器人的重量, 最多可以同時配備 3 顆鉛蓄電池, 在只裝一顆電池的情況下, 車體重量為 9 公斤, 機器人在兩側裝有驅動輪並在車體的後方加裝萬向輪, 以增加機器人移動的穩定度, 藉由車體前方的 8 顆超音波, 機器人可以感測與物體之間的距離。



圖 7、群組機器人外觀顯示圖

本實驗所使用的機器人(Pioneer 3-DX)內部含有編碼器，經由定義機器人開始放置的座標為原點，編碼器可以由馬達的轉速來計算出機器人目前座標與機器人目前角度，將輪型機器人目前的位置與原點的座標相減，可得到相對於起始位置的橫坐標、縱座標及角度。接著，將得到的機器人座標資訊及角度資訊傳送至微電腦控制板進行處理，再透過本論文所提出的控制器來控制機器人左右輪轉速以抵達目的地。

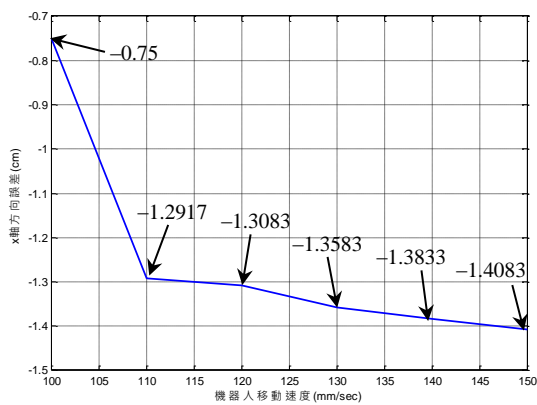
在進行整合型實驗之前，我們先實驗單獨只使用里程計，其機器人的定位效果。表 1 及表 2 為機器人移動 2.5 公尺時，機器人移動速度 v 與 x 軸/y 軸方向的誤差數據表。圖 8 為經由 12 次實驗，我們獲得機器人移動速度與其對應的 x 軸/y 軸方向平均誤差值。我們可以發現累積誤差會因為機器人移動速度而增加，因此若單獨只使用里程計來做定位，則機器人將會在到達終點前即會撞上牆壁亦或是碰撞到其他障礙物。

表 1、機器人移動速度 v 與 x 軸方向誤差數據表

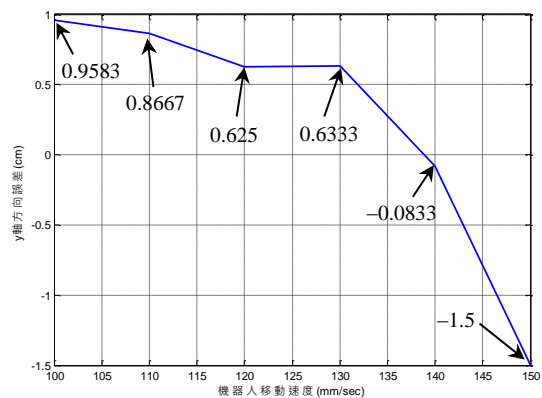
速度序次	移動時驗					
	100 mm/s	110 mm/s	120 mm/s	130 mm/s	140 mm/s	150 mm/s
1	-2.1 cm	-0.9 cm	0 cm	-1.2 cm	0 cm	-2 cm
2	2.2 cm	-1.1 cm	-2.3 cm	-2 cm	-2 cm	1 cm
3	2.5 cm	-1.2 cm	-2.1 cm	-2 cm	-1 cm	-3 cm
4	-3 cm	-1 cm	-1.1 cm	-1 cm	-1 cm	-2.8 cm
5	0.5 cm	-2 cm	-0.5 cm	-1.8 cm	-5 cm	0 cm
6	-0.9 cm	0 cm	-1 cm	0 cm	-1.9 cm	-2.7 cm
7	-1.7 cm	-1.5 cm	-1.2 cm	0 cm	-0.5 cm	0 cm
8	0 cm	0 cm	-2 cm	-0.8 cm	-1.5 cm	-1.3 cm
9	-2.1 cm	-2.4 cm	-1.3 cm	-3 cm	-2.2 cm	-0.5 cm
10	-1.2 cm	-1.7 cm	-1.3 cm	-0.5 cm	1 cm	-1.7 cm
11	-2.5 cm	-2.2 cm	-1.9 cm	-2 cm	1 cm	-0.9 cm
12	-1 cm	-1.5 cm	-1 cm	-2 cm	-3.5 cm	-3 cm

表 2、機器人移動速度 v 與 y 軸方向誤差數據表

速度序次	移動實驗					
	100 mm/s	110 mm/s	120 mm/s	130 mm/s	140 mm/s	150 mm/s
1	1 cm	-0.3 cm	1 cm	0.3 cm	0 cm	0 cm
2	1 cm	0.7 cm	0.5 cm	1.3 cm	1 cm	-1 cm
3	0 cm	0.7 cm	0 cm	1.3 cm	0 cm	-1.5 cm
4	1 cm	-0.3 cm	1 cm	0.3 cm	-1 cm	-4 cm
5	1 cm	0.7 cm	0 cm	-0.7 cm	-1 cm	-1 cm
6	1 cm	1.7 cm	0 cm	0.3 cm	-4 cm	-2 cm
7	1 cm	1.7 cm	0.5 cm	-0.7	1 cm	-2 cm
8	0 cm	1.7 cm	2 cm	1.3 cm	1 cm	-1 cm
9	2 cm	0.7 cm	1.5 cm	1.3 cm	0 cm	-1 cm
10	1.5 cm	1.7 cm	0 cm	0.3 cm	0.5 cm	-2 cm
11	1 cm	0.7 cm	-1 cm	1.3 cm	1.5 cm	-1 cm
12	1 cm	0.7 cm	2 cm	1.3 cm	0 cm	-1.5 cm



(a)



(b)

圖 8、機器人移動速度與 x/y 軸方向平均誤差值 (a) x 軸方向平均誤差 (b) y 軸方向平均誤差

在群組機器人實驗中，機器人會將自身之外的機器人視為障礙物，透過本論文提出的基於 D*Lite 演算法來規劃行走軌跡，讓機器人沿著軌跡前往終點。圖 9 為群組機器人的導航實驗截圖。

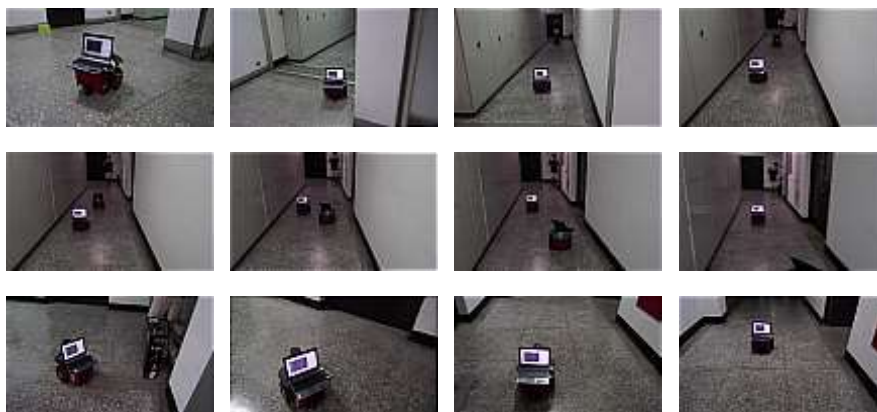


圖 9、群組機器人的導航實驗截圖

本實驗中所使用的參數包含路徑規劃中的安全距離 $\delta = 5$ pixel，機器人定位所用到的粒子數 $\eta = 2000$ 以及擾動半徑 $\gamma = 5$ pixel，路徑追蹤控制器中地圖上每單位 pixel 所對應的距離 $\rho = 55.24\text{mm}$ ，倒階控制法中的 α 依據轉彎與否分為兩組，直線型選取 $\alpha_1 = 5.7928$ 、 $\alpha_2 = 30.0028$ 、 $\alpha_3 = 51.0172$ ，轉彎型選取 $\alpha_1 = 5.2602$ 、 $\alpha_2 = 0.0885$ 、 $\alpha_3 = 56.2783$ 以及輪速限制 $V_{Max} = 450\text{ mm/s}$ 。圖 10 為群組機器人移動軌跡顯示圖。圖 11 及圖 13 分別顯示 Robot #1 及 Robot #2 的實際移動方位與參考移動方位。由於 Robot #1 與 Robot #2 一開始在追蹤參考軌跡時，為了減少因快速移動所造成的震盪現象以維持機器人移動的穩定度，因而導致一開始的誤差較大。另外，Robot #2 目前並沒有搭載電子羅盤，只能依靠輪速差以及定位演算法來判斷方位，因而間接地導致移動軌跡比 Robot #1 更加緩慢地收斂。在未來改善方面，我們除了裝設電子羅盤以改善機器人定位與追蹤參考軌跡等功能外，亦可提出更有智慧地調整系統參數，以提升整體運作效能。圖 12 及圖 14 分別顯示 Robot #1 及 Robot #2 的移動速度與角速度。

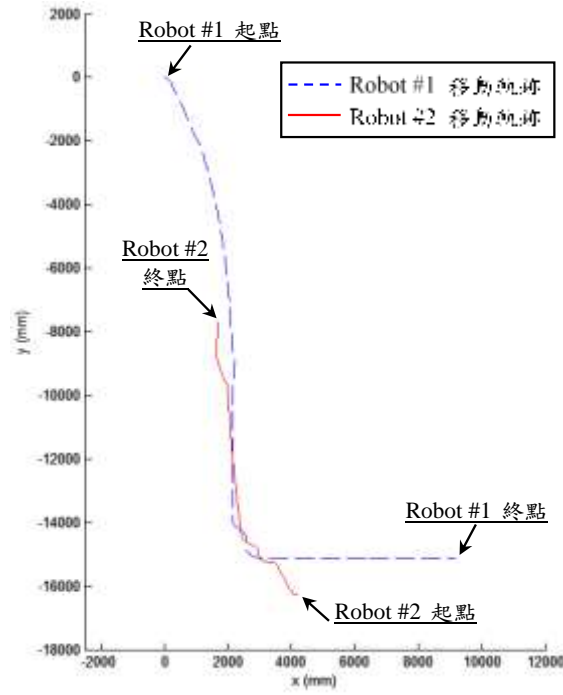


圖 10、群組機器人移動軌跡

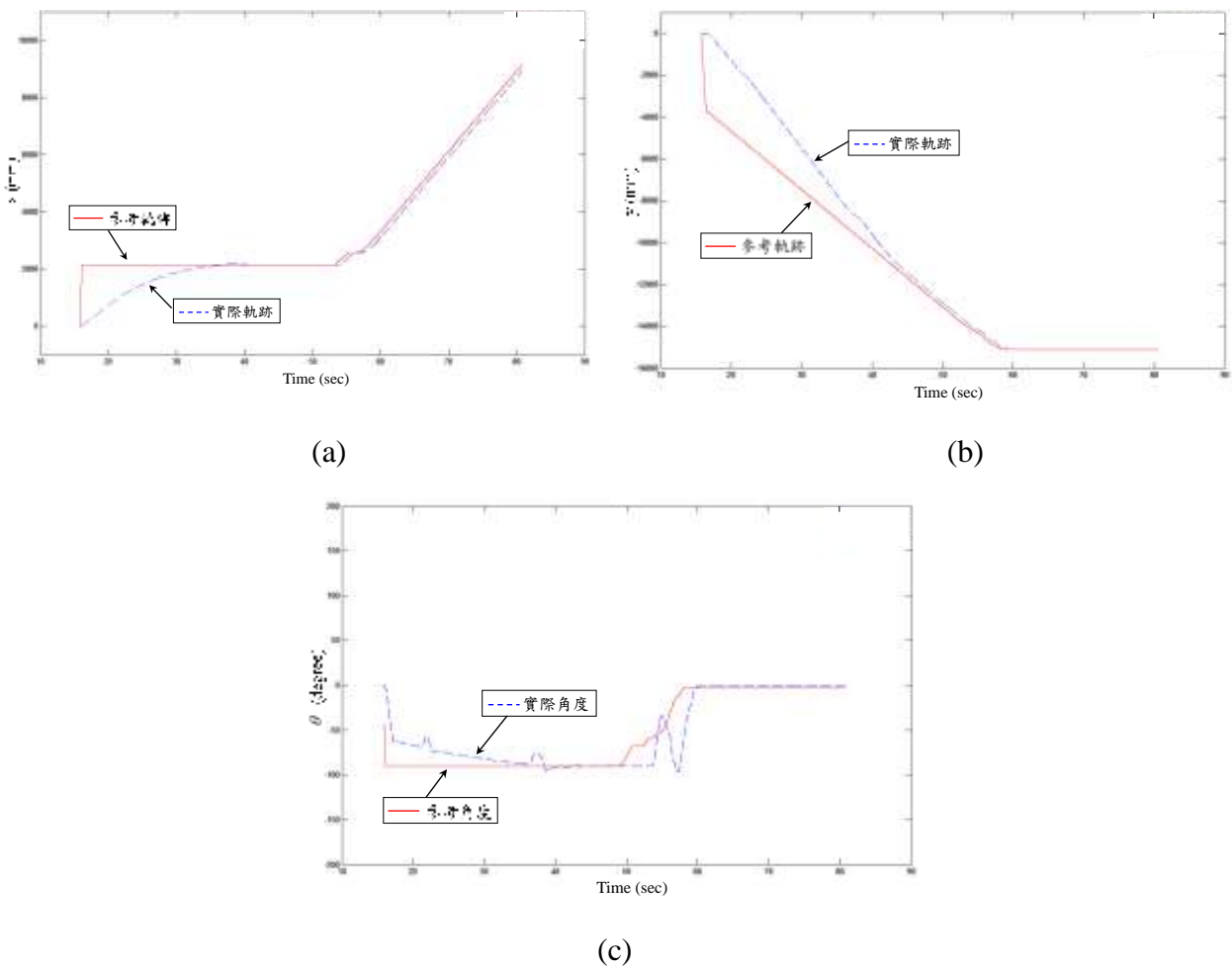


圖 11、Robot #1 的實際移動方位與參考移動方位 (a) x 軸移動軌跡 (b) y 軸移動軌跡 (c) 移動角度

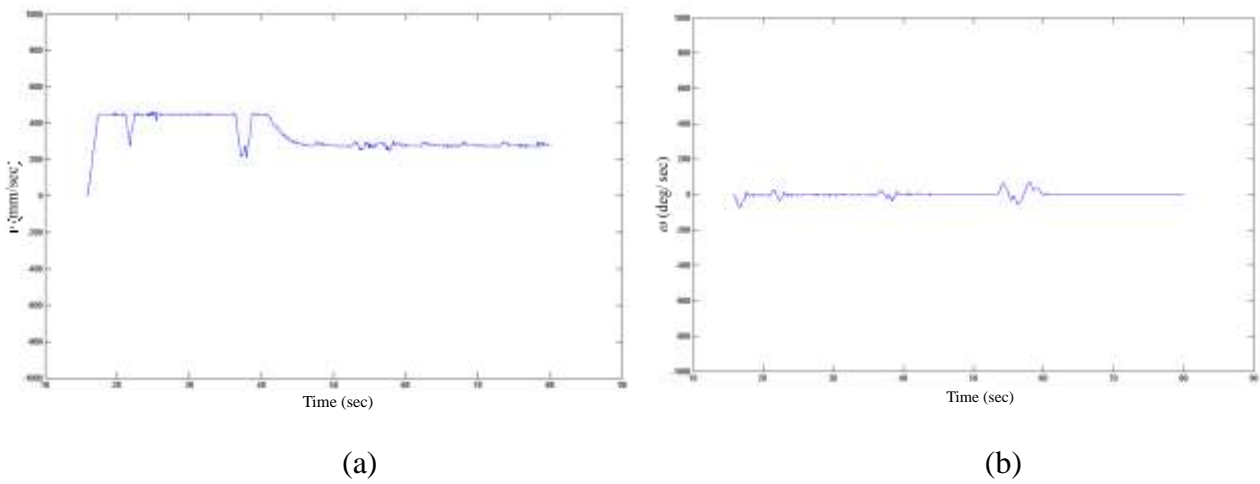


圖 12、Robot #1 的移動速度與角速度 (a) 速度 v (b) 角速度 ω

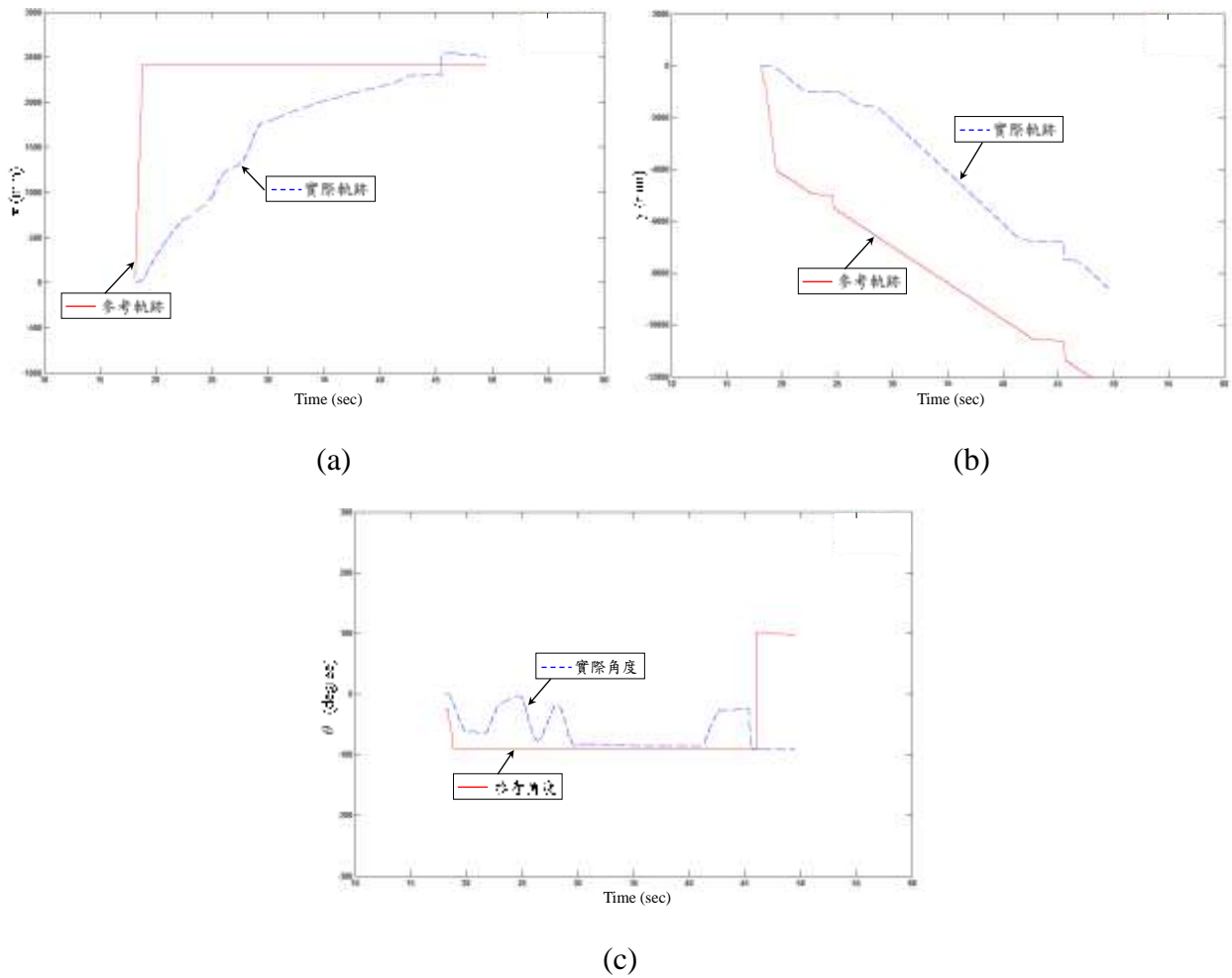


圖 13、Robot #2 的實際移動方位與參考移動方位 (a) x 軸移動軌跡 (b) y 軸移動軌跡 (c) 移動角度

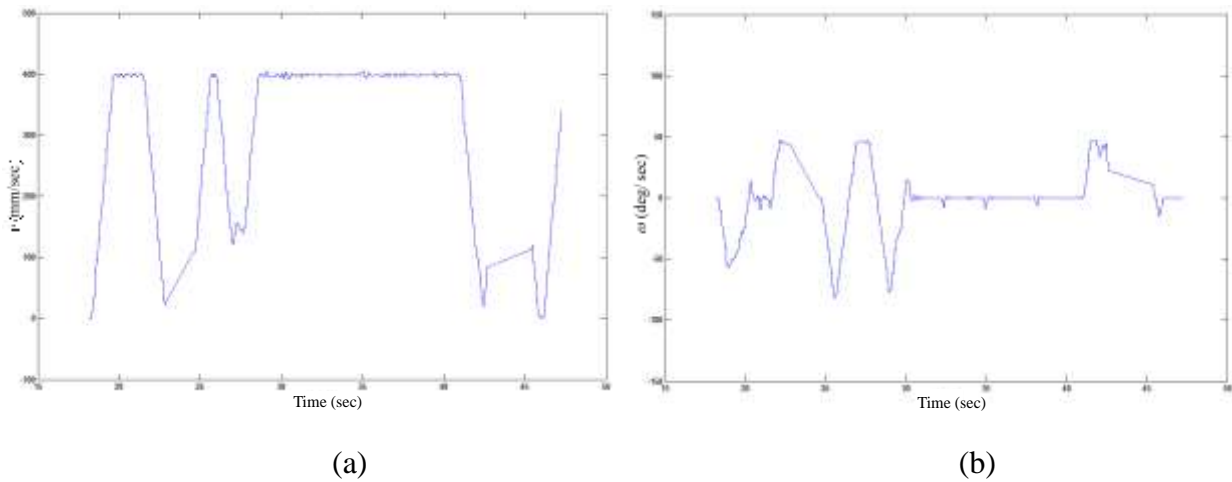


圖 14、Robot #2 的移動速度與角速度 (a) 速度 v (b) 角速度 ω

伍、結論

在本篇論文當中，我們整合了機器人導航功能中的定位、路徑規劃以及路徑追蹤控制演算法，並且透過融合蒙地卡羅定位與里程計資訊的方法，解決了里程計回授產生的累計誤差，讓機器人能夠進行更長距離的移動。此外，我們運用自行架設的 MySQL 伺服器，作為群組機器人資訊的交換中心，以此得知機器人之間彼此的位置，群組中的每一台機器人皆視其他機器人為障礙物，規劃一條能避開彼此碰撞的路徑，讓機器人能沿著規劃好的路徑進行移動。在實驗方面，我們使用兩台輪型機器人同時執行導航任務。當兩台機器人互相接近時，機器人會透過 MySQL 伺服器得知彼此的位置，並規劃出避開碰撞的路徑。在未來的研究方面，我們將可透過多台單板電腦來平行處理定位、路徑規劃以及路徑追蹤控制演算法，讓每台單板電腦的任務較為單純，使得執行效率能夠大幅提升。

參考文獻

- Al-Mutib, K., AlSulaiman, M., & Mattar, E. (2011). D* lite based real-time multi-agent path planning in dynamic environments. *2011 Third International Conference on Computational Intelligence*, 170-174.
- Antonini, P., Ippoliti, G., & Longhi, S. (2006). Learning control of mobile robots using a multiprocessor system. *Control Engineering Practice*, 14, 1279-1295.
- Arulampalam, M. S., Maskell, S., Gordon, N., & Clapp, T. (2002). A tutorial on particle filters for online nonlinear/non-gaussian bayesian tracking. *IEEE Trans. on Signal Processing*, 50(2), 174-188.
- Chen, C.-Y., Li, T.-H., Yeh, Y.-C., & Chang, C.-C. (2009). Design and implementation of an adaptive sliding-mode dynamic controller for wheeled mobile robots. *Mechatronics*, 19(2), 156-166.
- Chien, Y.-H., Wang, W.-Y., & Leu, Y.-G. (2015). On-line hybrid intelligent tracking control for a class of nonaffine multivariable systems. *International Journal of Fuzzy Systems*, 17(1), 39-52.
- Chien, Y.-H., Wang, W.-Y., Li, I.-H., Lian, K.-Y., & Lee, T.-T. (2012). Hybrid intelligent output-feedback control for trajectory tracking of uncertain nonlinear multivariable dynamical systems. *International Journal of Fuzzy Systems*, 14(1), 141-153.
- Conkur, E. S. (2005). Path planning using potential fields for highly redundant manipulators. *Robotics and Autonomous Systems*, 52(2-3), 209-228.
- Das T., & Kar, I. N. (2006). Design and implementation of an adaptive fuzzy logic based controller for wheeled mobile robots. *IEEE Trans. on Control Systems Technology*, 14(3), 501-510.
- De La Cruz C. C., & Carelli, R., (2006). Dynamic modeling and centralized formation control of mobile robots. *32th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*, 3880-3885.
- Dellaert, F., Fox, D., Burgard, W., & Thrun, S. (1999). Monte Carlo localization for mobile robots. *IEEE International Conference on Robotics and Automation*, 1322-1328.
- Drawil, N. M., Amar, H. M., & Basir, O. A. (2013). GPS localization accuracy classification: A context-based approach. *IEEE Trans. on Intelligent Transportation Systems*, 14(1), 262-273.

- Ferguson, D., & Stentz, A. (2005). The delayed D* algorithm for efficient path replanning. *2005 IEEE International Conference on Robotics and Automation*, 2045-2050.
- Fierro, R., & Lewis, F. L. (1995). Control of a nonholonomic mobile robot: Backstepping kinematics into dynamics. *34th Conference on Decision and Control*, 3805-3810.
- Fox, D., Burgard, W., & Thrun, S. (1999). Markov localization for mobile robots in dynamic environments. *Journal of Artificial Intelligence Research*, 11, 391-427.
- Ge, S. S., & Cui, Y. J. (2002). Dynamic motion planning for mobile robots using potential field method. *Autonomous Robots*, 13(3), 207-222.
- Hart, P. E., Nilsson, N. J., & Raphael, B. (1968). A formal basis for the heuristic determination of minimum cost paths. *IEEE Trans. on Systems Science and Cybernetics*, 4(2), 100-107.
- Ho, Y. C., & Lee, R. (2001). A Bayesian approach to problems in stochastic estimation and control. *IEEE Trans. on Automatic Control*, 9(4), 333-339.
- Kalman, R. E. (1960). A new approach to linear filtering and prediction problems. *Journal of Basic Engineering*, 82(1), 35-45.
- Kao, Y.-F., Chien, Y.-H., Li, I.-H., Wang, W.-Y., & Lee, T.-T. (2013). Design and implementation of adaptive dynamic controllers for wheeled mobile robots. *IEEE International Conference on System Science and Engineering*, 195-199.
- Koenig, S., & Likhachev, M. (2005). Fast replanning for navigation in unknown terrain. *IEEE Trans. on Robotics*, 21(3), 354-363.
- Li, I.-H., Chen, M.-C., Wang, W.-Y., Su, S.-F., & Lai, T.-W. (2014). Mobile robot self-localization system using single webcam distance measurement technology in indoor environments. *Sensors*, 14(2), 2089-2109.
- Li, Y., Wang, Z., & Zhu, L. (2010). Adaptive neural network PID sliding mode dynamic control of nonholonomic mobile robot. *2010 IEEE International Conference on Information and Automation*, 753-757.

- Martins, F. N., Celeste, W. C., Carelli, R., Sarcinelli-Filho, M., & Bastos-Filho, T. F. (2008). An adaptive dynamic controller for autonomous mobile robot trajectory tracking. *Control Engineering Practice*, 16, 1354-1363.
- Paull, L., Saeedi, S., Seto, M., & Li, H. (2014). AUV navigation and localization: A review. *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, 39(1), 131-149.
- Pencheva, T., Atanassov, K., & Shannon, A. (2009). Modelling of a stochastic universal sampling selection operator in genetic algorithms using generalized nets. *10th Int. Workshop on Generalized Nets*, 1-7.
- Rashid, A. T., Frasca, M., Ali, A. A., Rizzo, A., & Fortuna, L. (2015). Multi-robot localization and orientation estimation using robotic cluster matching algorithm. *Robotics and Autonomous Systems*, 63(1), 108-121.
- Rodríguez-Araújo, J., Rodríguez-Andina, J. J., Fariña, J., & Chow, M.-Y. (2014). Field-programmable system-on-chip for localization of UGVs in an indoor ispace. *IEEE Trans. on Industrial Informatics*, 10(2), 1033-1043.
- Shim, J.-H., & Cho, Y.-I. (2015). A mobile robot localization using external surveillance cameras at indoor. *Procedia Computer Science*, 56, 502-507.
- Wang, C., et al. (2015). Path planning of automated guided vehicles based on improved A-star algorithm. *2015 IEEE International Conference on Information and Automation*, 2071-2076.
- Wang, L. X., & Mendel, J. M. (1992). Fuzzy basis functions, universal approximation, and orthogonal least squares learning. *IEEE Trans. on Neural Networks*, 3(5), 807-814.

可依距離亮度調控之節能門口燈系統

An Adaptive Lighting System Based on the Distance between Light Sources and Users

陳信全¹ (Hsin-Chuan Chen)、許陳鑑^{*2} (Chen-Chien Hsu)、陳俊憲³ (Chun-Hsien Chen)、
梁志瑋³ (Chih-Wei Liang)、林政儒³ (Cheng-Ju Lin)

¹ 北京理工大學珠海學院 信息學院 (School of Information Technology, Beijing Institute of Technology, Zhuhai)

² 國立臺灣師範大學 電機工程學系 (Department of Electrical Engineering, National Taiwan Normal University)

³ 聖約翰科技大學 電子工程系 (Department of Electronic Engineering, St. John's University)

摘要

在這個響應節能減碳的時代，如何減少住家及商用照明燈具的能源浪費，著實是一項重要的課題。一般除了日用照明外，樓梯間夜間照明也是不可忽視的一項電源消耗。目前市面上有許多不同感應方式的燈光裝置，例如：紅外線遮蔽感應、人體感應 (PIR) 偵測、或微波感應等型態照明燈。然而這些傳統燈具感應裝置僅能於有人靠近時，方才啟動點亮燈光，並不適合用於樓梯間的引導照明。本作品嘗試設計結合 PIR 偵測及超音波感應來做為燈具的亮度控制，當人體在感應範圍內移動靠近燈具時，會依人體和燈具間的距離來控制燈具的亮度。此外，若當有人在門口逗留太久，亦會啟動攝影機拍照，並警示告知屋主。因此，本作品可提供樓梯間能於夜間隨人體靠近門口距離，而調節適當的照明亮度，以達到指引照明及智慧節能的功效；同時也兼具居家和工作場所的安全保障。

關鍵字：紅外線感測器、人體紅外線感測器、微波感應器

Abstract

In the era calling for energy saving and carbon reduction, how to reduce the energy dissipation from the residential and commercial lighting systems becomes an important issue. Apart from daytime illumination, the power consumption of the nighttime illuminating stairs can't be ignored either. Many kinds of sensors are embedded into various lighting devices such as infrared sensor, passive infrared detector, microwave sensor, and so on. However, these sensors can only be triggered when people approach them; thus, they are unsuitable for being used as guiding illuminations in stairs. To adjust the brightness of illuminations, we try to combine PIR sensors with ultrasonic sensors. When people approach the sensing field, the lighting system can adjust the brightness according to the sensor measurements. In addition, if someone is lingering outdoors, the camera will be turned on to capture images and warn the house owner at the same time. Therefore, our design can adjust appropriate brightness according to where the person is located. It not only can be the guiding illumination but intelligent energy-saving device; meanwhile, it can also tighten the security of houses and work-spaces.

Keywords: Infrared sensor, passive infrared sensor (PIR), microwave sensor.

壹、前言

由於能源的消耗與排碳量息息相關，在節能減碳的環保意識抬頭之下，日常生活中所有電器的耗電都必須加以妥善管控，其中燈具照明就占了電能使用相當高的比例。因此，平時若能節省燈具不必要的耗能，相信對於節能的效果會有顯著的助益。相較於白天，夜晚更需要燈光的照明，無論是在警衛室、自家門前、車庫、樓梯間、抑或是暗巷等，都相當需要使用照明燈裝置。然而目前市面上相關感應燈光產品屬性皆為：人靠近全亮燈而遠離全暗燈；如此若應用於樓梯間或走廊，在夜間平時無人接近狀態下，環境周遭一片漆黑，並不利於人從遠處走來時的指示引導。因此，現今感應燈的使用都仍搭配一般恆亮燈光作為指示引導，而當有人靠近時，方才啟動感應燈光。在此感應燈的主要作用，感覺反而是著重於警示效果，而平時仍會另外有其它燈具光源的存在。然而，若是夜間燈具持續照明又過於浪費能源，且白天經常會忘記關閉。因此，我們作品的設計動機：乃在於亮度充足時關閉燈光，而於亮度不足時自動開啟微亮燈光作為指引照明用。隨著人走動愈來愈接近，燈光亮度也就逐漸愈來愈亮，以此來達到節能與照明的功效。此外，本智慧節能照明燈系統無論在全亮或全滅的狀態之下，若感應長時間有人滯留於門口，並配合門鈴的感知，以判定為客人來訪或陌生人意圖不軌。如此裝置將啟動攝影機及警示告知，並供使用者經由網路可於遠端電腦即時瀏覽當下門口狀況，或是查詢觀看照明裝置所紀錄異常狀況下之相片，可達到預防宵小之功用。因此，此一照明燈裝置亦可成為輔助居家安全之工具，以提供兼具保全的附加功能，進而可增添其實用性。

貳、感應照明裝置型態

傳統大樓門口、走廊或樓梯間照明燈主要是以手動控制其電源開關，雖然其價格便宜，但光線充足時，若無養成隨手關燈的習慣，而所浪費的電費亦是可觀。隨著時代與科技的演進，此類照明設施都逐漸改為自動感應來控制開關，以達到使用的便利性。目前市面上照明燈具除了一般傳統手動開關、或以紅外線近距離遮蔽控制外，其餘則是採用感應控制方式。表 1 所示為各類型開關裝置之基本操作原理及其特性，從中發現大部分感應照明裝置都僅能

達到「人來燈開，人走燈滅」的效果；其中採用人體紅外線感應 (PIR Motion Sensor) 的方式是最為廣泛被使用 (Ladyada 2014)，若採用本系統則可依人體的靠近距離，進而提供燈光亮度的調節，將可適用於樓梯間或走廊等公共區域。

表 1 照明裝置感應型態特性

開關型態	使用方式	價格	優缺點
手動開關	用手直接開啟或關閉燈具電源開關	便宜	設置簡單方便，使用者常忘記關閉燈具造成浪費電源。
紅外線遮蔽	當感應距離內有物體遮蔽時，則觸發開關。	便宜	可取代手動開關，但感應距離較短。
PIR 紅外線	進入感應範圍內，偵測到人體溫度時觸發。	合理	針對人體感應且範圍廣，但僅能控制全亮或全暗，不適用於樓梯間。
微波感應式	利用微波偵測是否有物體移動，即開啟燈具。	較高	具穿透感應特性且範圍廣，在物體停止移動後關閉電源，可能需用燈時被關燈。
本裝置： PIR 偵測結合超音波感應	進入 PIR 感應範圍內，觸發超音波感測物體距離來調節燈光亮度。	合理	兼具指引照明與節能，唯超音波感應周遭屏障物，可能會造成誤判。

參、門口燈裝置設計

由於市售感應照明燈裝置僅能感應開啟點亮，而無感應則關閉熄燈，其效益和傳統手動開關燈具無異。因此為了改善節能效果，在基於兼具夜間引導照明及節能的設計理念下，本智慧節能照明燈裝置嘗試利用 PIR 偵測人體是否進入感應區域，再藉由觸發超音波在感應範圍內偵測距離門口的遠近，以控制 LED 燈具之亮度具漸進式增強的效果，進而可使夜歸家人或訪客在遠處看見亮光的指引，又可減少無人靠近門口時能源的消耗。

一、系統架構與功能

圖 1 所示為本門口燈裝置之系統架構，其中嵌入式系統模組作為本裝置之主控單元，用以接收各種偵測信號，包括：人體紅外線感應、超音波感應、及亮度感應等信號。當 PIR 感應器模組偵測到人體在紅外線感應範圍移動時，將觸發超音波模組發射超音信號，然後感應接收來自物體反射回傳的距離脈波。並依距離脈波寬度由主控單元判斷距離的遠近，進而藉由 PWM 產生電路以 PWM 信號驅動控制 LED 燈具之亮度 (陳信全, 2008; 陳信全, 2009)；亦即依照人體靠近門口距離長短，使其燈源亮度從遠處微亮直至接近門口逐漸明亮。此外，若有人駐足門口過久的情況下，主控單元則會啟動 CCD 攝影機拍照及啟動蜂鳴器警示，此時屋主可藉由網路連線本裝置進行遠端觀測，也附帶提供了兼具保全的功能。而若當感光電路偵測環境亮度充足時，本裝置將自動關閉 LED 燈源，但此時仍啟動 PIR 模組及超音波感測模組，以保持警戒偵測的效果。

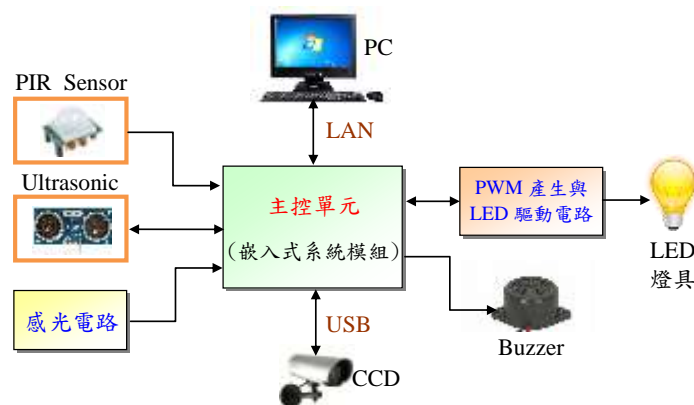


圖 1 系統結構方塊

二、硬體電路設計

本系統除主控單元電路外主，尚包含：感光電路、感測器模組電路、PWM 產生電路、與 LED 驅動電路，以下將分別加以說明：

(一) 主控單元電路

主控單元所使用的嵌入式模組 M502 (Artila Electronics 2009)，是採用 ARM9 晶片作為處理器，且內建有 Linux 作業系統 (如圖 2 所示，圖片源自 Artila 公司網頁)，乃作為系統之主控單元，用以接收及處理來自所有感應器之偵測信號；同時亦可提供予管理者電腦以網路連

接存取資料。此 M502 模組具有 128MB 的 NAND Flash 記憶體、2MB 的 Data Flash 記憶體、64MB 的 SDRAM，並可提供 1 組 Ethernet 網路介面、2 個 2.0 USB 主連接埠、4 組 UART、1 組 SD 卡記憶介面、1 組 SPI 介面、各 1 組 I2C 和 I2S 匯流排、32 個 GPIO、以及 1 組對外的區域匯流排，此外該模組亦內建有 RTC 電路，以持續保存系統時間。在此嵌入式系統平台所提供的資源考量下，本系統將使用 GPIO 連接控制 PWM 產生、警示蜂鳴器、以及各感應器之偵測；而以 USB 埠直接連接控制 CCD 攝影機。此外，藉由網路介面亦可與後端管理電腦連線 (陳信全，2013)。

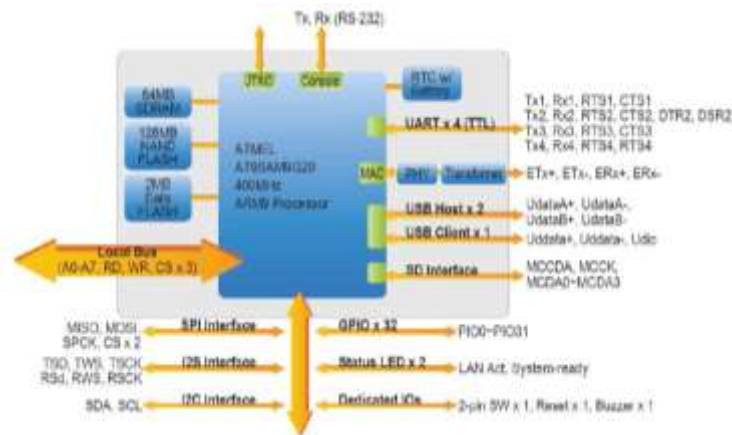


圖 2 嵌入式系統模組架構

(二) 感光電路

透過具負感光電阻係數之光敏電阻的特性，在光線愈亮時，電阻值會隨光源亮度下降，使得電晶體 9013 不導通，此時光感應信號：SUN-DET 輸出為高準位。反之，光線愈暗光敏電阻值愈大致使 9013 導通，SUN-DET 輸出為低準位。此信號將可供裝置判斷是否開啟或關閉 LED 燈具 (如圖 3)。

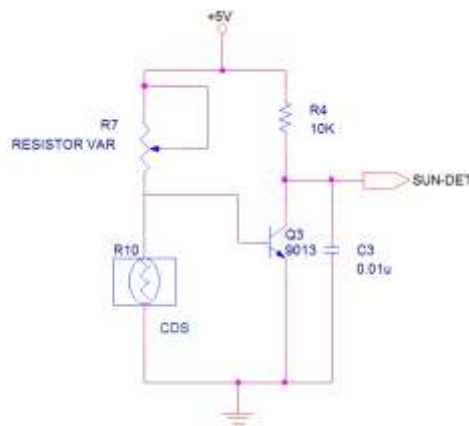


圖 3 感光電路

(三) 感測器模組電路

本裝置對於人體的感應：是採用針對人體紅外線信號偵測的 PIR 感應模組 (Ladyada 2014)，只要提供電源即可。感應範圍內若有人體動作，則輸出 Hi，反之則輸出 Lo。此外，模組內建電路亦提供感應靈敏度與輸出延時時間的調整。因此，PIR 模組偵測結果輸出直接連接至 M502 之 GPIO 接腳即可。至於距離的感應，則採用 SRF-04 超音波測距模組 (Robot Electronics 2003)。該模組除輸入 5V 電源外，尚需輸入一觸發信號 (TRIG) 以啟動超音波信號發射，然後藉由接收障礙物反射之超音波信號，將輸出一隨距離遠近之脈寬信號 (ECHO)，亦即愈近脈寬愈窄，反之則愈寬。為避免當 ECHO 脈寬較短時不易由 M502 測得，此 ECHO 信號會先觸發單擊器 (74HC121) 產生一固定脈寬信號(約為 SRF-04 可偵測範圍的 ECHO 脈寬：20ms)，以供 M502 正確偵測；而其脈寬大小值則再由可程式規劃計數器晶片(82C54)讀取。有關動作時序如圖 4 所示 (Robot Electronics 2003)。

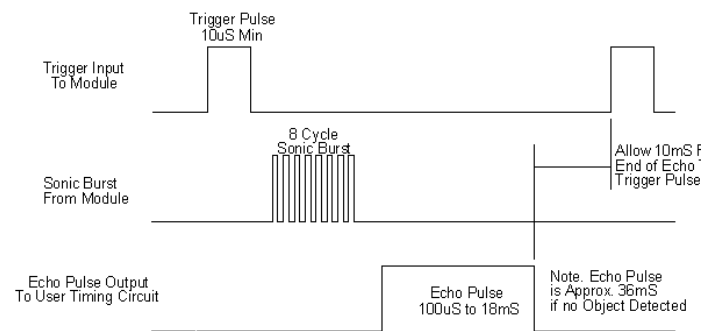


圖 4 SRF04 動作時序

(四) PWM 產生電路

主要是由主控單元 M502 以程式操控可程式規劃計數器晶片(82C54)，首先規劃其 Counter 0 工作於波形產生器模式，以產生所要的 PWM 頻率：3.96K Hz。然後再規劃其 Counter 1 為單擊器模式，並以 Counter 0 所輸出 3.96K Hz 的方波觸發單擊器，進而可產生責任週期為 0~99.6% 具 8 位元解析度的 PWM 信號 (黃新賢, 2008; Intersil Co. 2003)。此外，超音波模組所收到的 ECHO 脈寬信號，則利用 82C54 其 Counter 2 的計數，以作為脈寬時間長短的讀取。當 ECHO 信號愈窄時，將產生責任週期 (Duty Cycle) 愈高之 PWM 信號，反之 ECHO 信號愈寬時，則產生較低責任週期之 PWM 信號。進而可將此隨距離遠近所產生相對應之 PWM 信號送予 LED 驅動電路 (如圖 5)。

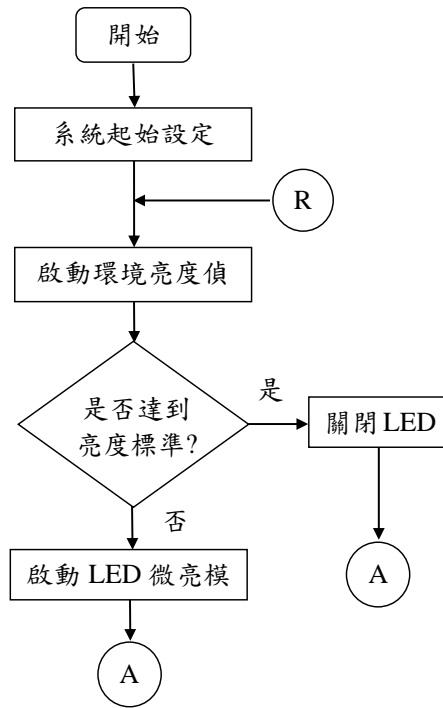


圖 7 主控流程-1

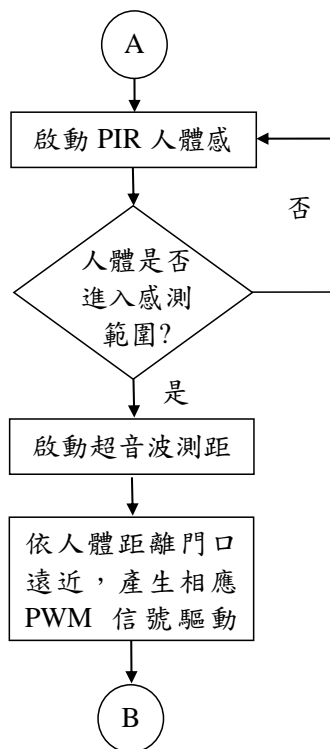


圖 8 主控流程-2

有關 PWM 控制設定值隨距離遠近之產生演算法如下：

$$PWM = \left(\frac{CNT_{DIS} - CNT_{MID}}{100} \right) + Base$$

其中 CNT_{DIS} 為超音波測距所產生相對應於距離遠近脈寬的計數值， CNT_{MID} 為可量測距離脈寬的中間計數值，而 $Base$ 則為可設定 PWM 範圍的中間基準值。當距離愈近時，則其計數值愈小，而所得到的 PWM 設定值，將會產生愈大責任週期的 PWM 信號 (Chen, H.-C 2014; Chen, H.-C 2015)。因此，LED 燈光亮度則相對變得愈亮；反之，則 LED 燈光變暗。此外，當環境亮度不足狀態下，若目前所得到的 PWM 設定值已超過預設微亮的設定值時，則 PWM 設定值即保持於預設微亮設定值。

(二) 保全監控流程

無論何時，裝置一直啟動 PIR 人體感測及超音波距離偵測，以判斷是否有人體進入感應範圍及距離門口的遠近。若有人在距離門口最近的情況下，逗留超過三分鐘，裝置會配合門鈴感知是否為訪客到來，而若是陌生人蓄意滯留，則將啟動攝影機拍照，同時亦會驅動蜂鳴器警示以告知屋主。此時所拍攝之照片將會儲存於 M502 的資料庫中 (陳信全, 2015)，以方便屋主以網路遠端瀏覽，或是查詢觀看異常狀況時的影像 (如圖 9 所示)。

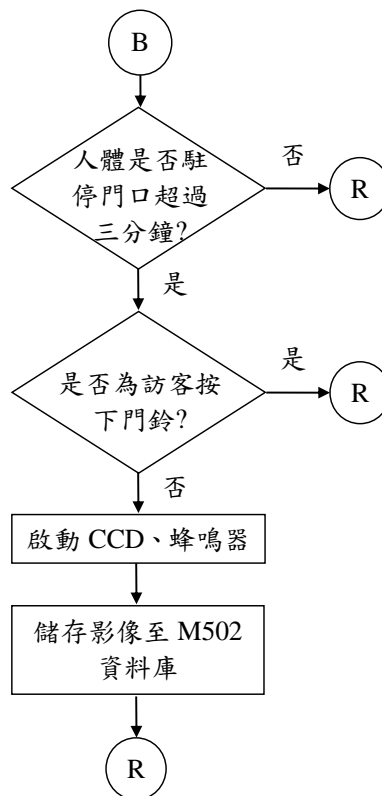


圖 9 保全監控流程

(三) 網頁架構

此部分網頁程式主體是以動態 HTML 程式完成，若僅由標準 HTML 語法是無法達成。因此，尚須藉由 PHP 與 JavaScript 程式的支援。其架構可分割為三個區塊 (如圖 10)，分別是：主選單區、顯示區、與偵測區。其中偵測區是被隱藏顯示，且每隔 2 秒加以讀取來自於 M502 的異常訊息檔案。當門口端有陌生人駐停過久時，除裝置會發出警報聲響外，亦會同步於遠端電腦之網頁顯示警告訊息及音效。主選單區可提供即時瀏覽、歷史紀錄、使用說明、及回至主頁面的功能超連結，而顯示區則是可依所點選的功能加以顯示主頁面、目前 CCD 所拍攝之影像、異常狀況時之歷史影像紀錄、或是使用說明文件。

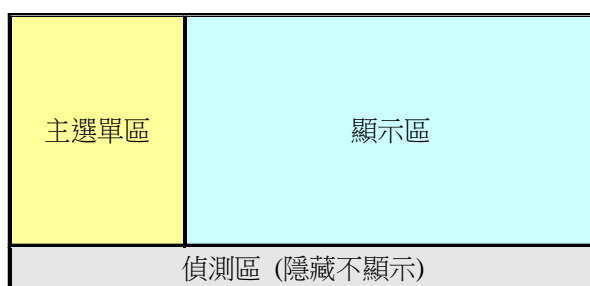


圖 10 網頁分割配置

表 2 照明亮度實驗數據表

感應人體與門口距離 (m)	亮度(%)
4m 以上	18% (微亮)
3.5m ~ 4m °	20%
3.2m ~ 3.5m °	22%
3m ~ 3.2m °	24%
2.3m ~ 3m °	26%
2m ~ 2.3m °	28%
1m ~ 2m °	32%
0.7m ~ 1m °	42%
0.2m ~ 0.7m °	50%
0.2 m °	66%

四、系統實作成果與分析

為了達到使燈具實現可以依人體距離遠近來做亮度調整的功能，我們在一開始的實驗中，僅用超音波來做為測量人體遠近的感測器，但發現若有多個物體在超音波感測範圍內，會導致其誤判使得燈具亮度忽亮忽暗並不穩定。為了改善此缺點，故加入了 PIR 紅外線感測器；在 PIR 的感應範圍內感應到人體才啟動超音波感測距離，並配合軟硬體協同處理，進而解決了超音波易誤觸發的缺點，並且改善了 PIR 模組無法偵測人體遠近的功能。經過多次實驗調整距離遠近的相對應亮度，使其適用於居家照明在樓梯間、走廊等區域所設定的最佳亮度，如表 2 所示。

此外，為了彰顯本系統在夜間節能的效果，我們評估本裝置主要元器件的耗電狀況，並經由實際的量測，而得到如表 3 所示的功耗量測表。表中所列元器件的功率消耗乃指處於平時運行的偵測狀態所測得，而網路 CCD 未列入，乃因其僅為門口異常狀況下的輔助設備，在未啟動拍攝時耗能甚低。由於在夜間絕大部分時間本裝置都是處於偵測運行狀態下，LED 燈光僅維持於 18% 的亮度，亦即驅動 LED 燈光的 PWM 責任週期約為 18%。因此，系統整體的消耗功率約為 946mW。在使用相同的 LED 燈泡(12V 3W)的條件下，對比於恆亮的燈具裝置，本系統所消耗功率不及恆亮燈具的 1/3；而以夜間約 12 小時來評估，就更可彰顯其節能的成效。若在使用高功率燈具的情況下，當然本系統的節能效果就會愈加顯著。當家人返回家門口或門口有陌生人駐留的狀況發生時，雖然會增加一定的額外功率消耗，然而由於發生頻率低及存在時間短，以整個夜間時程來評估，本系統仍然可有效的節能。目前超音波測距感測器與 PIR 感應器皆已模組化，且拜賜 Arduino 單晶片微控制器的推廣，致使這些周邊感測模組的價格，從過往動輒千元降至百元左右。像是 PIR 模組(ADIO-PIR)約 145 元，而超音波測距模組(SRF04)約為 120 元。因此，本系統雖採用 PIR 感應模組與超音波測距模組，然而所增加之建置成本，與因節能而省下的電費相比，在短時間內很快就能回本。

表 3 系統主要元器件功率消耗評估

元件、模組	功率消耗	工作電壓
嵌入式系統模組 (M502)	240mW	3.3V
PIR 模組 (HC-SR501)	0.25mW	5V
超音波測距模組 (SRF04)	150mW	5V
可規劃計數晶片 (82C54)	6.25mW@1MHz	5V
光耦合器 (A2200)	9mW@D=18%	5V
LED 燈泡	0.54W@D=18%	12V

本團隊在進行充分討論與蒐集相關資料後，隨即依所設計電路於麵包上進行功能驗證。再經由量測、分析、與修正後，便著手進行電路佈局、洗版、與電路製作；圖 11 與圖 12 所示分別為：本裝置之成品雛型與網頁人機介面（執行及即瀏覽時）。最後藉由嵌入式系統模組平台的控制，並配合所撰寫的 C 程式與網頁程式進行軟硬體整合測試，經過不斷的調測，進而完成下列功能：

（一）環境亮度自動偵測

可自動判別環境亮度是否達到需要照明的程度，若亮度不足且無人靠近時，將 LED 開啟於微亮燈光狀態。若亮度足夠，則關閉 LED。

（二）燈光亮度節能控制

當有人進入感應範圍時，可依人體靠近門口的距離遠近，進行適度燈光亮度的調節，以兼具指引照明及智慧節能的功效。

（三）門口攝影輔助保全

無論何時，若有陌生人駐足門口過久，都將啟動攝影機拍照及蜂鳴警示。

（四）網路遠端監看查詢

屋主可藉由網路遠端連即時瀏覽當下狀況，或是查詢觀看異常狀況時的影像。



圖 11 裝置成品雛型



圖 12 網頁人機介面

圖 13 所示為系統於現場環境實際運作下的情境照片，圖上左方顯示：當家人從遠端走回家門，且尚未進入偵測有效距離時，門口燈光保持微亮指引狀態。而圖上右方與圖下則顯示：當家人逐漸靠近家門時，本系統將隨接近門口的距離，而調增門口燈光的亮度。



圖 13 系統實測情境

肆、結論

為可提供能於夜間隨人體靠近門口距離，而調節適當的照明亮度，以達到指引照明及智慧節能的功效，我們研發製作了以 PIR 和超音波雙重感應為開關的智慧節能門口燈裝置。經由開發與測試，本作品確實可達到預期調控燈光亮度的效果，進而減少不必要的電源浪費。由於其成本合理，並進一步改善了市面上感應照明燈具僅有開啟與關閉燈光的缺點；而且也附加了攝影防盜的功能，如此將使得傳統門口燈裝置更有效提升其實用性與應用性。

參考文獻

- 黃新賢、羅希哲、朱旗生 (2008)。微電腦介面控制實習-使用並列埠。全華圖書股份有限公司。
- 陳信全、曹昌翔、王婷暘 (2015)。紅外線智慧感應停車管理系統。2015 教育部第十屆數位訊號處理創思設計競賽論文集，151-155。
- 陳信全、宋育霖、曹昌翔、溫佳達、王婷暘 (2013)。紅外線傳輸為基礎之停車門禁管理系統。2012 教育部第八屆數位訊號處理創思設計競賽論文集，1-4。
- 陳信全、林玟玲、賴古梵 (2009)。以藍芽傳輸為基礎之可編程燈效系統。2009 第五屆全國電子設計創意競賽論文集，219-224。
- 陳信全、林玟玲、賴古梵 (2008)。無線藍芽音控燈光系統。2008 年教育部第四屆數位訊號處理創思設計競賽論文集，C47-C50。
- SRF04 Ultra-Sonic Ranger Technical Specification (2003). Retrieved from <http://www.robot-electronics.co.uk/htm/srf04tech.htm>
- Ladyada (2014), *PIR Motion Sensor, Adafruit Learning System*, 1-24.
- Intersil Co. (2003), *CMOS Programmable Interval Timer*, from <http://www.intersil.com>
- Artila Electronics (2009), *M-502 Industrial ARM9 Linux-based System-on-Module*, 1-4.
- Chen, H. C. (2015). Resolution extension of counter-based DPWM using self-triggered method. Paper presented at the 2015 IEEE International Conference on Consumer Electronics-Taiwan, 354-355.
- Chen, H. C. (2014). Design of a counter-based DPWM using RC charge. Paper presented at the 2014 International Symposium on Computer, Consumer and Control, 1267-1270.

模組教具對學生的工程概念學習成效影響之研究

A Study of the Effects of Modular Teaching Aids on Learners' Engineering Concept Learning

賴恩瑩 臺北市立民族國中

摘要

本文旨在探討模組教具對學生的工程概念學習成效之影響，以提供學校日後推動工程教育之參考。本研究對象為臺北市立某高中二年級 10 個班級的學生，共計 417 人，分為實驗組 209 人，控制組 208 人。

主要研究方法為準實驗研究法，並採用不等組前後測實驗設計，以模組教具教學單元-機械獸、學習單及工程概念學習成效評量表為研究工具。在資料分析方面，利用 SPSS 20.0 for Windows 進行平均數、標準差、獨立樣本單因子共變數分析及獨立樣本雙因子共變數分析。

研究結果發現，模組教具應用對學生的工程概念學習成效優於傳統教學，模組教具應用對學生的工程限制概念及工程最佳化概念學習成效沒有顯著影響，模組教具應用對將近四成學生的工程預測分析學習成效優於傳統教學。

關鍵字：教具、模組教具、工程概念。

ABSTRACT

This study was to examine how modular teaching aids influenced different learners' engineering concepts. This also served as a reference for schools to promote engineering education. The research subjects of this study were ten classes of eleventh graders from a Taipei Municipal Senior High School. They totaled 417 people with 209 people as an experimental group and 208 people as a control group.

The major research method was characterized by a quasi-experimental research design and a pre-post-test design. The research tools and instruments included the modular teaching aids-oriented instructional units—mechanical beasts, worksheets, and Engineering Concept Test. Concerning the analysis of the research data, this study utilized SPSS Statistics 20.0 for Windows not only to calculate the average and standard deviation but also to perform one-way ANCOVA and two-way ANCOVA.

The major research findings were: (1) the modular teaching aids assisted the students significantly better in learning engineering concepts than the traditional teaching modes; (2) the application of the modular teaching aids exerted no significant impact on the students' learning of both constraint concepts and optimization concepts in engineering; (3) the modular teaching aids were more conducive to approximately forty percent of the students' learning of predictive analysis concepts in engineering than the traditional teaching modes.

Keywords: teaching aids, modular teaching aids, engineering concept

壹、前言

中小學工程教育的教學活動之目的，並非培養學生未來從事工程相關領域的工作，而是藉由適當的教學策略與活動來增進學生的工程相關知識，進而提升學生對工程的興趣，以面對未來之所需，因為當工程與科技教育相互結合時，國家便可以有更大的競爭力來面對下一世紀的挑戰（Starkweather, 2004）。

教具可以激起學習者的興趣並且幫助老師容易地解釋概念(Rasul,Bukhsh, & Batool,2011)。許多科技材料在完成成品後就不能拆卸重複使用於其他單元裡，如此就顯得很不經濟。模組教具可以使老師教學時會比較方便而且可以隨時拆裝、調整、重建，變成其它教學單元，使用起來範圍相當有彈性。學生以模組教具為素材，不但取得容易且節省許多購買專用零件經費與加工製造的時間；在工程教育課程中，更能將有限的時間專注於主題的發想與探討，以及減少測試、調整、嘗試錯誤時的無謂浪費。模組化教具為支援教學模組，所開發設計的教具。本研究以「LEGO 9797」為教具，教學內容為「機械獸教材」的教學模組，因此，「LEGO 9797」中的相關教材為本研究的模組化教具。

工程教育的課程內容需要符合真實世界的需要(Dunsmore, Turns, & Yellin, 2011)，且工程教育在中小學階段，應該教導學生工程概念，工程概念課程應依據概念的學習與發展理論(The Theory of Conceptual Learning and Development, 簡稱CLD理論)，從具體模組教具教學，教導學生如何辨識，學生學會如何分類，進而形成相關工程概念。

對於學生的工程教育來說，模組教具是否在工程概念的學習是否會產生影響，這是值得探討的問題；Dale(1969)主張學習者若要有效地運用更多的抽象教學活動，他們必須先建立有許多具體經驗的庫存，這樣他們才能對抽象符號描述的現實賦予意義。因此，本研究以「Dale經驗金字塔」為理論依據設計以「LEGO 9797」模組教具，探討模組教具應用對學生的工程概念學習成效之影響。

貳、文獻探討

一、模組教具

教具 (teaching aids) 的設計是為讓學習過程更有效、更快速、更滿意的設備或機械裝置，教具將複雜的內容簡單化、組織化，並且很完美地將新舊概念相結合。所以，教具有利於學生了解教師所教導的課程內容(Jamian & Baharom, 2012)。本研究在發展教具的時候會配合教材的內容，讓教材的內容能充分的融入教具中，使學生在操作教具時，能有興趣且容易學習課程內容。

「教學模組」(teaching module) 是一個主題式教學的教案，或稱之為一個「大單元教學計畫」。陳文典提出教學模組具備統整性、實用性、彈性化及趣味化特色(曾常亮, 2010, 頁22-頁23)。教學模組主要是一種把教學組織起來的材料，通過使用教學模組，老師做出課程決定用計時任務的教學和適當的期限，當教學時，他們合併他們認為相關內容與並且補充給學生，教師憑藉著既有的知識去決定何種教學模組要實施或不要實施，這種過程在教師生涯中不斷的持續著(Saleh, Rahman, & Saleh, 2010)。教學模組是一套提供教師與學生使用的材料，可以用來教學與自學，沒有固定的模式，但許多教學模組採用主題式架構(曾常亮, 2010)。在大主題的教學目標下，發展出相關的次主題或子問題，再依據次主題的性質，以多樣的教學活動，達到教學目標。本研究以「機械獸教材」為一教學模組，有「齒輪」、「槓桿」、「扭力」及「連桿」等四個次主題，教導學生機械獸教材的工程概念。

Dale(1969)主張學習者若要能有效地運用更多的抽象教學活動，他們必須先建立有許多具體經驗的庫存，因此，本研究在設計教具時，以「Dale經驗金字塔」為理論依據，視聽教育學者戴爾(Dale, 1969)設計一經驗塔(Cone of Experience)，說明了學習過程是由具體而抽象，循序漸進，圖1 為戴爾經驗金字塔。

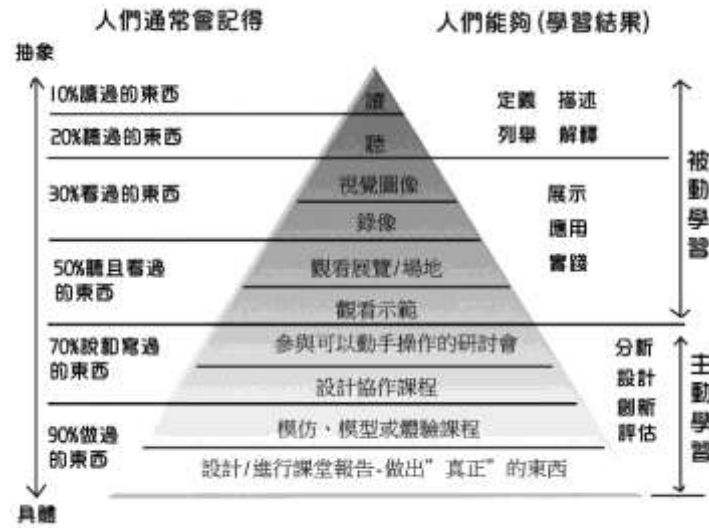


圖1 戴爾的經驗金字塔

資料來源:修改自Panadero, Roma, & Kloos (2010)

依據圖1，戴爾經驗之塔理論要點是：

1. 經驗之塔最底層的經驗最具體，越往上升，則越趨抽象。
2. 教育應從具體經驗入手，逐步進到抽象，有效的學習之路，必須充滿具體經驗。
3. 教育不能僅止於具體經驗，而要向抽象和普遍發展，要養成概念。
4. 學校中應使用各種教育工具，可以使得教育更為具體，從而造成更好的抽象學習。

模組化教具的內涵為支援教學模組，所開發設計的教具。本研究以「Dale的經驗金字塔理論」為理論基礎，從具體經驗加深學生的印象，進而轉化成抽象的機械獸工程概念。以「LEGO 9797」為教具，教學內容為「機械獸教材」的教學模組，因此，「LEGO 9797」中的相關教材為本研究的模組化教具。

二、工程概念

Chu 和 Treagust (2006) 認為概念的發展是促成學生有效學習為主要目標，而概念的來源是影響學生概念學習與發展的重要因素。概念的分類與發展階層理論很多，但是以「概念

的學習與發展理論 (The Theory of Conceptual Learning and Development, 簡稱CLD理論) 最為常被學者引用, 此理論為美國威斯康辛大學教授Herbert 和Klausmeier 所提出, 再加上Ghatala、Frayer 等人補充, 使之完備。

CLD 理論關注於四個連續階層: 具體階層、辨識階層、類別階層、形式階層等四個階層的概念獲得, 以及概念在了解原則、分類關係、解決問題上的應用 (陳嘉斌, 2009)。

- (一) 具體階層 (Concrete level) : 學習者可以辨認出曾接觸過的事物, 如「齒輪」這個概念, 當第一次看見齒輪後, 爾後再看見齒輪, 可以正確辨認出「齒輪」, 即是達到具體階層。
- (二) 辨識階層 (Identity level) : 說出已學習過的例子, 之前學習的事物, 以不同的角度、形式出現時, 仍然可以辨認且說明, 如「蝸桿」雖然改變了外觀樣式, 但基本上仍具有齒輪的概念, 能清楚的說明並將歸類蝸桿為「齒輪」的概念, 就是達到辨識階層。
- (三) 類別階層 (Classificatory level) : 推論至新的例子, 對於同類東西兩個以上不同的例子, 依不同的屬性分類, 再遇見屬於同屬性的事物時能將其推論並歸類於同種概念, 例如在一堆齒輪中, 能分類成正齒輪、內齒輪與傘形齒輪等類。
- (四) 形式階層 (Formal level) : 學習者可以正確的辨別概念例子, 說出概念名稱, 並可以具體的說明某項概念的定義屬性, 且能夠清楚的分辨此概念與其他類似概念的差異之處, 比較出其異同, 如學習者可以依自己歸納屬性建立的假設, 辨別不同齒輪的概念, 並驗證假設, 比較出各種結構的特性與使用時機及其異同之處。

概念本身是抽象的, 常常是周邊知識與其他概念的複合體 (張玉山, 1992)。一般而言, 科技雖然快速地變遷, 然而它所運用的概念與原理卻相對地不變。因此, 概念學習的途徑是把工程系統或現象中的主要概念與原理辨認出來, 然後透過結構化的教學活動讓學生了解這些概念與原理, 進而產生學習遷移的一種教學途徑, 這多方面的概念是緩慢並逐步構建 (Devichi, & Munier, 2013)。

經過NCETE (the National Center for Engineering and Technology Education) 所作的努力, 工程在工程設計領域的三個核心概念, 已成為需要在中學階段科技教育的關鍵領域。這三個

工程概念為限制 (Constraints) , 最佳化 (Optimization) 和預測分析 (Predictive Analysis) , 簡稱COPA。COPA是在讓學生理解工程設計能夠做的所需的概念性知識的核心(Merrill, Custer, Daugherty, Westrick, & Zeng, 2008)。

以下就這三個工程核心概念加以詳列:

- (一) 限制 (Constraints) 的重要性已列在科技素養標準中: 《科技的研究內容》(International Technology Education Association, 2000)。在八個標準, 限制被視為一個反覆的過程, 通常要求學生要考慮成本、經濟性、可行性、時間、材料和環境影響, 限制的考慮必須要完整的。
- (二) 最佳化(Optimization)設計的延伸超越了簡單的生產設計, 遵循限制或標準定義。最佳化的目的是要達到“最好”的設計, 相對於一套優先標準或限制。這些措施包括最大化的因素, 如生產力、強度、可靠性、效率、利用率及使用年限等。為了產生最好的設計, 工程師在設計過程期間必須做很多技術和管理方面的決定。全部這樣決定的最後的目標將使不良的效應減到最小, 在使合乎需要的效應最大化時, 生產「更好, 與人和自然的法律相調和的更有效率, 不那麼昂貴的解決辦法」(Ertas & Jones, 1993)。
- (三) 預測分析(Predictive Analysis): 在對科學、工程和科技職業的評論, Deal(1994)指出工程師應用數學和科學的原則以解決問題, 這些工具推展到設計過程的分析的階段描述一個工程的不可缺少的部分 (Harris & Jacobs, 1995)。Eekels (1995) 的預測組件的功能在工程設計過程中, 觀察如何指出如果有條件的預測聽起來很不利的, 那麼我們一般簡單地放棄這一行動, 並設計另一個動作, 在建造一設計的原型之前, 這是明智的決定。

完整的工程概念必須包含限制、最佳化與預測分析三要素; 限制為考慮成本、經濟性、可行性、時間、材料和環境等影響, 工程限制的考慮必須要完整的; 最佳化的目的是要達到“最好”的設計, 將不良的效應減到最小, 使生產力、強度、可靠性及使用年限等達到最大效應; Hayes (1989) 主張“三思而後行”的過程對於工程設計是至關重要的, 工程設計是預測而不是嚐試和錯誤的過程。

Brophy、Klein、Portmore和 Rogers (2008)分析工程教育如何能獲取科學、科技、工程和數學 (STEM) 相關的知識和技能，並提出幾個教學模式當作例子，說明工程課程如何與P-12課程相結合(Martinez-Jimenez, Salas-Morera, Pedros-Perez, Cubero-Atienza, & Varo-Martinez, 2010)，以下是基礎工程課程及活動：

塔夫茨大學工程教育推廣展中心 (CEEEO) 的核心目的是改善工程教育。為此，“CEEEO”的宣傳、研究和工具開發方面的工作，使工程和設計方便和可行在P-12教室。該中心在過去十年裡最顯著的項目一直是LEGO工程。LEGO工程項目圍繞塔夫茨大學和LEGO集團10年的合作關係；基於LEGO教育產品，LEGO提供工具和資源給教育工作者，最引人注目的是Mindstorms。該中心最初選擇的LEGO材料，其實現大多數的 P-12工程工作，能和大學程度一樣好；因為它們易於使用，使學生有動力進行動手做工程設計項目。這是以LEGO為模組教具，發展學生的工程概念的例子。

本研究以三個工程核心概念「限制、最佳化及預測分析」與「機械獸教學單元」中的教材內容，建立雙向細目表，編製「機械獸工程概念試題」，進行預試、正式施測，以評量學生機械獸工程概念學習成效。

參、研究設計與實施

本研究根據研究目的及相關文獻分析資料，分別為研究架構、研究對象、研究方法及步驟、實驗設計、研究工具與資料處理。

一、研究架構

本研究旨在探討模組教具對學生的工程概念學習成效之影響，本研究的自變項為模組教具，依變項為工程概念學習成效，以「工程概念試題」來測量，探討自變項、依變項間之關係。架構圖如圖 2 所示：

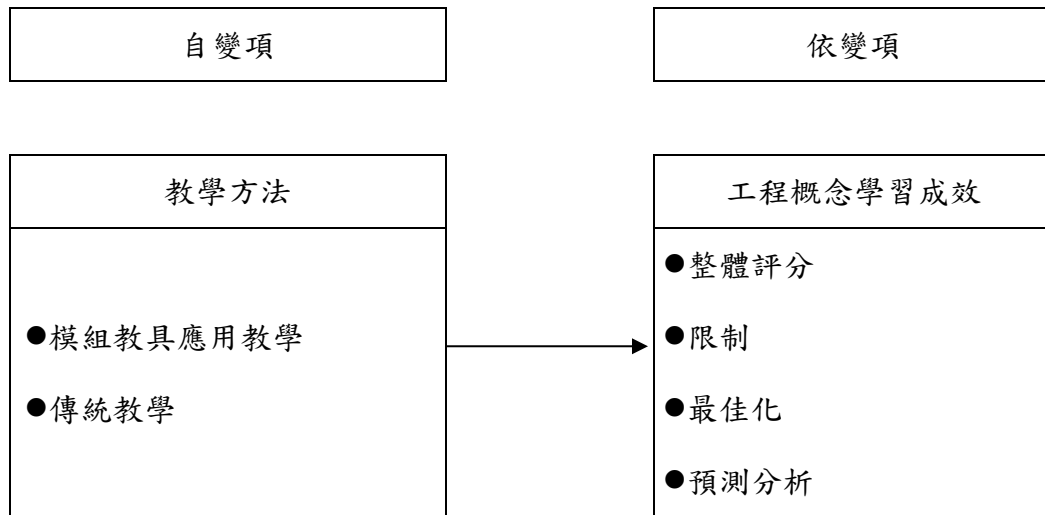


圖 2 研究架構圖

二、研究對象

(一) 在研究進行前，為修正試題、改進研究工具，共有二組預試對象。

第一組為臺北市立某高中二年級 3 個班級的社會組學生，男生 55 人 (45.8%)，女生 65 人 (54.2%)，共計 120 人，進行「機械獸工程概念試題」的預試。

第二組臺北市立某高中二年級 1 個班級的自然組學生，男生 28 人 (68.3%)，女生 13 人 (31.7%)，共計 41 人，進行「機械獸結構設計-以樂高模組為教具」教學活動流程的預試。

(二) 本研究對象為臺北市立某高中二年級 10 個班級的自然組學生，共計 417 人，男生 308 (73.9%) 人，女生 109 (26.1%) 人，分為實驗組 209 人，控制組 208 人。臺北市立某高中於二年級實施生活科技課程，每週兩節課，一節課 50 分鐘，每週生活科技的上課時數為 100 分鐘。

為避免因研究對象態度所產生霍桑效應(Hawthorne effect)與強亨利效應(John Henry effect)，對實驗內在效度的影響，均未告知兩組學生正在進行實驗。

三、研究方法與步驟

本研究方法為準實驗研究法，探討模組教具教學對高中學生工程概念學習成效的影響，並採用不等組準實驗設計(quasi-experimental design)中之前後測實驗設計(pre-post-test design)，分別進行為期5週9節課的實驗教學。將研究對象高中學生分為實驗組與控制組，以本研究的

「機械獸工程概念試題」評量工具對兩組學生進行前測，然後對實驗組實施模組教具教學，對控制組實施一般的生活科技課程教學，進行相同教學時數之後，以「機械獸工程概念試題」評量工具對兩組學生進行後測。

本研究為相關研究，以量化方式了解學生模組教具與工程概念學習成效之關係。研究流程依序為決定研究主題、設立研究目的、設計教學活動、確認量表工具、進行預試、進行教學活動與測驗、資料整理與分析及撰寫報告，本研究流程如圖 3 所示：

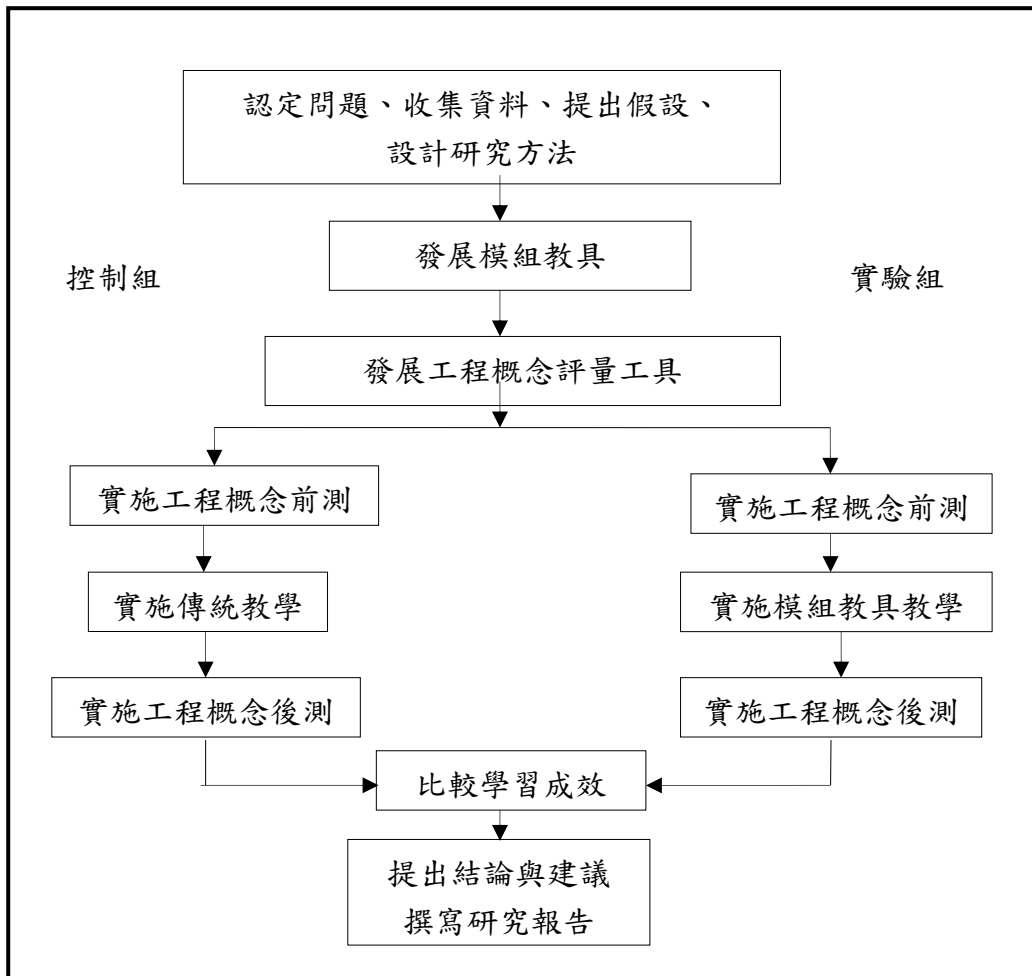


圖3 研究步驟圖

四、實驗設計

本研究從常態編班的高中學生之中，採用隨機方法抽取10個班級，再用隨機分派的方式將這些班級分為實驗組和控制組，兩組學生皆有畫機械獸設計圖。在實驗前，兩組學生均接受本研究的評量工具的前測驗 (O_1, O_2)，然後實驗組除進行一般的生活科技課程的教學外，另增加接受模組教具教學 (X)，並分組動手操作樂高、組裝成一機械獸；控制組則只接受一

般的生活科技課程教學，並沒有動手操作樂高，完成一實際作品。在經過5週的教學後，即讓兩組學生再接受評量工具的後測驗（ O_3 ， O_4 ）。最後將兩組的前後測成績加以比較，以瞭解實施模組教具教學的成效。

為達到本研究的研究目的，本研究採取不等組準實驗設計之前後測實驗設計。實驗設計如表1所示：

表 1 本研究的實驗設計

組別	前測	實驗處理	後測
實驗組	O_1	X	O_3
控制組	O_2		O_4

X：表示實驗組接受模組教具應用的實驗處理

O_1 、 O_2 ：分別表示兩組學生接受工程概念學習成效評量工具的前測

O_3 、 O_4 ：分別表示兩組學生接受工程概念學習成效評量工具的後測

教師對受教學生應一視同仁，避免產生比馬龍效應(Pygmalion Effect)，教師不能以偏概全的主觀心理臆測而產生月暈效應(Halo Effect)，對實驗內在效度產生影響。

五、研究工具

本研究以Dale的經驗金字塔為理論基礎，並參考張玉山(2011)「太陽能機械獸」教學單元而設計出「機械獸結構設計-以樂高模組為教具」教學活動單元，如圖4。

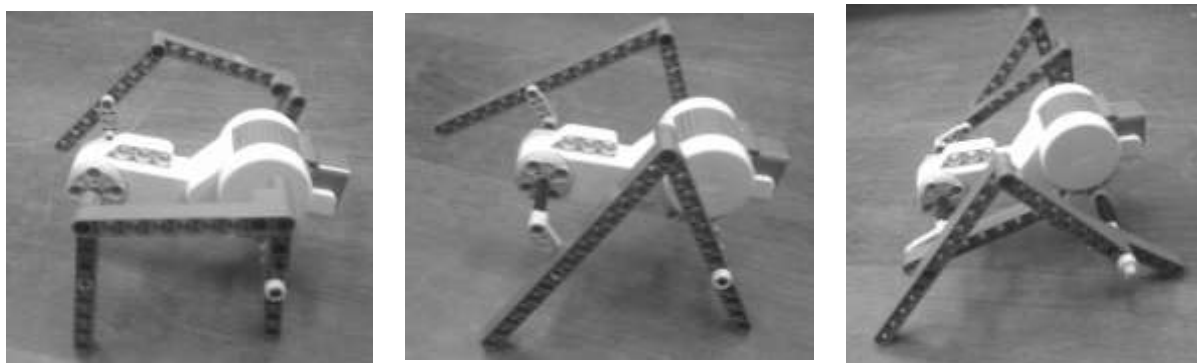


圖4 機械獸

提供實驗組學生相關模組教具，培養學生利用模組教具建立相關工程概念，有充分使用有限的材料達到最佳的效果，做出能行走的機械獸。研究教學活動設計估計上課時間為每節

課50分鐘，每週2節課，共計教學5週9節課450分鐘，並視教學情況酌量增減上課時間。參與本研究的學者專家包括對科技教育有多年研究及教學經驗之台灣師範大學科技系教授，以及教學經驗豐富、專業之台北市某高中生活科技教師。

本教學活動編製後將透過一位學者（台灣師範大學科技系教授）及兩位專家（台北市某高中生活科技教師、台北市某國中生活科技教師）進行審查，審查的內容包含教案內容、教學媒體(ppt)及教學流程等，建立專家效度與內容效度，在進行教學前以一個班級進行預試，確認可行性。

本測驗試卷是屬於非標準化測驗，教師自編成就測驗，主要為紙筆測驗，用以進行實驗處理之前後測，以瞭解學生工程概念認知方面，是否會因為實驗處理不同而有差異，其編製過程為預試題目40題，經回收有效的預試試卷後，進行試題分析，選取鑑別指數達.20以上，正式試題問卷為30題。試題結果分析如表2：

表2 機械獸工程概念預試試題結果分析

試題題號	高分組	低分組	難度(P)	鑑別度(D)	備註
預試/正式	答對率	答對率			
1/1	0.931	0.541	0.736	0.39	保留
2/2	0.414	0.194	0.304	0.22	保留並修改
3/3	0.552	0.25	0.401	0.302	保留
4	0.448	0.297	0.3725	0.151	刪除
5/4	0.586	0.378	0.482	0.208	保留
6/5	0.448	0.222	0.335	0.226	保留
7	0.345	0.2	0.2725	0.145	刪除
8	0.103	0.111	0.107	-0.008	刪除
9	0.172	0.057	0.1145	0.115	刪除
10/6	0.483	0.25	0.3665	0.233	保留
11	0.345	0.405	0.375	-0.06	刪除

12	0.276	0.222	0.249	0.054	刪除
13	0.241	0.143	0.192	0.098	刪除
14/7	0.552	0.278	0.415	0.274	保留
15/8	0.931	0.5	0.7155	0.431	保留
16/9	0.621	0.167	0.394	0.454	保留
17/10	0.793	0.257	0.525	0.536	保留
18/11	0.621	0.167	0.394	0.454	保留
19/12	0.517	0.139	0.328	0.378	保留
20/13	0.31	0.083	0.1965	0.227	保留
21/14	0.828	0.361	0.5945	0.467	保留
22/15	0.448	0.2	0.324	0.248	保留
23/16	0.621	0.194	0.4075	0.427	保留
24/17	0.931	0.583	0.757	0.348	保留
25	0.414	0.389	0.4015	0.025	刪除
26	0.241	0.306	0.2735	-0.065	刪除
27/18	0.724	0.361	0.5425	0.363	保留
28/19	0.621	0.417	0.519	0.204	保留
29/20	0.793	0.278	0.5355	0.515	保留
30/21	0.414	0.194	0.304	0.22	保留
31	0.414	0.278	0.346	0.136	刪除
32/22	0.483	0.139	0.311	0.344	保留
33/23	0.655	0.324	0.4895	0.331	保留
34/24	1	0.583	0.7915	0.417	保留
35/25	0.828	0.216	0.522	0.612	保留
36/26	0.69	0.324	0.507	0.366	保留
37/27	0.448	0.189	0.3185	0.259	保留

38/28	0.828	0.351	0.5895	0.477	保留
39/29	0.586	0.135	0.3605	0.451	保留
40/30	0.483	0.162	0.3225	0.321	保留

工程概念試題，經預試分析後，30題機械獸工程概念試題符合鑑別度0.2以上之標準，這30題機械獸工程概念試題之雙向細目表，如表3所示，且各題項與限制、最佳化與預測分析總分相關係數皆達0.3以上，如表4、表5、表6所示：

表3 機械獸工程概念正式試題雙向細目表

教學目標 教材內容	限制	最佳化	預測分析	小計
齒輪	3	2	1	6
連桿	2	1	4	7
扭力	4	3	1	8
力矩	2	3	4	9
小計	11	9	10	30

表4 限制題項與限制總分的Pearson 相關

題項	第 2 題	第 4 題	第 6 題	第 7 題	第 8 題	第 14 題	第 15 題	第 20 題	第 21 題	第 22 題	第 29 題
相關	.410**	.333**	.329**	.338**	.385**	.381**	.307**	.547**	.364**	.452**	.519**
顯著性	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.001	.000	.000	.000	.000

**. 在顯著水準為0.01時 (雙尾)，相關顯著。

表5 最佳化題項與最佳化總分的Pearson 相關

題項	第 3 題	第 5 題	第 9 題	第 16 題	第 18 題	第 19 題	第 23 題	第 24 題	第 28 題
相關	.409**	.307**	.421**	.519**	.448**	.370**	.301**	.498**	.492**
顯著性	.000	.001	.000	.000	.000	.000	.001	.000	.000

** . 在顯著水準為0.01時 (雙尾), 相關顯著。

表6 預測分析題項與預測分析總分的Pearson 相關

題項	第 1 題	第 10 題	第 11 題	第 12 題	第 13 題	第 17 題	第 25 題	第 26 題	第 27 題	第 30 題
相關	.422**	.482**	.362**	.478**	.388**	.437**	.499**	.312**	.361**	.360**
顯著性	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.001	.000	.000

** . 在顯著水準為0.01時 (雙尾), 相關顯著。

六、資料處理與分析

本研究主要採用量的資料分析, 研究者在量表及測驗施測完成後, 去除無效量表後, 將所回收的量表資料輸入電腦以SPSS 20.0 for Windows進行統計分析, 並針對本研究之研究問題進行分析與考驗, 茲說明如下:

1. 平均數: 以平均數來呈現「機械獸工程概念試題」的重要數值, 可代表數值資料的均衡點, 「模組教具應用教學」與「傳統教學」對學生工程概念學習成效是否不同的依據。

2. 標準差: 以標準差來呈現「機械獸工程概念試題」個題目填答之差異情形, 以此種方式進行分析時, 標準差差異越大, 表示離勢越大。作為探討高中生工程概念學習成效得分的離散情形。

3. 獨立樣本單因子共變數分析: 以學生前測的工程概念分數、工程限制概念分數、工程最佳化概念分數及工程預測分析概念分數為共變量, 不同教學法對依變項工程概念學習成效之「工程概念」、「工程限制概念」、「工程最佳化概念」及「工程預測分析概念」進行共變數分析。

4.獨立樣本雙因子共變數分析:主要在考驗不同教學方法是否對學生的工程概念學習成效產生交互影響及單純效果的影響。本研究以工程概念前測分數作為共變量，並輔以效果值（effect size）來說明研究結果的實際應用價值。

分析接受不同教學方式的高中生在工程概念學習成效之差異情形。研究對象為台北市某高中二年級 10 個班級的學生，有效樣本為 322 人，分為控制組 164 人，實驗組 158 人。分析方法採用單因子共變數分析，以教學方式為自變項，高中生在工程概念後測量表總分為依變項，工程概念前測量表分數為共變數，進行單因子共變數分析，分析結果如下：

(一) 描述性統計

實驗組與控制組前後測得分之平均數和標準差如表 7 所示，代表接受模組教具教學的學生，其後測平均數的工程概念、工程限制概念、工程最佳化概念及工程預測分析概念皆高於接受傳統教學的學生，且接受模組教具應用教學的學生，其標準差皆小於接受傳統教學的學生，表示其離散程度較小，代表實驗組的平均數代表性高。

表 7 實驗組與控制組學生在工程概念量表的平均數與標準差

工程概念 的類別	組別	人數	前測		後測	
			平均數	標準差	平均數	標準差
限制	控制組	164	19.94	7.79	22.71	7.40
	實驗組	158	20.63	6.01	23.88	6.49
最佳化	控制組	164	16.44	6.64	19.84	5.98
	實驗組	158	17.41	5.94	21.08	5.77
預測分析	控制組	164	16.42	5.64	18.54	6.15
	實驗組	158	16.31	5.08	19.87	5.42
量表總分	控制組	164	52.80	16.06	61.09	16.12
	實驗組	158	54.41	12.52	64.83	13.46

(二) 模組教具應用對學生的工程概念學習成效之影響

1. 迴歸係數同質性考驗

首先對實驗組和控制組之工程概念量表總分進行組內迴歸係數同質性考驗，所得結果如表 8 所示，其 F 值未達顯著水準($F=0.841$, $p>.05$)，符合組內迴歸係數同質性，故可進行共變數分析。

表 8 工程概念量表總分與教學方法之迴歸係數同質性檢定摘要表

變異來源	SS	df	MS	F	P
迴歸係數同質性	131.576	1	131.576	.841	.360
誤差	49726.714	318	156.373		

R 平方 = .309 (調過後的 R 平方 = .302)

2. 共變數分析結果

經統計分析結果得知，不同的教學法對高中生在工程概念總分之表現有達到顯著差異 ($F=4.147$, $P<.05$)，表示模組教具應用與傳統教學對高中生工程概念學習成效有顯著差異，結果如表 9 所示。實驗處理效果顯著，經實驗處理後，實驗組的學習成就 (調整後平均數等於 64.376) 顯著優於控制組 (調整後平均數等於 61.534)，代表模組教具應用的效果比傳統教學的效果好，如表 10 所示。

表 9 工程概念量表總分與教學方法之單因子共變數分析結果

來源	SS	df	MS	F	P
教學方法	648.206	1	648.206	4.147	.043
誤差	49858.290	319	156.296		

R 平方 = .307 (調過後的 R 平方 = .302)

表 10 工程概念量表總分之估計的邊緣平均數

組別	平均數	標準誤差	95% 信賴區間	
			下界	上界
控制組	61.534 ^a	.977	59.612	63.456
實驗組	64.376 ^a	.995	62.418	66.335

使用下列值估計出現在模式的共變量: 前測總分 = 53.5921.

(三) 模組教具應用對學生的工程限制概念學習成效之影響

1. 迴歸係數同質性考驗

首先對實驗組和控制組之工程限制概念量表進行組內迴歸係數同質性考驗，所得結果如表 11 所示，其 F 值未達顯著水準($F=0.138$, $p>.05$)，符合組內迴歸係數同質性，故可進行共變數分析。

表 11 工程限制概念量表與教學方法之迴歸係數同質性檢定摘要表

變異來源	SS	df	MS	F	P
迴歸係數同質性	5.629	1	5.629	.138	.710
誤差	12962.743	318	40.763		

R 平方 = .172 (調過後的 R 平方 = .164)

2. 共變數分析結果

經統計分析結果得知，不同的教學法對高中生在工程限制概念之表現未達到顯著差異 ($F=1.583$, $P>.05$)，表示模組教具應用與傳統教學對高中生工程限制概念學習成效未有顯著差異，結果如表 12 所示。

表 12 工程概限制念量表與教學方法之單因子共變數分析結果

變異來源	SS	df	MS	F	P
教學方法	64.346	1	64.346	1.583	.209
誤差	12968.372	319	40.653		

R 平方 = .171 (調過後的 R 平方 = .166)

(四) 模組教具應用對學生的工程最佳化概念學習成效之影響

1. 迴歸係數同質性考驗

首先對實驗組和控制組之工程最佳化概念量表進行組內迴歸係數同質性考驗，所得結果如表 13 所示，其 F 值未達顯著水準($F=.314, p>.05$)，符合組內迴歸係數同質性，故可進行共變數分析。

表13 工程最佳化概念量表與教學方法之迴歸係數同質性檢定摘要表

變異來源	SS	df	MS	F	P
迴歸係數同質性	9.405	1	9.405	.314	.576
誤差	9526.351	318	29.957		

R 平方 = .148 (調過後的 R 平方 = .140)

2. 共變數分析結果

經統計分析結果得知，不同的教學法對高中生在工程最佳化概念之表現未達到顯著差異 ($F=2.197, P>.05$)，表示模組教具應用與傳統教學對高中生工程最佳化概念學習成效未有顯著差異，結果如表 14 所示。

表14 工程最佳化概念量表與教學方法之單因子共變數分析結果

變異來源	SS	df	MS	F	P
教學方法	65.670	1	65.670	2.197	.139
誤差	9535.756	319	29.893		

R 平方 = .147 (調過後的 R 平方 = .142)

(五) 模組教具應用對學生的工程預測分析概念學習成效之影響

1. 迴歸係數同質性考驗

首先對實驗組和控制組之工程預測分析概念量表進行組內迴歸係數同質性考驗，所得結果如表 15 所示，其 F 值達顯著水準($F=6.047, p<.05$)，不符合組內迴歸係數同質性，故不可進行共變數分析，因此必須改詹森-內曼法。採用詹森-內曼法所獲得的統計結果如表 16 所示。

表 15 工程預測分析概念量表與教學方法之迴歸係數同質性檢定摘要表

變異來源	SS	df	MS	F	P
迴歸係數同質性	178.674	1	178.674	6.047	.014
誤差	9395.568	318	29.546		

R 平方 = .141 (調過後的 R 平方 = .133)

表 16 模組教具應用對高中生在工程預測分析方面的詹森-內曼法統計資料摘要

組別	SS _{w(Xj)}	SS _{w(Yj)}	CP _{wj}	df	SS' _{w(Yj)}	df	b _{wj}	a _{wj}
控制組	5190.24	6173.31	2522.22	157	4947.63	156	0.49	10.56
實驗組	4057.45	4619.86	835.20	163	4447.94	162	0.21	16.51

將表 16 的資料代入林清山(2002, p.494)所提出的詹森-內曼法公式，可獲得兩條迴歸線的交叉點，亦即在工程預測分析概念前測成績 21.24 分，而控制組與實驗組有顯著差異的兩個分數區間，分別是 16.49 與 44.05。圖 5 為以詹森-內曼法所獲得控制組與實驗組的兩條迴歸線。此兩條迴歸線並不平行，且有交叉點，顯示控制組與實驗組的迴歸係數並不相等，因此不適合採用共變數分析。兩條迴歸線相交於前測成績為 21.24 分的地方，在相交點的左下方，實驗組的後測成績高於控制組的後測成績，但在前測成績低於 16.49 分時，實驗組的後測成績才會顯著高於控制組的成績；然而在兩條迴歸線的相交點的右上方，控制組的後測成績高於實驗組的後測成績，但在前測成績高於 44.05 分時，控制組的後測成績才會顯著高於實驗組的成績；至於若前測成績介於 16.49 與 44.05 分之間，控制組與實驗組的後測成績並未達顯著性的差異。控制組前測成績高於 44.05 分的有 0 人，占控制組人數的 0%，控制組前測成績低於 16.49 分的有 63 人，占控制組人數的 38.41%；實驗組前測成績高於 44.05 分的有 0 人，占實驗組人數的 0%，實驗組前測成績低於 16.49 分的有 63 人，占實驗組人數的 39.87%。依據此一詹森-內曼法的分析，在工程預測分析概念方面，於 322 位研究對象中，有 126 位達顯著水準，其餘 196 位皆未達顯著差異，表示模組教具應用對 126 位高中生（占全部學生數的 39.13%）的工程預測分析概念學習成效比傳統教學效果好。

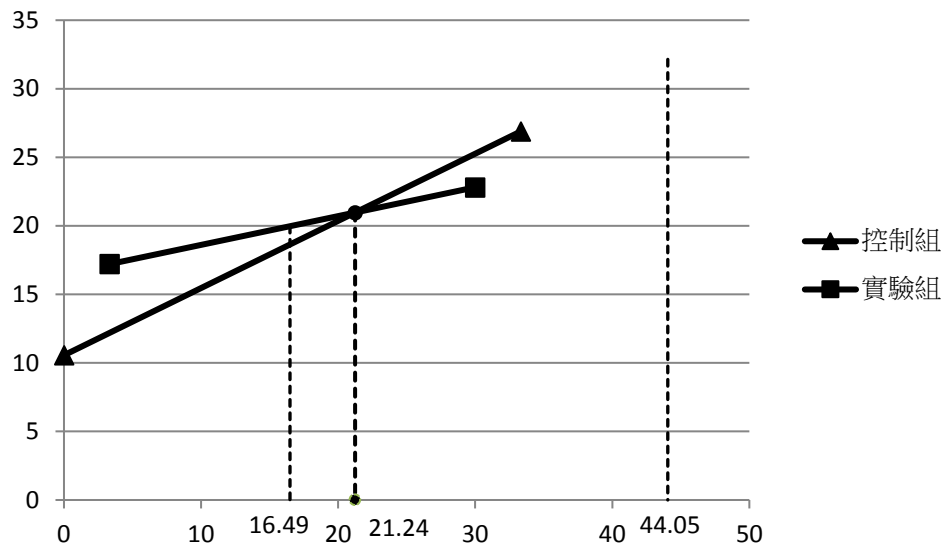


圖 5 控制組與實驗組在工程預測分析概念的詹森-內曼法分析

肆、結果與討論

本研究探討模組教具應用對高中生工程概念學習成效的影響，結果顯示模組教具應用對高中生工程概念學習成效比傳統教學效果好，模組教具應用對39.13%高中生的工程預測分析概念比傳統教學效果好，但對工程限制概念及工程最佳化概念並無顯著差異。

根據戴爾的經驗金字塔，人們通常會記得90%做過的東西(Panadero, Roma, & Kloos, 2010)。透過開發和實際操作的教具，可以建立學生的學習興趣，使學生喜歡學習，興趣是學習動機的原動力，活潑的教具，用來引起學生的學習興趣，也可以保持他們的注意力，提高學習成效(Huang, Chou, Yen, & Bai, 2012)。模組教具應用符合十二年國民基本教育課程綱要，在科技領域方面基本理念上的學習強調應以學習者的活動為主體，重視開放架構和學校本位的方法，以探討及實作的方法進行，強調首腦並用、活動導向、設計與製作兼顧、智能與態度並重；在教學目的上希望培養學生「了解自我發展潛能」、「主動探索研究」、「獨立思考與解決問題」的能力，實作有助於高層次思考，加深學生對工程概念的印象、使記憶持久。因此，具體的模組教具應用使學生主動學習，加深學生的印象，進而轉化成抽象的機械獸工程概念，所以經實驗證實，模組教具應用對學生的工程概念學習成效比傳統教學效果好。

在國外有很多模組教具應用的研究，如在香港，工程動畫軟體教學模組的開發是為了教導香港的化學工程學生在一安全的技術過程學習相關知識，且該模組被評價為可以使用在不同背景下作為一種有效的學習工具(Noakes, Chow, Ko, & McKay, 2011)。Sanchez 和 Bucio (2012) 採用 LEGO 當作教學教具，當作研究生程度的第一期培訓班的離散事件控制系統，LEGO 模組教具提供實際操作經驗的優點和缺點和重要的理論，和有關 DES 控制器在工程中的應用使用的實際問題。從以上國外模組教具應用的研究可知，模組教具應用為有效學習工具，與本研究研究結果相同。

工程限制概念為要求學生考慮完整，在問題確認階段處理限制因素，可以幫助學生發展可行的解決辦法，模組教具應用對學生的工程限制概念學習成效沒有顯著差異，為學生對問題的理解程度不夠；工程最佳化的目的是要達到”最好”的設計，最佳化技術提供明確的程序去幫助設計者正確的規劃問題，模組教具應用對學生的工程最佳化概念學習成效沒有顯著差異，為學生的實踐能力及作品表現能力不夠；工程設計是預測而不是嚐試和錯誤的過程，科學和數學教導學生通過分析、設計過程中，預測分析工程設計，模組教具應用對學生的工程預測分析概念學習成效有 126 位達顯著差異，其餘 196 位皆未達顯著差異，可能是因為這 196 位學生對數學、物理的學習與實用無法結合。

本研究使用「LEGO 9797」為模組教具，結果發現模組教具應用對學生的工程概念學習成效有正向效果，代表實施模組教具應用教學對於學生的工程概念學習是有幫助的，是因為模組教具應用引起學生的興趣、注意力，提高學習效果，可以幫助學生理解工程概念，加深學生對工程概念的印象、幫助記憶持久。但對工程限制概念及工程最佳化概念並無顯著差異，可能是因為需要更多的教學時數，讓學生更明白工程限制概念、工程最佳化概念的涵義。在工程預測分析概念有 126 位達顯著水準，其餘 196 位皆未達顯著差異。

模組教具應用可幫助學生學習工程概念，教師在教學中可以使用模組教具，因此，建議在未來的生活科技課程中，可以逐年增購相關工程概念的教具，以滿足工程概念教學需求，讓學生在動手操作中學習工程概念。

參考文獻

林清山 (2002)。心理與教育統計學。台北市:東華。

陳文典 (無日期)。教學模組。2012年6月5日, 取自

<http://phy.ntnu.edu.tw/nstsc/pdf/book2/03.pdf>

陳嘉斌 (2009)。網路同步學習對不同學習風格學生科技概念學習之影響。國立臺灣師範大學科技應用與人力資源發展學系碩士論文, 未出版, 台北市。

張玉山 (1992)。科技教育的教學途徑與應用之探討。中學工藝教育, 25 (12), 2-9。

曾常亮 (2010)。國中生活科技課程實施電控車教學之成效研究。國立臺灣師範大學工業教育學系在職進修碩士班碩士論文, 未出版, 台北市。

Brophy, S., Klein, S., Portmore, M., & Rogers, C. (2008). Advancing engineering education in P-12 classrooms. *Journal of Engineering Education*, 97(3), 369-387.

Chu, H. E., & Treagust, D. F. (2006, July). *Naïve students' conceptual development in introductory physics*. Paper presented at the 37th Annual ASERA Conference, Canberra, Australia.

Dale, E. (1969). *Audiovisual methods in teaching* (3rd ed.). New York: The Dryden Press.

Deal, W. F. I. (1994). Spotlight on careers. *The Technology Teacher*, 54(2), 13-24.

Devichi, C., & Munier, V. (2013). About the concept of angle in elementary school:

Misconceptions and teaching sequences. *The Journal of Mathematical Behavior*, 32(1), 1-19.

Eekels, J. (1995). Values, objectivity and subjectivity in science and engineering. *Journal of Engineering Design*, 6(3), 173.

Ertas, A., & Jones, J. C. (1993). *The engineering design process* (2nd ed.). New York: John Wiley & Sons.

Harris, T. A., & Jacobs, H. R. (1995). On effective methods to teach mechanical design. *Journal of Engineering Education*, 84(3), 343-349.

Hayes, J. R. (1989). *The complete problem solver* (2nd ed.). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.

Huang, Y., Chou, Y. C., Yen, H. W., & Bai, H. C. (2012). Developing an Innovative Educational Program for Energy Saving and Carbon Reduction: An Elementary School Example. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 51, 840-848.

International Technology Education Association (2000). *Standards for technological literacy:*

Content for the study of technology. Reston, VA: Author.

Jamian, A. R., & Baharom, R. (2012). The application of teaching aids and school supportive factors in learning reading skill among the remedial students in under enrolment schools.

Procedia - Social and Behavioral Sciences, 35, 187-194.

Martinez-Jimenez, P., Salas-Morera, L., Pedros-Perez, G., Cubero-Atienza, A. J., & Varo-Martinez, M. (2010). Opee: An outreach project for engineering education. *Education, IEEE Transactions on*, 53(1), 96-104.

Merrill, C., Custer, R., Daugherty, J., Westrick, M., & Zeng, Y. (2008). Delivering core engineering concepts to secondary level students. *Journal of Technology Education*, 20(1), 48-64.

Noakes, N., Chow, C. C. L., Ko, E., & McKay, G. (2011). Safety education for chemical engineering students in Hong Kong: Development of HAZOP Study teaching module.

Education for Chemical Engineers, 6(2), 31-55.

Panadero, C. F., Román, J. V., & Kloos, C. D. (2010, April). *Impact of learning experiences using LEGO Mindstorms® in engineering courses.* Paper presented at the Education Engineering, Madrid, Spain.

Rasul, S., Bukhsh, Q., & Batool, S. (2011). A study to analyze the effectiveness of audio visual aids in teaching learning process at university level.

Saleh, F., Rahman, S. A., & Saleh, S. (2010). Pedagogical negotiations between conventional and innovative strategies in teaching KBSR mathematics: The inspire project. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 8, 152-157.

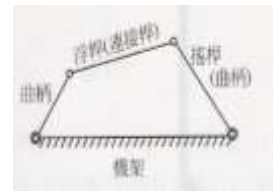
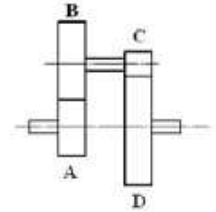
Sanchez, A., & Bucio, J. (2012). Improving the teaching of discrete-event control systems using a LEGO manufacturing prototype. *IEEE Transactions on Education*, 55(3), 326-331.

Starkweather, K. N. (2004). *Creating technology literate nations through the relationship between technology and engineering education.* Presented in 2004 Engineering and Technological Educational Literacy Conference, Taiwan.

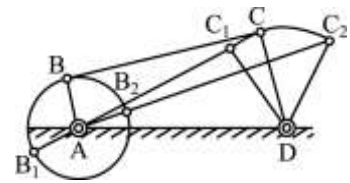
附錄一

機械獸工程概念試題「預試試題」

- (A) 1. 六個齒輪，最大40齒，最小8齒，最大與最小齒輪的轉速比為(A)1:5 (B)5:1(C)4:1(D)1:4。
- (D) 2. 如右圖所示之齒輪組，設A、B、C、D 齒之齒數分別為30齒、40 齒、15齒及55 齒，且A輪的轉速為440rpm，則D 輪的轉速為？(A)34 rpm (B)72 rpm(C)86 rpm (D)90 rpm。
- (A) 3. 呈上題，這種齒輪組，可稱為(A)減速齒輪組 (B)加速齒輪組 (C)加速、減速皆可 (D) 加速、減速皆不可。
- (B) 4. 何種齒輪傳動時，所能傳動力最大，噪音最小，且在兩平行軸間傳動？(A)直齒正齒輪(B)螺旋齒輪 (C)斜形齒輪 (D)針形齒輪。
- (C) 5. 蝸桿與蝸輪傳動作功時，其兩軸在空間交角通常成 (A)30°(B)45°(C)90°(D)180°。
- (B) 6. 欲得較大減速比，則應採用 (A)正齒輪組 (B)蝸桿與蝸輪組 (C)人字齒輪組 (D)斜齒輪組。
- (C) 7. 一般蝸輪蝸桿轉速比，蝸輪轉速／蝸桿轉速＝ (A)蝸桿直徑／蝸輪齒數 (B)蝸輪齒數／蝸桿直徑 (C)蝸桿螺旋數／蝸輪齒數 (D)蝸輪齒數／蝸桿螺旋數。
- (A) 8. 一雙線蝸桿與50齒蝸輪嚙合傳動，若蝸桿之轉速為100rpm，則蝸輪之轉速為 (A)4 (B)200 (C)2 (D)20 rpm。
- (B) 9. 齒輪傳動時齒面的部分是屬於 (A)滾動接觸 (B)滑動接觸 (C)滾動中帶滑動 (D)剛體中間連接。
- (A) 10. 目前常見的變速腳踏車，前齒輪多是固定大小，而後齒輪則有好幾個不同大小的齒輪可以變換，前齒輪固定，以下前齒輪與後齒輪比，哪一種最費力(A)4:1 (B)3:1 (C)2:1 (D)1:1。
- (C) 11. 腳踏車如何使它動起來？原理？(變速腳踏車) 啟動時前面用大齒輪，後面用大或小齒輪？上坡時前面用大齒輪，後面用大或小輪？變速如何變速？(A)藉由人體的施力，產生曲柄（踏板）搖桿（大腿）機構來驅動；(B)啟動時速度變快，後輪用小齒輪。(C)上坡時速度變慢，後輪用大齒輪。(D) 上坡時速度變慢，後輪用小齒輪。
- (A) 12. 如右圖，連桿組中，可以繞固定軸做360°旋轉者稱為？ (A)曲柄 (B)搖桿 (C)連接桿 (D)機架。
- (B) 13. 在機械獸中，連桿最主要是利用何種輸入的動力轉換為行走的動力(A)槓桿 (B)扭力 (C)齒輪 (D)作用力與反作用力。
- (D) 14. 機構連桿裝置中，僅做擺動運動者稱為 (A)連桿 (B)曲柄 (C)機架(D)搖桿。
- (A) 15. 下列哪一種是機械動力中的旋轉運動(A)摩天輪 (B)海盜船 (C)雨刷(D)升降機。

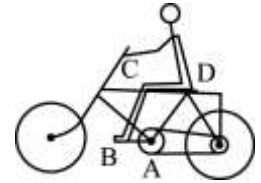


(A) 16. 曲柄搖桿機構中(如下圖), 則必為 (A) $\overline{AC} + \overline{CD} > \overline{AD}$ (B) $\overline{AC} + \overline{CD} <$



\overline{AD} (C) $\overline{AC} + \overline{CD} = \overline{AD}$ (D)以上皆有可能。

(B) 17. 人騎腳踏車如圖所示, \overline{AB} 、 \overline{BC} 、 \overline{CD} 、 \overline{AD} 四連桿機構,



屬於下列何種應用? (A)雙曲柄機構 (B)曲柄搖桿機構
(C)雙搖桿機構 (D) 曲柄滑塊機構。

(B) 18. 當人騎腳踏車時, 曲柄為 (A)手 (B)踏板 (C)小腿 (D)大腿。

(D) 19. 當人騎腳踏車時, 搖桿為 (A)手 (B)踏板 (C)小腿 (D)大腿。

(C) 20. 在曲柄搖桿裝置中, 若搖桿的長度為曲柄的2倍, 則當曲柄迴轉1次時, 搖桿擺動 (A) $\frac{1}{4}$ (B) $\frac{1}{2}$ (C)1 (D)2 次。

(B) 21. 在製做機械獸時, 馬達扭力是不是越大越好?(A)是(B)不是(C)都可以(D)無所謂。

(A) 22. 在製做機械獸時, 如果你所設計的腳越多隻, 則你所需的扭力為何?(A) 越大 (B) 越小 (C)都可以(D)無所謂。

(A) 23. 在設計太陽能車時, 常常哪一種原因無法克服摩擦力, 所以太陽能車無法動 (A)馬達扭力(B)連桿設計(C)輪胎轉速(D)馬力。

(B) 24. 陳爸爸的車子馬達扭力過小, 常常在太多東西時, 車子就不能啟動, 可是陳爸爸通常這時會一直試著啟動馬達, 但都是失敗, 請問陳爸爸這種動作, 對車子馬達是否會造成影響(A)不會, 馬達只是接近空轉, 吃了一些電, 但沒有輸出, 這對馬達影響不大(B)會, 力矩過小, 馬達帶不動負載, 馬達會吃更多的電, 效率下降, 能量損失變成熱能, 熱能高時會破壞馬達的絕緣, 這對馬達有嚴重的影響 (C)這要看馬達的性能而定, 有些會有影響, 有些不會影響(D)這樣看車子的廠牌而定。

(C) 25. 齒輪系中, 齒輪轉速較慢者, 以即扭力(A)較小(B)不變(C)較大(D)無關。

(A) 26. 呈上題, 以小齒輪帶動大齒輪, 則小齒輪的扭力需求為何? (A)較大(B)不變 (C)較小(D)無關, 但轉速需求較高。

(B) 27. 變速箱齒輪的功用為 (A) 降低扭力 (B) 改變扭力、轉速及方向 (C) 提高轉速(D) 減少摩擦力。

(C) 28. 機械獸結構中, 馬達的扭力作用為何? (A) 沒有作用 (B) 改變行走速度 (C) 使機械獸行走(D) 改變方向。

(A) 29. 用同一螺絲起子, 旋轉螺絲鎖住物體, 下列何者正確? (A) 旋轉螺紋較密的螺絲時, 較省力 (B) 旋轉螺紋較疏的螺絲時, 較省力(C) 旋轉螺紋較密的螺絲時, 較費力 (D) 省力, 費力和螺紋疏密無關。

(A) 30. 假設有A、B、C 三支螺絲，其鎖緊扭力分別為1 kg-m、6 N-m、5.3 lb -f t。試問下列敘述何者正確？

- (A) A 螺絲鎖緊扭力最大，B 螺絲鎖緊扭力最小
- (B) B 螺絲鎖緊扭力最大，A 螺絲鎖緊扭力最小
- (C) C 螺絲鎖緊扭力最大，A 螺絲鎖緊扭力最小
- (D) A 螺絲鎖緊扭力最大，C 螺絲鎖緊扭力最小

換算公式：

1 kg-m=7.233 lb-ft=9.807 N-m

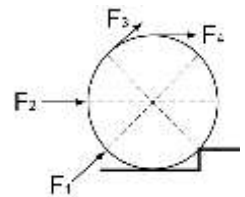
1 N-m=0.738 lb-ft=0.102 kg-m

1 lb-ft=1.356 N-m=0.138 kg-m

(C) 31. 電動機又稱馬達，可以控制其電壓影響電動機的扭力。請問我們在製作機械獸所使用的馬達可否改變其扭力(A)因為是機械獸所用馬達為直流電，所以可以改變扭力(B) 因為是機械獸所用馬達為交流電，所以可以改變扭力(C) 因為是機械獸所用馬達為直流電，所以不可以改變扭力(D) 因為是機械獸所用馬達為交流電，所以不可以改變扭力。

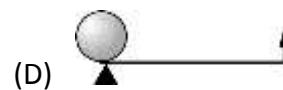
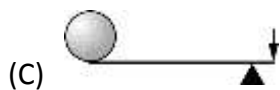
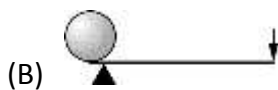
(A) 32. 有關力矩的敘述，下列何者錯誤？ (A)力矩可使物體發生移動 (B)力矩定義為支到力作用線的垂直距離與作用力的乘積 (C)力矩是有方向的物理量 (D)力矩是測量力的旋轉效果的物理量。

(C) 33. 如右圖，阿福欲施力將一圓柱推上樓梯，如圖中所示，以哪一種方式推動，所需的作用力最小？ (A) F1 (B) F2 (C) F3 (D) F4。



(B) 34. 亞基米得說：「給我一個支點和一支夠長的槓桿，我就能舉起地球！」如果真有一個支點，則下列哪種槓桿可以達到目

的？ (▲ 表示支點，→表示施力，○表示地球) (A)



(A) 35. 魯夫將魚掛上秤鈞後，調整秤錘位置，使桿秤保持靜力平衡如附圖。下列何者正確？ (A)魯夫手提的力大於魚的重量 (B) 魚的重量等於秤錘重量 (C)魯夫手提的力增大，會使桿秤轉動 (D)秤錘再往右移，會使秤桿作逆時鐘方向轉動。



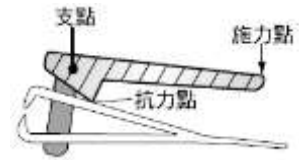
(C) 36. 當施力20公斤重時，拔釘器恰可以拔動釘子，如圖所示。則下列敘述，何者錯誤？ (假設拔釘器重量不計) (A)拔釘器是支點在中間的槓桿 (B)施力對支點造成的力矩為逆時針方向 (C)釘子的抗力為140公斤重 (D)拔釘器是一種省力的工具。



- (C) 37. 如附圖所示，蹺蹺板左端著地呈靜止，不考慮蹺蹺板的重量，小孩重量35 kgw距支點0.8m，父親重量60 kgw距支點 0.4m。則下列敘述何者錯誤？(A) 支點處的支撐力為90 kgw向上 (B) 小孩產生的力矩大於父親產生的力矩(C) 父子的合力矩=0 kgw · m (D) 父親重力對支點而言，將造成順時鐘方向的力矩。



- (C) 38. 右圖為指甲刀之示意圖。指甲刀的「斜線部分」為一簡單機械，關於此簡單機械的敘述，下列何者正確？(A) 它是支點在中間的第一類槓桿省力機械 (B) 它是施力點在中間的第三類槓桿省力機械(C) 它是施力臂大於抗力臂的機械 (D) 它是抗力點在中間的第二類槓桿省時機械。



- (A) 39. 必定省力的槓桿，支點、施力點、抗力點三者中，何者會在其餘兩者的中間？(A) 抗力點 (B) 施力點 (C) 支點 (D) 以上均可。
- (D) 40. 莊子一書提到「桔槔」的裝置（前重後輕，挈水若抽），下列敘述何者錯誤？(A) 支點在中間 (B) 省力裝置 (C) 應用槓桿原理的水利裝置 (D) 省功裝置。

國中生科技創意歷程與產品創意之關係研究

呂紹川

國立臺灣師範大學科技應用與人力資源發展學系

摘要

本研究主要為探討科技創意歷程，包括作品規劃、設計分析、元件製作、組裝及功能測試五個階段，和產品創意之造型、材料及機能三個向度間的關係。研究對象為某國民中學 157 位七年級學生，男生 86 人，女生 71 人。透過教學活動，以學習單的方式紀錄學生之科技創意歷程，並分析學生在產品創意之表現。回收後的資料，以描述性統計、皮爾森積差相關、單因子變異數分析，探討其間的關聯及差異。主要研究結果包括：(1) 學生科技創意歷程表現愈好，產品創意得分愈高；(2) 科技創意歷程高分組在產品創意之總分及機能項目上，有較佳的表現；和 (3) 產品創意高分組在科技創意歷程各階段皆有較佳的表現。本研究針對研究結果提出建議，供未來研究及教學參考。

關鍵字：創意歷程、科技創意歷程、產品創意

Abstract

The study aimed at the correlations between the technology creativity process which consists of plan, analysis, manufacture, fabrication, test and the product creativity which consists of shape, material, and function.

Participants in the study are 157 junior high school students including 86 boys and 71 girls. The technology creative process is recorded by worksheets in the activity and then analyze the creativity in the products. By evaluating both of the worksheets and the product, the subsequent correlational analyses revealed that : (1) A positive correlation was statisticed between technology creativity process and product creativity. (2) The high-scored group in technology creativity process performed better on the function of the product creativity. (3) The high-scored group in product creativity performed better on every step of the technology creativity process. Based on the findings in this study, suggestions of instruction strategies are discussed as well.

Keywords : creativity process, technology creativity process, product creativity

壹、緒論

國中的生活科技課程，強調學生動手做，並在動手做的歷程中，學習及培養能力及科技素養。隨著時代的發展和需要，在課程活動中，讓學生能順利表達自己的創意，亦為生活科技課的教學目標。創意的理論和方法已有許多相關的研究，多指出創意無法明確且全面的定義，而使創意的評量方式皆基於心理學上較為主觀的判斷。

自 Rhodes (1961) 從相關文獻中歸納出下列四項與創意有關的面向，即 (1) 創造人 (person)；(2) 創造歷程 (process)；(3) 創造成果 (product)；和 (4) 創造環境 (place) (引自毛連塏、郭有通、陳龍安、林幸台，2000)。此定義成為研究創意的指標。對教育研究者而言，學生的創意人格特質和創意環境互相呼應，但是人格特質的變化和環境的營造，需較長時間觀察才能發覺其變化，因此將研究學生的創意歷程，並由產品創意的討論分析，協助學生培養創造力，在教學重要目標之一。

本研究擬在對相關文獻作出分析討論後，發掘科技創意歷程的模式，探討國中學生在科技創意歷程各階段的表現，如何影響其對產品創意的構思、製作和檢討；並從產品創意的角度探討學生作品創意呈現情況。並對科技創意歷程各階段中，學生的表現和產品之間的關聯進行分析；及探討在科技創意歷程中，高分組和低分組之間的不同得分，對產品創意的差異；最後提出建議，期對教師及學生的學習有所幫助。

本研究的研究目的包括以下三項：

- (一) 分析學生在科技創意歷程各階段表現，和產品創意各向度的相關情況。
- (二) 探討學生在科技創意歷程各階段表現，對產品創意造成之差異。
- (三) 探討學生在產品創意各向度表現，對科技創意歷程產生之差異。

貳、文獻探討

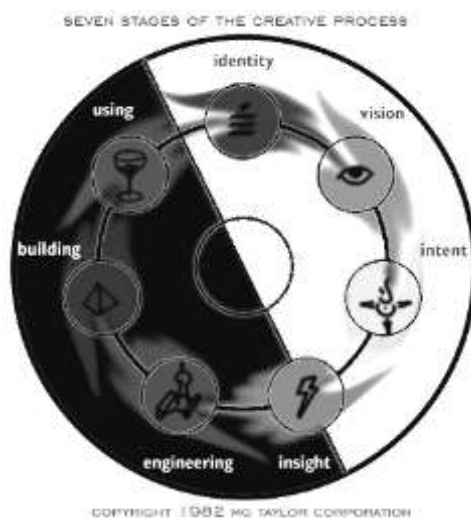
一、科技創意歷程的模式

創意歷程的步驟和定義根據不同學者的意見，有許多不同的看法。有關創意歷程之研究，創意由內在的歷程，延伸到外在的歷程，或加入更多可能影響創意的的外在因素，而形

成多元化的綜合理論，例如 Amabile (1983) 認為創造力不能只視為人格傾向或普通能力，而是人格特質、認知能力和社會環境的綜合 (引自毛連璽，2000)。

MG Taylor (1996) 公司在未出版的著作「Designing Creative Futures」定義了創意歷程的七個階段：

- Identity (定義問題)
- Vision (提出願景)
- Intent(注入熱情)
- Insight (深入了解)
- Engineering (製作元件)
- Building (成型作品)
- Using (測試應用)



圖一：創意歷程

資料來源：Taylor & Goring(1979)。引自 MG Taylor Co.(1996)

Mc Taylor 公司提出的七階段創意歷程，以問題發現和解決問題為兩大主軸，並以定義問題、提出願景、注入熱情、深入了解、元件製造、成型作品及測試應用為步驟，除了強調創意歷程是循環不止之外，更提出以每一階段為子系統，子系統亦可視為創意歷程的新起點，使歷程發展更趨於完善。相較於其他的創意歷程模式，Mc Taylor 公司所提出的模式，有以下幾點優點值得參考：

(一) 將前四個階段(發現問題、提出願景、注入熱情、深入了解)視為發現問題的部份,亦即產品創意的規劃及發想,有助於教學上的啟發。其中的深入了解,更是問題解決的關鍵。Sternberg 和 Lubart (1995)認為問題的發現是在於重新界定問題,轉換看事物的觀點與角度,才會有洞見(insight)(引自呂金燮等,2003)。

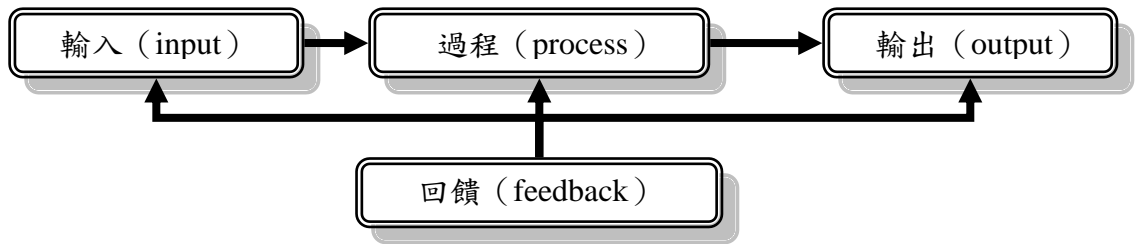
(二) 特別提出了將「願景」融入創意歷程的概念。Berkhout (2003)指出科技的願景(technological vision)映射出「可能空間」(possibility space)(引自 Vergragt & Brown, 2004)。願景能啟發人去描繪所需的自的及系統的需求(林超群,2007)。讓學生對作品有願景,同樣具有刺激學習動機的意義,同時在此模式下的願景是有計劃、有目的的,有益於學生在作品設計及製作時的規劃。

(三) 問題解決的部份以元件製造、成型作品及測試應用為基礎,強調新系統的建立,對於生活科技課而言,即強調了作品的產出,符合「動手做」的精神。

(四) 特別將製作程序分解為元件製作和組裝,每一個元件可視為模式中的子系統,每一個子系統亦為一個問題情境,可自成一個創意歷程的循環。此構想可以讓作品分析有更深入的可行性探討。

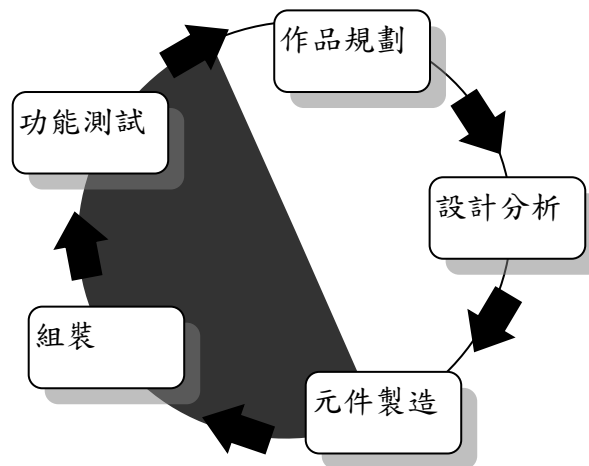
葉玉珠(2000)認為創造力乃是個體在特定領域中,產出一適當並具有原創性與價值性的產品的歷程(引自賴足菁,2006)。在生活科技的課程中,強調的是「科技的」創造力。科技創造力與一般創造力最大差異,在其獨特的創意想法需源於科學專門知識領域之上,創造出的產品價值就象徵著產業技術的創造力(洪榮昭,2001,引自何宜軒,2005)。李大偉、張玉山(2000)亦指出,科技創造力的內涵,不只是多種意念的提出,更要有工具操作及材料處理,最後也要有成果出現。

科技創造力是個體在科技活動中，所展現出來的創意表現（張玉山，2002）。科技的泛用模式如圖二：



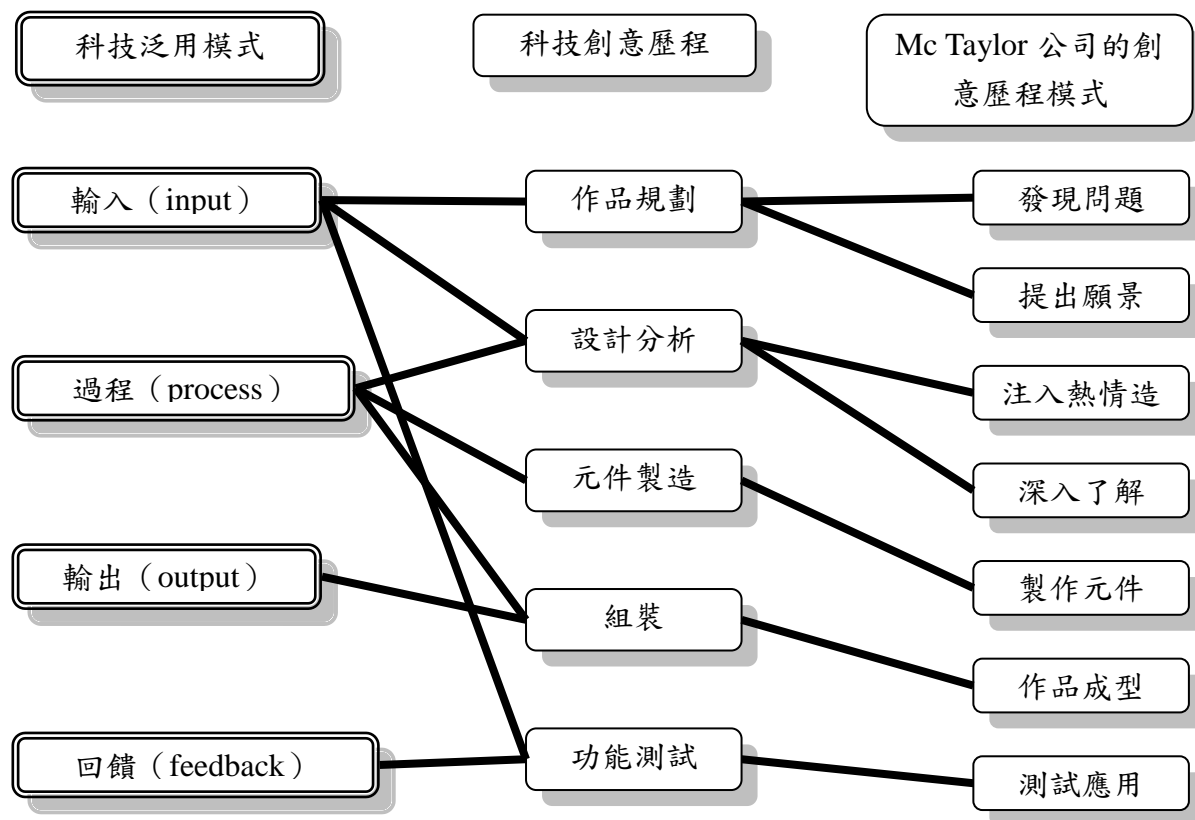
圖二：科技泛用模式

科技的創意歷程應包含上圖中各個環節，在教學活動中，科技創意歷程的呈現，代表學生能夠運用科技領域相關的知識與技能，透過創造思考方法引導得出多種概念與構想，並且加以執行以製作出實際成品的能力（朱益賢，2006）。根據上述的科技創意歷程模式的解譯，本研究採用 Mc Taylor 公司的七階段創意歷程模式。並將之合併縮減如圖三：



圖三：科技創意歷程

對應 Mc Taylor 公司的創意歷程模式架構，及科技泛用模式，本研究所之科技創意歷程和其二者對照如圖四：



圖四：科技創意歷程對照表 1

國中階段之科技泛指解決問題的方法與技術 (Knowhow)，科技創造力與創造力的不同之處在於前者兼重「概念的形成」和「實作能力」(朱益賢，2006)。在本研究中，科技創意歷程則是指，產品由概念發想到製作完成的過程，分為：作品規劃、設計分析、元件製作、組裝及功能測試五階段，以學習單的方記錄學生的表現。本研究採 Mc Taylor 公司提出之創意歷程為科技創意歷程之梗概。

作品規劃可視為張玉山 (2002) 的科技創意歷程中輸入的部份，也是作品創意的發想；設計分析可視為輸入，因為考量了作品的材料、造型、功能及可行性評估，同時設計分析也是過程的一部份，包含了設計的規劃、製作的方法；元件製造中讓學生將設計分解為每一個子作品，每一個子作品的製作都涉及了工具的使用、新問題的發現、解決及測試；組裝每一個子作品成為完整的作品，等同於過程，組裝後的產品可視為輸出；而功能測試可視為回饋，包括了功能測試、創意評量、結構、材料、造型的評分，並讓學生提出可改善的部份，從而成為新的科技創意歷程的起點。

二、產品創意

國中的生活科技課以產品實作為主，在界定學生的創意上，分析其製作之產品，為一重要的依據。創意的結果不一定指作品的呈現，但「創造力就如同一面別在公開產品上的徽章，而非只是個人內在歷程的名稱而已」(引自 Bailin, S., 1988)。藉由有創意的產品來顯示個人是否有創意，無疑是最有力的指標。

根據創意的 4P 之定義 (Person, Product, Process, Place)，產品可定義為：創造出的事物，可能是個創意構想 (creative idea)、新設計、新產品、策略、或計畫 (王思峰、黃家齊、鄭俐敏，2002)。吳靜吉 (2003) 則將產品的創意區分為一般性及教育上的產品。以國中階段的學生來說，具體的作品無疑是展現其創造力最佳的呈現。創造力包含流暢力 (Fluency)、變通力 (Flexibility)、獨創力 (Originality)、精進力 (Elaboration) 等四個因素。學生可以透過不同的設計歷程，展現不同能力的表現，而獲得最有創意的產品。

產品創意的高低，評定向來是主觀的，Jackson 和 Messick (1965) 認為創造的產品必須符合下列條件 (引自邱皓政、葉玉珠、蔡明宏，1998)：

1. 在常模的脈絡中是不尋常的、恰當的，而且產生令人驚奇與滿足的效果；
2. 必須超越傳統的限制並產生新的型式，而不僅是改善舊有的事物；
3. 必須具有「創意壓縮 (creative condensation)」的特性，即創意的產品應兼具簡單性與複雜性。

而 Besemer & O'Quin (1986) 則提出了分析產品創意之矩陣 (CPAM)，其中以三個面向：新奇 (novelty)、解決 (resolution)、精巧 (elaboration and synthesis)。何宜軒 (2005) 在其研究中指出，產品創意除了兼具獨創性 (不尋常的構想)、適用性 (合乎實際需求) 與美觀之外，還必須比先前的產品有可觀的進步之處，才能真正稱得上是一件好的創意產品。

而 Amabile (1983) 對產品創意的要求則為：(1) 產品需具有新奇和恰當 (有用的、正確的、有價值的) 之特性；(2) 製做過程是啟發性 (heuristic) 的而非規則的 (algorithmic)。所謂新奇即獨創 (originality) (吳靜吉，2003)。獨創的產品同時需要考慮是否符合是否有用 (是否能產品化)、有意義 (是否符合任務需求)。在製做的過程中則強調非單一方式、非按步就班、問題解決方式不為唯一。

因此界定產品是否有創意時，最明顯的區分是評估是否有獨創性。Christiaans (2002) 研究指出，有創意的產品通常被期望是有原創性的，並且可以展現設計的價值（引自陳辰涓，2005）。對於生活科技課程作品獨創性的判別，必需兼顧產品本身及教育目的。

在本研究中，產品創意是根據新奇性及價值性，亦即產品的創意應兼顧創新及有用，以產品創意量表的三個向度：樣式、材質、機能的表現程度加以評估。參酌評分標準，由教師評定各向度之得分，其總得分愈高者則作品較有創意，反之亦然。

參、研究方法與實施

一、研究對象

本研究的研究對象為研究者任教之新北市立某國中七年級 167 位學生，男生 91 人，女生 76 人。考量班級建制及學校行政作業，無法隨機選取實驗研究對象。在實驗學校中以五個班級為研究對象。

二、研究工具

本研究的研究工具包括紀錄學生科技創意歷程的學習單、評鑑學生產品創意的量表、根據科技創意歷程模式設計之教學活動。說明如下。

（一）學習單

學習單共計四張六頁，分別在第一週、第二週、第三週及第六週使用。依照所修訂之科技創意歷程模式，紀錄學生作品規劃、設計分析、元件製造、組裝（合併為製作組裝）及功能測試五個學習歷程。學生的科技創意歷程分數將和產品創意評分表互相對照分析。學習單如附件。學習單和科技創意歷程各階段對應的目標如表 1：

表 1 科技創意歷程-學習單對照表

編號	對應歷程	階段創意歷程內涵	學習單
----	------	----------	-----

1	作品規劃	讓學生從觀察中發掘問題，並能剖析情境，從創意聯想中，挑出最可行、最獨特的方案加以製作。	鉛筆容器的聯想
2	設計分析	能將作品以子系統的概念，分解為零件加以評估，對製作過程及可行性加以討論。	鉛筆容器的製作 規劃
3	製作組裝	紀錄製作過程中所遭遇的問題和解決方式，培養實際的問題解決能力。	鉛筆容器的製作 紀錄
4	功能測試	讓學生客觀分析作品的優劣，並提出合理的改善方式。	鉛筆容器的製作 評鑑

計分方式以 Mc Taylor 的創意歷程各階段說明為依據，依專家評分採五等第評分。以五分最高，一分最低。學生各項表現情況由五個分數代表，分數越高者，表示學生在該類型科技創意歷程表現越好。學習單評分項目共分四部份：「作品規劃」10 題、「設計分析」5 題、「製作組裝」6 題、「功能測試」4 題。評分項目對應如下表 2：

表 2 科技創意歷程各階段評分表

學習單	評分重點	科技創意歷程階段
一	1.能發掘多樣的問題	作品規劃： 能對新產品的構思和畫出設計圖，以模擬產品將來的外觀、功能、材質特徵。 能對現有產品的問題，做多方面的觀察，以找出新產品可以衍伸的方向，並能指出新舊產品之間的差異。
	2.能發掘有意義的問題	
	3.使用實用的材質	
	4.外觀特別	
	5.外觀精美	
	6.功能新奇	
	7.功能實用	
	8.能具體指出新產品和舊產品之間的不同（有意義的）	

	9.能具體指出新產品和舊產品之間的不同（有創意的）	
	10.設計圖的呈現	
二	1.能指出元件所需材料	設計分析：
	2.能說明元件的目的	能針對設計圖做出細部的分析和討論。即能將
	3.能適當說明加工方式	產品各元件提出規劃。
	4.對元件做出評估	能對願景做出評估、修正，使願景的可行性增
	5.願景可行性分析	加。
三	1.能指出有問題之元件	元件製作及組裝：
	2.發現有意義的製作問題	
	3.能清楚說明問題	
	4.問題解決方式	
	5.問題解決方式恰當	
	6.問題解決方式有創意	
四	1.自評分數合理	功能測試：
	2.自評理由合理	藉由自評的說明呈現產品創意。而產品完成
	3.能發掘有意義的新問題	後，對新產品的問題和改善方案也會隨之提
	4.能清楚描敘述新問題	出，使科技創意歷程再次循環。

學習單內容係依據 Mc Taylor 公司的創意歷程模式架構，和本研究之科技創意歷程逐項建立，具有理論上的內容效度及因素結構。初稿並已請兩位教授及三位資深生科教師共五位學者專家審視並修改，以建立專家效度。經過預試後，回收 33 份學習單，由三位生活科技課教師評分。

預試評分結果經加總三位評分者之評分後，由 SPSS 第 15 版計算得評分者信度，由表 3 中可以得知，三位評分者在各學習單，科技創意歷程表現評分上，都有高度相關，顯示三位評分者在得分上有相當的一致性。

表 3 預試評分者分數相關

	評者 1-2	評分者 1-3	評分者 2-3
學習單 1	.805	.826	.856
學習單 2	.737	.711	.710
學習單 3	.817	.830	.788
學習單 4	.626	.658	.550
總分	.853	.852	.859

(二) 鉛筆容器創作量表

本量表修改自「木工作品創作創新程度評量表」，並針對研究所需對內容有所調整。產品創意的評分，根據李大偉、張玉山、林雅玲、何宜軒及劉罄儀（2006）在「不同範例展示及實作經驗對國中生技術創造力的影響」報告中指出：

Moss（1966）認為工藝與科技課程的產品創意，可以利用事先設立的指標來評價，這些指標是 1.獨特的；2.有效用的；3.結合獨特的及有效用的…在該理論中，包含新奇面向（Novelty，原創的、啟始的，用到新的觀念、概念、程序、或材料）、解析面向（Resolution，合邏輯的、有用的、適切的、有解決功能的）、精巧及綜合（Elaboration and Synthesis，具美感的成份、美化的功能）等三個面向（Peterson, 2002）。

本研究將產品創意評分亦同樣以「新奇與原創、實用與價值」兩個方面為依據，做為修改之評分表之評分參考。

產品創意評量表的項目以樣式、材質、結構三個面向，評定整體評分、主題設定、色彩變化、造型變化、材料種類、外加機能、組合方法共七項。在量表計分方面，採用五等第計分，5 代表極佳、4 代表佳、3 代表尚可、2 代表差、1 代表極差，將每一個構面的評量分數加總後即可得學生在該構面所得之總分，總分越高表示該作品具有較高的創意表現。

(三) 教學活動設計

Amiable (1983) 曾指出，創意教學活動的選擇，有三個基本的條件：(1) 活動要以產品為導向；(2) 產品要具備可觀察到的特質；和 (3) 要合於社會心理學的基礎。同時 Amiable 也指出創意產品的製作的三個基本的面向：(1) 創意相關的；(2) 技術相關的；和 (3) 動機相關的。

因此本研究之實驗教學活動，依 Mc Taylor 的創意歷程模式，及 Amiable (1983) 之活動要求設計，以製作「創意鉛筆容器」為主題，並依照各階段的目的設定所需的目標。活動時間共計六週，前三週為準備部份，後三週為實做部份。

教學活動設計之主題為「創意鉛筆容器」，主要的活動為產品設計及作品的產出，符合本研究中科技創意歷程，及產品創意要求。教學活動設計已委請兩位大學教授及兩位資深生活科技教師審查並修改，因此活動亦具專家效度。

五、資料處理

本研究先剔除無法辨識或填答不完整的無效量表，再各項分數輸入電腦，以 SPSS 15 的統計軟體進行統計。說明如下：

- 1.以 Pearson 相關分析國中生的創意歷程分項表現與分項產品創意的相關情形。
- 2.以 ANOVA 探討科技創意歷程表現的高低分組，在產品創意分數上是否有差異。
- 3.以 ANOVA 探討產品創意表現的高低分組，在科技創意歷程分數上是否有差異。

肆、資料分析與討論

一、科技創意歷程與產品創意之相關情況

由表 4 的相關性比較發現，材料和各階段創意歷程相關係數較高（ $r=.314$ 、 $r=.293$ 、 $r=.342$ 、 $r=.327$ ），顯示在整個創意歷程的表現中，學生思考的方向是以材料的選用、取得、製作、加工方式為主要考量。選擇合宜材料，對科技創意歷程的表現有較多的影響。

表 4 科技創意歷程-產品創意相關統計

		整體評分	造形	材料	機能	產品總分
	Pearson 相關	.203*	.235**	.314**	.281**	.318**
作品規劃	顯著性	.026	.010	.000	.002	.000
	個數	120	120	120	120	120
	Pearson 相關	.215*	.202*	.293**	.202*	.277**
設計分析	顯著性	.019	.027	.001	.027	.002
	個數	120	120	120	120	120
	Pearson 相關	.290**	.260**	.342**	.229*	.337**
製作組裝	顯著性	.002	.005	.000	.014	.000
	個數	115	115	115	115	115
	Pearson 相關	.280**	.295**	.327**	.254**	.353**
功能測試	顯著性	.002	.001	.000	.005	.000
	個數	114	114	114	114	114
	Pearson 相關	.243**	.294**	.343**	.232**	.335**
總分	顯著性	.007	.001	.000	.010	.000
	個數	122	122	122	122	122

** $p < .01$ (2-tailed) .

二、產品創意對科技創意歷程之差異情況

為進一步比較科技創意歷程及產品創意之間的差異，並對樣本全體做分析討論，使用單因子變異數分析 (one-way ANOVA) 之方式，依陳建廷 (2006)「國一學生一元一次方程解題歷程之研究」中之分組，以產品創意之分數，將全部樣本前後各取 27% 分為高分組 (組 1)、低分組 (組 3)，而其餘的 46% 的學生為中間組 (組 2)；各組人數為 42 人、42 人及 72 人，必要時並以 scheffe 法作法事後分析。

由表 5 可以發現，以產品創意得分分組後，在各階段的科技創意歷程之得分有顯著差異，而根據事後分析結果，高分組和其他各組的平均得分皆達顯著水準。在科技創意歷程總分的表現上，三組組間都有顯著差異。

表 5 科技創意歷程單因子變異數分析

		平方和	df	平均平方	F	事後分析
	組間	1037.521	2	518.760	11.448*	1>2
作品規劃	組內	6615.919	146	45.315		1>3
	全部	7653.439	148			
	組間	307.730	2	153.865	9.994*	1>2
設計分析	組內	2201.597	143	15.396		1>3
	全部	2509.327	145			
	組間	563.559	2	281.780	13.141*	1>2
製作組裝	組內	2937.687	137	21.443		1>3
	全部	3501.247	139			
	組間	226.769	2	113.384	12.049*	1>2
功能測試	組內	1270.365	135	9.410		1>3
	全部	1497.134	137			
	組間	10865.920	2	5432.960	19.922*	1>2
總分	組內	40361.529	148	272.713		1>3
	全部	51227.450	150			2>3

* $p < .05$

以產品創意之造形、材料、機能向度得分分組後，同樣取前後各 27%及中間 46%分為三組，對科技創意歷程各階段得分，做單因子變異數分析。無論是在那一個向度的結果上，統計結果都顯示學生在科技創意歷程各階段的表現平均分數有顯著的差異。

表 6 科技創意歷程以造型得分分組單因子變異數分析

		平方和	df	平均平方	F	事後分析
作品規劃	組間	611.971	2	305.985	6.344*	1>3
	組內	7041.468	146	48.229		
	全部	7653.439	148			
設計分析	組間	193.259	2	96.629	5.966*	1>3
	組內	2316.068	143	16.196		
	全部	2509.327	145			
製作組裝	組間	424.173	2	212.087	9.443*	1>3
	組內	3077.074	137	22.460		2>3
	全部	3501.247	139			
功能測試	組間	355.363	2	177.681	21.009*	1>3
	組內	1141.771	135	8.458		2>3
	全部	1497.134	137			
總分	組間	8961.238	2	4480.619	15.689*	1>2
	組內	42266.212	148	285.583		1>3
	全部	51227.450	150			2>3

* $p < .05$

表 7 科技創意歷程以材料得分分組單因子變異數分析

		平方和	df	平均平方	F	事後分析
作品規劃	組間	1013.357	2	506.679	11.141*	1>2
	組內	6640.082	146	45.480		1>3
	全部	7653.439	148			
設計分析	組間	304.847	2	152.424	9.887*	1>2
	組內	2204.480	143	15.416		1>3
	全部	2509.327	145			

	組間	576.224	2	288.112	13.494*	1>2
製作組裝	組內	2925.023	137	21.351		1>3
	全部	3501.247	139			
	<hr/>					
	組間	213.239	2	106.620	11.211*	1>2
功能測試	組內	1283.895	135	9.510		1>3
	全部	1497.134	137			2>3
	<hr/>					
	組間	8666.103	2	4333.052	15.067	1>2
總分	組內	42561.346	148	287.577		1>3
	全部	51227.450	150			
	<hr/>					

* p<.05

表 8 科技創意歷程以機能得分分組單因子變異數分析

		平方和	df	平均平方	F	事後分析
	組間	695.049	2	347.524	7.292*	1>3
作品規劃	組內	6958.390	146	47.660		
	全部	7653.439	148			
	<hr/>					
	組間	183.211	2	91.606	5.632*	1>3
設計分析	組內	2326.116	143	16.267		
	全部	2509.327	145			
	<hr/>					
	組間	280.722	2	140.361	5.971*	1>3
製作組裝	組內	3220.525	137	23.507		2>3
	全部	3501.247	139			
	<hr/>					
	組間	235.330	2	117.665	12.589*	1>3
功能測試	組內	1261.804	135	9.347		2>3
	全部	1497.134	137			
	<hr/>					
	組間	6646.672	2	3323.336	11.033	1>3
總分	組內	44580.777	148	301.221		2>3
	全部	51227.450	150			
	<hr/>					

* p<.05

由表 6、7、8 之分析，可以推論學生的產品創意表現較佳者，來自較佳的科技創意歷程表現。無論是由造型、材料或機能的角度觀之，好的作品通常皆需要好的科技創意歷程支持。

三、科技創意歷程對產品創意之差異情況

以科技創意歷程總分分組，依次取前 27% 的人數為高分組（組 1）、46% 的人數為中間組（組 2）及後 27% 的人數為低分組（組 3），並以 scheffe 法作事後分析（post hoc）。

由表 9 結果發現，在產品創意各向度之 ANOVA 分析中，只有機能得分和總分達顯著差異。即科技創意歷程之高低分，無法說明產品創意中，造型和材料高低分是否有差別。研究者推論，此一組間無顯著差異之原因，可能是因為七年級學生對造型的變化，仍受限於日常生活經驗中所觀察到之鉛筆容器形象，以致於造型的變化大都揭限於圓柱形或長方形；而材料的部份也受限於對材料的認識及考量可行性，大部分的學生是以不織布或以巴爾沙木為主要材料。

而從事後比較分析之結果觀察產品創意各向度，高分組和低分組在機能及總分達顯著差異（ $F=3.454$ ， $F=3.320$ ， $p<.05$ ）。

表 9 產品創意單因子變異數分析

		平方和	Df	平均平方	F	事後分析
造型	組間	9.789	2	4.894	2.074	
	組內	290.211	123	2.359		
	全部	300.000	125			
材料	組間	9.717	2	4.858	2.394	
	組內	249.561	123	2.029		
	全部	259.278	125			
機能	組間	16.494	2	8.247	3.454*	1>3
	組內	293.665	123	2.388		
	全部	310.159	125			
總分	組間	318.769	2	159.384	3.320*	1>3
	組內	5905.366	123	48.011		
	全部	6224.135	125			

* $p<.05$

以作品規劃之得分，依高分組、中間組及低分組分析，由表 10 之結果顯示，在造型、材料、機能及總分皆達顯著水準 ($F=3.005$, $F=4.222$, $F=3.789$, $F=4.491$, $p<.05$)。經事後分析比較，高分組得分皆和低分組有顯著差異。

表 10 產品創意以作品規劃得分分組單因子變異數分析

		平方和	Df	平均平方	F	事後分析
造型	組間	13.975	2	6.988	3.005*	1>3
	組內	286.025	123	2.325		
	全部	300.000	125			
材料	組間	16.656	2	8.328	4.222*	1>3
	組內	242.622	123	1.973		
	全部	259.278	125			
機能	組間	17.999	2	8.999	3.789*	1>3
	組內	292.160	123	2.375		
	全部	310.159	125			
總分	組間	462.860	2	231.430	4.941*	1>3
	組內	5761.275	123	46.840		
	全部	6224.135	125			

* $p<.05$

以設計分析之得分，分高分組、中間組及低分組分析，由表 11 之結果顯示，除了造型、機能得分外，材料及總分皆達顯著水準。經事後比較分析，在機能及總分的差異發生在高分組及低分組間。由於設計分析階段主要目的為評估可行性，統計結果顯示，學生在評估可行性的表現上並未有明顯的差異，除了可能是因為對評估的方式不熟悉，造成造型、機能平均分數未達顯著差異的原因，推論也可能是因為學生對加工工具及知識的不足，使得評估可行性的過程重心都放在材料的取得及加工方式上。使造型牽就材料加工，

也因加工方式的難易考量，使機能表現多以外加現有設備（如：手錶、手電筒），或簡化機能（如：增加分隔）為主。

表 11 產品創意以設計分析得分分組單因子變異數分析

		平方和	Df	平均平方	F	事後分析
造型	組間	13.493	2	6.746	2.896	
	組內	286.507	123	2.329		
	全部	300.000	125			
材料	組間	15.048	2	7.524	3.789*	1>3
	組內	244.229	123	1.986		
	全部	259.278	125			
機能	組間	6.214	2	3.107	1.257	
	組內	303.945	123	2.471		
	全部	310.159	125			
總分	組間	379.843	2	189.922	3.997*	1>3
	組內	5844.292	123	47.515		
	全部	6224.135	125			

* $p < .05$

以製作組裝之得分，分高分組、中間組及低分組分析，由表 12 之結果顯示，除造型得分外，各向度之表現皆達顯著水準。經事後比較分析，高分組和其他組在材料、機能及總分上皆有顯著的差異，顯示高分組之表現明顯較佳。製作組裝階段之目的為實際製作及發現製作問題並提出解決，推論造型得分未達顯著水準之原因，可能學生在製作時的問題以材料加工及機能呈現為主。

表 12 產品創意以製作組裝得分分組單因子變異數分析

		平方和	Df	平均平方	F	事後分析
造型	組間	14.664	2	7.332	3.161	
	組內	285.336	123	2.320		
	全部	300.000	125			
材料	組間	23.558	2	11.779	6.146*	1>2
	組內	235.719	123	1.916		1>3
	全部	259.278	125			
機能	組間	25.011	2	12.506	5.394*	1>2
	組內	285.148	123	2.318		1>3
	全部	310.159	125			
總分	組間	639.645	2	319.823	7.044*	1>2
	組內	5584.490	123	45.402		1>3
	全部	6224.135	125			

* $p < .05$

以功能測試之得分，分高分組、中間組及低分組分析，由表 13 之結果顯示，各向度之平均分數皆未達顯著差異。由於功能測試階段為提出自評及改善，在無後續活動及成績考量的情況下，推論學生可能多半為求好成績，對自評分數太具信心；或對自評理由太過籠統；對可改善之處的提出，也流於應付或太過含糊，使得對各向度的改善皆未能有效提出建議。

表 13 產品創意以機能測試得分分組單因子變異數分析

		平方和	df	平均平方	F	事後分析
造型	組間	8.345	2	4.173	1.760	
	組內	291.655	123	2.371		
	全部	300.000	125			
材料	組間	.583	2	.291	.139	
	組內	258.695	123	2.103		
	全部	259.278	125			
機能	組間	2.060	2	1.030	.411	
	組內	308.098	123	2.505		
	全部	310.159	125			
總分	組間	83.265	2	41.633	.834	
	組內	6140.870	123	49.926		
	全部	6224.135	125			

* $p < .05$

四、綜合討論

綜合前述資料統計分析結果論，提出討論如下：

(一) 科技創意歷程各階段表現和產品創意相關

本研究之科技創意歷程中，作品規劃、設計分析、製作組裝、功能測試各階段和產品創意有相關。但相關不高。高靖岳(2012)的研究亦指出學生的科技創意歷程和科技創造力表現相關程度低。

由教學活動中可發現，學生在歷程中的表現可能受限於產品創意中造型設計、材料認知、機能表現的相關知識，使科技創意歷程在規劃時大都只能想到圓柱狀的或方形之鉛筆

容器；材料上也大都選擇不織布或巴爾沙木等材料；機能上則絕大多數的學生都將重心放在增加容量或分隔層，或耐摔、防水上；大部分學生對於產品的設計看法都很接近。

研究統計結果顯示，科技創意歷程和產品創意兩者之間，有一定的相關性。對照 Wallas (1926) (引自 Plsek, 1996) 提出之創意歷程模式，準備期的目的為定義議題、觀察及研究；作品規劃則為對新產品的構思，及對現有產品的問題，做多方面的觀察。作品規劃讓學生在發現問題及製作上，展現其對產品的洞察力，科技歷程的設計與製作首重洞察力的培養 (魏炎順, 2005)，這種產品設計與規劃的洞察力，往往也會著重在一種設計師的直覺洞察 (Jang, Yoon, Lee, & Kim, 2009)。

(二) 科技創意歷程高低分組在產品創意之機能及總分上有顯著差異

科技創意歷程總分的高低分組，在產品創意各向度之差異性分析中，造型和材料部份並未達到顯著水準；在機能部份則達顯著水準 ($F=3.454, p<.05$)，經事後比較分析，其中高分組和低分組之平均分數有顯著差異。科技創意歷程總分的高低分組，對產品創意之總分差異性亦達顯著水準 ($F=3.320, p<.05$)，經事後比較分析，高分組高於低分組。蕭錫錡、張仁家和黃金益 (2000) 在其研究中所指出：「學生在創意構想設計思考點中，對於「產品的功能」、「構造」、「操作方法」及「物品的新用途」等四項反應次數較高」，和本研究之結果相同。

Ashby 在「Material selection」指出：功能決定了材料及造型，而材料影響了製作的過程，造型則依賴材料的加工過程 (2005, 引自 Chang & Tomovic, 2006)。柯景耀 (2005) 的「創造性問題解決模式於產品設計教學應用之研究」論文中指出，不論是實驗組或是控制組，在設計上多以功能決定造型。侯旭峰 (2003) 的研究指出：傑出科技創作學童在作品創新部分所注重的部分，以結構創新是團隊主要努力部分，而外型的創新則是最後努力的部分。由上述研究可得知，機能創意的設計，往往是整個產品創新設計的重點。

若以作品規劃得分分組，高分組和低分組在造型、材料及機能上皆達顯著水準；以設計分析得分分組，高分組和低分組在材料上達顯著水準；以製作組裝得分分組，高分組和低分組、高分組和中間組在材料及機能上達顯著水準；以功能測試得分分組，則各組皆未達顯著水準。

(三) 產品創意高低分組在科技創意歷程表現有顯著差異

在各階段的科技創意歷程中，高分組在作品規劃、設計分析、製作組裝、功能測試各階段及總分和其他各組的得分有顯著差異（ $F=11.448$ 、 $F=9.994$ 、 $F=13.141$ 、 $F=12.049$ 、 $F=19.922$ ， $p<.05$ ）。根據統計結果，產品創意得分高分組的學生，在科技創意歷程的表現顯著優於其他二組的同學。

產品創意表現中間組及低分組之學生，在科技創意歷程表現未達顯著差異，推論或許是學生在製作時，多以互相觀摩其他同學的作品為主，Beghetto(2005)指出，教師以「做出成品」的評量方式，或許影響了學生的動機，間接使學生的製做目的有了不同的取捨。表示光是評量作品僅能評出學生科技創造力的一部份，因此也要在「歷程」中進行形成性評量（林彥志、朱益賢，2006）。因此多元評量的應用，在科技教育的教學活動上是相當必要的。

伍、結論與建議

一、研究結論

(一) 學生科技創意歷程表現愈好，產品創意得分愈高

研究統計結果顯示，科技創意歷程和產品創意有中度的相關。由科技創意歷程高低分組在產品創意上之比較，高分組和低分組在機能及總分得分有顯著差異。

學生在科技創意歷程各階段的表現愈嚴謹、愈完整，其在產品創意的表現愈佳。相關統計結果亦說明作品規劃和產品創意有較高之相關性，其中作品規劃高低分組在產品創意各向度之得分皆有顯著差異。

(二) 科技創意歷程高分組在產品創意之總分及機能項目上，有較佳的表現

科技創意歷程和產品創意之總分有較高的相關，趙偉順(2011)的研究亦指出，國中生科技創作表現的現況以整體評分最佳。高低分組間，在產品創意表現之造形及材料上，未達顯著水準，在機能及總分上則達顯著水準。統計結果顯示，透過科技創意歷程，學生在機能的得分上有顯著的差異。由差異性的分析結果也顯示，學生的科技創意歷程的設計重心，是放在產品機能(結構機能及外加機能)上，顯示學生作品以達成目的，即產品的機能，較優先，張育楨(2008)的研究也指出，國中生的科技問題解決品質以「目的性」表現最佳。而在科技創意歷程表現較佳的學生，才能在機能創意設計上面，有較佳的成果。

(三) 產品創意高分組在科技創意歷程各階段皆有較佳的表現

本研究統計結果顯示，產品創意高低分組間，在科技創意歷程各階段表現之平均分數差異達顯著水準，顯示表現較佳的產品創意通常來自於各階段表現較佳的科技創意歷程。

二、教學上的建議

依據研究發現、研究結論及教學活動實施過程中之觀察，提出教學建議如下。

(一) 教學上宜將產品創意的三個向度做出適當的限制

根據研究結論，科技創意歷程和產品創意有中度相關，可能是七年級的學生實作能力及相關知識不足，影響其科技創意歷程及產品創意之表現。由於研究中並未對造型、材料、機能做出額外的限制，使學生產品大多集中在造形變化上。教學上建議生活科技科教師不妨一次只針對一個向度做出教學活動設計，讓學生更有餘力，專注在一個面向，使科技創意歷程之設計分析、製作過程之問題解決、產品創意之多樣化，有更為深入之表現，並使科技創意歷程及產品創意彼此間有較佳的相關。

(二) 創意的表現有賴實作能力之培養

研究顯示學生在科技創意歷程和產品創意表現上，最大的困難是實作能力不足，Atkinson (1999) 在其研究中也指出，學生的點子，當需要透過製造的階段來完成時，常會受限於學生自身科技和手工製作之能力。因此在促使學生有好的創意表現，或應用教學創意思考技能之同時，若能增進學生專業知識及能力的訓練，例如手工具之操作、機具之認識、接裝及成型技巧之練習等，亦可與創意表現有相輔相成之效果。

國中生在學習科技課程時，特別是對於需要動手實作之教學活動，需要輔助以相關技能。除了相關的知識，技術面之能力亦同樣的重要。林彥志及朱益賢 (2006) 也曾提出相關論述：

首先應該先針對基礎專業知能中的工具操作、工具介紹、材料特性和材料加工方法進行介紹和基礎實作練習，使學生對材料和工具有一定程度的了解後，才能讓學生在創思過程中有能力分析問題並且綜合應用所學。

其中便指出在實施科技課程時，實作經驗的重要性。相關研究也指出，學生解釋整個活動是讓人興奮的，但在製做過程中因為對害怕使用工具，而使樂趣減少；而這會導致對活動的興趣降低且難以克服 (Davies, 2000)。Boston Consulting Group 亦曾做出結論：「創造過程最後最大的挑戰是執行，而非創新」(Mahle, 2007)，因此在學生已養成基本的工具使用能力，及相關知識的備全，才能更盡情地發揮科技創造力。

另外對於創造思考能力之培養也應更落實於生活科技教育之中，嘗試及錯誤是設計歷程的一部分，而設計歷程只能由設計師啟發性的知識加以改良 (Hardaker & Fozzard, 1997)。因此讓學生在課程活動中能熟悉各種創意思考的技術，則能對其科技創意歷程及產品創意表現上，有較開闊的思維。

而生活科技課以「動手做」為其主要課程特色，更應讓學生在動手之餘，對工具的使用有基本的認識，並能廣泛的了解各種工具使用時機及目的，能針對工作目的，適切地選

擇合宜的工具，進而發現更深入的製作問題並尋求解決，以對生活科技內涵有較為透徹之認識。

(三) 科技創意歷程之順序不應成為達成產品創意之限制

產品設計對今日教學上的問題之一為：學生傾向於破壞既定好的歷程模式 (Flowers, 1998)。在科技創意歷程的表現中，教師往往要求學生就已設定好的步驟進行活動，而學生也為達到教師要求而改變了本身的思考方式 (Hennessey & McCormick, 1994, 引自 Williams, P. J., 2000)。觀察學生之科技創意歷程，部份學生在作品規劃階段並無繪製設計圖，部份學生對於元件分析的描述不盡完備；或為了提出問題解決寫了無關緊要之問題，或為了評估元件而做出非必要的分析，但結果大都仍能完成作品。顯示了學生對科技創意歷程和產品製作本身即有一定的思考和製作模式，教師所提供之方法和步驟應是協助其發揮創意的路徑之一，而不應為唯一。

三、後續研究建議

(一) 建立科技創意歷程評分參考

多元評量是現今教育的趨勢，而歷程的評量除了可展現學生創意表現，也可代表學生在學習過程中所付出的努力。本研究雖以專家評分的方式進行預試，但專家間的共識不足，或評分標準的歧異，都可能在研究中造成過多的誤差。建議後續相關的研究，能針對學生的回答方式及內容，建立評分參考的依據，並擴大樣本的背景，使科技創意歷程的評量有更明確的參照，做為日後相關研究的依據。

(二) 研究工具的改進

本研究在研究工具方面，採用自行編製之科技創意歷程評分表，產品創意為改編「木工作品創作創新程度評量表」，同時研究亦並未對研究對象之態度、動機、環境、背景等因素做探討。在「創意中學生在學校中的經驗」研究中指出，創意產品受社會影響甚多 (Spooner、Marc, 2002)。而 Denton (2005) 在其研究結論中指出，設計能力最強的學生，

在就學前就已有較深的動機。今後研究建議採用多種研究與資料蒐集工具（情境式科技創造力測驗、構想創意評量表等），以增加研究數據的多樣化及準確性。

科技創意歷程雖和產品創意互有影響，但在本研究中只採檔案評量之形式，以學習單紀錄學生表現。彭森明（1996）年指出實作評量的缺點之一，即是實施和評分的时间較長。在本研究中使用檔案評量的方式對學生科技創意歷程加以評分，其過程耗時甚鉅。教學應用上，由於生活科技科教師任教班級相對較多，若有意為之，應對檔案內容有更謹慎的規劃；而學生對問題內容多樣化的回答，更考驗教師的專業，同時也容易造成評分上的誤差，對於利用限制回答方向之選擇題方式，或開放式之問答，教師在編製檔案時都應有所考量，使學生在歷程及產品創意表現之關係更加緊密。

（三）以不同的科技創意歷程起點之後續研究

科技創造力的培養與提升不是短時間可以達成的，需透過長時間的訓練才能看到顯著的效果。本研究由於時間與人力的限制，研究時間前後約八週，對於學生科技創意歷程的表現和產品創意表現所得之數據較不周全。而且並未對學生提出的產品改善，再進行科技創意歷程對產品創意進一步之研究。在今後的研究，可規劃較長期的時程，或以產品創意的檢討為起點，以提高研究結果的準確性，並得到其他更廣泛的推論。

參考文獻

- 王思峰、黃家齊、鄭俐敏 (2002)。團隊知識轉換與知識創造的實驗研究：知識螺旋理論的驗證。管理與系統，9(1)，29-60。
- 毛連塏、郭有通、陳龍安、林幸台 (2000)。創造力研究。台北：心理。
- 朱益賢 (2006)。從科技素養到科技創造力。生活科技教育月刊，39(8)，1-2。
- 李大偉、張玉山、林雅玲、何宜軒、劉罄儀 (2006)。不同範例展示及實作經驗對國中生技術創造力的影響。行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告 (94-2511-S-003-019)。台北：國立台灣師範大學工業科技教育學系。
- 李大偉、張玉山 (2000)。科技創造力的意涵與教學 (上)。生活科技教育月刊，33(9)，9-16。
- 呂金燮、李乙明、鄒韻淇、陳偉仁、黃楷茹、黃珮琇、楊翠凌、黃文玟、陳彥瑋、吳青陵、梁靜琴、王小萍、黃楨芬 (2003)。「問題本位學習模式」資優教師創意教學行動研究。教育部委託專案報告。台北：國立臺北師範學院特殊教育學系。
- 邱皓政、葉玉珠、蔡明宏 (1998, 12)。技術創造力的定義。論文發表於技術創造力研討會，國立中山大學，高雄。
- 何宜軒 (2005)。透過網路化創造性問題解決教學活動以培養國中學生科技創造力之研究。國立台灣師範大學工業科技教育系碩士論文，未出版，台北。
- 林彥志、朱益賢 (2006)。從生活科技製造領域教材分析探討科技創造力的啟發。生活科技教育，39(8)，29-42。
- 吳靜吉 (2003)。創造力的評量-4P 觀點。2008 年 10 月 10 日，取自 http://3q.creativity.edu.tw/modules/newbb/viewtopic.php?topic_id=12321&forum=51
- 林超群 (2007)。願景導向之創新產品設計。國立成功大學工業設計學系博士論文，未出版，台南。
- 侯旭峰 (2003)。傑出科技創作學童點子發想之研究。國立台灣師範大學工業教育研究所碩士論文，未出版，台北。
- 陳辰洧 (2005)。創意、設計與科技。生活科技教育，38(8)，57-72。

- 陳建廷 (2006)。國一學生一元一次方程解題歷程之研究。國立中山大學碩士論文。全國碩博士論文資訊網，095NSYS5331003。
- 張玉山 (2002)。虛擬團隊之創造力研究-以師院勞作課程為例。國立台灣師範大學工業科技教育研究所博士論文，未出版，台北。
- 彭森明 (1996)。實作評量理論與實際。教育資料與研究，9，44-48。
- 賴足菁 (2006)。Amabile 創造力成分模式與共識評量技術之驗證—以國小五年級繪畫為例。國立中山大學碩士論文，未出版，高雄。
- 魏炎順 (2005)。解構與科技創造力的實現。生活科技教育，38(5)，2-9。
- 柯景耀 (2005)。創造性問題解決模式於產品設計教學應用之研究。台灣師範大學工業科技教育系碩士論文，未出版，台北。
- 蕭錫錡、張仁家、黃金益 (2000)。合作學習對大學生專題製作創造力影響之研究。科學教育學刊，8(4)，395-410。
- 高靖岳 (2012)。國中生智力因素、創意認知與科技創造力表現之關聯性研究—以創意燈具製作為例。國立臺灣師範大學科技應用與資源發展研究所碩士論文，未出版，台北。
- 趙偉順 (2011)。國中生認知風格與科技創作表現關係之研究 (未出版之碩士論文)。國立臺灣師範大學，臺北。
- 張育禎 (2008)。國中生之經驗學習歷程與科技問題解決能力之關係。國立臺灣師範大學工業科技教育學系碩士論文，未出版，臺北。
- Amabile, T. M. (1983). *The social psychology of creativity*. New York : Springer-Verlag.
- Atkinson, E. S. (1999). Key factors influencing pupil motivation in design and technology. *Journal of Technology Education*, 10(1). Retrieved May 15, 2009 from <http://scholar.lib.vt.edu/ejournals/JTE/v10n2/atkinson.html>
- Bailin, S. (1988). *Achieving extraordinary ends : An essay on creativity*. Dordrecht. Kluwer academic publishers.
- Beghetto, R. A. (2005). Does assessment kill student creativity? *The Educational Forum*, 69(2), 254-263.

- Besemer, S. P., & O'Quin, K. (1999). Confirming the three-factor creative product analysis matrix model in an American Sample. *Creativity Research Journal*, 12(4), 287-296.
- Chang Y. H., & Tomovic, M. (2006). Material selection. Retrieved May 15, 2009, from www.purdue.edu/discoverypark/PLM/SME/Material_Selection.pdf
- Davies, T. (2000). Confidence! It's role in the creative teaching and learning of design and technology. *Journal of Technology Education*, 12(1). Retrieved May 15, 2009, from <http://scholar.lib.vt.edu/ejournals/JTE/v12n1/davies.html>
- Denton, H. G. (2005). Effective student industrial designers : Identifying formative factors. *Data international research conference 2005*, 57-62.
- Flowers, J. (1998). Problem solving in technology education: A Taoist perspective. *Journal of Technology Education*, 10(1). Retrieved May 15, 2009, from <http://scholar.lib.vt.edu/ejournals/JTE/v10n1/flowers.html>
- Hardaker, C. H. M., & Fozzard G. J. W. (1997). Communications the bra design process – a study of professional practice. *International Journal of Clothing Science and Technology*, 9(4), 316.
- Jang, S., Yoon Y., Lee I., & Kim J. (2009). Design-oriented new product development. *Research Technology Management*, 52(2), 43.
- Mahle, U. (2007). The path to invention : some companies have found a way to reach an elusive goal. *Mechanical Engineering*, 129(9), 37.
- MG Taylor Corporation(1996). Seven Stages of the Creative Process. Retrieved September 15, 2008 from <http://www.mgtaylor.com/mgtaylor/jotm/fall96/7stanat.htm>
- Plsek, P. E. (1996) . Models for the creative process. Retrieved September 15, 2008, from <http://www.directedcreativity.com/pages/WPModels.html>
- Spooner & Marc. (2002). Creative teenage students : What are they telling us about their experience in (and around) our high school? *Alberta Journal of Educational Research*, 48(4).

Vergragt, P. J., & Brown, H. S. (2004, December). Policies for Social Learning: “Bounded Socio-Technical Experiments”. Paper presented at the meeting of Berlin Conference on the Human Dimensions of Global Environmental Change ”Greening of Politics-Interlinkages and Policy Integration”. Berlin.

Williams, P. J. (2000). Design: The only methodology of technology? *Journal of Technology Education, 11*(2).

附錄

活動教案

主題	創意鉛筆容器製作				
年級	一年級	授課時數	6 節課	關鍵字	科技創意歷程、產品創意
領域	✓ 傳播 ✓ 製造				
教學內容提要	1.鉛筆容器的觀察及討論 2.依觀察及討論，設計創意鉛筆容器 3.製作所需之手工具之說明 4.學生自評				
課程綱要對照	1-4-1-2 能依某一屬性（或規則性）去做有計畫的觀察 6-4-5-2 處理問題時，能分工執掌，做流程規劃，有計畫的進行操作 7-4-0-6 在處理問題時，能分工執掌、操控變因，做流程規劃，有計畫的進行操作 8-4-0-3 了解設計的可用資源與分析工作 8-4-0-4 設計解決問題的步驟 8-4-0-6 執行製作過程中及完成後的機能測試與調整				
材料單	學生依所設計之鉛筆容器，蒐集所需之材料				
配合活動	1.藉由觀察現有產品提出個人看法 能從現有的鉛筆容器中發掘出可改善之處，至少一個 能針對材料、外形、功能提出製作方向，至少針對一項 能根據設計，繪製設計草圖 2.能評估可行性 能由設計的產品中，將元件列表分析，至少二項 能描述材料由何處取得、造型如何製作、功能如何添加，至少各一項 3.問題發現及解決 能發現製作問題至少一個 能針對發現的問題提出解決，至少一個 4.自評及回饋 能根據作品給自評分數，並說明至少一個理由 能提出作品可改善之處，至少一個				
評量要點	1.教師根據科技創意歷程評分表，評量學生的 4 張學習單之表現 2.教師根據創意鉛筆容器評量表各項目，評量學生作品				
教學要點	1.教師可利用各式激發創意點子的教學策略引導學生對現有產品做出觀察及討論 2.應針對所要加工之材料加以提示，並對所需工具之使用提供講解及操作說明 3.若需要使用機具，教師應從旁指示，以確保操作安全 4.學生在製作時，教師應適時提供指導及協助				

教學活動流程

週次	時間	活動內容	學習單	創意歷程
1	10min	教師提出作品要求，並將學生分組	一	作品規劃
	15min	利用學習單，引導學生做腦力激盪，並請學生寫下作品的可能性		
	20min	選定最佳的方案，並對作品畫出草稿		
2	10min	請學生分析草稿的可行性（材料如何取得、加工的困難）	二	設計分析
	30min	讓學生把草圖的各元件分化出來，並對元件的目的、作法、材料、外觀、結構做出規劃		
	5min	請學生重新檢視各元件的必要性及是否需要修改		
3 4	15min	說明手工作的使用安全規則，並示範使用的方法	三	元件製造
	20min	讓學生練習及熟悉工具的使用		
	55min	將帶齊之材料，加工製成各個元件		
5	15min	說明各式接著劑的使用特性，並讓學生提出其他組裝的問題	三	組裝
	30min	作品組裝及修改		
6	20min	功能測試及產品評量	四	功能測試
	25min	讓學生對作品自評，並提出新的問題或可改善的部份		

學習單

活動名稱：鉛筆容器的無限可能

學習單一：鉛筆容器的聯想 班級： 座號： 姓名：

1.我覺得我自己的鉛筆盒有什麼地方是我想要改變的？

2.如果能買到，我希望我買到的鉛筆盒有什麼特別之處？

材質：

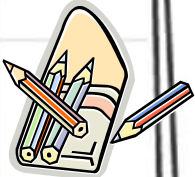
外觀：

功能：

你所想要的鉛筆容器和現有的產品比較，有什麼不一樣的地方？

The form consists of a large dashed-line box. The top part of the box contains the text '你所想要的鉛筆容器和現有的產品比較，有什麼不一樣的地方？'. Below this text, there are three distinct rectangular areas defined by dashed lines, intended for students to write their answers. The first area is bounded by a blue dashed line, the second by a green dashed line, and the third by a purple dashed line.

我的作品名稱：



活動名稱：鉛筆容器的無限可能

學習單二：鉛筆容器的製作規劃

班級： 座號： 姓名：

1.根據你的設計，請將設計圖中的鉛筆容器分解成零件？再把這零件填入下表，愈詳細愈好：

編號	零件名稱	材料	目的
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			

2.接下來請評估你的想法，依如下的評估表，評估作品的可行性。

編號	項目	可行性說明
1	構想所需要的時間約幾小時？	
2	作品的預算約是多少？	
3	所使用的材質要如何上色？	
4	造型變化要使用的工具有那些？	
5	材料要到何處取得？	
6	增加的功能要如何完成？	
7	組裝的方式為何？	
8	相關資料的來源？	

根據評估，我覺得我做的出來嗎？若是做不出來，我該怎麼辦？

作品名稱：鉛筆容器的無限可能

學習單三：鉛筆容器的製作紀錄

班級： 座號： 姓名：

1.請依照所規劃的零件表逐一製作出來，並請紀錄製作過程中，所遭遇的問題及解決的方法。

編號	零件名稱	製作過程問題／解決方法	完成日期
1			
2			
3			
4			
5			

活動名稱：鉛筆盒的無限可能

學習單四：鉛筆容器的製作評鑑

班級： 座號： 姓名：

1.我覺得我的作品可以得幾分？有什麼特色讓我的鉛筆盒值得這個分數？

自評分數	理由
------	----

2.如果再做一次，我希望這個鉛筆容器再進化成什麼樣子呢？

零件部位	可改善之處

鉛筆容器創作作品評量表

評量向度		優	中	劣
整體評分		5□	4□	3□ 2□ 1□
樣式	主題設定	5□	4□	3□ 2□ 1□
	色彩變化	5□	4□	3□ 2□ 1□
	造型變化	5□	4□	3□ 2□ 1□
材質	材料合宜性	5□	4□	3□ 2□ 1□
	取材變化幅度	5□	4□	3□ 2□ 1□
結構	外加機能	5□	4□	3□ 2□ 1□
	結構機能	5□	4□	3□ 2□ 1□

色彩變化	色彩使用是否與眾不同。
造型變化	外型變化，如幾何圖形的應用。
材料合宜性	是否取用適合作品要求之材料。
取材變化幅度	材料的多樣性。
外加機能	除了裝筆或放文具之外特別之功能
結構機能	結構變化，組裝方式及開闔方式變化程度。