

雷射射擊模擬器與無線感測傳輸

柯世勇

陸軍軍官學校電機系

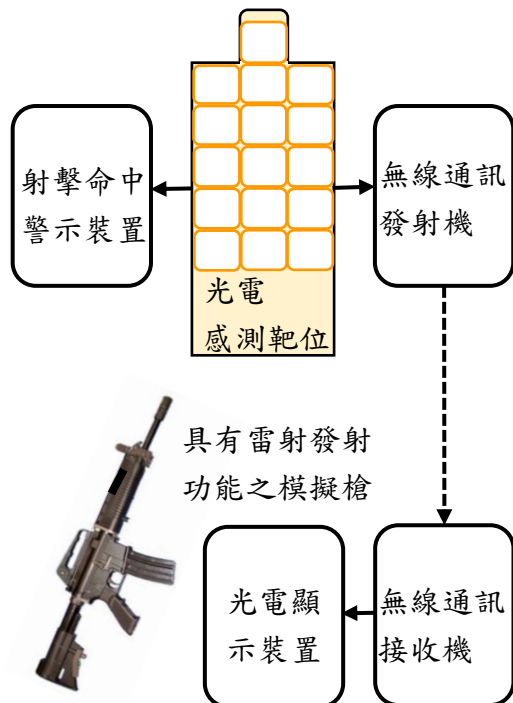
摘要

本論文提出具備無線感測傳輸功能的雷射射擊模擬器系統研究，本系統包含具有雷射發射裝置的模擬步槍（或手槍）、具有光電感測功能的靶位、射擊命中警示裝置、無線通訊發射機與接收機、以及光電顯示裝置。本文說明如何以 Arduino 開發板控制系統運作，其中運用多線程式設計以多工方式完成射擊結果的即時警示以及顯示靶位命中位置。射手在射擊靶位後，光電顯示裝置可以即時地在射擊端呈現對應靶位命中位置的指標符號；由於即時的射擊結果顯示，射手可以隨時依結果調整瞄準技巧，進而提高射擊訓練成效。本系統設計著重於射擊技能的訓練，它的優點包括成本低、結構簡單、與方便的可攜性。

關鍵詞：射擊模擬器，無線感測，Arduino，多線程式

一、前言

雷射射擊模擬技術在軍事訓練領域一直有廣泛應用。早期射擊模擬技術常運用於武器模擬操作與射擊訓練[1]，近年來射擊模擬技術結合虛擬實境 (VR) 或擴增實境 (AR) 科技可以有效提升部隊作戰訓練成效[2]。相對於傳統的實彈射擊訓練，雷射射擊模擬技術可以減少彈藥成本、武器損耗和安全風險；另外，搭配使用頭戴式顯示器 (HMD) 或身體追蹤系統，可以讓士兵處於各種虛擬戰場環境，以磨練士兵的射擊技能、戰鬥狀況演練、與戰術作為。陸軍在建軍整備方面，持續建構模擬器技術開發與支援，例如提出輕兵器射擊訓練模擬器和戰車模擬器性能提昇[3-4]；此外，陸軍陸續引用「模擬夜戰情境系統」和「實兵模擬接戰系統」，以提升官兵模擬戰場訓練的成效[5-6]。綜合以上所述，射擊模擬技術在軍事訓練上扮演重要的角色，因此相關的射擊模擬技術



圖一：雷射射擊模擬器系統方塊圖

是值得進一步研究的課題。

本論文的研究對象如圖一所示的雷射射擊模擬器系統方塊圖，其中射擊區包含具有雷射發射裝置的模擬步槍(或手槍)、無線通訊接收機、與光電顯示裝置，靶區係由具有光電感測功能的靶位、射擊命中警示裝置、與無線通訊發射機組成。利用具備雷射裝置的步槍(或手槍)射擊光電感測靶位模擬射擊訓練已經行之有年，但類似的方法大多只能判定是否擊中靶位或命中靶位次數[7-8]，如此的顯示結果對於精準射擊訓練仍有不足。再者，早期的光電感測靶位缺乏無線感測數據傳輸功能，當靶位與射手間距離比較遠或射擊訓練環境有線信號傳遞架設困難，可能會有射擊結果辨識困難或系統線路安裝不便的問題。最近十年來隨著影像辨識技術的進步，以雷射射擊螢幕影像的模擬技術不僅能準確獲得靶位影像命中位置資訊[9-10]，還能搭配虛擬環境技術模擬戰場環境場景增進射擊與戰術訓練成效。但由於影像辨識需要經過電腦運算分析才能得知結果[11-12]，此外人機界面的校準或攝影機安裝位置也可能影響演算結果[13]，因此若做為移動性的模擬訓練系統可能需要再做適當的校正，將導致訓練單位使用上的困擾。

本研究的目標是開發一種具備無線感測傳輸功能與方便移動性的雷射射擊模擬器系統。為了達成精確射擊訓練成效，本系統需要即時顯示靶位射擊命中位置，但不需要利用影像處理以降低系統複雜性和成本；另一方面，可攜性可以使得本射擊模擬器系統方便地運用在不同的環境，依需要做移地的射擊訓練；再者，本系統是為了射手專注於射擊瞄準技巧的訓練，不具備虛擬戰場環境演練戰術射擊功能。在下一節「硬體系統架構與程式設計」中，本文要說明圖一雷射射擊模擬器系統設計；硬體方面包括靶區和射擊區裝置之電

子電路與原理說明，軟體部分包含控制上述各硬體的C++程式流程圖說明，並特別敘述運用多線程式設計以多工方式完成射擊結果的即時警示並顯示靶位命中位置。

二、硬體系統架構與程式設計

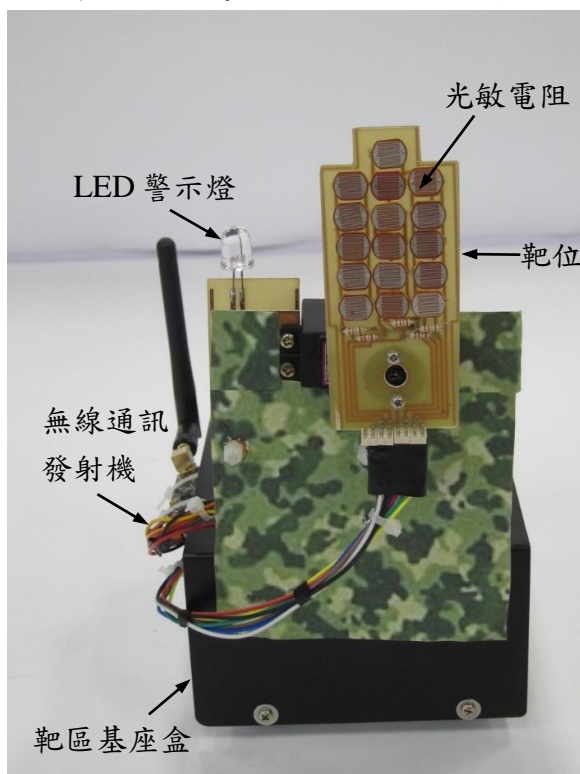
首先說明圖一雷射射擊模擬系統運作原理。射手在射擊區以 T91 模擬步槍瞄準靶位並扣動板機後會激發雷射光射出，當雷射光擊中靶位後，靶位上對應的光感器電阻降低，進而輸出高準位信號到靶區的 Arduino 開發板；之後，Arduino 開發板發出指令觸發射擊命中警示裝置動作，同時 Arduino 開發板令無線通訊發射機發射控制字元訊息。另一方面，在射擊區的無線通訊接收機接收到控制字元訊息後，再轉傳訊息給射擊區的 Arduino 開發板；然後依據不同的控制字元訊息，射擊區的 Arduino 開發板控制光電裝置顯示靶位射擊命中位置的結果。以上過程均在模擬射擊時一氣呵成。

1. 靶區硬體架構

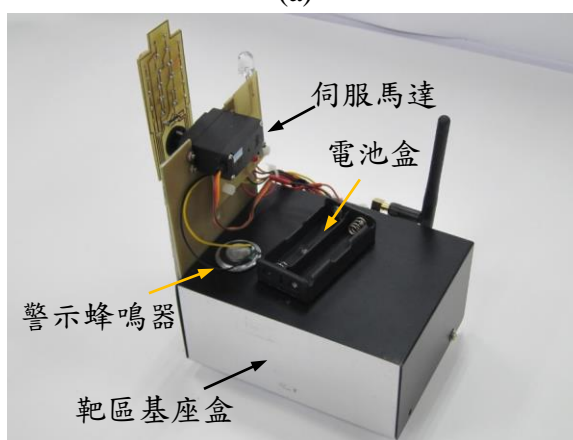
圖二表示靶區硬體裝置。光電感測靶位、LED 警示燈、警示蜂鳴器、伺服馬達、電池座、與無線通訊發射機被安裝在靶區基座盒上，基座盒的長寬高尺寸為 15 cm × 12 cm × 7 cm；另外，Arduino UNO R3 開發板與 Arduino NANO 開發板、直流對直流轉換器被安裝在基座盒內部。Arduino UNO R3 開發板是由電池盒(2顆 18650 鋰電池)供電，直流對直流轉換器可將電池電壓轉換成 5V 電壓直接供電給 Arduino NANO 開發板，不同的供電來源可避免 Arduino 開發板間可能的干擾導致錯誤動作，尤其在馬達突然轉動時可能產生不可預測的感應電壓干擾雜訊。

接下來，光電感測靶位上靶面光敏電阻

電路安置如圖三所示；依據射擊命中位置，靶面區分成右方區、上方區、中心區



(a)

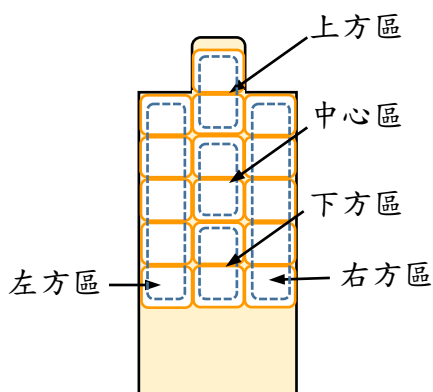


(b)

圖二：靶區硬體架構 (a)前視圖 (b)側視圖

、下方區、以及左方區，當雷射光擊中靶位後，靶面上對應的命中區連接腳位電壓會從低電位上升至高電位，同時 Arduino UNO R3 開發板可以判定靶位被擊中，並控制後續的射擊命中警示動作，例如 LED 警示燈明滅閃爍、蜂鳴器發出警報、以及向右傾斜的倒靶動作。如圖所示，靶位連

接著伺服馬達，靶位的運動是由伺服馬達帶動。



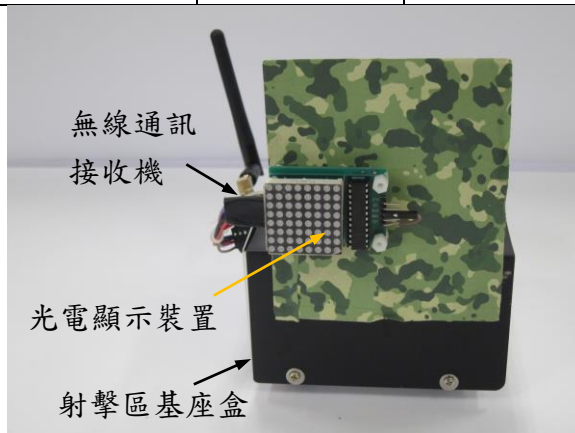
圖三：靶面射擊命中位置分區

在無線感測傳輸方面，Arduino NANO 開發板負責控制無線通訊發射機動作，Arduino NANO 開發板尺寸遠比 Arduino URO 開發板小，有利於安置在基座盒內的空間中。在此，採取 GFSK 調變技術的 NRFL24L01 無線通訊模組被用於收發感測訊息，NRFL24L01 模組操作在免許可證的 ISM 2.4 GHz 頻段並且通訊距離比一般物聯網通訊模組更遠[14-15]，可以滿足本研究需求。當 Arduino NANO 開發板感知靶位被射擊命中的位置區後，會驅使 NRF24L01 模組將對應的控制字元訊息傳送給射擊區的無線通訊接收機。靶面各位置區對應的控制字元如表一所示，如果需要更精確的指定位置區，可以在靶位上佈建更密集的光敏電阻元件，但這將使得電路成本增加。有關指標符號部分將在 2. 射擊區硬體架構中說明。

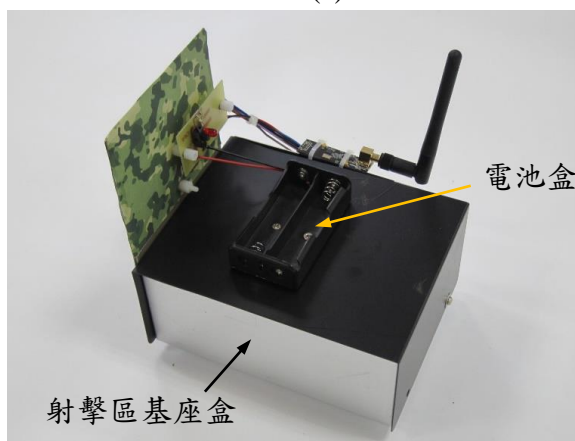
表一：靶面位置區與對應的控制字元及指標符號

靶面位置區	控制字元	指標符號
右方區	'R'	→
上方區	'U'	↑

中心區	'C'	□
下方區	'D'	↓
左方區	'L'	←



(a)



(b)

圖四：射擊區硬體架構 (a)前視圖 (b)側視圖



圖五：T91 雷射模擬槍

2. 射擊區硬體架構

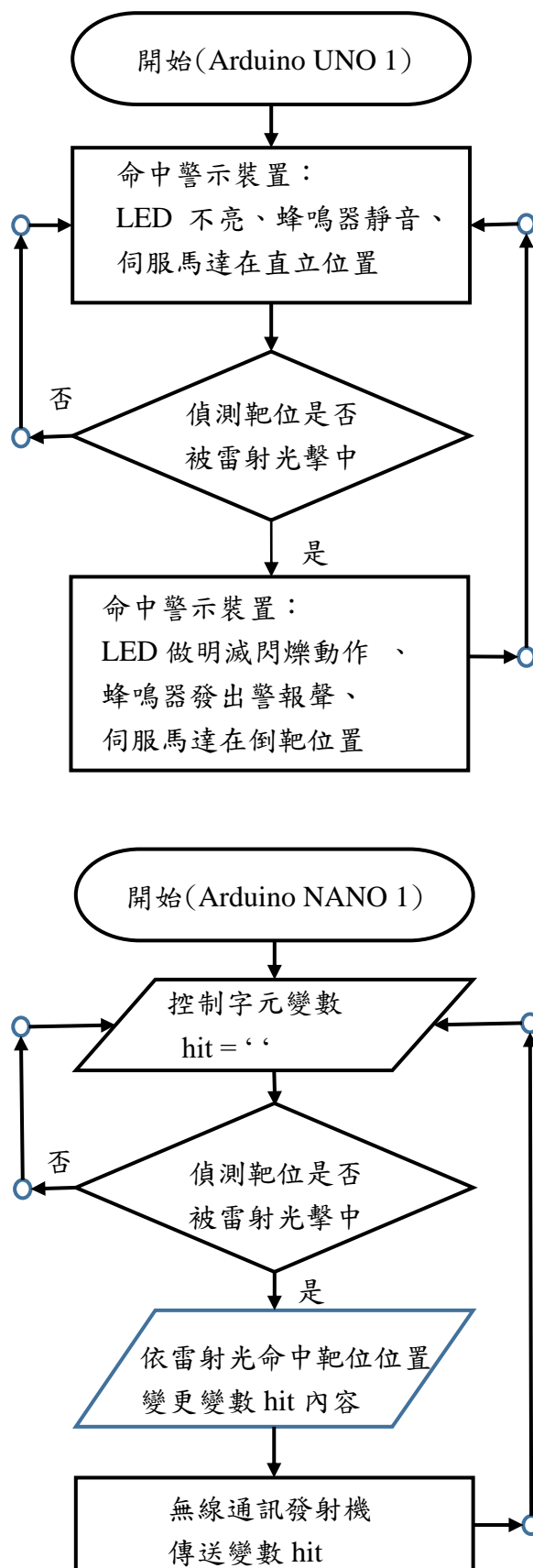
射擊區硬體裝置如圖四所示。無線通訊接收機、電池座、與光電顯示裝置被安裝在射擊區基座盒上，射擊區基座盒尺寸與靶區基座盒相同；另外，Arduino UNO R3 開發板與 Arduino NANO 開發板安裝在基座盒內部。在此，仍使用 NRFL24L01 模組作為無線通訊接收機，又 NRF24L01 模組是採用 SPI 介面協定；另一方面，射擊區架構利用 MAX7219 模組驅動的 8 × 8 LED 矩陣作為光電顯示裝置，而 8 × 8 LED 矩陣模組也是採用 SPI 介面協定；如上所述，因為 Arduino UNO R3 開發板只有一組 SPI 介面接腳可供使用，所以在此使用 Arduino UNO R3 開發板控制 8 × 8 LED 模組，另外又使用 Arduino NANO 開發板控制 NRF24L01 模組。

圖五表示 T91 雷射模擬槍外觀圖，其中槍身護套拆卸置於一旁，模擬槍由 3S 11.1 V 鋰電池供電。當進行瞄準射擊時，模擬槍的板機被扣下後，在板機握把內部的震動馬達作動模擬槍枝射擊時的後座力，且雷射產生器發出綠色雷射光射向靶位。自製的控制電路模組則安裝在槍身內，控制電路包含雷射激發電路和直流電壓轉換電路；雷射激發電路的功能是在扣動板機時觸發雷射產生，而直流電壓轉換電路的功能是轉換 3S 鋰電池電壓並提供雷射產生器所需的工作電壓，因此不需要額外的電池供電。

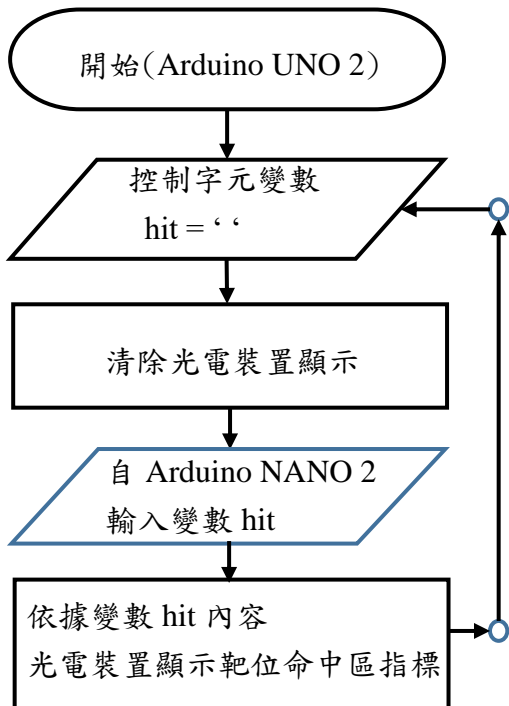
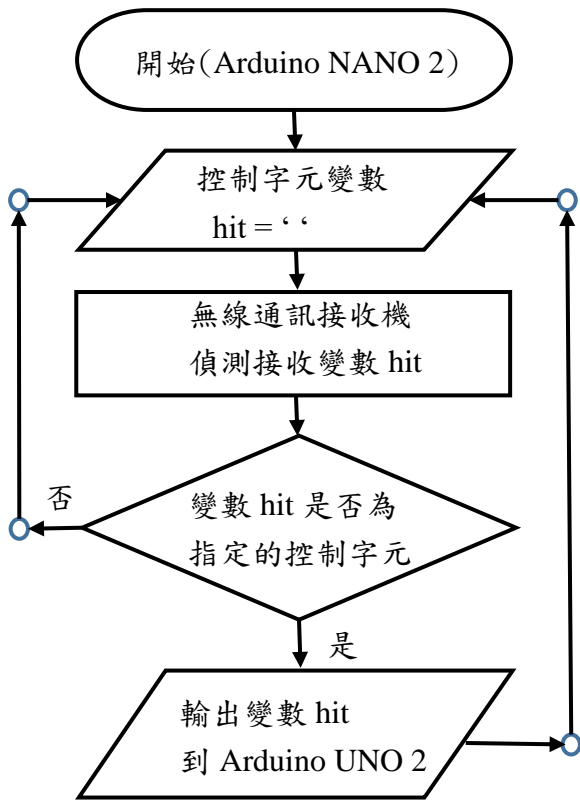
在無線感測傳輸方面，當射擊區 NRF24L01 模組接收來自靶區 NRF24L01 模組傳送的控制字元訊息後，Arduino NANO 開發板再將控制字元訊息轉傳給 Arduino UNO R3 開發板，然後 Arduino UNO R3 開發板再依據表一所示的對應靶面位置區，以指標符號形式在 8 × 8 LED 矩陣模組顯示。

3. 程式設計流程圖

本研究的 C++程式設計是在 Arduino IDE 1.8.4 版本的平台上完成。為了配合靶



圖六：靶區控制程式流程圖



圖七：射擊控制程式流程圖

區和射擊區裝置的控制，總共有 4 個程式分別上傳到 Arduino 開發板中。接下來要以流程圖形式說明如何設計程式完成需要的控制動作。圖六表示靶區裝置的控制程式流程圖。在靶區中的 Arduino UNO 1 開發板程式主要負責判斷靶位是否被雷射光擊中，並執行靶位被雷射命中後的警示動作；另一方面，靶區中 Arduino NANO 1 開發板程式主要負責控制 NRF24L01 模組，使其傳送控制位元變數 hit 到射擊區的 NRF24L01 模組。射擊區裝置的控制程式流程圖如圖七所示。射擊區中 Arduino NANO 2 開發板程式主要負責控制 NRF24L01 模組接收來自靶區的控制位元變數 hit，並即時將變數 hit 轉傳給 Arduino UNO 2 開發板；同時 Arduino UNO 2 開發板程式根據表一的對應關係，依不同的靶面命中位置控制 8 × 8 LED 矩陣模組顯示對應的指標符號。

三、結果與討論

首先要說明多線程式設計在本研究的重要性，主要體現在靶位上光敏電阻的多工感測以及靶位被命中後的多工警示反應。如圖三所示，靶面射擊命中位置被區分為五個區，各分區上的光敏電阻在雷射模擬射擊時必須”同時”感測靶位是否被雷射光擊中，也就是說光敏電阻的感測功能必需是多工的狀態。換句話說，如果光敏電阻感測是順序性的，將無法及時掌握靶位被擊中的時機或者造成時有時無的不良感測。為了讓光敏電阻可以進行多工感測，必須在控制程式中加入多線程式設計的方法，本研究係運用 Scoop.h 函式庫方法完成多工控制目的[16]。實際上，Scoop.h 多線程式方法是在短時間內分配控制各工作分別進行，以模擬接近”同時”的多工控制。實驗結果顯示本研究的多線程式設計

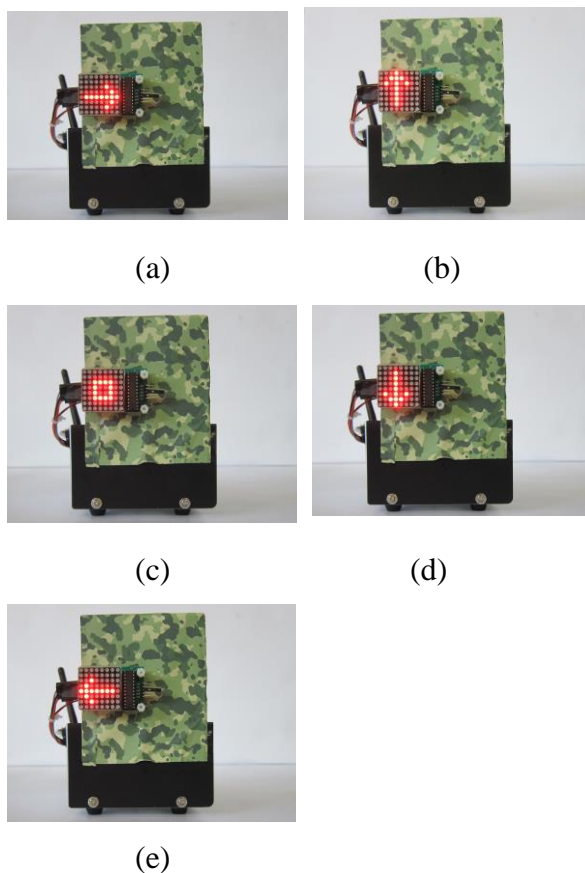


圖八：靶位被雷射光擊中後的警示反應

方法可以正確地完成靶面射擊命中位置的感測。

圖八表示靶位被雷射光擊中後的警示反應動作。當靶位被雷射光擊中後，靶位由直立位置向正右方傾斜做倒靶動作，LED 燈以 250 毫秒間隔做明滅閃爍動作，蜂鳴器產生 400 毫秒 620 赫茲頻率與 600 毫秒 880 赫茲頻率交互警示聲響，以上警示動作維持 4 秒後回復原始無警示狀態。由於加入多線程式設計控制，以上三個警示動作呈現多工進行的狀態，也就是感覺上是”同時”進行。在此程式設計中，必須採用 sleep()指令取代 delay()指令控制延時動作；delay()指令將使 Arduino 開發板做順序性控制，sleep()指令可以讓 Arduino 開發板模擬多工控制。另一種可以達成多工控制的方法是運用 millis()指令[17]，但由於它會使得程設計上更複雜，因此這裡不採用該指令。越簡潔的程式設計有利於閱讀與維護，並可降低程式失誤機率。

接下來，靶區無線感測在射擊區之光電顯示結果如圖九所示，靶面命中區與對應的指標符號如表一所示。當雷射光擊中靶面右方區時，8 × 8 LED 模組顯示指標符號→如圖九(a)所示，其餘符號依此類推。能夠以光電感測技術即時顯示靶面擊中區是本研究的主要貢獻之一。通常傳統雷射光電感測射擊模擬只能顯示靶位是否被擊中，但對於更精進的射擊訓練，我們也需要感知靶面被擊中的位置以適時調整瞄準方式。雖然近年來運用影像辨識技術的雷射射擊模擬系統可以準確地分析靶面擊中位置，但這種技術必須仰賴額外的電腦演算，當系統需要新的地點安置使用時，需要對人機介面和攝影機做適當校正，增加移地訓練的不方便性。比較影像辨識技術，本系統方法依賴光敏感測元件直接判定靶面射擊命中區，不須要電腦輔助或環



圖九：射擊區無線感測之光電顯示結果

境校正，因此具有更方便的可攜性；此外，本射擊模擬器系統由模擬槍、靶區裝置箱、與射擊區裝置箱構成，結構相對簡單許多且成本較低。最後要說明的是不論光電感測技術或影像辨識技術，模擬槍發射的雷射光都是直線型式；基於實際彈道是拋物線，在射擊訓練時若能考量彈道修正瞄準，將可以藉由模擬射擊達成更精準的射擊訓練。

四、結論

本研究探討雷射射擊模擬器的靶位光電感測技術，並利用無線通訊傳輸射擊結果資訊以提高射擊訓練的成效。在軟體設計方面，本文提出多線程式方法解決多工感測與多工警示的技術需求，這種多線程式設計方法可廣泛應用於解決多工任務控制的問題。另一方面，本文提出的靶區與射擊區基座箱硬體設計架構具有成本低、結構簡單、與方便的可攜性等優勢。實驗的結果能滿足原始設定的射擊訓練功能需求。

另外，本研究提出光電感測方法判斷靶位射擊命中位置，並且可即時以無線方式傳送射擊結果資訊到射擊區，提供射手參考並調整瞄準方式，可以即時提高射手的訓練成效。雖然目前影像辨識結合虛擬實境技術確實在雷射射擊模擬與戰場狀況演練提高很好的訓練成效，但是影像辨識技術需要電腦演算輔助，搭配的攝影機或人機介面可能需要現場校正才能達到更準確的射擊判定，比較不適合在不同場所隨裝即用。相對地，可攜性使得本研究的光電感測系統可以更方便的應用在移地訓練，並且本系統可以提供基本的靶位射擊命中位置資訊，因此本研究提供了另一種實用可靠的雷射射擊模擬訓練系統選擇。

參考文獻：

- [1] 顏春露，”模擬訓練系統於步兵教學運用研究”，*步兵季刊*，第 215 期，51-61 頁，94 年。
- [2] 孫銘鴻，”運用虛擬(擴增)實境科技提升機步部隊訓練成效之研究”，*步兵季刊*，第 269 期，1-16 頁，107 年。
- [3] 潘國英、陳戊鉉，”輕兵器射擊訓練器專案出國報告”，中山科學研究院第一研究所，100 年。
- [4] 張宏偉、王晚成，”戰車模擬器性能提昇暨系統連網整合案之關鍵技術研討出國報告”，中山科學研究院第一研究所，100 年。
- [5] 張曜溟，”「夜戰情境系統」對訓練成效提升之研析”，*步兵季刊*，第 248 期，13-24 頁，102 年。
- [6] <https://www.youtube.com/watch?v=AhR8VbZ7DTY>
- [7] Sun Rong-xia, Chen Xiaofeng, “The design of the laser simulation training device,” *Third International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*, pp. 71-74, 2010.
- [8] 王宏，趙西友，孫安青，”ATmega32 的輕武器射擊訓練靶機控制系統設計”，*桂林空軍學院火力與指揮控制*，第 07 期，165 – 167 頁，2012 年。
- [9] 高冰鈺，王洪源，”基於 Raspberry Pi 的類比射擊訓練系統設計”，*瀋陽理工大學科技創新導報*，第 15 期，10-11 頁，2019 年。
- [10] Miroslav Lábr; Ladislav Hagar, “Using open source on multiparametric measuring system of shooting,” *International Conference on Military Technologies (ICMT)*, pp. 1-6, 2019.
- [11] Wei-Kai Liou, Sou-Chen Lee,

- “Application of Laser Guide and Wireless Control Method on Military Training and the FPS Game System,” *IEEE Fourth International Conference On Digital Game And Intelligent Toy Enhanced Learning*, pp. 117-119, 2012.
- [12] M. A. Borja-Benítez, J. A. Tirado-Mendez, L. A. Vásquez-Toledo, “Shooting impact detection system on a fixed target using a dynamic video frame reference,” *IEEE International Autumn Meeting on Power, Electronics and Computing (ROPEC)*, pp. 1-6, 2019.
- [13] <https://homeless-eng.webnode.page>
- [14] <https://swf.com.tw/?p=1039>
- [15] 柯世勇，”無線遙控課程設計與製作”，黃埔學報，76期，99-112頁，108年。
- [16] <https://github.com/soif/SCoop>
- [17] <https://forum.arduino.cc/t/arduino-multi-tasking-tutorial-how-to-use-millis-in-arduino-code/653971>

LASER Shooting Simulator and Wireless Sensing Transmission

Shyh-Yeong Ke

Department of Electrical Engineering, ROC Military Academy

Abstract

This study proposes a LASER shooting simulator system with wireless sensing transmission function. The system consists of a simulated rifle (or pistol) with a laser emitting device, a target with photoelectric sensing function, a shooting warning device, a set of wireless communication transmitter and receiver modules, and a photoelectric display device. This article demonstrates how to use the Arduino board to control the operation of the system, in which the multi-thread program design is used to complete the real-time warning of the shooting result and display the hit position of the target in a multi-task way. After a shooter shoots the target, the photoelectric display device can instantly show the pointer symbol corresponding to the hit position of the target on the shooting end. Due to the real-time shooting result display, the shooter can adjust the aiming skill according to the result at any time, thereby improving the effectiveness of the shooting training. The system design focuses on the training of shooting skills, and its advantages include low cost, simple structure, and convenient portability.

Key words : Shooting simulator, wireless sensing, Arduino, multi-thread program