

# 3D 立體移動式射擊運動多媒體輔助訓練養成系統

陳光雄

南臺科技大學多媒體與電腦娛樂科學系

khchen@stust.edu.tw

## 摘要

孕龍科技公司主要以 IC Design 為核心技術，多年來專精於硬體週邊產品設計，其自行研發的邏輯分析儀相繼獲得 2006 及 2009 年「台灣精品獎」的肯定，其硬體及軟體的開發技術已達國際水準。為了讓精密儀器有其應用的舞台並延伸其市場規模，公司結合日新月異的多媒體產業技術，而與南臺科技大學合作開發出一款「3D 立體移動式射擊運動多媒體輔助訓練養成系統」，來提升公司的營運規模及層次，所使用的技術包含機電整合、感應定位、程式設計、3D 美術及多媒體影音、資訊理論和雲端設計等。系統共包含五種實用射擊模式：(1)快速射擊；(2)移動目標射擊；(3)阻停射擊；(4)夜間射擊；(5)目標辨識射擊，並參考國際實用射擊協會(IPSC)的規則。系統以大型機台為其硬體介面，內部嵌入精確的光槍定位系統，能準確算出光槍所投射在螢幕上的光點位置，同時以 Electro-Server 為伺服器架構，連結並管理用戶端及雲端的資料傳送，並導入模糊邏輯概念來加速網路的資料傳送。此外，本系統亦可作為軍方或警方等政府單位的射擊訓練教材，來培養更專業的射擊人才。

**關鍵詞：**大型機台裝置、射擊模擬系統、遊戲企劃、雲端伺服器、模糊邏輯、高度平衡二元數

## Construction of Training-based Shooting System with 3D-based Motion and Multimedia Design

Kuang Hsiung Chen

Department of Multimedia and Entertainment Science, Southern Taiwan University of Science and Technology

### Abstract

Based on the core technology of IC component design, Zeroplus Technology Company has focused on peripheral hardware research and development over recent years, and has won the prizes of Taiwan Excellence Award in 2006 and 2009 for the products of self-designed logic analyzers. Its technology has reached the international level both in hardware and firmware design. To further expand the business market scale and scope, Zeroplus has cooperated with South Taiwan University of Science and Technology to construct a training-based multimedia shooting system. The technologies used by the system include electro-mechanical integration, sensing positioning, programming, 3D multimedia design, information theory, and cloud design. The shooting system is composed of five shooting modes: (1) quick shooting; (2) shooting while moving; (3) shooting while approaching; (4) shooting in darkness; and (5) object-recognition shooting, and refers to the rules of the International Practical Shooting Confederation (IPSC). It is installed on an arcade machine, with precise infrared positioning techniques, which can accurately locate the position projected by the light gun on the screen. The electro-server architecture is used as the control center to manage the data transfer between the clients and the internet cloud, and fuzzy logic is used to speed up the network. In addition, the shooting system can also be used to train and promote professional shooters in government institutions, such as the military and the police.

**Keywords :** Arcade Game Installation, Shooting Simulation System, Game Planning, Cloud Electro-Server, Fuzzy Logic, AVL Tree

Received: Apr. 26, 2017; first revised: Aug. 18, 2017; second revised: Oct. 16; accepted: Oct, 2017.

Corresponding author: C.-F. Li, Department of Biotechnology, Southern Taiwan University of Science and Technology, Tainan, Taiwan; Department of Pathology, Chi-Mei Medical Center, Tainan, Taiwan.

## 壹、前言

### 一、研究背景與目的

孕龍科技公司主要以 IC Design 為核心技術，多年來專精於硬體週邊產品設計，公司的競爭力除了來自於公司對整個相關產業的了解，本身的 Know How 外，與合作伙伴良好的互動關係，使本公司能掌握產業的脈動，提前設計出符合市場需求的產品。其自行研發的邏輯分析儀相繼獲得 2006 及 2009 年「台灣精品獎」的肯定，並通過超過十個國家的幾十件相關專利，擁有目前台灣市占率最高的邏輯分析儀，其硬體及軟體的開發技術已達國際水準，具備極高的產品穩定度。儘管擁有底層的精密技術，公司並不以此自限，想結合日新月異的多媒體產業技術，積極開發市場導向的新產品，而與南臺科技大學合作共同開發一款「3D 立體移動式射擊運動系統」，系統共分五種射擊模式：(1)「快速射擊」：槍手必須於限定時間內完成射擊，並擊中一定數量的固定標靶。(2)「移動目標射擊」：槍手必須開槍連續射擊移動中的標靶，標靶移動的方向可能由左往右或由右往左，槍手同樣必須在限定時間內命中一定數量的移動標靶。(3)「阻停射擊」：射擊朝槍手慢慢移動中的標靶，擊中後，靶將停止，以距離和彈著位置作為時間加成之依據。(4)「夜間射擊」：槍手必須於燈亮時記憶目標位置，於燈熄後憑記憶開槍射擊。(5)「目標辨識虛擬實境射擊」：模擬實戰場景，匪徒挾持人質，槍手必須在時間內擊倒匪徒，並且不能傷害人質。各個模式皆參考國際實用射擊協會 (IPSC) 的規則及射擊節奏，避免拖泥帶水，而讓槍手失去專注度，影響訓練結果。

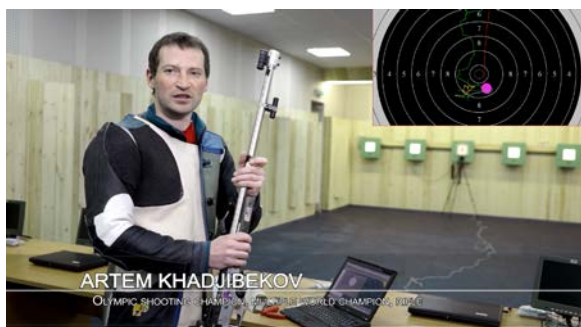
此外，為節省成本並具備智慧型軟體更新及移植之能力，本系統不採用一般 PC，而改採 Android mini PC 微處理器作為系統硬體架構之核心，並兼具多重 I/O 之功能，可連接射擊光槍、大螢幕、輔助資料庫，雲端伺服器，印表機等。微處理器內寫入目前相當主流的 3D 開發軟體 Unity 程式，並匯入 3D 美術圖檔；光槍是用來將螢幕上的座標傳入微處理器內，螢幕則顯示各個 3D 美術元件，輔助資料庫位於微處理器的旁邊，可由微處理器直接快速存取，用來暫時儲存即時性的使用者資訊，有點類似一般 PC 內的快取記憶體 Cache，最後再以離線方式連線至雲端資料庫作後續之定期更新。其中輔助資料庫的設計方式雖不起眼，但功能極為重要，除了可加快資料存取速度以彌補 Android mini PC 在效能上不及一般 PC 的缺點外，也可即時篩選最新的射擊資訊如該訓練機使用率最高的人員名單、彈著點分析及射擊建議等，可避免網路塞車，最後系統將射擊訓練後的成績、彈著點、射擊建議等訓練結果送至印表機進行列印。本研究開發之原型機台可作為未來政府或民間推廣射擊運動之平台。

### 二、相關文獻探討

射擊運動看似簡單、人人皆會，但其實是一項極為複雜的身、心、智之對抗，有些人先天適合射擊運動，有些人則較難適應。頂尖的射擊運動選手需具備極高的協調性、專注性、穩定性及對抗性[1-4]。林登松[1] 在他的研究中指出，焦慮是影響射擊的重要因素之一，透過心理層面的鼓勵和放鬆等方式，有助於提升射擊的成績表現。施榮宏[2] 則針對國內飛靶射擊選手在運動自信心、狀態焦慮與飛靶射擊準確性之差異進行量化研究，建議可以從心理技巧上著手來降低焦慮感並引導激勵自信心來達到射擊準確性的最佳效能，該研究可以作為國內推廣飛靶射擊運動之教學參考。徐婕瑀[3] 則進一步針對不同年齡、射擊層級、比賽水準、性別、運動年齡、射擊項目的選手在心理技能中表現的差異情形進行統計研究，研究的對象是以全國國中、高中、大學、社會而一直有在參與練習和比賽的選手為主，該研究可作為不同等級選手進行差異性訓練之參考。洪聰敏和石恆星[4] 則針對腦波與運動心理之關聯進行研究，並提供了一個運動與情緒關係性的研究方向。

在射擊技巧方面，大多應用在以商業利潤為訴求的大型機台電玩(Arcade games，又稱街機)遊戲產業上，該應用主要是以娛樂為訴求，講求快速射擊或漫射以增加快感，其本質並非強調射擊運動本身之精隨，而只是尋求一時的刺激感。任天堂(Nintendo)遊戲公司在八〇年代所開發的機台遊戲「警技射擊」

(Hogan's Alley)[5]可說是早期光槍射擊系統的代表作品，其主要的遊戲畫面會彈出多個壞人和無辜人士紙板，玩家需要擊中壞人，同時避免傷及無辜。而在實務射擊訓練方面，俄羅斯的 SCATT 公司[6]開發出一套極具效率的射擊系統，透過槍口下方的光學感應器可以精準的描繪出子彈射出時槍手手臂細微移動的連續軌跡圖，如圖 1(a)的右上角所示，作為槍手調整整體移動而使之穩定的參考，該系統主要是以俄羅斯的國家奧運射擊隊為實驗及合作對象。國家中山科學研究院所自行研發的大型多人射擊模擬系統(Simulator)則以軍事用途為主[7]，具備高性能影像產生器及視效運算引擎，可提供各式天候環境設定及 24 小時日夜變化的擬真功能，並可搭配各種尺寸及解析度之投影環境，如圖 1(b)所示。中科院所發展的武器系統曾多次參加國內台北國際航太暨國防工業展[8]。



(a) SCATT 公司所開發的射擊系統，圖中的測試槍手為奧運十公尺步槍冠軍 Artem Khadjibekiv。



(b)國家中山科學研究院所自行研發的軍用多人射擊模擬系統。



(c)新北市政府警察局所使用的「情境模擬應變射擊訓練場」為全國首創的大型警用模擬射擊系統。



(d)大型模擬系統應用在軍機飛行訓練上，圖中為美國 L3 公司開發的 F16 戰鬥機模擬訓練系統。

圖 1 國內、外著名的射擊訓練系統

大型模擬訓練系統也被應用在警方實境射擊模擬上，如新北市政府警察局所使用的「情境模擬應變射擊訓練場」[9] 於 2016 年 8 月正式開幕啟用，如圖 1(c)所示，為全國首創的大型警用模擬射擊系統，以雷射光束模擬子彈發射，並配有各類值勤用的應勤裝備，同時可自行設定不同的情境背景，以因應各種不同狀況下的開槍時機。此外，在飛行模擬應用方面，美國 L3 通訊公司的 F-16 Mission Training Center 部門開發一款 F16 戰鬥機飛行模擬系統[10]，如圖 1(d)所示，包含強大的物理處理及視覺顯像技術，主要是作為美國空軍的模擬訓練之用，以培養優秀的飛行人才。而在實務射擊訓練的理論上，Zhao and Zhang [11] 利用模糊理論和流體力學原理，依據目標的彈著位置，針對水平和垂直方向力道的物理向量進行分析，在不同的訓練方式下提供特定的數學方法和數量證據。李東鴻[12]則針對射擊原理、射擊技巧、瞄準與呼吸、心理與體能及射擊流程與實彈射擊等五大單元，進行理論和實務結合之綜合研究，並以目前國防部地面部隊主要的訓練槍種 T91 步槍作為實務射擊訓練之對象，以提升國內射擊人員的射擊成效。

## 貳、軟、硬體結合之週邊整合架構

## 一、開發「以 Android mini PC 為核心之週邊整合系統」

以 Android mini PC 為核心之週邊整合系統如圖 2 所示，該 mini PC 微處理器可連接光槍、雲端伺服器、輔助記憶體、螢幕、列印機、及其它 I/O 元件如啟動儀器及提示燈等。當透過啟動儀器開始射擊訓練時，透過光槍內部之紅外線攝影機對配置在螢幕邊框周圍的紅外線發射器 (IR mark) 進行偵測，可定位出光槍瞄準點在螢幕上的位置，該技術已由孕龍公司研發成功，並已取得台灣、大陸多項專利，啟動儀器可以是按鈕、代幣機、或卡片身份辨識儀等。

接著將射擊後的螢幕座標資訊送往位於 Android mini PC 內部的 Unity 核心程式作判斷，以決定後續的步驟及結果，而螢幕會適時出現多媒體圖像引導訓練者進行下個操作步驟。訓練完畢、結果產生後，將最新的資訊即時存入輔助資料庫中，並更新相關的資訊，最後將訓練結果及建議送往列表機進行列印，過程中會佐以各個提示燈方便使用者熟悉操作。最後當雲端伺服器較為空閒時，再將輔助資料庫的資訊送往位於雲端的資料庫進行資料更新。當下個使用者再度造訪時，會先至輔助資料庫中搜尋其身份以節省時間，並取出相關的資訊如訓練次數及週期、慣性時間、彈著點分佈之變異數、進步情形及分析表、參加競賽之結果及選手等級等，再接著進行後續的訓練。而訓練者之射擊結果綜合分析表則可送往國內相關射擊協會，作為優秀射擊選手之進一步篩選，為台灣的射擊界注入新血。

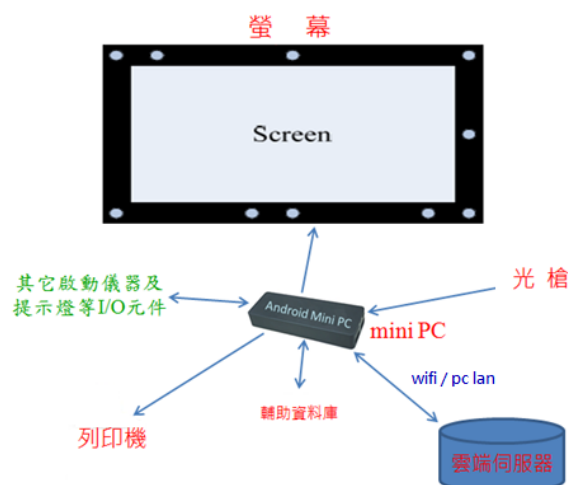


圖 2 以 Android mini PC 為核心之週邊整合系統

## 二、軟、硬體之整合及運作原理

### (一) 機台硬體規格及架構

製作本系統之原型機台組其規格：如圖 3 所示，機台的高度為 221.6 cm，上半部寬度為 86.3 cm，下半部寬度為 80.0 cm，深度為 150.5 cm，作為軟、硬體整合後之互動介面，除了以友旺 (AboCom) 的 A08 Android TV Dongle 為其主機外，機台的其它配合裝置還包含 IO-Board、光槍系統、紅外線 IR Mark 定位系統、顯示器、投幣器、彩票機、揚聲器，數位按鈕等週邊裝置。

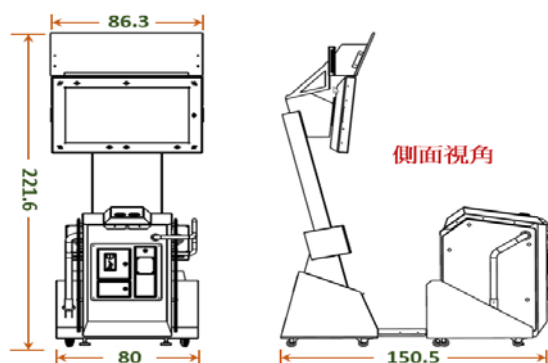


圖 3 發展軟、硬體用之原型機台組

### (二) 光槍指標系統之定位原理

本指標系統所使用之實體光槍如圖 4(a)所示，圖 4(b)顯示其瞄準原理，利用光槍上的照門與準星瞄準畫面中的標靶，扣擊板機進行射擊。

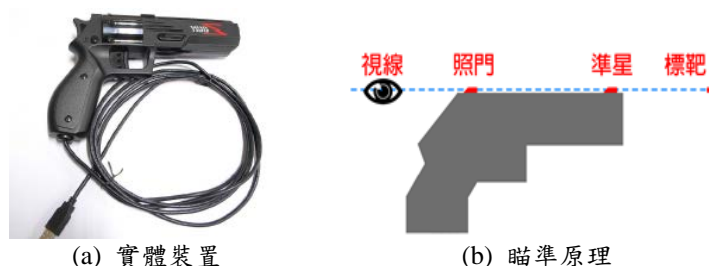


圖 4 光槍指標系統中的實體裝置及瞄準原理

圖 5、圖 6 顯示光槍指標系統其螢幕定位之原理，其中螢幕的邊緣配置 10 個紅外線發射器 (IR mark)，會發射紅外線光束，圖 5(a)為其示意圖，圖 5(b)為其實體配置圖，每個發射器的相對位置都有其固定的規格，而圖 5(c)為 IR mark 之實體放大圖，其發射的範圍如圖 6 所示。而光槍的槍口配置紅外線攝影機，可偵測不同方向發射而來的紅外線，藉此進行槍枝對螢幕之定位，該技術已由孕龍科技公司獲得一項中華民國發明專利及兩項中國大陸專利 [21]。

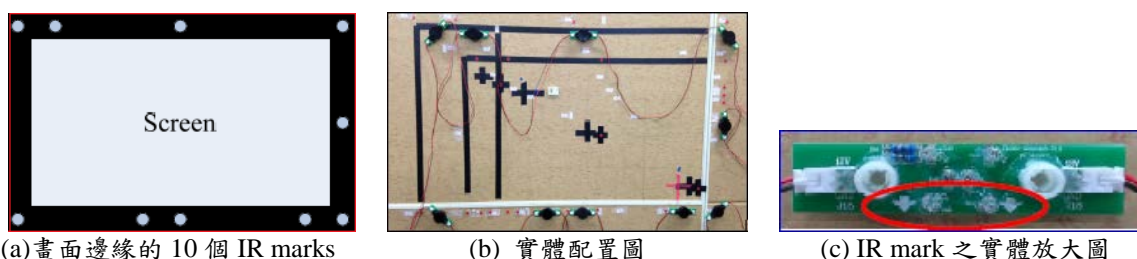


圖 5 光槍指標系統之內部感測原理

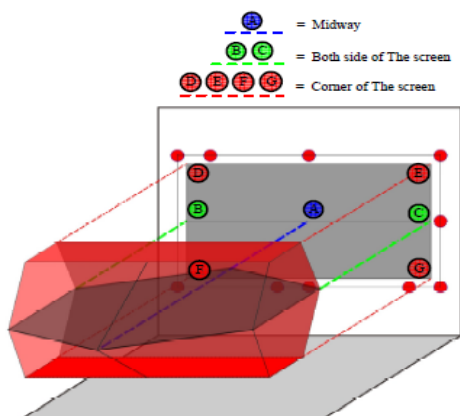


圖 6 光槍指標系統原理

### (三) 軟體基本架構及流程

軟體基本架構及流程主要包含以下幾個部分：首先是在開始正式射擊前的歸零 (校正)射擊，射擊者於無準心游標的狀態下，瞄準靶心並擊發，系統將依據射擊者擊發的偏差進行校正，並顯示校正後的準心游標及文字提示訊息，以符合每個射擊者不同的身體結構及瞄準點，歸零校正射擊與系統主程式的連結流程如圖 7 所示，圖中的 [Shooting System] 方塊為射擊訓練部分的主系統，包含五個分屬於不同射擊模式的子系統，將於後面章節作進一步說明。而系統的其它輔助流程部分如待機畫面輪播流程與排行榜流程、接關流程則分別顯示在圖 8、圖 9 中。

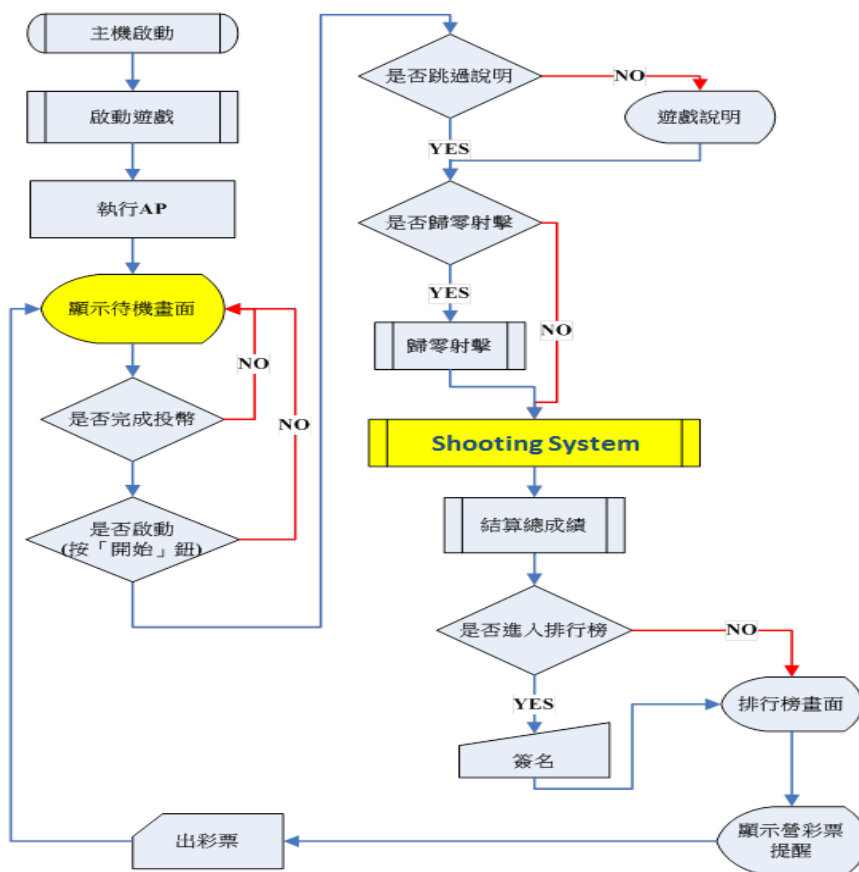


圖 7 歸零 (校正)射擊與系統主程式的連結流程圖

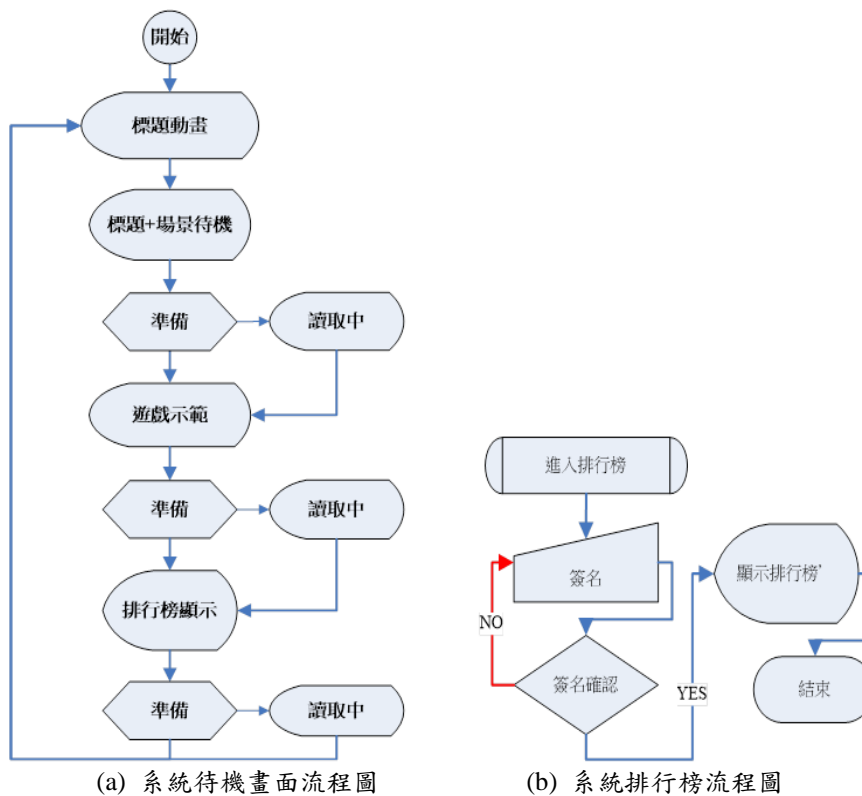


圖 8 系統待機及排行榜流程圖

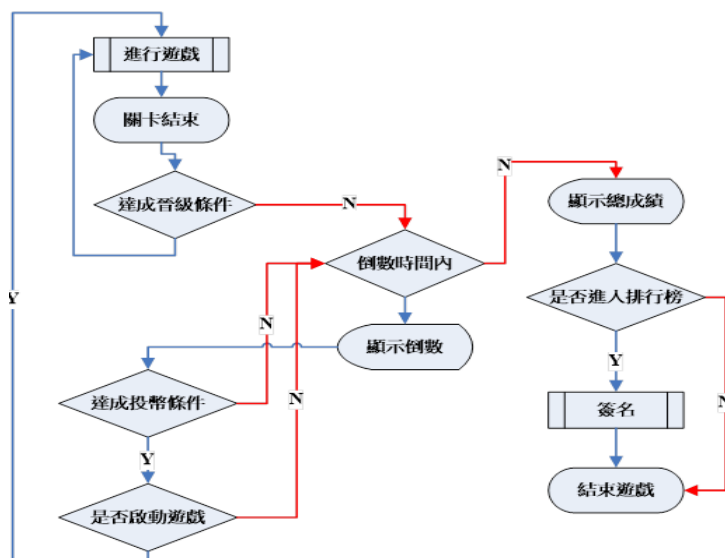
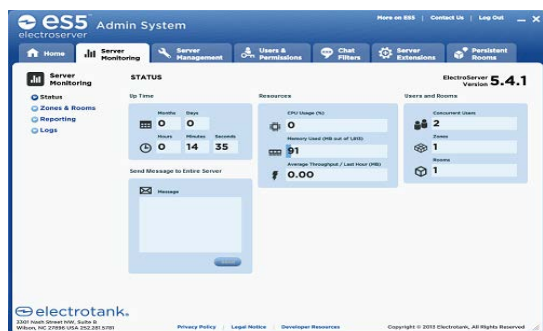


圖 9 系統接關流程圖

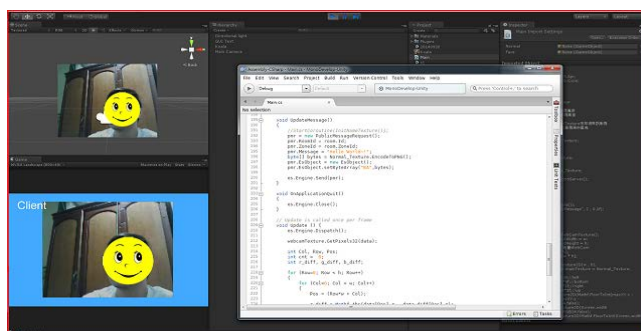
### 三、以 Electro-Server 為通訊架構設置雲端伺服器

雲端運算嚴格來說並非一種硬體技術，也沒有特別的軟體規格，它只是一種概念，在『雲端運算技術指南』[13]一書中指出，雲端運算是『將電腦運算與資料儲存工作，都放到網路上處理。』，從這段話中我們可以得知雲端的概念具備相當程度的分散性(Distribution)、可攜性(Portability)、置換性(Replacement)和靈活性(Dynamics)，且速度快慢是最主要的概念訴求，可以預見的是，雲端運算未來的應用範圍及發展將會一直往前、無遠弗界。如果我們透過網路連上任何一個我們需要的雲端伺服器，即可進行運算與資料儲存，以避免因過度集中處理而拖垮效能，而到底是甚麼方法能幫我們進行快速運算和資料儲存的工作呢？除了一方面仰賴在雲端運算伺服器所著附的電腦效能外(硬體)，另一方面也依賴伺服器本身所開發的軟體架構(軟體)。以 Gmail 為例，我們並不需要把我們信件下載至電腦硬碟中，我們只需開啟在 Gmail 的網頁，就可以利用 Google 所提供的雲端運算服務進行收發 Email 的動作。

本系統以 Electro-Server 作為雲端伺服器之主要架構 [14-15]，Electro-Server 是一款非常方便的軟體，官方網站提供最多 50 人共同連線的免費使用版本，可作為開發期初測試之用，實際營業時，可購買 1,000 用戶到無限用戶的付費版本，約台幣四萬至二十萬元不等，且官方網站也架設了教學及各類開放性資源提供使用者學習，並透過論壇作為使用者們交流及問題討論之平台。Electro-Server 擁有跨平台的特性，可在 Flash、C#、Unity 等市場主流軟體平台上作應用開發，具備相當大的發展潛力。圖 10(a)為 Electro-Server 伺服器端的連線狀態監視畫面，圖中顯示目前已有一個大區域 (Zone) 中的一個房間 (Room) 連上伺服器端，該房間內包含兩個使用者 (User) 正在進行訊息交換。圖 10(b)為 Client 端的應用程式畫面，圖中的 User 透過撰寫 Unity 程式 (圖中的編輯視窗)，將攝影機畫面中的人物圖像即時傳送至 Server 端，並在 Server 端予以存檔。



(a) 伺服器端的連線狀態監視畫面圖



(b) 將 Client 端之影像即時傳送至 Server 端並加以儲存

圖 10 Electro-Server 雲端伺服器之連線過程

## 參、核心系統：多重模式之『3D 立體移動式射擊運動系統』

本主題內容為整個系統軟體部份之主體，意即前面所提之射擊訓練主系統，透過軟、硬體間的技术整合，訓練使用者之射擊能力，其訓練流程如圖 11 所示。訓練開始時，可選擇單機訓練或多人連線訓練，選擇連線時，有兩種方式供一般通路或訓練機構選擇，一種為隨機選擇對手，此方式較適用於通路；另一種為同一個地點的使用者，如培訓選手，他們可能須一起訓練、一同比賽，透過連線比賽增加臨場的競爭性。接著進入模式一到模式五之訓練過程，訓練完畢後會顯示此次練習的總成績，並獲得適當的獎勵，成績達一定標準者可選擇參與排行，最後系統會列印使用者之綜合分析表，包含成績等級、彈著點分佈、慣性錯誤之分析、解說及建議等。模式一到模式五之訓練過程分述如下：

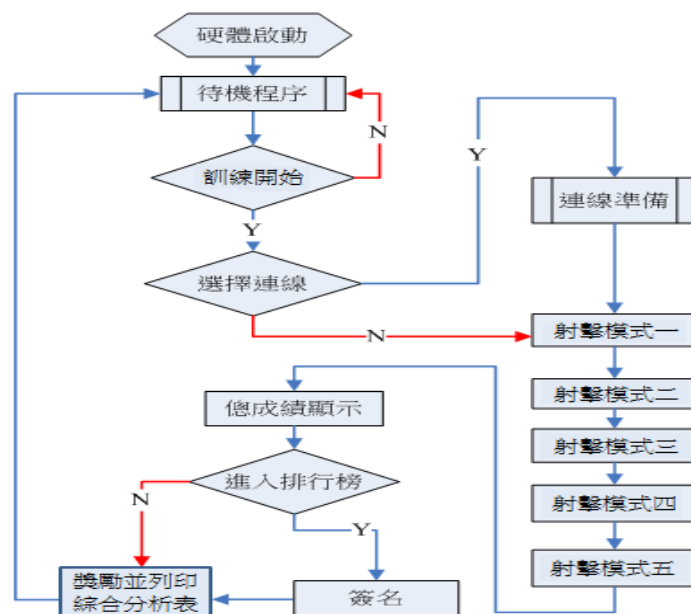


圖 11 射擊訓練主系統流程圖

### 一、「快速射擊」模式

- (一) **規則限制：**參照 IPSC 規則，如圖 12 所示，使用者必須快速射擊固定標靶，目標擊中後倒下，過程中雖然子彈數量無限制，使用者可以在沒子彈時更換彈匣，但會消耗一些時間在更換彈匣上，每次命中標靶時會有 2 秒之加成時間，槍手必須於限定時間內命中一定數量的標靶才能進入下一回合。本模式為 IPSC 最基礎之射擊訓練方式。
- (二) **晉級條件：**若槍手於限定時間內擊中一定數量的固定標靶，則晉級下一回合，若回合中超過時間仍未擊中規定的標靶數量，則結束本單元，無法晉級下一回合。本單元共三回合，三回合需命中的標靶總數分別為 8 個、10 個、12 個。
- (三) **訓練目的：**對固定目標的快速鎖定及精準射擊能力。

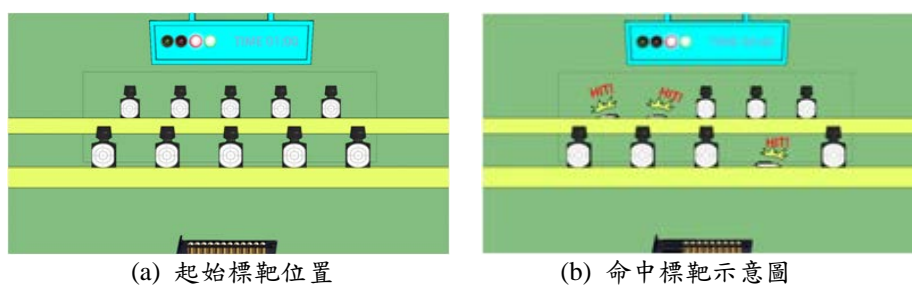


圖 12 「快速射擊」模式中的標靶示意圖



## 二、「移動目標射擊」模式

- (一) **規則限制**：共三回合，每回合之標靶都會進行兩種移動：由左往右移動 (如圖 13(a)、(b)所示)及由右往左移動 (圖 13(c)、(d)所示)，槍手必須在規定時間內不斷擊中橫向移動中的標靶，每回合皆有不同靶數及移動速度之規定，命中標靶時，會補充 3 秒的加成時間。
- (二) **晉級條件**：若於限定時間內命中規定的靶數，則晉級下一回合，若未達標準，則結束本單元，無法進入下一回合。三個回合需命中的標靶總數分別為 5 個、8 個、8 個 (可依難度適時調整)。
- (三) **訓練目的**：對橫向移動目標的快速跟隨反應能力。

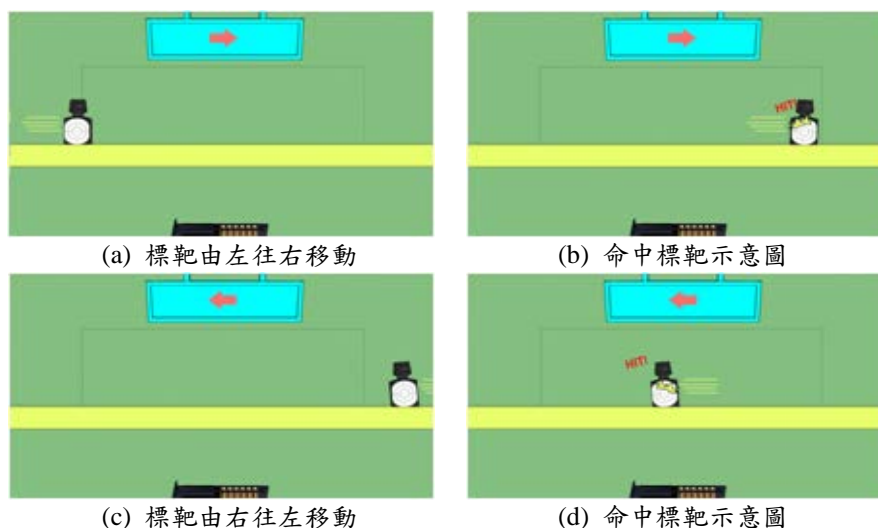


圖 13 「移動目標射擊」模式中的標靶示意圖

## 三、「阻停射擊」模式

- (一) **規則限制**：共三回合，標靶由遠而近往使用者移動(如圖 14(a)所示)，槍手一方面必須快速擊中靠近中的標靶靶心(如圖 14(b)所示)，另一方面也必須節省子彈，以提高命中率。若目標離槍手已接近至 3 公尺距離，則標靶消失 (同時消耗一些時間)，接著由遠而近再重新開始移動。擊中標靶後，靶將停止，以標靶和槍手間的距離，以及彈著點 (子彈與紅心的距離)來作為加成時間補充多寡之依據。
- (二) **晉級條件**：若於限定時間內命中規定的靶數，則晉級下一回合，若未達標準，則結束本單元，無法進入下一回合。三個回合的靶數規定分別為 5 個、8 個、8 個 (可依難度適時調整)。
- (三) **訓練目的**：對縱向移動目標的快速跟隨反應能力。在視覺原理上，由於縱向移動所需的 3D 空間認知及預測比橫向移動還難，因此不同槍手在本模式之得分能力彼此間的差距會較大，槍手需即時掌握最佳時機果斷射擊，如果猶豫不決便可能影響準度，在標靶慢慢靠近的過程中，太遠射擊可能會脫靶 (未命中靶)，除了降低命中率，也浪費子彈及時間，太近射擊雖較易命中，但所得分數較低 (加成時間補充較少)，如何拿捏得宜考驗槍手的果斷能力及彈無虛發之能力。

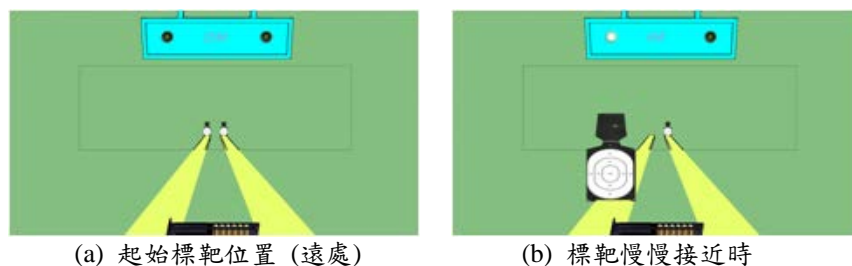


圖 14 「阻停射擊」模式中的標靶示意圖

#### 四、「夜間射擊」模式

(一) **規則限制**：共三回合，每回合需命中不同的標靶總數 (2 ~ 6 個)，每次命中標靶時會有 3 秒之加成時間，每回合中，槍手必須於規定時間內命中所需靶數。如圖 15 所示，槍手需於燈亮時記憶目標位置，於熄燈後憑記憶開槍射擊。每回合不斷進行下面兩輪射擊，直到時間耗盡為止：

甲、第一輪：亮燈(記憶靶位) → 熄燈(射擊) → 亮燈(看成績)。

乙、第二輪：亮燈(靶變換位置) → 熄燈(射擊) → 亮燈(看成績)。

丙、熄燈時間固定，若超過時間未射擊，視同失敗。

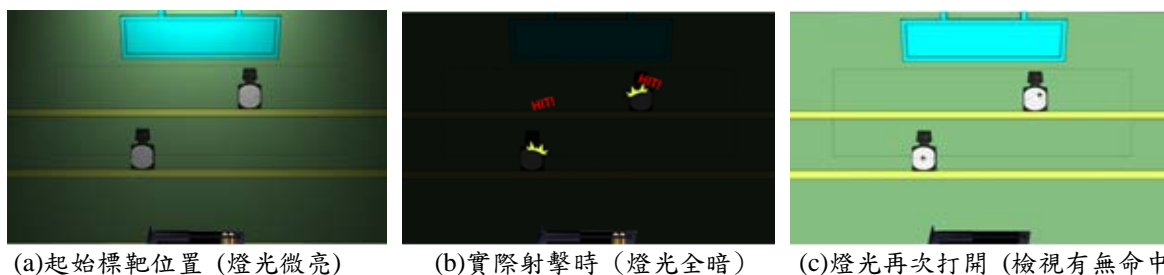
丁、第一回合每次出現的靶數：1 個。

戊、第二回合每次出現的靶數：2 個。

己、第三回合每次出現的靶數：3 個。

(二) **晉級條件**：若於限定時間內命中規定的靶數，則晉級下一回合，若未達標準，則結束本單元，無法進入下一回合。三個回合需命中的標靶總數分別為 2 個、4 個、6 個 (可依難度適時調整)。

(三) **訓練目的**：對光源明暗度之適應能力，無論白天晚上都不受影響，並培養視覺記憶能力。



(a)起始標靶位置 (燈光微亮) (b)實際射擊時 (燈光全暗) (c)燈光再次打開 (檢視有無命中)

圖 15 「夜間射擊」模式中的標靶示意圖

#### 五、「目標辨識虛擬實境射擊」模式

(一) **規則限制**：為以上四種基本動作訓練模式之應用延伸，如圖 16 所示，模擬歹徒挾持人質畫面，使用者必須在限定時間內擊倒一定數量的歹徒，而且不能傷害人質，本訓練以簡潔明快之節奏為主。本模式也包含三個回合，每個回合需於限定時間內命中一定數量的標靶後，才能進入下一回合。若命中目標標靶 (蒙面歹徒)時，將補充 3 秒之加成時間，若誤射人質 (美女標靶)，將扣除 2 秒之加成時間。每個回合之「標靶出現的間隔時間」及「標靶停留在畫面上的時間」皆不同，回合數越大，兩者之時間越短，難度也越高。

(二) **晉級條件**：若於限定時間內命中規定的靶數，則晉級下一回合，若未達標準，則結束本單元，無法進入下一回合。三個回合需命中的標靶總數分別為 6 個、12 個、12 個 (可依難度適時調整)。

(三) **訓練目的**：實際危險狀況發生時，臨機應變之能力，本模式非常適用於警察系統或情治人員之實戰訓練，對軍方野戰訓練也有幫助。

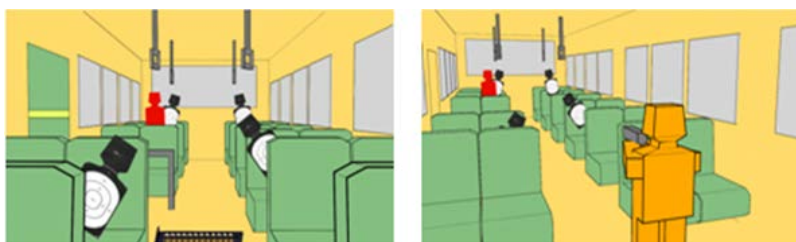


圖 16 「目標辨識虛擬實境射擊」模式中的歹徒、人質移動示意圖

#### 肆、軟體輔助方法

## 一、雲端資料庫的加速機制：以高度平衡二元樹 (AVL Tree) 作為資料儲存結構來縮短使用者資料存取時間

圖 17 為兩顆二元搜尋樹，每個節點代表一個物件，上面的編號為 id 識別號，若以中序走訪 (In-Order Traversal) [16] 讀取這些元件，則這兩棵樹的資料順序都會由小到大排列，意即 10、20、39、42、45、49、51、63、70、75、80，它們有相同的內容和順序。雖然它們的內容和順序都一樣，但看得出兩者的儲存資料結構相差甚大，圖 17(a) 為一顆嚴重失衡的斜曲二元樹 (Skewed Binary Tree)，右邊斜得比左邊嚴重，而圖 17(b) 為一顆高度平衡二元樹，簡稱 AVL 樹，AVL 樹的定義為：每個節點的左子樹和右子樹的高度相差最多為 1。造成樹的失衡，或甚至產生斜曲，乃起因於長期對資料庫的新增、刪除、修改，而未對其結構作進一步整理，造成許多空鏈結，導致許多孤獨節點距離樹根太遠，而消耗許多存取時間。

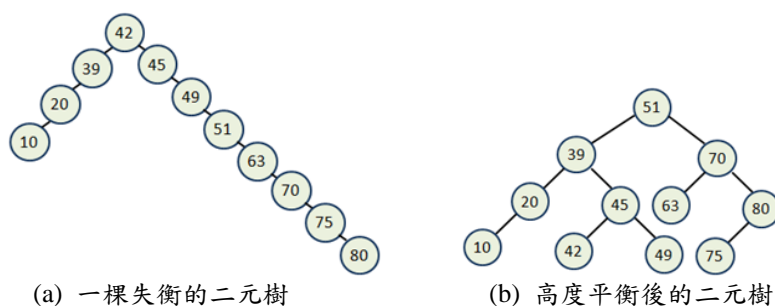


圖 17 二元搜尋樹之失衡及平衡

以圖 17(a) 失衡的斜曲樹而言，存取某個節點的平均比較次數為： $(1 + 2 \times 2 + 3 \times 2 + 4 \times 2 + 5 + 6 + 7 + 8) / 11 = 4.1$  (次)，而圖 17(b) 之 AVL 樹的存取節點平均比較次數為： $(1 + 2 \times 2 + 3 \times 4 + 4 \times 4) / 11 = 3$  (次)，兩者效能相差  $(4.1 - 3) / [(4.1 + 3) / 2] = 30.1\%$ ，相差近三成，這些差異在存取時間管理上是一個非常嚴重的問題，而且容易被非專業的設計者忽略，其補救的方法乃調整該失衡樹而使之平衡，意即將圖 17(a) 的斜曲樹，透過平衡演算法 [16-17]，調整為圖 17(b) 之 AVL 樹，調整過後的平衡樹將大幅減少資料庫的存取時間，本調整過程在資料庫的存取效能及時間管理上扮演關鍵的角色。

調整的時機大致上有兩種可供選擇：(1) 每當遇到某個節點進行新增、刪除、修改時，立即判斷是否失衡，若是，則立刻調整，避免累積不必要之斜曲度。(2) 先暫時允許某種程度之斜曲，避免資料異動太過頻繁，當資料異動累積一段時間，或失衡已達某種程度後，再整個進行調整，例如：一週調整一次。至於要採用何種調整需視資料庫的異動頻率而定，如果異動頻率不是很頻繁，有足夠的暫存佇列提供緩衝，則可採用第一種方式調整。但如果射擊據點眾多，雲端資料庫的異動非常頻繁，則平衡樹的資料不太可能每異動一次便調整一次，因為將會產生大量的排隊等候時間而造成網路壅塞，因此可採用第二種方式作調整。當二元樹失衡時，調整的方式依失衡的狀況歸納出四種不同的類型，即 LL 型、RR 型、LR 型、RL 型四種，詳細步驟請參考著作 [16]。

## 二、以模糊理論 (Fuzzy Theory) 作為資料存取權限設定之依據

模糊邏輯的概念 [18-19] 可應用在生活中的許多部份，例如，若有人問你，180 公分算高嗎，那你要如何回答呢？想必會有許多的假設出現，那如何將其公式化，而給予明確的答案呢，如果能畫出一個對應圖，便能顯示出高的程度，但前提是在哪種國家或場合。例如我們可以說在台灣，180 公分為「高」的程度為 0.7 (該程度值稱作隸屬度，即 Membership degree)，但在美國職業籃球聯盟 NBA，則 180 公分為「高」的程度其隸屬度可能會被設為只有 0.1，因而在台灣和在 NBA 可針對身高為「高」的程度繪製出兩個不同的隸屬圖 (Membership Degree Diagram)，如圖 18 所示。

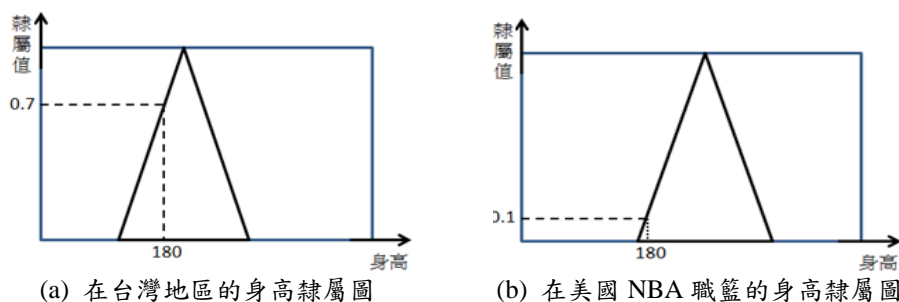


圖 18 針對不同區域所繪製之代表屬性為「高」的身高隸屬圖

當然一個隸屬圖中可定義出不同的屬性(Membership)，圖中的隸屬圖只繪製出一個代表屬性為「高」的三角形，如果再加上「矮」和「中等」兩個屬性，則每個隸屬圖中會多出兩個三角形，意即總共會有 3 個三角形，分別代表「高」、「矮」和「中等」三種相異屬性，而從圖中可直接看出在不同屬性下的程度值（即隸屬度之值）。依此理論，在多人連線中，每個使用者可設定不同程度的權限值或優先順序，除了能過濾使用者，也可增加網路的整體效能。例如，可依照不同區域的網路流量給予不同隸屬值，這有點類似高速公路上的閘道管制。因此，只要是模糊性的比例問題欲作量化，都能依此原理加以實現，目前模糊邏輯理論已被廣泛應用於各個領域中，甚至連家電都出現 Fuzzy 功能的洗衣機，足見其應用層面之普及。

### 三、彈著點分析回饋機制

本回饋系統藉由紀錄每次射擊訓練中的彈著位置，計算出每次射擊結束後的誤差向量偏移值，藉此分析該次射擊彈著位置的整體偏移情形，而對槍手提出合理建議及後續改善方案。圖 19 顯示三種可能的彈著分佈情形，圖中左邊的彈著分佈 (1)顯示槍口往左上方偏移，屬於較單純的單向偏移，如果槍手本身不願改變姿勢，可藉由槍枝校正過程予以修正。圖中的彈著分佈 (2)顯示子彈在射出槍口時，會出現忽左、忽右偏移的情形，此時槍手很難透過校正過程予以修正，因為槍手本身就已經不穩定，難以找出槍枝校正時之基準值。圖中的彈著分佈 (3)顯示較為嚴重的偏移情形，不僅彈著位置偏左，而且出現忽上、忽下的偏移現象，偏左現象可透過校正過程予以修正，但忽上、忽下的偏移現象則難以透過校正過程予以修正。

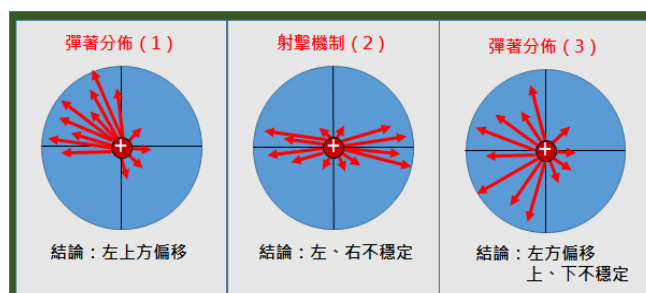


圖 19 「彈著點分析回饋機制」之彈著分析圖

造成彈著點產生某個特定方向偏移的因素相當複雜，可能的因素包含：射擊前未對槍枝進行校正，槍手本身姿勢偏移（包含體能、基本反應等），周邊軟、硬體設備間的同步性並未協調一致，以及槍手的心理層面狀況（如：發射前的預期心理，情緒控管，抗壓力，環境適應）等。而槍手本身潛在的姿勢偏移可透過歸零校正過程予以提醒及導正，而周邊軟、硬體設備間的同步性誤差包含：(1)扣下扳機之後，射擊訊號透過感應面板傳送至中央處理單元供程式讀取的反應時間。(2)畫面中射擊點的位置及標靶出現的位置在座標運算上的誤差程度。(3)程式與畫面的同步性誤差程度。以上周邊軟、硬體設備間的同步性誤差，經由程式、美術人員的不斷調整、修正，皆在容許的反應範圍之內。

而槍手本身心理層面的誤差可說是最難調整的部分，好比在不具壓力的歸零射擊校正過程中，如果槍手每次射擊時瞄準點都會無規則性的偏移，則再怎麼校正也必然存在槍手本身所造成的誤差，難以用其它形式加以彌補。而其它如情緒控管，抗壓力，環境適應等，這是較難掌握的部分，或許先天某些人就較具心理優勢，有些人則必需靠後天彌補，端看個人的適應性及成長潛力。至於在戶外環境的實物射擊上，還包含風向、溫度、濕度、視覺偏移等誤差。

#### 四、透過輔助資料庫 (Assistant Database) 之設計分散雲端系統之網路流量

輔助資料庫嚴格來說並非雲端的一部份，但卻可輔助雲端之效能，舒緩網路壅塞現象。輔助資料庫位於 Android mini PC 微處理器旁邊，存放即時性的資料，作為資料存取之緩衝，其設計方式雖然簡單，也經常被設計者忽略，但其重要性卻是舉足輕重。本系統在實際運作時，會先將最新而即時的射擊者資訊存入輔助資料庫中，並立即更新其中的相關資訊，最後當雲端伺服器較為空閒時，再將輔助資料庫的即時資訊送往雲端的資料庫進行資料更新，當下個使用者再度造訪時，會先至輔助資料庫中搜尋其身份，並取出相關的資訊以節省時間。因此，輔助資料庫之設計方式可大幅減少網路的存取時間，網路的整體效能也會因此提升。

### 伍、成果貢獻

#### 一、精確的光槍指向裝置及校正過程

圖 20 顯示測試過程中，系統整合後的實際射擊畫面圖及所使用的光槍。如前所述，大螢幕畫面的邊緣周圍配置了十個紅外線 IR Mark，作為光槍定位之用。這十個紅外線 IR Mark 並非隨意擺設，而是有一定的排列位置及順序，該定位技術已通過發明專利之申請 [21]，定位之後的光槍相當準確，足夠提供槍手射擊時的基準值。此外，在開始正式射擊前，系統會提醒槍手是否進行歸零 (校正) 射擊，其目的主要是針對不同槍手的身體姿勢及結構進行準心 (瞄準點) 之微調。歸零射擊的基本原理為：槍手於無準心游標的狀態下，以最舒服而穩定的姿勢瞄準靶心並擊發，系統將依據射擊者擊發的慣性偏差進行偏移校正，並顯示校正後的準心游標及文字提示訊息，以符合每個射擊者不同的身體結構及瞄準點。若不願意進行歸零射擊，則槍手的身體必須遷就系統所預設的瞄準點，習慣以後，雖然也可以變得很準，但有可能與原先最舒服穩定的姿勢有些誤差。因此是否需進行歸零校正端看槍手本身之身體結構對周遭環境的適應性而定，歸零射擊可由後台管理系統選擇開啟或關閉。



圖 20 系統整合後的實際射擊畫面圖及精確的光槍指向裝置 (具校正功能)

#### 二、硬體、程式與美術整合後的實際操作過程

##### (一) 投幣待機畫面

圖 21(a) 為開始訓練前的投幣待機畫面，因為 3D 美術建模時，物件面素設定的大小將直接影響畫面切換的速度，所以場景的設計避開華麗的高面素場景，而以低面素水泥風格的廢棄倉庫為主背景，除了

更具射擊時的臨場效果，也能加速畫面的更新頻率，方便程式人員撰寫程式，可說是兩全其美的作法。圖下方顯示目前投幣數為兩個，圖中的英文字樣 Tactical Pistol Training 為「戰術手槍訓練」之意。當投幣數達到三個時，即可進入下個階段之關卡選擇畫面，而在切換至選關畫面前，投幣待機畫面會以霧化方式漸漸變淡，如圖 21(b)所示，再慢慢切換至下個階段之選關畫面，達到過場動畫之效果，以符合市場商品化之需求標準。

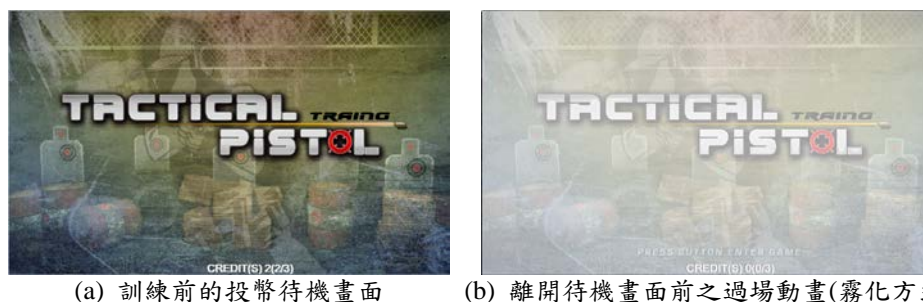


圖 21 投幣待機畫面

## (二) 準備射擊前之光槍操作說明畫面

光槍操作說明畫面如圖 22(a)所示，最上方顯示目前射擊狀態處於第一階段，左下方顯示子彈數目，中間區域包含三個小區塊，上方區塊說明射擊的對象為蒙面歹徒，而不能射擊美女人質，下方左邊區塊顯示更換彈匣的操作方式，下方右邊區塊顯示目前的彈匣總數，由於系統需不斷重複測試光槍的準確性及穩定度，所以彈匣數目預設為無限多個，實際演練時，會將彈匣數目調至合理的數目。圖 22(b)顯示標靶射擊前的準備畫面。



圖 22 準備射擊前之光槍操作說明畫面

## (三) 圓形標靶射擊過程畫面

圓形標靶射擊過程畫面如圖 23 所示。圖 23(a)為射擊前的準備畫面，提醒槍手預備開始射擊，讓槍手能即時調整至穩定的身心狀態。圖 23(b)的上方中間位置出現單一圓形標靶供槍手進行射擊，圖 23(c)的左上方及右下方一前一後各出現一個圓形標靶，槍手需依不同模式的條件規定下進行射擊，由於射擊過程有時間上的限制，所以槍手需把握時間，準確而快速地進行射擊，建議先射擊距離較近的標靶，因為靶的面積較大，命中之後再射擊較遠之標靶。圖 23(d)的左下方偏後出現兩個部分重疊的圓形標靶，除了增加射擊過程中的變化性，更能考驗槍手的準確度。槍手若能順利命中兩個標靶的重疊部分，即能一箭雙雕，只花一發子彈便能擊中兩個標靶，節省寶貴的射擊時間。此外，本系統的射擊方式採用「第一人稱」射擊，因此畫面中看不到槍手本身及其用槍，讓畫面呈現不至於太過複雜。

## (四) 人形標靶射擊過程畫面

人形標靶射擊過程畫面如圖 24 所示，圖中的廢棄倉庫包含木箱、輪胎、油罐等掩蔽物，掩蔽物的後方可能躲藏著人形標靶，代表歹徒或人質，會不定期、不定量出現供槍手在適當時刻射擊。一開始只會出現一位歹徒或一位人質，而且出現在畫面中的時間較長，隨著關卡的難度越來越高，人形標靶同時出現的數目也會越來越多，而且出現的時間也越來越短。再者，歹徒的旁邊可能有人質，在射擊歹徒的同

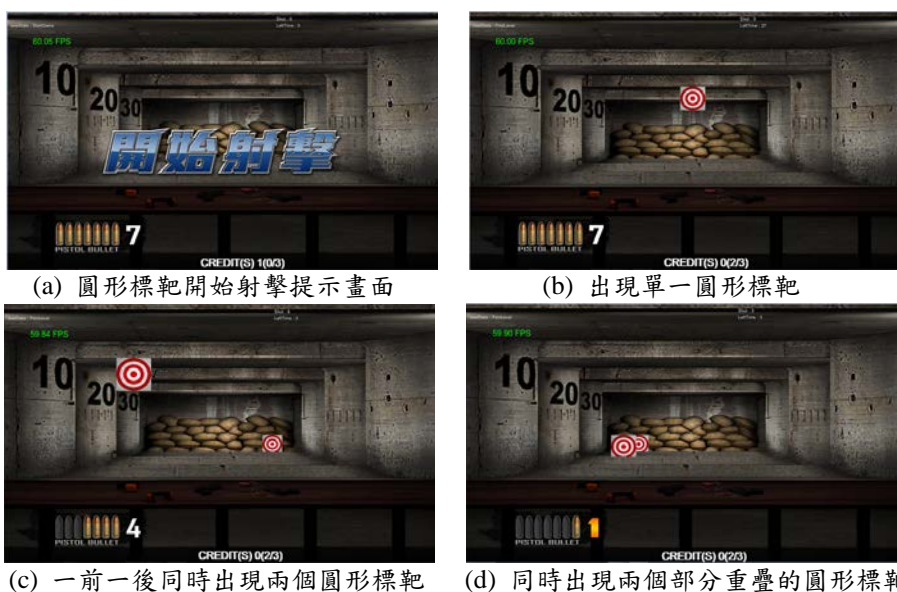


圖 23 圓形標靶射擊過程畫面

時不能誤射人質，否則會被扣除寶貴的加成時間。在射擊前的準備畫面結束後，圖 24(a)的畫面中出現兩個歹徒供槍手進行射擊，槍手只需將其擊落即可。

圖 24(b)的畫面同時出現多個人形標靶，右前方為距離較近的歹徒，難度較低，可立即加以射擊，中後方為距離較遠的人質，不能反應太快加以誤射，畫面左邊出現挾持人質的情形，此時槍手需多花一些時間瞄準歹徒，否則很容易誤射人質，不但沒有獲得加成時間，反而會被倒扣，一來一往相差很大。此外，為了模擬槍枝實際擊發時所產生的後座力，增加體感效果，每次射擊時畫面會有輕微晃動（經由實驗結果得知，晃動幅度不能太大，否則射擊太久槍手會頭暈），而且彈頭及彈殼會從槍枝適當的位置彈出，如圖 24(b)的紅色方框所示，以增加實戰射擊時之臨場感。

當發生槍手誤射人質時，則畫面會在人質所在的位置上出現“wrong”之字樣，如圖 24(c)的紅色方框所示，以提醒槍手已經誤射人質，而不管是命中歹徒還是誤射人質，只要射中標靶，標靶周圍便會產生輕微的白煙作為擬真效果，圖 24(c)的紅色方框內在誤射後同時亦產生白煙效果。另外，當子彈已經用盡時，必需更換彈匣，圖 24(d)顯示更換彈匣時之效果畫面，畫面會出現“RELOAD”字樣作為提醒，同時

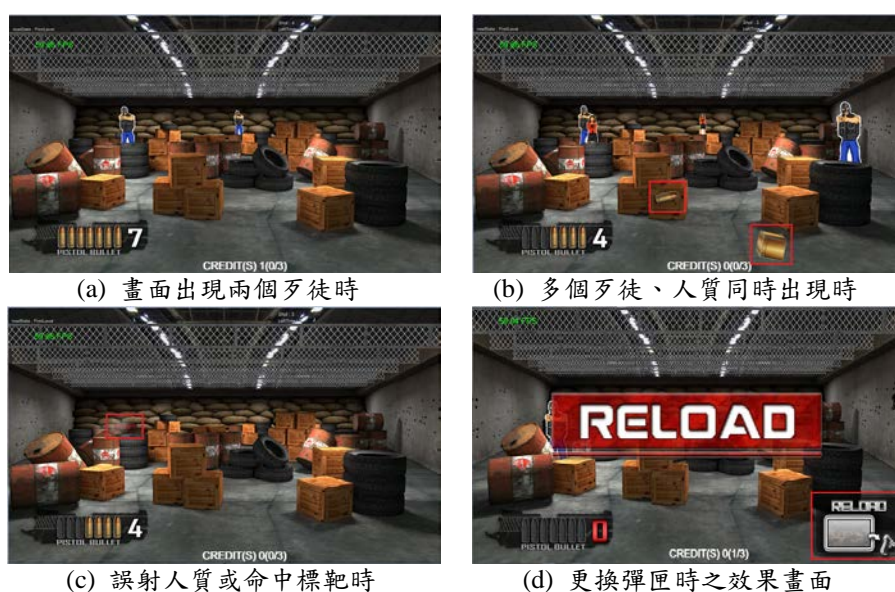


圖 24 人形標靶射擊過程畫面

畫面右下方的紅色方框部分會播放一段更換彈匣的小動畫作為視覺效果。此外，整個射擊過程的各個階段都會佐以專業的音樂及音效，從一開始的待機音樂、投幣迴音特效、過場動畫音效、射擊音效、教練口令（以英文發音）、命中歹徒及誤殺人質音效、更換彈匣音效、結束射擊及排行榜之音樂等，都相當符合商業市場所需的簡潔、輕快、立體風格之要求，不拖泥帶水，以達到商品化層次之標準。

### (五) 彈著點分析畫面

圖 25 顯示射擊結束後的彈著分析畫面，分析圖中佈滿許多擬真的射擊彈孔，以求視覺上的真實感，而圖中的紅點為所有彈孔的平均落點，從圖中可以看出射擊命中率為 73%，平均落點偏左上角，平均誤差值為 0.4，意即平均偏移量為彈著圓環半徑的 0.4 倍，透過彈著分析圖搶手可以了解本身的射擊穩定度，並進一步決定是否進行正式射擊前的歸零校正射擊。



圖 25 彈著點分析畫面

### 三、後台管理系統之規劃

如圖 26 所示，後台管理系統之功能架構包含「語系設定」、「機台設定」、「硬體校正與測試」、「統計資料」等部分，其中語系設定和機台設定主要由孕龍提供技術介面，而其它硬體部分如光槍校正技術亦由孕龍提供，而在學校由學生進行組裝測試，而 Android mini PC 微晶片則由學校學生開發，孕龍提供技術支援，統計資料方面，底層資料庫架構由孕龍原有的資料庫系統提供，方便往後進行後續的市場行銷，而 Electro-Server 多人連線部分由學校負責測試、架設，最後的計畫主體部分：遊戲規則設定，其企劃和品保部分由雙方協調負責，程式和美術部分則幾乎由學校學生全權負責。

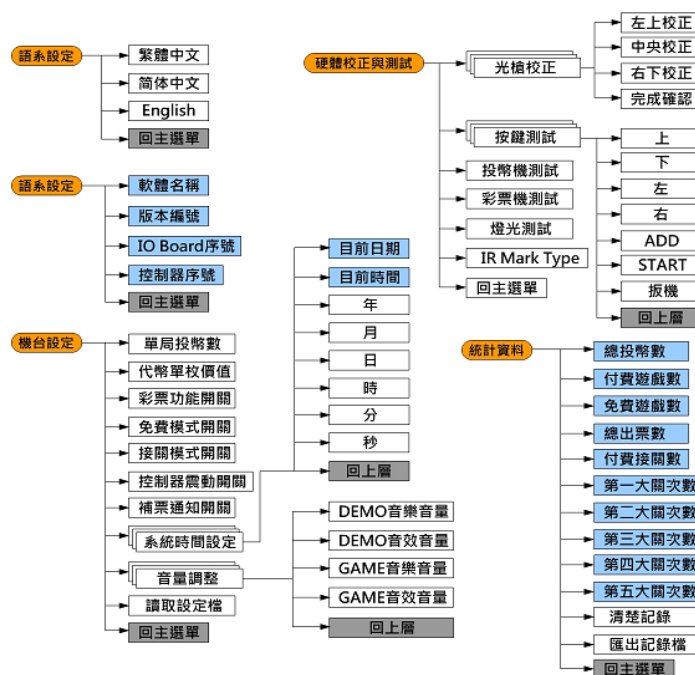


圖 26 後台管理系統之功能架構圖



## 陸、結論

本研究以業界為合作對象，透過科技部的經費補助，開發出一款具跨領域整合性質之室內射擊系統，結合機電整合、感應定位、程式設計、3D 美術及多媒體影音、資訊理論、雲端設計等技術，已成功的安裝於大型機台上，除了提供企業延伸其商業規模的可能性外，也提供政府一個培養射擊人才的訓練平台。系統以 3D 的物理路徑作為目標移動的軌跡，以模擬真實世界的場景變化，包含四種基本射擊：快速射擊、目標移動射擊、阻停射擊、夜間射擊，及一種應用射擊：目標辨識射擊，以因應多變的射擊環境。透過 Electro-Server 作為伺服器控制中心，連結 Client 機台端的選手資料及位於雲端的共用資料，並導入模糊理論及高度平衡樹等資訊理論，加強網路傳輸和資料存取的速度，實驗結果驗證了本系統之可行性。本研究以室內的短槍射擊為訓練對象，未來希望能將既有的整合技術延伸至室外的長槍射擊，如定向或不定向飛靶射擊訓練等。

在技術整合的過程中，值得探討的是槍枝準確性的影響因素，如本文中所述，包含槍手本身肢體產生的慣性誤差，週邊軟、硬體整合時的時間延遲誤差，及心理因素產生的誤差。槍手本身肢體的慣性誤差可透過正式射擊前的歸零校正射擊予以導正，而軟、硬體結合時產生的延遲誤差最主要為程式與畫面之間的非同步誤差，該誤差根本原因出在程式執行跑得遠比畫面切換來得快，程式只要指令一下可以每秒切換百萬個畫面，但螢幕的 I/O 訊號顯示頻率不可能跑得那麼快，因而產生常見的畫面延遲 (Lag) 現象，所以跑得較快的程式指令必須想辦法等待跑得較慢的畫面 I/O 頻率，本專案在製作期初程式人員也遇到過類似的問題而造成畫面延遲，經過不斷的修正程式後才予以解決。

再者，畫面的切換速度又牽涉 3D 美術物件模型的面素多寡和記憶體緩衝區的大小等問題，如果畫面使用到華麗複雜的高面素 3D 美術模型，則光靠程式進行物件緩衝規劃可能不足以讓畫面跑得動，還需搭配高記憶容量的螢幕顯示卡、高容量的 RAM 主記憶體、快速的 Cache 輔助記憶體、及高效能的中央處理器等，才能順暢地進行畫面中的物件切換及資料存取。因此，欲根本解決程式與畫面之間的非同步誤差，程式人員除了需底層高規格的硬體予以配合之外，還須針對時間延遲、資料容量、記憶體等資源進行管理，並不斷地與美術人員進行溝通，解決 3D 模型面素多寡的問題，進而寫出最佳化的控制程式，才能達成程式和畫面間的同步處理。至於射擊時心理因素所產生的誤差，牽涉到槍手的情緒穩定度、專注性、抗壓性、環境適應性等，可說是最難調整的部分，也是未來推廣射擊運動時，值得研究的重要課題。

## 參考文獻

- [1] 林登松 (2014)。射擊焦慮成因與心理諮商策略初探，pp.141-150。執法倫理與通識教育學術研討會，台灣桃園市(中央警察大學)。
- [2] 施榮宏 (2013)。不同背景變項飛靶射擊選手在運動自信心、狀態焦慮與射擊準確性之差異(碩士論文)。國立體育大學競技與教練科學研究所，桃園市。
- [3] 徐婕瑀 (2012)。國內射擊選手心理技能之研究 (碩士論文)。國立體育大學教練研究所，桃園市。
- [4] 洪聰敏與石恒星 (2010)。腦波在運動心理學研究之應用。應用心理研究，42，123-161。
- [5] 警技射擊 (無日期)。取自：<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E8%AD%A6%E6%8A%80%E5%B0%84%E5%87%BB>
- [6] SCATT Company (n.d.). *Shooter Training Systems*. Retrieved from <http://www.scatt.com/home>
- [7] 國家中山科學研究院(無日期)。射擊模擬器。取自：[http://www.ncsist.org.tw/csistdup/products/product.aspx?product\\_Id=35&catalog=25](http://www.ncsist.org.tw/csistdup/products/product.aspx?product_Id=35&catalog=25)

- [8] 台北國際航太暨國防工業展 (2017)。產品資料。取自：[https://www.tadte.com.tw/zh\\_TW/product/list.html?sFuncID=58EBB8408B5D47ECD0636733C6861689](https://www.tadte.com.tw/zh_TW/product/list.html?sFuncID=58EBB8408B5D47ECD0636733C6861689)
- [9] 新北市政府警察局(2017)。情境模擬應變射擊訓練場。取自：<https://www.facebook.com/ntpctrainingdivison/videos/1743252719259847>
- [10] L3 Communication (2017). *Link Simulation & Training*. Retrieved from <https://www.link.com/military/programs/pages/F16-mission-training-center.aspx>
- [11] H. S. Zhao and H. Zhang. (2014). Shooting training method optimization research based on fluid mechanics and fuzzy theory. *Bio Technology: An Indian Journal*, 10(5), 1079-1083.
- [12] 李東鴻 (2015)。T91 步槍射擊訓練之系統教學設計研究(碩士論文)。臺東大學教育學系，台東。
- [13] 楊文誌 (2011)。雲端運算技術指南。台北市：松崗出版股份有限公司。
- [14] 胡品喬 (2011)。利用 Electro-Server 軟體開發多人連線系統(碩士論文)。逢甲大學應用數學系，台中市。
- [15] Software.informer (2017). *ElectroServer 5.1*. Retrieved from <http://electroserver1.software.informer.com/5.1/>
- [16] 謝樹明 (2013)。細談資料結構。台北市：旗標出版股份有限公司。
- [17] 李春雄 (2014)。動畫圖解資料結構。高雄市：上奇資訊股份有限公司。
- [18] 吳柏林 (2015)。模糊統計導論：方法與應用。台中市：五南圖書公司。
- [19] 李允中、王小璠與蘇木春 (2012)。模糊理論及其應用。新北市：全華圖書股份有限公司。
- [20] K. Sakashita, and Y. Yagi. (2011). *A System for Capturing Textured 3D Shapes based on One-shot Grid Pattern with Multi-band Camera and Infrared Projector*, International Conference on 3D Imaging, Modeling, Processing, Visualization and Transmission, Hangzhou, China.
- [21] 鄭秋豪、鄭銘國與孕龍科技股份有限公司 (2009)。專利編號 I317293(利用指定畫面進行攝影指標之方法)。台北市：經濟部智慧財產局。(中國大陸發明專利 471282、中國大陸發明專利 1179160)。