

裝備操作訓練模擬系統 運用與發展方向

作者簡介



李孟文中校，中正理工學院54期、工校正規班141期、國立屏東科技大學企業管理所碩士班；曾任排長、連長、教官，現任職於工兵學校機械組。

提 要>>>

- 一、近幾十年以虛擬實境技術為主的互動式模擬器已成為高風險、高成本活動訓練項目最有利的工具，運用模擬器以避免訓練者暴露在實機作業環境中的操控風險，此外也提供不需等到危險狀況發生，在作業中可能發生的情況加以設定納入模擬器中訓練。
- 二、現今科技運用於模擬裝備操作的運算程式，融入了車體與地面的交互作用模式；若將模擬系統演算模式運用於未來發展之訓練模擬系統程式開發中，結合硬體需求後將能獲得精確、擬真度高之操作訓練效果，提升訓練實質效益。
- 三、歐美有諸多業者投入相關模擬系統開發並導入各國部隊應用，裝備操作訓練模擬系統已成為未來發展趨勢。本軍裝備操作訓練模擬器欲成功發展，其關鍵因素在於軟體設計之訓練課程能否結合目前國軍作戰與特殊（救災）任務所需。

關鍵詞：虛擬實境、互動式模擬器、擬真度



前言

近年來世界各國軍事訓練，已逐漸大量採用模擬系統施訓，如美軍對伊拉克作戰之作戰前準備，即採用模擬系統訓練，使從四處徵調而來的部隊迅速完成戰備並進入待戰的顛峰狀態。就國軍而言，在空間、時間、成本考量及裝備不易獲得狀況下，為顧及訓練時官兵們之安全、效率以及各種不同之訓練科目，並隨時監控掌握訓練時的狀況，將過程中之參數加以記錄以進行訓後評估，期望以科技化的方法，結合高科技設備發展訓練模擬器¹以維護裝備妥善及提升國軍素質。目前資訊科技日新月異，模擬器開發所需之設備已臻成熟，在投入技術門檻降低、擬真度提升的情形下，模擬器之運用更能大幅提升投資效益。近幾十年以虛擬實境技術為主的互動式模擬器已成為高風險、高成本活動訓練項目最有利的工具，運用模擬器以避免訓練者暴露在實機作業環境中的操控風險，此外也提供不需等到危險狀況發生，在模擬器中設定可能發生的情況納入訓練課程²。裝備操作模擬系統不僅能模擬整部機械每個動作細節，還必須具有土壤擾動的實境模擬效果，並考量與裝備的互動模擬。本文主要探討：一、本軍建置裝備操作模擬系統之關鍵開發技術需求；二、模擬訓練軟體規劃與設計方向。使軟硬體設備能有效運用與整合，期能充分發揮未來模擬訓練具體效益，並作為未來訓練模

擬器規劃建置之參考。

裝備操作訓練概況

本軍裝備操作訓練中，目前武器系統已諸多採用訓練模擬器，如步槍射擊訓練、肩射飛彈射擊、砲兵射擊訓練、飛彈射擊訓練，以及雷射接戰等模擬器。美軍亦將模擬器訓練視為臨戰訓練的必要手段，並將對伊拉克與阿富汗中之作戰經驗納入模擬器訓練，種類包羅萬象，從武器系統、戰鬥車輛、機械操作乃至戰場緊急醫療等，全方位發展模擬器訓練（如圖一），此作為大幅提升訓練成效以及精簡龐大訓練支出值得本軍借鏡。本軍在車輛與機械操作模擬面之發展，成熟者僅有運用於甲車訓練模擬器，其他車輛與機具操作並未具體規劃訓練模擬系統。就工兵部隊工程機械而言，均擔任須大量土方作業之任務，然而土方作業時必須改變原有地形、地物，來達到預期計畫任務之需要。其作業區域舉凡周邊環境、地質土壤狀況、交通路線等皆屬於不可預期之範疇，不但作業風險高且意外狀況處理亦是一種考驗。況且工程機械作業技術之純熟度，對施工品質、效率以及安全性等各方面有嚴重之影響。因此，機械操作訓練之良窳影響著作業人員戰力之發揮。總括而言，以目前本軍車輛與機械操作訓練模式而言，面臨以下諸多問題：

一、訓場容積與設施有限

裝備操作訓練時運動範圍涵蓋面積

- 1 簡定華、林盛振等，〈戰車模擬訓練器之研發-戰車教官臺系統開發與3D虛擬戰場建置之研究〉，第一屆數位地球國際研討會，國家實驗研究院太空計畫室，2003年，頁2。
- 2 Marta Pla-Castells, Ignacio Garcia-Fernandez, Miguel A.Gamon, Rafael J. Martinez-Dura, Interactive earth-moving simulation in real-time, Instituto de Robotica, Universidad de Valencia, Spain , 2009,p1.



圖一 美軍結合戰場實際場景建置射擊訓練模擬器

資料來源：Trevor Nash, Military Training & Simulation News, Vol.8 Issue 1, 2006, p5.uk.htm

大，在目前營區訓場受限的情形下，訓練效果不易顯現。而且無法滿足多樣化之作業類型，因此與任務實況均有落差，致使訓練效果易受限制。再者，由於部隊駐地訓場腹地小，訓練時往往採原地模擬操作為主，難獲操作訓練實效。

二、易受天候影響訓練時數

野外訓場如遇大雨後，土壤因含水量飽和產生液化現象，造成鬆軟泥濘、裝備陷車而影響訓練工作進行，且雨後訓場積水，為顧及作業安全仍須曝曬數日後始能操課，因而影響進訓操課之時程與成效。

三、裝備損耗與維持成本高

目前實施裝備操作訓練均以實車、實裝訓練為主，爾後執行作戰或救災任務裝備即為目前訓練之裝備，然而操作訓練時常因學者初次操作裝備不諳要領，致使裝備因頻繁不當操作而造成過度損耗，縮減裝備預期壽限影響甚鉅。現行裝備實施訓練，每部裝備保養維修包含料件、耗材費用龐大，以及燃油耗用亦十分驚人，然而國軍裝備保修預算有限，致使裝備妥善狀況維持不易。

由此可知，裝備操作訓練為使受訓操作人員充分熟悉裝備特性，同時亦要維持裝備妥善狀況，並在有限的訓場空間與天候因素等夾雜影響之下，實屬不易。況且，講求機動化部隊的需求，各型戰術車輛與機械所扮演的角色日益重要，訓練成本自然形成龐大負擔。因此，藉由訓練模擬器可讓訓練課程不受裝備損耗、天候與訓場等因素限制，應是強化訓練成效之最佳解決方案。

訓練模擬系統發展與規劃

裝備操作諸如作戰車輛、機械操作等訓練模擬系統已在國外廣泛運用，虛擬實境之裝備操作訓練模擬器的運用不僅可降低購製裝備的成本與訓練，亦能於裝備操作時即時應變與評估作業程序。虛擬實境模擬系統發展自早期的視覺、動感乃至土壤擾動模擬技術日益精進，以下就模擬技術之演進與類型逐一探討。

一、裝備訓練模擬器關鍵技術之發展

(一)視覺影像模擬

車輛、機械操作模擬器的發展，起初僅著重視覺呈現效能的模擬系統，使操作者能認知並習慣操作的視覺景象，進而在實際操作時較不生疏。然而此類模擬器在操縱介面的真實性，尤其是受力回饋的狀態無法具體呈現。為確保機械操作訓練模擬器提供貼近實境的效果以及實際有助於作業者的資訊，模擬器開發的焦點應著重於機械操作時接觸土壤時回饋的反應是否真實。因此發展時須克服在開發模擬器時，如何結合能使呈現高品質虛擬影像同時提升動作運算速度之即時互動的知識。該類研究朝向藉由適當的機械挖掘模擬數學模式與演算法來發展訓練模擬器，機械挖掘模擬數學模式提供模擬系統的開發有

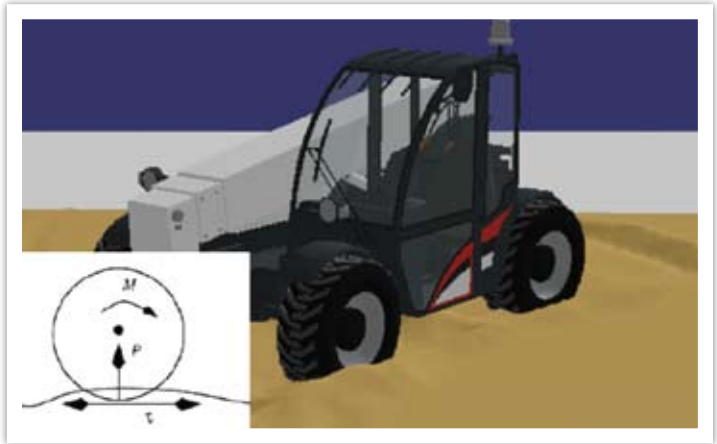


實際助益的資訊，演算法提供有效的計算方法，以確保模擬訓練系統與足夠的系統速度無縫整合接軌。

(二)地質物理作用模擬

各型車輛與機械模擬系統於規劃之初，不僅須考量車輛與機械本體，且要達成與地面土壤接觸的實境模擬效果，包括考量輪胎與地面，以及作業機械與土壤的互動模擬。在許多相關文獻中，部分學者提及土壤模擬模型，代表當車輛行經不同地質土壤時車體高度不僅隨地形起伏，土壤亦會因承受車體重量，產生不同程度之沉陷現象，因而演算出地質物理作用之數學模式，呈現作用力與土壤表面的動作。地質物理作用模擬主要是提出車輛行駛時地形呈現的物理模型的運用，所建立一個簡單的土壤互動模型³（如圖二）。

Wakefield與O'Brien於1994年提出模擬器發展的類型「物理作用型模擬器」，除了影像圖形顯示以外，其中包括機械與地形的物理力學特性模式，於1996年即以工程機械為藍本，發展一套即時互動虛擬實境挖掘機械模擬器，其主要核心的部分即是其中的電腦運算模式。它能呈現出實體挖掘機械內外部、液壓動作、動力回饋與控制系統。因此，實體機具真確的參數若能匯入模擬器之圖形影像系統中，便可讓操作者作動時即時回應動作影像。此系統亦採用一個土壤模型，用以計



圖二 車輛行駛時產生沉陷之模擬情形

資料來源：M. Pla-Castells et al., Physically-Based Interactive Sand Simulation, Instituto de Robótica, Universidad de Valencia, Spain, 2008, p4.

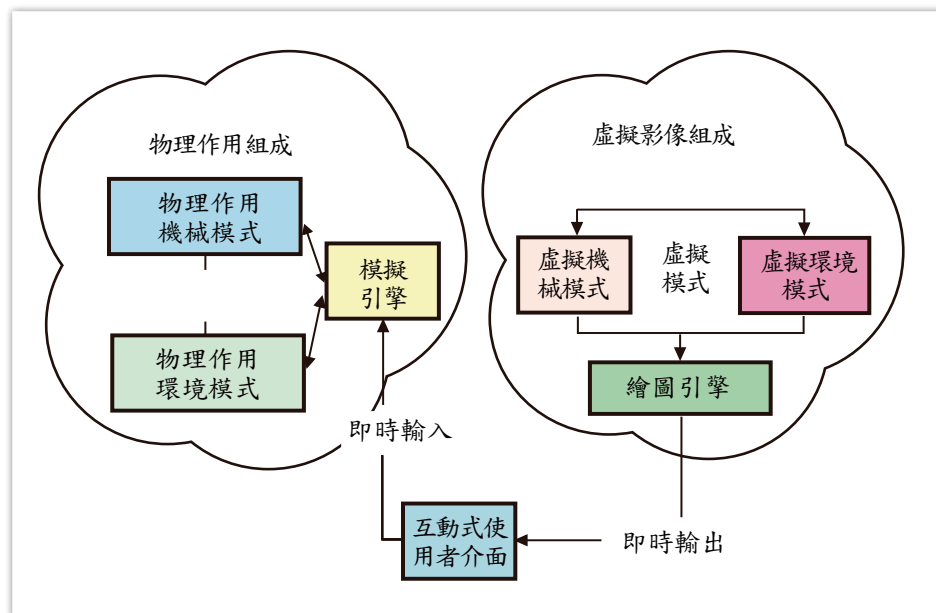
算機械挖掘工具與土壤間交互作用狀態，功能元件描述如圖三⁴。

在挖掘土壤阻力模型中，如果挖掘機械模擬系統的運用不僅僅只是操作機械本身而已，而是要結合周邊土壤環境，如同挖掘機械實際作業時將土壤由地面掘起，物理作用模型必須提供模擬器所需的圖形影像，由於機械挖掘工具施力接觸到土壤表面時會產生阻力並造成動力衰減的情形，有必要進行試驗土壤破壞的狀態。因此，物理作用模型應以鏟挖工具挖掘時之挖掘力回饋為來源的方程式來演算，除此之外，物理作用模型、土壤模型應扮演產生物理原理上合理之反作用力角色，它們必能用於挖掘機械規律的行為上⁵。其優點為提供挖掘機械模擬之影像場景、物理

3 Ron Wakefield、Dennis Jones、John Perumpral&Walid Thabet, Development of a Virtual Reality Excavator Simulator:a Mathematical Model of Excavator Digging and a Calculation Methodology, Borinara Park, 2002, p13.

4 Ron Wakefield、Dennis Jones、John Perumpral&Walid Thabet, Development of a Virtual Reality Excavator Simulator:a Mathematical Model of Excavator Digging and a Calculation Methodology, Borinara Park, 2002, p22.

5 於下頁。



圖三 虛擬實境模擬器結構流程

資料來源：Ron Wakefield et al., Development of a Virtual Reality Excavator Simulator: a Mathematical Model of Excavator Digging and a Calculation Methodology, Borinara Park, 2002, p13.

作用行為資訊之能力，且為互動式之模擬系統。將以上所述之模擬系統挖掘演算模式運用於未來發展之訓練模擬系統程式開發中，結合硬體需求後將能獲得精確、擬真度高之操作訓練效果，提升訓練實質效益。

二、模擬器需求規劃與設計

訓練模擬器硬體運作模組部分主要包含控制介面、運動平臺控制、虛擬實境影像，以及操作行為監控等模組。操作人員以控制介面模組之操控裝置（油門、煞車等），將行為參數輸入模擬系統後，經由已設定之機械性能參數以程式進行演算，然後將訊號反覆傳送至運動平臺模組，以

及虛擬實境影像模組中，產生動感回饋與圖像顯示，期使模擬機械操作行為達到擬真、流暢之呈現與感官反應。此外，操作行為監控模組會將整個模擬運作過程、擷取操作回饋參數（操控行為精確度、時間以及錯誤操作行為記錄等），並記錄操作人員之作業水準與分析評等。訓練模擬器各單元模組運作流程如圖四所示。

(一)控制介面模組

控制介面模組包括模擬機械的駕駛座艙與艙內陳設之控制器（如圖五），主要功能係將操作者操縱模擬器之動作，藉由感應器將訊號傳送至模擬系統主程式中，驅動各系統模組運作。駕駛座艙之操

5 Ron Wakefield, Development of a Virtual Reality Excavator Simulator: a Mathematical Model of Excavator Digging and a Calculation Methodology, 2002, p23.



控和訊號擷取，其可操控的部分如同實際的工程機械一樣，包含方向盤、油門、煞車、排檔、啟動開關與控制桿等，儘可能採用原車之硬體和電路，使其有操控實車的感覺。在儀表板部分，依據操控動作，產生各種燈號。駕駛座艙所需擷取的訊號包括方向盤、油門、煞車、控制桿等，依不同的特性裝置不同的電阻器或感測開關，而產生數位或類比訊號送出，經由訊號擷取卡送回控制電腦。模擬器之駕駛座艙為使用者控制模擬器動作的主要機構，透過座艙的控制單元來驅動整個模擬器的運轉，包括顯示的圖像、動感平臺動作以及程式運算等工作。同時，座艙配置規劃直接影響訓練操作者使用模擬器後，於操作實體機具的效用，因此操作介面配置時應著重與實體機具一致為要。

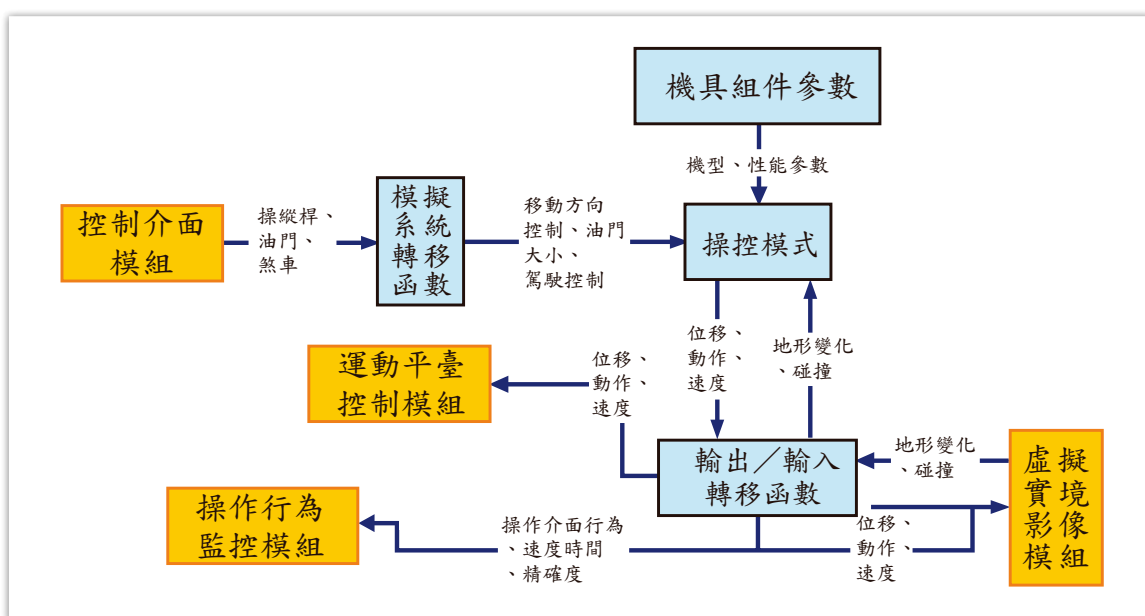
(二)運動平臺控制模組

運動平臺設置於模擬器駕駛座艙位置下方，主要是負責接收主程式電腦輸入

訊號驅動動力機構，以產生如同實體機械般慣性動作的裝置。一般是由一具六角平板所構成，藉由幾何上的對稱，以簡化運動平臺之分析與控制，亦有使用三角對稱架構的上平板，目的也是藉以簡化演算之複雜度。運動平臺的功用主要是作為載物平臺（如圖六）。

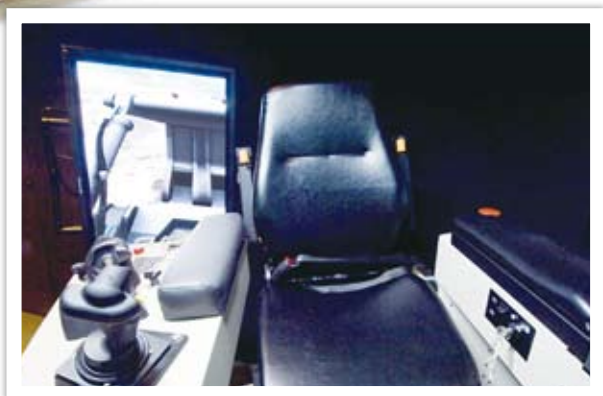
運動平臺之硬體架構主要包含動力供應器（油壓泵）、致動器（油壓缸）、閥瓣（伺服閥）及位置感測器（LVDT 或位移計）。動力供應器主要提供系統運作時所需之能量，如：油壓泵供應高壓的液壓油驅動油壓缸。受控系統則由致動器、閥瓣及位置感測器三者組成。

系統的控制分為伺服控制卡與電腦控制兩種。當系統藉由伺服控制卡搭配伺服閥進行控制時，首先由監控電腦產生一個參考輸入電壓，經過類比/數位轉換介面輸入至伺服控制卡與位置感測器所量測得之電壓值相比較，其誤差再經由伺服控



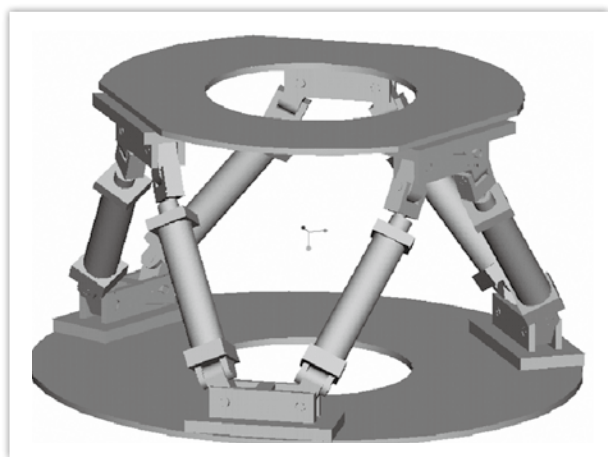
圖四 訓練模擬器各單元模組運作系統圖

資料來源：作者自行整理製作



圖五 Thoroughbred Technologies公司開發之推土機訓練模擬器座艙配置圖

資料來源：Thoroughbred Technologies公司網站, www.thoroughtec.com.



圖六 運動平台3D模型立體圖

資料來源：吳昌明，〈駕駛模擬器簡介與應用研究探討〉《國立中央大學車輛行車事故鑑定研究中心專題報告》，2005年，頁7。

制卡的PI 控制電路作回授控制，最後輸出訊號給伺服閥，驅動致動器動作。此類控制模式可使用於油、氣壓系統。其致動

器之最大行程將決定上平臺的最大工作空間，致動器行程越長，所達到的工作空間自然越大⁶。

(三) 虛擬實境影像模組

用以建構及顯示虛擬機具操作場景，並用以展示操作者的駕駛情形，產生互動式效果（如圖七）。虛擬實境影像模組包括硬體視覺系統與軟體程式設計兩部分。在視覺系統方面，利用個人電腦、液晶螢幕，以及整合網路同步連線技術，將虛擬駕駛場景分別顯示在液晶螢幕上，此外視覺系統之影像產生器即時運算系統，採用內建高階中央處理器與3D 圖形加速卡，以及乙太網路卡PC架構，搭配視窗作業系統，透過集線器構成整個同步影像即時運算產生器；影像投影系統則採用多部液晶螢幕，確保投影畫面之色彩、亮度與對比均能一致⁷。在座艙的水平與垂直視角範圍中採用LCD液晶顯示器呈現操作者駕駛實體機具所見的場景與視界，使操作者於模擬訓練時能得到實體機具作業的一致感受。聲音輸出部分則模擬動力單元如引擎、液壓泵浦等操作產生的噪音，隨著操作介面的行程產生不同的噪音聲響。同時，模擬機具行駛與撞擊地面的聲音，使操作者因不當得到警惕，減少日後於實機錯誤操作的機會，亦能減少實體機械損壞的情形。

軟體程式設計由3D物件開發工具建構場景畫面，以模擬系統連結外部函數庫訊號，控制並偵測場景中的物件參數，

6 鄭銘章、何志宏、陳德懷、董基良、馮君平、魏健宏、林豐福、張開國、楊智凱，〈駕駛模擬器視覺系統之整體規劃研究〉，交通部運輸研究所，2002年，頁103～104。

7 鄭銘章、何志宏、陳德懷、董基良、馮君平、魏健宏、林豐福、張開國、楊智凱，〈駕駛模擬器視覺系統之整體規劃研究〉，交通部運輸研究所，2002年，頁107。



並將訊號擷取模組所擷取的操作者對機具之操控訊號，依機具特性計算應有之行爲反應，以達到互動之效果⁸。模擬系統開發時須規劃模擬操作機具所處的場景，依據課程安排建置不同的情境與腳本，讓使用者能置身於與實際作業場景相同的環境，熟練多樣的模式。軟體需求規劃包括訓練場景建置、訓練課程設計等主要項目。

1. 場景建置

場景建置用以設定場景、狀況以及設定位置、地質參數等資訊，依照各類型裝備訓練目標的差異，規劃使用機具的作業場景（如圖八），其中須考量因素包括地形、土壤性質及天候等作業項目。

(1)地形：一般針對水平面平坦程度、操作空間限制、坡度，以及特殊地區如河川地區、山區等不同地形，模擬不同地形條件下之車輛載具之駕駛操作方式與機械作業限制，使操作者克服地形障礙完成系統設定之作業項目。例如輪型戰術車輛，其車身底盤較高，在行駛路面高低起伏大時，或者視覺死角不易察覺之處，操作者速度控制不當容易造成意外事故。

(2)土壤性質：主要呈現不同土壤材料如黏土、砂土與礫石等的模擬樣態，以及土壤含水量多寡，使模擬系統操作者能熟悉各種土壤類型、含水量條件下之作業情形（如圖九）。車輛行經土質鬆軟地區時，往往因土壤承載力不足情況下造成



圖七 車輛虛擬實境影像投影於座艙內之情形

資料來源：Thoroughbred Technologies公司網站, www.thoroughtec.com.



圖八 模擬器場景中之地形障礙設定可提升操作技能

資料來源：Thoroughbred Technologies公司網站, www.thoroughtec.com.

打滑、陷車或傾覆之情形，因此操作者經模擬訓練後能增加正確判斷能力以避免危險，提升駕駛技術。

(3)天候：於視覺系統上呈現作業環境，包括天氣陰晴、雨量大小與日、夜間

8 鄭銘章、何志宏、陳德懷、董基良、馮君平、魏健宏、林豐福、張開國、楊智凱，〈駕駛模擬器視覺系統之整體規劃研究〉，交通部運輸研究所，2002年，頁107。

的能見度高低情形，對操作者視覺判斷與技術訓練產生的影響。

2. 訓練課程設計

裝備操作模擬訓練課程主要針對初學者熟悉機械操作模式之初階訓練，以及一般作業人員對具操作危險訓練項目進行進階訓練。操作訓練課程設計著重裝備操作或駕駛特性，同時針對作業精確度與作業時效兩方面設定訓練關卡，採取由簡至繁、由易而難之原則。此外，訓練課程設計也應結合未來任務目標或可能之作戰行動著手開發。美軍針對伊拉克與阿富汗作戰行動發展許多訓練模擬器，其中之一為戰術戒護行動模擬訓練系統（Virtual Combat Convoy Trainer, VCCT），所開發之模擬平臺適用許多美軍現役高機動多功能輪車（如圖十）

（High-Mobility Multipurpose Wheeled Vehicle, HMMWV），以及重型機動戰術卡車（Heavy Expanded Mobility Tactical Truck, HEMTT）等戰術車輛，這些車輛均執行高風險作戰行動，諸如維安巡邏、後勤補給、奪取高價值目標以及醫療後送等，因此課程設計包括駕駛教練、識別危險目標、急造爆裂物（IED）防範、武器射擊、指揮通信乃至協同作戰等，完全融合真實戰場景況（如圖十一）。

以工兵機械而言，機械作業任務如土石流河道淤積、山區落石坍塌或掏空路基阻斷連絡道路、河床引道構築等皆可納入其中，使模擬訓練方向能強化部隊機械操作技能。然而，工程機械因類型不同，各項訓練課程設計之訓練項目亦有所差異。以挖土機而言，須針對機具履帶控制位移角度、土斗定點擺放控制作為初階訓練課程；熟練後進而操作土斗兩點間位移區分直線、弧線，以及複雜曲線等進階課

程；另一階段則實施指定區域挖掘作業，依據指定區域大小、深度完成挖掘、填覆等動作。再者，則實施機具協同作業，包括傾卸車裝車作業（如圖十二）、多部機具同時作業等訓練項目。

裝土機訓練課程須針對機具駕駛轉向控制、土斗定點擺放控制作為初階訓練課程，熟練後進而操作土斗舉升轉角控制、行駛間土斗位移控制等進階課程；另一階段則實施指定區域挖掘作業，依據指定區域大小、深度完成掘土、整地等動作。再者，實施機具協同作業，包括傾卸



圖九 模擬器場景中之土壤性質設定會影響操作效能

資料來源：Thoroughbred Technologies公司網站，www.thoroughtec.com。



圖十 美軍VCCT模擬器場景中射手對危險目標實施射擊

資料來源：Lockheed Martin公司網站，www.lockheedmartin.com。



車裝車作業（如圖十三）、多部機具同時作業等訓練項目。平路機則針對機具駕駛轉向控制、刮刀轉向與側傾等控制作為初階訓練課程；熟練後進而操作車體傾斜刮刀轉角控制、行駛間刮刀裂土深度控制等進階課程；另一階段則實施指定區域裂土、整平、整坡作業，依據指定區域大小、深度完成整地、刮修與側向傾斜刮土等動作。再者，則實施機具協同或多部機具同時作業等訓練項目。

（四）操作行為監控模組

操作行為監控模組係指模擬系統終端設置使用者操作行為記錄、分析之監控系統，主要功能在於提供對模擬環境之操作、設定與監控，監控每位學員操作情形、錯誤事件記錄，同時記錄學員訓練情形與歷史資料。在硬體裝備上主要由數臺個人電腦組成，並透過乙太網路與主計算機連線進行資料傳遞。

操作者在模擬系統的操作過程當中，隨著使用時間的長短，對操作的熟練度也會增加，但操作行為的矯正更可使學習者瞭解技術障礙的因素，讓操作者個別針對技術水準較差的訓練課目加強操作演練。在教學過程中，教官也能利用系統內記錄的操作者使用記錄瞭解學者錯誤的操作行為，進而給予適當的技術諮詢以強化訓練效果。同時也能利用個人訓練記錄予以評量。

預期之效益與未來前景

國外有關裝備操作模擬系統之發展日趨成熟，隨著電腦硬體設備資料處理速度不斷提升，模擬軟體開發也因市場需求日益精進，除了在技術門檻方面較以往降低



圖十一 美軍巡邏車隊執行警戒任務模擬器課程

資料來源：Military Technology, Virtual Convoy Training, 2004, p64.



圖十二 挖土機模擬器挖掘裝載課程

資料來源：Volvo Construction Equipment公司網站, www.volvoce.com.

許多以外，系統成熟度與擬真度亦大為提升，同時減少了開發風險與經費需求。訓練模擬器之運用能彌補現階段受限之訓練條件，可產生具體效益如下：

一、縮短訓練時程，展延訓練效益

在不同訓練條件之下，同一狀況可以反覆實施訓練，若學者不合格可以從頭實施，透過增加訓練次數，每次確實可逐次改善，降低完成該訓練課程時間，效果十分顯著。以VOLVO重機所發展工程機械

模擬器而言，其研究結果顯示一般實機訓練效果隨時間增加技術水準曲線（如圖十四黑色虛線）較為平緩，代表學習者訓練技術進步的幅度較小；另一方面若以模擬器訓練時學習曲線（如圖十四黑色實心曲線）起初較為陡峭，代表在短時間內即能達到較高技術水準，但若持續使用模擬器則會減緩訓練效果。由兩者技術曲線特性可以發現，於初階訓練時使用訓練模擬器可減少約75%以上的時間，便可達到實機訓練成效，但進階訓練時仍須配合實際的機械操作訓練。然而，當學習者已完成訓練後，模擬器仍然能提供特殊、危險作業的訓練項目，提供操作者於實機訓練中無法遭遇之狀況，藉由不斷演練克服技術障礙。因此，模擬器的學習曲線能再向上延伸。此外，模擬器亦能詳實記錄操作者訓練成效資料，直接檢討改進。

二、不受天候限制，消弭訓練危安

模擬器之操作不受天候影響，受訓學員生可藉模擬器持續實施訓練，增大投資訓練效益。同時，利用模擬器可將訓練場地真實地在模擬器上顯示出來，且可運用在任何環境下操作。其可任意設定模擬各種不同訓練課程及可能之突發狀況，亦能提供特殊且複雜之虛擬作戰環境及難以遭遇之天候與地形，模擬高危險性場景，經預先訓練可提高實際操作之

安全性，使學者熟悉各項緊急操作程序及危機處理，藉以增加乘員之應變能力，期於實際操作時，將裝備實際性能予以充分發揮⁹。

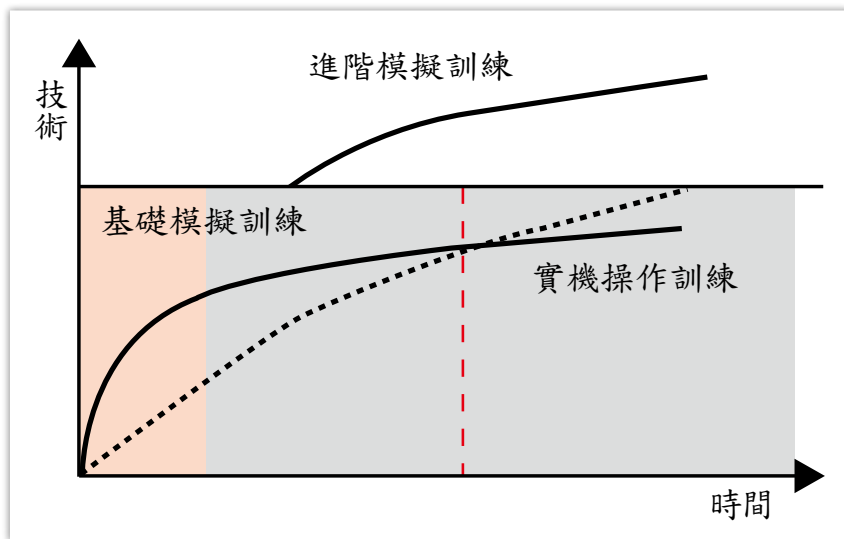
三、降低訓練成本，強化資源效用

裝備操作訓練均須耗用龐大的燃料與所費不貲的保養維修經費，除教學訓練外，仍須支援緊急救災等專案任務，使用



圖十三 裝土機模擬器裝載課程

資料來源：Volvo Construction Equipment公司網站, www.volvoce.com.



圖十四 模擬器與傳統實機訓練學習曲線比較圖

資料來源：Volvo Construction Equipment公司網站, www.volvoce.com.

9 林輝銘，〈訓練模擬器未來之展望〉《裝甲兵學校學術季刊》，第178期，2006年，頁8。



狀況頻繁，壽限大幅縮短，影響戰力甚鉅。運用模擬器從事訓練，能減少裝備不當損耗，延長裝備使用壽限。藉由模擬系統可依據任務之需求，模擬各種真實狀況，減少油料及操作次數，大幅降低教學訓練成本，並避免人員受傷以及裝備之耗損、折舊且無安全顧慮。然而在學校訓量負荷過重的情形下，可彌補訓練裝備之不足，減輕主要裝備的負荷量，有效提升支援能量。

結語

地質物理作用模擬技術的運用是裝備操作訓練模擬系統發展之重要元素，而其演算法則亦與時俱進且不斷進步。值得慶幸地，國外學者投入研究者眾，實際也有諸多業者投入開發或導入應用且已成為未來發展趨勢。此外，本軍裝備操作訓練模擬器欲成功發展，其關鍵因素應在於軟體設計之訓練課程能否結合目前國軍作戰與救災任務所需。擷取美軍以實戰經驗設計的戰術行動為藍本，發展模擬課程。同時，基於先前921震災、芭瑪風災等救援經驗，匯集各類救災類型與機具作業型態之參數詳實蒐整並納入模擬訓練軟體訓項當中，相信必能充分發揮模擬器訓練之最佳效益。

參考資料

一、簡定華、林盛振等，〈戰車模擬訓練器之研發-戰車教官臺系統開發與3D虛擬戰場建置之研究〉，第一屆數位地球國際研討會，國家實驗研究院太空計畫室，2003年。

二、吳昌明，〈駕駛模擬器簡介與應用研究探討〉，國立中央大學車輛行車事故鑑定研究中心專題報告，2005年。

三、林輝銘，〈訓練模擬器未來之展望〉，《裝甲兵學校學術季刊》第178期，2006年。

四、Marta Pla-Castells, Ignacio Garcia-Fernandez, Miguel A. Gamon, Rafael J. Martinez-Dura, Interactive earth-moving simulation in real-time, Instituto de Robotica, Universidad de Valencia, Spain, 2009。

五、Ron Wakefield、Dennis Jones、John Perumpral & Walid Thabet, Development of a Virtual Reality Excavator Simulator: a Mathematical Model of Excavator Digging and a Calculation Methodology, Borinara Park, 2002。

六、M. Pla-Castells et al., Physically-Based Interactive Sand Simulation, Instituto de Robótica, Universidad de Valencia, Spain, 2008。

七、Trevor Nash, Military Training & Simulation News, Vol.8 Issue 1, 2006。

八、Caterpillar公司網站, www.catsimulators.com。

九、Immersive Technologies公司網站, www.ImmersiveTechnologies.com。

十、Thoroughbred Technologies公司網站, www.thoroughtec.com。

十一、Volvo Construction Equipment公司網站, www.volvoce.com。

十二、Lockheed Martin公司網站, www.lockheedmartin.com。

十三、Military Technology, Virtual Convoy Training, 2004。

收件：99年2月22日

第1次修正：99年6月13日

第2次修正：99年6月28日

接受：99年6月30日