

漫步式虛擬實境系統設計與應用介紹

黃俊堯、邱文信

蔡明典、林詠庭、白華勝

淡江大學資訊工程研究所

E-Mail: jhuang@mail.tku.edu.tw

高崇洋、余惠倫

行政院勞委會勞工安全衛生研究所

E-Mail: gau@mail.cla.gov.tw

摘要

隨著科技的進步，利用虛擬實境技術所發展的模擬系統已經大量的受到各界重視，因為模擬系統能夠在不用動用真實人員及場地，甚至不用受制於天候及時間的影響下，便能達到真正訓練的目的及效果。而模擬系統的好處可以概略分為下列四點：(1)節省訓練所需之成本；(2)提高訓練的效果；(3)避免人員因訓練而損耗；(4)實驗數據容易取得。

為了避免固定式起重機的操作人員因為操作訓練不足而發生職業傷害，本論文結合虛擬實境的發展技術及相關 VR 週邊設備，設計了一個具有模組化、分散式、高效能的固定式起重機模擬器，以提供受訓者一個既安全又有效率的訓練環境，進一步落實操作人員的職業訓練。

本論文將此模擬器的系統元件分類成三大層面：(1)使用者輸入控制訊號層；(2)系統底層運算環境層；(3)模擬器輸出回饋訊號層。由於此系統架構具有模組化的設計精神，可以根據不同模擬器的需求，達成功能模組可重複使用、易維修及系統應用彈性大等系統特性。本論文利用數台個人電腦來組成一個分散式的虛擬運算環境，能夠提供模擬工作站等級電腦的運算效能，因此不需要購買昂貴的工作站級電腦，可以有有效的降低生產成本，將有助於訓練模擬器的發展及應用。

1.簡介

在操作固定式起重機時，發生職業災害的原因在於訓練不夠完善的情況下，使用者對於吊掛原則，控制方式不夠熟悉，而導致吊掛物脫落、碰撞發生，造成人員的傷亡，因此落實人員的訓練是避免固定式起重機職業災害發生的最大關鍵。

虛擬實境(Virtual Reality)是近年來相當熱門的話題，也已經廣受大眾的注意，同時更刺激了人們對它的想像空間，然而虛擬實境不只是一個概念，更是一項科技，而且這項的科技影響著社會的變革，除了電腦科技外，舉凡軍事、教育、訓練、廣告、設計、醫學、工業製造、商業購物、休閒娛樂...等社會各層面皆是此技術的應用範圍。虛擬實境並不是一項新技術的發明，而是將現今已存在的技術(如繪圖、影像、聲音、網路)整合在一起，成爲一種人與機器溝通的新介面、新媒體。

虛擬實境訓練模擬器[7,8,11,13]是一個整合機械控制、動力學運算及顯像技術的系統。使用虛擬實境模擬器來訓練使用者，可以讓使用者能有身歷其境的感受，而達到訓練其專業技術的目的，以免除使用者在真實世界訓練時，所必須擔負的成本及意外傷害的風險，虛擬實境模擬器可以提供一個極爲安全且不受天候、場地限制的練習場地，讓使用者能夠重覆的練習，更可助於實驗數據的取得，使得設計單位能夠快速分析並改良產品的品質，也可以藉由受訓者的特性及行爲設計出最適當的模擬訓練教材。

在此篇論文的整體架構中，第二章將會介紹漫步式 VR 系統的相關研究；第三章中將會介紹我們所開發的 MUDS/CB、漫步鋼珠平台、步態分析演算法及虛擬實境場景管理；第四章將會介紹以構築一個固定式起重機模擬器爲目標，所設計的系統架構及功能模組分割；第五章爲此篇論文的結論；第六章爲此篇論文的未來發展。

2.相關研究

本論文的發展重點在於設計出一套適用於固定式起重機操作訓練的漫步式虛擬實境系統，以提供受訓者一個安全的訓練環境，並提高訓練的成效。以下介紹現有的一些漫步式虛擬實境系統，並針對該系統的發展者、設計目的及系統特性，作一些簡略的介紹。

2.1 The Torus Treadmill

此 Torus Treadmill[1]是由日本築波大學機械工程系所發展出的一套虛擬實境運動系統。虛擬世界的運動模式是現今虛擬實境研究的主要課題，因爲腳的行動是非常直覺的運動，因此步行乃爲一重要的運動行爲，此系統提供一套在虛擬世界中步行的運動介面，目的在讓使用者能夠在一個有限的空間中做無限的走步運動。

此系統使用的裝置爲一套由十二個 Treadmill 相連，並利用一套磁性的感應器測量使用者的行進方向，再利用測量結果將 Treadmill 滾動或旋轉，使得前進的行爲被抵消，藉以讓使用者能夠在固定的地點做無限的行走；使用者可以朝任意的方向前進，系統會將前進方向分爲與 Treadmill 相連方向垂直與平行的兩向量，依此將 Treadmill 滾動或旋轉；而虛擬實境中與使用者動作對應的影像則是透過頭盔來顯示。

2.2 The Treadport

Treadport 系統[2]是由美國猶他州大學機械工程學系所發展出來的，主要的就是要利用慣性力回饋來解決運動平台與真實環境之間差異的問題，藉以讓使用者在運動平台上的感覺更接近實際情況。一般在虛擬實境的系統中，會採用運動平台來模擬使用者的動作，例如走路、跑步等，但運動平台所模擬出來的結果不見得能完全與真實環境相符合，尤其是當運動平台有加速運動的時候，它所產生的慣性力與真實環境可能有所差異。

這套系統是單向運動的平台，使用者在其上可活動的範圍大約 1.22m * 2.43m，此外，它還提供一個彈簧桿可模

擬慣性力回饋。至於控制軟體則是自行開發的，可用來運算回饋力的大小，並控制 Treadport 平台的彈簧桿模擬出此回饋力。

2.3 The Omni-Directional Treadmill

Omni-Directional Treadmill(ODT)[12]是由美國海軍研究院所研發。這套系統是運用在大規模的虛擬實境環境之內，它可以允許使用者在上面任意的走動而不受到任何方向上的限制。目前已實際應用於美國陸軍之士兵訓練計劃之中，再加上虛擬場景等系統之配合，士兵在室內即可模擬於世界上各個地區及天候下之戰鬥。

在 ODT 系統內包含兩個相互垂直的 Treadmill，其中一組 Treadmill 是裝置在另一組之內，此外還有一個偵測臂用來判斷使用者之位置及方向。ODT 系統透過偵測臂所獲得之資訊來改變兩組 Treadmill 之運動方式，使得使用者保持在 ODT 系統之中央。如此即可達到將一個極小的實際空間對映到一個廣大的虛擬場景，而讓使用者能在此系統中達到毫無距離與方向上限制的走動之要求。

3. 漫步式 VR 系統設計

在本論文所發展的漫步式 VR 系統元件中，在各功能模組的通訊協定方面：本論文採用自行開發的分散式系統架構(MUDS/CB)，以作為該 VR 系統架構中的基礎通訊協定，可以有效的處理及簡化 Win32-Based 的網路通訊服務。在使用者操作平台方面：本論文採用由行政院勞委會勞工安全衛生研究所[3]所設計的固定式鋼珠漫步平台，並配合自行研發的步態分析演算法來分析使用者的步行狀況。在虛擬實境場景的管理方面：本論文採用多層次的碰撞演算法來偵測物體的碰撞；並配合繩擺之動力學，設計出繩擺演算法，用以模擬天車吊鉤的擺動狀態。

3.1 分散式系統架構-MUDS

近年來，處理器的技術不斷的改良與演進，使其功能也越來越強大，且價格上也越來越便宜。所以本論文採用一個稱為 Multiple User Distributed Simulation Communication Backbone (MUDS/CB)[9,14,15]的分散式多人互動基礎執行架構，進一步的利用網路來結合週邊的個人電腦或工作站形成一個大型的分散式運算環境，並善用模擬器電腦系統本身潛在的平行性，使其能在分散式運算環境上達到加速的效果。

以 MUDS 為基礎所設計的模擬器電腦系統主要可分成兩大部份(如 Figure1)，一部分是與應用範圍無關的基礎執行架構-MUDS/CB，此基礎執行架構有著一種“即使應用的性質(或範圍)改變了，也不必更改此基本架構”之含意；而另一部分則是與應用範圍有關的 Logical Process(LP)s，如構成模擬器電腦系統的 LPs，包括圖學顯像、使用者的輸入介面、音效、虛擬場景資料庫管理、真實模組等等。在 MUDS 系統之架構中，每一台電腦主機上都必須要執行 MUDS/CB，作為此部電腦在分散式架構的代理人，而 LPs 則架構在 MUDS/CB 上。

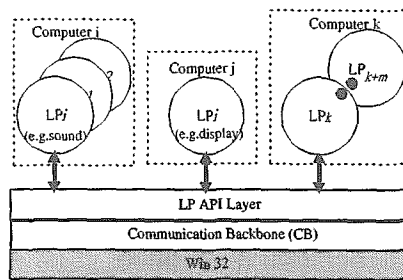


Figure1 模擬器電腦系統的基本架構

由於 MUDS 的系統架構是屬於 loosely-coupled 架構，因此有著下列特性：

- 機器與機器之間沒有 global synchronization mechanism，也就是機器之間沒有共享記憶體，也沒有共用時鐘，所以 processes 之間的 synchronization 只能透過 message-passing 的方式達成。而在本論文的模擬系統架構中的 message passing 方式並不是由 LP 直接“交談”，而是透過 MUDS/CB 來達成的。
- 此架構也沒有 central host。若採用 client-server 架構，則 clients 對外的動作都需要透過 server，因此 server 極可能會成為系統中工作負擔最重的部分，造成系統的瓶頸。所以 MUDS 所提之架構為一個全然分散式之運算環境，在每一部機器上都執行一個 MUDS/CB，而每一個 MUDS/CB 都是同等地位，因此不像 client-server 架構一樣需要一個功能強大或是工作站級以上的 server。
- 在全然分散式之運算環境中有必要對 LP 隱藏系統的分散特性，使得 LPs 不須要知道對方的位置即可完成 LPs 之間的互動。因此，在全然分散式之運算環境中有必要對 LP 隱藏系統的分散特性，使得 LPs 不須要知道對方的位置即可完成 LPs 之間的互動。基本上 MUDS/CB 只是一個幕後工作者，它不會理會 LPs 要送的資料之型式，更不會在意 LP 真正想要送資料給“誰”，MUDS/CB 只是從 LPs 處得到資料，再將這份資料送給真正需要的 LPs。而要達到這一個目的，MUDS/CB 之間的 Communication protocol 就扮演極為重要的角色。

對 MUDS/CB 之間的 Communication protocol 而言(如 Figure2 所示)，會產生 message 的 LP 就稱為 publisher(一個 publisher 會對應到 Publication Table 中的一個 entry)，而需要 message 的 LP 就稱為 subscriber(一個 subscriber 會對應到 Subscription Table 中的一個 entry)。virtual channel 就是象徵著 publisher 與 subscriber 之間的互動關係。

因此，MUDS/CB 在建立 virtual channel 之前必須要知道 LPs 的存在及其所扮演的角色，而 MUDS/CB 會將這些資訊會保存於資料庫中(由 publisher 所得到的資訊會被儲存於 Publication Table 中，而由 subscriber 所得到的資訊則被儲存於 Subscription Table 中)。若本機上的 subscribers 無法得到想要的資訊時，就必須要透過 MUDS/CB 之間的“交談”來找尋相對應的 publisher，以完成 LPs 之間的互動。而 MUDS/CB 就是透過這兩個表格中的資訊來決定 publisher 與 subscriber 之間互動的關係，進而建立 publisher 與 subscriber 之間的 virtual channel。

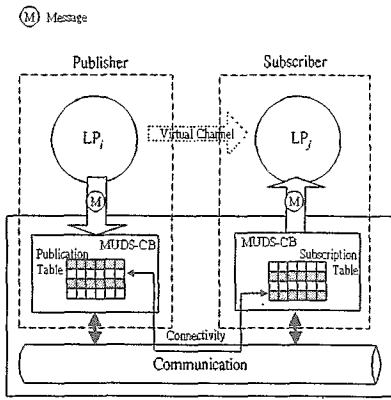


Figure 2 模擬器電腦系統之溝通協定

3.2 漫步平台

本論文採用由行政院勞委會安全衛生研究所[3]所開發的「固定式鋼珠漫步平台」，以作為使用者與虛擬世界中的互動訊息輸入的硬體設備(如 Figure 3 所示)。

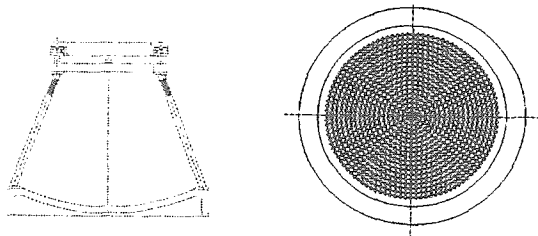


Figure 3 固定式鋼珠漫步平台

為滿足漫步式 VR 系統的需求，此運動平台具有以下四種特性：

- (1) 在有限區域內達成二維平面步行運動：

此鋼珠漫步平台的運動平面以鋪設滾珠方式，提供使用者達到二維平面的基本步行運動。在漫步平台之運動平面的製作上，參考人體在步行時的自然腳步擺動(一隻腳為重心，而另一隻腳為移動力)，而採用低角度的圓弧形設計，使得使用者在使用該鋼珠漫步平台時，所踩出去的那一隻腳，可以利用滾珠及弧面的特殊設計，自然的滑回漫步平台的中心，以模擬人體因為步行所造成的位移。

- (2) 使用者不須佩戴其他位置感測裝置：

一般虛擬實境系統為感測人體四肢位置變化，通常讓使用者穿戴三維電磁式位置感測器，在本漫步鋼珠平台的位置感測裝置設計上，為了達到減輕使用者生理方面的負擔，讓使用者無需穿戴特殊的位移靴、位移手套。本系統以內建的方式將位置感測器安置於漫步平台內部，使得使用者不需要穿戴任何其他感測裝置於身上。

位置感測器之組裝(如 Figure 4 所示)，主要由滾珠、絕緣心軸、墊片所組成，同時為了增進滾珠的平滑度，因此在直徑 0.75 英吋大鋼珠與絕緣心軸之間，加入六顆直徑 0.25 英吋的小鋼珠。此漫步鋼珠平台上總共放置了 975 組位置感測器，以構成此漫步鋼珠平台的滑步運動平面，最大可感測步長為 50cm，最小步長為 5cm。

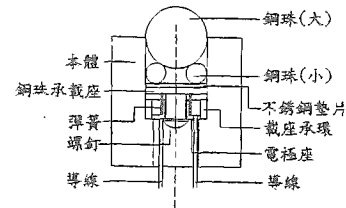


Figure 4 位置感測器

- (3) 使用者不須利用雙手扶持，亦能使用的安全設施：

在漫步平台之旋轉運動之腰部扶持裝置的設計上，為了顧及使用者操作上的方便，採用了半開式的旋轉環，使得使用者的進出操作較為方便，並可依照使用者的身高，作隨意的高度調整。在操作上，該裝置將使用者固定於鋼珠漫步平台的中央，以維持使用者在步行時的平衡狀態，並藉此以抵銷使用者在滑步時所產生的力回饋，以模擬在真實世界中步行時，地面所回饋的摩擦力。

- (4) 平台能夠即時反應使用者之步行訊號：

因為此漫步鋼珠平台需要將偵測到的感測訊號輸入電腦，以便進行後續的步態分析運算，所以使用了 A/D 與 D/A 轉換介面卡來解決此項問題。在此漫步鋼珠平台的運動平面上，以同心圓方式(19 圈)安裝了 975 個感測器(每個感測器兩個接點)。為了提升偵測(scan)感測器的效率，將以矩陣(matrix)掃描方式來分配這些感測器，共分為 28 行/36 列。如此的掃描電路設計，可以有效使得漫步平台步態訊號取樣及運算之最短更新時間為 10ms，能即時反映出使用者的步態狀況。

3.3 步態分析

當使用者利用此漫步鋼珠平台來漫遊虛擬世界時，此鋼珠平台必須收集所有感測器的掃描訊號，並經過步態分析演算法的運算，才能得知使用者目前的步行狀態及位移，並適時的回饋至虛擬實境場景之中，已呈現出相對應的虛擬場景變化。

由於該漫步鋼珠平台的特殊操作設計，使用者被固定於平台的中心位置，使用者可以透過旋轉式的腰部扶持裝置來改變使用者的前進方向，並可以透過位置感測器的作用，以反應出使用者的步行位移(如 Figure 5 所示)。經過觀察一般人的步行姿態，發現人在步行的時候，是以一隻腳為重心，而舉起另一隻腳產生力回饋而造成位移。所以在演算法的設計上，本論文將此鋼珠平台的感測器區分為兩種作用類別(如 Figure 6 所示):(1)中心感測區：該區域所偵測到的感應訊息，可以作為判斷步行預備動作或是完成步行動作的偵測資料；(2)步態感測區：中心感測區之外所構成的區域，本區域利用同心圓交錯感測的方式所組成，所偵測到的感應訊息，可以作為判斷步行動作進行中的偵測資料。

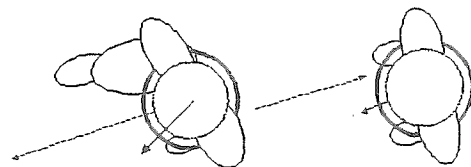


Figure 5 (左)前進方向；(右)產生步行位移

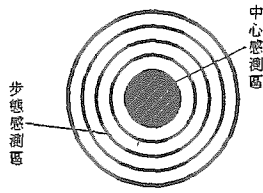


Figure 6 中心感測區及步態感測區

該演算法在初始狀態下，(1)會優先偵測中心感測區的位置感測器的有感個數，以判斷此時使用者是否舉起一隻腳以進行步行預備動作；(2)若滿足步行的預備動作，則偵測另一隻腳的所在位置，以計算出此步態的移動距離；(3)持續檢測是否有滑步動作的產生；(4)若使用者已滑回至中心感測區，則可滿足產生位移的條件，並傳送輸出稍所記錄的位移距離。其演算法的控制流程如 Figure 7 所示。

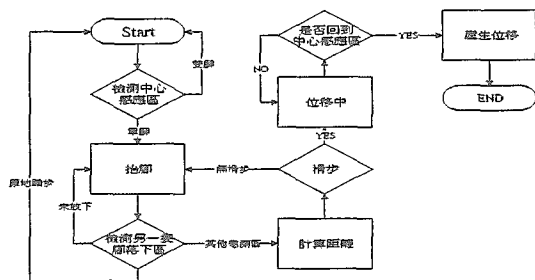


Figure 7 步態偵測演算法

3.4 固定式起重機的虛擬場景管理

當天車或是吊鉤在場景中運作時，虛擬場景管理模組會啟動多層次碰撞偵測演算法[10]來進行物體碰撞的偵測。虛擬場景管理模組會替所有的物體建立一個可包含整個物體的球及立方體(Bounding Sphere & Bounding Box)，以做為碰撞偵測的測試依據。當吊鉤移動時，就將吊鉤的 Bounding Sphere 與其他物體的 Bounding Sphere 作比較，以得知是否小於兩者的 Sphere 半徑和，若是小於就將吊鉤的 Bounding Box 與該物體的 Bounding Box 再作進一步的比較，以檢測兩者的 Bounding Box 是否相交，若是相交則發生碰撞事件。當吊鉤與其他物體發生碰撞，此時將會執行碰撞事件的動畫處理，再將處理結果交給 Render Engine 繪製。

當天車的吊鉤正在移動及停止移動時，虛擬場景管理模組將會執行繩擺慣性處理的演算法，已呈現真實的物理現象。吊鉤正在移動時首先會根據目前的吊鉤移動速度、方向及吊物、吊垂的重量及目前的繩擺角度等因素透過物理學來計算繩子應擺動的角度；當吊鉤停止移動時，則會重複的利用目前的繩擺角度及慣性作用來計算擺動的角度，直到繩擺到達靜止的狀態為止。

4. 漫步平台的應用-固定式起重機模擬器

固定式起重機為機械製造業最常使用的搬運工具，其在結構上是利用工字樑作為主結構體，並利用交流馬達驅動輪軸運行於固定的軌道，同時吊鉤部份另有一馬達驅動捲揚機構，達到搬運重物的功能。一般固定式起重機最常發生的職業災害並不是因為結構方面的缺失而導致，而是因為固定式起重機使用率非常高，在訓練不夠完善的情況下，使用者對於吊掛原則，控制方式不夠熟悉，而致使吊掛物脫落、碰撞頻頻發生，造成人員的傷

亡，因此落實人員的訓練是避免固定式起重機職業災害發生的關鍵。

為了提供一個能保證使用者安全又有成效的訓練工具，該虛擬實境訓練系統利用數台低價位的個人電腦，並配合 MUDS 的執行基礎架構組成一個分散式運算環境，提供高效能的運算能力，以滿足該模訓系統的需要，並可有效的降低生產成本。利用模組化的工作切割方式，將整個模訓系統分成數個獨立模組(LPs)，使其系統具有可重複使用、易維修及系統應用彈性大等特性。

本論文經過系統分析、執行效率及功能模組設計等考量，將該固定式起重機模擬器的功能需求，分割成下列的功能模組：(1)天車控制模組：接收使用者對於天車的控制指令；(2)鋼珠平台控制模組：偵測使用者的步態訊號，並進行步態分析；(3)虛擬實境場景管理模組：管理虛擬場景的顯像；(4)Tracker 控制模組：偵測使用者的視界；(5)立體音效模組：播放即時的立體音效。

在固定式起重機模擬器的系統架構設計上，本研究在一個區域網路的環境中，分別在三台個人電腦上執行 MUDS/CB，以構成一個分散式的虛擬運算環境。本論文在第一台電腦上執行 天車控制模組(LP1)及鋼珠平台控制模組(LP2)；在第二台電腦上執行虛擬實境場景管理模組(LP3)；在第三台電腦上執行 Tracker 控制模組(LP4)及立體音效模組(LP5)，以構成整個固定式起重機模擬器的系統架構，其架構如 Figure 8 所示。

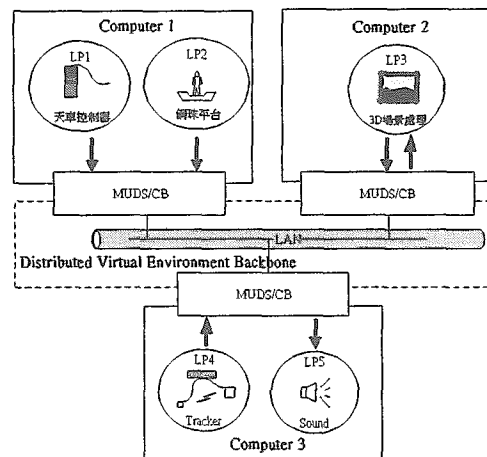


Figure 8 固定式起重機模擬器之系統架構圖

4.1 立體音效模組

此立體音效模組是以立體音效[6]的方式來呈現出虛擬場景中的靜態音效(如背景引擎聲...)及動態音效(如碰撞事件、移動天車.....等等)。在一般的虛擬實境系統中由於較注重在虛擬場景的呈現、系統的整合等方面，而忽略了立體音效之處理，然而在自然界之中，聲音的感受卻是人類在實際生活不可缺少的一環。因此本論文採用 DirectSound 的架構來製作出立體音效的功能，並透過由 MUDS 所構築的分散式虛擬環境與負責呈現 3D 場景之 LP 結合，以即時反映出虛擬場景中的立體音效。

為達到與虛擬實境場景管理模組間之合作，需在 MUDS 系統內建立一個通道來傳遞控制指令。立體音效模組在初始化時期時，先透過 Subscribe()的 API，以取得 MUDS 上之預設通道。而在執行時期，再以呼叫 Refresh()的方式來收取互動訊息，當收到 MUDS 所傳送過來的互動訊

息時，此立體音效模組會先判斷 Prelude 之參數，而進入不同音效之處理區段，再依據其他參數來設定 DirectSound 並送到音效裝置上而達到播放之功能；若 MUDS 並無新的互動訊息傳入，音效系統仍會選擇舊有的資料中包含有連續播放屬性的曲目繼續播放，直到互動訊息此曲目設定為停止，其控制流程如 Figure 9 所示：

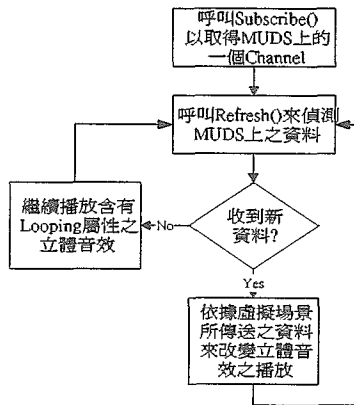


Figure 9 立體音效模組運作流程

4.2 Tracker 控制模組

本模組的主要目的在於利用 Tracker[4]來偵測使用者在虛擬場景中的視覺點。通常 Tracker 控制模組包括一個 Transmitter 與一個 Receiver，Transmitter 會發送電磁波產生磁場，而 Receiver 在 Transmitter 所產生的磁場中運動時會收到電磁波訊號，藉以計算出 Receiver 相對於 Transmitter 的相對位置與角度。

此模組透過 MUDS 即時的將使用者頭部朝向的角度及方向，傳送給虛擬實境場景管理模組，藉以改變場景中的視覺點，以反應使用者與模擬器之間的互動性。本模組在初始化時期，會先透過 Publish() 這個 API 取得 MUDS 上的一個虛擬通道，以備傳遞資料予虛擬實境管理模組。而在執行時期，則會週期性地透過 RS232 傳輸硬體指令給 Tracker，要求 Tracker 抓取 Receiver 的位置，並計算其六個自由度的值，然後回傳給本模組。本模組在解讀完 Tracker 回傳的封包資料後，即可藉由呼叫 MUDS 所提供的 Update() 這個 API 來傳輸相關資料給虛擬實境場景管理模組。其流程圖如 Figure 10 所示：

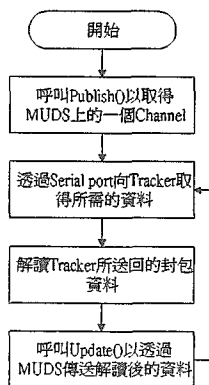


Figure 10 Tracker 模組運作流程

4.3 鋼珠平台控制模組

出使用者在此虛擬場景中的前進方向及位移。此模組的設計目的為偵測使用者在漫步鋼珠平台的步態訊號，並

利用步態分析演算法將此步態訊號進行分析及判斷，藉以計算

此模組透過 MUDS 將即時步態的分析結果，傳送給虛擬實境場景管理模組，藉以即時改變場景中的視界，以反應使用者與模擬器之間的互動性。該模組在初始化時期時，先透過 Publish() 的 API，以取得 MUDS 上之預設通道。而在執行時期，則會週期性地偵測使用者的即時步態，並經過步態分析演算法的運算，若產生確實位移，即可藉由呼叫 MUDS 所提供的 Update() 這個 API 來傳輸互動訊息給虛擬實境場景管理模組。其流程圖如 Figure 11 所示：

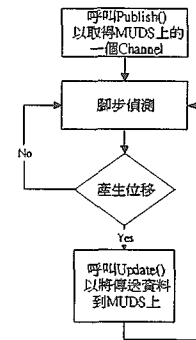


Figure 11 鋼珠平台控制模組運作流程

4.4 天車操作控制模組

此模組的設計目的為取得使用者對於天車吊鉤的控制指令，藉以控制虛擬場景中的天車運作模式。在此控制模組的製作上，本論文採用正式的六按鈕(東、南、西、北、上、下)控制面版，並將這些按鈕的電路開關經過改良，可以模擬成雙軸四按鈕的遊戲搖桿，透過音效卡上的遊戲埠而連接到個人電腦之上，藉以得知使用者的控制指令。

此模組透過 MUDS 將使用者對於天車的控制指令，傳送給虛擬實境場景管理模組，藉以即時改變場景中的天車運作模式，以反應使用者與模擬器之間的互動性。該模組在初始化時期時，先透過 Publish() 的 API，以取得 MUDS 上之預設通道。而在執行時期，則會週期性地偵測使用者的控制指令，並藉由呼叫 MUDS 所提供的 Update() 這個 API 來傳輸互動訊息給虛擬實境場景管理模組。其流程圖如 Figure 12 所示：

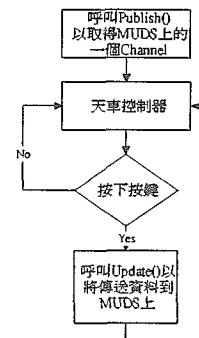


Figure 12 天車操作控制模組運作流程

4.5 虛擬實境場景管理模組

此 3D[5]場景管理模組主要的目的是提供一虛擬的世界，讓操作起重機的操作員能夠融入整個模擬環境之

中。其包含了其它之次模組有 3D 場景繪製、碰撞偵測、繩擺慣性等，藉以模擬出真實世界的現象。

此模組會與其他模組(控制器、鋼珠平台、頭盔、音效)溝通以模擬出整個模擬環境的視覺、聽覺、觸覺，使得操作員能夠具有身歷其境的感受。以下將說明與各模組之間透過 MUDS 系統傳遞資訊的內容如下：

(1) 接收鋼珠平台的控制指令：

主要為接收鋼珠平台模組以得知目前使用者是否有位移的狀態？並在場景中顯示相對應的場景變化。

(2) 接收控制器的控制指令：

經由控制器的控制按鈕，來接收天車前後移動的指令及接收吊錘升降的指令，再讓繩擺慣性模組處理繩擺，接著由碰撞偵測模組處理碰撞的現象。

(3) 接收 Tracker 的控制指令：

主要為接收目前使用者頭部朝向的角度、方向，以移動虛擬場景中的視角。

(4) 輸出 3D 音效控制指令：

主要為通知音效模組目前天車前後移動，吊垂升降的變化，使其能夠播放對應的立體音效。

虛擬實境場景管理模組在初始化時期時，先透過 Subscribe()及 Publish()的 API，以取得 MUDS 上之訊息交換通道。在執行時期，該模組在每一次的場景重繪前，會透過 MUDS 來接收其它模組(如控制器、鋼珠平台、Tracker)所傳送的互動訊息，並配合適當的場景管理演算法加以處理；當場景管理模組運算完成之後，會將所得之互動訊息透過 MUDS 送給其它模組(如音效)，使其可以播放出吊車目前對應的立體音效，最後 3D Render Engine 才將場景顯示在螢幕上。其控制流程如 Figure 13 所示：

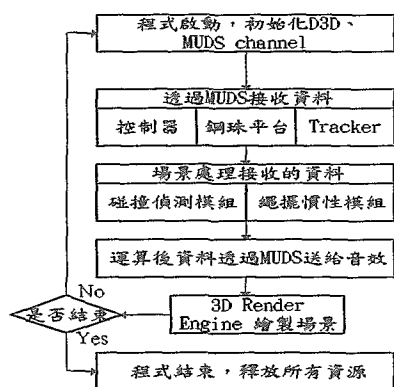


Figure 13 虛擬場景管理模組運作流程

以下為該系統的使用者操作狀態及虛擬實境場景的操作即時狀態：

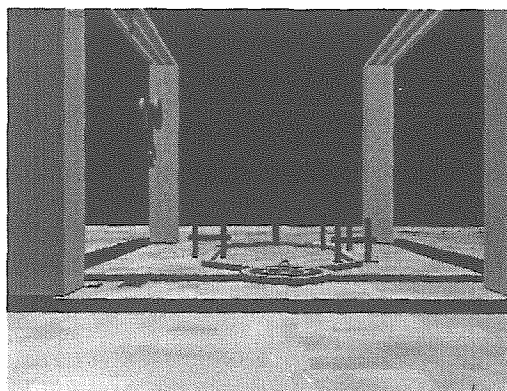


Figure 14 虛擬實境場景

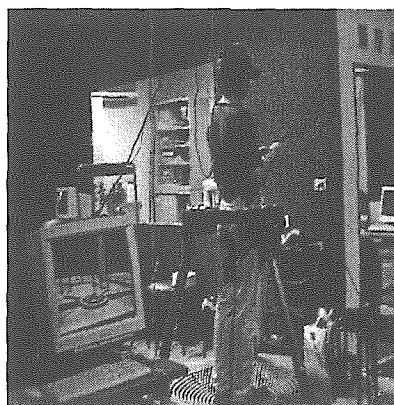


Figure 15 使用者操作狀態

5. 結論

為了提供固定式起重機的操作人員，一個既安全又有效率的訓練環境，本論文設計了一個具有模組化、分散式、高效能的固定式起重機模擬器，以滿足受訓者的需要。

在系統的底層運算環境方面，本論文利用 MUDS 來構成一個分散式的虛擬運算環境。在 MUDS 的執行架構中，每一台電腦上皆需執行一個 MUDS/CB 以作為各個電腦之間的溝通介面；而在每一個 MUDS/CB 之上，可以執行各個功能模組程式(LPs)，並進行互動訊息的傳遞，以遂行分散式環境的運算工作。

在使用者輸入控制訊號方面，本論文利用漫步鋼珠平台模組、天車控制器模組及 Tracker 控制模組來得到使用者的操作訊號。漫步鋼珠平台模組可以得到使用者的即時步態資料，並加以分析、判斷；天車控制器模組可以得知使用者對於天車的操作控制指令；Tracker 控制模組可以得知使用者現在的即時視界。上述的使用者操作訊號輸入模組皆利用 MUDS/CB 將互動訊息傳遞虛擬實境管理模組，以進行虛擬場景的管理及更新顯像。

在模擬器輸出回饋訊號方面，本論文利用虛擬實境管理模組、立體音效模組來提供模擬器的回饋訊號。虛擬實境管理模組透過 MUDS/CB，可以接收由使用者操作訊號輸入模組所傳送的使用者控制指令，並加以分析及處理該控制指令，以即時更新虛擬場景顯像，並送出相對應的立體音效播放指令給立體音效模組；立體音效模組可以透過 MUDS/CB 而接收虛擬實境管理模組的立體音效播放指令，進而播放出即時的立體音效。

經由系統整合、測試及運作之後，本論文驗證建立一個

虛擬實境模擬訓練系統，具有下列優點：(1)讓受訓者在極度安全的環境下，重覆的練習其專業技能，可以避免在真實世界中所受到的不當職業傷害及意外，並可加強受訓者的熟練度及技能等級。(2)可以避免在真實世界中做實驗時，所發生的實驗意外及耗材成本，使得實驗成本能做有效的控制。(3)不受實驗場地、天氣情況、配合單位或支援人力...等因素影響，可在有限的空間及系統管理者的配合下，全時段的進行實驗。(4)使得實驗數據更容易取得，有助於設計單位能夠分析並改良產品的品質，也可以藉由受訓者的特性及行為設計出最適當的模擬訓練教材。因此，虛擬實境模擬訓練系統不僅是一個既安全又有效率的訓練工具，同時也是研發、設計、製造單位探討受訓者的特性與行為的最佳資料收集工具。

6. 未來發展

本論文藉由設計、開發、整合及應用該固定式起重機模擬器的成果得知，其系統的未來發展有下列兩大方向：

(1) 模擬系統應用方面：

模訓系統的發展技術若能應用於休閒娛樂業，並配合政府推行隔週休二日的政策，將可提供國人有更上一層樓之感官娛樂休閒。

(2) 分散式虛擬運算環境方面：

由於本論文採用 MUDS/CB 的執行架構，以構成整個分散式運算環境，在系統實作過程中發現 MUDS/CB 對於互動訊息交換及傳輸延遲(Lag)方面，仍有相當的改進空間，以增進系統執行時的效率及穩定性。

(3) 系統架構設計方面：

本論文採用模組化、分散式、可重複使用的系統架構設計，將數台個人電腦組合成一個分散式虛擬環境，其運算能力及執行效率可以比擬一般工作站的執行效能。其系統模組化的設計觀念更具有可重複使用、易維修及系統應用彈性大等優點，相信此架構可以將會成為發展模擬器的示範架構。

7. Acknowledgement

本論文的研究成果及固定式起重機模擬器系統設計，是由行政院勞委會勞工安全衛生研究所之委託研究計畫案所贊助，計畫名稱為「危險性機械設備模擬訓練系統之研發-固定式起重機模擬訓練系統之商品模組化」，計畫編號為「IOSH88-S132」。

8. 參考資料

- [1] Available at <http://www.computer.org/conferen/proceed/vr/0093/0093toc.htm>
- [2] Available at <http://www.cs.utah.edu/jmh/>
- [3] Available at <http://www.iosh.cla.gov.tw>
- [4] Available at <http://www.polhemus.com/isotrkd.htm>
- [5] Available at <http://www.microsoft.com/directx/overview/d3d/default.asp>

- [6] Available at <http://www.microsoft.com/directx/overview/dsound/default.asp>
- [7] J. D. Dumas II, et al, "Design, Simulation, and Experiments on the Delay Compensation for a Vehicle Simulator", Transactions of the Society for Computer Simulation, Vol. 13, No. 3, 1996, pp.154-169.
- [8] J. Kuhl, et al, "The Iowa Driving Simulation-An Immersive Research Environment", IEEE Computer, Vol. 28, No. 7, July 1995, pp. 35-41.
- [9] J.Y Huang, C.T. Fang-Tson,, S.J. Wang, W.C. Wang, "Extension of RTI to Construct a Simulator over Distributed PCs", 1997 Spring Simulation Interoperability Workshop, March 1997, pp201-201.
- [10] M. Moore, et al, "Collision detection and response for computer animation", Proceedings of the 15th annual conference on Computer graphics, 1988, pp. 289-298.
- [11] M. R. Stytz, "Distributed Virtual Environments", IEEE computer graphics and applications, Vol.16, No. 3, May 1996, pp19-31
- [12] R. P. Darken, et al, "The omni-directional treadmill : a locomotion device for virtual worlds", Proceedings of the 10th annual ACM symposium on User interface software and technology, 1997, pp. 213-221.
- [13] W. V. Tucker, et al, "The Roles of Modeling and Simulation at Boeing", Transactions of The Society for Computer Simulation International, Vol. 15, No. 1, 1998, pp 3-9.
- [14] 黃俊堯、方鄒昭聰、王順吉、王維泉, "模擬器之分散式電腦架構設計與製作", Third Workshop on Real-time and Media System (第三屆即時與多媒體系統研討會), July 1997, pp. 85-94.
- [15] 黃俊堯、方鄒昭聰、王順吉、王維泉, "以 DIS/HLA 為基礎之分散式模擬器電腦架構設計", 第六屆國防科技學術研討會, 台灣, 86 年 11 月, pp512-519