

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

總計畫

計畫類別：整合型計畫

計畫編號：NSC93-2218-E-009-010-

執行期間：93年08月01日至94年07月31日

執行單位：國立交通大學機械工程研究所

計畫主持人：白明憲

報告類型：精簡報告

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 94 年 10 月 17 日

關鍵詞：頭部轉移函數；殘響器；交越失真干擾消除系統；微機電製程；光學線性偏振片；動態模型

本整合型研究計畫旨在發展和實現“沉浸式電腦遊戲環境”，分成五項子計畫，計畫執行時間為一年。子計畫一目標在發展數位 3D 音效系統，提出三項創新的核心技術，分別為頭部轉移函數、殘響器和交越失真干擾消除系統。子計畫二運用微機電製程來設計並製作一新式六軸定位感測器，具有微型化、製作成本低廉、性能符合要求等優點。子計畫三利用 USB 來設計複合式人工界面裝置。子計畫四以高效能電腦系統產生動態高畫素立體影像對，再經由同步化雙顯像投影系統結合光學線性偏振片及先進週邊設備，可產生高品質立體影像。子計畫五針對汽車物理系統推導所得之動態模型取得最佳化之模型結構。整合上述五項子計畫，藉由微軟 XDK (Xbox Development Kit)開發工具來重現模擬汽車的運動狀態、配上 3D 立體音效和立體視效使汽車動態模型能達到與真實系統相近的特性表現，透過先進的六軸定向搖桿讓整個家庭遊戲機虛擬實境的效果更顯逼真、更具娛樂娛樂價值。

Keyword: Head Related Transfer Function, Reverberator, Cross-talk Cancellation System, MEMS, optical linear-polarizer, dynamic model, Xbox Development Kit

The goal of this one-year integrated project including five sub-projects is to develop and implement an immersive computer game environment. The objective of the first sub-project is to develop virtual-reality digital 3D audio systems. The innovative core technologies consist of Head Related Transfer Function (HRTF), Reverberator, and Cross-talk Cancellation System (CCS) are proposed. A new six-axis position sensor is designed and produced by MEMS procedure in the second sub-project. The design of the composite interface is through USB in the third sub-project. In the fourth sub-project, the high-resolution dynamic stereo pairs will be generated by high-performance computing scheme. In order to build a high quality stereovision, the previous results will be combined with the synchronized double-vision projection system, the optical linear-polarizer, and advanced auxiliaries. The objective of the fifth sub-project is to acquire an optimal dynamic model of the car physical system. On the final stage, we integrate five sub-projects. Real car motion states can be reconstructed and imitated by the Microsoft Xbox Development Kit (XDK). In addition, the digital 3D audio system, the quasi-simultaneous generating stereovision and the six-axis position joystick improve the virtual reality of the home game console.

一、前言

沉浸式電腦遊戲環境就是將現有的聲音、影像、輸入設備等技術加以整合與改良，讓使用者能夠有“身歷其境的感覺”，沉浸式環境系統最大的特色是在於其互動性和即時的反應，為達成此目的，整個計畫分成五個子計畫進行，各個子計畫間的關係是密不可分的，在視效方面：影像中物體的狀態變化需要藉由物體動態模型來推測，而影像的立體感與層次感，則是需要由即時產生立體視效環境建構來達成；在音效方面：物件所有狀態的變化都伴隨著能量的消耗，除了視覺所感受的能量損耗，還有聲音，聲音的空間感則需要虛擬實境數位 3D 音效系統來完成；在觸感方面：與影像中物件即時互動，亦是達成沉浸式環境中不可或缺的要素之一，因此六軸定位遊戲機搖桿可使使用者藉由此輸入設備與物件互動增加其參與感與沉浸感輸入設備與輸出設備間訊號的整合協調性經由複合式人工界面裝置完成整個沉浸式電腦遊戲環境的建構式缺一不可。

在總計畫主持人監督、協調和各子計畫主持人們的努力之下，經過一年努力的研究，接達成當初預定的目標，吾人將各子計畫成果整理如下：

二、各子計畫成果

子計畫一：虛擬實境數位 3D 音效系統之研發與實現

A spatial audio system based on panel speaker array has been implemented on a personal computer. It is capable of rendering sound images positioned arbitrarily around a listener in synchronization with the video image, providing a useful solution for PC multi-media. Unlike previous systems using stereo loudspeakers, a panel speaker array is employed in this system for its compactness and robustness. The HRTF, reverberator, and CCS are all integrated in one unit. In particular, the last item is accomplished by using inverse filtering in conjunction with Tikhonov regularization. A dynamic scheme in adjusting the regularization parameter β has been proposed in this paper under a speaker input constraint. Such approach suits better the frequency-dependent needs for regularization. As indicated in the experimental results, the band-limited implementation of CCS proved to be effective in canceling the cross-talks within the control bandwidth, with reduced amount of computation loading.

Numerous limitations of the present system are pointed out as follows. First, the computation loading remains an issue for audio/video rendering. Although real-time implementation of this system is possible by using a P4 2.2G CPU, it takes up almost 50% of the computational power when all effects (HRTF + reverberator + CCS) are enabled. Second, head misalignment of the listener remains the primary factor that affects the performance as well as robustness of the CCS, particularly at high frequencies. Methods, either fixed type or adaptive type, are currently being

sought to solve this problem. Future research will focus on these aspects to enhance the practicality of the spatial audio system.

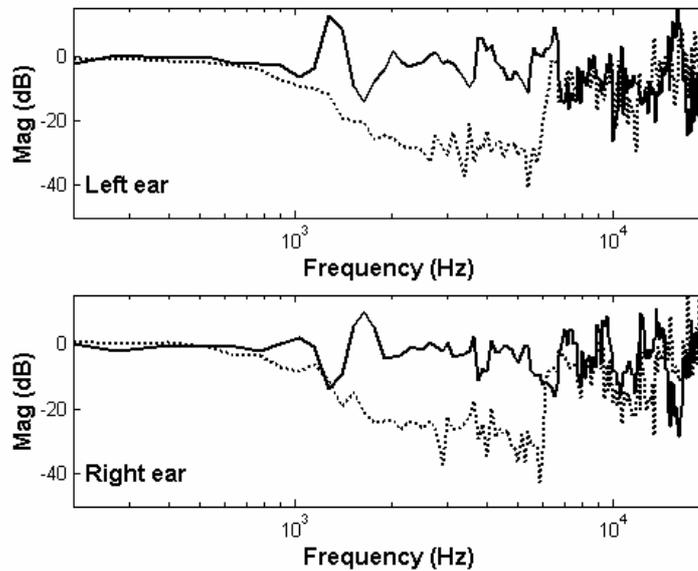


圖 1-1 Channel separation

子計畫二：新式六軸定位遊戲機搖桿之設計、製作及測試

模擬結果包含兩個部份，第一個部份為使用平面式純加速規慣性量測單元，

$${}^b \dot{\omega}_{3 \times 1} = J^{-1} (1:3, :) \times ([{}^b \omega \text{ terms}]_{9 \times 1} + [A]_{9 \times 1} + [n]_{9 \times 1})$$

$$A_{o_{3 \times 1}} = J \cdot \begin{bmatrix} {}^b \dot{\omega} \\ {}^b F_o \end{bmatrix} + [{}^b \eta_o^T \cdot ({}^b \omega \times ({}^b \omega \times {}^b r)_o)] + [n]$$

利用上式加速規及角速度的關係可計算出物體的角速度，所計算物體角速度如圖 2-1。接著直接利用四元素法，把物體的姿態計算出來，角度估算結果如圖 2-2 所示。由圖 2-2 可發現由於角速度的雜訊，使得在計算物體姿態時產生了誤差。因此使用另一單軸的角度感測器及計算出此時物體重力的方向來抑制積分漂移現象。其中四元素微分方程式及量測方程式如下：

$$\dot{q}_{4 \times 1} = \frac{1}{2} [{}^b \omega \text{ term}]_{4 \times 4} q_{4 \times 1}$$

$$z_{4 \times 1} = [\phi, \theta, \psi \text{ term}]_{4 \times 1}$$

其中

$$\theta = \text{Arc tan} \left(\frac{{}^b g(1)}{\sqrt{{}^b g(2)^2 + {}^b g(3)^2}} \right)$$

$$\phi = \text{Arc tan} \left(\frac{-{}^b g(2) \text{sign}(\cos \theta)}{-{}^b g(3) \text{sign}(\cos \theta)} \right)$$

$$\psi = \text{Arc tan} \left(\frac{-v(2)/a}{v(1)/a} \right)$$

${}^b\omega$: 為物體上的角速度，由平面式純加速規慣性量測單元來獲得。

g : 為重力在物體的分量。

v : 為磁力在物體的分量。

藉由以上的公式，代入卡曼濾波器來估測姿態的四元素。結合方式如圖 2-3 所示。由圖 2-4 可知道利用角度感測器及物體重力方向資訊可以有效改善姿態的積分漂移問題。

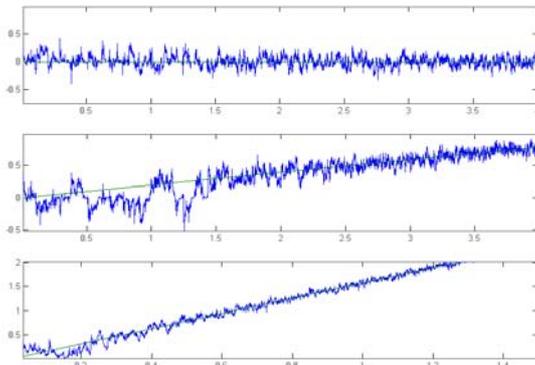


圖 2-1

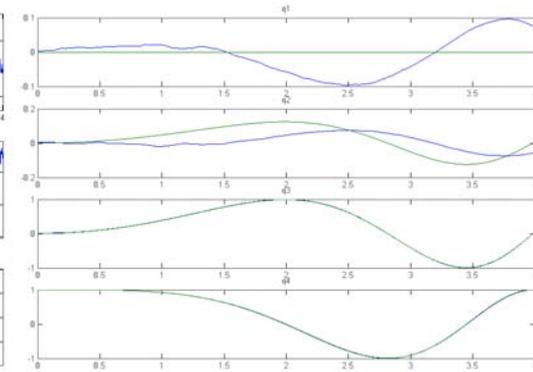


圖 2-2

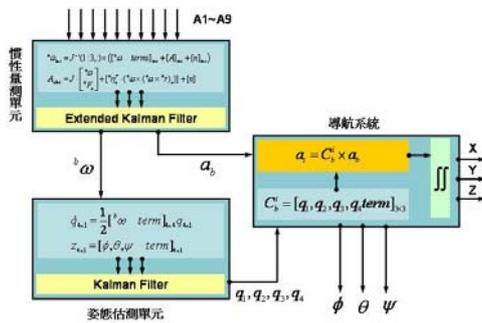


圖 2-3

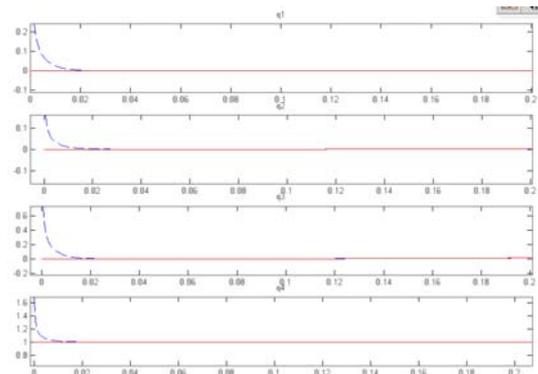


圖 2-4

子計畫三：複合式人工界面裝置設計

以下實驗模擬數據，假設直流馬達規格為：額定電壓 $V_d = 24V$ ，電樞電阻 $R_a = 14.6\Omega$ ，電樞電感 $L_a = 10.7mh$ 。當反應電動勢 $e_a = 0$ 時，平均輸出電流與感測電阻 R_s 之關係，如圖 3-1 所示。當 R_s 越大時，平均輸出電流明顯下降，Bipolar 驅動方式受感測電阻影響幅度比 Unipolar 驅動方式大。圖 3-2 為反應電動勢與輸出電流關係。當 $R_s = 0$ 時，Bipolar 與 Unipolar 驅動方式有相同電流輸出。當反應電動勢 $e_a > 0$ 時，輸出電流曲線向下偏移。亦即在相同控制條件下，馬達轉速增加，使反應電動勢 e_a 變大，減小馬達輸入電流。圖 3-3 為馬達輸入連波電流。Bipolar 驅動方式最大連波電流發生於導通週期 $D_1 = 0.5$ 。最大連波電流高達額定電流之 0.25 倍。Unipolar 驅動方式，其最大連波電流明顯小於 Bipolar 驅動方式，最大連波電流發生於導通週期 $D_1 = 0.25$ 與 0.75 ，其值隨感測電阻 R_s 大小而下降。

當使用 PI 控制器，整個閉迴路回授控制系統，自然頻率 ω_n 隨著 K_I 係數而

變大，而系統阻尼係數與 K_p ， K_I 係數有關。圖 3-4 為閉迴路系統，不同 K_p ， K_I 係數下，系統阻尼等高線圖。從圖 3-4(a)與(b)可知：閉迴路控制系統，使用 Bipolar 與 Unipolar 驅動方式，在相同 K_p ， K_I 係數下，系統阻尼相差並不大。 K_I 係數越大，系統阻尼變小； K_p 係數越大，系統阻尼反而變小。當 $K_p > 50$ ，系統阻尼容易進入過阻尼狀態(over damping)，系統反應時間變慢。

依據圖 3-5 數據，我們取 $K_I = 1e^6$ ， $K_p = 100$ ，系統阻尼約 0.8。從圖 3-5，

Spice 模擬結果可知：電流命令於時間 0.5ms，從 0 增加至 1V，反應電動勢 e_a 於時間 2.5ms，從 0 增加至 2V。bipolar 與 unipolar 驅動輸出電流，其上升時間皆約為 0.9ms，反應電動勢變化，並不對整體閉迴路控制系統產生波動影響。從 unipolar 電流曲線，其穩態時，電流漣波大小明顯比 bipolar 驅動方式小。

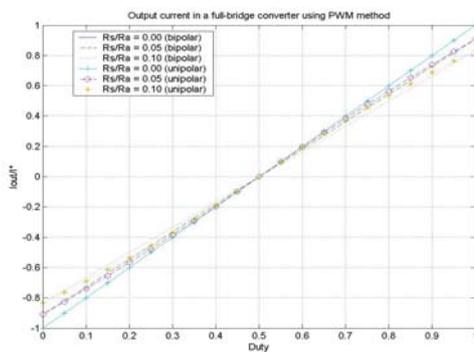


圖 3-1

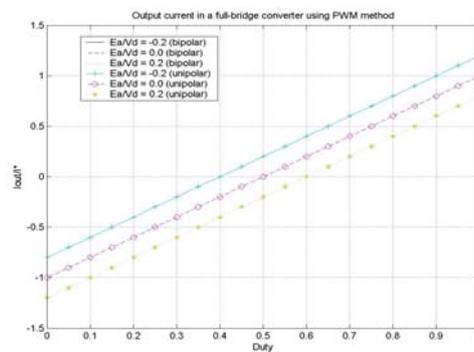


圖 3-2

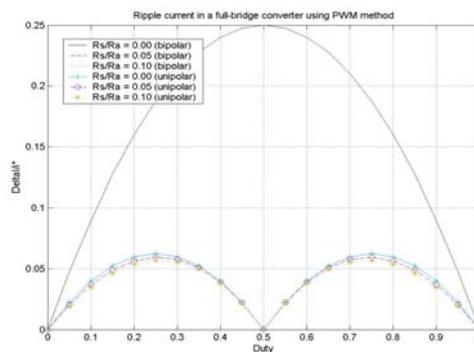


圖 3-3

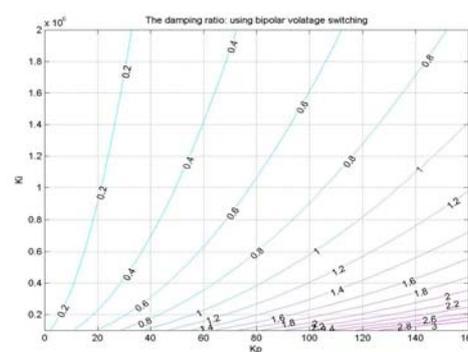


圖 3-4 (a)

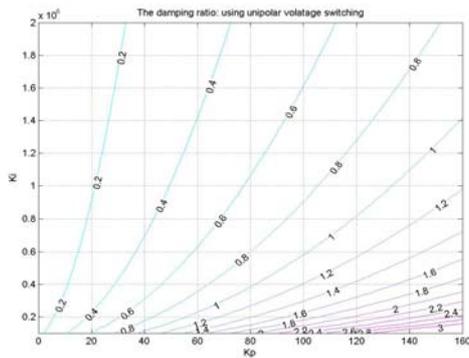


圖 3-4 (b)

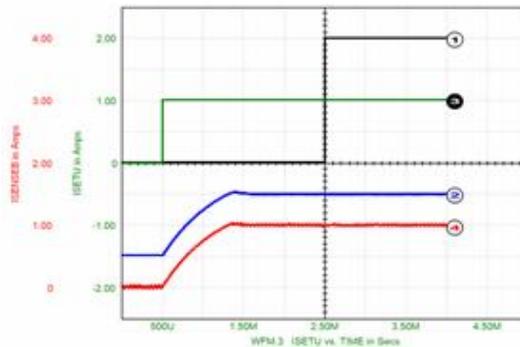


圖 3-5

子計畫四：準即時產生立體視效環境建構之研究

圖 4-1、4-2 是預期中計算的結果，產生立體影像對是本計劃已經發展成熟的技術，本研究群亦同時進行紅綠(藍)立體圖像進行比較，請參閱圖 4-3，可利用紅綠(藍)立體眼鏡觀賞立體影像。顯示本研究群已掌握兩大類數位立體影像的產生技術，目前只缺乏硬體的全面配合，其中包括了計算器與同步播放週邊。

由於這是巨量數位資訊的運算，請參閱圖 4-4，我們已經在計畫第一年中建構一平行化科學運算環境，期能產生高速之巨量數位資訊的運算。目前在 LINUX 的工作環境下進行平行運算，但由於經費限制，個人電腦叢集僅有四台 IBM 單 CPU(2.8GHz)，目前加速效果並不顯著，且 TCP/IP 的頻寬極待提升，這將在第二年的計畫之中逐步改善。電腦強大的計算能力一直是我們賴以工作的有效得力助手，儘管如此，它的運算速度仍是永遠無法滿足需求。”超級電腦”雖然擁有強大的計算能力，但是其價格卻不是一般個人或機關團體所負擔得起(包含維修費用)；所以這次在考慮經濟和可行性的前提下，利用價格較便宜的個人電腦(或筆記型電腦)和容易取得且功能強大的作業系統 Linux，透過網路的連結以及 mpich 軟體來傳輸資料，可以將所欲執行的程式分工給各個處理器分別作運算之後再將結果回覆給使用者。無論如何，”快”是所要求的最大目標；如果能夠在花費最少的狀況下得到相對最大的效益，成果也才會顯著。現今世界上發展了許多的電腦叢集系統並且正持續不斷地被改善而進步，其所追求的目標也是要將處理、計算資料的速度達到最快的程度，這是第一年計畫的發展重點之一。

經過前述巨量數位資訊的運算之產物，請參閱圖 4-5 之示意圖，必須有高效的且同步的播放系統。圖 4-5 底部之流程圖中藍字部份，快速產生雙通道立體影像對以及雙通道立體影像播放系統，是本計劃預期的貢獻，紅字部份，操作回饋、快速重建場景以及快速重建雙通道立體影像對，可配合適當週邊達成，如此便能成功建構了一套『準即時』互動的立體影像產生環境。



圖 4-1 計算產生虛構太空船之數位立體影像對，利用『逗雞眼』觀察上圖可得立體視效。



圖 4-2 利用雙通道影像輸出裝置，即可將高效能電腦系統產生動態高畫素立體影像對，同步投影高品質立體影像。

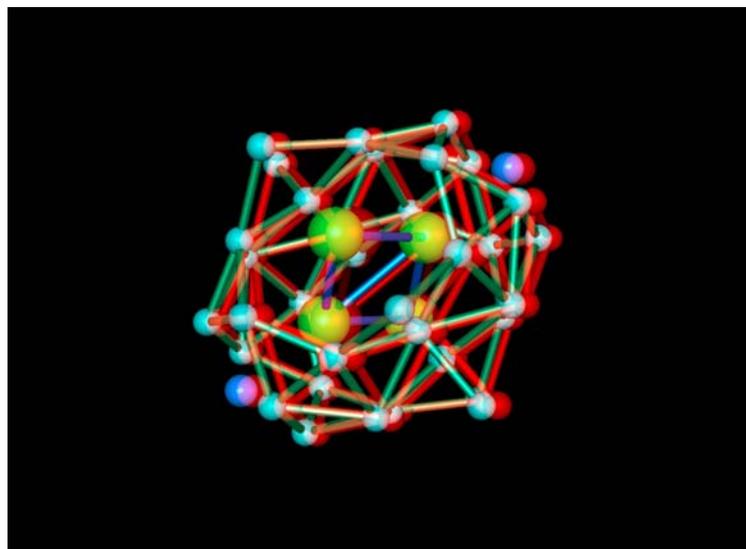


圖 4-3 利用高效能電腦系統產生動態高畫素紅綠(藍)立體影像，可利用紅綠(藍)立體眼鏡觀賞立體影像。

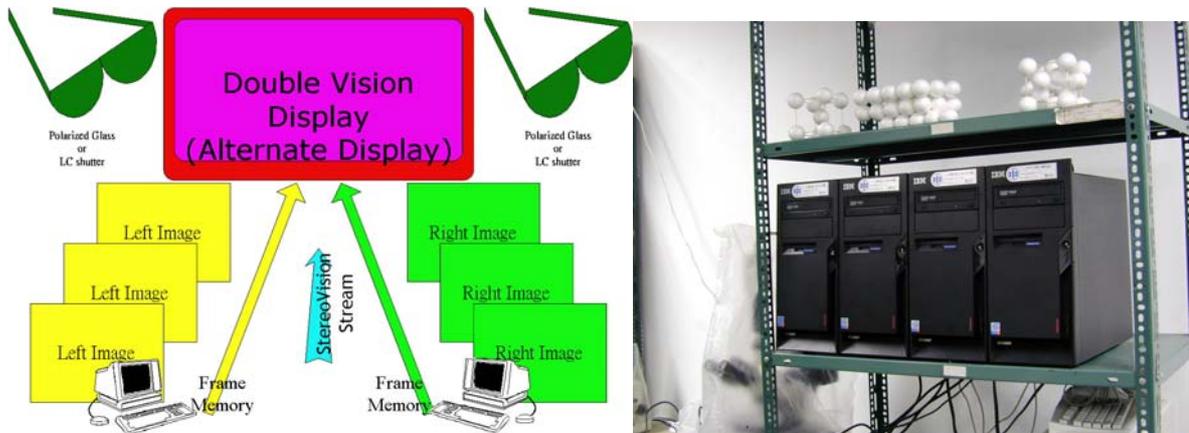


圖 4-4 利用偏光鏡組(或液晶顯示切換器)、平行化科學運算環境、高效播放系統建構數位立體動態視效系統示意圖

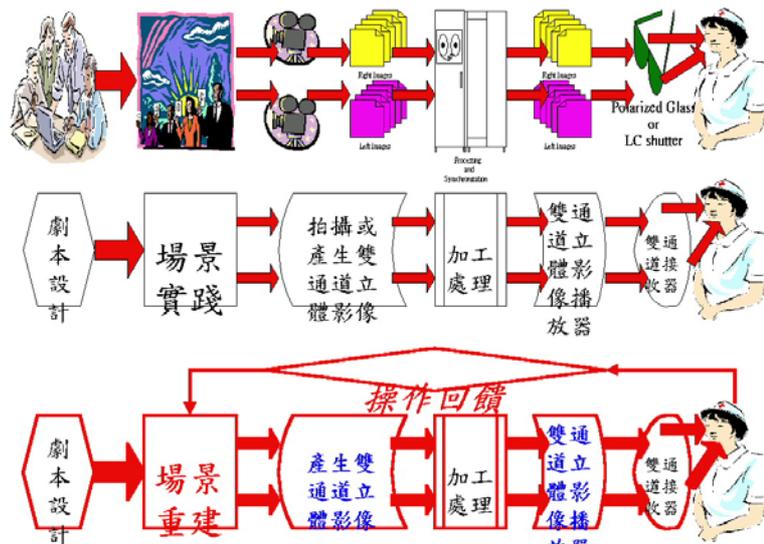


圖 4-5 建構高效數位立體動態視效總體系統示意圖，圖底部之流程圖藍字部份是本計劃的貢獻，紅字部份可配合適當週邊達成。

子計畫五：使用 Xbox 平台實現擬真汽車動態模型

經由汽車動態模型的分析進而實作的成果是令人滿意的，精確的運動狀態分析與最佳的運動狀態演算過程間，也取得最佳的平衡，從附圖中可以看到汽車的運動狀態的實現，並且加入虛擬實境的因子，煙塵和陰影，使使用者獲得最佳的沉浸感，但因受限於目前研究時程，僅只能針對特定汽車運動狀態實做，整個成果顯示結合真實世界的物理狀態於虛擬世界中是可行的，其精細度目前取決於硬體運算能力的強弱。在將汽車動態模型程式化時，因為電腦資源有限，而汽車的動態模型是非常繁複的，汽車是一個複合的複雜系統，由許多子系統所組成，整個系

統是由碰撞子系統、運動子系統、懸吊子系統和煞車子系統等子系統所組成的，為了使模擬的擬真程度越好，必須對所有的狀態都加以考慮，整合所有動態模型的資料，將使得電腦和繪圖顯示晶片的運算量勢必非常大，以致拖累整個系統的整體表現，因此適當的簡化模型的數量與計算量，而又不降低動態模型的擬真程度是很重要的，因此將較不重要的模型參數，利用預先計算給值的方法記錄下來，如：模型邊界的建立，使用預先給值方式，以利碰撞偵測，而不需要作即時的資料運算，以有別於需即時運算的運動模型參數，藉由在即時與非即時運算間取得平衡，使得整個系統有最佳的效能顯示呈現。



