

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

子計畫三：使用 Xbox 平台實現擬真汽車動態模型

計畫類別：整合型計畫

計畫編號：NSC93-2218-E-009-013-

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：成維華

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 7 月 25 日

行政院國家科學委員會專題研究計畫期末報告

沈浸式電腦遊戲環境-子計畫三：使用 Xbox 平台實現擬真汽車動態模型

The Car Dynamic Model Developed by Xbox Platform

計畫編號：93-2218-E-009-013

執行期限：93年8月1日至94年7月31日

主持人：成維華 教授 國立交通大學機械工程研究所

一、中文摘要

本計畫其主要為針對汽車物理系統推導所得之動態模型(dynamics model)取得最佳化之模型結構，藉由微軟圖形介面 DirectX API 開發工具來重現模擬汽車的運動狀態，使汽車動態模型能達到與真實汽車系統相近的特性表現，並將其運用於目前最熱門的創意產業—電玩上為本計畫之主要目的。

汽車動態模型的推導與分析，將依據真實汽車的各部份物理系統來討論，其主要為分析汽車在行進中各部份物理系統的運動狀態，尤其是當汽車在不同摩擦係數和不平整的路面上，所產生的打滑與顛頗現象來做推導與分析，另外汽車的轉向物理系統亦是重點之一，整個分析與推導過程中，並不僅止於求得準確的運動狀態，還將考慮運動狀態計算的最佳化，使得準確性和最佳的運動狀態演算過程能取得平衡。

在視覺的呈現與互動上，本計劃的圖形介面工具，選擇利用微軟的開發工具來實做，利用圖形介面 API，可以以令人容易理解的高階程式語言，快速的與硬體實體層作溝通，而不用自己去管理硬體的運作與狀態，從而減化實做的困難性，使得開發人員無需介意硬體設備，只需專注於軟體方面運作，如：汽車運動狀態和場景呈現方面，從而節省開發時間；因此將汽車模型分析而得的運動狀態，藉由微軟圖形介面工具 DirectX 的實做忠實呈現出來。

關鍵詞：動態模型、DirectX、電玩、Xbox

Abstract

This project major focus on dynamics model of car physical system, the optimal structure is provided through it. We use Microsoft graphics device interface "DirectX" to reconstruct simulating car moving situation. Thus car dynamics model can be similar to real car system. In addition, how to apply car dynamics model to the most popular industry "video games" is the main purpose of this project.

The inferences and analysis of car dynamics model are based on discussion about every part of real cars. For the most parts, we study the moving situation of every part's physical system of cars when moving, especially moving on not smoothly road surface, the slippery and jolty phenomenon are studied. Besides, the physical system of car changing direction is one of focal points in this project, not only to get precise moving situation but also to consider the optimal situation.

About the display and interaction of vision, Microsoft development tool kits are chosen to be graphics device interface in this project. We use high-level language "DirectX," which is easy to understand, to communicate with hardware quickly. It is needless to control the situation of hardware by oneself so research fellows need not care about the hardware equipment. They only focus on software to save more time to develop, for example, car moving situation and view display. The moving situation which is analyzed from car model is shown truly by Microsoft graphics device interface "DirectX."

Keywords: Dynamic model, DirectX, video

game, Xbox

二、緣由與目的

在全球化的衝擊下，世界各國紛紛尋找經濟發展的新方向，數位內容成了最佳的發展標的，數位內容產業受到全球各國的重視，各國皆全力結合產、官、學界的力量建構良好的發展環境和基礎，目前世界各國對數位內容的發展，尤以電玩產業發展最為蓬勃，台灣挾著硬體設備製造優勢，若能結合軟體發展創意產業，形成高附加價值的知識經濟，將是台灣再創經濟高峰的契機。

目前電玩遊戲視覺效果的呈現，主要是以3D立體的視覺效果為主，通過三維技術來實現場景人物的真實性，並加入真實物理觀念來增加真實感，比如在賽車和射擊遊戲的時候，車子的碰撞和子彈擊中物體都是經過計算求值得出來的效果，然後類比物理特性的損傷、形狀等情況將其呈現，以獲得最佳的感官效果。

物理系統的動態模型是經由數學，從具體的物理問題或工程問題中推導產生的，理論上，沒有一個數學運算式能夠準確（絕對準確）地描述一個系統，任何一個系統都是非線性的、時變的和分佈參數的，都存在隨機因素，為了簡化問題，常常對一些系統運動過程影響不大的因素忽略，抓住主要問題進行動態模型的建立和定量分析，也就是說建立系統的動態模型，應該在模型的準確度和複雜度上進行折中的考慮，進而達到設計目的。

從物理觀點來看，汽車視為剛體運動，所謂剛體乃是由無數個質點組成，而且質點與質點間的距離永遠保持不變，亦既在外力作用下其形狀和大小不發生任何變化的物體。車輛的運動是指操作方向盤所造成的車輛運動，其自由度分為車輛的側向、偏轉和側傾，車輛的突然加速、減速或大幅度操作方向盤等過度現象不被考慮，且側傾的效應也加以忽略，在此前提下車輛的行駛速度可視為定速。

汽車整體是一個複雜的物理系統，由各

個具有物理特性的子系統所組成，其中有懸吊系統、轉向系統、碰撞系統、煞車系統和運動系統等子系統，傳統上電玩所呈現動態模型的選擇，是依據電玩上所要突顯的汽車物理特性來選擇所要包含的動態模型，沒有一款遊戲能包含所有的汽車動態特性，因此本子計畫目標，將針對如何有效的簡化資料運算量，而又能擁有最多的汽車物理特性表現作分析與實作，以取得最佳化的結果。

汽車動態模型的實作是建構在微軟DirectX平台上，DirectX是一種圖形介面，任何以DirectX繪出的立體圖形，都是由polygon所組成，通常polygon都可分割為triangles，每個triangle由三個point構成，稱為vertices，藉由vertices間的相連接形成3D影像；vertices的預測經由動態模型來推論，因此有效與快速的求出vertices是有其必要性的；DirectX適用於PC或以其為核心的Xbox上。

DirectX為微軟所推出的3D多媒體程序函式庫，主要用於撰寫Xbox或PC上執行的3D多媒體程式，DirectX為目前最強大的3D多媒體開發工具之一，使用此套開發工具結合物理系統的動態模型，可模擬出極接近真實的虛擬3D擬真物理系統，藉由擬真物理系統的產生和表現，加以評估動態模型的推導分析與真實物理系統間之差異，作為修正動態模型的一個指標，進而從其中取得最佳化的結構和最佳的感官呈現。

三、結果與討論

虛擬實境技術(Virtual Reality)伴隨著硬體設備的改善，於90年代初逐漸被各界所關注，這種技術的特點在於，電腦產生一種人為虛擬的環境，這種虛擬的環境是經由電腦圖形構成的3D數位模型，編碼到電腦中產生逼真的“虛擬環境”，並搭配擬真音效，從而使得使用者在感官上產生一種沈浸於虛擬環境的感覺。

虛擬實境不是一個靜態的世界，而是一個開放、互動的環境。使用者可以使用鍵

盤、滑鼠或遊戲搖桿等互動介面，在場景中隨意“行走”，任意進入其中的建築，甚至可以“乘坐”動態物件，或者觀看預先輸入的物件資訊。要使使用者的感官有沈浸式的參與感，主要是利用視覺與聽覺的刺激，場景由真實資料建立的數位模型組合而成；其次是互動性，使用者可以在此虛構空間中與物件互動，並操作其中物件。

虛擬實境技術的開發工具—圖形介面 API，主要分為兩種；一種是微軟發展的圖形介面工具 DirectX；另一種是 SGI 發展的圖形介面工具 OpenGL，它們是一種三維圖形處理函式庫。此外，DirectX 還支援音效、網路和影像等功能。本子計畫利用虛擬實境技術，建立與分析完整的汽車動態模型，完成汽車的真實運動狀態，使使用者在虛擬實境中與汽車的互動和視覺呈現上，可以產生擬真的效果，整個平台建構於微軟的 DirectX 上，並運行 Xbox 或 PC 上。

考慮車輛以一定速行駛於水平面[9]，不計車輛的側傾運動和車輛的鉛直方向高度，如圖 1 所示，水平面內固定於地上的座標系統為 $x-y$ ；投影於運動面的車輛重心 P 為原點，車輛的前後方向為 x ，與其垂直的方向為 y ，固定於車輛的座標系統為 $x'-y'$ ，剛體繞鉛直軸的角度以逆時針方向為正，車輛以一定的行駛速度，在水平面內運動的 P 點相對於 $x-y$ 座標的位置向量為 R 、速度向量 \dot{R} ，可表示為

$$\dot{R} = ui + vj \quad \cdots (1)$$

i 和 j 分別為 x 、 y 方向的單位向量， u 、 v 為 P 點在 x 、 y 方向的速度分量，微分式(1)，可得 P 點的加速度向量為

$$\ddot{R} = \dot{u}i + \dot{v}j + \ddot{u}i + \ddot{v}j \quad \cdots (2)$$

其中

$$\dot{i} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta i}{\Delta t} = rj \quad \cdots (3)$$

$$\dot{j} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta j}{\Delta t} = -ri \quad \cdots (4)$$

將式(3)與式(4)代入到式(2)，得 P 點的加速度向量 \ddot{R} 可表示為

$$\ddot{R} = (\dot{u} - vr)i + (\dot{v} + ur)j \quad \cdots (5)$$

如圖 1 所示，車輛前進方向與 x 軸的夾角 β 以 $\tan^{-1}(\frac{v}{u})$ 表示，此稱為車輛的側滑角，在通常的情況下，車輛速度分量的關係為 $u \gg v$ ，可視為 $|\beta| \ll 1$ ，此外車輛的行駛速度 $V = \sqrt{v^2 + u^2} = \text{cons}$ ，這時 P 點的運動可用側滑角改寫為(當 β 夠小時)

$$u = V \cos \beta \approx V \quad \cdots (6)$$

$$\dot{u} = -V \sin \beta \dot{\beta} \approx -V \dot{\beta} \quad \cdots (7)$$

$$v = V \sin \beta \approx V \beta \quad \cdots (8)$$

$$\dot{v} = V \cos \beta \dot{\beta} \approx V \dot{\beta} \quad \cdots (9)$$

將式(6)到式(9)代入至式(1)和式(2)，得 $\dot{R} = Vi + V\dot{\beta}j \quad \cdots (10)$

$$\ddot{R} = -V(\dot{\beta} + r)\beta i + V(\dot{\beta} + r)j \quad \cdots (11)$$

由式(10)和式(11)可知向量 \ddot{R} 與向量 \dot{R} 的內積為 0，亦即表示 \ddot{R} 正交於 \dot{R} ，如圖 2 所示，當 β 夠小時，垂直於車輛前進方向的加速度，其方向與車輛的側向方向大體一致，所以可視為該車輛在側向方向有加速度 $V(\dot{\beta} + r)$ 。

此外在水平面內，運動的車輛在側向有速度的分量，因而使得重心發生側滑角，而繞通過重心的鉛直軸亦有角速度，則裝於車輛的車輪也發生側滑角，對應於此側滑角，車輪發生 cornering force，如圖 3 所示，左右前輪對車輛前後方向夾成的角，亦既實轉向角為 δ ，前後輪輪胎左右的側滑角分別為 β_{f1} 、 β_{f2} 、 β_{r1} 和 β_{r2} ；而作用於各輪胎的 cornering force，分別為 Y_{f1} 、 Y_{f2} 、 Y_{r1} 和 Y_{r2} ，這些力垂直作用於各車輪的前進方向，若 $|\beta_{f1}|$ 、 $|\beta_{f2}|$ 、 $|\beta_{r1}|$ 、 $|\beta_{r2}|$ 與 $\delta \ll 1$ ，他們的方向可視為與車輛的側向一致，因而車輛的側向運動可表示為

$$mV(\frac{d\beta}{dt} + r) = Y_{f1} + Y_{f2} + Y_{r1} + Y_{r2} \quad \cdots (12)$$

由圖可知，cornering force 成為繞重心的偏轉力矩，通過車輛重心之鉛直軸的偏轉運動方程式可表示為

$$I \frac{dr}{dt} = l_f(Y_{f1} + Y_{f2}) - l_r(Y_{r1} + Y_{r2}) \quad \cdots (13)$$

I 為車輛的偏轉慣性矩， l_f 、 l_r 為車輛重心與前後車軸間的距離。

Cornering force 的施力點都在前後車軸上，式(12)和式(13)不計車身傾斜，為更詳細觀察作用於輪胎的力 Y_{f1} 、 Y_{f2} 、 Y_{r1} 和

Y_{r2} ，首先先調查各輪胎的側滑角 β_{f1} 、 β_{f2} 、 β_{r1} 和 β_{r2} ，輪胎的側滑角定義為輪胎的前進方向與輪胎所朝方向的夾角。但是當剛體的車輛在 x 方向有 v ，在 y 方向有 $v\beta$ 的速度分量同時作用，且繞重心有角速度 γ ，另一方面前輪的旋轉面即是輪胎所朝的方向相對於車輛的前後方向有 δ 的角位移，此角度為輪胎的實轉向角，因而各輪胎的側滑角可表示如下：

$$\beta_{f1} = \frac{v\beta + l_f r}{v - d_f r / 2} - \delta \approx \beta + \frac{l_f r}{v} - \delta$$

$$\beta_{f2} = \frac{v\beta + l_f r}{v + d_f r / 2} - \delta \approx \beta + \frac{l_f r}{v} - \delta$$

$$\beta_{r1} = \frac{v\beta - l_r r}{v - d_r r / 2} \approx \beta - \frac{l_r r}{v}$$

$$\beta_{r2} = \frac{v\beta - l_r r}{v + d_r r / 2} \approx \beta - \frac{l_r r}{v}$$

d_f 、 d_r 為車輛的前後胎面的距離，可忽略 $|\beta|$ 、 $\frac{l_f r}{v}$ 、 $\frac{l_r r}{v}$ 、 $\frac{d_f r}{2v}$ 和 $\frac{d_r r}{2v}$ 等二次微小項(甚小於 1)，亦既前後輪左右的側滑角分別相等，設此為 β_f 、 β_r ，可得

$$\beta_f = \beta_{f1} = \beta_{f2} = \beta + \frac{l_f r}{v} - \delta \quad \dots (14)$$

$$\beta_r = \beta_{r1} = \beta_{r2} = \beta - \frac{l_r r}{v} \quad \dots (15)$$

因此可視左右輪胎的側滑角相等，且其值甚小，考察以一定速度行駛的車輛在水平面的運動時，如圖 4 所示，不計車輛的胎面距離 d_f 、 d_r ，前後左右的輪分別集中於車輛前後軸與車軸的交點，觀察此時車輛的運動可簡化四輪分析為二輪。

假設左右兩輪胎本身的性能並無差異，則作用於左右兩輪的 cornering force 也無差異，前後分別設為 Y_f 、 Y_r

$$2Y_f = Y_{f1} + Y_{f2}$$

$$2Y_r = Y_{r1} + Y_{r2}$$

此力可視為作用於 y 方向，記述車輛運動的方程式(12)和(13)可改寫為

$$mV(\frac{d\beta}{dt} + r) = 2Y_f + 2Y_r \quad \dots (16)$$

$$I \frac{dr}{dt} = 2l_f Y_f - 2l_r Y_r \quad \dots (17)$$

另外假設前後輪胎的 cornering power 分別為 K_f 、 K_r ，當側滑角小時， Y_f 、 Y_r 正比於側滑角 β_f 、 β_r ，如圖 3 所示，取 x - y 座標角度以逆時針方向為正，當側滑角為正

時，在 y 方向作用於負的方向，可表成下式

$$Y_f = -K_f \beta_f = -K_f (\beta + l_f r / V - \delta) \quad \dots (18)$$

$$Y_r = -K_r \beta_r = -K_r (\beta - l_r r / V) \quad \dots (19)$$

如此作用於車輛的力 Y_f 、 Y_r 不受車輛相對於固定於地面之座標位置姿勢所左右，只取決於車輛本身的運動狀態， β 、 r 及實轉向角 δ ，將式(18)式(19)代入式(16)式(17)，得

$$mV(\frac{d\beta}{dt} + r) = -2K_f (\beta + l_f r / V - \delta) - 2K_r (\beta - l_r r / V) \quad \dots (20)$$

$$I \frac{dr}{dt} = -2l_f K_f (\beta + l_f r / V - \delta) + 2l_r K_r (\beta - l_r r / V) \quad \dots (21)$$

$$mV \frac{d\beta}{dt} + 2(K_f + K_r)\beta + \{mV + \frac{2}{V}(l_f K_f - l_r K_r)\}r = 2K_f \beta \quad \dots (22)$$

$$2(l_f K_f - l_r K_r) + I \frac{dr}{dt} + \frac{2}{V}(l_f^2 K_f + l_r^2 K_r)r = 2l_f K_f \delta \quad \dots (23)$$

此式為記述水平面內運動的基本運動方程式，式(22)與式(23)的左邊表示車輛的運動，對應於右邊任意的前輪實轉向角 δ ，由此式可知車輛的運動不受相對於固定於地面的座標係在任何位置朝向任何方向左右。

把式(22)與式(23)用 Laplace 變換，成為下式

$$\begin{bmatrix} mVs + 2(K_f + K_r) & mV + \frac{2}{V}(l_f K_f - l_r K_r) \\ 2(l_f K_f - l_r K_r) & Is + \frac{2}{V}(l_f^2 K_f + l_r^2 K_r) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \beta(s) \\ r(s) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2K_f \delta(s) \\ 2l_f K_f \delta(s) \end{bmatrix}$$

因而車輛的特性方程式成為

$$\begin{bmatrix} mVs + 2(K_f + K_r) & mV + \frac{2}{V}(l_f K_f - l_r K_r) \\ 2(l_f K_f - l_r K_r) & Is + \frac{2}{V}(l_f^2 K_f + l_r^2 K_r) \end{bmatrix} = 0$$

將之展開而整理成

$$mIV[s^2 + \frac{2m(l_f^2 K_f + l_r^2 K_r) + 2I(K_f + K_r)}{mIV} s + \frac{4K_f K_r l^2}{mIV^2} - \frac{2(l_f K_f - l_r K_r)}{I}] = 0$$

$$\dots (24)$$

l 為軸距

$$l = l_f + l_r$$

cornering force 作用於前後輪，此力支配車輛運動，式(22)與式(23)的係數 $l_f K_f - l_r K_r$ 很影響車輛的運動，若此值為零，亦既

$l_f K_f = l_r K_r$ ，車輛的側向運動與偏轉運動為不完全連成，相對於 δ 決定 r 而與 β 無關，若 $l_f K_f - l_r K_r \neq 0$ ，則其正負將影響側向運動與偏轉運動的連成，事實上 $l_f K_f$ 與 $l_r K_r$ 的大小關係與車輛的基本運動有很大的關聯。若以固定於地上的座標表示車輛的運動其，表現較複雜，不過有時以固定於地面的座標記述車輛的運動較方便，例如觀察車輛以一定速度行駛於直線路段，相對於以該直線路段記述運動較易了解且方便，如圖 5 所示，固定於地上的 $x-y$ 座標系，以直線路的方向為 x 軸與其成直角的方向為 y 軸， x 軸與車輛前後方向的夾角為 θ ， x 軸與車輛前進方向的夾角為 γ ，車輛重心 P 自 x 軸的橫位移為 y ，討論行駛直線路段時的車輛運動時可視為 $\gamma \ll 1$ 、 $|\theta| \ll 1$ ，若此種假定成立，實轉向角 δ 為 $\delta \ll 1$ 的話，作用於前後輪胎的 cornering force Y_f 、 Y_r 的方向大體與 y 方向一致，所以車輛的運動可表成下式，重心的 y 方向運動為

$$m \frac{d^2 y}{dt^2} = 2Y_f + 2Y_r \quad \dots (25)$$

偏轉運動成為

$$I \frac{d^2 \theta}{dt^2} = 2l_f Y_f - 2l_r Y_r \quad \dots (26)$$

但是 $|\theta|$ 小的話，車輛在其重心沿 x 方向以 $V \cos \gamma \approx V$ ，沿 y 方向以 $V \sin \gamma \approx V\gamma = \frac{dy}{dt}$ 的速度分量同時運動，繞重心以 $\frac{d\theta}{dt}$ 的角速度進行旋轉運動，同前面的分析，車輛左右輪可視為兩輪分別集中於前後車軸的中心位置，因而 $|\theta|$ 小的話，前後輪分別因車輛的旋轉運動， y 方向又附加 $l_f \left(\frac{d\theta}{dt}\right)$ 、 $l_r \left(\frac{d\theta}{dt}\right)$ 的分量，如圖 6 所示，前後輪對前進方向 x 軸的夾角 γ_f 、 γ_r 如下所示

$$\gamma_f = \frac{V_\gamma + l_f \left(\frac{d\theta}{dt}\right)}{V} = \frac{1}{V} \frac{dy}{dt} + \frac{l_f}{V} \frac{d\theta}{dt}$$

$$\gamma_r = \frac{V_\gamma - l_r \left(\frac{d\theta}{dt}\right)}{V} = \frac{1}{V} \frac{dy}{dt} - \frac{l_r}{V} \frac{d\theta}{dt}$$

另一方面前後輪所朝方向與 x 軸的夾角 θ_f 、 θ_r 為 $\theta_f = \theta + \delta$ 、 $\theta_r = \theta$ ，前後輪的側滑角 β_f 、 β_r 如下所示

$$\beta_f = \gamma_f - \theta_f = \frac{1}{V} \frac{dy}{dt} + \frac{l_f}{V} \frac{d\theta}{dt} - \theta - \delta \quad \dots (27)$$

$$\beta_r = \gamma_r - \theta_r = \frac{1}{V} \frac{dy}{dt} - \frac{l_r}{V} \frac{d\theta}{dt} - \theta \quad \dots (28)$$

因而作用於前後輪的 cornering force Y_f 、 Y_r ，可表示如下

$$Y_f = -K_f \beta_f = K_f \left(\delta + \theta - \frac{1}{V} \frac{dy}{dt} - \frac{l_f}{V} \frac{d\theta}{dt} \right) \quad \dots (29)$$

$$Y_r = -K_r \beta_r = K_r \left(\theta - \frac{1}{V} \frac{dy}{dt} + \frac{l_r}{V} \frac{d\theta}{dt} \right) \quad \dots (30)$$

將之代入式(15)與式(16)右邊，得

$$m \frac{d^2 y}{dt^2} = 2K_f \left(\delta + \theta - \frac{1}{V} \frac{dy}{dt} - \frac{l_f}{V} \frac{d\theta}{dt} \right) + 2K_r \left(\theta - \frac{1}{V} \frac{dy}{dt} + \frac{l_r}{V} \frac{d\theta}{dt} \right)$$

$$I \frac{d^2 \theta}{dt^2} = 2K_f \left(\delta + \theta - \frac{1}{V} \frac{dy}{dt} - \frac{l_f}{V} \frac{d\theta}{dt} \right) l_f - 2K_r \left(\theta - \frac{1}{V} \frac{dy}{dt} + \frac{l_r}{V} \frac{d\theta}{dt} \right) l_r$$

整理成

$$m \frac{d^2 y}{dt^2} = 2(K_f + K_r) \frac{dy}{dt} + \frac{2(l_f K_f - l_r K_r)}{V} \frac{d\theta}{dt} - 2(K_f + K_r) \theta$$

$$= 2K_f \delta$$

...

$$\frac{2(l_f K_f - l_r K_r)}{V} \frac{dy}{dt} + I \frac{d^2 \theta}{dt^2} + \frac{2(l_f^2 K_f + l_r^2 K_r)}{V} \frac{d\theta}{dt} \quad \dots$$

$$- 2(l_f K_f - l_r K_r) \theta = 2l_f K_f \delta$$

(32)

這是車輛相對於固定於地上座標的運動方程式。

車輛在大致為直線的道路以一定的速度行駛時，在側向速度及偏轉角小的範圍內，用固定於地上的直角座標可較簡單記述車輛的側向及偏轉運動，式(31)與式(32)左邊表示車輛的運動，對應於右邊的實轉向角 δ ，車輛運動發生相對於 x 軸的側位移 y 或偏轉角 θ ，由式(31)與式(32) $l_f K_f - l_r K_r$ 左右 y 與 θ 的連成形式，對車輛運動有很大的影響。求式(31)與式(32)的特性方程式，取其 Laplace 轉換得

$$\begin{bmatrix} ms^2 + 2(K_f + K_r)s/V & 2(l_f K_f - l_r K_r)s/V - 2(K_f + K_r) \\ 2(l_f K_f - l_r K_r)s/V & Is^2 + \frac{2}{V}(l_f^2 K_f + l_r^2 K_r)s - 2(l_f K_f - l_r K_r) \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} y(s) \\ \theta(s) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2K_f \delta(s) \\ 2l_f K_f \delta(s) \end{bmatrix}$$

特性方程式為

$$\begin{vmatrix} ms^2 + 2(K_f + K_r)s/V & 2(l_f K_f - l_r K_r)s/V - 2(K_f + K_r) \\ 2(l_f K_f - l_r K_r)s/V & Is^2 + \frac{2}{V}(l_f^2 K_f + l_r^2 K_r)s - 2(l_f K_f - l_r K_r) \end{vmatrix}$$

= 0

將之展開整理成

$$mI s^2 \left[s^2 + \frac{2m(l_f^2 K_f + l_r^2 K_r) + 2I(K_f + K_r)}{mIV} s + \frac{4K_f K_r l}{mIV^2} - \frac{2(l_f K_f - l_r K_r)}{I} \right] = 0 \quad \dots (33)$$

此特性方程式若省略左邊的 s^2 ，會與用固定於車輛的座標系記述運動所得的特性方程式(24)一致，特性方程式單獨有 s^2 表示車輛在直線道路上任何處都可操作方向盤而自由駕駛；另一方面此 s^2 表示車輛行駛道路時若不適當操作方向，因故而側向偏離行駛路線的程度 $|y|$ 漸增大時，車輛可能飛出道路。

本子計畫著重於汽車動態模型的分析與實作，務求使使用者獲得最佳的感官，整個場景的建構是利用 3ds max 軟體產生 prototype，之後將其轉換成 DirectX 支援的 X file 後，經由 DirectX API 載入座標數據運算，在呈現之前須經由座標轉換才能為繪圖晶片所用，以便產生立體空間的各個面，也就是說當旋轉、移動或擴充時(稱為 Transformation)，需要做座標轉換，從世界座標轉換到檢視座標，要將某個物件從它的模型空間變成一組可檢視座標，需要經過多重座標轉換。首先要進行世界變形，這是用來將本地座標轉換成世界座標的變形，其次是檢視的變形，這會將所有的物件都朝向 3D 世界內某個檢視位置，因此將世界座標轉換成檢視座標。最後是投射變形，將 3D 的座標從檢視座標轉換成轉換後的 vertices 用以產生圖形。

3D 遊戲核心是 vertices，所有擬真的 3D 世界物件都是由 vertices 組成的，動態模型所計算出來的 vertices，經由 DirectX 定義物件，頂點運算引擎就可以定位、繪製、模擬、上色、打光每一個需要著色的物件和表面，再將物件資料傳送給繪圖晶片(Graphics Processing Unit)運算，立體影像才得以呈現。

要讓頂點能用來產生一個圖形的話，這個頂點必須從它的本地座標轉換成世界座標，之後再由世界座標轉換成檢視座標，當使用世界轉換矩陣，將本地座標轉換成世界座標的意義，在於為物件在 3D 的空間作定位

● 世界矩陣的轉換

$$R = S * X * Y * Z * T$$

● 檢視矩陣的轉換

$$R = T * X * Y * Z$$

其中 R 是結果矩陣；S 是比例換算矩陣；X 是 X 軸旋轉矩陣；Y 是 Y 軸旋轉矩陣；T 是平移矩陣，經由上述動作後到達最後繪圖座標路徑，呈現於使用者面前。

汽車在整個場景中與使用者的互動呈現，將遵循分析與計算而得的汽車動態模型，在不同摩差係數路面，汽車產生的打滑效果(圖 7、8、9、10、11、12、13、14 和 15)；在跳台上汽車的運動狀態(圖 16、17、18、19、20 和 21)；碰撞時汽車運動狀態(圖 22、23 和 24)；凹凸路面汽車運動狀態(圖 25、26、27 和 28)。在場景呈現的效果和觀感與預期的結果相符合，汽車各部位的運動狀態，完整的於螢幕上呈現。

四、計畫成果自評

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。

五、參考文獻

- [1]Dwiggins, B.H., “Automotive Steering Systems”, Delmar Publisher, Albany, NY, 1968.
- [2]Taborek, J.J., “Mechanics of Vehicles”, Towmotor Corporation, Cleveland, OH, 1957.
- [3]Gillespie, T.D., “Fundamentals of Vehicle Dynamics”, Society of Automotive Engineers, 1992.
- [4]Wong, J.Y., “Theory of Ground Vehicles”, Wiley-Interscience, New York, 1993.
- [5]Bourg, David M, “Physics for game developers”, O'Reilly, 2002.
- [6]Eberly, David H., “Game physics”, Morgan Kaufmann, 2002.
- [7]Partridge, Allen R. “Real-time interactive 3D games : creating 3D games in Macromedia Director 8.5 Shockwave Studio”, Sams, 2002.
- [8]Bargen, Bradley, Donnelly, Peter., “Inside DirectX”, Microsoft Press, 1998.
- [9]賴耿陽, “車輛驅動及控制”, 一版, 台南市, 復漢, 民 87
- [10]LaMothe, Andre, “Tricks of the 3D game programming gurus :advanced 3D graphics and rasterization”, Sams, 2003
- [11]Wolfgang F. Engel, Andre LaMothe, “Beginning Direct3D game programming”, Premier Press, 2003
- [12]Mason McCuskey, “Special Effects Game Programming with DirectX”, Premier Press, 2001

六、附圖

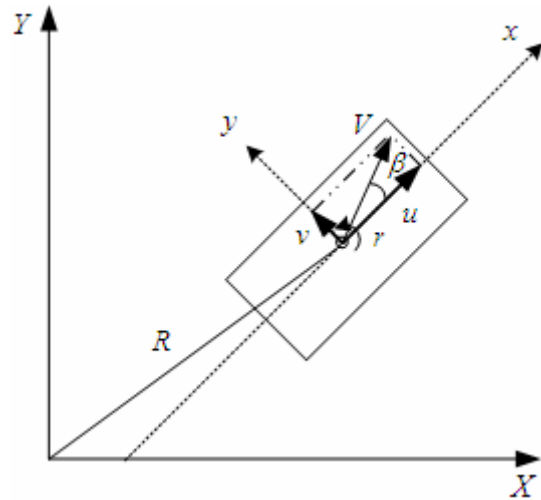


圖 1 固定於車輛的座標

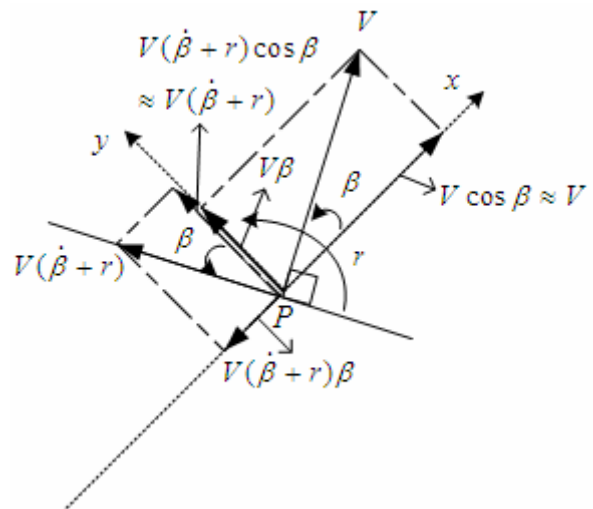


圖 2 β 夠小時的 P 點的數值與加速度

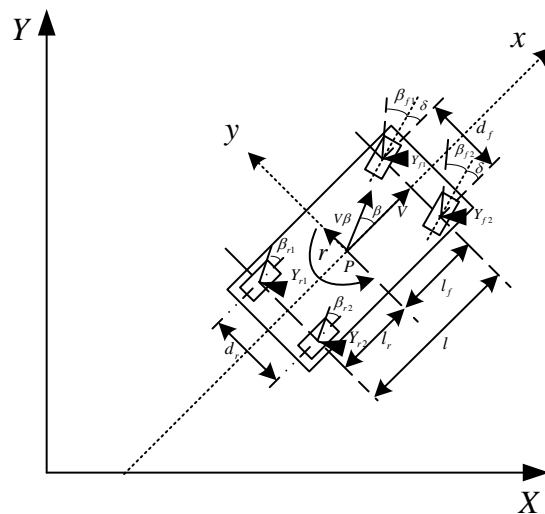


圖 3 車輛的運動

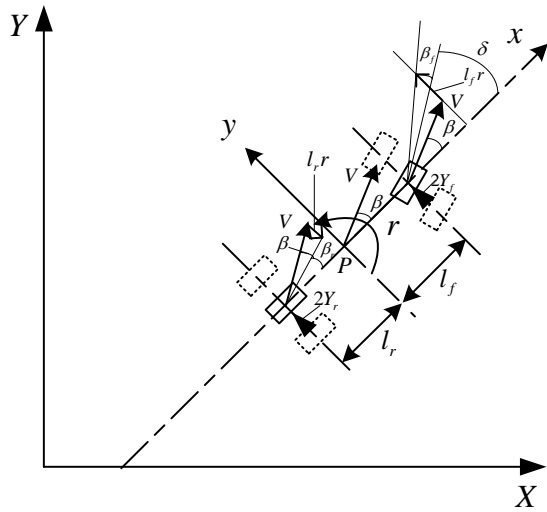


圖 4 簡化四輪模型為二輪模型

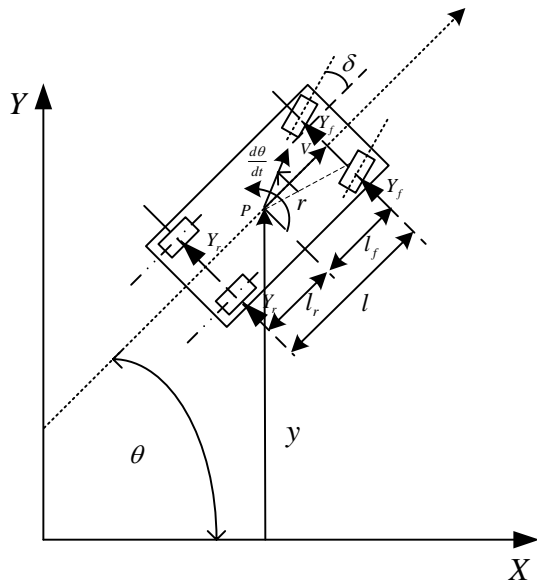


圖 5 固定於地面的座標

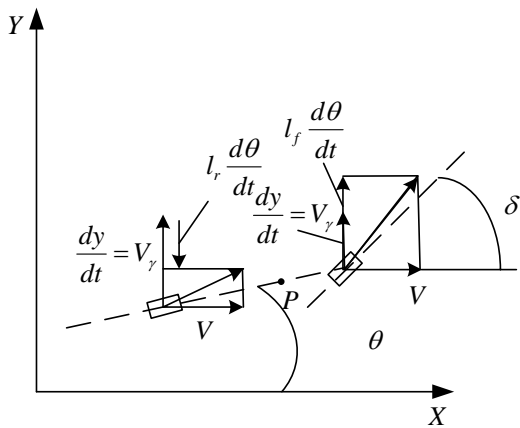


圖 6 旋轉運動



圖 7、模擬汽車在不同路面打滑情況一



圖 8、模擬汽車在不同路面打滑情況二



圖 9、模擬汽車在不同路面打滑情況三



圖 10、模擬汽車在不同路面打滑情況四

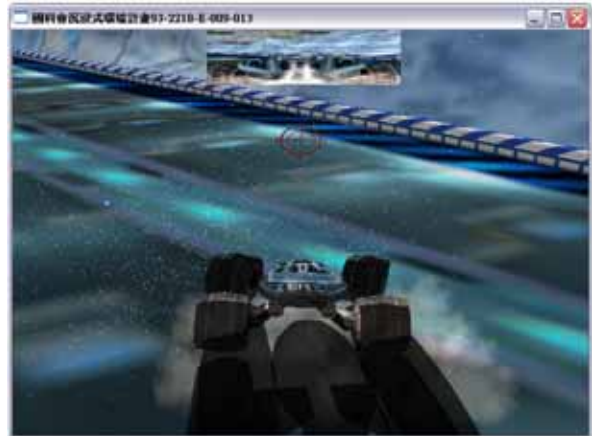


圖 13、模擬汽車在不同路面打滑情況七



圖 11、模擬汽車在不同路面打滑情況五



圖 14、模擬汽車在不同路面打滑情況八



圖 12、模擬汽車在不同路面打滑情況六



圖 15、模擬汽車在不同路面打滑情況九



圖 16、模擬汽車在不同路面跳躍情況一



圖 19、模擬汽車在不同路面跳躍情況四



圖 17、模擬汽車在不同路面跳躍情況二



圖 20、模擬汽車在不同路面跳躍情況五



圖 18、模擬汽車在不同路面跳躍情況三



圖 21、模擬汽車在不同路面跳躍情況六

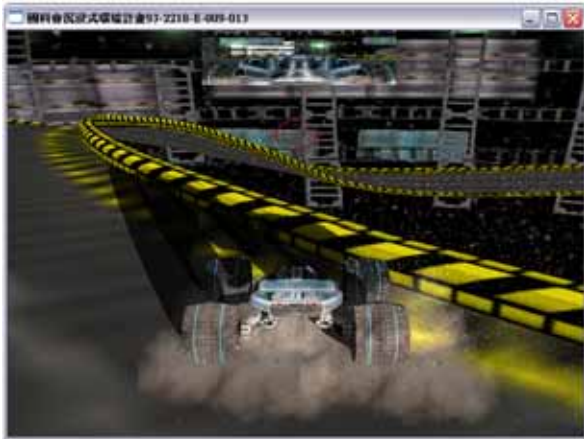


圖 22、模擬汽車在不同路面碰撞情況一



圖 25、模擬汽車在不同凹凸路面行走情況一

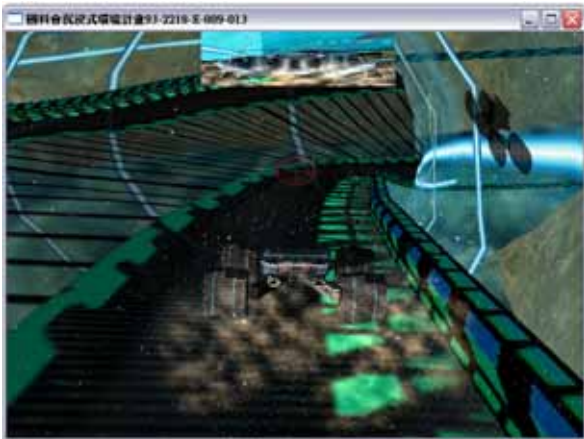


圖 23、模擬汽車在不同路面碰撞情況二



圖 26、模擬汽車在不同凹凸路面行走情況二



圖 24、模擬汽車在不同路面碰撞情況三

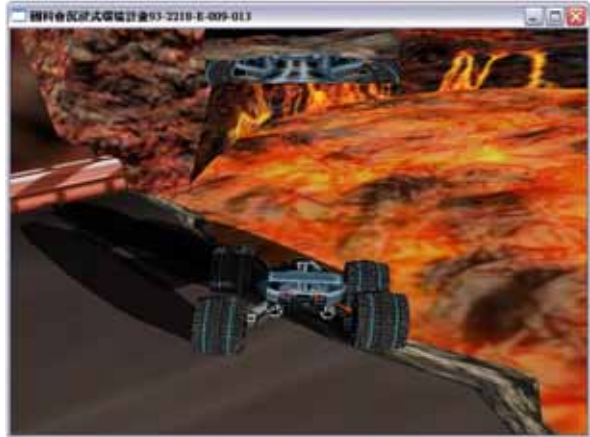


圖 27、模擬汽車在不同凹凸路面行走情況三



圖 28、模擬汽車在不同凹凸路面行走情況
四