

TR--88--032 /

以視覺方式描繪三維參數主構架動畫

參 考 書
不 外 借

中研院資訊所圖書室



3 0330 03 000105 6

0105

中 央 研 究 院
資 訊 學 科 研 究 所

78.8.30

圖 書 室

TR-88-032

私立淡江大學資訊工程研究所碩士論文

指導教授：鄭國揚教授

以視覺方式描繪三維參數主構架動畫

究研究生：許丕中撰

中華民國七十八年六月

資訊工程研究所許丕中君所提之論文
以視覺方式描繪三維參數主構架動畫 (題目)，
經本委員會審議，認為符合碩士資格標準。

論文口試委員會 主任委員 楊廷年 (簽章)

委員 鄭國揚
吳雲明

中華民國 年 月 日

誌 謝

感謝指導教授鄭國揚博士在論文撰寫期間，一一指出所犯的錯誤，使得論文能順利完成。口試時，吳憲明教授和楊熙年教授提供的寶貴意見，使我受益匪淺。

同學王興華、史國賢、林俊仁、陳茂盛、舒念先等，在課業上相互砥礪，增廣見聞。研究所就讀期間，家人的鼓勵與支持，使我專心於學業，無後顧之憂。

在論文撰寫期間，中央研究院資訊科學研究所提供的優良的研究環境，使得論文順利進行。

最後，謹將本論文獻給我敬愛的父母。

論文名稱：以視覺方式描繪三維參數主構架動畫

頁數：109

校(院)所組別：淡江大學資訊工程研究所

畢業時間及提要別：七十七學年度第二學期碩士學位論文提要。

研究生：許丕中

指導教授：鄭國揚 博士

論文提要內容：

三維模型動畫可用描影、光線追蹤、紋彩等技巧得到逼真的影像，但以繪圖語言產生三維動畫影片很費時。例如，生產長13分鐘的影片 Dream Flight 要花14個月的時間。因此要有動畫者導向系統做為使用者的工具。

動畫者導向系統如由鍵盤以字串語言為唯一的輸入方式，則使用者常要透過聯想將三維的影像資訊轉換為一維的字串資料，有難用、費時、易失真等缺點。要提高生產量需提供二維甚至三維的視覺工具，讓動畫者用滑鼠、旋鈕等設備，以超過一維的方式描繪動畫。

建立完整且高產量的三維動畫系統是我們未來的目標，但在現有三維動畫的研究中，仍有許多視覺工具尚未開發或發展不盡理想，因此現階段的目標是在發現或改進三維動畫視覺工具。

三維模型動畫包含三個主要領域：(1)物體模型的塑造，(2)動作的描述與同步，(3)真實影像的表現。在上述(2)中，參數主構架法是一種很普遍的技巧。在一參數模型中，產生連續動畫需要每一時刻的運動參數，這種技巧係由動畫者經由描述一組適當的參數值來定義某些關鍵時刻的畫面，這些參數經內差後得到其餘時間的參數變化，最後才由這些內差參數建構各個影像，依序顯示這些影像就可產生圓滑的動畫。參數可控制模型物的位置、方向、大小及形狀等。

本論文的主題是設計並製作一套視覺工具以描繪三維模型動畫的參數主構架。包含三個子系統：

- 一、三維參數主構架的編輯：以即時交談方式經由功能鍵與旋鈕設定各物體的位移、方向、顏色、擴散、反射，及描影環境之光源、觀視者等的各項參數。得到的參數主構架可隨時做影像表現或將參數值儲存。並可做為接受動畫參數序列資料的描影系統。
- 二、三維參數路徑的描繪：參數包括軌跡（平移）、方向（旋轉）、大小（放大率）、動點（運動速度）等，並可描繪多條路徑間的同步。這些參數路徑可分別用以表示物體、光源及攝影機（視點與參考點）的轉換參數。
- 三、關節相連形體的動畫：以三維骨幹線法輸入參數主構架中關節相連形體各關節旋轉角度及整體的轉換參數。動作速度的控制則由定義為畫面數對時間函數內差的運動B軟楔來調整。

三個子系統產生的動畫可先以線構架方式在向量顯示器上試看，在交談式的調整直到滿意後，才在掃描顯示器上對每組參數對映的三維模型做真實影像的表現（上色、塗影）。

本系統架構於VAX-750及E&S PS 300繪圖工作站上，應用到PS 300軟體上的向量處理與真實影像表現等功能。

Title of Thesis : A Visual Approach to 3-D Parameter Keyframing for Animation Total Pages : 109

Name of Institute : Graduate Institute of Information Engineering
, Tamkang University

Graduate Date : 06/89 Degree Conferenced : Master

Name of Student : Pi-Jong Sheu, Advisor : Kuo-Young Cheng
許丕中

Abstract :

Although shading, ray tracing and texturing in 3-D modeled animation produce images with impressive reality. But the production of 3-D computer-animated films using a graphical programming language is time-consuming. For example, it took 14 months to produce the 13-minute film Dream Flight. Therefore, developing a software tool in animator-oriented system is important to increase production efficiency and reduce the overall cost.

The animator-oriented system may be implemented with 1-D string language, but then, it is difficult and time-consuming for the user to try to describe the information of 3-D image by 1-D string flow. In general, it is necessary to provide a beyond 1-D describing method for the user to depicting the animation.

Our goal is to build a completed and highly productive 3-D animation system. However, to reach this goal at this time is still too early, because high dimensional visual tools in this respect are still under-developed or incompleated. Hence, at the moment our purpose is simply to device high dimensional visual tools, hoping that an improved methodology can be reached.

3-D modeled animation involves three main activities : (1) Object modeling, (2) Motion specification and synchronization, (3) Image rendering. Above all, parameter keyframing is one of the most popular techniques in motion specification and synchronization. In a parametrized model, the animator creates keyframes by specifying the appropriate set of parameter values, parameters are then interpolated for the generation of each image corresponding to the interpolated parameter. Parameters may control the position, orientation, size and shap of modeled object.

The subject of this thesis is to design and implement visual tools to depict parametric keyframe of 3-D modeled animation. It consists of two subsystem :

1. Depict 3-D Parametric Path : Parameter includes trajectory (traslation), direction (rotation), size (scale), and moving point (timing). Also, the sychronization of paths can be depicted. These parametric paths can represent the transformation of object, light, camera(eye-point, interesting-point).
2. Articulated Figure Animation : In parameter keyframing, the input of rotation angle at each joint of the articulated figure and the transformation parameter of whole body can be obtained by the 3-D skeleton technique. Kinetic control is adjusted by a kinetic B-spline defined as the interpolant which assigns the keyframe number as a function of time.

The animation generated by both subsystem can preview in wireframe mode on a vector display. After adjusting to a satisfactory level, the 3-D model with respect to each set of parameters are then rendering on a raster device.

Our system is based on VAX-750 and E&S PS300 graphic work station, as well as vector processing and solid rendering installed in PS300 firmware.

目 錄

	頁 次
第一章 緒論	1
1.1 前言	1
1.2 研究動機與目的	1
1.3 研究方法與內容	3
第二章 電腦動畫概述	5
2.1 電腦動畫的分類	5
2.2 關結相連形體的動畫	11
2.3 電腦動畫系統與技巧探討	18
第三章 PS 300繪圖工作站簡介	33
3.1 PS 300系統概觀	33
3.2 真實影像的表現	35
第四章 理論基礎	39
4.1 系統規畫	39
4.2 三維參數路徑視覺描述	41
4.3 參數主構架的編輯	46
4.4 關節相連形體與三維骨幹線法	47

第五章 系統製作	57
5.1 系統架構	57
5.2 系統流程	67
5.3 軟硬體需求	70
第六章 結果與評估	72
6.1 結果	72
6.2 評估	73
第七章 總結	104
7.1 結論	104
7.2 未來展望	105
參考文獻	106

第一章 緒論

1.1 前言

就動畫悠久的歷史來看，電腦動畫只不過像是新生兒，但是它卻提供了過去的動畫表達方式所無法提供的多種可能性。動畫的應用很廣，如電視、電影、工業、教育、軍事、研究及訓練等。

透過動畫很容易直觀地掌握以文字說明或靜止畫面無法表達的圖像內物體的意義、性質、現象、以及變化的情形。這表示人類所具備的圖形辨識能力在視覺上比聽覺上強，而且物體的動作變化除了空間變化以外若再加上時間變化，會更容易讓人了解。

1.2 研究動機及目的

由於我們的硬體設備有E&S的PS340及PS390兩部繪圖工作站。為有效應用資源，我們選擇研究電腦動畫。

電腦動畫分二維的電腦輔助動畫與三維的模型動畫(Modeled Animation)。我們研究影像較真實的模型動畫。首先，我們遭遇的問題是要發展一個動畫程式語言或是一個動畫者導向的系統(Animator-oriented system)。程式語言雖較有彈性開發電腦的資源，但對於不熟悉程式設計的動畫者(Animator)卻不易使用。且用繪圖程式語言生產三維電腦動畫影片很費時。例如，即使用基於高階繪圖類型的Mira-3D 語言及結構化程式設計技巧，生產

長13分鐘的影片 Dream Flight也要花14個月的時間。[1]

有研究製作動畫者導向系統提供使用者以類似劇本的語言描述動畫[1]。但動畫者如僅能以字串語言方式輸入，就常要透過聯想將三維影像資訊轉換為一維字串資料，是一種多餘的負擔。因此最好同時提供視覺語言。

我們計劃在未來建立一個完整且高產量的三維模型動畫系統，這是一個長期而龐大的工作，不是少數人力在短期內能完成。在這個起步階段，本人與其他五位同學開始了這方面的研究。

在現階段，我們研究的目的有三：

1. 身為一個尖兵，我覺得首先要大量蒐集有關的研究資料。唯有先了解別人做過那些研究與未來的研究方向，我們才可能規畫出完整而不落伍的系統。國內關於電腦繪圖的書不少，但講動畫的卻不多，且介紹得不夠完整，尤其缺乏最近的研究。我們希望能補充書本的不足，對個人研究的範圍做一較完整的介紹。如此有助於接替我們研究的人較快而輕鬆的進入情況。
2. 工欲善其事，必先利其器。我們的PS340及PS390繪圖工作站可不依賴主電腦而快速處理向量轉換運轉及影像表現(Rendering)的功能。但大家對這套系統並不熟悉，也缺乏一對實際應用有經驗的人指導。又遭遇到工作站的資料無法傳回VAX750主機的關鍵問題，台灣的代理商卻無法幫我們解決。這些因素使得大家對機器相關的研究裹足不前。但一個高產量系統的使用者介面非常重要。這個問題若不解決，以我們其他的設備僅能提供

鍵盤做輸入工具，對工作站的應用也將很有限，對未來發展更一大障礙。因此，雖然可能徒勞無功，我覺得還是值得冒這個險去研究。

3. 現有的三維動畫研究中或許仍有尚未開發或還可改進的視覺工具。研究並製作三維動畫視覺動畫系統是本研究主要目的。在研究上，我們希望吸取別人的優點並加入自己的見解。在實作上，我們希望兼顧易用、實用、耐用(不易被淘汰)與模組化(容易修改)。
4. 電腦繪圖與電腦動畫的主要差別可以照相機與攝影機比喻，照相機捕捉一瞬間的畫面，攝影機記錄一段時間內的影像變化。前者得到照片，後者產生影片。我們研究的既是動畫，為與繪圖領域區別，我們訂下一個短期目標：拍攝出強調動作描述與同步(而非模型塑造或影像表現)的影片。

1.3 研究範圍與內容

物體可分為質點(Particles)、剛體(Rigid Bodies)、柔軟體(Flexible Bodies)、關節相連體(Articulated Bodies)及變形體(Metamorphosing)等幾種。在模型動畫中，對這些物體須考慮物體模型塑造、動作描述與同步及真實影像的表現(Rendering)三個問題。

在物體上，我們只研究剛體與關節相連體。重點在動作的描述與同步，因一般而言，這部份動畫者使用最頻繁，最需好的介

面。但對於模型塑造與影像的表現我們也有考慮。

動作描述可分導引(Guiding)、程式階層(Program Level)與任務階層(Task Level)三個層次。我們研究導引層次。

導引中常使用的主構架法(Keyframe)又可分形狀內差法(shape Intepolation)與參數主構架法(Parameter Keyframe),前者較不適用於三維動畫故不考慮。有兩種方式可用於產生主構架的中插畫:運動(Kinematic)與動力(Dynamic)。我們使用不考慮物體質量、力、轉矩等因素的Kinematic。

我們的系統架構於繪圖工作站上,研究方向在人機介面的發展,有關電腦繪圖的的下層問題大部份交給工作站處理。

本論文共分七章,第二章對電腦動畫的類別做一個廣泛性的介紹,並對與本研究有關的一些技巧做較深入的了解。第三章介紹PS 390繪圖工作站的架構與功能。第四章述說本研究的理論基礎。第五章說明系統製作的細節。第六章呈現結果(包括使用者介面與動畫成果)並加以評估。最後,在總結一章做結論並展望未來發展。

第二章 電腦動畫概述

2.1 電腦動畫的分類

電腦動畫可大致分為電腦輔助動畫及模型動畫[1]。

1. 電腦輔助動畫 (Computer-assisted Animation), 也稱特徵動畫 (Character Animation) 或卡通動畫 (Cartoon Animation), 或主構架動畫 (Key-frame Animation), 主要指以電腦輔助傳統卡通的製作, 包括輸入圖畫、產生中間圖像、描述物體沿一路徑動作、著色、產生背景及動作與聲音的同步等。
2. 模型動畫 (Modeled Animation) 建立及處理較一般化的三維模型且於三維空間中動作。這些過程若沒有電腦的輔助是相當複雜的。

兩者的主要區別在前者是二維而後者為三維。一旦沉悶的建模工作完成後, 三維動畫在許多方面會優於二維。最重要的一點是三維系統以描影 (Shading) 系統自動處理環境改變後 (如物體位置改變) 所有隱藏線消除、陰影 (Shadow)、光源、紋彩 (Texturing) 等的計算。這些工作在二維系統中卻要大量的手繪畫面, 以人工表現。

我們的興趣在模型動畫, 對電腦輔助動畫不進一步分類。

模型動畫有三個主要步驟[1]:

1. 物體模型塑造 (Object Modeling): 描述或建構三維物體。有兩

類模型：

—線架構 (Wire-frame) 模型由三維線條構成。

—實體 (Solid) 模型由二及三維的面構成。

對這兩類模型都有三種方法可建構物體：

—數位法

—圖形編修

—程式設計

2. 動作的描述與同步 (Motion Specification and Synchronization): 要使一物體動是在一段時間後改變其動作、形狀、大小、顏色或位置等。當動的物體不只一個時，不但每一景中所有動作者的動作要描述，且動作間需同步。攝影機也可是個動作者。攝影機的移動是以觀視轉換 (Viewing Transformation) 來模擬。稱為虛擬 (Virtual) 攝影機。

3. 影像的表現 (Image Rendering): 經由去除隱藏線及加入描影 (陰影、透明度、紋理、光線追蹤等) 的效果以產生真實的影像。

我們研究的重點在動作的描述與同步，這部份可分為以下兩類 [2]:

1. 主構加動畫 (Key-frame Animation): 根據動畫者提供的一組主構架來自動產生中間畫面，有兩種基本的處理方式：

(1) 基於影像的主構架動畫 (Image-based Keyframe Animation) [3] 或稱形狀內差法 (Shape interpolation) [4]，這是一種老技巧 [5]，中插畫是由內插主構架影像本身而得

。主要應用是在二維的電腦輔助動畫。理論上雖可用於三維，但系統中很難描述一個自然的使用者介面，所以並不實際。使用線性內差的演算法會產生不期望的效果，如動作不圓滑、動作速度不連續、旋轉時會扭曲等。有許多方法提出來解決此問題 [6; 7; 8; 9]

(2) 參數主構架動畫 (Parameter Keyframe Animation) [10; 11] 或稱主轉換動畫 (Key-transformation Animation) [4]，在一參數模型中，產生連續畫需要每一時刻的參數。這種技巧係由動畫者經由描述一組適當的參數值來定義某些關鍵時刻的畫面，這些主參數經內差後得到其餘時間的參數變化，最後才由這些內差得到的參數建構各個影像，依序顯示這些影像就可產生動畫。參數可控制模型物的位置、方向、大小、形狀及顏色等。

2. 演算法動畫 (Algorithmic Animation) [4]：以演算法描述物體動作。可將物理法則應用於變化物體的參數 (如：人的關節角度)。以這種作法，任一法則都可應用於參數。依據法則的選擇方式又可分為兩類：

(1) 運動演算法動畫 (Kinematic Algorithmic Animation) 不考慮物體質量、力、力矩等因素。若給一運動法則，計算參數依該法則變化的過程稱為 Forward Kinematic。反之，若給一組運動制約 (Kinematic Constraints) 當目標，則求出欲達該目標所需的運動法則之過程稱為 Inverse

Kinematic。

(2) 動力演算法動畫(Dynamic Algorithmic Animation):

在真實世界中的動作是因力及力矩作用於質量而發生。動力演算模擬真實世界，例如利用牛頓第一運動定律來計算質量 m 受力 F 後產生加速度 a 。因此可產生非常真實的動作。同上述(1)的討論，也可以計算方向的不同而分為 Forward Dynamic與Inverse Dynamic。

上面討論的四種動作描述方法各有其優缺點，在下表用幾個準則來比較:[2]

	動畫品質	CPU 時間	使用者介入	轉移性	主要困難
形狀 內差	依主構架 數量而定	依點的數目 及內差方法 而定	非常長 缺乏創造性	非常差	通常不真實 除非有許多 主構架或複 雜的內差
參數 內差	依主值數 量而定	依參數數目 及內差法而 定	較短 較有創造性	好一點	找出最好的 參數
運動 演算	依法則定 通常不真實	依法則定 代價不很高	可能困難, 依介面定	非常好	逼真的法則 不易找
動力 演算	非常逼真	代價極高	可能有限	好	建立完整動 力基底模型 的代價很高

表一、動畫方法比較表

說明如下：

1. 動畫品質 (Animation Quality): 指產生出之動作的品質。內差法依主構架或主值 (Key Values) 的數目而定，只要足夠多並選擇正確的內差法即可。運動演算法則依法則的選擇而定，但因沒有關於物體各種物理性質 (如質量) 的資料，故通常不逼真。動力演算法則最接近真實世界的動作。
2. CPU時間：指 CPU 用於產生動作的時間。形狀內差是內差各點位置，點越多時間越長。更依內差法採線性，二次或三次有很大差別。參數內差同理。運動演算法依法則的選擇而定，代價通常不很高。動力演算法因要模擬真實世界各種狀況，因此需大量的計算。
3. 使用者介入 (User Intervention): 使用者需介入的量與能介入的量。需介入的量要少以減輕使用者的負擔，能介入的量要多才能有較大的創作空間。使用者介面是否宜人化 (User Friendly) 更是系統成敗的關鍵。形狀內差法的使用者要花非常長的時間輸入主構架。且因介面很難設計得宜人化，所以使用者不易介入，故也缺乏創造性。參數內差法的主構架是物體的某些參數值而非構成物體的所有點，輸入量大為減少，因此使用者輸入參數主構架的時間短多了，且因介面較易設計故較能產生富創意的動作。運動演算法視提供的介面而定，最直接的做法就是要求使用者寫個副程來表現他期望的動作，這對一般使用者很難。若能提供自然語言的介面就會很好用。動力演算法因是模擬

真實世界，其動作必需符合物理定律的要求，使用者能控制的量就很有限。例如，在卡通中的許多誇張動作就無法表現。

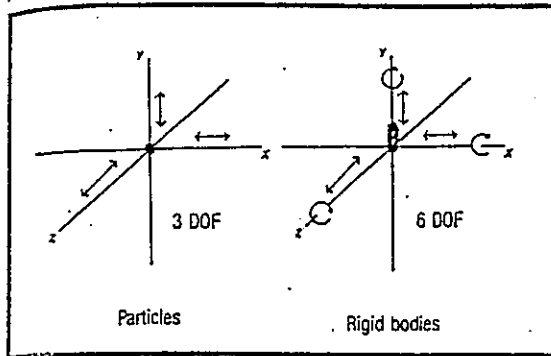
4.可轉移性(Versatility):指對某物體描述的動作是否可輕易轉移到其他物體上且也能適用。形狀內差法的轉移性很差，因不同物體有不同形狀。其他三種方法都不錯，因不同的物體可變化相同的參數(如:位置、顏色)。

5.主要困難來源:形狀內差法在輸入主構架。參數內差法則在找出改變那幾個參數才能得到預期的動作。運動演算法的困難在逼真的法則難找。動力演算法是要建立完整的動力基底(Dynamics-based)模型的代價很高。

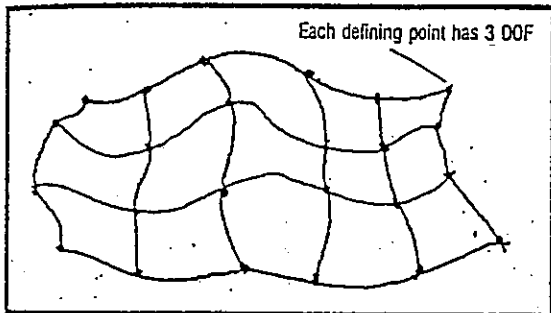
經以上比較，我們發現在二維電腦輔助動畫中被普遍應用的形狀內差法並不適用於三維模型動畫。至於其他三種技巧則各有優劣，沒有一種完全優於另一種。因此我們的結論是：一個三維模型動畫系統的動作描述步驟最好能同時提供參數內差、運動演算及動力演算三種描述動作的方式，讓使用者可依不同應用選擇適用的方法，如此才是個完整的系統。

2.2 關節相連形體的動畫

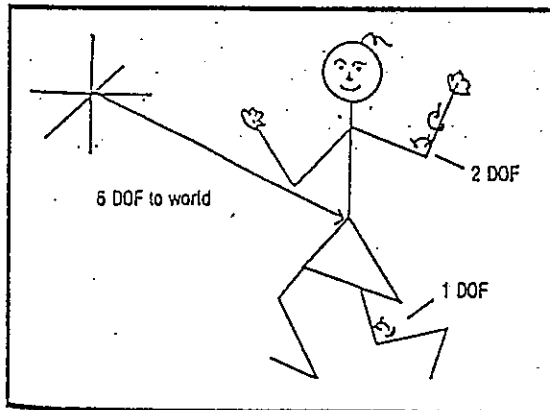
物體可以它們所能做的運動來區別(圖2.1)[12]。通常我們以自由度(Degrees of freedom)來描述運動。自由度是為描述系統的各組成成分位置所需的獨立座標數目。對一個有 n 個自由度的系統，要顯示 t 個動畫畫面共要描述 $n \times t$ 個數。



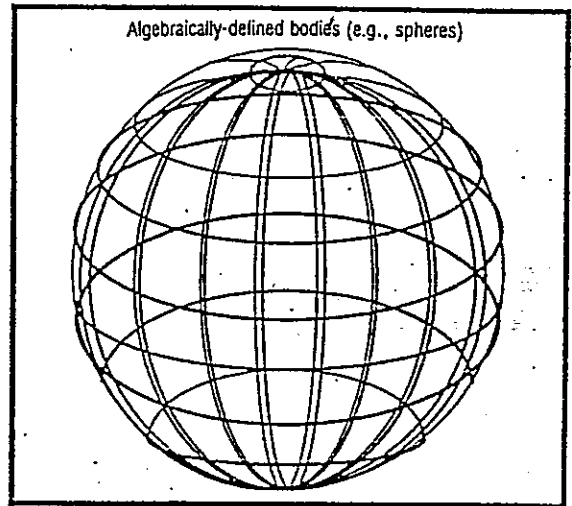
a



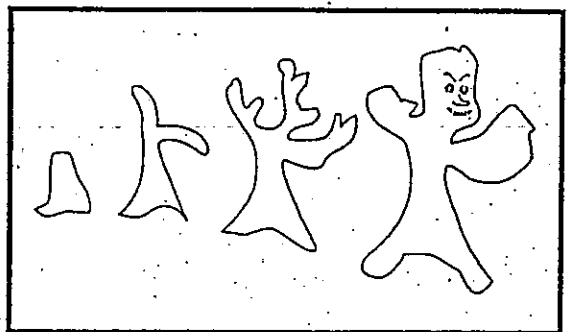
b



c



d



e

Fig. 2-1 Degrees of freedom of motion: (a) particles and rigid bodies, (b) flexible bodies, (c) articulated bodies, (d) miscellaneous bodies, (e) metamorphosing bodies.

1. 質點 (Particles): 一個質點可以三度空間的一點 (x, y, z) 來描述。此點的位置與運動可以三個變數來標示，因此這點有三個自由度的運動。使一點動要對每一動畫畫面提供三個數或三個描述 x, y, z 對時間變化的函數。Reeves et al. 曾提出如何以質點模擬某些自然景觀的方法 [13; 14]。
2. 剛體 (Rigid Bodies): 一個剛體是由一群必須一起運動的點所定義。雖然它們可相對世界空間做整體的運動，但它們彼此間卻不可相對運動。這些點可定義多邊形或任意形狀的表面。剛體的運動以六個自由度來描述： x, y, z 平移 (與點同) 及 x, y, z 旋轉 (方向)。(雖然笛卡爾系統是最熟悉的方法，但也可用其他系統)。大部份的動畫系統集中於剛體模型的處理。
3. 柔軟物體 (Flexible Bodies): 包括無限的點且彼此可做相對運動。實際應用上，柔軟體可定義為一組運動點。這些點可表示多邊形的頂點，但如能表示為曲面的控制點則會較有柔軟度。柔軟體的運動，如一隻變形蟲，若定義為使用 P 個控制點的自由變形表面則對時間有 $3 \times P$ 個自由度的變化。這解釋了為何大部份電腦動畫處理剛體。
4. 關節相連物體 (Articulated Bodies): 關節相連體由一些會稍微限制彼此運動的節組成。例如人體通常表現為有一到三個自由度且在關節處相連接的堅硬段組成。自由度的總數是總和每一接合處的自由度而得。大多數的研究處理堅硬節的關節相連體模型 [15; 16]。關節相連物體也可是柔軟的，在此情況下，

兩個柔軟節段間的結合處可被模型化為兩個座標畫面間的接合點，每一個座標畫面各與一個節段相關連。可能的運動變為兩類，在關節點的運動增為以六個數來描述兩個座標畫面間的關係，在柔軟節段裏的運動則為定義節段的點對區域座標的相對運動。描述一柔軟的關節相連物體所需的自由度總數為在每一節點的自由度加上三倍於定義點數。

5. 其他各種及變形物體 (Miscellaneous and Metamorphosing Bodies): 物體也能以代數方法描述。一個球的模型可由球心(三個數)及球徑來決定。一個搏動的球以改變球徑來產生動畫。這種系統的自由度依定義這些代數物體的方程式性質而定。

如物體的模型對時間改變其自由度數目則問題就變得較複雜了。變形物體的例子有碎形山 [17]、成長中的植物 [18, 19] 及質點系統 [13]。

以下對關節相連剛體 (Articulated Rigid Bodies) 做進一步探討。人體動畫 (Human body animation) 是這個領域中最重要的研究方向。我們以此為例，其他關節相連物體的討論也類似。

人體動畫是電腦動畫最富挑戰性的目標之一 [20]。這是一個非常複雜的工作。人體是一個難塑造的不規則形狀 [1]。此外，描述與計算其動作也不簡單，因其複雜的關節的自由度超過 200 [15]。人體動畫可應用於娛樂、廣告、工業與科學的模擬等。

以下我們就上節所提模型動畫三個步驟的前兩個，模型塑造及動作描述，探討人體動畫的不同技巧。

1. 模型：產生(編輯)人體並以描述其元素的幾何模型儲存。且為定義不同元素間的關係須加以結構化。

(1) 人體符號：有兩種人體符號用於記錄人體動作 Labanotation[20]及 Eschkol-Wachmann notation。

(2) 人體：人體可結構化為三個層次：骨架(Skeleton)、肌肉及皮膚。大部份的系統依此解剖學結構來製作模型。產生類似骨架以關節相連的模型[1; 4]及類似皮膚的紋理曲面(Sculptured Surface)模型[22]，或混合兩者的模型，骨架與皮膚[23]。

其他系統則以一組基本體積(Primitive Volumes)如球、橢圓球或圓柱等來組成。所有這些系統各有其優缺點，討論如下。

—線形模型(Stick Figures)：主要優點在其動作容易描述，只要給每一關節上三個自由度的值。此外，亦適用於運動演算法及運動制約(Kinematic Constraints)或動力演算法的描述與分析[24; 25; 26; 27; 28; 29]。

此種系統主要缺點是視覺上不逼真，因沒有體積而缺乏深度透視的效果。一些扭曲與接觸的動作也無法表現。

—表面模型(Surface Models)：除了人體內部的骨架結構外，也可模型化人體外形的皮膚。這可由平面或曲面的小塊(Patches)來建構[22]。用曲面做較逼真但計算也較多。此法主要的問題在於描述表面模型的動作幾乎不

可能。一般的做法是採混合模型，用骨架模型描述動作，再以表面模型圍繞它以得到逼真的外形 [23; 30]。

—體積模型 (Volume Models): 用一些基本的簡單體積如圓球、橢球、圓柱等逼近人體的形狀。一方面此法解決了線形模型的問題。另一方面由於體積的幾何性質，可找到解決隱藏面等問題解法 [31; 32]。使得視覺的表現可容易又快。

對一些實際應用如偵測碰撞 (Collision Detections) [33] 及舞蹈 [31] 等，此法似乎是最好的模型。如前者一樣，體積模型也可與骨架模型結合以便利動作描述。

—臉：臉的模型與動作要另外處理，請參考 [34; 35]。

2. 動作 (Motion):

首先，可分為曾在上節的運動描述中提到過的運動模型與動力模型。運動模型 (Kinematic Models) 由位置，速度及加速度產生動作，動力模型 (Dynamic Models) 由質量、力及轉矩計算運動資料。

與採用的動作模型無關，系統還可依它們所允許的動作描述法分類。對動畫者有三種不同層次的工具可用 [4]:

—引導 (GUIDING): 上節所提的形狀及參數主構架法都是此階層 [36; 37; 4; 38; 42]。我們很明顯的描述我們有興趣的行為。

記錄動作法 (Motion Recording) [39; 40; 41] 使用特殊裝置由人體身上或影片直接輸入動作。符號基底 (Notation-based)

系統用符號描述動作。這些都屬此類。

—程式階層 (Program Level): 或稱動畫者階層 (Animator-level)。以程式記號用演算法方式描述行為。電腦動畫程式語言通常擴充一般目的語言以包含新的工具來協助動畫者的工作。這些工具有控制結構 [44;45]、資料抽象化 [44,46] 及平行能力 [44; 45]。前者基本上是一特殊迴路 (Loop), 相對於每一畫面重覆一次。資料抽象化使物體的例子 (Instantiation) 提供它們自己的動作。平行能力則使運動能同步。

—任務階層 (Task Level): 以事件及關係隱含地描述行為, 以高階層的命令執行預先定義或可計算的動作 [47;48;21;49; 50]。此法容易使用, 動畫者可很快的得出產品。缺點在精確性, 因使用者無法控制各別的動作元素。此外, 使用者常會需要尚未定義的新動作, 這時須程式師幫其製作欠缺的工具。

人體電腦動畫有三類運動。

—人體於環境中運動。

—關節動作 (腳、手.....)。

—臉部運動 (眼, 嘴等)。

人體於環境中的運動適合以任務階層的系統來做 [43]。臉部運動我們不擬討論。關節動作中, 引導系統特別適合描述細部動作 (如手的動作)。Guiding 的高度交談性較能得到自然的動作。運動與動力方式都可應用於此。另一方面中間畫面可用路徑

描述或三次軟楔來計算。

程式階層系統則用來描述那些 Guiding 不易做好的複雜動作。

最後，考慮到身體好幾部份關係的整體動作。若是較一般性的（如走路、坐等）則可由任務階層來完成。

2.3 電腦動畫系統與技巧探討

本節探討我們有興趣的電腦動畫系統與技巧：

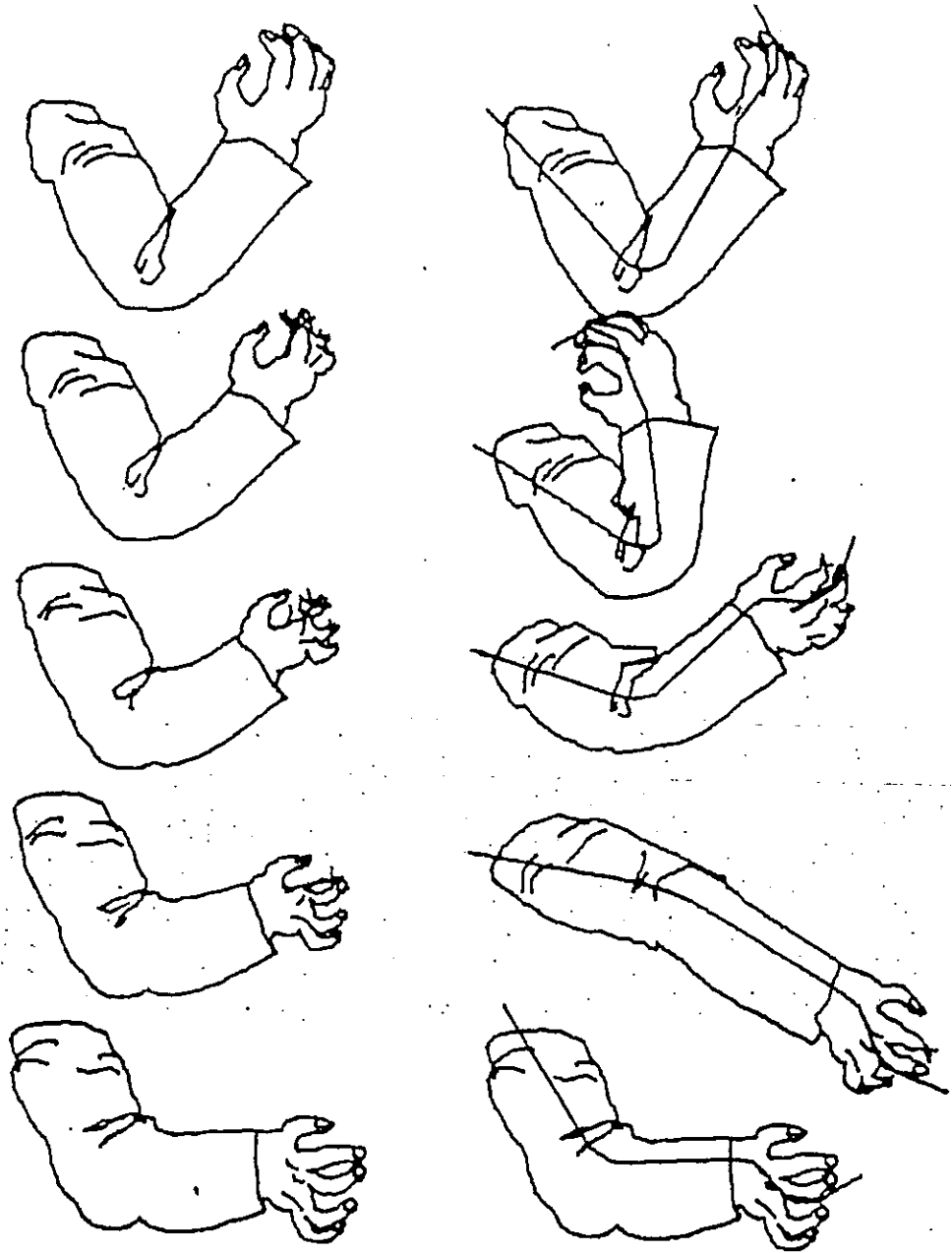
1. 骨幹線技巧 (Skeleton Techniques)

骨幹線技巧 [51] 的觀念是，中插畫 (In-betweening) 是基於圖形的骨幹線而非圖形本身來產生。骨幹線或稱線形圖 (Stick Figure) 是一個只由很少點組成的簡單圖形，用來只描述所要求動作的形式 (form)。這點使動畫者可建立許多只包含骨架的主構架。因主構架間相似多了故電腦可產生比較好的中插畫；電腦可根據單一模型來在骨架中加入細節。此法的精神事實上是來自手工的中插畫者在繪製主構架時並未包含所有細節。請參考圖 2.2

定義骨幹線最好的方法是用四邊形網路。相對每一頂點有相關的相對座標。

2. 運動路徑及 P-curves [1]

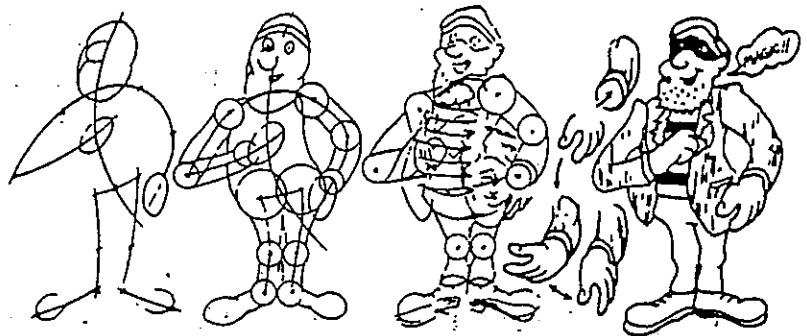
動畫是由連續改變靜止圖形而得。這種改變是由描述參數的瞬間行為而得。例如，一點位置的瞬間行為可輕易由 P-curve 來表示。



Skeleton Technique Animation System by M. Wein and N. Burtnyk, National Research Council of Canada

ANTICS 骨幹線法

圖 2.2



一條 P-curve 同時定義了點的軌跡及它對時間的位置。在 Baecker (1969) 所給的例子裏，一個人由一方形房間的一個角落 A 沿牆走到對角線的另一角落 C。

圖 2.3 表示位置，圖 2.4 表軌跡 $Y=f(x)$ 。這裏並未指示和時間的關係。

我們也可以兩條曲線 $X(t)$ 及 $Y(t)$ 表示 X 與 Y 對時間的改變，如圖 2.5 所示。

我們發現在 t_1 與 t_2 間幾乎沒有移動，但在圖 2.4 中卻無法表示。P-curve 允許動畫者以單一圖形來表達圖 2.4 及圖 2.5 所包含的資訊。在我們的例子裏，P-curve 有軌跡的外形，但以一組符號痕跡取代連續的線來描繪路徑。這些記號間隔相等的時間。這表示速度是由記號的密度來表示，如圖 2.6 所示。

3. 動點制約 (In-betweening Using Moving Point Constraints)

使用線性內差的中插畫常有不好的結果，即使用非線性法則也只是在時間而非空間上非線性。只描述內差速度並不夠，我們也希望能描述非線性路徑。Reeves (1981) [8] 提出以動點制約做中插畫的方法。此法允許描述多條內差路徑及速度。減少主構架的不連續移動。

此法的原則是相對動畫物體上某些點有一在時間與空間上變動的曲線。這種曲線稱為動點 (Moving Point)，類似 P-curve 用以控制軌跡及速度。

圖 2.7 顯示使用三個動點 (M_1, M_2 及 M_3) 的三個主構架 ($K_1,$

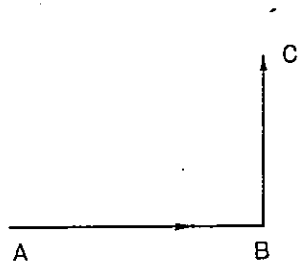


Fig. 2-3 Walking

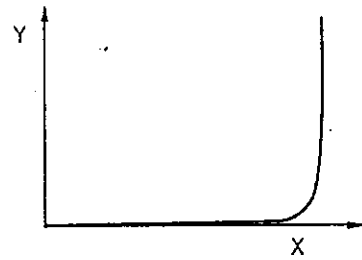


Fig. 2-4 Trajectory

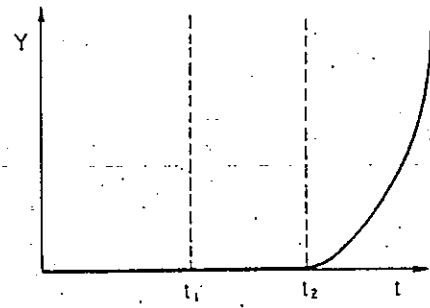
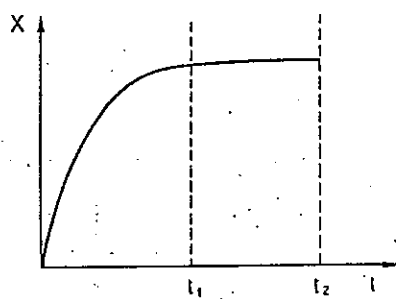


Fig. 2-5 $X(t)$ and $Y(t)$

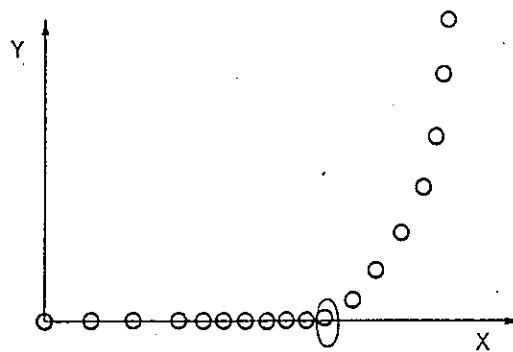


Fig. 2-6 P-curve

K2及K3)。曲線的形狀描述內差路徑；例如，A1使用動點M1轉換到A2。B1使用動點M2轉換到B2然後到B3。C1同理。曲線上的記號指示時間。每一記號表等長的時間間隔。

使用此法只要定義動點，主構架上的曲線不需要編號及計數。

有幾種不同的中間畫演算法可應用於Reeves的技巧：Miura algorithm[45,1967], Coons algorithm[1974]及cubic metric space in-between algorithm[46,1980]。

這三種演算法須對完整的補修網(Patch networks)運算。圖2.8顯示相對圖2.9的這種網。Reeves[1980]測試了幾個簡單的演算法來完成這個網路。其應用請參考圖2.9, 圖2.10

4. 軟楔曲線(Spline Curves)

在製圖術中，軟楔是可藉一組控制點產生平滑曲線的可彎曲條狀物。軟楔曲線或軟楔函數是指以這種方式畫出的曲線。這種曲線在數學上，可對三次多項式函數作逐段式近似，且此多項式具有零次、一次、二次三種連續性。然而有許多其它的近似函數也可被視為軟楔函數。

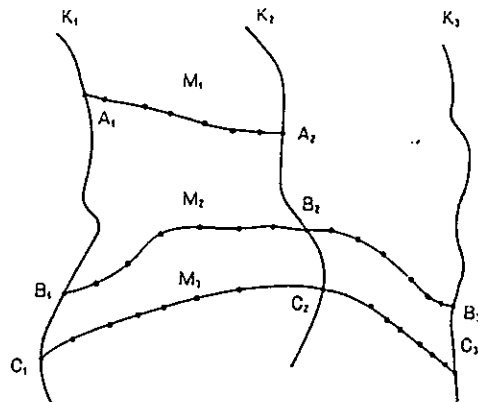


Fig. 2-7 In-betweening using moving point constraints

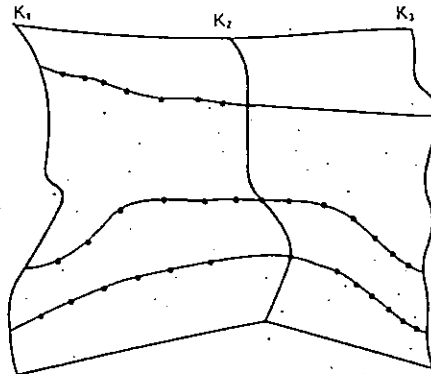


Fig. 2-8 Patch network

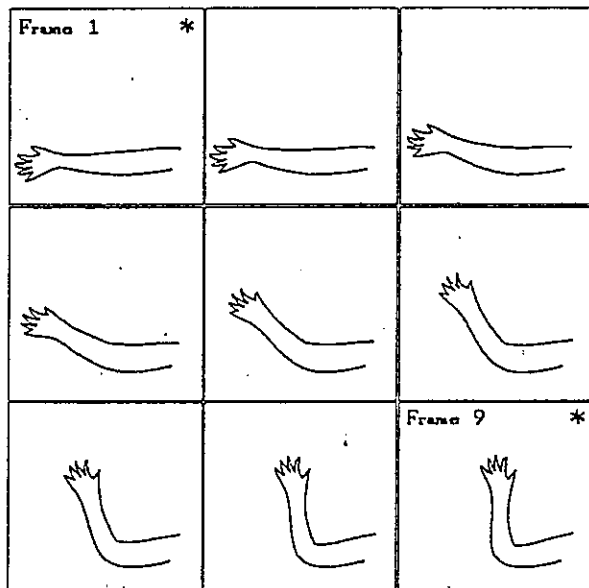


Fig 2-9 Rotating Arm using Cubic Metric Space Algorithm

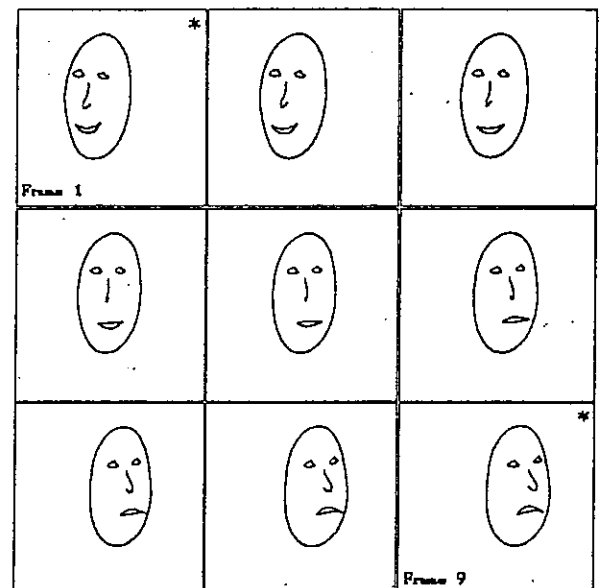


Fig. 2-10 Turning Head using Coons Patch Algorithm

5. B-軟楔曲線 (B-Spline Curves)

B-軟楔曲線是一種很有用的軟楔曲線。已知輸入一組 $n+1$ 個控制點 P ， k 由 0 到 n 。我們定義 B-軟楔曲線上的點為：

$$P(u) = \sum_{i=0}^n p_i N_{i,k}(u)$$

$$N_{i,1}(u) = \begin{cases} 1 & \text{if } t_i \leq u < t_{i+1} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$N_{i,k}(u) = \frac{(u-t_i) N_{i,k-1}(u)}{t_{i+k-1} - t_i} + \frac{(t_{i+k} - u) N_{i+1,k-1}(u)}{t_{i+k} - t_{i+1}}$$

$$t_i = \begin{cases} 0 & \text{if } i < k \\ i - k + 1 & \text{if } k \leq i \leq n \\ n - k + 2 & \text{if } i > n \end{cases}$$

上面所討論的 B-Spline 是屬於均勻非週期類 (Uniform Nonprediodic)。稱為均勻是因曲線的每個分段具有均勻參數值的分佈，這表示當我們將參數 u 由 0 等量變化到 $n-t+2$ 來得到曲線上的點時，每個分段得到同樣多的點。因此控制點較密部份的曲線會較圓滑。稱為非週期 (Non-prediodic) 則因為了使曲線能通過端點而調整首尾的混合函數 (Blending Function) 使得混合函數非週期性。

有關 B-Spline 曲線的性質與應用有專書介紹，請參考 [52]。

6. 以 B-Spline 曲線內差一序列的點 [52]

考慮內差一序列的點 P_0, P_1, \dots, P 來產生一條 B-Spline 曲線。以下討論是對三次曲線 (四階, 4 Order)。

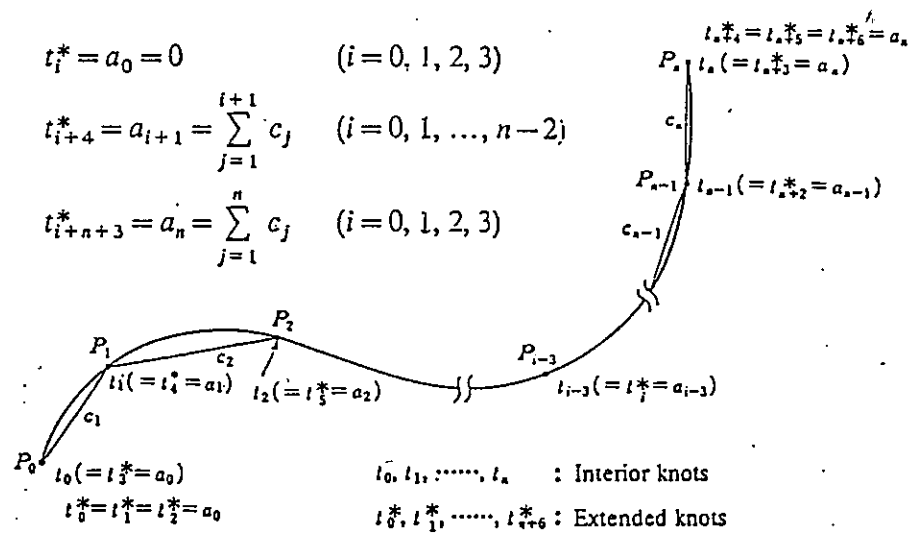


Fig 2-11 Interpolation of a sequence of points with a B-spline curve (curve type (3)) (case of $M=4$)

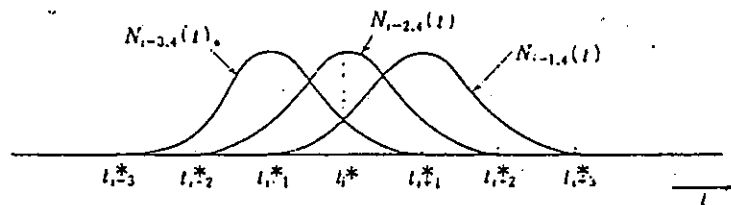


Fig. 2-12 Nonzero B-spline functions at $t = t_i^*$

要內差的點與 interior knots 及 extended knots (有 * 記號) 間的關係如圖 2.11。對一四階的 B-Spline 函數，在每一 knot 有三個非零的 B-Spline 函數。我們稱在 t^* 的三個非零函數為 $N_{i-3,4}(t)$, $N_{i-2,4}(t)$ 及 $N_{i-1,4}(t)$ (參考圖 2.12)。因此，為了使曲線於 knot t^* 內差等於點 P ，下面的式子必須成立：

$$N_{i-3,4}(a_{i-3})Q_{i-3} + N_{i-2,4}(a_{i-3})Q_{i-2} + N_{i-1,4}(a_{i-3})Q_{i-1} = P_{i-3} \quad (3 \leq i \leq n+3).$$

這個式子表示了 $n+1$ 個條件，但有 $n+3$ 個未知向量 Q_0, Q_1, \dots, Q_{n+2} ，因此缺少兩個條件。這兩個條件可由設定曲線在兩個端點的二次微分向量為 0 向量而得：

at knot t_3^* :

$$N_{0,4}(a_0)Q_0 + N_{1,4}(a_0)Q_1 + N_{2,4}(a_0)Q_2 = 0$$

at knot t_{n+3}^* :

$$N_{n,4}(a_n)Q_n + N_{n+1,4}(a_n)Q_{n+1} + N_{n+2,4}(a_n)Q_{n+2} = 0.$$

對於 extended knots 的值可取點之間的距離和：

$$t_i^* = a_0 = 0 \quad (i=0, 1, 2, 3)$$

$$t_{i+4}^* = a_{i+1} = \sum_{j=1}^{i+1} c_j \quad (i=0, 1, \dots, n-2)$$

$$t_{i+n+3}^* = a_n = \sum_{j=1}^n c_j \quad (i=0, 1, 2, 3)$$

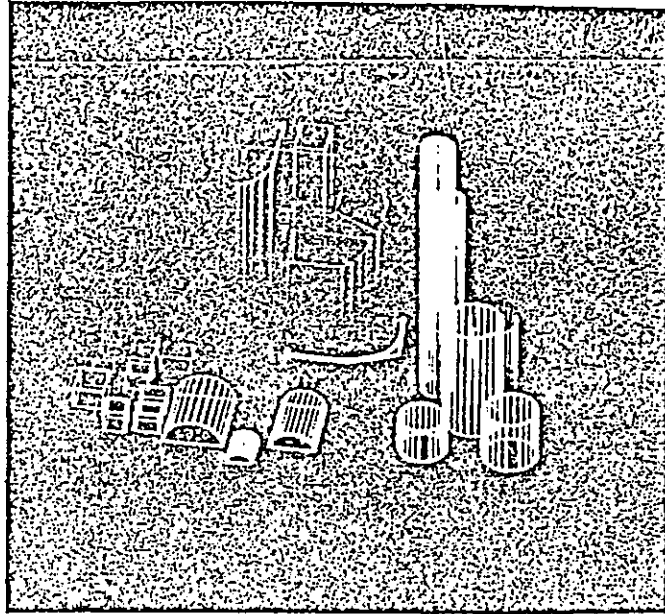
解 (2.1), (2.2), (2.3) 三式可得 Q_0, Q_1, \dots, Q_{n+2} 。

因此決定通過點 P_0, P_1, \dots, P_n 的非均勻且非週期

B-Spline 曲線。

7. 三維路徑描述 (3D Path Specification) Kim [53] 提出一個在

三維環境中以交談方式在時間與空間上描述路徑的方法。這條



The B-spline which represents the spatial path is shown in three dimensions.

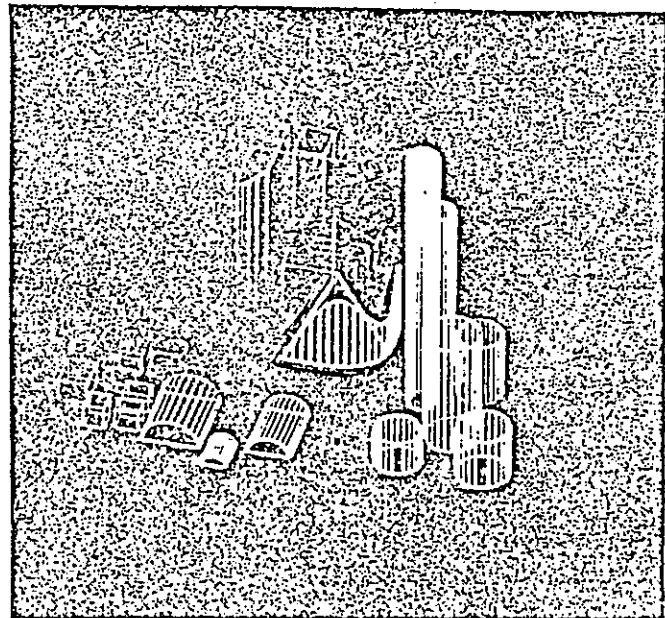


Figure 2-13 The "roller coaster" effect.

路徑可用來表示觀察者的移動。路徑由 B-Spline 曲線來表示以達到圓滑及連續的移動。沿路徑移動的速度也是由一條 B-Spline 表示，所以速度變化也是圓滑的。

處理過程分兩個步驟：

(1) 定義路徑：首先在環境的平面圖上交談式的用 inking 的方法定義路徑。起初的路徑是由數位板 (table) 上傳回 X, Y 座標的二維陣列。然後以一個反向的程序由這些路徑上的參考點來反求通過這些點的四階 (三次) B-Spline。此程序如前面 6 所述。接著以交談方式 "拉" 定義 B-Spline 的多邊形頂點來調整曲線。這條 "空間曲線" (Spatial Curve) 也可經由將控制點往上拉以得到三維空間曲線。拉的方向被限制在垂直方法以保證路徑在其他二維不會改變。當控制點往上或下拉時，會顯示如圖 2.13 所示的 "簾幕" 效果。

(2) 時間控制 (Timing)

"時間曲線" (timing curve) 是一個距離對時間的函數，也由一條四階的 B-Spline 表示。空間路徑與時間曲線的垂直位移表路徑上每一點的速度。時間曲線的初始值為常數。表在路徑上等速運動。時間曲線的高度 (速度) 可以與空間曲線相同的方式改變，也就是拉控制點。此外該作者也提出如何自動於起點加速，終點減速的方法。

3. 雙重內差法 (Double-Interpolant Method)

Stekette [3] 所提出雙重內插法可提供二次導數連續 (加

速度連續), 局部控制, 方便的運動控制及前後動作的連接與 phrasing。

此法是應用於參數主構架法中。傳統上由主構架所定義的參數值是經由 Spline 技巧內插, 因此參數的變動是由主構架的時間及資料點不明顯的定義。已有的動畫內差系統缺乏加速度的連續及方便的運動控制。因此作者分析動畫內差系統的需求而發展了雙重內差法。

為了達到圓滑動作與局部控制的目的, 選擇四階 (三次) B-Splines 為內差方法。為了解決運動控制 (Kinetic Control), 使用雙重內差, 第一個內差對運動速度而第二個對位置。運動內差 (Kinetic interpolant) 表示主構架的時間關係, 不包含有關運動參數實際值的資訊。因此改變此內差只會影響主構架的時間然後動作的速度與加速度跟著改變。主構架所定義的位置並不因此改變。

另一方面, 位置內差 (Position interpolant) 也可單獨調整而不影響速度。實際的運動函數則是結合了運動與位置內差而得。圖 2.14 顯示一個例子。

不同的運動參數各有其位置內差。運動內差則可所有運動參數共用一個。圖 2.15 示範運動速度的調整。圖 2.16 顯示只有運動速度改變而路徑不變。

要定義運動與位置 B-Splines 首先需要參數值在每一主架構對時間的函數。然後將主構架編號得到第三個參數。運動 B-

Spline由主架構編號對時間函數的內差定義。位置B-Spline則由參數值對主架構編號的內差定義。圖2.17顯示產生這兩個內差的例子。另一個問題是Knot Sets的取法，對運動B-Spline以主構架的時間表Knot Sets，端點的節值(Knot Value)重覆四次。對位置B-Spline則以主構架編號號(0,1,2,...,n-1)當節值，端點也重覆四次。

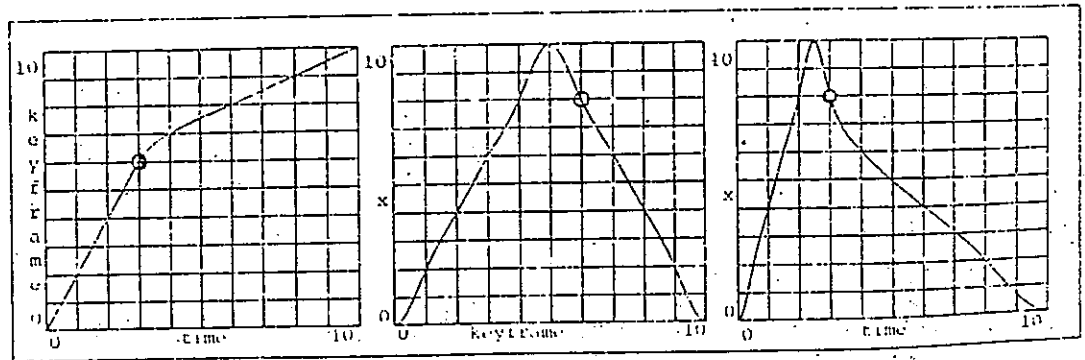


圖 2.14

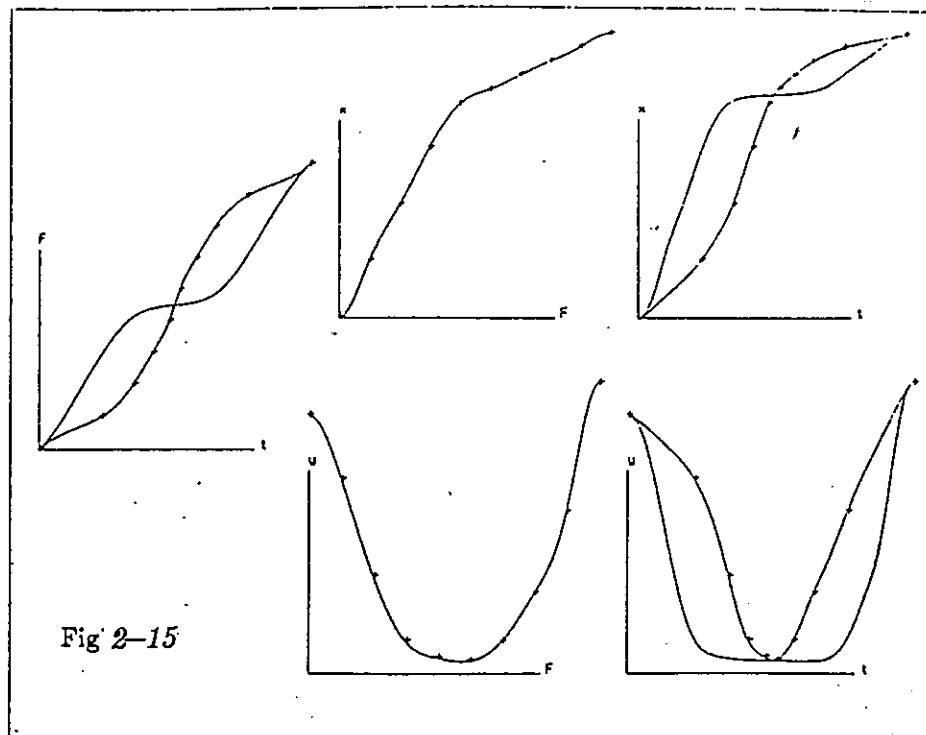


Fig 2-15

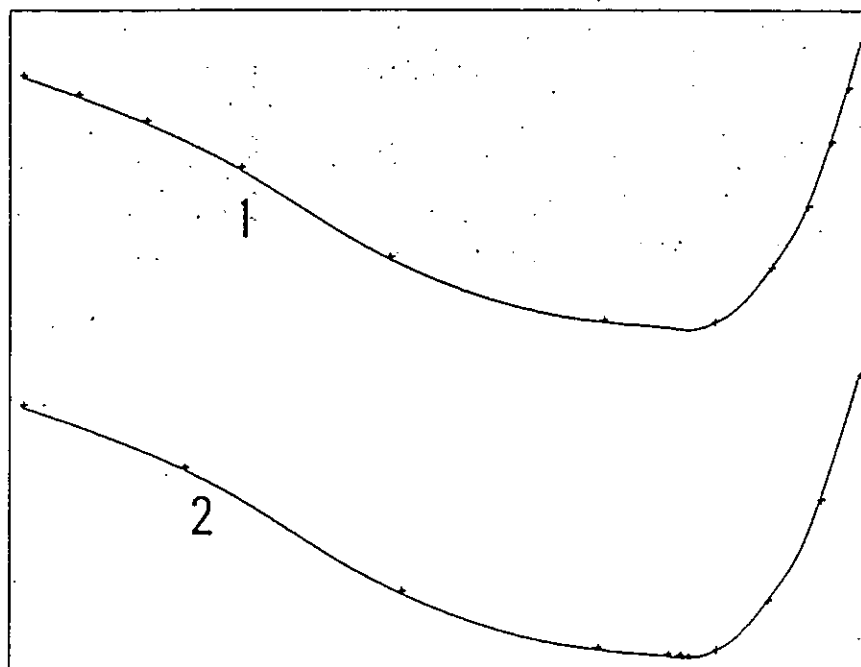
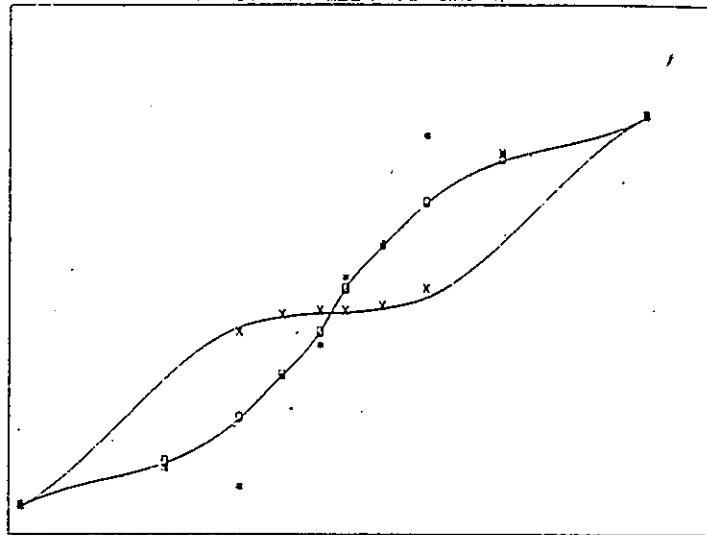


Fig 2-16 Kinetic Control Leaves Path Unchanged.

The paths defined by the data from Fig 2-15 are shown here, with x on the horizontal axis and y on the vertical axis. The top curve shows the path defined by the curves marked 1 from Fig 2.15 the bottom curve shows the path defined by the curves marked 2. The tick marks are placed on each graph at equal time intervals, and show that the two motions differ in their kinetics even though the paths are identical.



Details of Kinetic Adjustment.

The kinetic adjustment used in Fig 2-15 shown here in more detail. The original data points, determined by the times of the keyframes, are shown by circles. The B-coefficients of both the original interpolating B-spline are shown by asterisks; the B-coefficients of the modified B-spline are shown by x's. The modified B-spline was constructed by altering the B-coefficients directly.

Single-interpolant method		Double-interpolant method		
Time	Motion Variable	Time	Frame Number	Motion Variable
0.0	5.2	0.0	0	5.2
0.5	5.7	0.5	1	5.7
1.2	7.2	1.2	2	7.2
2.0	8.0	2.0	3	8.0
3.0	8.5	3.0	4	8.5
3.5	8.9	3.5	5	8.9

<p>determine single B-spline</p>	<p>determine kinetic B-spline</p>	<p>determine position B-spline</p>
--	---	--

Fig 2-17 Single and Double Interpolants.

The data shown on the left can be used to construct a single B-spline, or the keyframes can be numbered and the numbering used to construct two B-splines. Since all motion parameters in a given motion share the same keyframes, they will share the same kinetic B-spline.

第三章 PS300繪圖工作站簡介

3.1 PS300系統概觀 (PS 300 SYSTEM OVERVIEW)

PS 300圖形系統是擁有進階級程式設計的一套高性能機器，這些性能簡化了程式設計員的工作，這套機器重要的性能如下：

- 階層結構模型 (Hierarchically Structured Models)

PS 300系統使用設計者可以憑藉線條 (Line)，多邊形 (polygon) 和固體 (solid) 來產生三度空間物體，並把這些資料儲於系統已有的記憶體中。模型的產生或修改來自於圖形資料 (點、線、面) 層次性組合結構，應用在資料上的數學運算，及其特性如顏色和強度，等等.....

層次性組合結構 (hierarchical structuring) 使得複雜物體可從簡單物體建造出來。單一個別物體可以一次又一次重複使用。如果要修改圖形某部份只需針對該部分修改，無需重造整個結構。

- 3D模型的控制 (Control of 3D Models)

使用者可憑藉指令或交談器具來操縱3D物體的影像，如平移、放大或縮小、加諸任何數量在任何方向的旋轉。

- 模型在PS 300之操縱 (Local Manipulation of Models)

在ps 300中，吾人可以在此以交談方式操縱物體。數值從交談式器具 (interactive device) 如旋轉鈕 (dials) 鍵盤 (key board)、描圖板 (tablet) 等輸入到使用者設計的功能網路

(function network)中之物體模型操縱點。

- 即時交談功能 (Real-time Interactive)

即時意識影像 (image) 能瞬時反應從交談式器具輸入的數值。PS 300讓使用者即時操縱3D物體影像。

- 透視圖 (Perspective view)

系統能夠以透視圖來展現物體，加強了三度空間的視覺，透視圖中平行線條逐漸重合而後消失。當物體以透視圖展現，則吾人以交談式器具操縱所展現的仍是透視圖。

- 深度效果 (Depth-Cueing)

系統執行“深度效果”大大加強了深度視覺，如此使觀者 (viewer) 觀看二度空間螢幕中的物體有三度空間的視覺效果。圖形中代表深度空間的線條當逐漸遠離觀者之後就逐漸變得淡微。

- 本文視為圖形之一項 (Text as a Graphical Item)

系統視本文 (text) 為圖形中一項，允許交談式平移旋轉，放大或縮小。本文是字元 (character) 或字元串所組成 OPS300 有自己標準體，但讀者可另以指令產生、修改或使用任何其他型式或大小的字元體 (character font)

- 選擇性高級固體物體3D視覺效果 (optional advanced 3D visualization of solid objects)

PS 300系統系列之一，PS 340，讓使用者可以用多面體 (polygon) 或固體 (solid) 來產生物體，也可以執行隱藏線去除

(hidden-line-removed) 和物體切割面獲取。另外 PS 340 彩色掃描展示器 (color Raster Display) 可用來展示物體平滑面掃描影像 (smooth-shaded raster image)。

3.2 真實影像的表現 (Rendering)[54]

PS 390(340) 是單一使用者系統以多面體定義的物體可做三度空間展示。彩色掃描展示器使得系統可產生三度空間平面或立體物體平滑面靜態影像，這些影像可在 PS 390 當地產生或在主電腦 (host computer) 產生。

PS 390 是一個高性能電腦圖形系統，設計成可產生操縱修改和觀看複雜的二維和三維資料結構。影像可以旋轉，平移、放大或縮小，而且是以瞬時反應。

此外，又可做塗色運算，包括有三種類型 Washing, shading, Smooth shading, Flat shading, 將一個 polygon 定義的物體做塗色運算，使得物體呈現一個塗有顏色且完整的實體，另外，又可加以光源選擇使該實體呈現反光散射作用。

以下我們介紹以 PS390(PS340) 做真實影像表現 (Rendering) 的概念。

由多邊形組成且以 POLYGON 命令定義的物體是唯一能做影像表現運算的物體。

有兩類的影像表現運算

1. 書寫式 (Calligraphic)

— 去除隱藏線 (Hidden-Line Removal)

— 背面消除 (Backface Removal)

— 切除 (Section)

— 切片 (Cross Section)

2. 掃描式 (Raster)

— 清洗描影 (Wash Shading): 對物體的多邊形做區域塗色, 不考慮法線 (Normal)、光源、所有光參數、深度信號 (Depth Cueing) 參數。

— 平面描影 (Flat Shading): 考慮顏色, 一個光源及深度信號。能表現由面構成的表面。

— 圓滑描影 (Smooth Shading): 是最複雜的處理。多邊形的顏色沿表面變化, 考慮多邊形頂點的法線、多個光源的顏色與方向、多邊形的屬形 (顏色及高亮度 (highlights))、及深度信號。此法可產生模擬曲面的物體。

— 以 POLYGON 命令定義物體時定義軟邊 (Soft Edge) 可在向量顯示時模擬曲面, 定義屬性以便在描影時使用, 共面選擇可定義有洞或突出的物體, 頂點的法線也可定義以便產生圓滑描影。

— Rendering 的對象可以是表面或實體, Solids 圍住空間的一塊體積, Surfaces 則無。

- OUTLINE命令可定義多邊形在向量顯示時的色調 h 值， $1 < h \leq 360$ 。每個多邊形可有不同 h 值。
- WITH ATTRIBUTE可用來定義物體在描影時的屬性，包含顏色（色調、飽和度及強度）、擴散(Diffuse)，反射(Specular)。
- Rendering 完成後可直接在目前Rendering 與原始物體間切換。並可將目前的Rendering 保留於一個名稱下。
- 物體切除(Section)後可被儲存做進一步的Surface-rendering運算。
- 顏色的描述包含色調、飽和度及強度。Hue 描述繞色環的角度，0是純藍，120純紅，240純綠。Saturation由0表無飽和(灰暗)變化到1表全飽和。Intensity 由0表無強度(black)變化到1表全強度。
- 擴散(Diffuse)描述擴散反射(Diffuse Reflection)和鏡面反射(Specular Reflection)對顏色之貢獻的比例。增加 d 會減少反射高亮點的強度，使表面較沒光澤；減少 d 使得表面較明亮，當值為1時完全消除反射高亮點。 d 的值介於0與1之間，只會影響圖滑描影的表現(Smooth-Shaded Rendering)。
- 鏡面反射(Specular) 屬性調整反射高亮點的集中度， S 值越高越集中。Specular是物體的性質，所以高亮點的大小只被 S 值影響而與光源無關。物體的金屬性愈強反射高亮點就愈集中。真實事界中的物體絕不會完全鏡反射(或擴散)，所以如果這些值給到極大將會得到不自然的效果。

S值介於0與10之間，與d同樣只影響圖滑描影。

- 多邊形的兩面可以給不同的屬性。
- 光源可由其方向(x,y,z)，顏色(h,s,i)及環境光(Ambient)來描述，光源距離則視為無窮遠。環境光參數a控制該光源對環境光的貢獻。淨環境光是由每一作用光源的顏色與環境光比例因子的乘積和，再除以總作用光源數然後與另一個描影環境的環境光參數(下面會討論到)結合後決定。環境光參數是介於0與1間的實數。
- 對於描影環境可描述幾個參數：環境光顏色、背景顏色、掃描視區(Raster Viewport)、曝光(Exposure)、品質、深度信號。
- 曝光(Exposure)用來控制整個圖像的亮度，其效果類似相機上的。如果圖形中有一物體有一非常亮的反射高亮點，會使物體其他部份顯得太暗。如果有三個光源存在，物體物有三倍亮度，顯得太亮。Exposure可控制這些缺點，其值為介於0.3到3的實數。
- 品質(Quality Level)控制滲入(filtering)的圖素(Pixels)數目。鋸齒狀邊是描顯像器的特徵，因此邊愈模糊圖形的品質就愈好。可有1,3,5及7四個值，表示一個圖素的顏色分佈到以該數為邊長的方形區域圖素。其值愈大愈花時間但也愈能解決順暢化的問題(Anti-aliasing)。
- 描影的深度信號可由介於0到1的實數描述。

第四章 理論基礎

4.1 系統規畫

我們提過模型動畫大致分為模型塑造、動作描述與同步、影像表現三個步驟。要產生動畫影片，三個步驟缺一不可。

模型塑造在電腦輔助設計與製造 (CAD/CAM) 的領域已有許多理論與系統，影像表現 (Rendering) 則與電腦繪圖的研究相同，所以最能表現模型動畫精神的步驟就在動作的描述與同步。這也就是我們以此為研究重點的原因。

但在諸論中我們談到，在本研究中希望完成一個短期目標：產生動畫影片。因此，在系統規劃上我們不能不同時兼顧三個步驟。

在物體上我們處理自由度數目適中且應用較廣的剛體關節相體。以下我們分別就這兩種物體的上述三步驟規劃我們的系統：

1. 模型塑造 (Modeling)：

在我們已有的軟體中，有美國海軍學院所 (usna) 製作，能提供建立球、圓柱體、盒、立方體、稜柱、圓錐、torus 等元件 (Primitive) 實體的表面之多邊形形式資料。

有了這些基本元件外，我們希望設計一個軟體讓使用者能將這些元件經由旋鈕、功能鍵等設備以交談方式組合後產生較複雜的物體。

此外另有一 B-spline 曲線編輯軟體亦屬於 usna，但由於我們的硬體設施較差，未能提供同樣環境，以致該軟體無法使用。對這點我們希望能修改軟體來克服。如此，我們能先編輯一條平面曲線，然後將曲線繞某軸旋轉某度數以得到一空間實體。

以上述三種工具來塑造剛體的模型對我們現階段目標已足夠了。我們所用的關節相連體模型是由剛體所連接。因此有關兩種物體的模型塑造之基本需求都可解決。

2. 動作描述與同步：

對於剛體、虛擬攝影機 (Virtual Camera) 及光源，我們希望提供使用者以交談方式描繪三維參數主構架。這些主構架的參數可直接以 spline 內差得到動畫。或更進一步以 B-spline 曲線交談式描繪三維路徑，及路徑上其他參數變化與各路徑間的不同步。

對於關節相連體，我們也希望製作介面，讓使用者很方便的輸入參數主構架中各自由度的參數值。並以合乎視覺感受與直覺的內差方式來計算中插畫。

3. 真實影像的表現 (Rendering)：

雖然其他同學有人在做 Texture 及 Ray Tracing 的研究，但基於速度的考慮因素，我們覺得仍需利用 PS 390 的描影功能製作一強調速度甚於品質的影像表現系統。我們的模型與動作參數可先在此做 Rendering，甚至拍成影片試播，待滿意後才去做費時的 Texture 或 Ray Tracing。

基於上述討論，我們整理歸納後決定製作三個子系統：

1. 剛體參數主構架編輯系統：提供的功能包括：在模型塑造時組合多個剛體得到單一較複雜的剛體，在動作描述時編輯剛體的參數主構架，及在影像表現時對輸入劇本參數做較快速的真實影像表現。
2. 三維同步參數路徑的視覺描繪系統：在模型塑造時提供平面 B-spline 曲線的編輯。在動作描述時描繪多條三維路徑的軌跡與速度及路徑上其他參數變化，並可設定路徑間的同步。
3. 關節相連體的參數主構架動畫系統：定義關節相連體各連結間的結構化關係。並根據此關係用一種三維骨幹線法輸入參數主構架。主構架參數再以特殊方式內差得到中插畫。最後並提供雙重內差法以即時調整運動速度，滿意後輸出上述子系統一能接受的資料形式供其做 Rendering。

以下三節分別討論此三個子系統的理論基礎。

4.2 三維參數路徑的視覺描述

參數主構架法在第二章中我們已討論過。在模型動畫中，一個剛體可能的參數有位置、方向、大小、顏色（色調、飽和度及強度）、擴散參數(Diffuse)及鏡面反射(Specular)參數等。此外在一個描影(shading)環境中，我們尚要考慮觀視轉換參數(包括觀察者視點與參考點、視角、前後切割面)、數個光源(包括方向及顏色(h,s,i)參數)、背影顏色、切割面的位置、方向(如果想

做切片或切除時)及各參數的變化速度參數等。

在一個簡單的參數主構架系統中，我們可由兩個參數主構架的參數值直接內差（可用各種內差函數、線性，二次、三次軟楔等），在較複雜的系統中則可使用2.3節中介紹的雙重內差法。但此法若使用於路徑的描述並不很恰當，因使用者看到一條路徑就要分解成 x, y, z 三個分量。

對於三維路徑的描述較適合使用2.3節中介紹的描述方式，先由B-Spline曲線定義二維的曲線形式，再將控制點 z 值拉上或拉下以得到三維曲線，最後以另一條不同 z 值的B-Spline定義速度。該作者將之用於描述觀察者的移動路徑。

我們認為，這種路徑應可以擴充其用途，不只用於描述觀察者，也該用於光源，物體的移動路徑。

如果我們直接使用該路徑描述多個物體的移動，則有個缺點是對同步的描述很困難。因此我們覺得使用此法描述路徑軌跡的方法，但對於速度的控制可利用動點制約（moving Point Constraint）的觀念。

動點制約法是用於形狀內差（Shape interpolation）（請參考2.3節），我們覺得也可將它用在三維參數路徑的速度與同步控制上，也就是在已定義好的三維軌跡上，以動點符號來限制物體在某單位時間上移動到該點。

如此做的優點如下：

1. 軌跡與速度分開控制，使用者可不改變軌跡而調整各種不同速

度。

2. 在控制點上我們可再描述該點的其他主參數 (key parameter) (如方向, 顏色、大小、軟狀物體的變形參數等等)。
3. 對於多條路徑間的同步則可從每條路徑上的許多動點中選擇某一點與其他路徑的一點以直線相連以表示它們是同一時刻, 藉此可使每條路徑間同步。
4. 在以速度描述時間的原有方法中, 有個很重要的缺點是: 我們無法表示物體在某位置停下某段時間後繼續前進, 因停下時速度為零, 無法計算出下個位置的時。而這種停停走走的功能卻是很多物體所需要。
5. 因動點上的參數可再調整, 所以我們可製作一個物體在某點停下, 原地轉一圈再繼續前進。這種類似模特兒在舞台上的動作對觀察一個物體很有用。
6. 同步的關係可在視覺上表示得很清楚。
7. 對參數我們不一定要事先有某種物理意義, 它可以只是一個由 0 到 1 的變數, 這個參數可控制各種性質, 如變形物體的變形參數, 關節相連體某關節角度等。
8. 一組參數路徑定義好後, 將其對應到那些物體的過程也可以視覺方式製作。例如, 先以數位板選擇某一路徑, 畫面上即顯示所有可供選擇的物體, 再以數位板選擇要對應的物體。
9. 物體中可包含攝影機的視點與參考點, 各以某種圖素 (ICON) 表示。這兩個物體對路徑的參數可只考慮與它們有關的速度與軌

跡。對光源也同。其他物體也可以此方式解釋。

10. 參數路徑不是對某特特定物體設計，因此很有轉移性。例如，兩個物 A、B 相對運動，經由不同對應方式就可做到 A 看 B 及 B 看 A。

11. 因系統可架構於 PS390 系統，我們可很容易的製作即時的線架構動畫顯示，使用者可在路徑描述過程中隨時觀察動畫效果。並在任意畫面停止，做真實影像的表現。

對此法的應用舉幾個實例以便了解：

1. 一架飛機的飛行路徑。
2. 多架飛機表演炸彈開花特技，路徑間須彼此同步。
3. 飛彈擊中飛機的同步。
4. 片頭中標題的移動，各標題需在某些時刻同步。

這個系統的製作必須很容易使用，對此我們設計是：

1. 對平面 B-Spline 曲線的定義要包括交談式的建立、刪除、更改（包括增加、刪除、移動控制點）、放大縮小（包括區域放大）。交談方式採畫面驅動，輸入裝置以數位板 (tablet) 及鍵盤。以不同顏色繪出控制多邊形與曲線。
2. 對曲線控制點的 z 值調整要利用旋鈕控制，並以旋鈕調整曲線的旋轉以從各種不同角度觀察。並可隨時選擇任意曲線的任意控制點來調整。
3. 因路徑的設計有時須參考主構架的三度空間參考位置，因此系

統中最好能將某種標準形式的圖形資料讀入並繪出做為參考背景。

在動點的控制上需考慮方便使用，否則就會大大減低此法的應用，我們的設計如下：

1. 首先以數位板選擇某曲線。被選中的曲線會呈現不同顏色，若曲線上已有動點，則某一目前(current)動點會呈現不同顏色(動點形狀為一三軸座標)。
2. 調整旋鈕會使該動點在該曲線上沿曲線移動。旋鈕的轉動控制B-Spline曲線參數的值，該參數值再決定在曲線上的一個三維向量，將此向量做為動點的位移。
3. 其他旋鈕可分別控制動點的旋轉、顏色及另一通用參數值。旋鈕轉動時，各參數值會顯示於螢幕上。
4. 以畫面驅動方式選擇做動點的插入，刪除，複製及至下一動點或前一動點。
5. 當動點移經另一動點時，該動點會被其往行進的方向推動，兩點在位置上雖重合，但其順序關係仍不改變，目前動點的編號也會顯示以便區別重合的動點。
6. 動點的同步也以上述方法製作，設定同步的動點間會以不同顏色的直線相連。
7. 整個三維的環境要能利用旋鈕調整由不同方向觀察。
8. ZOOM的效果並不會影響動點的控制，因此可對細微部份放大來調整動點。

對於動點上各參數(包括B-Spline的參數)的內差法也是個重要問題，在此我們使用第二章所述的雙重內差法。只是此時我們主構架的時間是等分的，且不需做運動及位置B-Spline的調整。

4.3 剛體參數主構架編輯系統

考慮一群剛體，我們應如何描述其參數主構架？首先要知道有那些參數；對每個剛體有位移(x,y,z)、方向(x,y,z)、顏色(h,s,i)及Diffuse與Specular等，另外對描影環境尚有光源(方向與顏色)、背景顏色、觀察者位置及視角等。一般我們只能以鍵盤輸入來給定參數主構架的參數值。

由於我們有PS 390系統提供我們可快速調整這些參數並建立交談用的功能網路，因此我們可建立一個系統，讀入多個物體的標準多邊形定義檔。將資料轉換為PS 390能接受的格式，再建立功能網路讓使用者輕易調整各參數並可隨時做真實影像表現。

當然，也要能隨時存下這些參數得到一個參數主構架。製作這樣一個系統的優點如下：

1. 這些參數若由使用者想像其值後由鍵盤輸入會很困難。
2. 參數主構架的參數可給其他做Texture或Ray Tracing的軟體使用。
3. 兩個以上的參數主構架可經由內差軟體做中插畫參數的產生。
4. 此系統也能讀入一參數主構架並將相關參數設定後，做真實影像的表現。

5. 一序列由內差軟體產生的中插參數可由一驅動程式逐一傳送來 Rendering，使用者可按下一功能鍵表示攝影完成，傳送下一組參數。
6. 雖然 PS 390 的描影功能無法擴充，但它在速度上卻不是用軟體做的所能比，因硬體上的傳送速度有限。因此影像傳到 PS 390 上顯像的時間就比在 PS 390 上做描影要久了。此一時間優勢使本系統不易被淘汰。例如，在製作動畫時，我們可能希望以簡單描影法快點看到結果，滿意後才做複雜描影。
7. 此系統產生的主構架可轉換為某種視覺表示式，例如，一個在空間上某位置及方向且有顏色的座標軸組，這些資料可當做上述參數路徑描繪系統的背景以供路徑及其他參數編輯上的參考。

4.4 關節相連形體與三維骨幹線法

關節相連形體在三維動畫中是最主要的物體，因其動作多且較有意義，但關於它的參數主構架法似乎尚未有一較好的方法（在第二章中，我儘可能大量蒐集有關資料）。

以下分三點討論我們看法與做法與一般方式不同的地方：

1. 首先，在建立三維關節相連形體的模型上，大家都採用將關節 (joint) 定義成一到三個限制住旋轉方向與順序且彼此距離為零的單自由度關節，對這些單自由度關節給一參數就可決定其形態。限制順序是因在笛卡爾座標系中旋轉不具可交換性。例如：對 x、y 軸的旋轉順序若不同，則旋轉矩陣也不同

這種模型或許適合於運動或動力分析，但對於主構架法就不太適當，因當我們內差這類的參數以得到中插參數時，所產生的視覺效果並不符合人的直覺。例如：地球表面的經緯度基本上是個球徑固定的球面座標系統 (Spherical Coordinate System)，經緯度分別表示其兩個旋轉參數。當我們想由台灣以最短的距離飛到地球對面相同緯度而不同經度的地點時，參數內差法會使我們由此地沿緯線到達終點，但實際上我們應沿經線過北極而飛，也就是兩點與球心所連成的平面和球所切的圓上的弧。

如果球面的兩點是位於同一經度或赤道上，參數內差法卻能得到最短的弧。這種不一致的結果與人的直覺相違背，因此我們認為參數內差法並不適合直接用於產生結合多個旋轉參數之主構架的中插畫。

Ken於1985年發表"Animating Rotation with Quaternion Curves"，文中提到以一種在1843年即已提出的座標系 Quaternions可解決此問題。

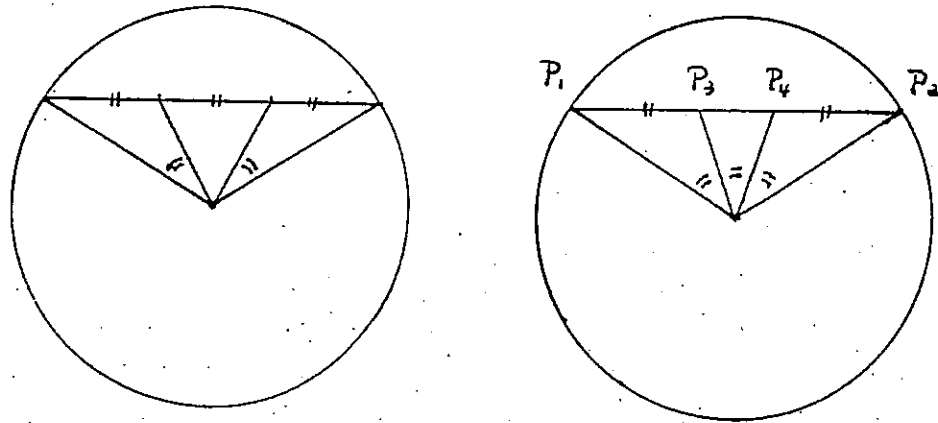
由於對Quaternions並不熟悉，再去了解已緩不濟急。因此我們想了另一種效果類似的方法。

既然內差旋轉參數無法得到合理結果，我們就先要求得到合理結果再反求所需要的參數值。

什麼是合理結果？如果球面弧上的點與球心的連線都能與通過兩端點的線段相交，就可符合我們的要求。

因此我們內差球面上兩點的直角座標，如此會得到兩點連線上的點，此直角座標可再反求得球面座標，這時的兩個旋轉參數就正是我們所需要的。

如果我們在線段上用線性內差，則兩端的角速度較慢而中間較快，如左圖所示。



想得到等角速度可如右圖所示，以 P_1 與 P_2 所決定的直線參數式及向量內積性質來計算 P_3 、 P_4 的座標。

上述兩個參數只可決定兩個自由度。對於有三個旋轉自由度的連結，它們還可對上述兩個旋轉參數所決定的軸做第三個自由度的旋轉。對這個自由度的參數可自行直接內差旋轉參數值，計算出旋轉矩陣後再與前兩個旋轉的矩陣相結合。

最後的連接旋轉矩陣用來決定此一起點被固定住的連結在空間的旋轉，並用以計算彼此連結限制住起點之各連結的起點位置。

2. 一般關節相連體的結構模型都以一層次的樹狀結構表示，上層的所有轉換會同時作用於該節點下層的子樹。這種結構看來似乎很合理，但由於多個旋轉矩陣的連接，使得上述 1 中所討論的旋轉不一致問題會因此再發生。

為解決此問題，在我們採用的層次樹狀結構中，限制只有位移轉換會作用於下層，旋轉轉換則否。

結構模型中的連結可分為兩類：兩個自由度與參個自由度。



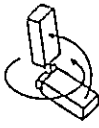
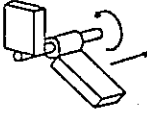

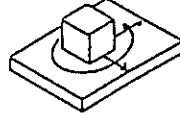
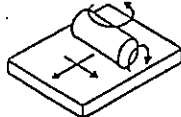
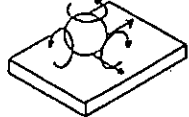
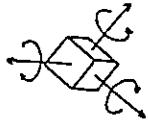
兩個自由度的連結在其起點固定後，其另一端點的位置可在球心是起點，球徑為連結長度的球面上任意移動。

參個自由度的連結在連結的兩個端點固定後，還可對通過兩個端點的軸旋轉。

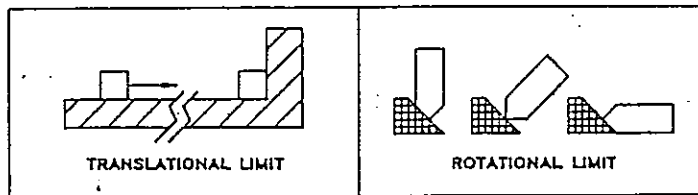
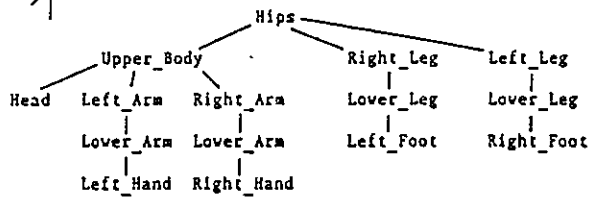
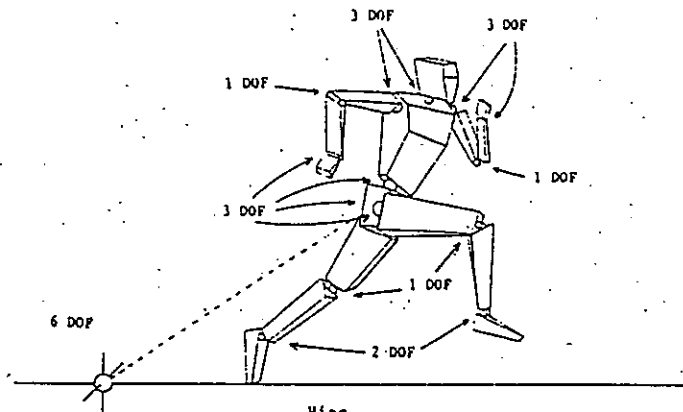
3. 另一個重要的問題是參數主構架的描繪，在有關研究中，採用參數主構架描述關節相連形體動畫的不多，在 GRAMP 系統 [1981] [55] 中是以旋鈕來調整各關節角度，在 [LFOR, 1986] [2] 中則以命令修改這些參數。這些方式似乎不好用。

我們覺得讓使用者以數位板將關節相連形體的骨幹輸入應該較方便。其原理如下：

當一段連結 (link) 的起點被限制住後，其端點可能的位置是在一個球心為起點，半徑為連結長度的球面上，如果我們能指定一條直線，解球面上與直線最近的點座標，線切於球或不相交，則有唯一解，當相交則有兩解。

<p>1 DOF</p>  <p>Pin Joint</p>  <p>Sliding Joint</p>	<p>2 DOF</p>  <p>Universal Joint</p>  <p>Cylindrical Joint</p>	<p>3 DOF</p>  <p>Ball and Socket Joint</p>  <p>Planar Translation with One Rotation</p>
<p>4 DOF</p>  <p>Cylinder on a Plane</p>	<p>5 DOF</p>  <p>Ball on a Plane</p>	<p>6 DOF</p>  <p>Flying Object</p>

Types Of Joints



Joint Limits

關節的自由度與常用的人體樹狀層次結構模型

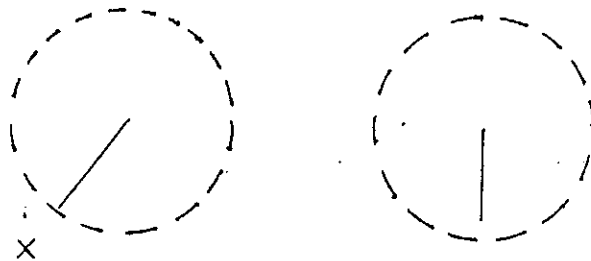
我們採用垂直投影來觀看物體，則當我們以數位板在螢幕上取一點表一通過此點及視點的直線時，該直線的方向即為視線的方向，且此線通過的點座標可由數位板傳回的 x 、 y 座標取 $z=0$ 再經旋轉（如果視線方向不是 $0,0,1$ ）、平移（如果 interest point 不在原點）、縮放（scaling）（如果視窗與視區的比例不同）後而得。如此我們可得直線的參數式。

如果球心座標已有，我們就可用上述方法由螢幕上指定連結的端點。因可能有兩個，我們可提供側視圖或／及頂視圖讓使用者由手動游標上的按鈕選擇其中之一。

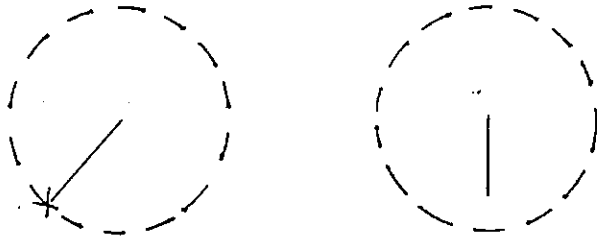
如果一個連結沒有能繞通過其兩端點之軸旋轉的自由度，則如此已可決定兩個自由度的參數值。否則，我們必須再提供此一自由度的參數，這可藉旋鈕來調整。

這些過程以圖解說明較易了解，以下左圖表正視圖，右圖表側視圖：

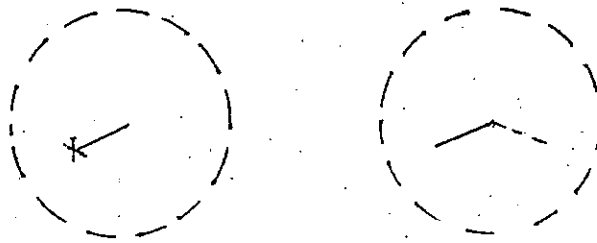
1. 當游標與球心的距離大於球徑（即連結的長度）時，有唯一解，由正視圖所看到的連結長度 = 圓的半徑 = 球徑 = 連結實際長度，側視圖所看到的可能稍短。



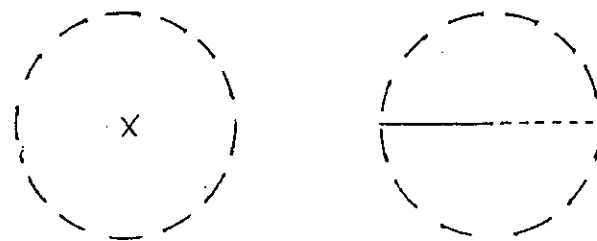
2. 當游標位於圓上時，表線與球相切，有唯一解，圖形與1同。



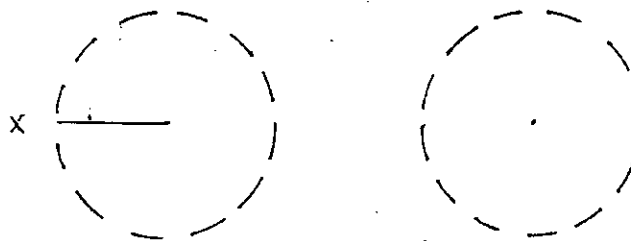
3. 當游標位於圓內時，表線與球相交，有兩解，兩個視圖看到的線段都會稍短。側視圖中兩條線段對應兩個解，這時需由使用者以按鈕選擇其中之一。



4. 如果游標置於圓心，正視圖將看不到線段，側視圖則看到全長的兩條線段可供選擇。



5. 如果游標置於圓的正左或正右方，側視圖只能看到一點。

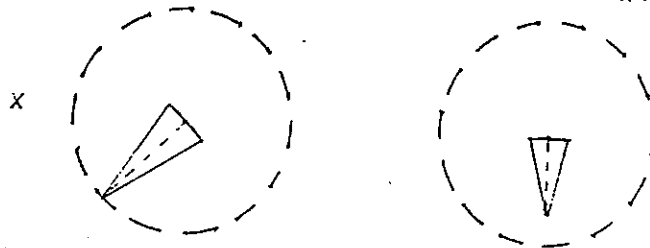


6. 當使用者按下按鈕決定連結終點在球面上的位置後，對於兩個自由度的連結已足夠了。若連結為三個自由度，使用者將看到一個能對通過連結兩端點之軸(空間而非平面)旋轉的輔助圖形。使用者調整旋鈕來決定第三個自由度的旋轉參數值。輔助圖形以實用為設計原則，使用者可依喜好與需要自訂任何三維圖形。在圖例中我們以平面三角形代表人體軀幹的連結，因其起點由頭部連結決定，其終點、左肩與右肩則分別要連接骨盆、左臂、右臂三個連結的起點。實際連接位置是由一結構模型檔設定，與這裏使用的外形無關，故此外形可自由設計。

正視圖虛線表使用者第一次按鈕所決定的連結軸，側視圖中因平面三角形尚未旋轉，故只能看到一線段。



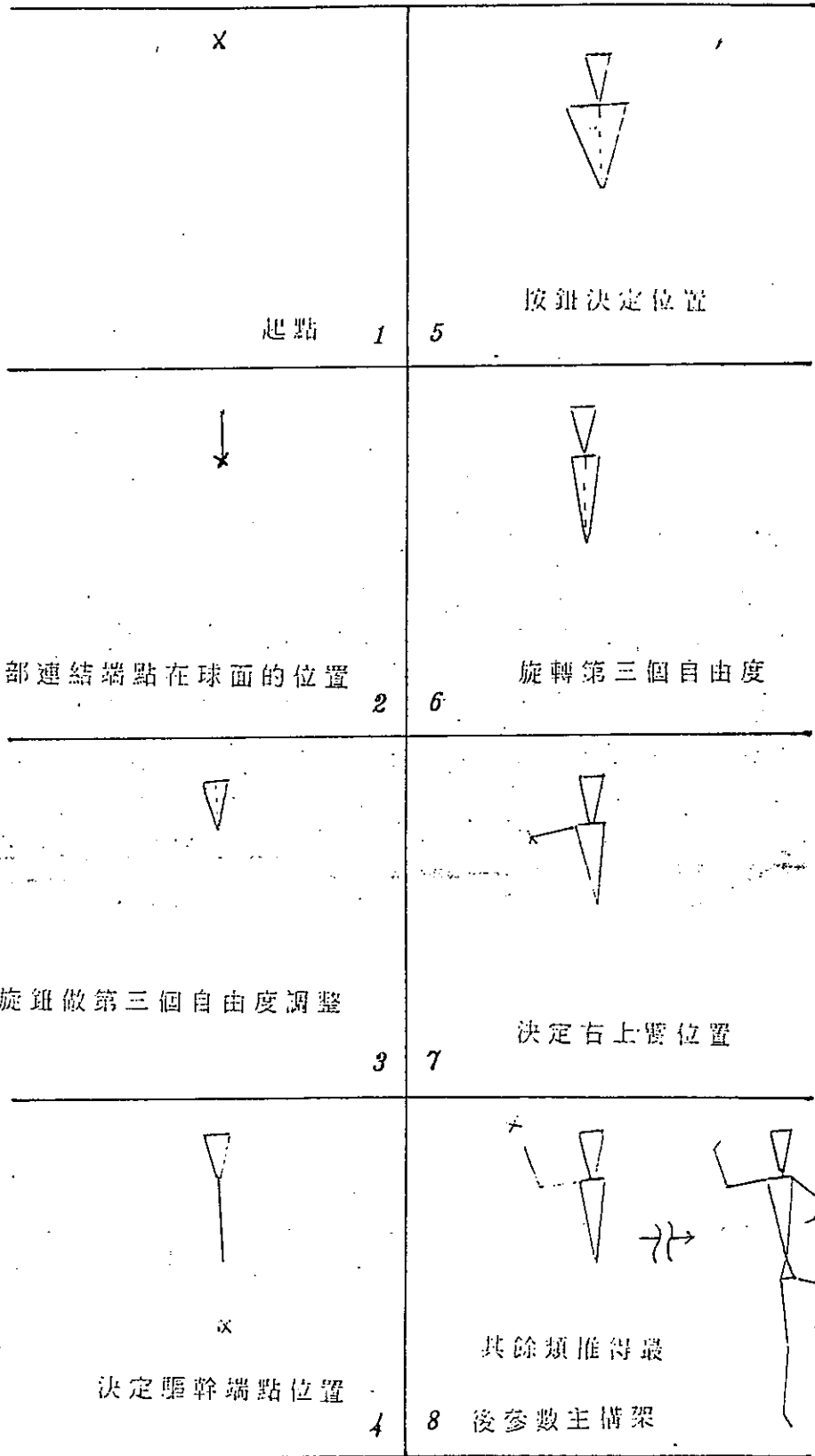
7. 使用者以旋鈕調整平面三角形旋轉至滿意的角度，第二次按下按鈕就可決定此起點已固定，有三個自由度之連結的三個旋轉參數。



使用此法輸入關節相連體的參數主構架有以下步驟：

1. 建立關節體的內部架構：
2. 以 PS 300 的命令語言建立關節體各連節的形狀資料。

輸入一人體參數主構架的過程



註：這裏未畫出側視圖，實際情形請參考彩圖。

3. 以數位板與旋鈕輸入關節體的參數主構架。

我們將內部架構與外形資料分開建立的優點為使用者可輕易更改個人喜好的外形資料。

此法一個重要應用在於可由關節體的分解動作平面圖加上極少的人機交談重建其三維資訊。步驟如下：

1. 將圖片置於數位板上，點出其各連結的長度。
2. 將分解動位的圖片置於數位板上，則不需由電腦或藝術人才即可輕易輸入很大數量的主構架。他只需具備一點三維空間概念即可。
3. 這些主構架經內差後再由專業人員以雙重內差法即時調整運動速度，滿意後輸出劇本給子系統一做影像表現即可得到動畫。

在很多運動書籍(如球類、體操、國術等等)裏我們可找到大量分解動作圖解，如此我們的動畫產量不但高而且實用。

利用PS 390的圖形資料的階層結構，使我們可在其關節動作的同時以其他參數控制其連結的參數，如大小顏色等。

藉此我們可做以下幾種動畫：

1. 健美先生擺出展現肌肉的姿勢時，部分連結的肌肉可放大。
2. 一個在沙漠中行走，越來越疲備的人，其顏色逐漸蒼白且越來越瘦。
3. 如果我們讓前後主構架的連結長度可改變，則可製作一個小孩子地上爬後慢慢長大最後成人。

有關應用不勝枚舉，所以很有彈性。

第五章 系統製作

5.1 系統架構

我們製作了三個子系統：

系統一：參數主構架編輯系統。

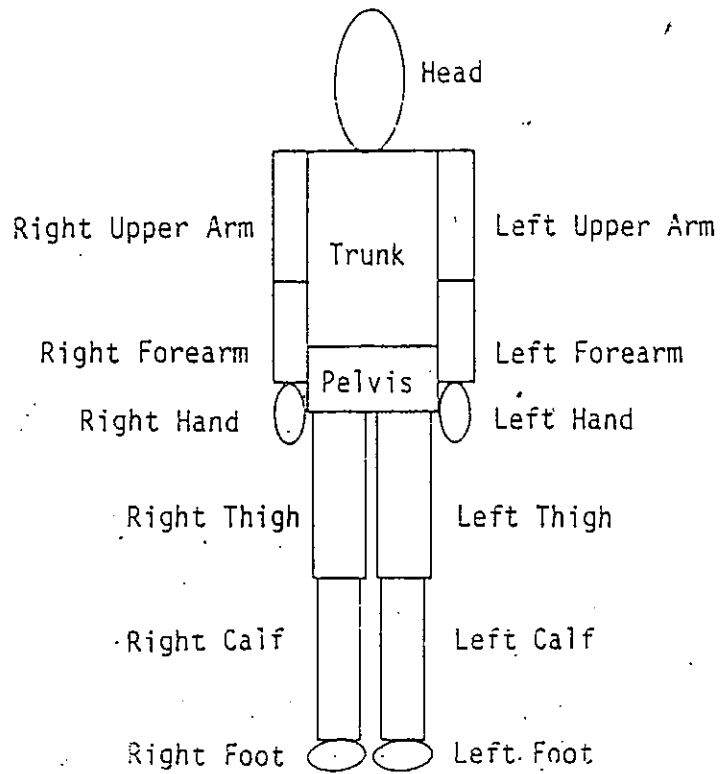
系統二：三維參數同步路徑描繪系統。

系統三：關節相連體動畫系統。

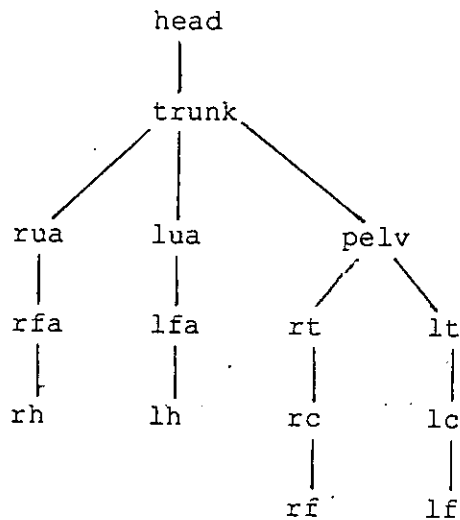
1. 檔案結構

- 多邊形檔：我們用以描述物體的標準多邊形檔。
- 劇本檔：能被子系統一接受，用來描述每個要被拍攝之畫面的各參數值。
- 參數路徑檔：由系統二所產生的路徑上參數資料，包括同步資料。
- 曲線檔：由系統二所產生，只描述曲線軌跡資料，不包含其他參數。
- ar.str：關節相連體的骨幹線結構檔，包括樹狀層次結構，每一節點表示一連結(Link)，其資料有連結編號、連節名稱(用來參考其在ar.shp中定義的外形)、自由度(2或3)、連結長度、與此連結相接的連結編號及接點相對於本連結起點的位置。

參考圖5.1，第一行為註解，第一個連結(Root)的編號為0，自由度為3，長度0.2，與其相接的連結只有編號



Robot--Body Pieces



```

sg
0 head 3 0.2
    1 0.0 0.0 0.2

1 trunk 3 0.3
    2 0.125 0.0 0.0
    5 -0.125 0.0 0.0
    8 0.0 0.0 0.3

2 rua 2 0.2
    3 0.0 0.0 0.2

3 rfa 2 0.15
    4 0.0 0.0 0.15

4 rh 2 0.1

5 lua 2 0.2
    6 0.0 0.0 0.2

6 lfa 2 0.15
    7 0.0 0.0 0.15

7 lh 2 0.1

8 pelv 3 0.1
    9 0.05 0.0 0.1
    12 -0.05 0.0 0.1

9 rt 4 0.25
    10 0.0 0.0 0.25

10 rc 2 0.25
    11 0.0 0.0 0.25

11 rf 2 0.1

12 lt 4 0.25
    13 0.0 0.0 0.25

13 lc 2 0.25
    14 0.0 0.0 0.25

14 lf 2 0.1

```

圖 5.1 ar.str 樹狀結構檔

```

linel:= vector connected n=2 0,0,0 0,0,0.1;
line:= set color 60,1 then linel;
trl:= vector connected n=4 -0.05,0,0 0.05,0,0 0,0,0.1 -0.05,0,0;
tr:= set color 90,1 then trl;

```

圖 5.2 ar.pri 原件檔 (PS 300 命令語言)

```

pfsphere -d 0.1 > sp.pf
pftranslate -z 0.05 < sp.pf > spt.pf
pf300 sp < spt.pf > sp.300

pfcylinder -d 0.1 -z 0.1 > cy.pf
pftranslate -z 0.05 < cy.pf > cyt.pf
pf300 sp < cyt.pf > cy.300

```

圖 5.3 產生球與圓柱體兩個原件的命令

```

rxtr:= rot x 180 then tr;
itr:=trans by 0,0,0.1 then rxtr;

head := scale by 1,1,2 then tr;
trunk:= scale by 2,1,3 then tr;
rua := scale by 2.0 then line;
rfa:= scale by 1.5 then line;
rh:= scale by 1.0 then line;
lua:= inst of rua;
lfa:= inst of rfa;
lh:= inst of rh;
pelv:= scale by 0.9,1,1 then itr;
rt := scale by 2.5 then line;
rc:= scale by 2.5 then line;
rf:= scale by 1.0 then line;
lt:= inst of rt;
lc:= inst of rc;
lf:= inst of rf;

```

圖 5.4 ar.shp 連結外形檔 (PS 300 命令語言)

為1的trunk，接點位置在本連結的末端，相對座標為0.0, 0.0, 0.2。

共有14個連結，意義與上同。

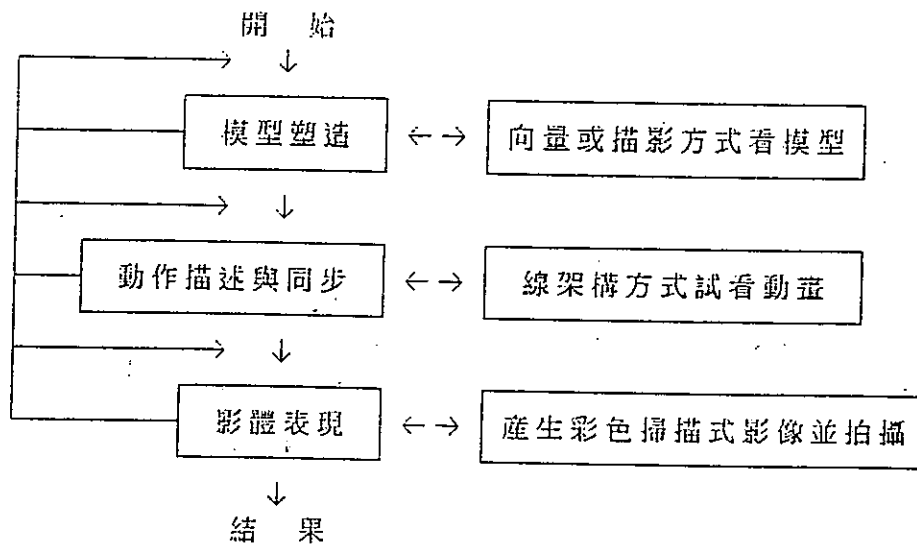
· ar.pri: 以PS300命令定義一些原件(Primitive)供ar.shp參考，在我們所附的彩色相片中，人體的線條模型則只需在此將線段與三角形原件分別改為圓柱與球即可。這些原件由usna的pfsolid軟體產生，如圖5.3所示。

· ar.shp: 以ps 300命令定義連結的外形，這裏參考到ar.pri中定義的兩個元件：tr與line。由線條模型轉換為體積模型並不需更改此檔。參考圖5.4。

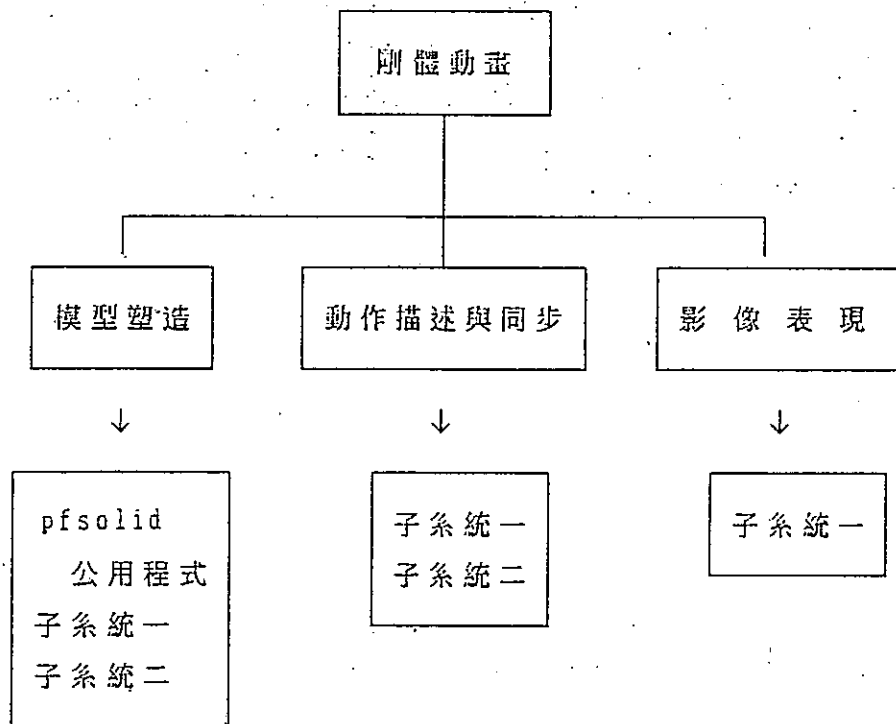
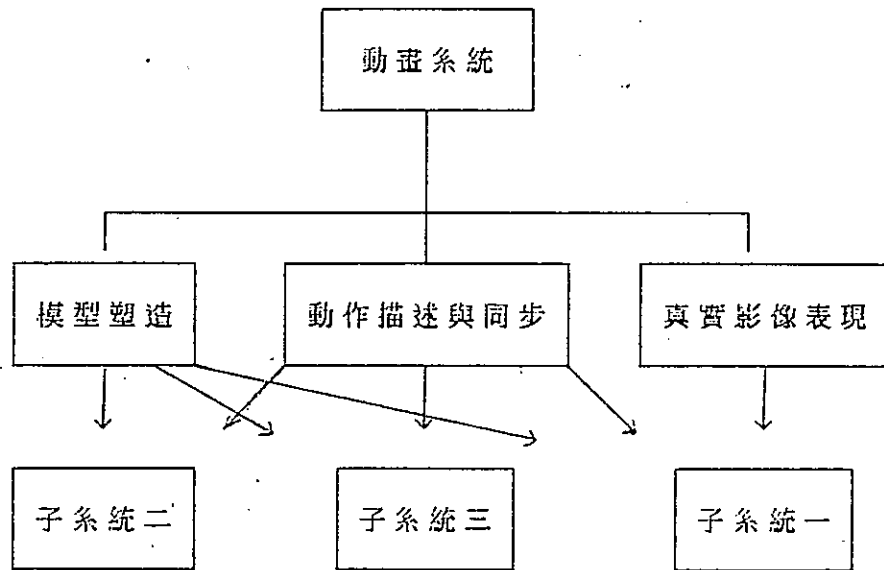
· 參數主構架檔：子系統一所產生，包括主構架的所有參數值。

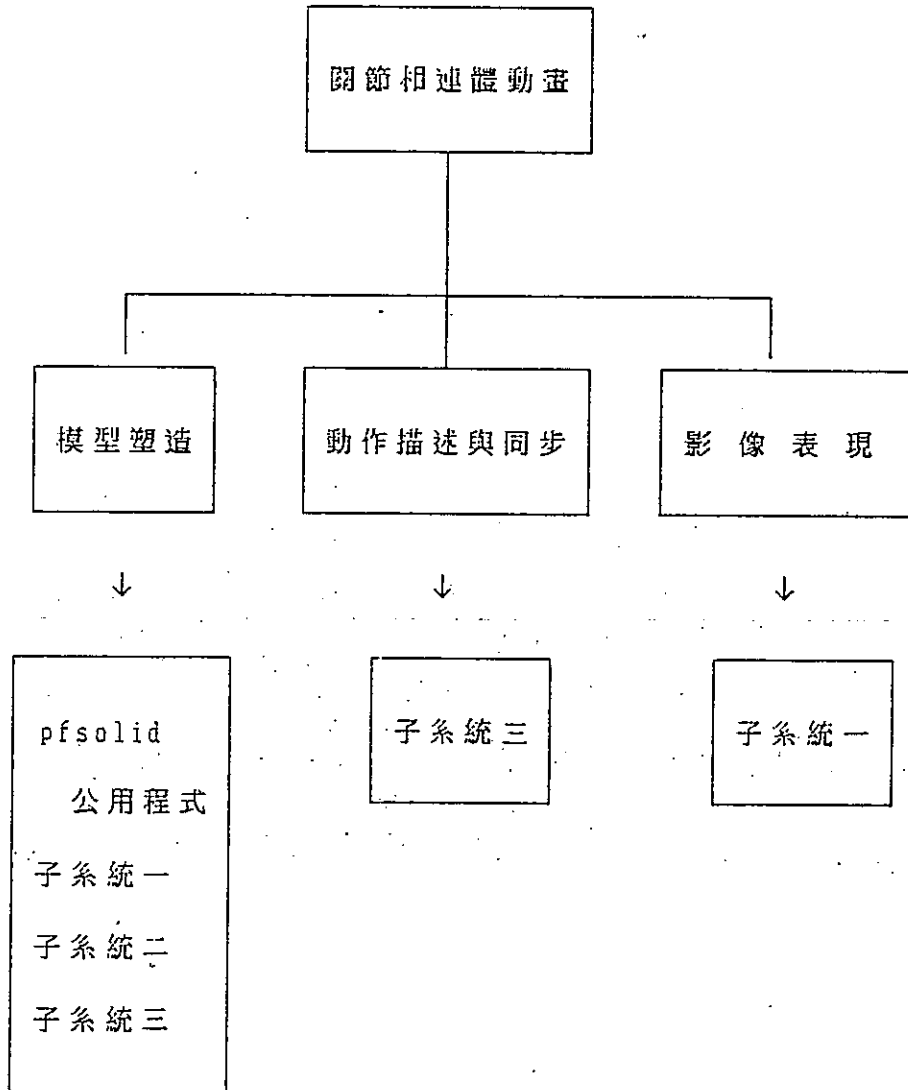
2. 系統描述

· 動壺的製作過程

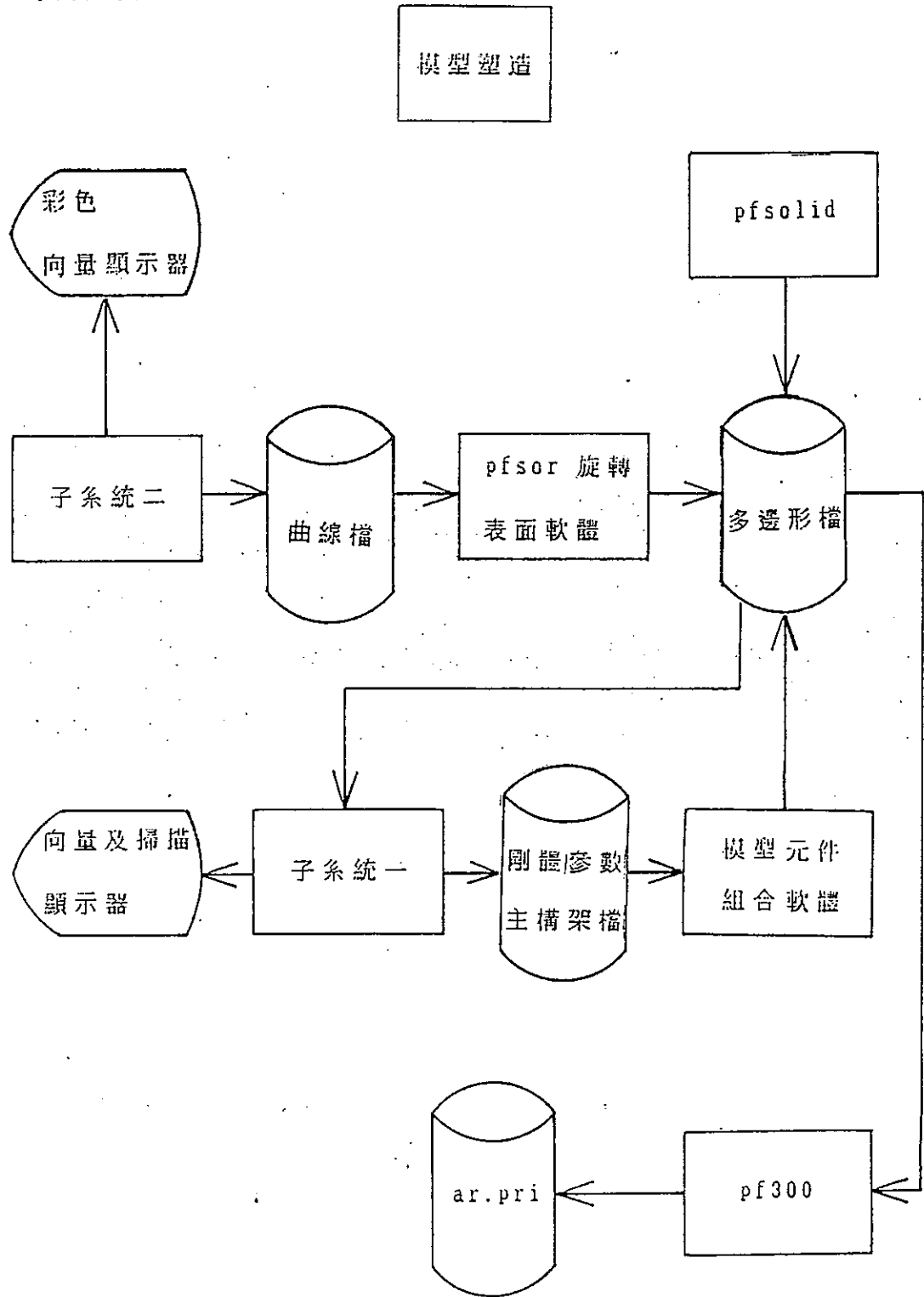


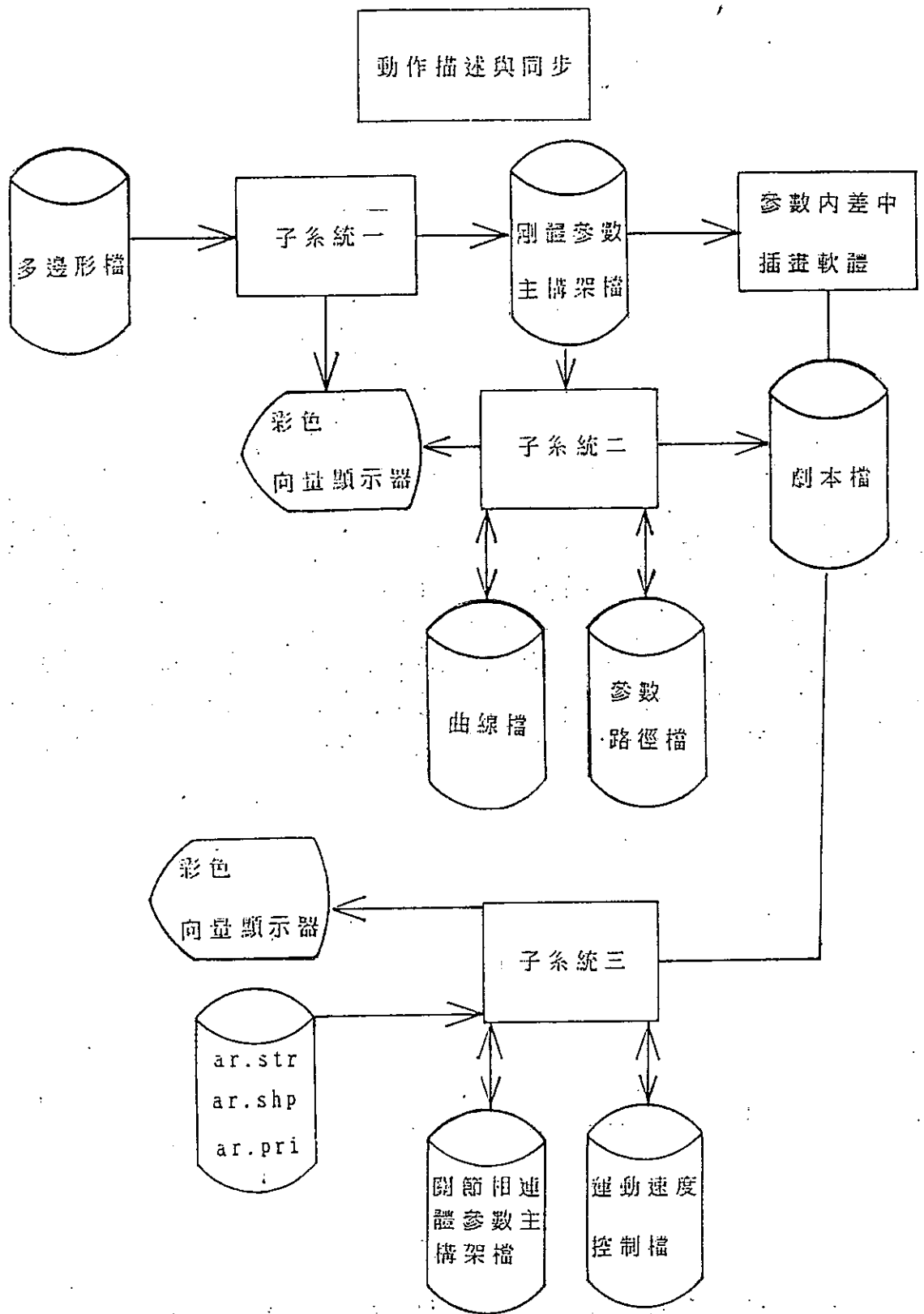
系統結構



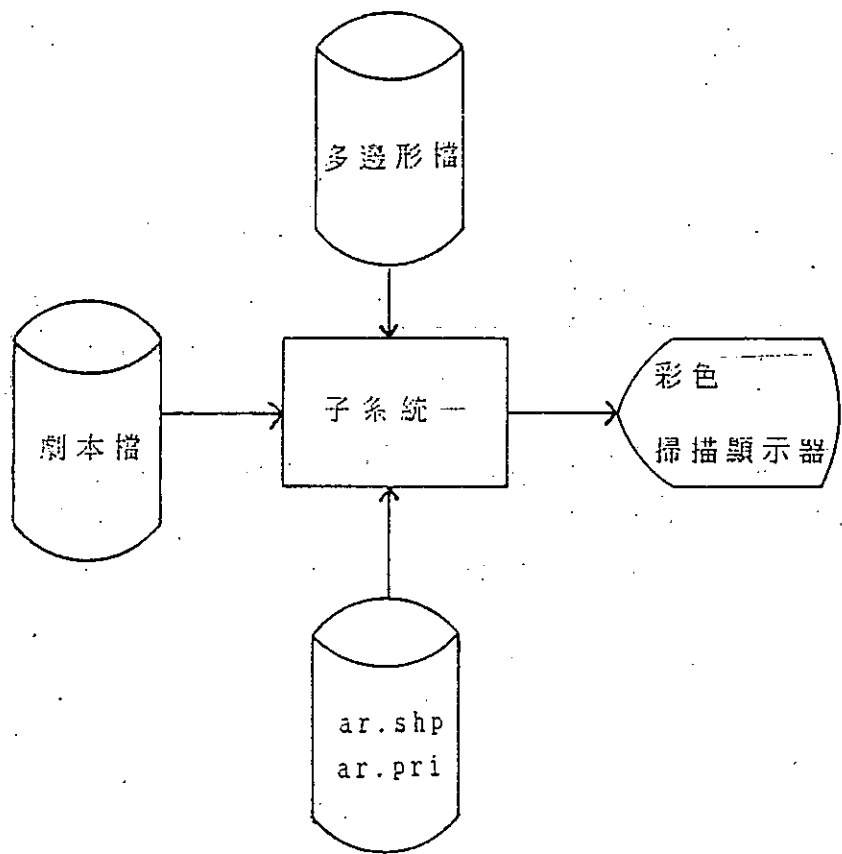


資料流程





真實影像表現



5.2 系統流程

1. 參數主構架的編輯(子系統一)功能圖:

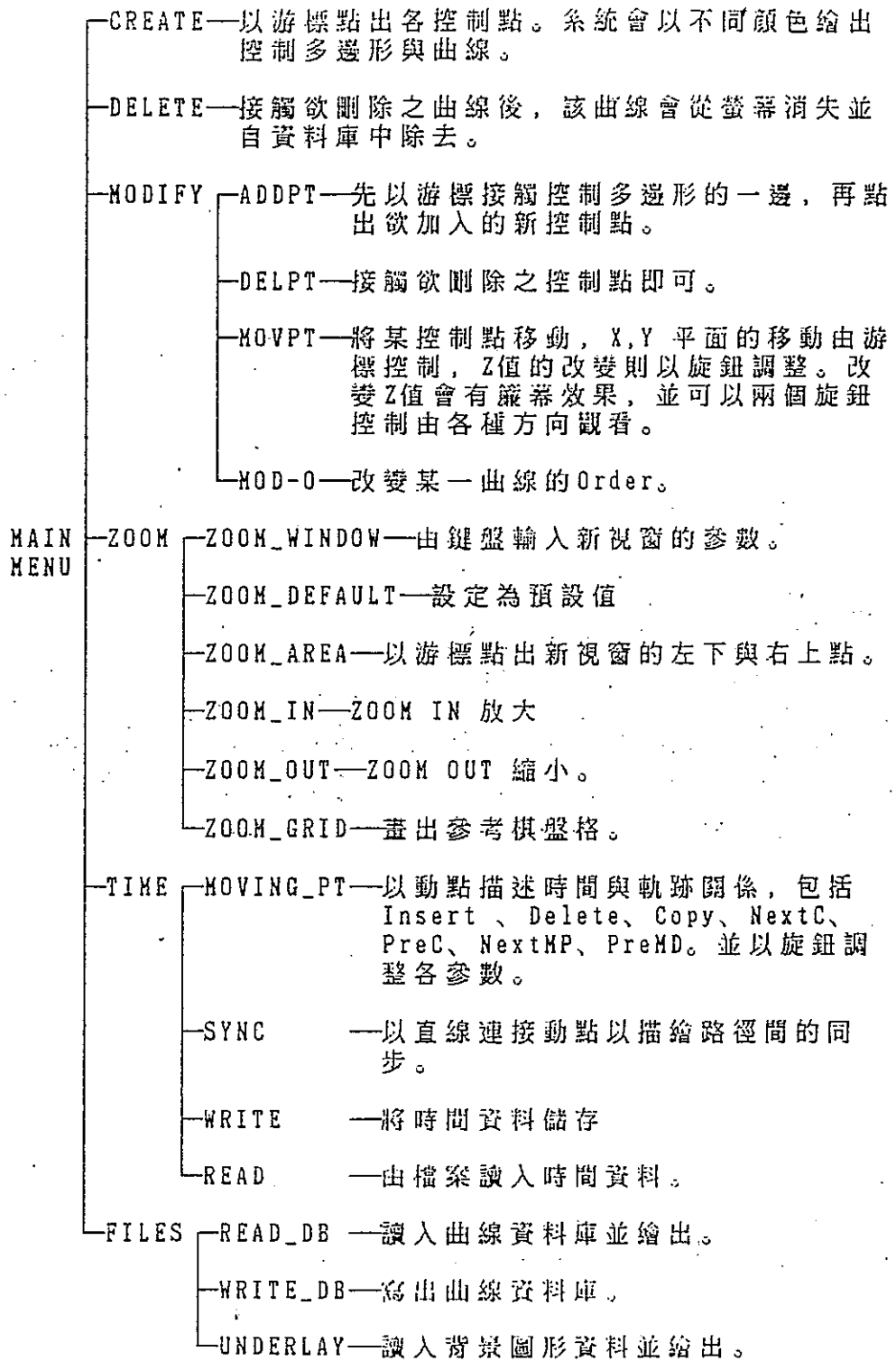
功能鍵	功能
F1:RENDER:	:以目前的參數值做真實影像的表現。
F2:ViewPort	:設定視區大小,有方形、最大、1/2、2/2、1/6、2/6、3/6、4/6、5/6、6/6共十種可供選擇。
F3:Rendering type:	可選擇的描影種類有HIDDEN、WASH、FLAT、SMOOTH、XSECTION、SECTION、BACKFACE、SAVE-SEC、SAVE-HL共9種。
F4:TOGGLE	:選擇顯示向量或描影影像。
F5:SAVE	:將目前所有參數值存於一檔案中得到一參數主構架。
F6:CLEAR	:將螢幕清除。
F7:Object Type	:設定物體為SOLID與SURFACE。
F8:READ	:由檔案中讀入一組參數值並設定好。
F9:Next Frame	:回應主電腦一個信號,表示拍攝完畢,可傳送下一組參數值來。
F10:RESET	:將所有參數設定成預設值。
F11:ON/OFF	:開關F12所選擇的物體。
F12:Objects	:有以下物體可供選擇以改變其參數:OBJ(使用者的所有物體)、OKAB(切割面)、SUN(光

源一)、MOON(光源二)、BACK(後切割面)、
 OBJ1C、OBJ1D(使用者的第一個物體)...、
 OBJnC、OBJnD(使用者的最後一個物體)。

對選擇物體的不同，8個旋鈕(DIALS)各有不同功用，列表如下：

	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8
OBJ	X-Trans	Y-Trans	Z-Trans	Scale	X-Rot	Y-Rot	Z-Rot	BackClip
PLAN	X-Trans	Y-Trans	Z-Trans	Scale	X-Rot	Y-Rot	Z-Rot	BackClip
SUN	Hue	Sat	Int	Scale	X-Rot	Y-Rot	Z-Rot	BackClip
MOON	Hue	Sat	Int	Scale	X-Rot	Y-Rot	Z-Rot	BackClip
BACK	Hue	Sat	Int	Scale	X-Rot	Y-Rot	Z-Rot	BackClip
OBJ1C	X-Trans	Y-Trans	Z-Trans	Scale	X-Rot	Y-Rot	Z-Rot	BackClip
OBJ1D	Hue	Sat	Diffuse	Scale	X-Rot	Y-Rot	Z-Rot	Specularp

2. 三維參數路徑同步描繪(子系統二)功能圖：



3. 關節相連體動畫(子系統三)功能圖：

	CREATE	—建立一個關節相連體的參數主構架。
	INSERT	—插入一主構架。
	DELETE	—刪除一主構架。
	COPY	—拷貝一主構架至不同位置。
MAIN	MODIFY	—修改一主構架
MENU	KINETIC	—以B-Spline曲線調整運動速度。
	PLAYBACK	—以線架構試看動畫效果。
	READ	—讀入主構架。
	WRITE	—儲存主構架。
	SCRIPT	—輸出可被子系統一接受做Rendering的劇本檔

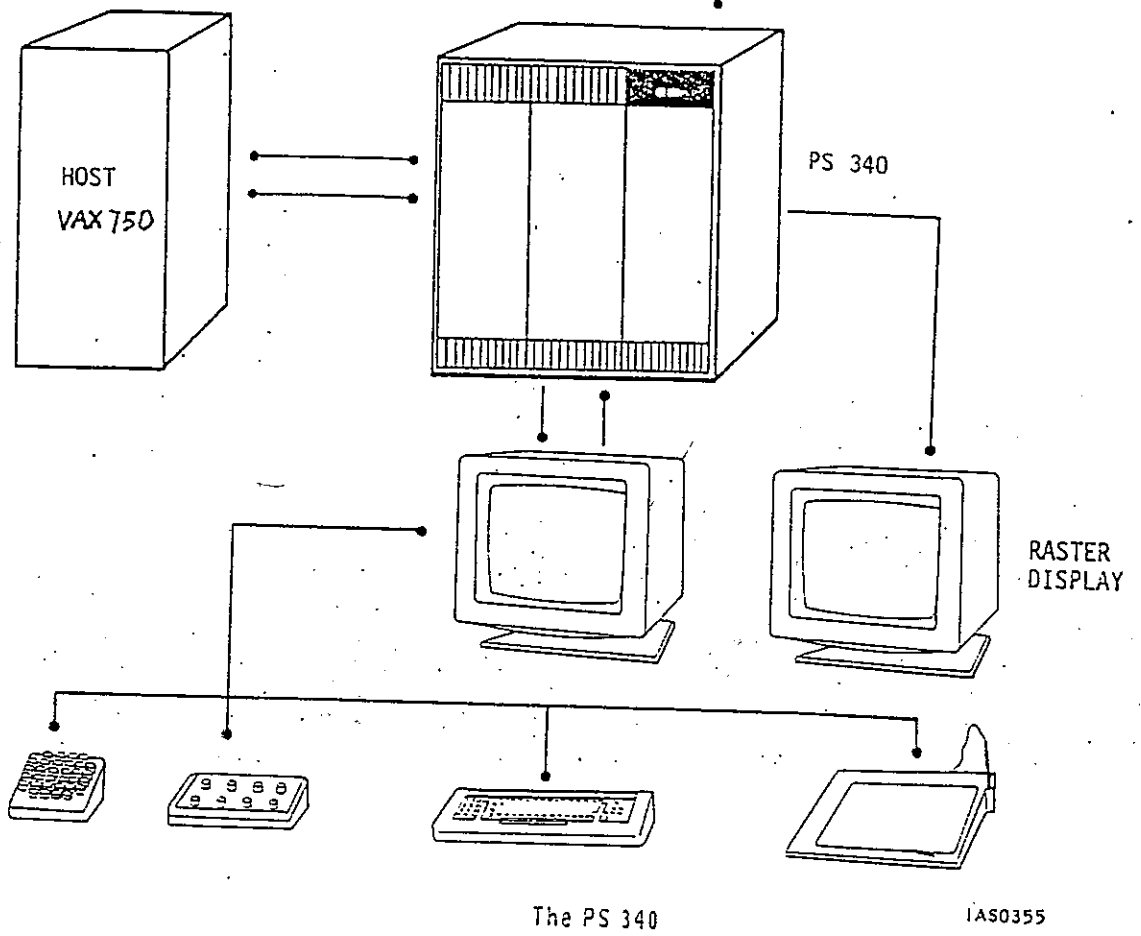
5.3. 軟硬體需求

硬體上我們架構於VAX-750與PS340繪圖工作站。

軟體上我們使用Ultrix作業系統、以E&S所提供之C語言的GSR (Graphics Support Routines)來使用PS300系統所提供的功能。

此外我們也用到美國海軍學院(usna)的部分軟體以輔助模型塑造。

子系統一是machine dependent。雖然我們為提高效率而在子系統二與三中使用許多ps 300的功能。但其基本精神仍可以其他儀器(如PC)表現。



第六章 結果與評估

6.1 結果

我們以一系列的彩色照片呈現我們研究的成果，並分別以文字說明講解。限於時間，我們並未展示所有功能。

6.2 評估

由照片上看來，三個子系統的結果都大致能符合我們當初設計的目標。但由於動畫效果無法只由靜態的圖片看出。而限於時間與設備，我們目前還未拍出影片。因此現在無法對我們的想法與系統做深入的評估。這些工作我們希望能在後續的研究中完成。

以下分別就三個子系統討論：

1. 參數主構架編輯系統（子系統一）

在模型塑造階段，此系統提供一觀察模型與設定模式描影屬性參數值的實用工具。它也可用來安排多個物體的位置與方向，組合後得到單一物體模型。

在動作描述階段，此系統可用來獲取剛體的參數主構架。這些主構架可直接內差得到動畫或供子系統二及演算法動畫系統參考。

在影像表現階段，此系統可做為一動畫描影系統。由第三章的資料可知 PS 390 的描影功能頗強，且其速度也不是一般軟體能

比。

此系統不但應用廣，且對未來的發展也是個實用的工具。

2. 三維參數同步路徑描繪系統（子系統二）

此系統的二維與三維 B-Spline 曲線編輯能力可用於模型塑造。加入描繪制約動點後更可在動作描述與同步階段提供一個很有力的工具。在許多應用中，這種視覺系統很明顯的優於演算法系統。在一個動畫系統中，我們相信應包含此種視覺系統以供使用者選擇。

3. 關節相連體動畫系統（子系統三）

在關節相連體中，有關人體的動畫研究最多。早期系統以電子裝置附著於人體上感應動作（圖 6.1），此法雖很直接，但需要額外設備，且使用者無法做的動作就不能輸入，因此應用很有限。

GRAMP 系統 [55] 中（圖 6.2），使用者以旋鈕輸入人體主構架中每個關節的旋轉參數，這種方式不易控制且很費時，且其直接內差旋轉參數得到中插畫的計算法會有我們在 4.4 節中提到的一致問題。

另有系統以命令方式輸入參數，或修改前一組主構架的參數來得到新的主構架 [2]（圖 6.3），這種系統仍有 GRAMP 系統缺點。

上述三種方法都屬於引導（Guiding）層次，在程式與任務層次中雖然也有許多研究（參考 2.2 節），但引導層次仍有許多其他二者無法取代的優點，例如使用者需具備的知識較少、使用者可

控制量較大故較有創造性、速度通常較快、較有彈性等等。

在我們製作的系統中，關節相連體結構模型的塑造所需資訊很少，只要各連結的長度及相對關係與位置（在動力系統中需要質量及其他物理性質、在任務層次的系統則要動作性質等許多相關知識），結構模型是以一樹狀層次表示，任意關節相連體（各種動物、機械、甚至植物等）都可輕易建立模型。

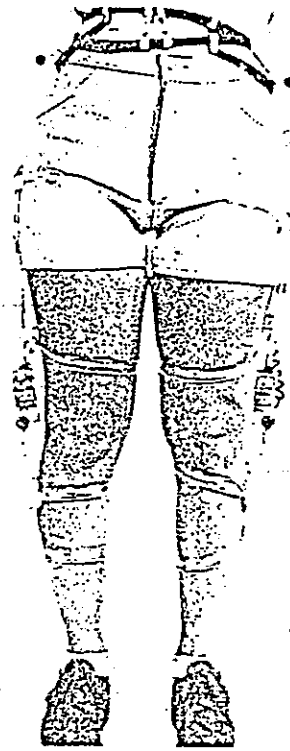
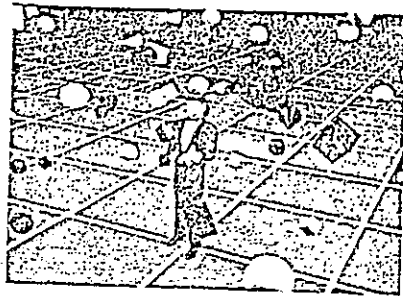
對動作的描述，我們採參數主構架法（導引層次），使用者能透過類似漫畫家繪製草圖的方式輸入三維參數主構架，可以很容易被傳統卡通動畫家所接受。對於一般使用者也可藉圖片輕易輸入主構架。

中插畫的產生是以一種能得到較合理結果的方式來計算。對運動速度的控制則以雙重內差法另外調整。

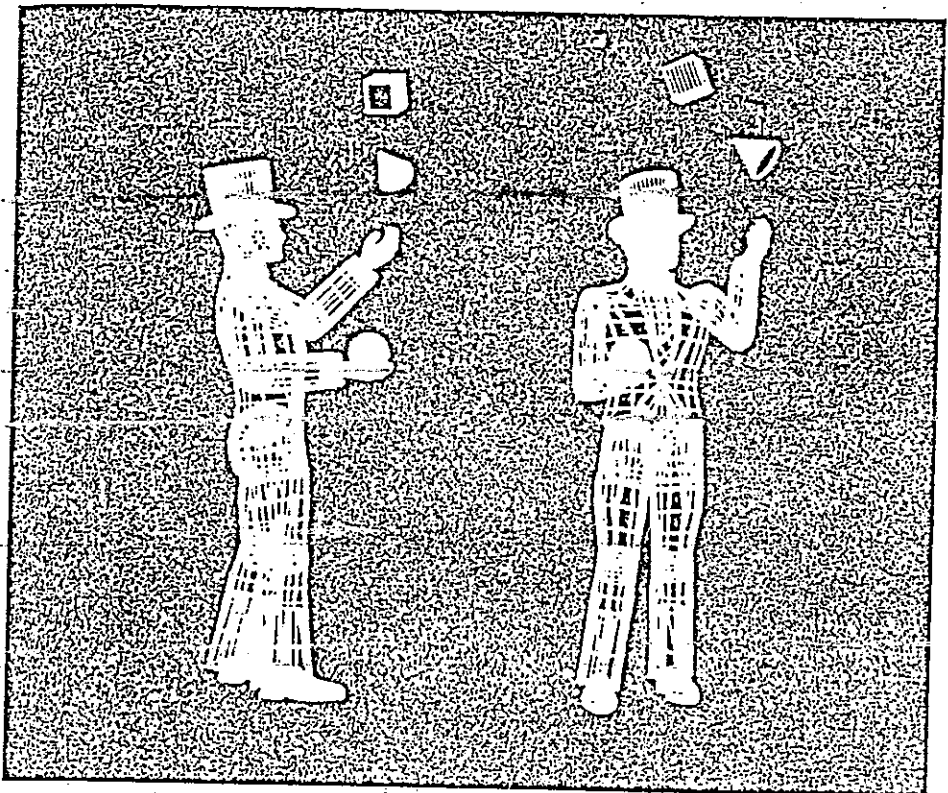
雖然我們使用的體積模型很粗糙，但已有相關研究〔56〕可由線條模型建構表面模型，結果很逼真，因此這不是問題。

如果這個系統能依我們的規劃製作完整，相信會是個很實用的系統。可應用於電腦教學、娛樂、研究發展等。

圖 6.1 以電子裝置輸入人體動作



Electrogoniometers attached to the knee joints, providing direct kinematic input.

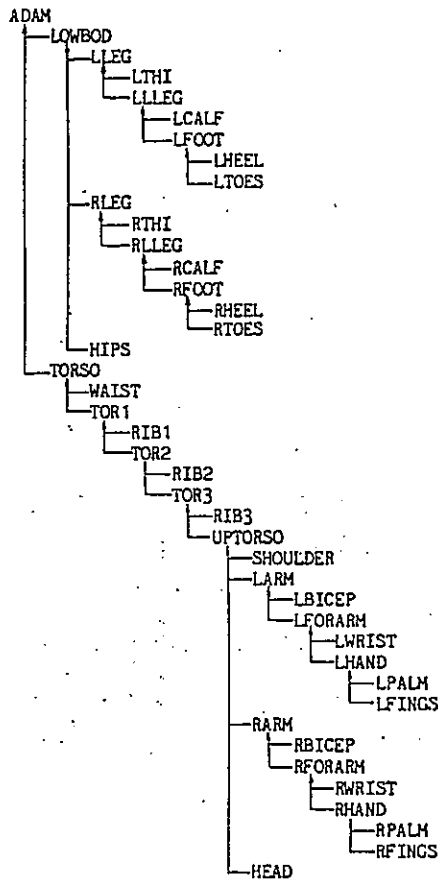


This is the wire frame substructure of the Juggler model, which was created from a digitization of a live model. (Courtesy of Information International, Inc.)

圖 6.2

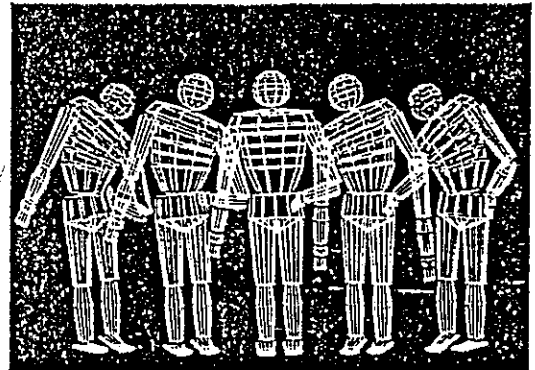
GRAMP系統 [55] 以旋鈕調整人體主構架的關節參數

Diagram of the nested tree structure of ADAM's parts.



```

ROTATE TORSO Z -1500<D4<1500
ROTATE TOR1 Z -1500<D4<1500
ROTATE TOR2 Z -1500<D4<1500
ROTATE TOR3 Z -1500<D4<1500
ROTATE SHOULDER Z -1500<D4<1500
ROTATE LOWBOD Z -1500<D4<1500
ROTATE RLEG Z -1500<D4<1500
ROTATE RLEG X 0<D4<1500
ROTATE RLLEG X -2000<D4<0
ROTATE LLEG Z -1500<D4<1500
ROTATE LLEG X 0<D4<1500
ROTATE LLLEG X -2000<D4<0
ROTATE RFOOT X 14384<D4<16384
ROTATE RTOES X 0<D4<1500
ROTATE LFOOT X 14384<D4<16384
ROTATE LTOES X 0<D4<1500
    
```



Five positions of ADAM showing his independent segments. The sequence emulates the shifting of weight from one leg to the other. The two extreme positions were generated using a dial template macro VERB. The intermediate positions were interpolated from the two SAVED extremes.

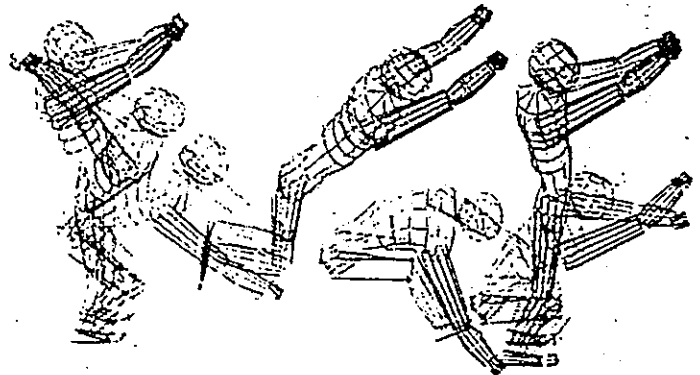
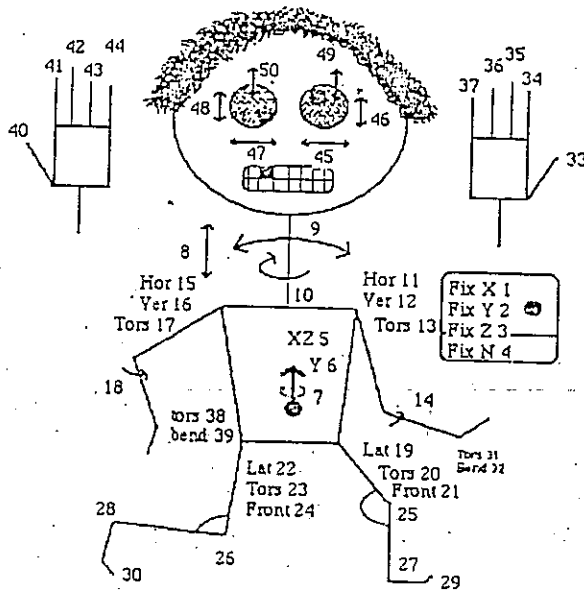


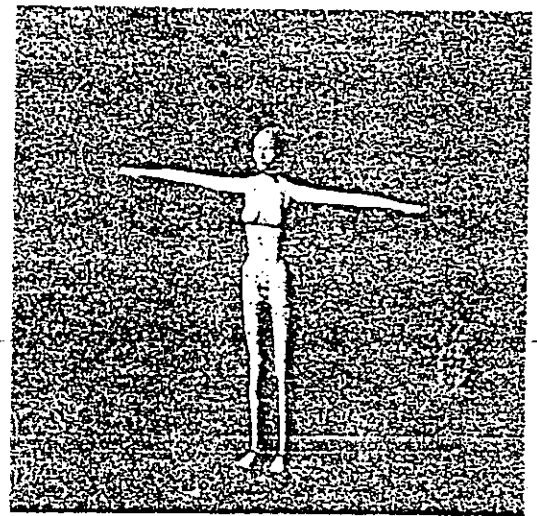
圖 6.3 以命令修改人體參數主構架的系統 [2]

- | | |
|--------------------------------------|---------------------------------|
| [1] create a new sequence | [2] modify the current sequence |
| [3] read a sequence from a file | [4] write a sequence on a file |
| [5] interpolate the current sequence | [6] show the inbetweens |
| [7] create wire-frame figures | [8] show the current sequence |
| [9] create the dimensions of a human | [10] show the body points |
| [11] horizontal correction | [12] move a key-position |
| [13] add a key-position | [14] remove a key-position |
| [15] terminate the session | |

The BODY-MOVING commands in the main menu

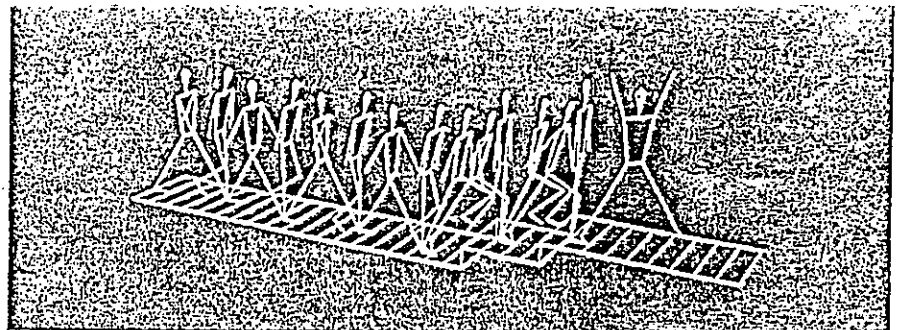


The joint angles



A surface body

Walk: Key-values



Walk: Key-values and inbetweens

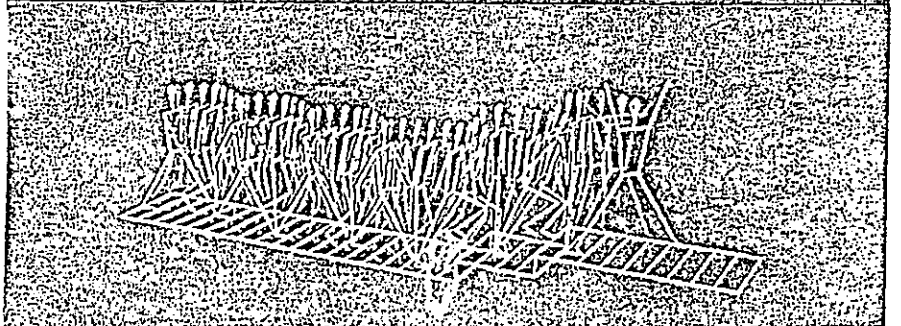
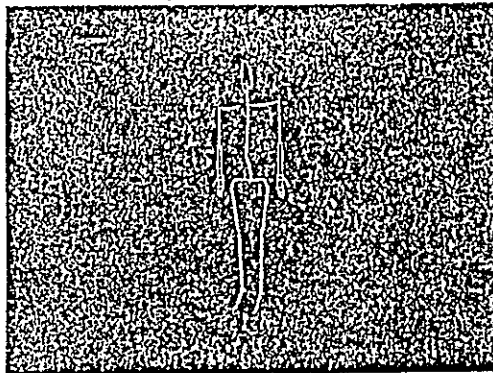
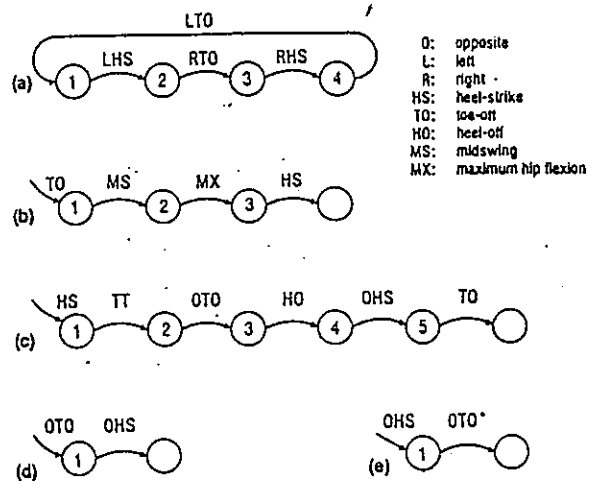
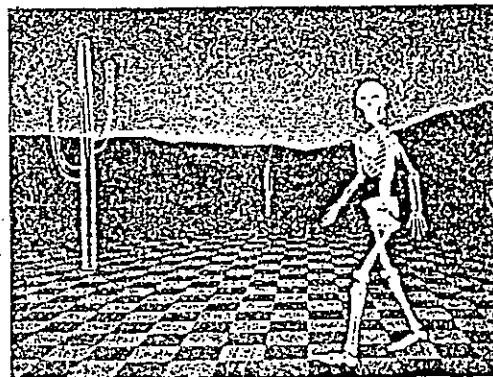


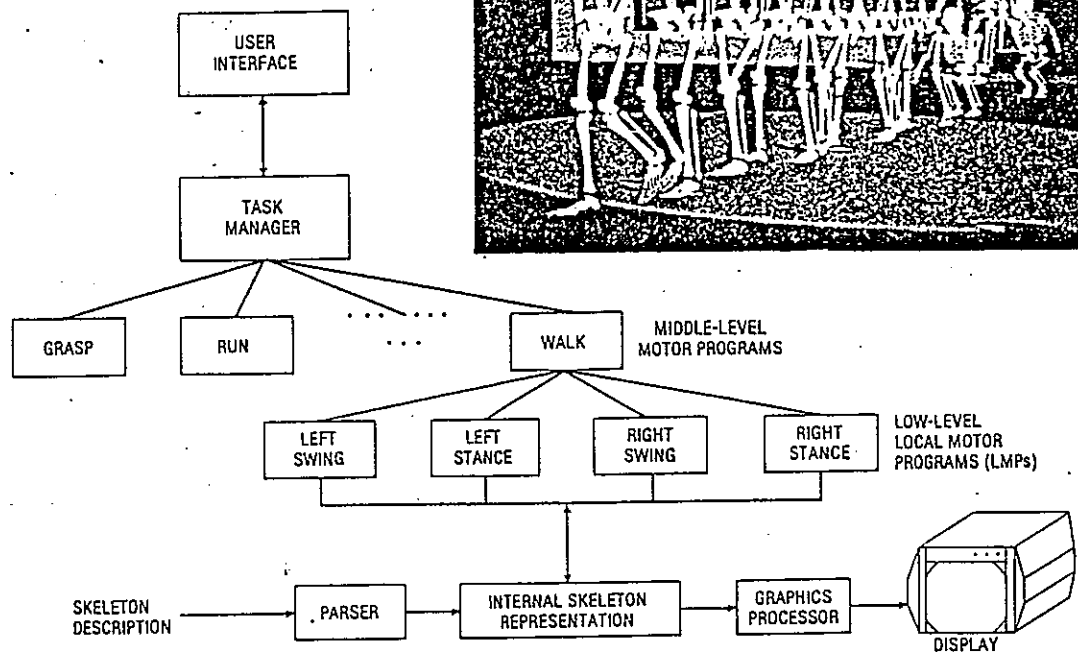
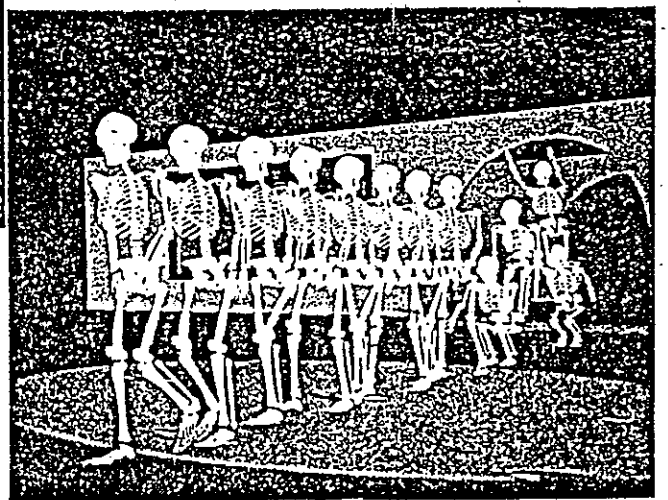
圖 6.4 Task Level 的人體動畫系統



Simplified human skeleton in the rest position generated by the skeleton animation system on a vector display.



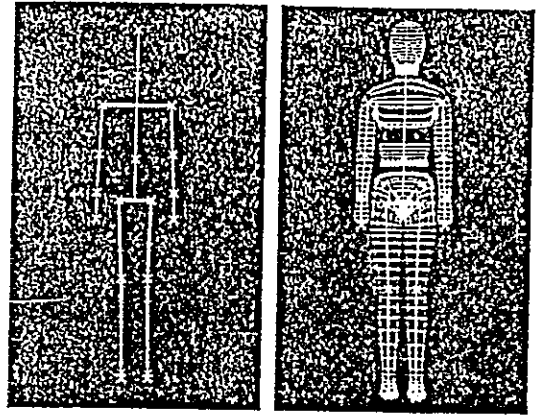
Finite-state diagrams for walk controller motor program and LMPs—motor program for the walk controller (a); swing LMP (b); stance LMP (c); forward arm-swing LMP (d); and rearward arm-swing LMP (e).



Skeleton animation system including walk controller.

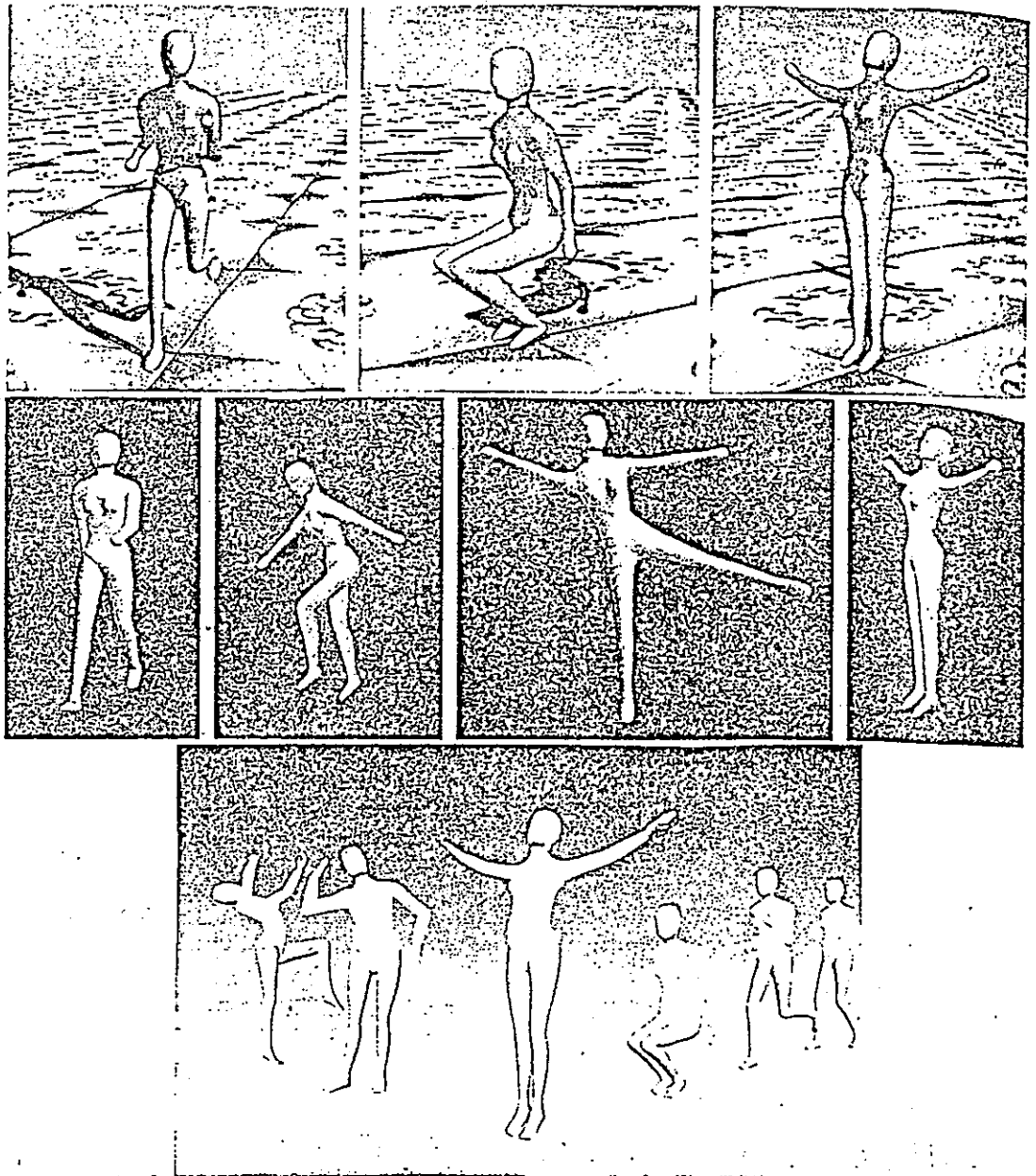
圖 6.5

相對線條模型的人體表面模型 [56]

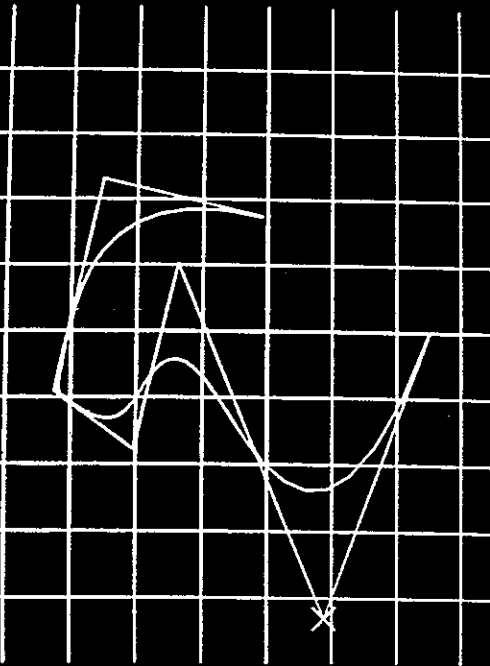


A stick figure of the human body

The arrangement of Bézier surfaces

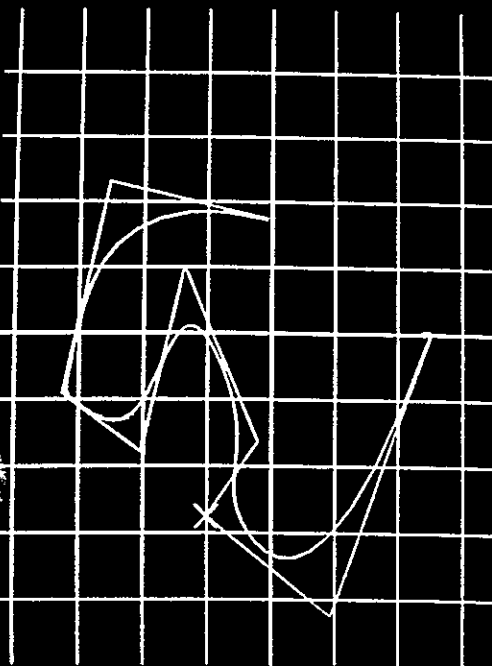


Default Handle : 1.000 1.000 1.000 1.000
Zoned Handle : 1.000 1.000 1.000 1.000
Pen : 0.00000 0.00000
Z Value : 2.0000 1 Order : 4



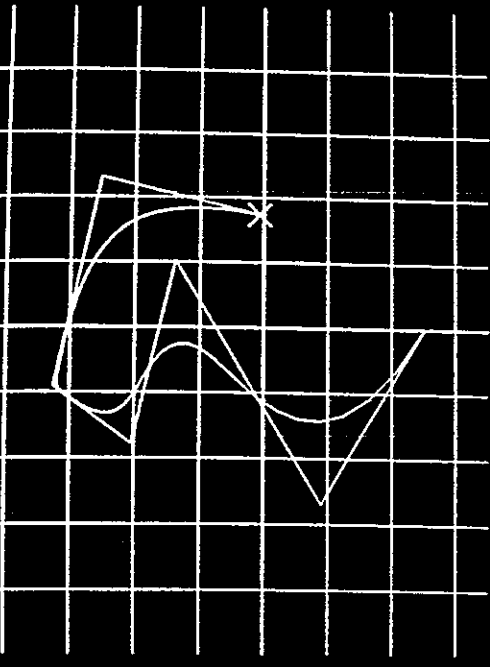
Move point to new position

Default Handle : 1.000 1.000 1.000 1.000
Zoned Handle : 1.000 1.000 1.000 1.000
Pen : 0.00000 0.00000
Z Value : 2.0000 1 Order : 4



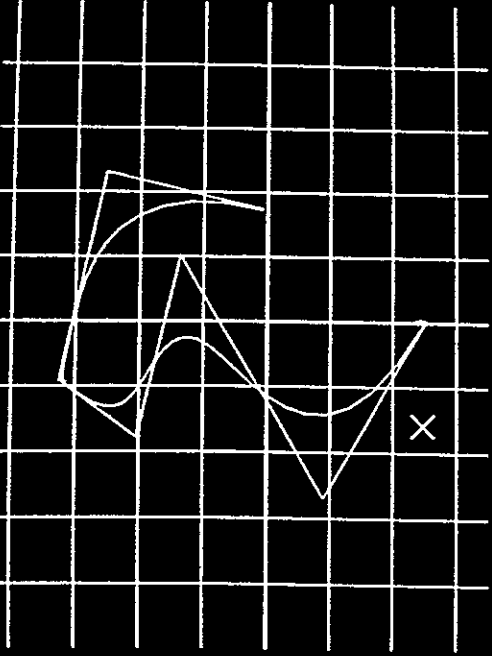
Identify line segment for new point

Default Handle : 1.000 1.000 1.000 1.000
Zoned Handle : 1.000 1.000 1.000 1.000
Pen : 0.00000 0.00000
Z Value : 2.0000 1 Order : 4



Create the desired line

Default Handle : 1.000 1.000 1.000 1.000
Zoned Handle : 1.000 1.000 1.000 1.000
Pen : 0.00000 0.00000
Z Value : 2.0000 1 Order : 4



Add Pt Del Pt Move Pt Z Value Order

1. 以三維參數同步路徑描繪系統 (子系統一) 交談式處理 B-

spline 曲線：

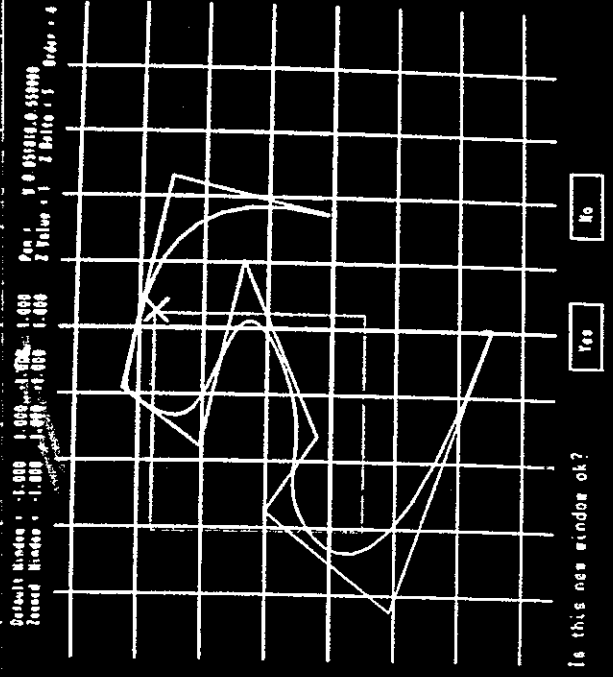
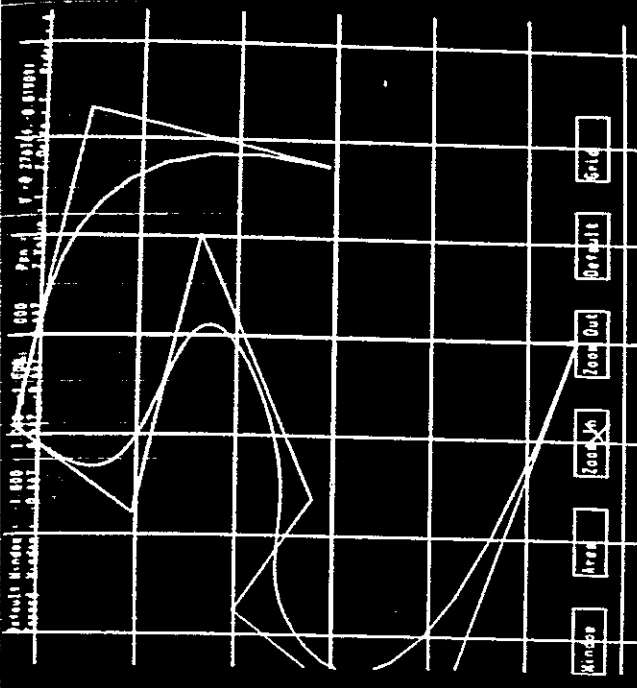
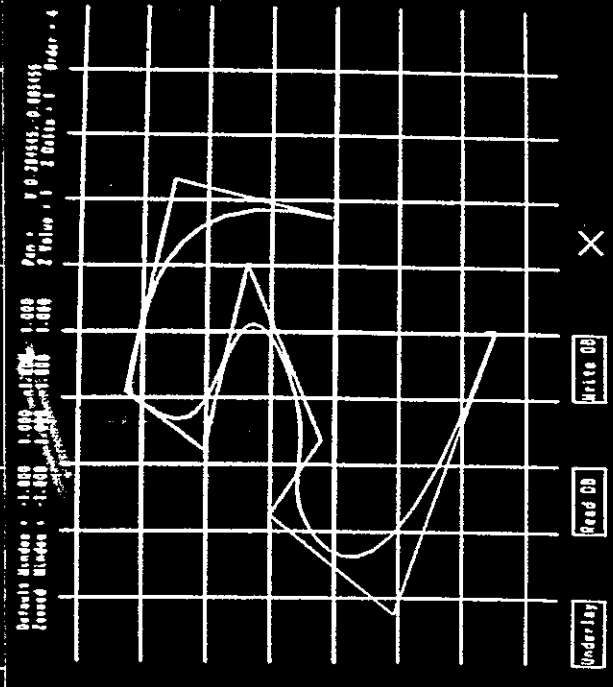
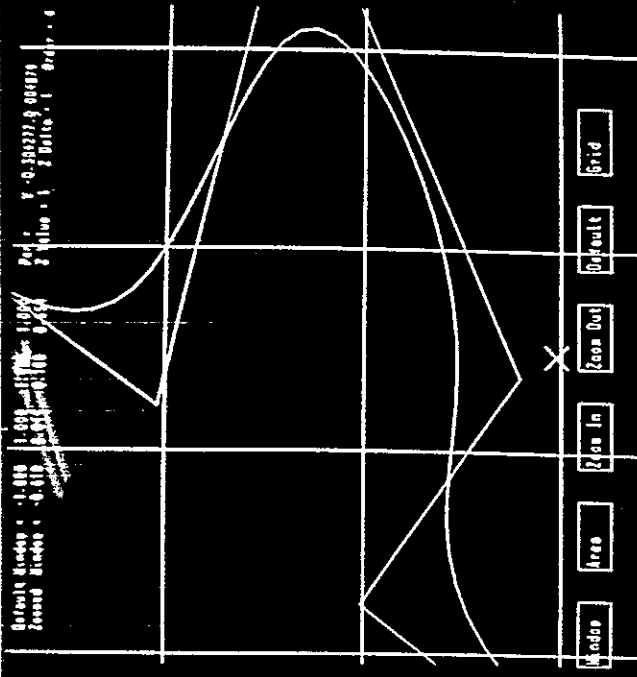
a. Create：由數位板點出 B-spline 曲線的各控制點，系統將控制多邊形、曲線及參考棋盤格分別以不同顏色繪出。

b. Modify：在修改功能之下，“Add Pt”增加新控制點，“Del Pt”刪除控制點，“Mov Pt”移動控制點位置，“Order”更改

B-Spline 曲線的 Order。

c. Modify：Mov Pt：首先系統要求指出要移動的控制點，使用者將游標置於某控制點上，壓下按鈕以選擇該控制點，該點將隨游標移動，控制多邊形與曲線的局部 (B-Spline 曲線的特性之一) 會跟著改變。將游標移到新位置後第二次壓下按鈕即完成修改。

d. Modify：Add Pt：首先以游標選控制多邊形中欲加入控制點的線段，系統會在該線段兩端的控制點間加入由使用者壓下按鈕所決定的新控制點。在圖例中我們共加入兩個新控制點



2. 續前：

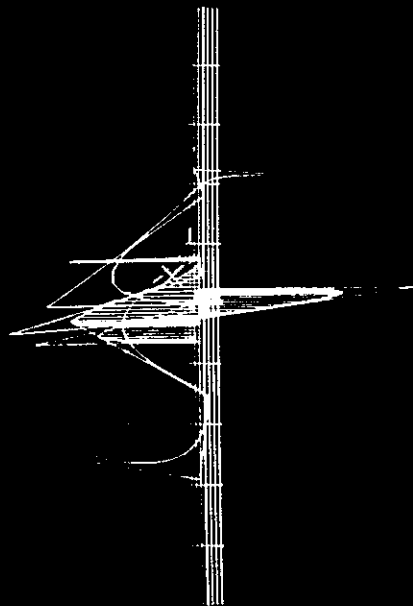
- a. Zoom：選擇 "Zoom In" 會使圖形以預設的 1.5 比例放大，螢幕左上角的 Zoomed Window 值由預設的 X、Y 分別由 -1.0 到 1.0 改為由 -0.667 到 0.667。
- b. Zoom：Area：區域放大，由數位板點出欲放大矩形區域的左下與右上兩個頂點，系統繪出此矩形並詢問使用者是否正確。
- c. 系統取包含此矩形的最小方形來放大，左上角的 Zoomed Window 值顯示視窗的改變。
- d. Files：檔案處理包括："Underlay" 讀入標準三維背景資料並繪出以供參考，"Read DB" 讀入曲線資料庫加入目前資料庫並繪出，"Write DB" 將目前資料庫寫出。

3. 子系統二用於製作三維曲線的應用：攝影機移動路徑的描繪。

a. 首先設計攝影機移動路徑的 X、Y 平面圖，我們假設欲觀察的物體置於中心點稍上方，攝影機由曲線下方的端點起，先接近物體，再依逆時鐘方向繞物體旋轉，最後由物體上面經過。攝影機的方向（由參考點決定）可假設為朝向物體（即 interesting point 與物體位置同）。

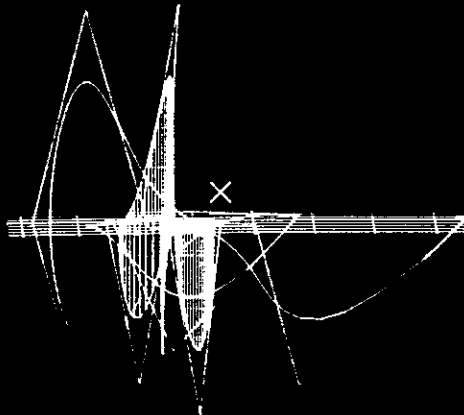
b. c. d. 路徑的移動是三維的，因此在 "Mov Pt" 中，我們利用游標移動某控制點在 X、Y 平面的位置，同時也可由旋鈕來調整該控制點的 Z 值，螢幕效果可幫助使用者瞭解三維曲線的形狀，有兩個旋鈕可調整由不同角度來觀察曲線。系統的其他功能（如增加、刪除控制點，放大等）不會因曲線的 Z 值改變而失效。

Original Image: 1 000 1 000 1 000 1 000 Pen: 1 0 00111 0 10000
 Janned Image: 1 000 1 000 1 000 1 000 Z Value: 3 Z Delta: 1 Delta: 1



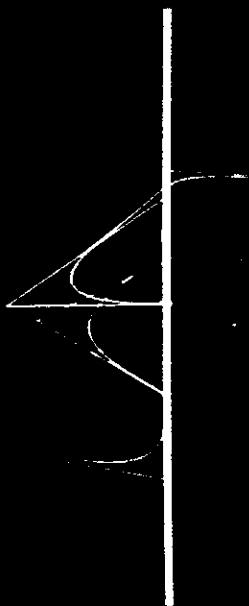
Have point to see position

Original Image: 1 000 1 000 1 000 1 000 Pen: 1 0 00111 0 10000
 Janned Image: 1 000 1 000 1 000 1 000 Z Value: 3 Z Delta: 1 Delta: 1



Have point to see position

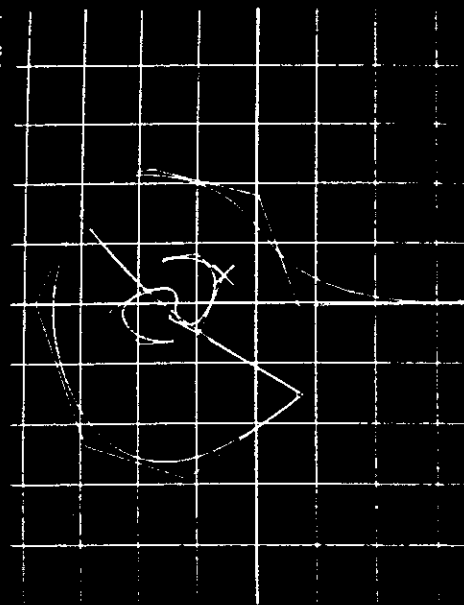
Original Image: 1 000 1 000 1 000 1 000 Pen: 1 0 00111 0 10000
 Janned Image: 1 000 1 000 1 000 1 000 Z Value: 3 Z Delta: 1 Delta: 1



X

Have point to see

Original Image: 1 000 1 000 1 000 1 000 Pen: 1 0 00111 0 10000
 Janned Image: 1 000 1 000 1 000 1 000 Z Value: 3 Z Delta: 1 Delta: 1

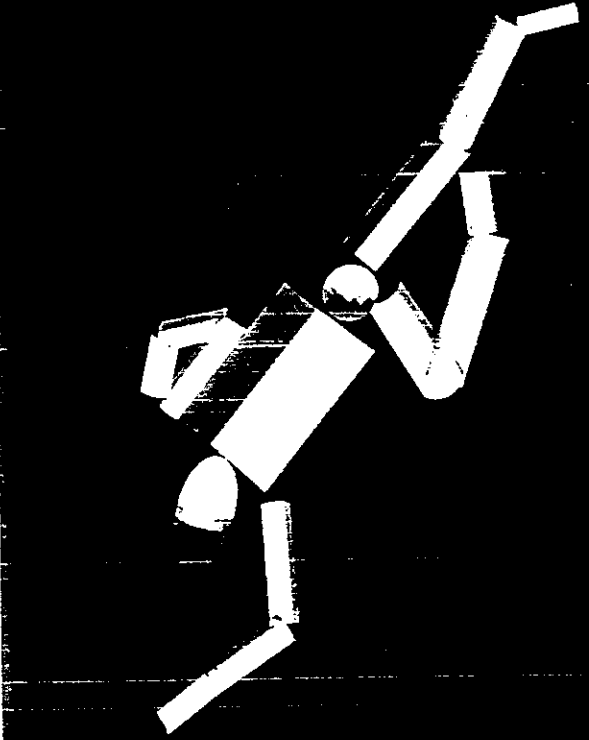


Have point to see position

4. 續前：

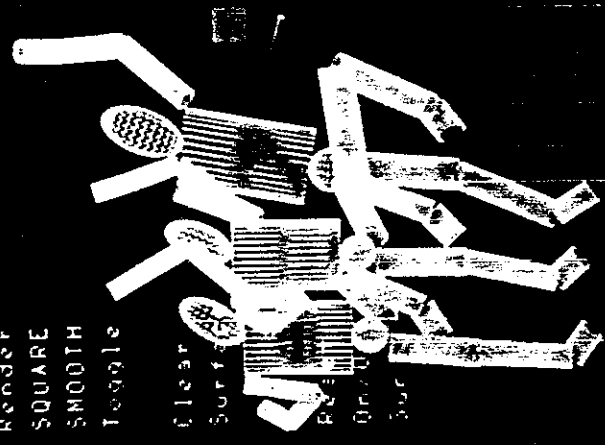
- a. 控制點移動完畢後的側視圖。
- b. 如果我們希望物體在攝影機移動的同時也有動作則可以另一條曲線來描繪。圖形中央顯示此一新建曲線。
- c. d. 調整物體路徑的 Z 值並由不同角度觀察。

註：依我們的設計，使用者還要能以 Moving Point 來描繪移動速度，並以直線連接各曲線上某一動點來表示路徑間同步，此外還有曲線上其他參數的控制。限於時間，目前尚未製作。但使用介面與製作方法已規劃好，若要製作不會有太大困難。



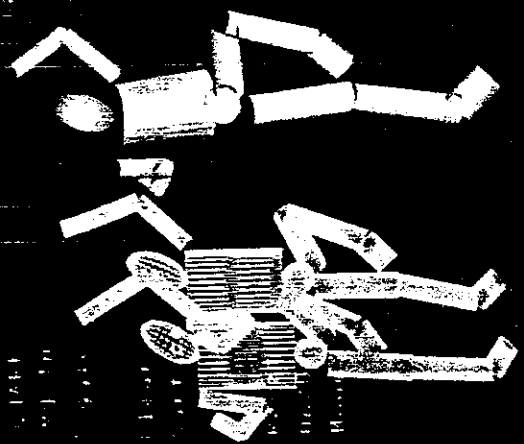
- 1 Render
- 2 SQUARE
- 3 SMOOTH
- 4 Toggle
- 5 Clear
- 6 Surface
- 7
- 8
- 9
- 10
- 11
- 12

- 1 HUE
- 2 SAT
- 3 INT
- 4 SCALE
- 5 R-rot
- 6 Y-rot
- 7 Z-rot
- 8 BackClip



- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- 6
- 7
- 8
- 9
- 10
- 11
- 12

- 1 HUE
- 2 SAT
- 3 INT
- 4 SCALE
- 5 R-rot
- 6 Y-rot
- 7 Z-rot
- 8 BackClip



5. 參數主構架編輯系統 (子系統一) 的應用 :

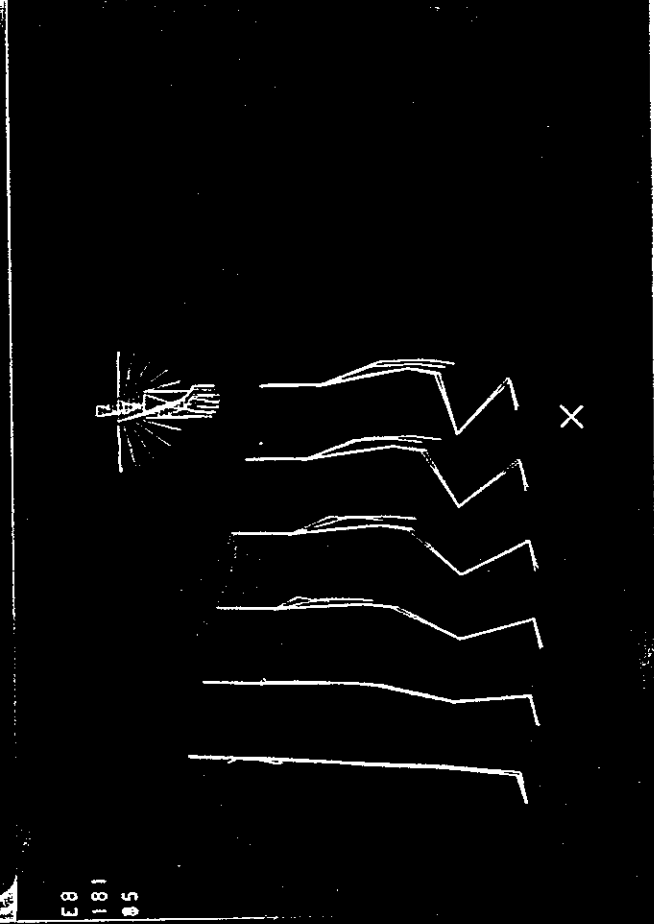
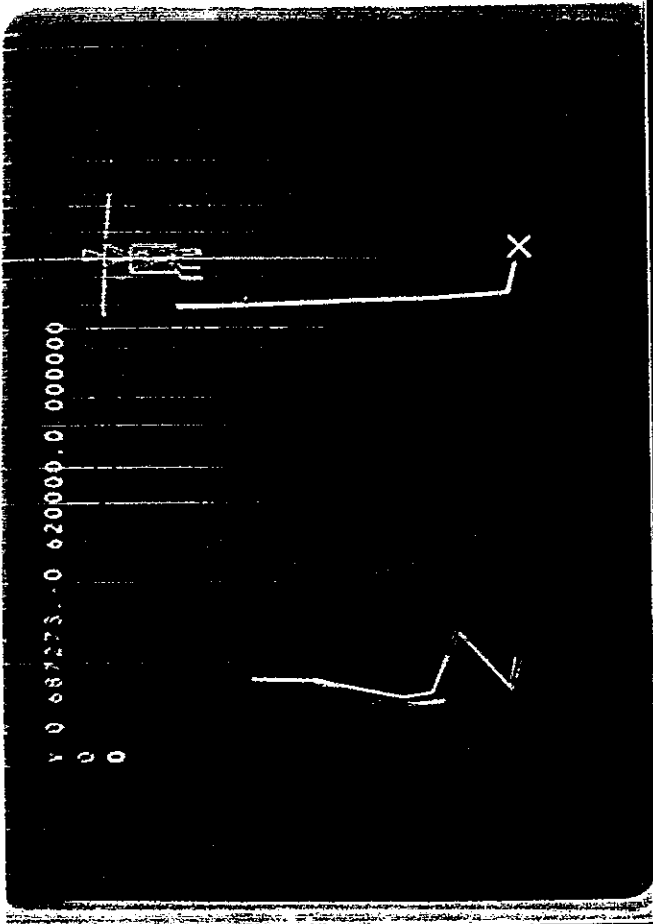
a. 物體來源是由子系統三所產生的關節相連體，這裡有三個物體，各為一由15個連結所組成的人體。左方文字說明12個功能鍵的功用。右方文字則顯示8個旋鈕的作用，依功能鍵12所選擇物體的不同會不同功用。對光源 Sun 可調整其顏色 (h, s, c) 及方向 (x, y, z)。調整顏色時，中心點右上方的四方形彩色區域會即時顯示顏色變化，調整方向時，由中心點射出的白線會指向光源方向。參數調整完畢後，按下F1即可開始做影像表現，對本例中的物體約需5秒即可完成 Rendering。

b. 描影完成後，只要按下F4即可回到交談畫面，若對影像不滿意可調整各參數後再做 Rendering，最後可將這些參數儲存得到一個參數主構架以供其他應用。

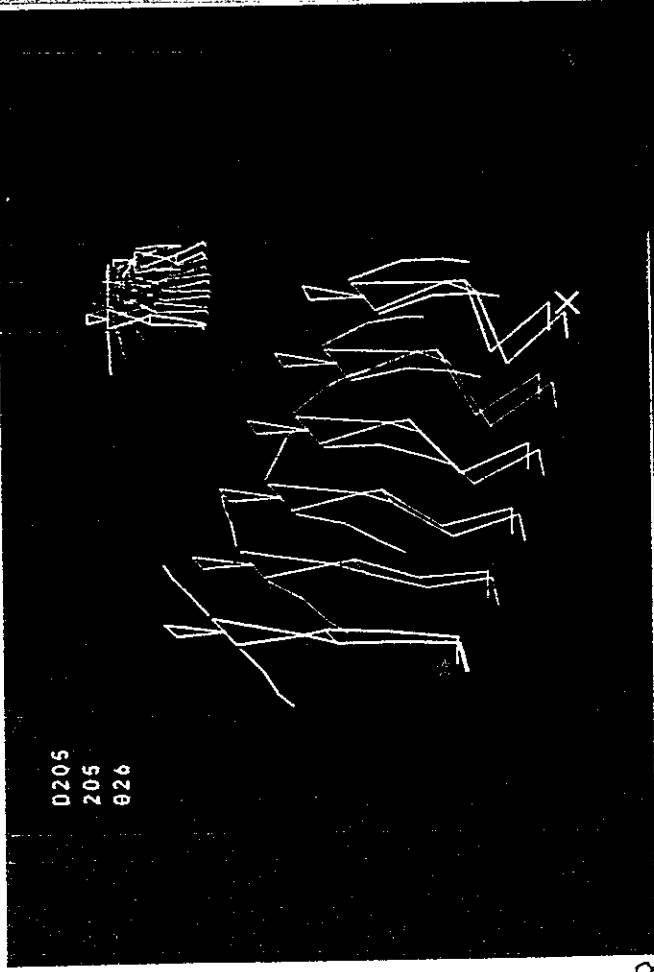
c. d. 以不同參數 (光源方向、顏色 (h, s, i), 背景顏色、物體位置、方向、大小) 對相同物體做 Rendering。

註：此系統也可接受一劇本檔，對劇本中每一畫面的一組參數 (包括所有與前一畫面不同的參數) 改變相關參數後做 Rendering, 待使用者拍攝完成後按下功能鍵以讀入下一組參數。

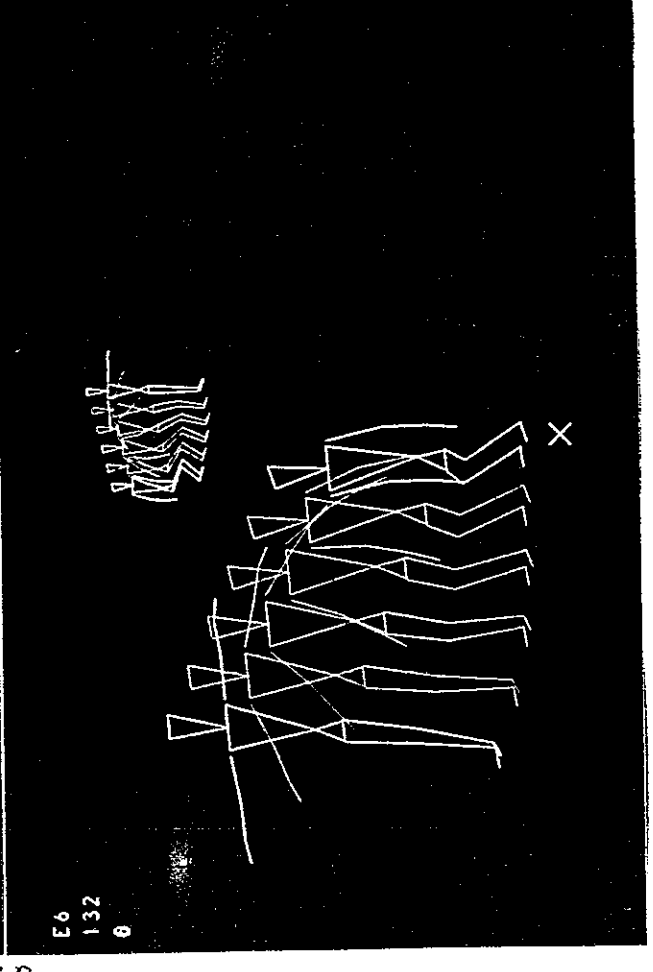
部份已規劃與設計好的功能因限於時間而尚未製作。



E8
 181
 05



0205
 205
 026



E6
 132
 0

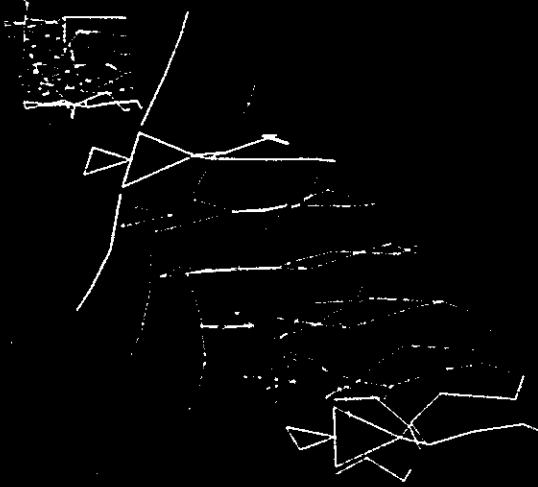
6. 關節相連體動劃系統（子系統三）之應用：人體動劃。

a. 這裡顯示人體的兩個參數主構架，右上角的兩個是側視圖，輸入主構架的步驟與過程在 4.4 節中有詳細說明。輸入裝置為數位板與旋鈕，利用我們所提出的三維骨幹線技巧，漫畫家可以類似傳統繪製骨幹線的方式輸入三維主構架。一般使用者也可利用分解動作圖片（許多運動書籍都有）輸入很逼真的關節相連體參數主構架。

b. c. d. 由前後兩個參數主構架，以我們在 4.4 節中提出的特殊內差方式可得到較一般直接內差參數所得結果更合理的中插畫。這裡由各不同角度觀察同一組中插畫。每張圖片右上角為側視圖。

V O 804875.0 071459.0 595617

40
83



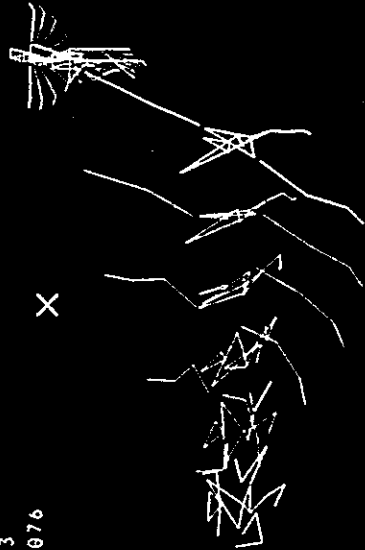
061
61
0

X



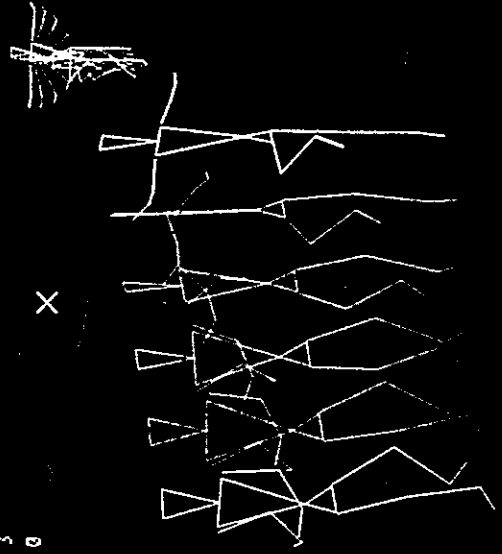
E-76
3
076

X



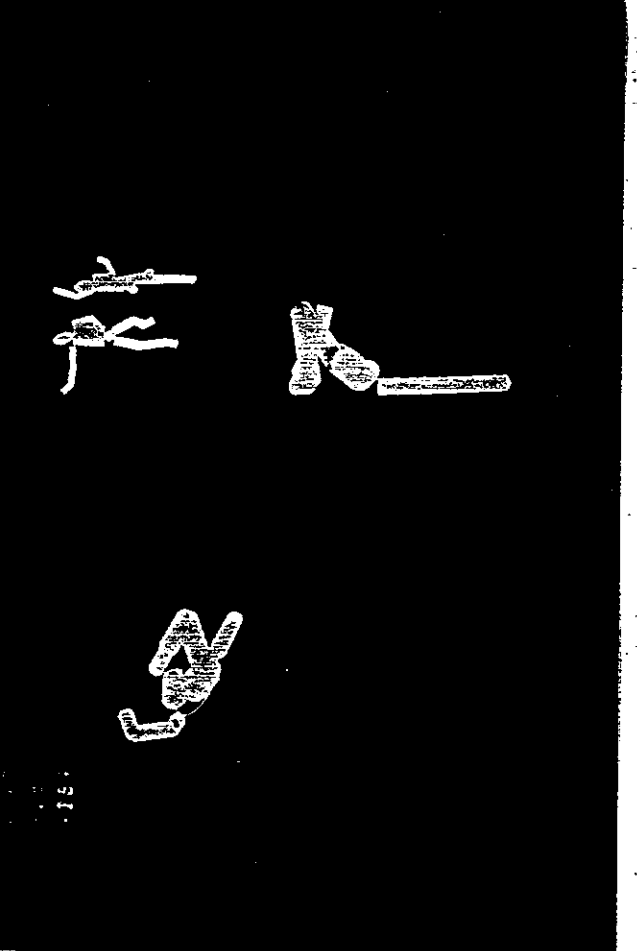
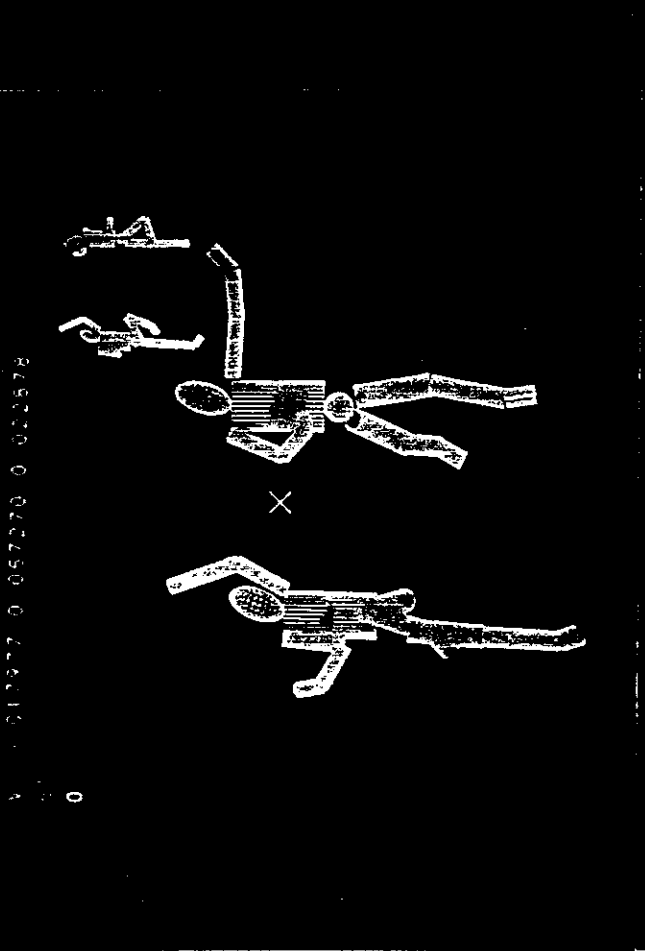
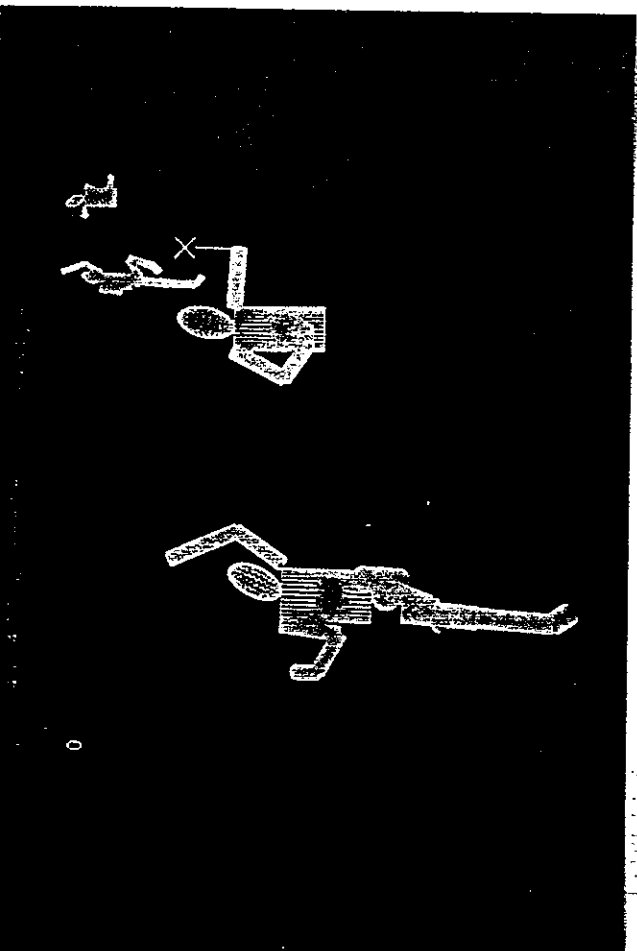
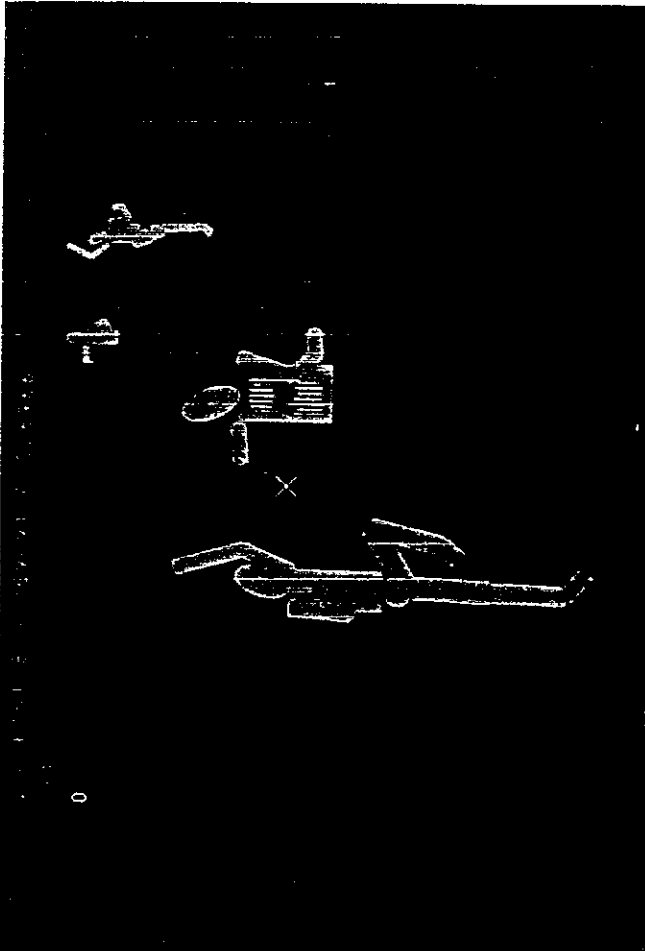
D3
3
0

X



7. 續前：本頁顯示另一組參數主構架與中插畫。對只有兩個自由度的連結(圖中人體的線條形手腳連結)，其連結終點相對於起點所畫過的弧不超過半圓(旋轉小於180)。但對三個自由度的連結(三個三角形)，其第三個自由度(對連結中心軸的旋轉)是由旋鈕另外調整，其旋轉度數可為任意值(旋轉度數可顯示以供參考)。在本例中，人體上身的旋轉約為150度。這裡因使用平面三角形表示三個自由度的連結而不易辨別正反面，如要修改只需更動 ar.pri 連結元件檔中的三角形原件。以更改為三角錐為例，只需三行命令多畫三條線即可。

依我們的設計，使用者要能以畫面驅動方式(與子系統一同)做建立、刪除、修改、拷貝、讀寫等功能，並以一條 B-Spline 曲線利用 2.3 節中提到的雙重內差法調整多個主構架間的運動速度，再利用 PS300 快速處理向量轉換的能力觀看線架構的即時動畫。因限於時間而未完成。



8. 續前：由前面的線條模型改為本頁的體積模型僅需將 ar.pri. 原件檔中的線段與三角形原件分別改為圓柱與球即可。圖中代表頭的橢球是在 ar.shp 外形檔中將球 scaling 而得。

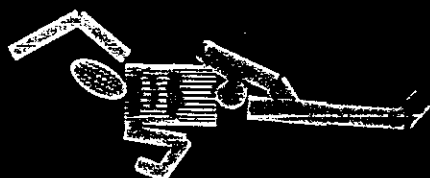
a. 本圖顯示輸入第二個主構架的中間過程，各連結輸入的順序是由 ar.str 結構檔中的連結編號決定，我們使用的順序是：頭 → 上身 → 右 → 上臂 → 右臂 → 手 → 左 → 上臂 → ...。其順序可使用者喜好修改 ar.str 當任意安排。本例中我們正要輸入右臂，指向游標 (x) 的白線段代表該連結，左上角的側視圖可同時看到此線。

b. 可以旋鈕調整由不同角度觀察及輸入主構架。圖中游標離連結起點的距離大於連結長度，故白線段未與游標相連。

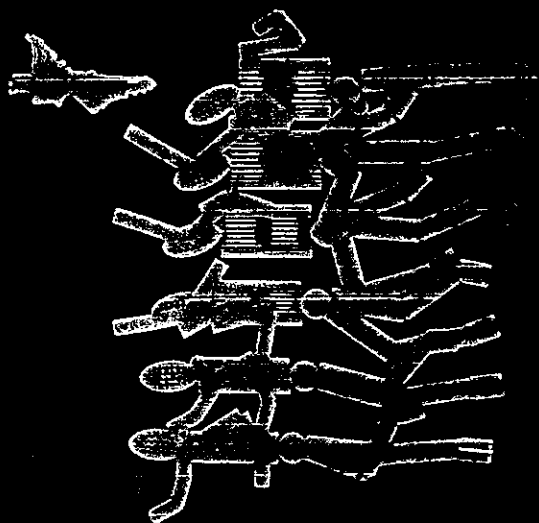
c. d. 由不同角度觀察完成的兩個主構架。



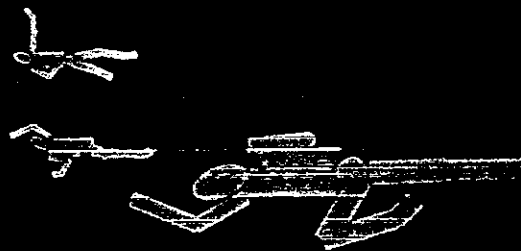
x



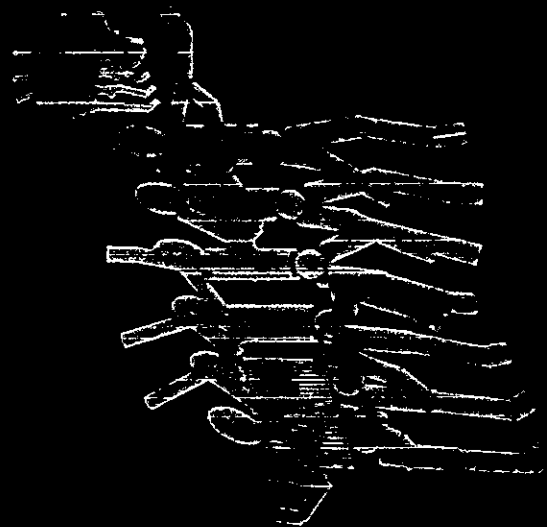
10



11



x



14

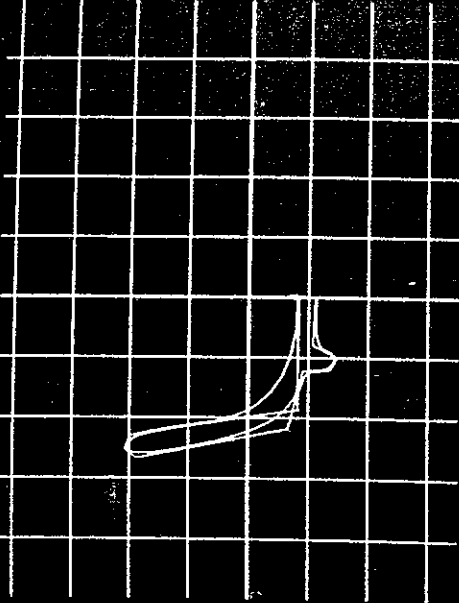
9. 總前：主構架與中插畫。

本子系統產生的中插畫可輸出為一劇本檔以供子系統一一做影像表現，劇本檔中提供每一連結的起點位置 (x, y, z) 與方向 (依 z, y, z 順序的旋轉角度) 參數。連結的外形可與這裡所使用的不同，只要以其他 ar.pri 與 ar.shp 檔定義即可。

子系統一對每一中插畫分別做 Rendering，以攝影機利用慢拍快放技巧即可得到最後動畫影片。

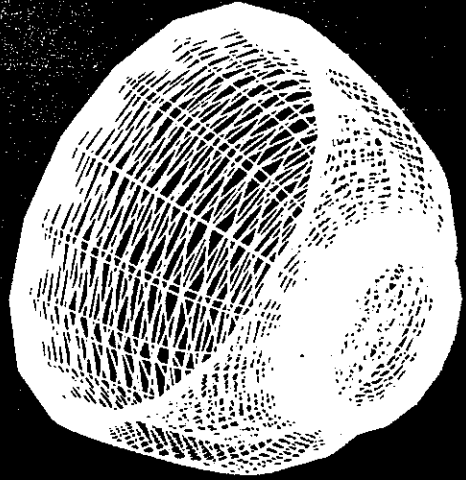
在人體動畫的同時，可利用子系統二描繪的攝影機移動路徑，以 PS300 提供的視視轉換模擬 camera 的運動。如此可由任何角度觀察人體動作。

Direct Address: 1 000 1 000 1 000 1 000
Zero Address: 1 000 1 000 1 000 1 000
Par: X-011212, 0-11212
Z Value: 1 1 0010 0 1 Order: 4



Add Pt. Del Pt. Pos Pt. Value Order

Scale: 0.000000
Z Max: 5.51400
Z Min: 1.58200



10. 子系統二用於模型塑造並在子系統一上做影像表現。

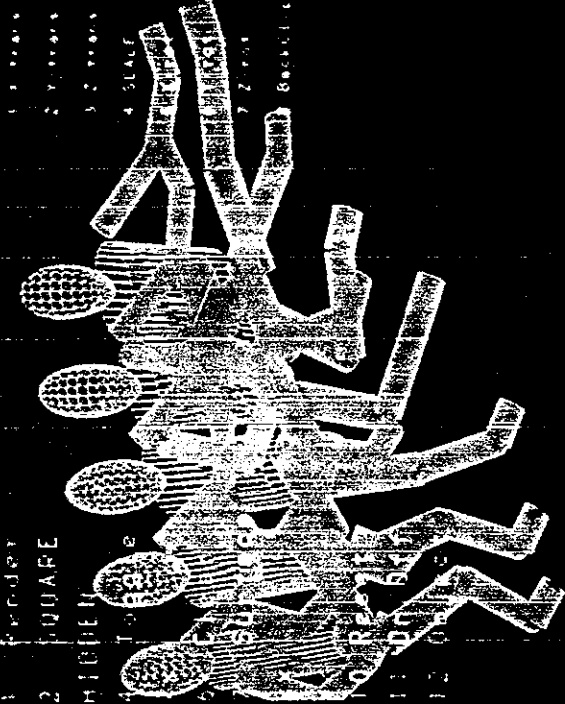
a. 首先利用子系統二編輯一條曲線並產生一曲線檔，利用 pfsor
(3-D file surface of revolution) 程式 (可將標準三維資料檔中的線條對 x、y 或 z 軸旋轉各種角度得到一標準多邊形檔) 對 y 軸旋轉 360 度即可得一碗狀物體的多邊形資料

b. 以線構架方式觀察物體。

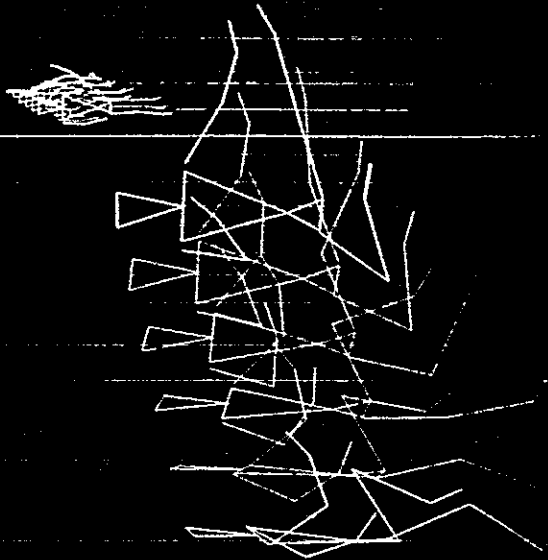
c. d. 在子系統一中對物體 Rendering。

註：對關節相連體的各連結，我們可以這種方式塑造每一連結的形狀，只需修改 ar.shp 與 ar.pri 兩檔即可。

1. Fender
2. SQUARE
HIGHER

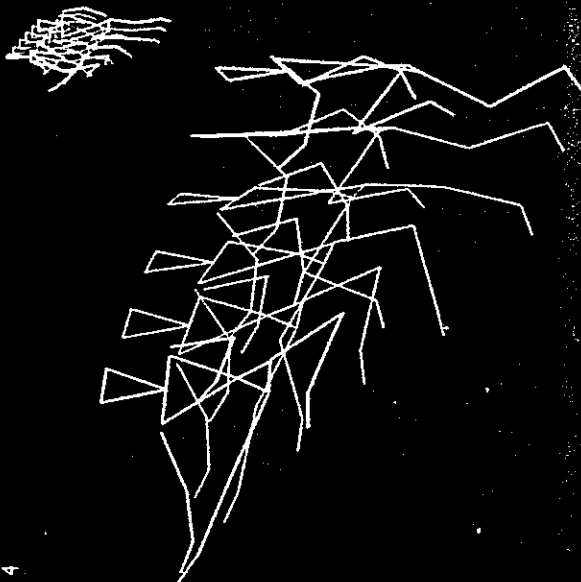


E-16
-361
-16



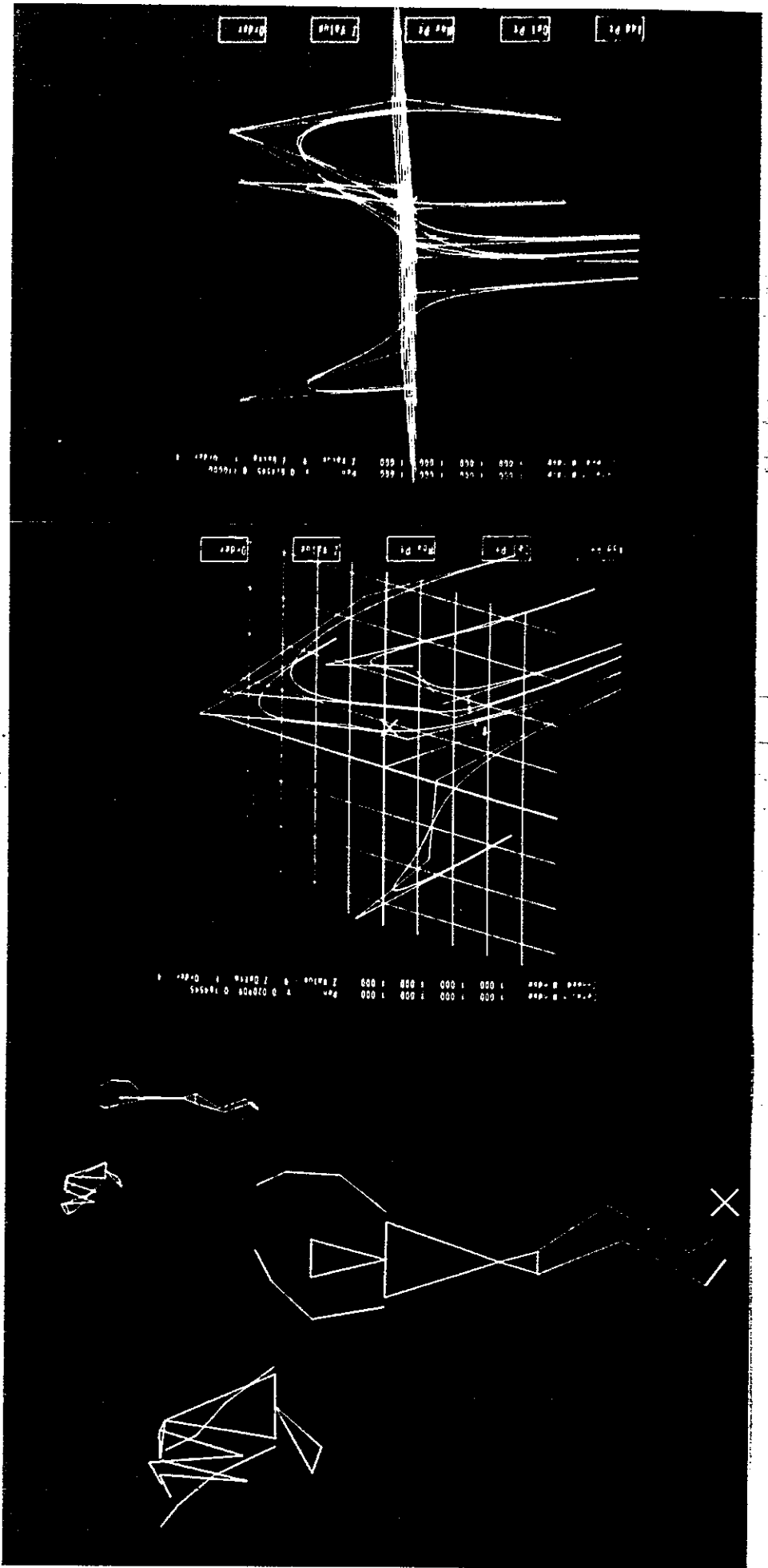
V O 525872.-0 913992.-0 550140

.164
123



11. 子系統三中用線條模型描繪的關節相連體動畫可在子系統一中中以體積模型做影像表現。

由於時間匆促，我們使用的圓柱形原件的多邊形資料不太正確（未封閉），使得描影結果有點奇怪，這點可以改進。因已有相關研究 [56]（圖 6.5）可在人體線條模型外覆蓋表面模型得到很逼真外形，所以我們研究的重點是在動作的描繪。對模型塑造及影像表現，在現階段我們只為配合需求而提供最基本的功能。



12.右二圖以三維參數同步路徑描繪系統(子系統二)描繪四架飛

機表演炸彈閃花特技的路徑，這裡只顯示軌跡，我們計畫以
2.3 節中提到的動點制約(Moving Point Constrains)技巧控
制速度，以連接動點的直線表示動點的同步，選要在動點上利
用旋鈕調整方向及其他參數，這些功能已規劃好，要完成不需
太多時間。

第七章 總結

7.1 結論

我們未來的目標在建立一個完整且高產量的三維模型動畫系統，在本研究中，我們對此一目標做了以下貢獻：

1. 我們蒐集大量資料並稍做整理分析，希望能幫助我們之後的研究者能迅速抓住重點，我們也對未來系統的架構做以下建議，希望有助於規劃以後的大系統。
 - (1) 為了要完整，它必須包含對質點、剛體、柔軟體、關節相連形體、代數體及變形體等物體做模型塑造、動作描述與同步及影像的表現。在動作描述中須包含導引、程式階層及任務階層三個層次，每個層次都須提供運動與動力模式。這也只是據我所知的最低完整限度系統。
 - (2) 為了要高產量，我們希望對動作的描述能儘量提供上述三種階層以視覺語言描繪動畫。
2. 對於PS 300系統的傳輸問題，我很幸運的找到解決方法，雖然只是知其然而不知其所以然，但對我們已經很足夠了。我們也大略的了解了這個系統，雖還不是很深入，但已是從摸索階段進入應用階段。目前開發出的應用已足以使後繼的研究者肯定PS 300系統的能力，有信心做更深入的研究。
3. 對於我們研究的主要目的：視覺語言描述三維參數主構架動畫，我們參考別人研究提出三個自己的觀念：參數主構架的編輯

、三維同步參數路徑的描繪及三維骨幹線法描繪關節相連形體的動畫。我們也設計並實做了這三個系統，雖然還不完整，但主要的效果已能呈現，且對以後的發展做了詳細的規劃。在設計上，我們不但考慮其易用與實用，更注意是否耐用，也就是參考目前最新研究方向以考慮在我們未來的高產量動畫系統繼續發展下，我們所使用的方法與實作的工具是否會很快被淘汰（那我們的辛苦就白費了）。

7.2 未來展望

三個子系統在設計上都兼顧對未來發展的適應，因此我們認為短期內不易被淘汰。能提供進一步研究的實用工具。

我們相信在一個高產量的動畫系統中，視覺語言應佔最重要的地位。但因相關的理論發展尚未成熟，我們希望以由下而上（bottom-up）的方式，先在動畫的各個領域中開發最適當的視覺工具，在未來將這些工具加以歸納整理後，設計出一套視覺語言，做為我們高產量動畫系統的核心。

参 考 文 献

- [1]. Magnenat-Thalman N, Thalman D (1985) Computer Animation : Theory and Practice, Springer, Tokyo New York Berlin Heidelberg.
- [2]. Forest L, Magnenat-Thalman N , Thalman D (1986) Integrating Key-Fram Animation and Algorithmic Animation of Articulated Bodies, Proceeding of Computer Graphics Toykyo'86, Advanced Computer Graphics, Edited by Tosiyasu L. Kunii.
- [3]. Stekete SN, Badler NI (1985) Parametric Keyframe Interpolation Incorporating Kinetic Adjustment and Phrasing Control, Proc. SIGGRAPH'85, pp.255-262.
- [4]. Zeltzer D (1985) Towards an Integrated View of 3D Computer Animation, The Visual Computer, Springer, Vol.1, No4, pp.249-259.
- [5]. Burtnyk N, Wein M (1971) Computer-generated Key-frame Animation, Journal of SMPTE, 80, pp.149-153.
- [6]. Baecker R (1969) Picture-driven Animation, Proc. AFIPS Spring Joint Computer Conf., Vol.34 pp.273-288.
- [7]. Burtnyk N, Wein M (1976) Interactive Skeleton Techniques for Enhancing Motion Dynamics in Key Frame Animation, Comm. ACM, Vol.19, No10, pp.564-569.
- [8]. Reeves W (1981) Intbetweening for Computer Animation Utilizing Moving Point Constraints, Proc. SIGGRAPH'81, Vol.15, No3, pp.263-269.
- [9]. Kochanek D, Bartels R (1984) Interpolating Splines with Local Tension, Continuity and Bias Tension, Proc. SIGGRAPH'84, pp.33-41.
- [10]. Parke FI (1982) Parameterized Models for Facial Animation, IEEE CG&A, Vol.2, No9, pp.61-68.
- [11]. Balder NI (1984) Design of a Human Movement Representation Incorporating Dynamics, Technical Report, Department of Computer and Information Science, University of Pennsylvania.
- [12]. Wilhelms J. (1987) Toward Automatic Motion Control, IEEE CG&A, Apr. 1987, pp.11-22.
- [13]. Reeves W.T. (1983) Particle Systems-A Technique for Modeling a Class of Fuzzy Object, Computer Graphics (Proc. SIGGRAPH83), July 1983, pp.359-376.
- [14]. Reeves W.T., Blau R (1985) Approximate and Probabilistic Algorithms for Shading and Rendering Structured Particles Systems, Computer Graphics (Proc. SIGGRAPH 85), July 1985, pp.313-322.

- [15]. Zeltzer D(1982) Motor Control Techniques for Figure Animation, IEEE CG&A, Nov.1982, pp.53-60.
- [16]. Calvert T.W., Chapman J, and Patla A(1982) Aspects of the Kinematic Simulation of Human Movement, IEEE CG&A, Nov.1982, pp.41-52.
- [17]. Fournier A, Fussel D, and Carpenter L(1982) Computer Rendering of Stochastic Models, Comm.ACM, June 1982, pp.371-384.
- [18]. Kawaguchi Y.(1982) A Morphological Study of the Form of Nature, Computer Graphics(Proc.SIGGRAPH82), July 1982, pp.223-232.
- [19]. Smith A.R.(1984) Plants, Fractals, and Formal Languages, Computer Graphics (Proc.SIGGRAPH84), July 1984, pp.1-10.
- [20]. Tost D, Pueyo X(1988) Human Body Animation : A Survey, The Visual Computer, 3:254-264.
- [21]. William W.A., Mark W.G.(1985). The Dynamics of Articulated Rigid Bodies for Purposes of Animation
- [22]. Fetter W(1982) A progression of human Figures Simulated by computer graphics.IEEE CG&A(Nov.1982), The Visual Computer , Springer, Vol.1, No4, pp. 231-240
- [23]. Armstrong W, Green M, Lake M(1986) Near real time control of human figure models, IEEE CG&A, 7(6):52-61.
- [24]. Korein V, Badler N(1983) Techniques for generating the goal-directed motions of articulated pictures.IEEE CG&A(Nov.1982).
- [25]. Calvert T, Chapman J, Patla A(1982) Aspects of the kinematic simulation of the human movement.IEEE CG&A (Nov.1982).
- [26]. Wilhelms J(1987) Using Dynamic Analysis for Realistic Animation of Articulated Bodies, IEEE CG&A 7(6):12-27.
- [27]. Girard M, Maciejewski A(1985) Computational modeling for the computer animation of legged figures.Proc SIGGRAPH85, vol19, No3
- [28]. Girard M(1987) Interactive Design of 3D Computer Articulated Legged Animal Motion, IEEE CG&A 7(6):39-51.
- [29]. Badler N, Manoocherhri K(1987) Articulated Figure Positioning by Multiple Constraints, IEEE CG&A 7(6):28-38.
- [30]. Badler N, Smoliar S(1979) Digital representations of human movement. ACM Comput Surv, Vol11. (March, 1979)
- [31]. Herbison-Evans D (1982) Real-time animation of human figure drawings with hidden lines omitted.IEEE CG&A (Nov.1982)

- [32]. Badler N, O'Rourke J, Kaufman B (1980) Special problems in human movement simulation. Proc SIGGRAPH80.
- [33]. Badler N, O'Rourke J, Toltzis H (1979) A spherical representation of a human body for Visualizing Movement. Proc IEEE, vol 67, No10 (Oct.1979)
- [34]. Parke F (1982) Parametric models for facial animation. IEEE CG&A (Nov.1982)
- [35]. Platt S, Badler N (1981) Animating facial expressions. Comput Graph, vol 15, no3
- [36]. Gomez JE (1984) Twixt: A 3-D Animation System, Proc Eurographics '84, North-Holland
- [37]. Chuang R, Entis G (1983) 3-D Shaded Computer Animation Step-by-Step. IEEE CG&A 3:18-25
- [38]. Williams L (1982) BBOP Course Notes. Seminar on Three-Dimensional Computer Animation ACM SIGGRAPH 82
- [39]. Calvert TW, Chapman J, Patla A (1980) The Integration of Subjective and Objective Data in the Animation of Human Movement. Proc ACM SIGGRAPH 80. Comput Graphics 14:198-203
- [40]. Ginsberg C, Maxwell D (1983) Graphical Marionette. Proc ACM SIGGRAPH/SIGART Workshop on Motion, pp.172-179
- [41]. 張希誠譯 (1988) 電腦動畫原理精析, 第三波電腦叢書
- [42]. Weber L, Smoliar SW, Badler NI (1978) An Architecture for the Simulation of Human Movement. Proc ACM Ann Conf. pp737-745
- [43]. Boehm, Wolfgang (1977) Cubic B-spline Curves and Surfaces in Computer-Aided Geometric Design, Computing, Vol.19, No.1, 29-34.
- [44]. Reynolds C (1985) Computer animation with scripts and actors, SIGGRAPH85, Tutorial Notes
- [45]. Marino G, Morasso P, Zaccaria Z (1985) A language for animation of actor and objects: NEM. Proc Eurograph 1985
- [46]. Magnenat-Thalmann N, Thalmann D (1983) The use of high level 3-D graphical types in the MIRA animation system. IEEE CG&A 1983.
- [47]. Magnenat-Thalmann N, Thalmann D (1985) Miranim: an extensible director-oriented system for the animation of realistic images. Proc Eurographics 1985
- [48]. Thalmann D, Magnenat-Thalmann N (1986) Artificial Intelligence in three-dimensional computer animation. Comput Graph Forum, vol 5, no4 (Dec.1986)

- [49]. Ridsdale G, Hewitt S, Calvert T (1986) The interactive specification of human animation. Graphics Interface '86
- [50]. Drewery K, Tsotsos J (1986) Goal directed animation using english motion commands. Graphics Interface 1986
- [51]. Burtnik N, Wein M (1976) Interactive skeleton techniques for enhancing motion dynamics in key frame animation. Commun ACM, (October 1976)
- [52]. Fujlo Y (1988) Curves and Surfaces in Computer Aided Geometric Design, Springer-Verlag, Tokyo New York Berlin Heidelberg.
- [53]. Shelley K.L. and Greenberg D.P. (1982) Path Specification and Path Coherence, Computer Graphics, Vol. 16, No 3, pp. 157-166.
- [54]. E&S PS300 Document Set, Vol 1-Vol 5.
- [55]. O'Donnell T.J. (1981) GRAMPS - A Graphics Language Interpreter for Real-Time, Interactive, Three-Dimensional Picture Editing and Animation, Comput Graphics Vol 15, No 3
- [56]. Komatsu K (1988) Human Skin Model Capable of Natural Shape Variation, The Visual Computer, 3:265-271.