

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

三維動態模型之骨幹擷取與動作移轉之研究

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC93-2213-E-002-084-

執行期間：93年08月01日至94年07月31日

執行單位：國立臺灣大學資訊管理學系暨研究所

計畫主持人：陳炳宇

計畫參與人員：吳賦哲、涂正翰、羅婉琪、謝名凱、黃建賓、蘇孟昌、張硯拓、
黃輔中

報告類型：精簡報告

報告附件：出席國際會議研究心得報告及發表論文

處理方式：本計畫可公開查詢

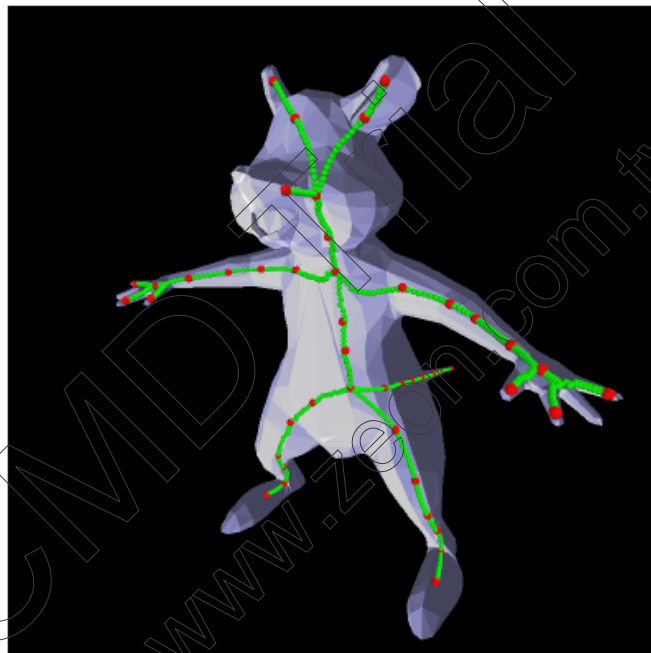
中華民國 94 年 9 月 15 日

一、前言

本計畫在三維幾何模型的編輯與處理上提出了兩個方面的技術研究，一是對一個三維靜態模型進行全自動的骨幹擷取 (Skeleton Extraction)，二是將一個三維動態模型的骨幹、動作資料、網格權重等資訊轉移到另一個三維靜態模型 (Motion Retargeting) 之上。其中關於靜態三維幾何模型的骨幹原理以及重要特性，已在本研究計畫的申請書中進行許多介紹，在此便不再詳述。因此，在以下的報告中，將針對本計畫兩大方面的實作方法提出詳盡的說明。

二、相關工作

為了自動從三維幾何模型的內部尋找適當的骨幹結構，我們首先使用了半徑式函數 (Radial Basis Function) 為基礎的骨幹產生方式，利用半徑式函數作為三維幾何模型表面的距離函數 (Distance Function)，藉由最小化這些距離函數以達到漸漸將表面往物體中間集中的效果，最後即可在核心處擷取到骨幹的適當位置。然而這項作法在某些情況之下可能無法穩定產生結果。例如當我們在一個甜甜圈形狀的物體之內部產生骨幹時，因為其表面的距離函數無法藉由半徑式函數的計算而達到單調遞增的性質，因此無法得到理想的骨幹位置。



圖一 由半徑式函數所產生之骨幹資訊。

另外在 Bradshaw 與 O'Sullivan 的研究中 [BRAD04]，他們提出了一個建構球體樹狀結構 (Sphere Tree) 的演算法，能夠快速地建立模型內部的骨幹結構。這項演算法首先在三維幾何模型的外表上生成各種大小不一的球體完整地將模型包覆住，接著利用增加取樣點 (Sample Point) 的方式微調這些球體的位置與結構，以構成理想的骨幹拓撲。我們的實作系統也參考了他們的作法，並且另外解決了這項作法中所造成的骨幹結構過於複雜的問題。

在動作資料轉移的系統方面，主要的困難之處在於在兩個不同外型的三維幾何模型之間的對應。三維幾何模型的對應首先需要先進行表面結構的分析，在 [ECK95] 中首先提出了使用 Voronoi diagram 的方法。Lee et al. 的 MAPS (Multiresolution Adaptive Parameterization of

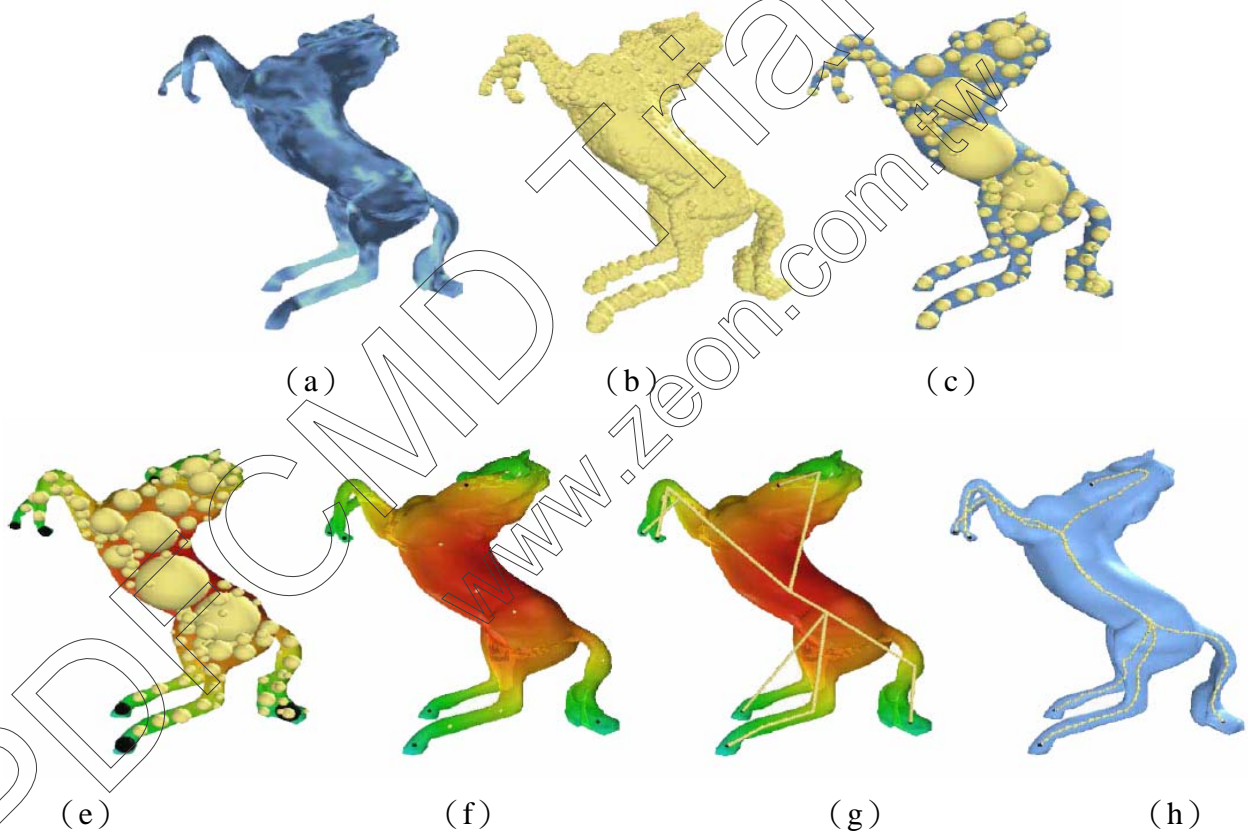
Surfaces) [LEE98] 則改進了許多問題，Parun and Hoppe [PRAU03] 的 Spherical Parameterization (球體表面導向之三維模型參數化方法) 將一個三維幾何模型的表面資訊投影到一個立體的球體表面，則是目前效果最好的新方法。

在 [LEE99] 中，使用者首先指定兩個三維模型之間的特徵對應關係，接著利用 MAPS 的方法將兩個模型與它們的基本型 (Base Domain) 之間做好連結的關係，藉由這兩層的對應即可以作不同模型之間的外型改變。在 [GLEI98] 中則是使用了 Space Time Constraint 來衡量三維幾何模型的動作資訊，藉以將其轉移至另一個三維模型上。

三、針對三維模型自動骨幹擷取之演算法

在這部分將會介紹我們系統的主要流程，包括特徵偵測 (Feature Detection)、骨幹連結的建立與適當形狀的修改。

在進行特徵偵測的過程中要進行許多項動作，由圖二所示：(a) 為原本的三維幾何模型。(b) 在模型的內部灑上許多的內部點作為 Voronoi Diagram 的建構根據，並且得到許多細分的小球型做為骨幹建立的候選單位。將這些小球根據鄰近距離的資訊以及區域性最大體積的性質經過篩選之後，便可以得到 (c) 中互相不接觸的內部球體資訊。



圖二 產生骨幹資訊之流程。

利用前述的資料對內部球體的表面距離 (Geodesic Distance) 進行測量之後，藉由分水嶺演算法 (Watershed Algorithm) 我們可以判斷出位在物體各部位末端的方向屬性，也就是 (d) 中著色為綠色的區域。接下來我們利用可視範圍力場 (Visibility Repulsive Force Field) 來衡量這些物體部位的中心位置而得到 (e) 圖，並且在把這些連結點相連之後得到如 (f)

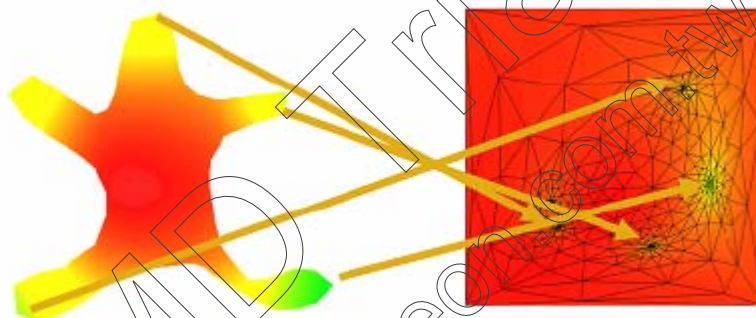
圖的初步骨架連結資訊。最後我們利用 Snake Algorithm 將各個連結調整至三維幾何模型的內部，得到如 (g) 一般的彎曲型骨幹。

在利用 Voronoi Balls 尋找物體內部空間連結關係時，由於表面上的每一個細節資訊都會影響內部的權重計算，因此即使是很小的表面特徵改變都會使得計算出來的骨幹位置不同。這並不是實際上動物骨幹的特質，因此我們要避免這樣的效果。為此我們在篩選 Voronoi Balls 的過程中設定了臨界值，當一個球體的半徑過小時或者當兩個球體之間的距離過小時，這個 Voronoi Ball 即會被去除，以避免微小的表面特徵對骨幹外型造成的影響。

在尋找物體本身的突出特徵部位 (Prong Feature) 時，我們計算物體在表面上的距離 (Geodesic Distance) 作為一個比例函數 (Scale Function)，藉以判斷突出特徵所在的位置。比例函數所參考的資訊是對物體表面的每一個連結點 (Vertex) 以及其周邊連結點之間的距離總和，函數的表示如下：

$$f(v) = \sum_{\forall v_i \in S} \text{Geodesic}(v, v_i)$$

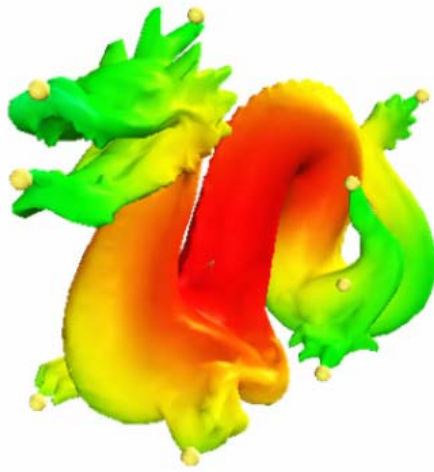
我們首先尋找在表面上此總和最大的一個點，作為第一個突出特徵的候選位置。接著利用瀏覽網狀結構 (Traverse) 的方式將物體的表面掃描過一遍，並且將區域性最大值選擇起來作為突出特徵的可能對象。此即為分水嶺演算法。為了方便理解分水嶺演算法的原理，我們將三維幾何模型進行參數化轉換至二維平面上如圖三所示。



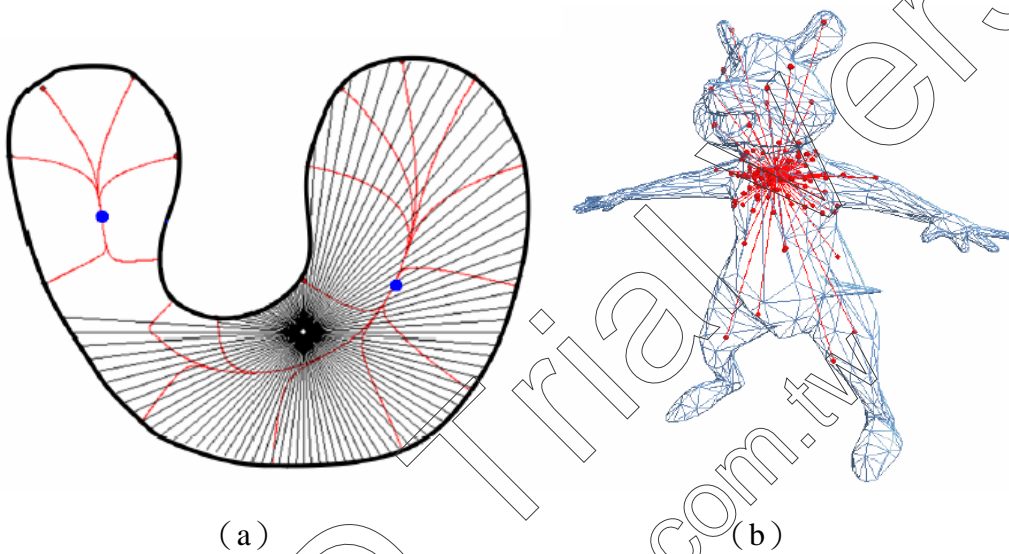
圖三 分水嶺演算法之圖例。

在圖三中，在平面上由較多黑線集結的位置標上了綠色的標記，即為突出特徵的位置，也就是左邊的原始三維幾何模型中突出枝幹的部分。為了避免太微小的突出部位也被視為需要骨幹的區域，在瀏覽的過程中我們忽略上下起伏太快的區域，因此兩個位置非常接近的區域性最大值會被合併看待。最後我們即可在一個三維幾何模型的表面上找到理想的突出部位，作為特徵的表現以及內部骨幹的參考位置。結果如圖四所示。

我們利用導入互斥力場 (Repulsive Force Field) 來將物體內部的骨幹點調整至適當的位置。當物體內部的連結點被內部所形成的力場推往區域性最小值的位址之後，即會形成較為靠近物體中心、與實際上的動物骨骼較為接近的骨幹位置。在圖五中可以看到，(a) 為二維平面上的封閉圖形中的互斥力場，連結點會從圖形的表面往內部移動，最後收斂在區域性最小值。(b) 則為三維幾何模型內部的互斥力場，表面上的連結點同樣會往內部收斂至一個集合的點，亦即適當的骨幹位置。



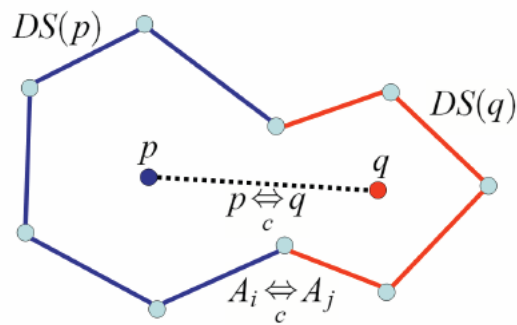
圖四 以分水嶺演算法找到的端點。



(a) (b)

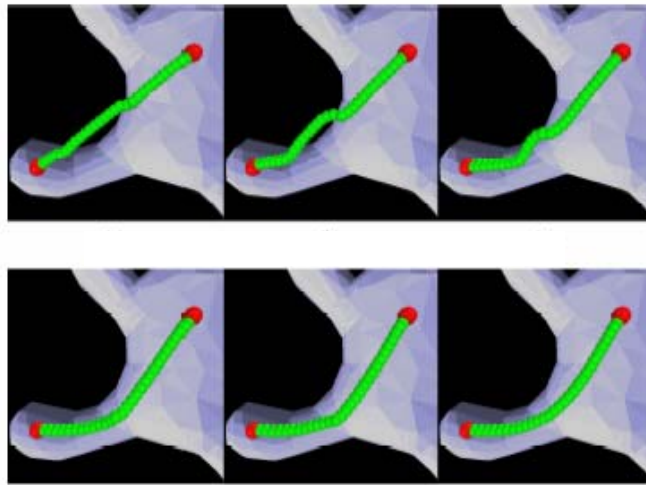
圖五 以互斥力場來調整物體內部的骨幹點。

最後，利用這樣的方法求出來的骨幹雖然適當地標示了物體的各部位特徵，但是其間的連結關係因為不是單純的折線，可能會有超出三維幾何模型表面的情形發生。我們在最後一個階段利用物體表面的連結關係做為參考，調整內部的骨幹連結至適當的位置。因為骨幹相連的兩個部位在模型表面上也有相連的關係，因此兩個分別代表不同部位的區域點 (Domain Points) p 與 q 利用外部區域表面 (Domain Surface, DS) 的對應關係如圖六所示。



圖六 外部區域表面的示意圖。

根據上述的方法，即可得到正確的相連關係。之後，我們便利用 [KASS87] 中的 Snake Algorithm 將扭曲並可能突出模型表面的連結線段經由力場推至物體的內部，形成一條適當的骨幹。



圖六 外部區域表面的示意圖。

四、針對三維模型動作資訊轉移之演算法

三維模型動作資訊的轉移，目的是將一個幾何模型已經經過編輯的動作資訊以及其內部的骨幹資訊一起複製到另一個靜態、不含有骨幹資訊的模型上。透過這樣的操作，使用者可以方便地在僅僅編輯一個三維模型的動作的情況之下，利用複製的方式將這些動作轉移到各種不同形狀的三維幾何模型上，而達到節省時間的目的。另外，讓不同的物體做出相同的動作，如圖七中的貓與狗，也能夠達到電腦動畫中所需要的趣味效果。

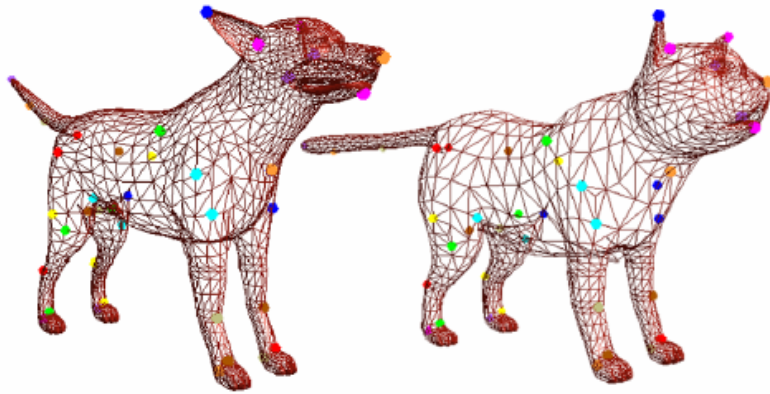


圖七 將狗的動作轉移到貓的三維幾何模型之上。

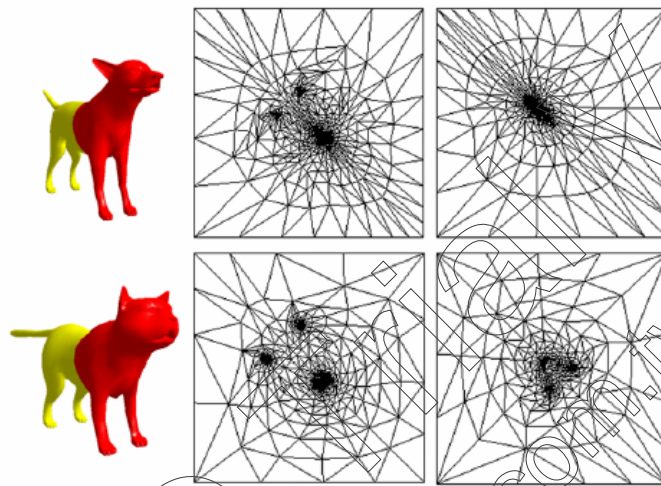
在此系統中首先需要進行模型之間特徵的對應建立。我們讓使用者自行進行模型特徵點的指定，這些點亦即三維幾何模型表面上的某些連結點。藉由連結點之間的對應關係我們可以估算動作資訊的轉移，也可以準確地將模型內部的骨骼位置對應到目標模型的體內。由圖八可以看到，相同顏色的彩色連結點即為使用者指定的特徵對應點。

在進行特徵點的指定之後，利用在模型上進行最短路徑 (Shortest Path) 的搜尋方式我們將模型切成兩大塊，以將立體的三維模型分成兩個半面，進而攤平在二維平面上進行對應的計算。在此我們使用了三維幾何模型的表面參數化技術將原本位於三維空間的連結拓

模依照原樣攤平在二維平面上，如圖九所示，由於三維模型原本的連結資訊一定會受到扭曲，因此對於連結點的偏移或甚至是三角形表面的翻轉我們都要進行偵測以及修復的動作。

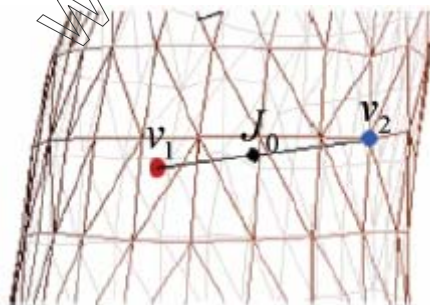


圖八 兩個三維幾何模型的特徵對應點。



圖九 兩個三維幾何模型分別攤平的結果。

在進行了攤平動作之後，我們將分別代表兩個三維模型的前後兩半的兩組表面進行疊合以及特徵對齊的動作。我們調整使用者指定的特徵點的位置，並且牽引鄰近的連結點位置一起進行改變，最後在平面上將兩個三維幾何模型的指定對應特徵都對應到相同的位置上。

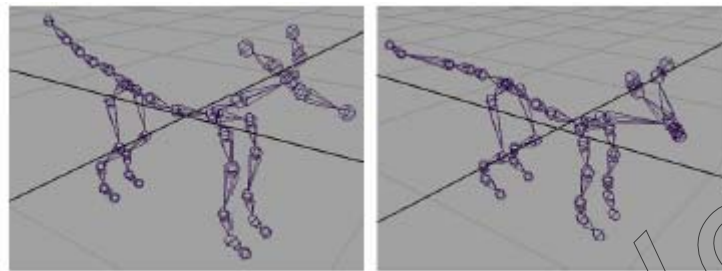


圖十 將骨幹資訊對應到物體表面上。

接著我們進行骨幹資訊與動作資訊的轉移。在原始的三維動態模型的資料中，我們找到每一個骨幹連結點的位置，以及它與三維模型表面上的連結點之相對關係。如圖十中的骨幹連結點J，我們利用三維模型表面上與其距離最近的兩個連結點V1、V2之空間座標的線性

組合來表示此位置。透過前述的參數化平面疊合步驟，我們可以找到 V1 與 V2 連結點在目標模型身上的位置，進而套用內插的線性比例在目標模型的體內對應位置建立骨幹的連結點。

在目標模型的體內建立了與來源模型形狀相似的骨幹之後，我們即可將來源模型的動作資訊轉移到目標模型的身上。兩者骨幹的連結拓撲是相同的，但是因為肢體各部位長度不同，因此骨幹的長度也不同。這符合動物骨骼架構的原理。圖十一中，(a) 為我們的美術人員使用知名動畫編輯軟體 Maya 所製作狗的三維骨幹。(b) 則為我們的系統所產生自狗的身上複製至貓的體內的骨幹。

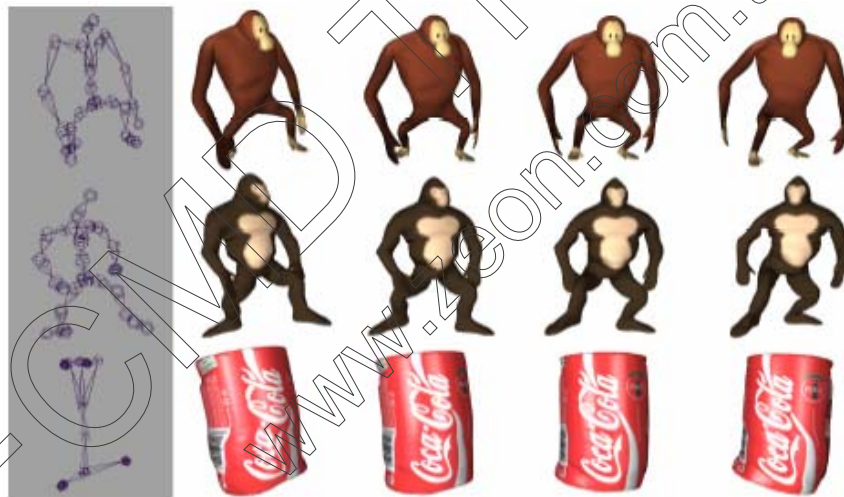


(a)

(b)

圖十一 將骨幹資訊對應到物體表面上。

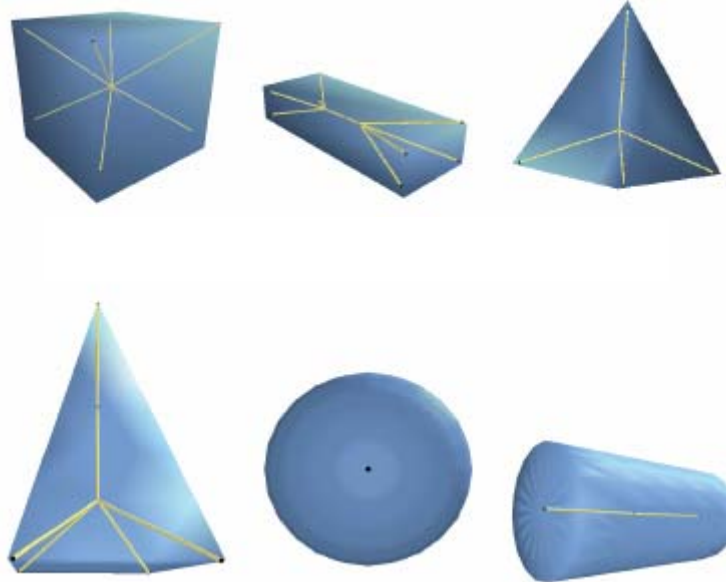
最後，我們將來源模型的動作資訊直接複製到目標模型的骨幹上，即可得到不同模型做出相同動作的動畫效果。如圖十二所示。



圖十二 將最上方之紅猩猩動作套用到之下的黑猩猩與可樂罐上。

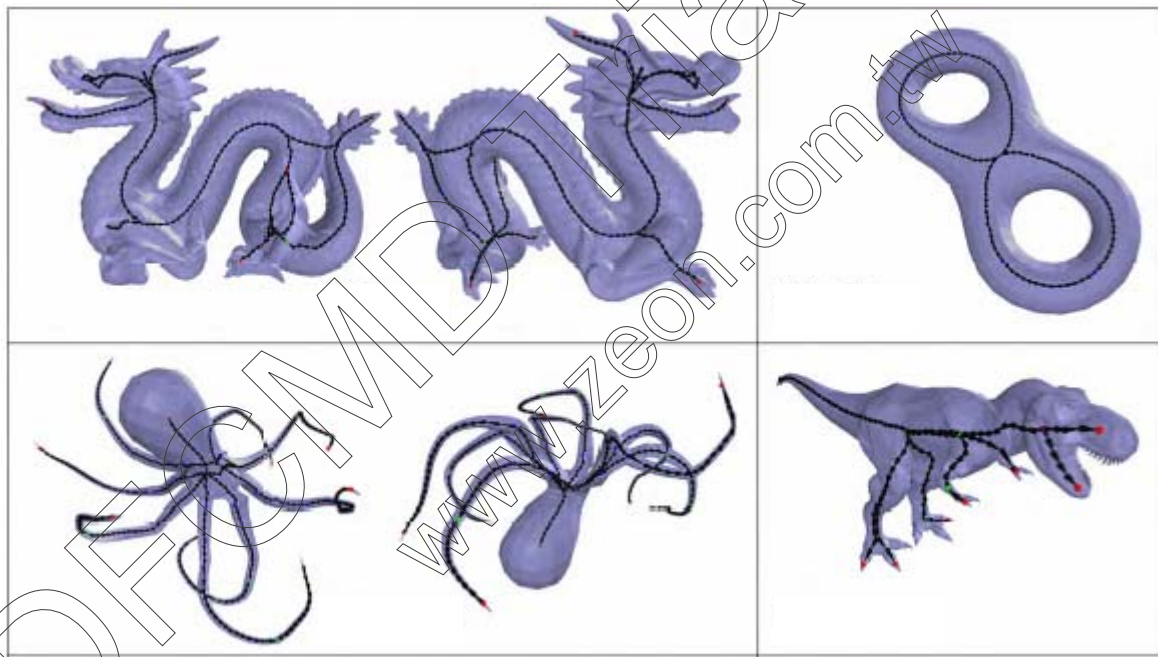
五、實驗結果

在自動化骨幹擷取的系統方面，我們可以順利在單純以及複雜的三維幾何模型內部產生出具有實用價值的骨幹結構。如圖十三的簡單幾何形狀中，雖然沒有明顯的枝幹形狀關係，在本系統利用互斥力場的調整之下仍能夠得到有意義的中軸骨幹。



圖十三 單純的三維幾何模型及其骨幹。

在較為複雜的三維幾何模型中，本系統同樣地找到適合動畫編輯使用的骨幹結構。由於具有肢體型態的三維模型在電腦動畫的製作中佔有主角性的地位，因此本系統的自動骨幹擷取功能也能夠提供產業界十分實用的效果。

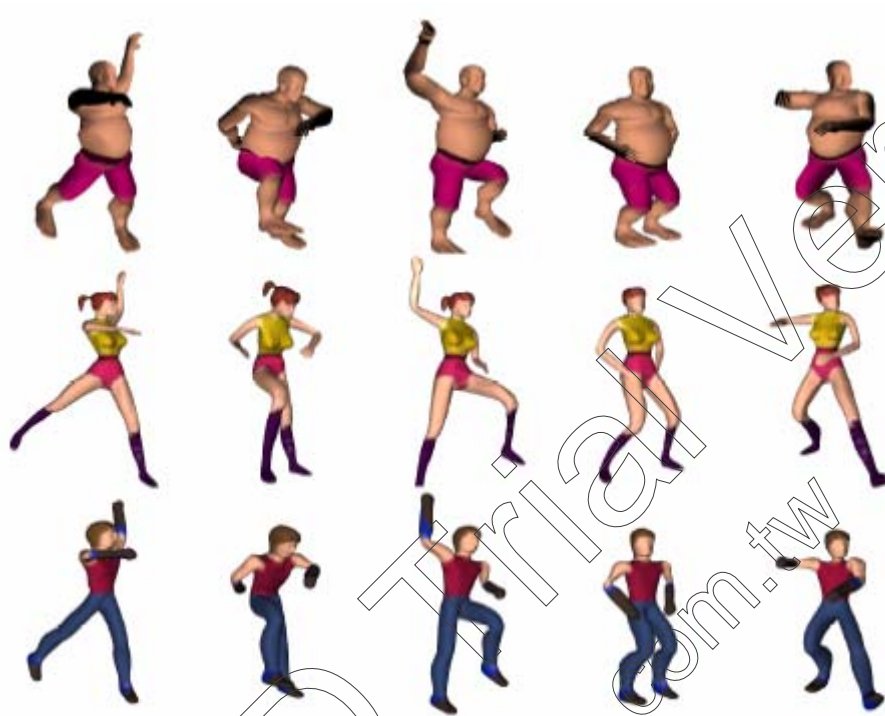


圖十四 複雜的三維幾何模型及其骨幹。

在三維幾何模型之動作移轉方面，我們的系統可以套用在形狀相似（如高矮胖瘦不同的人類）或者形狀完全不同（如猩猩與可樂罐頭）的模型上，並且得到一樣順暢的動畫效果。



圖十五 上側的黃狗為來源模型，下側的黑狗為目標模型



圖十六 第一行的胖男人為原本的模型，下方較為瘦小的男女為目標模型



圖十七 系統亦可在可樂罐頭內產生與貓狗同樣結構的骨幹資訊以及動畫

六、 研究成果

本研究之主要部份成果已分別於 2004 年的 International Computer Symposium, ACM SIGGRAPH 以及 2005 年的 International Conference on Computer Aided Design and Computer Graphics 中以 Cloning Skeleton-driven Animation to Other Models [LUO04], Prong Features

Detection of a 3D Model based on the Watershed Algorithm [WU04]與 Motion Retargetting and Transition in Different Articulated Figures [HSIE05]為題進行發表，作者分別為羅婉琪、黃建賓、陳炳宇與劉秉周 (Wan-Chi Luo, Jian-Bin Huang, Bing-Yu Chen, and Pin-Chou Liu)，吳賦哲、陳炳宇、梁容輝與歐陽明 (Fu-Che Wu, Bing-Yu Chen, Rung-Huei Liang, and Ming Ouhyoung)以及謝名凱與陳炳宇 (Ming-Kei Hsieh and Bing-Yu Chen)。其中羅婉琪同學的碩士論文(三維動態模型之動作移轉)更得到中華民國資訊學會2004年『碩、博士最佳論文獎』優等獎的肯定。而本計畫的另一部分(三維動態模型之骨幹擷取)成果以 Domain Connected Graph: the Skeleton of a Closed 3D Shape for Animation [WU05]為題投稿至 The Visual Computer，已被接受即將刊登，作者為吳賦哲、馬萬鈞、陳炳宇、梁容輝與歐陽明 (Fu-Che Wu, Wan-Chun Ma, Bing-Yu Chen, Rung-Huei Liang, and Ming Ouhyoung)。其他衍生成果亦已分別陸續發表於2004年的 Cyber Worlds 與2005年的 The Visual Computer、Pacific Graphics、Computer Graphics International、NICOGRAPH International 之中 [ON004] [CHEN05a] [CHEN05b] [SHEN05]。

七、參考文獻

- BRAD04 Gareth Bradshaw and Carol O'Sullivan. Adaptive medial-axis approximation for sphere-tree construction. *ACM Transactions on Graphics*, Vol. 23, No. 1, p.1 – p.26, 2004.
- BITT01 Ingmar Bitter, Arie E. Kaufman, and Mie Sato. Penalized-distance volumetric skeleton algorithm. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, Vol. 7, No. 3, p.195 – p.206, 2001.
- CHEN05a Bing-Yu Chen, Yutaka Ono, and Tomoyuki Nishita. Character animation creation using hand-drawn sketches. *The Visual Computer (Pacific Graphics 2005 Conference Proceedings)*, 2005
- CHEN05b Bing-Yu Chen, Sheng-Yao Cho, Henry Johan, and Tomoyuki Nishita. Progressive 3d animated models for mobile & web uses. *Proceedings of NICOGRAPH International 2005*, p.135 – p.140, 2005.
- ECK95 Matthias Eck, Tony DeRose, Tom Duchamp, Hugues Hoppe, Michael Lounsbery, and Werner Stuetzle. Multiresolution analysis of arbitrary meshes. *ACM SIGGRAPH 1995 Conference Proceedings*, p.173 – p.182, 1995.
- FLOA97 Michael S. Floater. Parameterization and smooth approximation of surface triangulations. *Computer Aided Geometric Design*, Vol. 14, No. 3, p.231 – p.250, 1997.
- FLOA04 Michael S. Floater and Kai Hormann. Surface parameterization: a tutorial and survey. In *Advances in Multiresolution for Geometric Modelling*, p.157 – p.186 2004.
- GLEI98 Michael Gleicher. Retargeting motion to new characters. *ACM SIGGRAPH 1998 Conference Proceedings*. p.33 – p.42, 1998.
- HSIE05 Ming-Kei Hsieh and Bing-Yu Chen. Motion retargetting and transition in different articulated figures. In *Proceedings of International Conference on Computer Aided Design and Computer Graphics 2005*, 2005.
- KASS87 Michael Kass and Andrew Witkin. Snakes: active contour models. *International*

Journal of Computer Vision, Vol. 1, p.321 – p.331, 1987.

- LEE98 Aaron W. F. Lee, Wim Sweldens, Peter Schoröder, Lawrence Cowsar, and David Dobkin. MAPS: multiresolution adaptive parameterization of surfaces. *ACM SIGGRAPH 1998 Conference Proceedings*, p.95 – p.104, 1998.
- LEE99 Aaron W. F. Lee, David Dobkin, Wim Sweldens, and Peter Schröder. Multiresolution mesh morphing. *ACM SIGGRAPH 1999 Conference Proceedings*, p.343– p.350, 1999.
- LIU03 Pin-Chou Liu, Fu-Che Wu, Wan-Chun Ma, Rung-Huei Liang, and Ming Ouhyoung. Automatic animation skeleton construction using repulsive force field. *Pacific Graphics 2003 Conference Proceedings*, p.409 – p.413, 2003.
- LUO04 Wan-Chi Luo, Jian-Bin Huang, Bing-Yu Chen, and Pin-Chou Liu. Cloning skeleton-driven animation to other models. *Proceedings of 2004 International Computer Symposium*, 2004.
- MA03 Wan-Chun Ma, Fu-Che Wu, and Ming Ouhyoung. Skeleton extraction of 3d objects with radial basis function. *IEEE Shape Modelling International 2003 Conference Proceedings*, p.207 – p.215, 2003.
- ONO04 Yutaka Ono, Bing-Yu Chen, and Tomoyuki Nishita. 3d character model creation from cel animation. *Cyber Worlds 2004 Conference Proceedings*, p.210 – p.215, 2004.
- PRAU03 Emil Praun and Hugues Hoppe. Spherical parameterization and remeshing. *ACM Transactions on Graphics (Proceedings of SIGGRAPH 2003)*, Vol. 22, No. 3, p.340 – p.349, 2003.
- SHEN05 Edward Yu-Te Shen and Bing-Yu Chen. Toward gesture-based behavior authoring. *Proceedings of Computer Graphics International 2005*, p.59 – p.65, 2005.
- SHER95 Evan C. Sherbrooke, Nicholas M. Patrikalakis, and Erik Brisson. Computation of the medial axis transform of 3-d polyhedra. *ACM Solid Modeling and Applications 1995 Conference Proceedings*, p.187 – p.200, 1995.
- TAM02 Roger Tam and Wolfgang Heidrich. Feature-preserving medial axis noise removal. *Proceedings of 2002 European Conference on Computer Vision*, p.672 – p.686, 2002.
- WU04 Fu-Che Wu, Bing-Yu Chen, Rung-Huei Liang, and Ming Ouhyoung. Prong features detection of a 3d model based on the watershed algorithm. *ACM SIGGRAPH 2004 Conference Abstracts and Applications*, 2004.
- WU05 Fu-Che Wu, Wan-Chun Ma, Bing-Yu Chen, Rung-Huei Liang, and Ming Ouhyoung. Domain connected graph: the skeleton of a closed 3d shape for animation. *The Visual Computer*, 2005.