

藝用解剖學與擬真電腦三維動畫人物模型建構關係之研究

吳冠雄

台灣藝術大學多媒體動畫藝術研究所研究生

duckwu2003@yahoo.com.tw

鍾世凱

台灣藝術大學多媒體動畫藝術研究所助理教授

kyle@mail.ntua.edu.tw

摘要

在近代電腦動畫與電腦繪圖的研究與應用領域中，關於三維人物動畫的模擬與運用比重日益增加，也因此發展出許多相關模擬的技術：如三維立體掃描系統、動作捕捉系統、表情捕捉系統…等，使得如今的人物模擬動畫更已達到真假難分的程度，最為經典的代表作品為好萊塢的全三維電腦動畫電影—太空戰士(FINAL FANTASY - THE SPIRITS WITHIN)，電影中所有人物場景均全部由電腦產生，但不論是動作或表情全都徐徐如生，如真人表演一般。不過要達到這樣的製作品質並非人人可及，除非大型的影片製作計畫，否則不可能有龐大的預算去動用這些高價的機器與設備。因此如何能讓每個電腦藝術家都能運用既有商用三維套裝軟體，來創造更高品質的人物角色動畫，就成了筆者研究的思考角度。電腦動畫的製作流程第一個就是要做立體模型，所以「擬真的角色模型」也就成為本論文研究的重心。

本論文首先透過對藝用解剖學人體骨骼、肌肉分布與動勢的研究探討，以對人體由內而外進行了解與分析作為文獻探討的第一步。接著討論電腦製作三維立體模型的各種方法，如多邊形(Polygon)模型、補片曲面(Patch)模型、非對稱式參數曲面(NURBS)模型的做法等，以了解各種模型製作特性，希望結合兩者的研究結果，找出製作出合乎人體結構的電腦人物角色模型的方案，並使角色模型合乎動態調整時之需求。研究過程中並會透過直接採用三維掃描設備來製作三維人物模型作為對照方式，最後對兩種方法互相做比較分析。

關鍵詞：電腦動畫、模型、擬人化角色動畫、三維立體掃描、多邊形、補片曲面、非對稱式貝氏曲面

壹、緒論

人物角色動畫(CARACTER ANIMATION)的主要特徵就在於模擬真人，近代電腦三維動畫中的角色動畫分成兩個發展方向，一個是擬真化擬人，如太空戰士、駭客任務之絕命飛行、魔戒之雙城奇謀中的咕嚕、哈利波特之消失的密室中的小精靈托比…等；另一個是趣味化擬人，如史瑞克、玩具總動員、小蟻雄兵、怪獸電力公司…等。擬真化擬人是以逼近真實人體造型結構的電腦三維虛擬人物來作為動畫表演的主角，因此擬真的電腦角色模型變成製作動畫的第一步。而趣味化擬人在表演角色造型方面雖不要求真實擬人，但在動作方面亦需合乎人體動態，如此方能使人對主角的生命認同，而產生擬人的錯覺與趣味。因而對於人體及其運動的研究，對於製作高品質人物角色動畫的重要性實有研究之必要。不同於一般醫用解剖學專注於探討人體內部各器官臟氣等細部組織的探討與分解，藝用解剖學的目的著重於人體表態及與表態有關的內部骨骼肌肉與關節運動的分析與研

究。從達文西米開朗基羅等藝術家開始數百年來，無數藝術家致力於人體結構的描繪與分析，探討人體解剖學已成為一套有系統去了解人體結構與動態的專門知識。筆者本研究的目的將針對藝用人體解剖學對人體骨相、肌肉分布與運動時骨骼與肌肉間相互作用關係三方面的知識，與人體表徵關係作探討，並進一步應用於高品質電腦三維人體模型建構上，並透過各種商用三維軟體實作探討實際運用的可行性。並且進一步利用高階光學式三維掃描設備擷取人物臉部模型，對兩種方法作出比較與分析。

貳、相關文獻探討

由於我們的眼睛已經很習慣真人的動作和外觀及反應，所以模擬真實人物的電腦角色，只要有一點不對勁立刻就被會發現，這也就是以往 3D 動畫人員避免模擬真實人物的原因，由於要騙過觀眾眼睛並不容易，所以以往的 3D 動畫如 John Lasseter 的檯燈，或是 Red's Dream 中的獨輪車，都是以具有人性的卡通造型出現，相對上這是容易許多。但如同 Reese 所言「當 3D 變得更普遍時，我發現 3D 藝術家缺乏人體及動物結構比例及動作的詳盡資訊，動畫人員必須知道真實世界中人類及動物的外觀及動作，才可能在 3D 世界中重現出來，即使是幻想的角色也要有些實際依據」(Reese,1996)。所以當一個 3D 藝術家要完成一個擬真的 3D 作品時，從一開始角色設計、塑模、畫貼圖、材質設定、動作、打光...都會被觀賞者以非常嚴格的標準看待。如何塑造出合乎人體結構的擬人角色也成為電腦 3D 藝術家必須注意的地方。過去幾年來也因為市場需要，人物角色動畫越來越受重視，發展也越來越迅速，許多好萊塢電影，如太空戰士中的 3D 人物，已經與真實人物無論在外形或動作上都相差無幾，而且目前仍在繼續前進發展當中。而相對於國外擬真人物動畫的發展，國內研究發展仍有顯著落差，相關論文不多，因此筆者將從探討如何以藝用解剖學的知識，建構出符合擬真動畫需求的三維立體人物模型作為研究起點，希望能拋磚引玉讓對製作擬真人物動畫有興趣的人能有多一份的參考資料，多一個研討的方向。

一、從藝用解剖學分析人體頭部骨骼肌肉結構關係與比例關係

人類活動是藝術創作的源泉，人體是藝術表現上最美，也是型態上最繁複最難表現的對象，於是自文藝復興時期開始，美術教育就把人體的描繪當成美術學習上非常重要的一環，因為藝術家必須具備敏銳的人體結構感，才能把人體的美感與心靈的意向充分表現在作品上(魏道慧,1998)。電腦擬真人物模型的塑造者亦然而在人體 Animation 方面，懂得骨骼與肌肉結構的重要性更是無用置疑的，即使並非寫實人物電腦動畫製作也同樣非常重要。因為人體動作的姿態取決於骨骼的結構，而動作則通常改變肌肉的型態。通過骨骼與肌肉的協力合作，可以產生各種動作，表現各種姿態事實上人體結構極為複雜，完全再現是不可能。但至少必須要對其構造有正確才能巧妙地強調重要特徵省略細微部份以達到擬真的要求。

骨骼系統是由骨骼、軟骨和韌帶所形成的結構，是支撐身體的基礎，幫助身體活動，保護人體內臟、大腦，維持身體固定的型態，讓肌肉附著(ANATOMY FOR THE ARTIST,2001)。骨骼的彎曲影響人體的動作及外觀，骨骼與骨骼之間長短比例、連結方式，對電腦製作人物動畫時架設 SKELETON SYSTEM 有重要影響。人體的肌肉生於骨表，閉鎖於體腔，我們看察外形所見到豐滿結實的曲線形態是內部各骨骼肌肉層次組織所形成的外表現象(魏道慧，1998)。人體肌肉系統非常複雜，共有五百多塊，必須從中分析出對人體塑造有幫助的型態，內在情緒會由內而外表現出來。所牽動的骨骼及肌肉程度各有不同，反映出的情緒亦有差別，由於人體肌肉與骨骼系統過於龐大，極為複雜，需要大量時間與資源投入，筆者此次僅對頭部做重點探討。

頭部外觀與頭骨結構的相對關係相當密切，人的頭部由於骨骼與肌肉眾多形成了非常複雜的曲面。就頭部構造而言，首先要掌握的就是頭部的六個主要的凹凸面，正確的掌握了這些重要的頭部結構是塑造正確頭部模型外觀的第一步也是最重要的一步因為基本結構如果錯誤就算爾後的細部再怎樣正確也都枉然。而運用到三維模型的塑造上一樣可作為尚未做 subdivision 之前的頭部基本照型的重要參考頭骨這幾個特徵明顯的凹凸分別是顴骨凸、顎凸、顳凹、頰凹、眼窩和鼻窩。顴骨凸(圖一-A)---受到顴骨弓(圖二-ab)影響而明顯突起，最為突起部分是顴骨結節(圖二-a)，位於眼尾及耳朵前緣的中間位置。顴骨弓是由顴骨顳突(圖二-a)及顳顳骨顳突連(圖二-c)結形成，與咬肌形成正面臉側最主要的輪廓線。其後的下顎枝(圖二-c)、下顎角(圖二-d)被遮住，也就造成耳輪腳及耳珠被顴骨弓及咬肌(圖 01-H)遮住，正面時無法看到此情況，男人較女人明顯(因為女人顴骨及咬肌較不發達)；瘦人較胖人明顯(胖人咬肌之後脂肪囤積使的耳腳向外移動)。

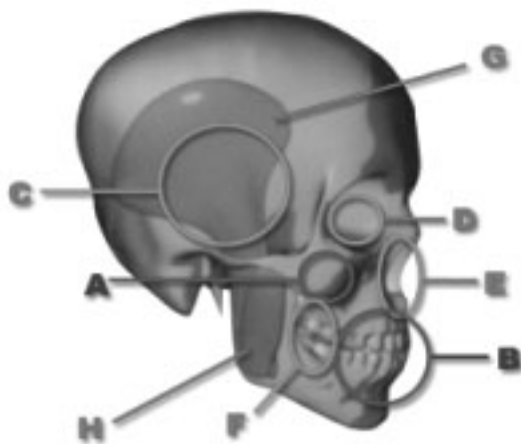
顎突(圖一-B)-----上下顎骨(圖二-ef)緊閉與上下齒列形成馬蹄型半圓柱面。一般情況上下顎股在齒列咬合處最為突出，上齒列較下齒列突出且略蓋住下齒列，也造成上唇較下唇突出。老人牙齒脫落，上下顎骨齒槽內含造成上唇看起來較薄且較下唇凹陷；而嬰兒由於兩頰內側有固體狀吸奶墊，使的臉頰豐腴，故顎突避不明顯，僅限於口唇部分。頰凹(圖一-F)----位於顴骨弓之下咬肌之前，下方是下顎體(圖二-f)；後方是下顎枝，由於顴骨弓及咬肌的突出，使頰凹更為明顯。一般在張口時，頰凹更明顯。常用白齒咀嚼咬激發達者，頰凹相對明顯，老人、病人、瘦人、脂肪層較薄的人，頰凹明顯。又女性由於骨骼肌肉較為圓滑、脂肪層較厚、頰凹不明顯。顳凹(圖一-C)---位於頭部兩側顴骨弓上方，顳頂骨顳線(圖二-i)下方，前額骨顳線(圖二-j)後方。整個顳凹為顳顳肌(圖一-G)佔滿，顳顳肌控制前列下顎牙齒往上咬合，故常用前齒者顳顳肌較為發達，顳凹較不明顯。與頰凹相同，老人、病人、瘦人、脂肪層較薄的人，顳凹明顯。眼窩(圖一-D)---位於額下鼻樑側及面頰之上。上圍是眼眶，眼眶是由前額骨(圖二-g)、上顎骨(圖二-e)及顴骨(圖二-a)所包圍而成，用以保護眼球，眼眶周圍略成斜方形，由內上往外下斜，由上往下內斜。女性及孩童骨骼較細緻、圓滑，脂肪較厚眼窩凹陷較為柔和。男性骨骼型態帶有稜角，眼眶骨明顯、眼眶較窄、眼窩較深、脂肪較薄眼窩較為明顯。鼻窩(圖一-E)----是由鼻骨(圖二-h)下緣、上顎骨鼻切迹圍繞而成。鼻腔前孔為鼻軟骨附著處，鼻子的型態由鼻軟骨決定，而鼻子的高低則是由鼻骨高低決定。但鼻窩與其他凹凸面不同因為他在體表示看不出來的反而因為鼻軟骨的突出而呈現突起

在藝用解剖學中第一個重要系統就是骨骼系統，而骨骼系統在電腦動畫的製作上也是非常重要的參考系統在電腦動畫系統中也有所謂的骨架系統用以控制電腦模型動作變形而在擬真人物動畫中人體的骨骼系統配置也成為配置電腦電腦骨架的重要參考，重要性不言可論。在然而在人體骨架系統中，頭骨分成頭蓋骨及顏面骨兩大部份。頭蓋骨由前額骨、顳頂骨(圖二-k)、枕骨(圖二-i)、顳顳骨(圖二-m)、蝶骨與篩骨組成。其中蝶骨及篩骨不影響頭部外觀。顏面骨是由兩塊鼻骨，兩塊上顎骨，兩塊顴骨，一塊下顎骨，一塊犁骨，兩塊下鼻甲骨，一塊淚骨，兩塊腭骨所形成。其中犁骨、鼻甲骨、淚骨、腭骨不影響外觀。前額骨、顴骨平展而突起，上顎骨斜後方，使得臉部骨骼上寬下窄，形成頰凹。眼窩處是深腔，斜長方形，從臉中央向兩側微微後斜，下顎骨以粗壯骨骼延伸到後上方形成下顎枝，下顎枝分叉成兩枝，後上端成顆粒狀使其可以在左右顳顳骨窪中轉動自如，此促為頭部唯一可活動之下顎關節，張開時斜向後方而非向下，這是製作電腦臉部動畫時要注意的一個重要地方。

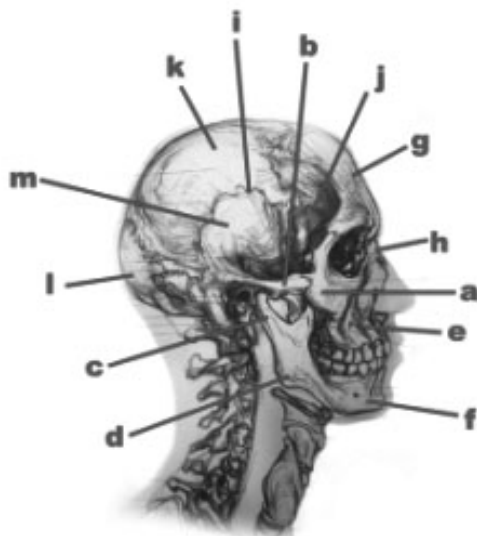
藝用解剖上在藝用解剖學中第二個重要系統就是肌肉系統，也是人體表面豐富曲面最主要的來源。在建構模型時，肌肉的走向更是非常重要的參考因子，因為唯有合乎肌肉走向的點線面分布，模型在製作動畫時才會有合理的變形。在頭部的肌肉系統主要由改變面部表情、一些較薄的肌肉及使下巴產生強大咬合力的肌肉所構成。每一表情都依賴皮下肌肉靈活運動變化

而來，要達到擬真的目標，就要了解形成表情背後肌肉及骨骼運作的真相，不可胡亂臆測，研究肌肉必須了解到每塊肌肉的起點與終點，才明白肌肉收縮的方向及對外表的影響。肌肉一般不用力時呈現平緩鬆弛狀態，而當肌肉收縮緊繃時，會將起點與指點拉近，使得中段肌肉較為鼓起。同時另一邊相對的肌肉便會變得鬆弛，以便被拉長。一般肌肉的起點與終點都是固定在骨頭的端點上，但頭部的肌肉有些卻是一端在骨骼、一端連結皮膚或肌肉上，這使得肌肉收縮時表層會形成皺紋，也說明了皺紋形成的方向與肌肉收縮的方向兩者互相垂直的原因。頭部的肌肉也與頭骨類似，分成顱頂肌肉與顏面肌肉。顱頂肌肉主要功能在於固定頭骨、保護頭顱。除了額肌與顳顬肌外並不影響臉部表情。顏面肌肉也稱作表情肌。大部分肌肉都集中在眼、口的周圍及額頭等部位，具有開眼睛、控制嘴部動作、改變表情頂作用。眼睛周圍的重要肌肉有眼輪匝肌(圖三-a)、皺眉肌(圖三-d)、嘴巴周圍的肌肉有大顴骨肌(圖三-n)、小顴骨肌(圖三-m)、舉頰肌(圖三-h)、笑肌(圖三-e)、下唇角肌(圖三-f)、下唇方肌(圖三-g)；控制下顎骨咬合的顳顬肌(後臼齒部分)(圖三-c)、咬肌(門牙部分)(圖三-i)。另外臉部表情肌尚有頰肌(圖三-j)、頸擴肌(圖三-p)、鼻壓肌(圖三-o)、鼻纖肌。人們的喜怒哀樂也就是這些肌肉收縮排列組合後的成果。

藝用解剖學與一般醫用解剖學最大的不同在於它對於各部分尺寸比例關係的研究。每個人頭部各部位的大小比例都不盡相同，但是經過藝術家無數的觀察與統計後，產生了一套合乎實用的平均比例，這種比例關係在藝術家繪製各式人體臉型時，提供了相當大的輔助功能，幫助藝術家檢視與判斷所繪製圖形各部位的正確大小與相對位置。此基本測量方法是從正面及全側面兩面來觀察，從正面來看，可將成人頭部正面寬度定為三個單位長，並以此為基準去測量臉部各比例，如頭長就大約是 3.5 個單位，分別是顱頂到髮際 0.5 單位長，髮際到眉毛 1 單位長，眉毛到鼻底 1 單位長，鼻底到下顎骨底 1 單位長。而在鼻底到下顎骨底這一段又可做細部切分，由鼻底算起三分之一單位處為上下唇連接線，二分之一單位處為下唇下緣。和大多數的生物一樣人體的外表大致上呈現左右對稱，因此藝術家遂發展成中軸輔助線，在臉部的稱為臉中軸，由頂節結、額溝、眉間、鼻樑、人中到顴隆突。當然每個人的容貌都不是完全相稱的，也會因表情、動態、習慣而變得不對稱，應觀察左右，比較後再加調整。頭高的二分之一處約為眼睛的水平位置，由臉中軸向兩側 0.5 單位長的位置為內眼角起始位置，內外眼角距離為一個單位長，鼻翼寬度與兩內眼角寬度及眉頭寬度一致。而由正側面來看頭長寬均為 3.5 個單位，從眼尾到耳前緣為一個單位長，耳朵高度為一個單位長，且下緣與鼻底同高。這些尺寸比例可視為美術上的完美標準比例，事實上會因每個人而有些許差異當然並非絕對，不過若是能深入了解，則不論在速描雕塑或是建構三維立體模型時都會有莫大的幫助，使作品不會有結構上的錯誤。



圖一：頭骨外型



圖二：頭骨正側面



圖三：臉部正面肌肉分布

二、電腦模型建構方法

在三維電腦動畫中，最基本的條件就是必須要有可供拍攝或調整設定動態的各種模型，比如建築動畫中建築物外觀模型、電視 CF 廣告中的廣告產品、電視台形象宣傳動畫(Station I D) 中的電視台或企業體的標準立體字體模型…而在三維人物角色動畫中模型的要求更是繁複，除了場景配件外，最重要的就是主要角色模型的設計與建構。在這林林種種的模型建構需求中，模型師會因各種模型由於特徵不同、用途不同、需求效果不同而採用不同的模型建構技術。在電腦圖學中主要分成 Boundary representations (表面模型)、Solid modeling (實體模型)、Procedural modeling (程序式模型) 三大模型類別。而在 Boundary representations 中，又依表面呈現的方式分成：Polygons 多邊形模型、Bi-cubic parametric patches 數學參曲面模型及 NURBS 非對稱式數學參數曲面。Solid modeling (實體模型) 的建構方式也有

Constructive solid geometry (CSG)組合式實體幾何模型、Voxels 體素（體積方塊）模型、空間切割的資料結構式模型 Quadtrees & Octrees Binary space partitions (BSP)。而 Procedural modeling（程序式模型）依不同的演算法又有分 Sweeps、Fractals、Grammars 三大模型種類。在如此眾多的模型種類中，筆者將以目前主流軟體較為廣泛採用的 Boundary representations（表面模型）來作為模型建構探討的主要工具，以求取研究結果對目前軟體使用者能有最大的助益。

目前製作三維立體動畫的主流軟體，除了 Lightwave3D 一慣堅持採用 Polygon 來製作動畫模型之外，其他商用軟體如 Maya、3D Studio Max、Softimage/ Xi 都具備有 Polygon、Patch 及 NURBS 三種 Boundary Representations 的建模方式。不過由 Lightwave 3D 早採用的 Metaform，也就是 Polygon 的 Subdivision 的模型製作觀念，在近幾年來亦慢慢在動畫模型製作方面崛起，因此在此亦將 Subdivision 的模型製作方法加入探討。

多邊形模型製作是最早發展出來的電腦三維模型製作技術，也是三微電腦繪圖的基礎形式，其實所有由其他數學參數曲面所建構出來的三維曲面模型，最後仍然會轉換成不同精細度（多邊形面素）的多邊形，加以演算成圖形。多邊形模型是由 Vertex 點、Edge 線（邊界）、Poly（面）三個基本元素所構成。點是三維空間座標中的特定位置，而邊界則是連接兩個點的直線，而面則為多個連續邊界所封閉而成的區域。多邊形模型的優點是不受限於數學曲面拓普的限制，對於複雜造型的模型，相對於其他數學曲面製作方式無法製作一體成型的模型將如有耳的茶杯、複雜的人體等。多邊形模型製作則不受此限制，模型製作者可以依自己的需要，在所需要的區域增加新的點線面，調整改變模型的造型以符合所需，而缺點則是當模型點面數過多時，模型在製作過程中調整不易，加重顯示卡負擔，製作變形動畫時變形不易控制且費時。不過這些缺點在目前已可用 Subdivision 技術來克服。用低解析度模型來製作動畫調整變形，運算時再以高解析度模型演算。目前在擬真模型製作上與藝用解剖學及人體結構結合性最好的模型製作方式，也就是多邊形的 Subdivision 製作方式。

補片曲面模型是以數學曲線為邊界的曲面。而數學曲線又分成 Linear、Cardinal、B-Spline、Bezier 等種類。Linear curve 看起來很像由一連串的直線所連結起來的連續線段，而 Linear curve 所構成的曲面，和由相同頂點所構成的多邊型表面是看起來是相同的。Cardinal curve 是通過幾個特定控制點的曲線，而這些點可以控制曲線通過該點時的正切值來改變曲線形狀。B-spline curve，曲線除了第一個及最後一個控制點外，並不會通過其他控制點，可由控制點的位置來調整曲線形狀。Bezier curve 曲線會通過每一個控制點，而且每一個點都有兩個切線控制項目可以控制控制點兩側的曲線權重及曲率。補片曲面的模型製作方式可以透過連結多片的曲面來連結，形成合乎人體肌肉走向的人體複雜曲面，但由於必須經過事前精密的規劃分配曲面，製作難度較多邊型的 Subdivision 製作方式高。

NURBS 是 BS(B_spline)的改良版，最大的特色就是每個曲面控制點都可以設權重來影響鄰近曲面的曲度，以得到較尖銳的曲面，也就是說可以用較少的曲線來形成較複雜的曲面，使曲面拓普較為簡化。

多邊型製作模型是最簡單直覺的，由於多邊型模型是由點線面所構成，因此只要對這三種基本構成元素的編修工具，如移動位置、新增、修改、刪除功能多加了解、運用與熟悉，基本上就已經可以做許多的模型了。而目前多數軟體為了幫助模型製作者增進製作效率，陸續在不同版本的改進下增加許多編修點線面的工具，在 George Maestri 的 Digita Character Animation 2 書中將這些功能歸納為 Extrude（延伸長出）、Bevel（產生切面）和 Collapse（縮集）三種。分別以點、線、面來說明：點的 Extrude---將某點外移，並新增多個三角多邊型（看多少個面共用此點）。Bevel---以某點為基準，沿著相接於此點的邊線各延展移動一定距離，新增新點並相連成新多邊型切面。Collapse--- 將一個以上的點收縮焊接成一個點。線（邊）的

Extrude---將某邊順著邊的法線方向外移，並新增一個四角多邊型。Bevel ---以某邊為基準，沿著以此邊為相鄰邊多邊型朝遠離邊的方向，各延展一定距離，新增新點並相連成新四角多邊型切面。Collapse---將一個以上的邊收縮焊接成一個點。面（多邊型）的 Extrude——將某多邊型順著多邊型面法線方，向外延長擠出一個柱體。Bevel ---Extrude 的變型，擠出柱體後頂面可內外縮放。Inset--- Bevel 的變型，頂面擠出高度為 0，並將頂面多邊型內縮。Collapse---將一個的面上所有點收縮焊接成一個點。Booleans--- 利用交集 聯集 差集等布林運算的方式來產生模型。

Subdivision surfaces 是一種強化版的多邊形模型編修及呈現方式。利用商用套裝軟體的功能，透過增加額外的點線面將多邊形模型邊角曲線化，使原來粗糙的塊面變成柔順的曲面，使得多邊形表面型態逼近於 B-spline Patch 曲面。編輯模型的方式為調整模型不同的解析度來控制高解析度模型的形狀，而低階解析度模型的編輯操控方式，與功能與一般多邊形模型操控方式相同。

Patch 曲面是由 Linear、Cardinal、B-spline、Bezier 等曲線所定義而成，一般有四個邊或是由許多四邊曲面所相接而成的大曲面的集合。要建構 Patch-based 曲面模型的方法為找出模型的關鍵造型曲線，如剖面線、臨界線、邊界線、延伸軸線等，再以商用軟體提供之模型建構工具，產生曲面模型。主要方法及工具如下---Extrude 延伸擠出成型：將事先畫好的剖面線，沿著特定 path 路徑曲線或軸向延伸成立體曲面。Lathe/Revolve---旋繞成型：很像手拉胚，將已事先畫好的曲線，以某一軸線為中心等距旋繞出立體曲面。Lofting---類似 Extrude，但是可以在延伸的路徑上不同位置，設定不同形狀的剖面線，使的延伸出的曲面可以較為複雜。Skinning---事先畫好多個曲線，最後依序將各個不同造型曲線連接起來成為一個立體曲面。Ruled---將兩條曲線相連結形成一曲面。Boundary surfaces---以三條或四條曲線為邊界，來定義出他們所包圍的 Patch 曲面。BiRail---將一條或兩條剖面曲線，沿著另兩條不相交的曲線延展產生立體曲面。Stitching patches together ---很多複雜的模型表面並非一張完整的 patch 就可以完整的包覆，譬如具有分枝特徵的型體如人體、樹幹、某些陶磁器皿，解決的方法就是使用一張以上的 patch 加以縫製，如同縫製有袖子的衣服一般。基本的方法就是做好一片 patch 後，接著在第一片的邊緣接著產生第二片接著調整完第二片形狀後再於所需增加 patch 的邊緣，再增加第三片 patch，依此類推一直到模型完成。這個方法非常簡單但沒有效率，因此一些商用三維軟體，如 3DMAX 提供了一些工具自動縫合 patch 邊緣，加快此類 patch 模型的製作，而 maya 雖沒有提供自動縫合功能但也有一些手動縫合及曲面接線邊緣的切線斜率控制，以產生無縫接邊。

NURBS 曲面模型的製做方式與之前的 Patch 數學曲面製做方式大部分是相通的，如 Extrude、Lofting、Revolved、Skinning、Boundries and Birails 等，如同一般數學曲面模型，NURBS 曲面模型製做的最大困難在於具有分枝型態的模型制作，而克服這個問題的方法除了採用類似拆解 Patch 曲面，再加以縫合的方式之外，利用 Create Curve on Surface 的方法是 NURBS 解決具有分枝型態的模型最常用的方法。Create Curve on Surface---在曲面上產生曲線，並以此曲線當成分枝節構的起始點，利用 Blend、Loft 等方式配合其它曲線產生分枝結構。Lofting to Curve on Surface---以曲面上的曲線為連結起點，和其他未連在曲面上的曲線 Lofting 成分枝曲面。Blends---會自動產生足夠的曲面，來連結與曲面上的曲線。相連結的曲線並自動調整連接曲面的斜率使之平順連接。Trimming---可以利用在曲面上的封閉曲線，將曲面挖洞，不過 NURBS 曲面的 Trimming 是一種視覺上的騙術，曲面並未產生真正的缺口，只是在視覺呈現上將曲面上曲線所包圍的區域算成缺口的形狀。Fillet---類似 Blend，會自動在兩相交曲面邊緣產生半圓弧內凹連接曲面。Chamfer---與 Fillet 相反，會在兩位相交的曲面間產生外凸圓弧曲面。

除了以上利用商用套裝建構模型的軟體來產生模型之外，利用三維掃描設備來產生電腦模型也是一種建構模型的方式。通常是將實物或是事先塑造好的模型，利用機械式或光學式的三維掃描設備，將模型的形狀轉換成電腦中的三維立體數據，而後再依照需要轉成 polygon model 或是 NURBS model。

優良的模型除了外表要逼真之外，模型的結構、資料量大小、修改的難易度與動畫製作的方便性，都是考慮的要點。利用電腦產生三維模型的方法非常的多，每種方法各有其長處及不足，因此廣泛了解並熟悉各種建構模型的方式，並多方面學習各種工具程式，依據模型特性，選擇適當的方法與工具，是建構優良三維模型並節省工作時間的重要關鍵。

參、研究方法

一、利用解剖學與三維商用套裝軟體工具製作人物臉部模型

利用市場上普遍使用之 3D 套裝軟體如 Maya, 3D Studio Max, Lightwave 3D，實作人體各主要結構，如頭部軀幹手部足部。並記錄其相對於藝用解剖學的關係。

二、利用三維立體掃描設備擷取人物臉部模型資料

利用 3D 立體掃描設備，產生人體臉部結構的電腦立體模型，並觀察產生的模型與藝用解剖學的關係。

肆、研究結果

一、利用軟體實作部分

依照藝用解剖學觀念，利用商用 3D 軟體 MAYA 4.0，以 Polygons 工具及免費外掛軟體 cps 為塑模工具，所建構的擬人化 3D 模型，如圖四。在筆者建構模型的過程中，發現使用 polygon 多邊形及 subdivision 的製作方式來製作，最容易與藝用解剖學知識互相搭配。利用 subdivision，我們可以先去製作人頭的粗胚，在製作粗胚時，我們即要考慮到基本頭形的正確性、比例、各主要凹凸面分配的位置，否則就算之後細化後，局部製作再精細，模型仍是不正確。在這階段，骨骼對模型結構的影響大於肌肉，且應注意各部位隨後在細化後的相對關係。而在基本頭形架構決定後，再來就必須進一步利用對肌肉起始點及走向來處理多邊形模型的點線面分佈與走向，使點線面走向合於肌肉走勢及與骨骼銜接關係如圖五，如此在爾後動畫製作時，曲面凹凸才不易出現不可預料的情況。比如相對於眼輪匝肌、口輪匝肌，基本上我們就必須以圓形走向來佈線，如此做眼口開合動畫時，才會合於正常形變。另外在調整曲面時，比如說眉骨高低、顎骨位置、下顎、口唇也都可以透過對骨相及肌肉的了解而得到更正確的觀察與結果。這時應注意除非必要，不要任意的增加點線面數，且不要在局部做得太過精細，應注意佈線密度的均衡，更細的構造可以在整體細化到適當的密度時再調整即可。以下是筆者依藝解知識以多邊型技術所建構的 3D 頭部模型，雖仍顯粗糙，但由於藝解的幫助，擬真的程度仍可接受，且運用藝解及商用軟體互相合作的方式來製作，其的優點是隨著對於知識的日益精進及技術的掌握日益成熟，對於模型的正確性及生產效率，可以相對提升，創作可能性更是沒有限制。全依始用者的操作，只要使用一般的電腦與三維商用軟體，便可達到製作擬真人物的目的。

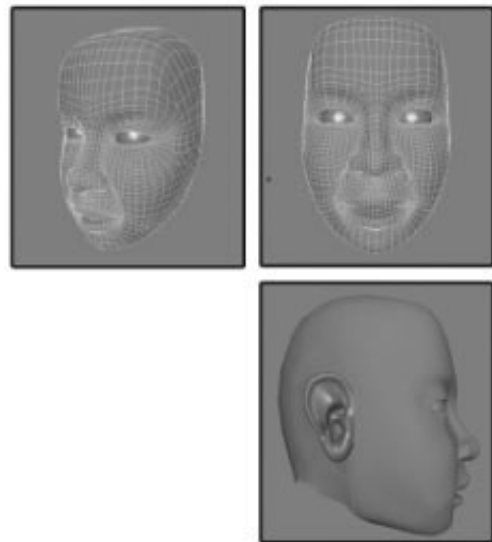
二、利用掃描器實作部分

三維立體掃描器的原理是利用機械或光學的原理，在三維空間中，在被掃描物體表面擷取一定數量的空間座標點，並計算出這些空間座標點的相互關係，轉換為三維立體模

型。這是產生精確三維電腦模型最快速的方式，但設備也相對高昂。筆者此次使用的是 Inspect' s 3D digitizers 的光學式立體掃描系統，搭配的作業軟體是 Inspect EM 4.1 來擷取真實臉部資料網格多邊形立體模型原始資料，由於使用系統只有配備一架攝影機，且操作的空間並非完全封閉，光源無法得到很好的控制，所以結取出來的資料表面凹凸不平，如圖七，於是筆者還是利用商用三維軟體 MAYA4.5 加以修整，得如圖六的模型資料。此模型與原被攝者相似性很好，但由光學式掃描系統所結取的多邊形網格，模型點線面，呈現立體矩陣般的平均分布，與人體肌肉骨骼架構不符，因此並不適合直接作為擬真動畫模型使用。



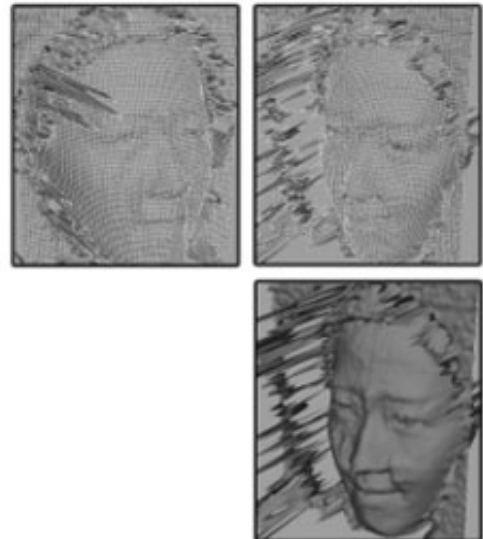
圖四：使用Maya建構之擬真頭部模型外觀完成圖



圖五：使用Maya建構之模型外觀佈線結構圖



圖六：使用立體掃描之擬真頭部模型外觀完成圖



圖七：使用立體掃描之模型外觀佈線結構圖

第五章 討論與建議

自從文藝復興以來，達文西、米開朗基羅等藝術家及對人這個主題創作出無數偉大的藝術品。藝術家們為了更準確去掌控人體的姿態，對人體內外的結構也都有深入的研究。而這些前人留下的

寶貴資產也就是藝用解剖學的基礎。人體的美在於其曲面的豐富與變化的微妙，多變不易掌握。藝用解剖學則為人們提供了繪製這些微妙曲面的線索，如骨態、肌理的關係、各部位相對的比例、位置。這些知識已經經過無幾世紀的考驗，證明了它們的正確性與實用性。經由筆者研究結果，也印證了藝用解剖學的知識對於以電腦製作擬真模型有非常大的助益，除外表正確性的掌握之外，對於內部骨骼與肌肉運作的真實狀況，與外部形態變化的結合性及合理性更是有極大的助益，這是其他任何電腦動畫知識所難以取代的。而相對於由光學式立體掃描器所製作出來的模型，由於採用空間平均切割取樣的方式，所以產生的模型點線面的分布，並未順著人體肌理分佈，不適合作為擬真人物動畫使用。不過由於立體掃描可以快速產生模型及貼圖，所以將所產生的模型，配合解剖學知識，運用商用動畫軟體來修正點線面分布，使其合於肌理走向，是一個可以大量節省製作時間，且顧及動畫製作需求的好方法。

藝用解剖學的領域非常龐大，模型製作的技術也日新月異，此次研究由於時間及設備的限制只能針對人體頭部進行部份探討，日後將繼續以這個方向繼續進行研究與製作，如有疏漏請各位老師教授批評指點。

參考文獻

- 視覺設計研究所(1987)。《美術解剖圖鑑》。台北：唐代文化事業有限公司。
- 高橋長雄(1991)。《人體的地圖》。台北：暢文出版社。
- 魏道慧(1998)。《人體結構與藝術構成》。台北：魏道慧。
- 小川幸作(2001)。<通過使用六角大王SUPER最新版本進行角色創作>，區國豪(編)《CG WORLD 國際中文版Vol6》。
- 小川幸作(2001)。<深入認真地考究骨骼和肌肉>，區國豪(編)《CG WORLD 國際中文版VOL.18》。
- 朕宏國際民(2001)。《3DS MAX角色動畫通》。台北：美工科技有限公司。
- Doug Jamieson(1991).Draw From Your Head. New York.Watson-Guptill Publications.
- Stephanie, Reese(1996). Character Animation With 3D Studio Max. New York .The Coriolis Group,inc.
- Kit Laybourne(1998).The Animation Book.New York.Three Rivers Press publishers.
- George Maestri(1999).Digital Character Animation 2,Volume I : Essential Techniques.Indianapolis.New Rider Publishing.
- Sarah Simblet(2001).Anatomy for the artist.London.Dorling Kindersley Limited.