

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

網路圖學之三維幾何模型簡化法之研究

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC92-2218-E-002-056-

執行期間：92年12月01日至93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：卓聖堯、涂正翰、謝名凱、黃鈞澤、張硯拓、黃輔中

報告類型：精簡報告

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 93 年 11 月 2 日

行政院國家科學委員會補助專題研究計畫 成果報告
 期中進度報告

網路圖學之三維幾何模型簡化法之研究

計畫類別： 個別型計畫 整合型計畫

計畫編號：NSC 92-2218-E-002-056-

執行期間：92年12月1日至93年7月31日

計畫主持人：陳炳宇

共同主持人：

計畫參與人員：卓聖堯、涂正翰、謝名凱、黃鈞澤、張硯拓、黃輔中

成果報告類型(依經費核定清單規定繳交)： 精簡報告 完整報告

本成果報告包括以下應繳交之附件：

- 赴國外出差或研習心得報告一份
- 赴大陸地區出差或研習心得報告一份
- 出席國際學術會議心得報告及發表之論文各一份
- 國際合作研究計畫國外研究報告書一份

處理方式：除產學合作研究計畫、提升產業技術及人才培育研究計畫、
列管計畫及下列情形者外，得立即公開查詢

涉及專利或其他智慧財產權， 一年 二年後可公開查詢

執行單位：國立台灣大學資訊管理學系暨研究所

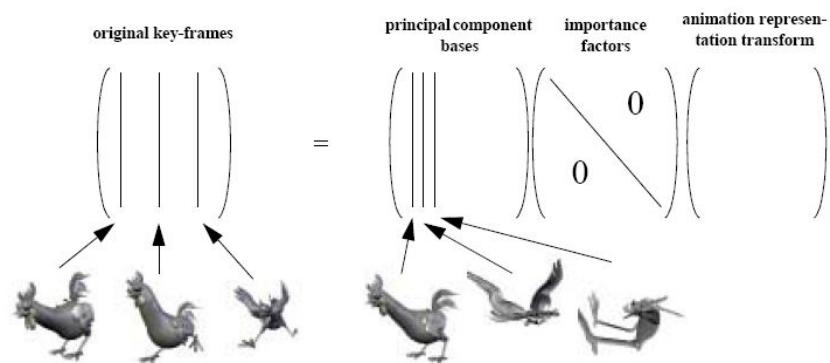
中華民國九十三年十月二十九日

一、 前言

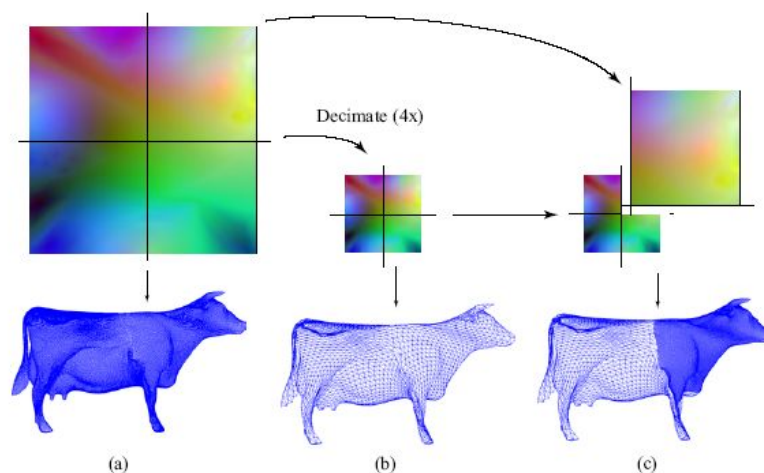
本計畫提出了三個針對網路圖學之三維幾何模型簡化法的所需技術，一是針對靜態三維幾何模型的簡化，二是針對化簡三維幾何模型所需之模型特徵偵測，三為針對動態三維幾何模型的簡化。其中針對靜態三維幾何模型的簡化與化簡時所需之模型特徵偵測的主要方法已大半詳述於本研究計畫的申請書中，實作上亦較無可述之處，因此，在以下的報告中，將針對本計畫最困難的動態三維幾何模型簡化提出詳盡的說明。

二、 相關工作

化簡靜態三維幾何模型的技術已經日趨成熟之後，我們開始探討在動態三維幾何模型上的化簡技術。在[1]中提到了使用奇異值分解法 (SVD: Singular Value Decomposition) 的方式來分解一個由所有 key-frame 模型的空間資料所組成的矩陣，如圖一所示，利用採用不同數目的 principal component bases 即可還原出不同精細度的動態三維幾何模型。不過，這個方法的缺點是計算時間過長及並沒有辦法減少三維模型中點 (vertex) 個數。



圖一：以奇異值分解法分析三維動畫模型



圖二 利用減少參數平面的點的個數來做到多精度模型。

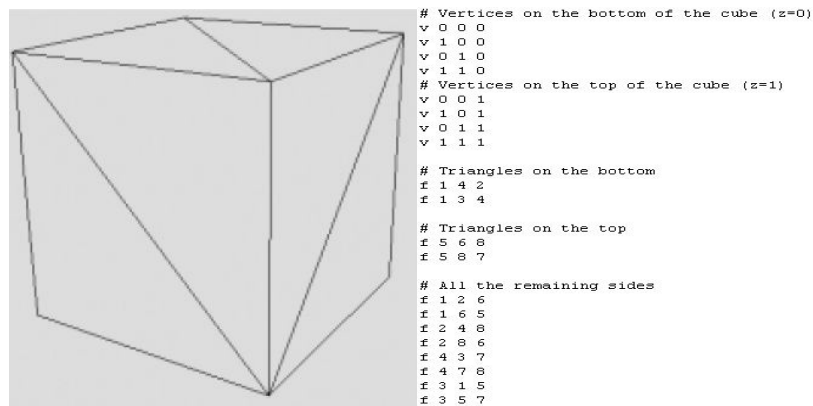
[16][18]二篇研究係採用區域性化簡靜態三維幾何模型的方式，針對所有 key-frame 模型，以局部化簡模型時所會造成的誤差的平均值來做為所要化簡的點 (vertex) 或是邊 (edge) 為其優先順序的依據。[16]乃是套用在具有骨架資訊的三維幾何模型上，缺點是並非所有的三維幾何動畫模型皆具有骨架，例如：臉部表情的動畫、海面模擬動畫等，皆是沒有骨架

的動態三維幾何模型；兩者共同的缺點是：以化簡所造成的誤差平均值來做為化簡順序的依據，並沒有辦法確實的保留住此三維幾何模型在運動過程中所產生的動作特徵 (motion feature)。

基於[11]所提出應用於參數化靜態三維幾何模型的技術，[2]將此技術改良成可應用在動態三維幾何模型上。此技術支援多精度 (LOD: Level-Of-Detail) 模型，如圖二，缺點是對於高 genus 的模型在套用此技術之後，會產生相當程度的扭曲變形 (distortion)。

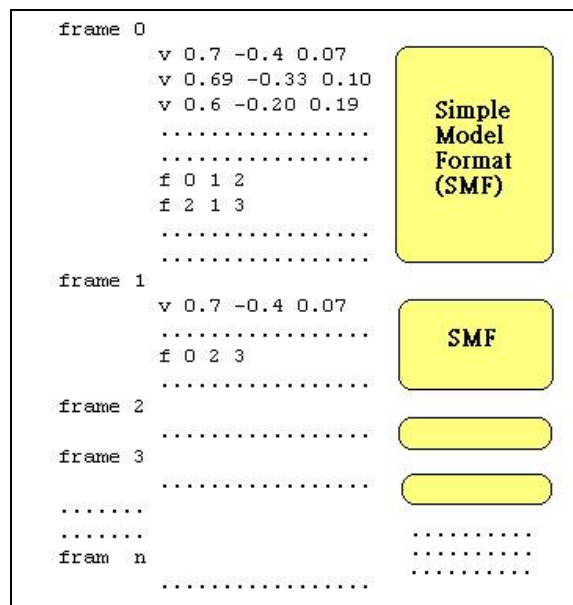
三、針對形變化簡動態三維幾何模型之演算法

在這一部分將會詳細說明我們整個系統的工作流程，包括系統的輸入資料型態、簡介我們用採用[9]之技術所提出的局部化簡靜態三維幾何模型的演算法、及我們提出可以針對形變來化簡動態三維幾何模型的化簡架構。



圖三 SMF 的檔案格式。

對於一個好的全自動化簡動態三維幾何模型演算法，系統需要的是連續的靜態三維幾何模型。我們的系統同時支援具有骨架資訊的動態三維幾何模型 (skeletal model) 及以關鍵畫面所組成的動態三維幾何模型 (key-frame model)，然而在此二種定義的動態三維幾何的資料當中皆必須以 SMF (Simple Model Format) 的檔案格式來定義三維模型，此檔案格式為一般最常用的 obj 檔案格式之簡單版本，如圖三所示。



圖四 範例：KMF 檔案格式。

另外，我們定義了一個新的資料格式 KMF (Key-frame Model Format) 來當作我們的系統輸入。此檔案是由 SMF 格式所組合而成。圖四是其格式介紹。

而一個具有骨架資訊的動態三維幾何模型則主要是由四個檔案定義而成。SMF 檔案定義幾何資料。骨架的資料則包含在 ASF (Acclaim Skeleton File) 中，其定義了骨架一個基本姿勢的支點位置所在，這個姿勢並且也是第一個關鍵畫面的姿勢。而骨架運動的資訊則是儲存在 AMC (Acclaim Motion Capture) 中。最後一個檔案格式是 WGT，此檔定義了模型上每一個點 (vertex) 和骨架間的關係，即當骨架在運動時，模型表面上的點的位移會如何受到這骨架移動的影響。

目前我們採用了[9]所提及的 QEM 來做為我們化簡的度量單位，原因如下：第一，這是一個被廣為使用的化簡方式，即其化簡的結果是相當好的；第二，此化簡方式在計算時間和化簡效果上有一個很好的權衡比例。除此之外，作者亦開放其函式庫之原始程式碼，確實幫助我們縮短了開發時間。此演算法主要的貢獻在於決定了要化簡的點對 (vertex pair) 的優先順序，並計算出新生點的最佳解在下一段中，我們將簡單的介紹這個演算法及代數來說明其計算過程。

我們將此演算法分為兩個部分：初始化及化簡。由於 QEM 是以找出一個新的點來取代原本的點對來做為其化簡的方式，所以在初始化的時候，我們必須決定出有哪些點對是可以被化簡的。可以被化簡的點對包含了邊、以及兩個相鄰距離小於一定的門檻值且非邊的點 (non-edge)。且對於每一個點對候選者，當其被化簡時所會產生的誤差值 (QEM) 也是在這一階段中計算出來。而在化簡的階段，此演算法會選取擁有最小誤差值的點對，並將其從優先佇列中移除；當此點對被移除之後，在此局部區域中，和此二點相連結的三角形將會被重新三角化，且所有和此兩點相關的點對的 QEM 值也都將被重新計算。系統會不斷的重覆執行此化簡的部分，直到此模型的精細度滿足使用者所設定的期望值。

我們定義這個 Quadric 函式 $Q^f(v)$ 為某一個點 v 到某一包含 f 這個三角面的平面的距離平方。而對此動態三維幾何模型中的每一點 v ，我們定義 $Q^f(v)$ 為每一個 $Q^f(v)$ 乘上 f 三角面的面積的加總。當我們做了單一次化簡的動作後，即將一個點對變成一個新的點時 $(v_1, v_2) \rightarrow v$ ，藉著解這個最小值的方程式 $Q^v(v) = Q^{v_1}(v) + Q^{v_2}(v)$ ，我們可以得到新的點 v 。點 v 到一個法向量為 n 的距離平方可以根據 $Q^f(v) = D^2 = (n^T v + d)^2 = v^T (n^T n) v + 2dn^T v + d^2$ 求得，我們可以將之化簡成 $Q^f(v) = v^T (A) v + 2b^T v + c$ ，此處的 A 為一個 3×3 的對稱矩陣， b 為一個維度 3 的量， c 為一個常數，儲存 (A, b, c) 一共只需要十個變數。要找到新產生的點的最佳解，我們只需要去解這個線性系統： $\nabla Q^v(v) = 2Av + 2b = 0$ 。

就像前面所提及的我們目前是以 QEM 來做為我們化簡模型的誤差值，根據此誤差估計值我們可以決定化簡點對的優先順序。而這個誤差值我們可以利用 $v^T (Q_1 + Q_2) v$ 來求得。 v 是新產生的點的位置， Q_1 及 Q_2 是點對 (v_1, v_2) 的 Quadric Error 的對稱矩陣。這 QEM 的方法可以很成功的處理靜態的三維幾何模型，可是不能很成功的套用在動態三維幾何模型

上。如果我們只根據某單一畫面的模型來做為我們化簡的依據，即沒有辦法對所有其他的畫面也得到一個效果很好的簡化模型。所以我們不單單只考慮到單一畫面的模型，而是將每一個畫面的模型都考慮進來。

一個比較直觀的想法是，我們求取每一個相同的點對在不同畫面時的 QEM 的平均值來做為此一個點對的 QEM 值，可以以下列的公式表示：

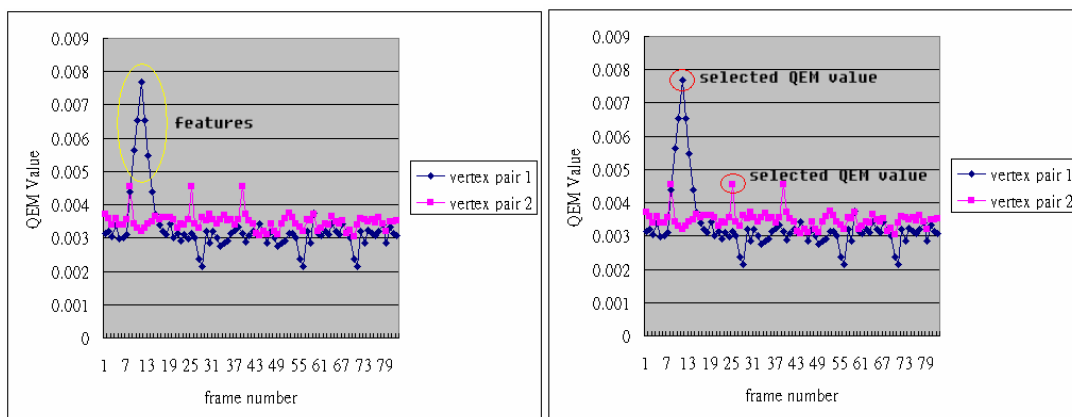
$$QEM_{\text{ of pair}(v1, v2)} = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^n v_i^T (Q_{i,v1} + Q_{i,v2}) v_i ,$$

i 為畫面的索引值， $v1$ 及 $v2$ 為一個點對的兩個端點。以這個方式來化簡動畫可以得到比較好的簡化模型，因為以數學的方式來說，取平均值主要是考量整段動畫中模型動作的趨向，但是這樣做並沒有辦法偵測到在動畫片段中只出現在某些片段中的特徵動作 (features of motion)。

以圖五為例，在這個圖中，X 軸代表的是畫面的索引而 Y 軸代表的是化簡掉某一組點對時所會引起的 QEM 誤差值，紅色的曲線表示某一組點對 1，而藍色的代表另一組點對 2。我們可以假設這兩組點對曲線下的面積是一樣的，即表示說若是以平均的方式我們便沒有辦法偵測到以黃線所圈起來的特徵部分。為解決這個問題，我們提出下列的公式來取代原本平均值的方式：

$$QEM_{\text{ of pair}(v1, v2)} = \underset{i}{Max} v_i^T (Q_{i,v1} + Q_{i,v2}) v_i$$

即我們定義點對的 QEM 值為其在所有畫面中，當我們要化簡它時所會產生的最大誤差值。我們選擇採用最大值的原因源自於兩個推論：(1) 特徵點的 QEM 值皆高。(2) 特徵點會在分析圖中會造成一個山峰 (peak)。第一個推論可以確保使用這個方式可以保留住原始出現在大部分畫面的動作特徵，而第二個推論可以保留住只出現在少部分畫面的動作特徵。所以如果這個特徵是持續出現在動畫過程中，其會在分析圖中製造出相當多的山峰，一定會被此方式給偵測到；而若此特徵是只出現在一到數個畫面，則會被平均值的方法給忽略掉，而我們所提的方法仍然可以偵測到。

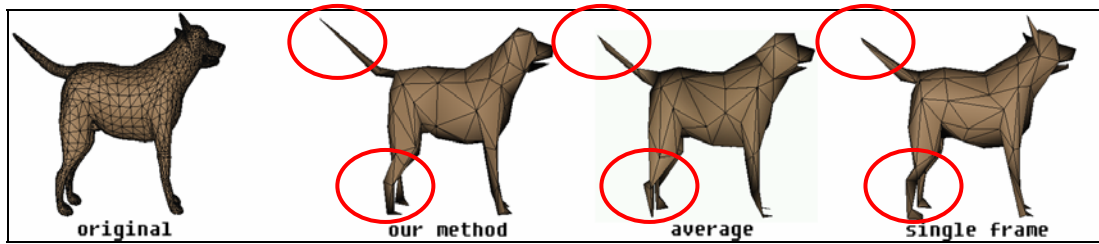


圖五 (左)以平均法並沒有辦法偵測到特徵部分。(右)選取最大值可以偵測到特徵

四、實驗結果

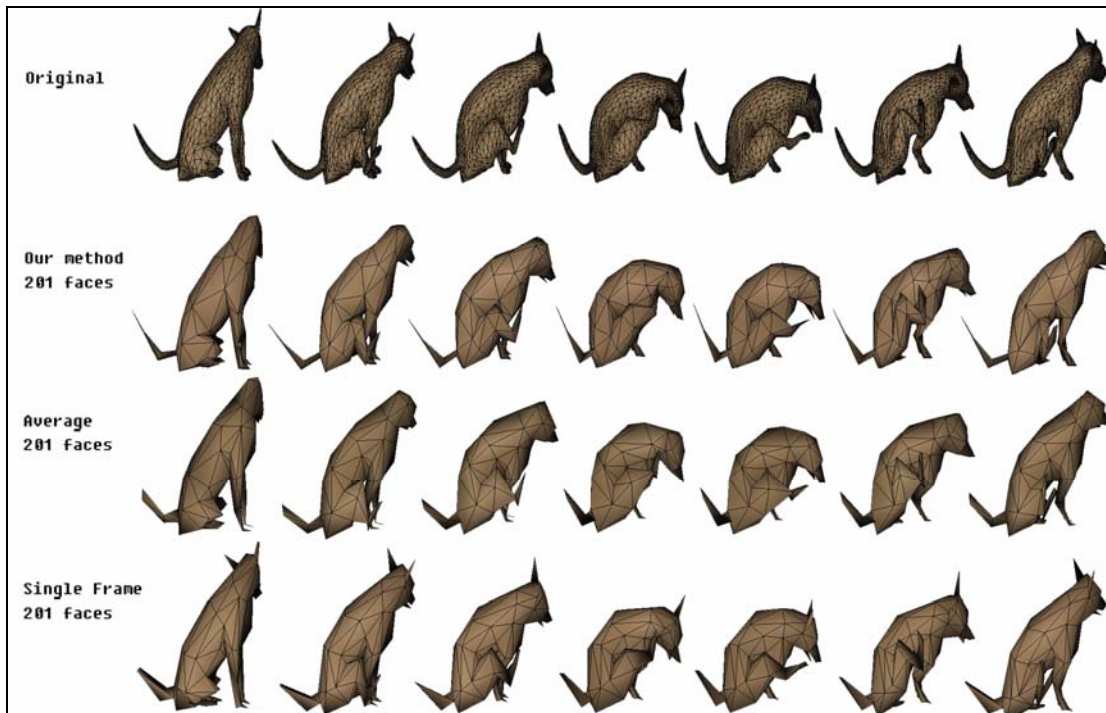
為了比較採用不同的動態三維幾何模型簡化架構所造成的結果，我們做了三段動畫，分別套用在我們提出的最大值架構、與其他的平均值架構、任意取一個畫面的 QEM 值架構來

做比較。由於版面的關係，在這裡我們將只介紹第一段動畫的結果，其他的結果請參閱 [6][7]。



圖六 原始動畫模型和化簡後的動畫模型 (第一個畫面)

在圖六當中，我們展示出了第一個畫面、採用了不同的動畫模型簡化架構所得到的簡化模型，可以特別注意尾巴及四肢的部分，我們確實有比較好的結果，即我們有保留比較多的三角形數在這些部位當中。圖七展示出簡化的連續畫面，可以注意在平均值方法的部分，在尾巴及後腿部分已產生嚴重變形。

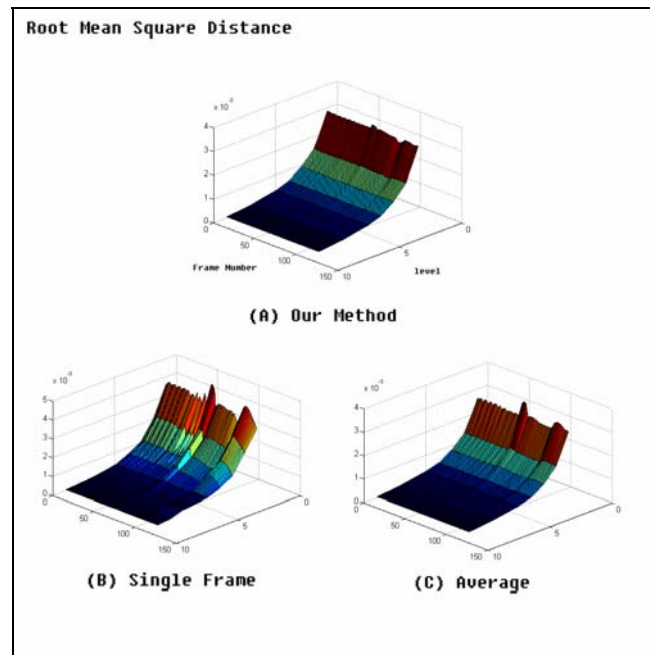


圖七 狗抓癢的動畫片段，此為 111 個畫面中的 7 個畫面

另外，我們也利用了 Metro [8]來當作我們的比較工具，實際用統計的方式來比較這些不同的動態三維幾何模型簡化架構所產生的簡化模型的優劣性。Metro 可以量測出原始模型和簡化模型間的 mean distance (MD)及 root mean square distance (RMSD)。對於每一個簡化的模型 (不同精細度及不同畫面)，我們會測量其和原始模型 (與簡化模型的畫面一致) 的 MD 及 RMSD，並且利用 Matlab 將其繪製成圖表，如圖八，其中我們將模型精細度分成十個 level，level 1 的模型包含的三角形的數目為原始模型的 10%，而圖中 X 軸代表 level，而 Y 軸代表畫面的索引值，而 Z 軸則是代表 Metro 所測量出簡化的模型和原始模型之間的誤差。由於版面的緣故，我們只展示出 RMSD 的比較圖。其餘結果亦可從 [6][7] 中獲得。

由圖中我們可以發現，採用我們所提出的方式所得到簡化後的動畫模型所造成的誤差值的範圍是比較小的值域裡 (Z 軸)。藉由觀察曲面的平滑度，也可得知由我們所提出的動畫模

型化簡架構所產生的簡化動畫模型在撥放時，會比較平順，不會突然造成模型品質不一致的問題。



圖八 由 Metro 計算出的原始模型和簡化模型間的 RMSD。

五、 研究成果

本研究之部份成果已於 2004 年的 Computer Graphics Workshop 中以 Constructing Scalable 3D Animated Model by Deformation Sensitive Simplification 為題進行發表，作者為卓聖堯與陳炳宇 (Sheng-Yao Cho and Bing-Yu Chen)。目前，我們正在就本研究計畫的成果進行更進一步的研究計畫，預計投稿到 2005 年的 Computer Graphics International Conference 或 The Annual Conference of the European Association for Computer Graphics (Eurographics)。另一關於模型特徵點的偵測的部分成果亦已 Prong Features Detection of a 3D Model based on the Watershed Algorithm 為題發表於 2004 年的 ACM SIGGRAPH，作者為吳賦哲、陳炳宇、梁容輝與歐陽明 (Fu-Che Wu, Bing-Yu Chen, Rung-Huei Liang, and Ming Ouhyoung)。

六、 參考文獻

- [1] Marc Alexa and Wolfgang. Müller. Representing animations by principal components. *Computer Graphics Forum (Eurographics 2000 Conference Proceedings)*, Vol. 19, No. 3, pages 411-418, 2000.
- [2] Hector M. Briceno, Pedro V. Sander, Leonard McMillan, Steven Gortler, and Hugues Hoppe. Geometry videos: a new representation for 3d animations. *Proceedings of ACM Symposium on Computer Animation 2003*, pages 136-146, 2003.
- [3] Bing-Yu Chen. *Java-based Multiresolution Streaming Mesh with QoS-like Controlling for Web Graphics*. Ph.D. Dissertation. Department of Information Science, University of Tokyo, Feb., 2003.

- [4] Bing-Yu Chen and Tomoyuki Nishita. Multiresolution streaming mesh with shape preserving and qos-like controlling. *ACM Web3D 2002 Conference Proceedings*, pages 35-42, 2002.
- [5] Bing-Yu Chen and Tomoyuki Nishita. An efficient mesh simplification method with feature detection for unstructured meshes and web graphics. *IEEE Computer Graphics International 2003 Conference Proceedings*, pages 34-41, 2003.
- [6] Sheng-Yao Cho. *Constructing Scalable 3D Animated Model by Deformation Sensitive Simplification*. Master Thesis. Department of Computer Science and Information Engineering, National Taiwan University, Jun., 2004.
- [7] Sheng-Yao Cho and Bing-Yu Chen. Constructing scalable 3d animated model by deformation sensitive simplification. *Computer Graphics 2004 Workshop Proceedings*, 2004.
- [8] Paolo Cignoni, Claudio Rocchini, and Roberto Scopigno. Metro: measuring error on simplified surfaces. *Computer Graphics Forum*, Vol. 17, No. 2, pages 167-174, 1998.
- [9] Michael Garland and Paul S. Heckbert. Surface simplification using quadric error metrics. *ACM SIGGRAPH 97 Conference Proceedings*, pages 209-216, 1997.
- [10] Michael Garland and Paul S. Heckbert. Simplifying surfaces with color and texture using quadric error metrics. *IEEE Visualization 98 Conference Proceedings*, pages 263-269, 1998.
- [11] Xianfeng Gu, Steven J. Gortler, and Hugues Hoppe. Geometry images. *ACM Transactions on Graphics (SIGGRAPH 2002 Conference Proceedings)*, Vol. 21, No. 3, pages 355-361, 2002
- [12] Hugues Hoppe. Progressive meshes. *ACM SIGGRAPH 96 Conference Proceedings*, pages 99-108, 1996.
- [13] Hugues Hoppe. View-dependent refinement of progressive meshes. *ACM SIGGRAPH 97 Conference Proceedings*, pages 189-198, 1997.
- [14] Hugues Hoppe. Efficient implementation of progressive meshes. *Computer & Graphics*, Vol. 22, No. 1, pages 27-36, 1998.
- [15] Hugues Hoppe. New quadric metric for simplifying meshes with appearance attributes. *IEEE Visualization 99 Conference Proceedings*, pages 59-66, 1999.
- [16] Jocelyn. Houle and Pierre Poulin. Simplification and real-time smooth transitions of articulated meshes. *Graphics Interface 2001 Conference Proceedings*, pages 55-60, 2001.
- [17] Jovan Popović and Hugues Hoppe. Progressive simplicial complexes. *ACM SIGGRAPH 97 Conference Proceedings*, pages 217-224, 1997.
- [18] Ariel Shamir and Valerio Pascucci. Temporal and spatial level of details for dynamic meshes. *ACM Virtual Reality Software and Technology 2001 Conference Proceedings*, pages 77-84, 2001.
- [19] 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.