

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

以形狀為基礎的 3D 模型搜尋系統

計畫類別： 個別型計畫 整合型計畫

計畫編號：NSC 92-2213-E-216-023-

執行期間：2003 年 08 月 01 日 至 2004 年 07 月 31 日

計畫主持人：石昭玲

共同主持人：

計畫參與人員：

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：中華大學資訊工程學系

中 華 民 國 93 年 9 月 8 日

摘要

目前以 3D 模型本身的內容 (content) 為檢索鍵的搜尋方式是 3D 模型資料庫管理上的最佳利器!因此如何建立一個有效的 3D 模型搜尋系統,讓使用者可以利用此一系統快速地找到在大型 3D 模型資料庫中符合使用者個人期待的相似 3D 模型,是本計畫的首要目標。因此在本計畫中提出一個全新以形狀為基礎的 3D 模型特徵擷取演算法,改良式 D2 特徵擷取法。

一. 報告內容

1. 前言

隨著 3D 模型在數位圖書館中的數量逐漸增加,我們需要一個搜尋系統去幫助人們找到他們所要的 3D 資料。事實上,若將傳統處理文字資料的圖書館分類系統用於 3D 模型資料庫上並不太適當,因若想用傳統文字檢索鍵 (Indexing keyword) 的方法來搜尋 3D 模型資料庫,勢必要將每一筆 3D 資料用文字建立檢索鍵,而且所建立的檢索鍵常又太過主觀而不符合實際需求。因此對於 3D 模型資料庫的管理,首先要建立一個有效率的分類及搜尋方法,而捨棄傳統以文字為檢索鍵的方法。目前以 3D 模型本身的內容 (content) 為檢索鍵的搜尋方式是 3D 模型資料庫管理上的最佳利器!

2. 研究目的與研究方法

我們參考 Ankerst[1]所提出的以 3D 模型中心網格展開的形狀統計直方圖當作形狀特徵來表示其 3D 模型,以及參考球型諧波[2]的方法當作本計畫的雛型。我們將提出球型網格分析來取代該形狀特徵抽取的球型諧波之第一個步驟,直接使用直徑為 $2R$ 的球體切割 3D 模型成網格系統。接下來為了增加搜尋的速度跟準確性,我們提出了階層式球型諧波,先利用較小密度的網格分析做前處理,排除一部分不可能會是搜尋目標的 3D 模型,之後再用較大密度的網格分析做最後的處理。然而,在實驗所得到的結果只有縮短搜尋的時間(如表 1),正確性卻無大幅度的改善。因此,我們又提出了一個嶄新的特徵擷取的方法,改良式 D2 (adaptive D2)。

表 1: 球型諧波與階層式球型諧波之比較

	球型諧波	階層式球型諧波
正確率 (Recall)	0.93911	0.93266
平均搜尋時間 (秒)	0.68835	0.49099

D2 這個方法是 3D 幾何形狀分佈 (3D shape distributions) 中的方法[3, 4], 3D 幾何形狀分佈這個方法的主要想法就是,使用一個簡單的幾何形狀函式 (shape function) 把 3D 模型的形狀轉換成機率分佈的型態。透過數學方式簡單的比較兩個分佈曲線函數的差異來作為評估是否相似的標準。這是將 3D 模型以數學分析的角度來思考,同時也具備了簡單且

強健 (robust) 的特性。這是其最大的優點，能夠不需對模型作任何額外的處理就能進行檢索 (retrieval)，使其實用性大幅提昇。其方法的步驟如下，首先選定所要使用的幾何形狀函式 (shape function)，並在 3D 模型上亂數選點來計算出這些選出的點的函數值，之後將這模型的 n 組函數值作成直方圖分佈 (histogram)，就完成了特徵擷取的步驟。幾何形狀函式 (shape function) 有下列五種，A3、D1、D2、D3、D4。其中 D2 是亂數選取兩點間的距離。然而利用亂數選點的方式將使每次擷取的特徵都不盡相同，但是其檢索的結果並不會有差異很大的現象。

根據 Osada [4] 的實驗中顯示 3D 幾何形狀分佈 (3D shape distributions) 中的 D2 為五個形狀函式中最好的，所以本計畫將針對 D2 來做更進一步的改良。在計算 D2 這個特徵向量時，都是以亂數選取 3D 模型上的點來當做取樣，因此所計算出來的 D2 值將會被模型的比較細膩的部份所影響，因為比較細膩的部份所使用的點數將比其他部份還要多。如圖 1，此 3D 模型在螺旋槳與輪胎所描述的程度比其他部份來的細膩。

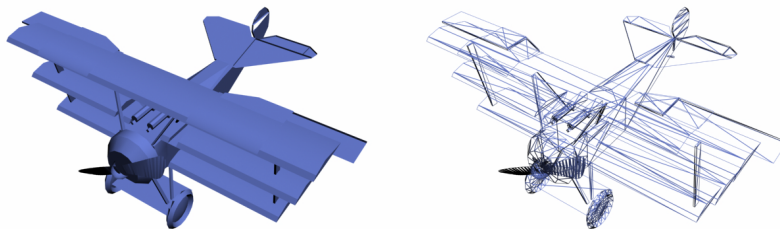


圖 1：此 3D 模型在螺旋槳與輪胎所描述的程度比其他部份來的細膩。

基於這個理由，本計畫將量化 (quantize) 整個 3D 模型來改良這個部份。以下為改良式 D2 特徵擷取的步驟：

- (1) 首先，將這多邊形模型分割成 $2R \times 2R \times 2R$ 的網格 (Voxel grid)，在這網格中如果有 3D 模型中多邊形的面存在就設為 1，反之設為 0。這方法可以過濾高頻的雜訊，充分表現該物體的外型。為了能夠正規化此系統，移動 3D 模型的質量中心到 (R, R, R) 的位置，然後縮放 3D 模型 (注意！並非縮放網格) 讓非零網格到達中心的平均距離必須為 $R/2$ (如圖 2)。在此 R 設定為 32。為此使用這方法來量化 (quantize) 整個 3D 模型。

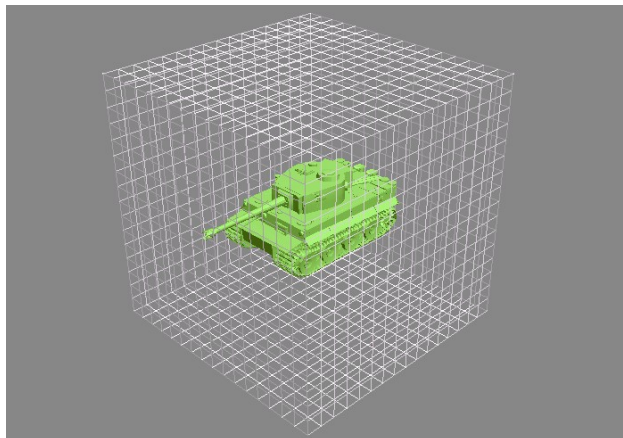


圖 2：利用網格切割 3D 模型。

- (2) 把網格上非零網格的點當作隨機取樣樣本，在隨機取樣樣本中亂數選取兩個點為一組，並計算其兩者的距離，且重複選取 S 組。在此 S 設定為 262144 (即 $64 \times 64 \times 64$)。
- (3) 分別將這 S 組函數值作成直方圖分佈 (histogram)。假設函數值分佈在 0~100，切成相同區間，計算落在各區間的函數值個數有幾個；例如，分佈在 0~10 有 V_1 個，在 10~20 有 V_2 個...在 90~100 有 V_{10} 個， $V_1 + V_2 + \dots + V_{10} = S$ 。則此直方圖分佈即為這個 3D 模型的特徵向量。在此將區間設定為 256 個區間。
- (4) 最後正規劃這些向量，則改良式 D2 可以被定義成

$$AD2 = \{AD2_1, AD2_2, \dots, AD2_{256}\} = \left\{ \frac{V_1}{S}, \frac{V_2}{S}, \dots, \frac{V_{256}}{S} \right\}$$

由圖 3 可以很明顯的看出，改良式 D2 比原始 D2 在兩個相似模型的特徵向量比較上，相似度有大幅度的提升。

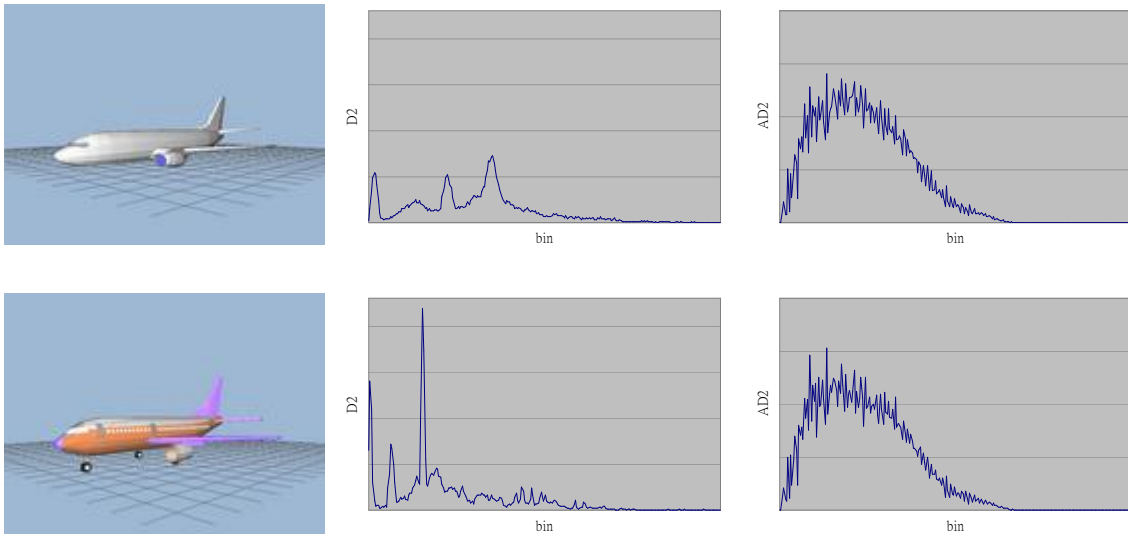


圖 3：兩個相似的模型使用 D2 與改良式 D2 擷取特徵的比較。

為了比較兩個模型的相似程度，必須計算兩個模型的改良式 D2 特徵向量的差異值，在此定義搜尋模型 q 與資料庫中欲比對之模型 s 的改良式 D2 差異值為

$$Dis_AD2_{q,s} = \sum_{i=1}^{256} |AD2_i^q - AD2_i^s|$$

之後可計算兩個模型的相似度，將兩模型的相似度定義為

$$Sim_AD2_{q,s} = 1 - \frac{Dis_AD2_{q,s}}{Vsum_AD2_q + Vsum_AD2_s}$$

其中 $Vsum_AD2_q = \sum_{i=1}^{256} AD2_i^q$ ， $Vsum_AD2_s = \sum_{i=1}^{256} AD2_i^s$ ，即兩個模型的特徵向量差異值越小，則其相似程度就越大。如圖 4，上面兩個模型的特徵向量差異值比較小，則此兩模型的相似程度就較大；反之，下面兩個模型的特徵向量差異值比較大，則此兩模型的相似程度就較小。

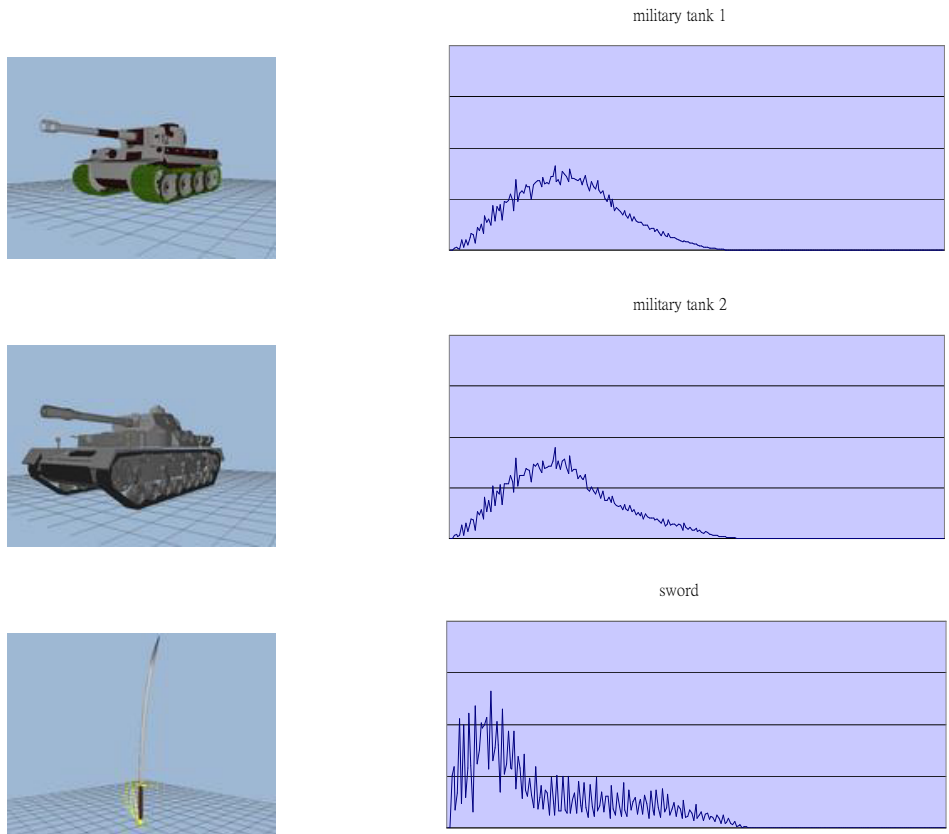


圖 4：三個模型的改良式 D2 特徵向量。橫軸為 *bin* 值，縱軸為 *AD2* 值。

3. 實驗結果與討論

實驗裡使用的量測標準為 Recall 與 Precision [5]，定義為

$$recall = \frac{N}{T} \text{ 與 } precision = \frac{N}{K}$$

其中 N 是檢索結果中與搜尋目標有相關的個數， T 是全部與搜尋目標相關的個數， K 是所有被檢索出的 3D 模型個數。

實驗所採用的資料庫有兩個，一個是自行建立包含 20 個不同的類別，每個類別之中有 15 個相似的 3D 模型（1 個原始模型、4 個變形、2 個不同大小、3 個旋轉、5 個不同解析度），共 300 個模型，在往後的實驗將簡稱此資料庫為「測試資料庫」，如圖 5。

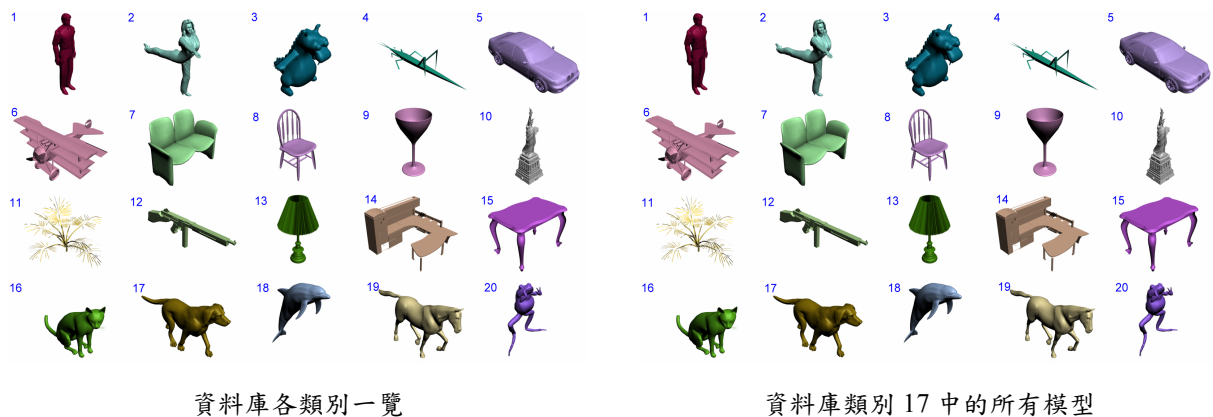


圖 5：測試資料庫

將針對變形、旋轉、不同大小、不同解析度的 3D 模型，實驗這些 3D 模型在本計畫所提出的特徵向量中的影響。使用包含變形、旋轉、不同大小、不同解析度的測試資料庫來做檢索，比較與其他特徵向量在這些影響下的正確率。此實驗使用的特徵向量有：改良式 D2、球型諧波[2]、MPEG-7 的 3D 形狀頻譜描述[6]、3D 幾何形狀分佈的 D2 與 A3[4]。

將測試資料庫中的每個 3D 模型都當成檢索目標在資料庫中做檢索，並計算其正確率。實驗結果如表 2，其中我們所提出的改良式 D2 的正確率確實比 D2 提高了不少。此外，分別在變形、旋轉、不同大小、不同解析度下之各特徵正確率的實驗結果如圖 6。

表 2：測試資料庫的各特徵正確率。

	Recall	Precision (K=30)
改良式 D2 (AD2)	0.9444444446	0.9635555556
球型諧波 (SH)	0.9391111112	0.9700000001
MPEG-7 的 3D 形狀頻譜描述符 (SSD)	0.8840000001	0.9357777778
3D 幾何形狀分佈的 D2	0.8733333334	0.9222222223
3D 幾何形狀分佈的 A3	0.8046666667	0.8973333335

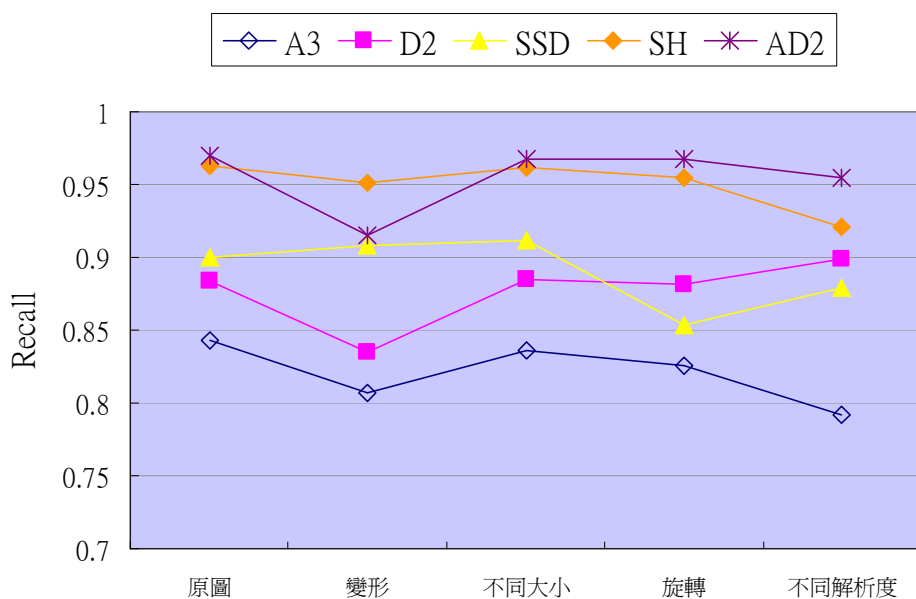


圖 6：在變形、旋轉、不同大小、不同解析度下的各特徵正確率。

綜合以上實驗可知，本計畫所提出的方法在變形、旋轉、不同大小、不同解析度的影響下仍有相當不錯的辨識結果。

另一個資料庫是「普林斯頓形狀基準資料庫 (Princeton Shape Benchmark)」[7, 8]，此資料庫是提供給對 3D 模型檢索研究有需求的使用者免費使用，大部分的 3D 模型特徵擷取[2, 4, 9-14]都有用此資料庫來做檢索研究。此資料庫含有 1814 個 3D 模型，包含 161 個不同的類別，如圖 7。

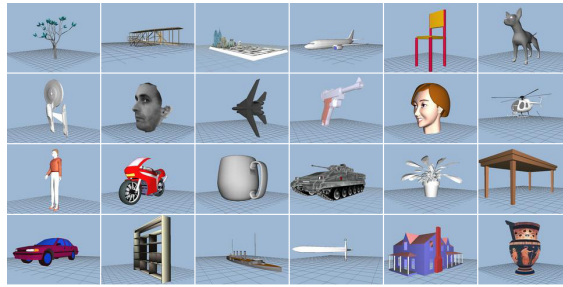


圖 7：普林斯頓形狀基準資料庫中的一些類別。

接下來進行的實驗四種不同的特徵向量之正確率的比較，將普林斯頓形狀基準資料庫中的每個 3D 模型都當成檢索目標在資料庫中做檢索，並計算其正確率，表 3 與圖 8 為實驗結果。由實驗結果得知，本計畫所提出的改良式 D2 比原本的 D2 有較好的正確率。

表 3：不同特徵向量之間正確率的比較。

	Recall
改良式 D2 (AD2)	0.2576262804
球型諧波 (SH)	0.2451209359
MPEG-7 的 3D 形狀頻譜描述符 (SSD)	0.2010285473
3D 幾何形狀分佈的 D2	0.1745288704

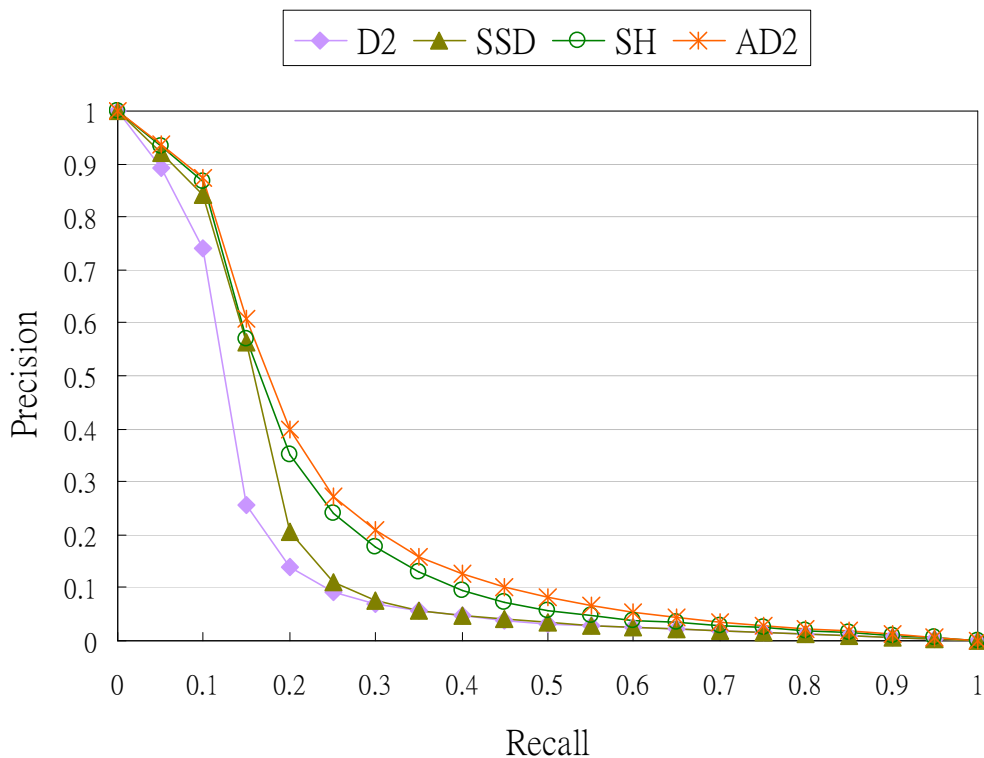


圖 8：不同特徵向量之間正確率的比較。

最後，我們比較四種不同特徵向量的平均搜尋時間，將普林斯頓形狀基準資料庫中的每個 3D 模型都當成檢索目標在資料庫中做檢索，並計算其平均搜尋時間，表 4 為實驗結果。

表 4：不同特徵向量的平均搜尋時間（單位為「秒」）。

改良式 D2 (AD2)	2.292357149563
球型諧波 (SH)	2.945766262404
MPEG-7 的 3D 形狀頻譜描述符 (SSD)	1.655997794928
3D 幾何形狀分佈的 D2	1.661235423418

以上，我們所提出的改良式 D2 在普林斯頓形狀基準資料庫中都有很不錯的檢索效果，搜尋時間也不會太慢，且提高了原本 D2 的檢索正確率，所以由此實驗可說明本計畫所提出的方法是非常有成效的。

二. 參考文獻

- [1] Virage, the project of Virage Inc., Demo: <http://virage.com/>.
- [2] T. Funkhouser, P. Min, M. Kazhdan, J. Chen, A. Halderman, D. Dobkin, and D. Jacobs “A Search Engine for 3D Models” ACM Transactions on Graphics, Vol. 22, No. 1, pp. 83-105, 2003.
- [3] R. Osada, T. Funkhouser, B. Chazelle, and D. Dobkin “Shape Distributions,” ACM Transactions on Graphics, Vol. 21, No. 4, pp. 807-832, Oct. 2002.
- [4] R. Osada, T. Funkhouser, B. Chazelle, and D. Dobkin, “Matching 3D models with shape distributions,” Shape Modeling International, pp. 154-166, May 2001.
- [5] Y. Deng and B. S. Manjunath, “ An efficient low-dimensional color indexing scheme for region-based image retrieval,” in Proc. of IEEE Int. Conf. Acoustics, Speech, and Signal Processing, Vol. 6, pp. 3017-3020, 1999.
- [6] B. S. Manjunath, P. Salembier, and T. Sikora, “Introduction to MPEG-7 Multimedia Content Description Interface.” John Wiley & Sons Ltd., pp. 247-260, 2002.
- [7] Princeton Shape Benchmark, <http://shape.cs.princeton.edu/benchmark/>.
- [8] P. Shilane, P. Min, M. Kazhdan, and T. Funkhouser, “The Princeton Shape Benchmark,” in Proc. of Shape Modeling International, Genova, Italy, pp. 167-179, June 2004.
- [9] M. Ankerst, G. Kastenmüller, H.P. Kriegel, and T. Seidl, “3D shape histograms for similarity search and classification in spatial databases,” in Proc. Int. Symposium on Spatial Databases (SSD), Hong Kong, China, pp. 207-226, 1999.
- [10] D. Saupe and D. V. Vrani, “3D model retrieval with spherical harmonics and moments,” DAGM 2001, pp. 392-397, 2001.
- [11] B. Horn. “Extended Gaussian images,” in Proc. of the IEEE, Vol. 72, No. 12, pp. 1671-1686, December 1984.
- [12] S. Kang and K. Ikeuchi. “Determining 3-D object pose using the complex extended Gaussian image,” in Proc. of CVPR, pp. 580-585, June 1991.
- [13] D. V. Vranic. “An improvement of rotation invariant 3D shape descriptor based on functions on concentric spheres,” in Proc. of IEEE International Conference on Image Processing (ICIP 2003), Vol. 3, pp. 757-760, September 2003.
- [14] D. Y. Chen, M. Ouhyoung, X. P. Tian, and Y. T. Shen. “On visual similarity based 3D

model retrieval,” Computer Graphics Forum, Vol. 22, No. 3, pp. 223-232, 2003.

三. 計畫成果自評

原本計畫採用階層式球型諧波來增進檢索效果，但是結果並非理想，進而提出另外一個擷取特徵的方法，改良式 D2。雖然與原計畫的計畫內容有點不相符，但改良式 D2 提高了原本 D2 的檢索正確率，比球型諧波擁有還要高的正確率，由實驗可說明所提出的改良式 D2 是非常有成效的，且非常適合在學術期刊發表，在 3D 檢索系統方面有一定的研究價值。未來希望能研究出改良式 D2 與其他演算法合併的方法，進而更增加其檢索正確率。