

行政院國家科學委員會補助
大專學生參與專題研究計畫研究成果報告

* *****
* 計 畫 : 以多重解析度扇形網格為基礎之 3D 模型檢索系統
* 名 稱
* *****

執行計畫學生： 陳欣蕙
學生計畫編號： NSC 97-2815-C-216-007-E
研究期間： 97年07月01日至98年02月28日止，計8個月
指導教授： 石昭玲

處理方式： 本計畫涉及專利或其他智慧財產權，2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 100年03月10日

行政院國家科學委員會補助

大專學生參與專題研究計畫研究成果報告

* 計畫 *
* :以多重解析度扇形網格為基礎之 3D 模型檢索系統 *
* 名稱 *

執行計畫學生：陳欣蕙

學生計畫編號：NSC 97-2815-C-216-007-E

研究期間：97年7月1日至 98年2月底止，計8個月

指導教授：石昭玲

執行單位：中華大學資訊工程學系

中華民國 98 年 3 月 16 日

摘要

隨著製作 3D 的軟硬體操作越來越容易，使用者可以更方便更快速的製作出 3D 模型。3D 動畫及 3D 遊戲也隨著使用者的需求量增大，而有顯著的成長。而且也隨著網際網路越來越普及，人們可以方便又容易的散播 3D 模型，以致於要如何搜尋一個自己想要的 3D 模型，變成現在一個重要的研究方向。現今的 3D 模型搜尋引擎大多都是藉由外部特徵來進行比對搜尋，但是對於一個複雜的 3D 模型來說，只單看外部特徵是不夠的，因此希望可以藉由 3D 模型的內部特徵來加強外部特徵的不足，進而研發出一個搜尋更完善的 3D 模型搜尋引擎。

在本計畫中，藉著使用網格的概念擷取 3D 模型的內部特徵，來表示 3D 模型的內部資訊，並且考慮在各種不同解析度的情況之下進行 3D 模型的內部資訊特徵擷取，如此一來就可以更細微的表現出 3D 的內部資訊，也可以更完整的擷取 3D 模型的內部特徵。接著再進行 3D 模型的相似度的比對，以搜尋出相似的 3D 模型。

一、報告內容

1. 前言

由於資訊越來越進步，數位產品也不斷的更新，人們對於視覺感官的要求也越來越高，過去 2D 的平面影像已經不能滿足大眾的需求，所以漸漸的趨向使用 3D 的立體影像。而現今製作 3D 模型的軟硬體操作越來越簡單，因此使用者可以更方便的製作出一個 3D 模型。也因為製作 3D 趨於簡單化，所以要取得 3D 的模型也變得更為容易。因此要如何從許多的 3D 模型中去搜尋一個符合使用者需求的 3D 模型，成為現在一個重要的研究目標。在 3D 模型使用越來越普及的同時，3D 模型的搜尋引擎也會扮演一個重要的角色。

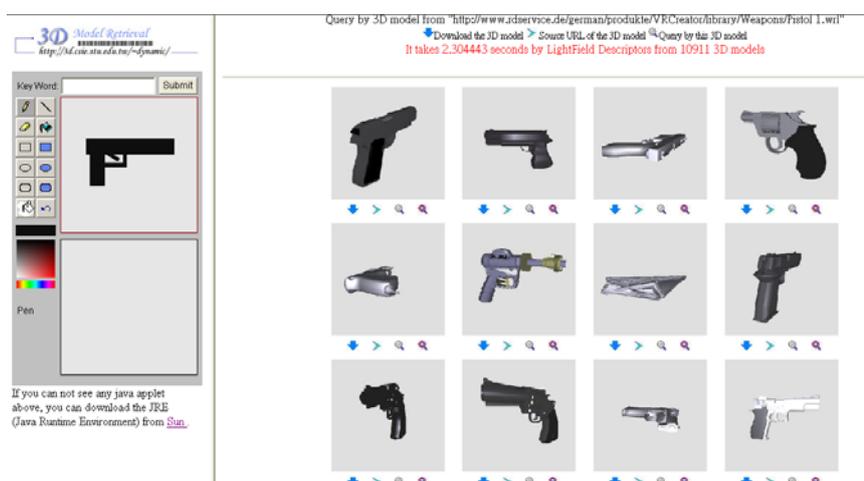
2. 研究目的

目前 3D 模型的檢索系統大多都是用 3D 模型的外部特徵進行比對，但是對於一個複雜的 3D 模型，只靠外部特徵是不能完整的表示出 3D 模型的特性。因此本計畫提出了網格特徵的方法來擷取 3D 模型的內部特徵，使得 3D 模型檢索系統能夠更加的完善。

3. 文獻探討

一般傳統使用的搜尋方法都是藉由輸入關鍵字去找出資料庫中的 3D 模型。但是在如此龐大的多媒體資料庫當中，管理者要藉著自己的經驗所有的多媒體資料定義出明確且適當的關鍵字是非常辛苦的。而且，由於每個不同的管理者對於 3D 模型的認知不一樣，定義的關鍵字也都不盡相同。如果 3D 模型定義的名稱是沒有意義的英文字母和數字所組成(例如：ABC123.jpg)，或是管理者主觀定義的名稱(例如：ANIMAL.gif)，這些關鍵字都不能夠完整表示出某檔案的資訊，導致定義的關鍵字不具有任何代表性。另外，近年來 MPEG-7[2]提供了一種多媒體資料內容描述的標準，經由 MPEG-7 定義的格式，使這種描述性的多媒體資料可以容易傳輸。

近年來，國內外已經有很多學術單位投入 3D 模型搜尋的研究，而且在網路上也有好幾個系統提供人使用，例如台灣大學的 3D Model Retrieval System[3](如圖一)、日本文部科學省多媒體教育研究所的 Ogden VI rxw[4]、希臘資訊電信協會的 3D Search[5]、普林斯頓大學的 3D Models Search Engine[6]。以上這些幾乎都是使用關鍵字搜尋(searching by keywords)、手繪 2D 形狀搜尋(searching by sketch)，和以範例做搜尋(searching by example)。而這些方法大都是取 3D 的外部特徵在做搜尋，但是對於一個複雜的 3D 模型來說，內部資訊也是很重要的，因此光是只有外部特徵是無法表現出 3D 模型完整的資訊，還需要內部資訊來更完整的表現出 3D 模型。所以希望藉由本計畫提出的方法來擷取 3D 模型的內部資訊，使得 3D 模型的搜尋更為完善。



圖一 台灣大學的 3D Model Retrieval System[3]。

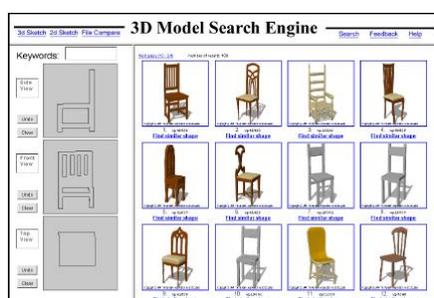
下面對於國內外有關 3D 模型搜尋的相關資料作一些簡單介紹。目前現有的 3D 搜尋的方法大多是藉由擷取適合的特徵來描述 3D 模型的形狀，以便於找出類似的 3D 模型，大約分成利用剪影圖形、2D 輪廓剪影和光影描述。

(1) 剪影圖形

以 T. Funkhouser [7]提出之 3D 模型搜尋引擎舉例來說，使用者可以畫出一個 3D 形狀去 3D 的資料庫做搜尋(如圖二(a))，或使用者可以利用前視圖、側視圖和俯視圖描繪出 3D 形狀，再利用这三張影像去做搜尋(如圖二(b))，也可以用關鍵字做搜尋(如圖二(c))，這類的方法大多是使用剪影圖形來比對，並且把比對結果最接近前幾名的 3D 模型回應給搜尋者。



(a)



(b)

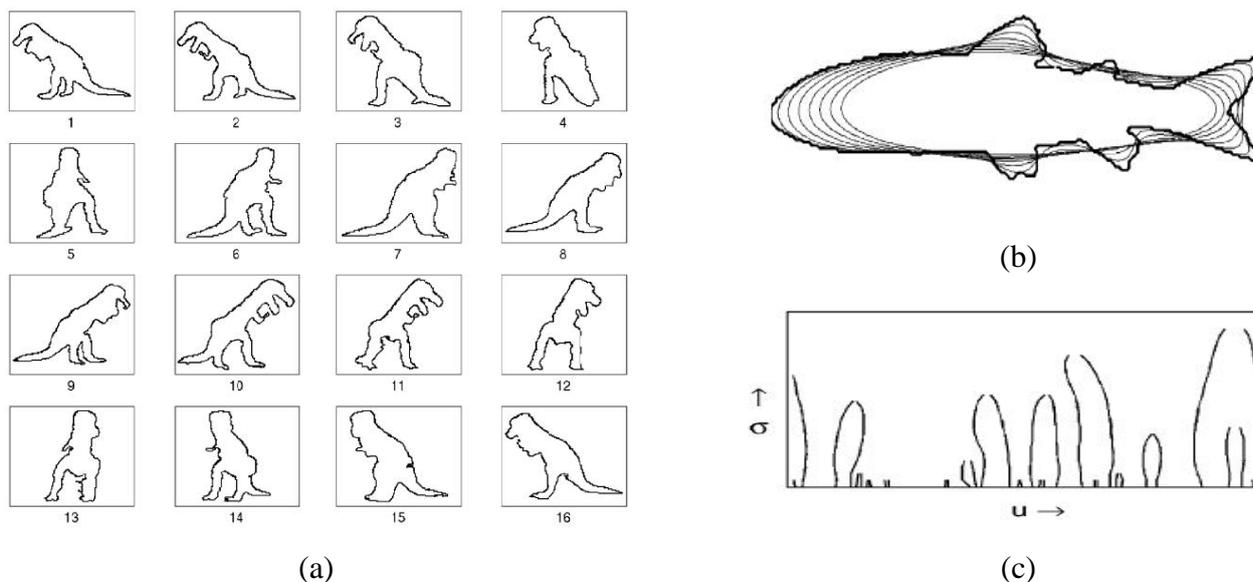


(c)

圖二 3D 模型搜尋引擎[7]。(a) 使用 3D 繪圖之檢索結果。(b) 使用 2D 繪圖之檢索結果。(c) 使用關鍵字“table”之檢索結果。

(2) 2D 輪廓剪影

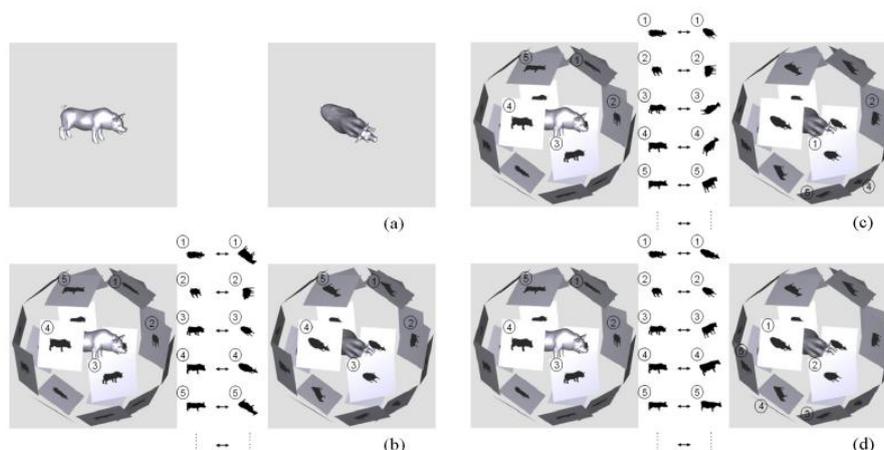
Super and Lu [8]辨識 3D 物件是利用 2D 輪廓剪影。是先把 3D 模型擺在 x-y 的平面上，然後 3D 模型旋轉 16 個角度，每次旋轉 22.5° 。如此即可以環繞整個 3D 模型，就可以取得 16 張 2D 輪廓剪影(如圖三(a))。最後使用 scale-space 的方法擷取特徵(如圖三(b)、(c))。



圖三 利用 2D 輪廓剪影辨識 3D 物件[8]。(a) 利用十六個角度看恐龍，每個角度的區間為 22.5° 。(b) 平滑化的輪廓線。(c) 符合 zeroing-crossing 的曲線。

(3) 光影描述

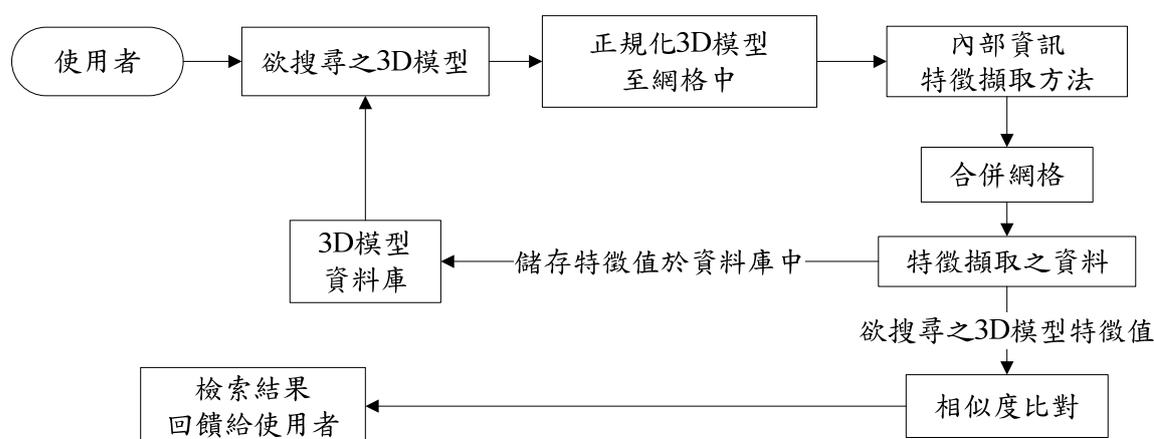
Chen et al. [9] 在三維模型的調準與檢索系統 (A 3D Model Alignment and Retrieval System) [10] 中介紹一種光影描述(lightfield descriptor)來搜尋 3D 模型。光影描述特徵的計算是用 N 個不同角度觀察獲得的 N 個剪影，每一張剪影表示一種 2D 的黑白影像，並且使用 Zernike moments 和 Fourier descriptors 描述每張黑白影像。也提到過，用不同的角度觀看 3D 模型，且擷取該角度的 2D 剪影，然後剪影使用 2D 圖形特徵擷取的方式去計算特徵向量。以圖四來說，是用 20 個不同的角度觀看 3D 模型的 2D 剪影，再把這些 2D 剪影以 ART(Angular Radial Transform) 擷取 2D 形狀特徵來當作這個 3D 模型的特徵向量。



圖四 以 20 個不同角度去觀看 3D 豬模型的 2D 剪影[9]。

4. 研究方法

由於目前現有的 3D 模型搜尋的方法，大多數都採用 3D 模型輪廓外型上的”外部特徵”，但是對於一個複雜的 3D 模型，單是只有外部特徵是稍嫌不足的。因此希望除了對 3D 模型外型輪廓來擷取特徵之外，更希望能藉由擷取 3D 模型的內部特徵來加強表示出模型中的內部資訊。原先在本計畫中提出以”扇形網格”來擷取 3D 模型的內部特徵，並且對內部特徵進行比對，但是在實作的過程中，發現扇形網格的程式撰寫相當困難，所以後來改成使用”方形網格”來擷取 3D 模型的內部特徵，其成果也不錯。圖五為 3D 模型搜尋系統流程圖。



圖五 3D 模型搜尋系統。

下面說明方形網格如何描述一個 3D 模型的內部資訊以及網格特徵的相似度比對演算法：

(1) 網格特徵擷取

首先，用一個最小正方體把 3D 模型包住，再利用網格方式把 3D 模型切割成 $2R \times 2R \times 2R$ 的網格，然而切割網格的主要好處是可過濾模型的細微變化，也充分的表現出 3D 模型的外型。為了正規化此系統，因此移動 3D 模型的質量中心到 (R, R, R) 的位置，並且縮放 3D 模型(注意！並非縮放網格)讓所有有效網格到達中心的平均距離為 $R/2$ 。在此 R 設定為 128。移動 3D 模型的質量重心到此正立方體的中心(如圖六(a))。為了減少 3D 模型旋轉所產生的誤差，因此用 PCA 的方法來對所有網格進行擺正的動作。在任意網格中若有包含 3D 模型的一部分時，此網格就會被標示為 1，(我們稱此網格為有效網格)；反之，網格中沒有含括到 3D 模型則標示為 0，(我們稱此網格則為無效網格)。但是只有外部特徵是無法表現出 3D 模型完整的資訊，還需要內部資訊來更完整的表現出 3D 模型。所以為了使網格更細

微的表現出3D的內部特徵，因此考慮加入密度的觀念，有R為64、32兩種密度網格，R為64的密度網格就是把R為128的網格延著x、y、z軸方向各兩格(也就是 $2 \times 2 \times 2$)，每八個網格合併成一個網格，R就變成64，所以這些合併完的網格則會包含密度資訊而被標成0、1、2、...、8的值。而不包含密度資訊的網格資訊只要大於0就設為1。R為32的網格則是用R為64不包含密度的網格一樣延著x、y、z軸方向各兩格(也就是 $2 \times 2 \times 2$)，每八個網格合併成一個網格，R就變成32，所以這些合併完的網格則會包含密度資訊而被標成0、1、2、...、8的值。

其次，從網格中心往外延伸，第一圈是最中心(x、y、z 軸方向各兩格)的八個網格、第二圈是 x、y、z 軸正負方向各加一格且扣除第一圈的格子，以此類推到網格的最外圍(如圖六(b))，記錄每一圈網格中，被標示不為 0 的網格個數(也就是有效網格個數)，因此會得到一個網格的描述值 \mathbf{x}^G ，定義如下：

$$\mathbf{x}^G = [x(1), x(2), \dots, x(N)]^T$$

其中， $x(i)$ 表示第 i 圈網格中，有效的網格個數總和。

舉例來說，

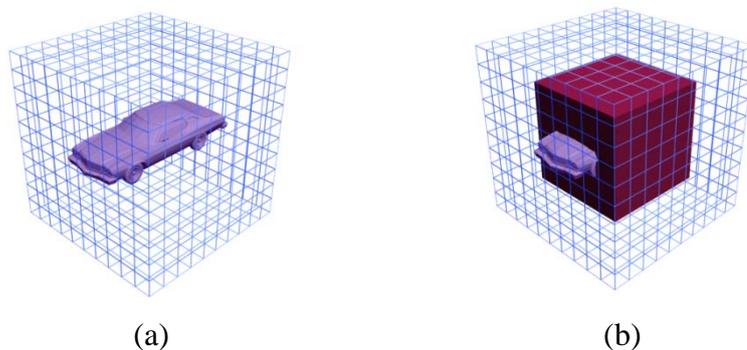
如果 R 是 32， $\mathbf{x}^G = [x(1), x(2), \dots, x(32)]^T$ 。

如果 R 是 64， $\mathbf{x}^G = [x(1), x(2), \dots, x(64)]^T$ 。

如果 R 是 128， $\mathbf{x}^G = [x(1), x(2), \dots, x(128)]^T$ 。

除了考慮在各個不同解析度情況之下擷取特徵，也考慮結合各種不同的解析度。例如結合以上兩種有密度資訊的($R=64$ 、 $R=32$)來擷取特徵，特徵長度就會變成 $64+32=96$ ，即

$$\mathbf{x}^G = [x(1), x(2), \dots, x(96)]^T$$



圖六 汽車模型分解成網格。(a) 3D 模型被切成網格。(b) 根據網格的一圈一圈描述值。

(2) 網格特徵的相似度比對

網格特徵的相似度比對。假設 \mathbf{x}^G 和 \mathbf{y}^G 分別為查詢的 3D 模型 q 以及比對的 3D 模型 s 的網格特徵，那麼在 \mathbf{x}^G 和 \mathbf{y}^G 之間的差異程度定義為：

$$Dis_{q,s}^G = \sum_{i=1}^N |x^G(i) - y^G(i)|$$

那麼兩個 3D 模型的相似度即： $1/Dis_{q,s}^G$

因此當 \mathbf{x}^G 和 \mathbf{y}^G 之間的差異越小，即表示說此兩個 3D 模型的相似度越大。假如查詢的 3D 模型和比對的 3D 模型假如很相似的話，那麼他們的網格的向量特徵也會非常相似。

5. 結果與討論

實驗中採用「普林斯頓資料庫 (Princeton Shape Benchmark)」[11]，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 模型特徵擷取都有用此資料庫來做檢索研究。普林斯頓資料庫含有 1814 個 3D 模型，包含 161 個不同的類別。分成 907 個模型(92 個類別)。

每一個 3D 模型跟資料庫所有 3D 模型進行比對，假設 N_i 為比對完是同一類別的個數、 T_i 為欲搜尋之 3D 模型的類別總數， N_i 除以 T_i ，定義為：

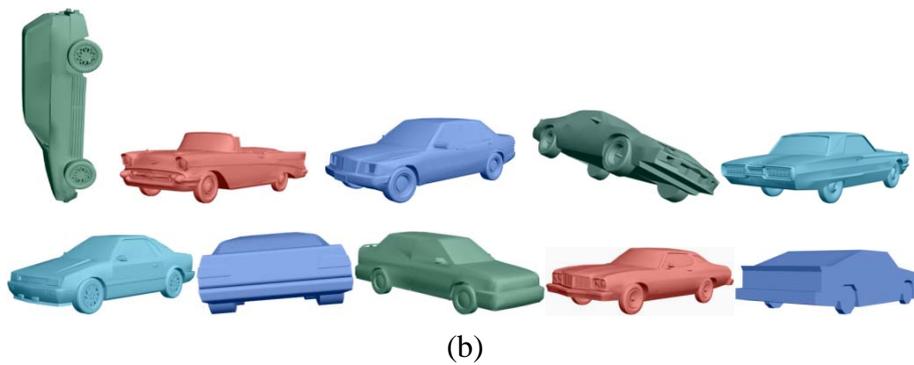
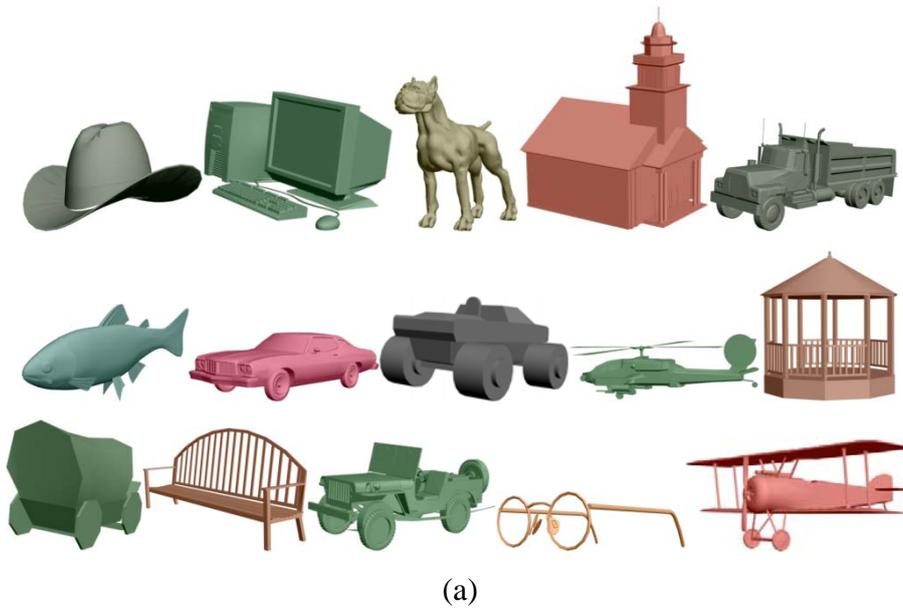
$$Re_i^j = N_i / T_i$$

計算正確率。每個 3D 模型的 Recall 加總起來，除以總資料庫數量($T_s = 907$)，定義為：

$$Re = \frac{1}{T_s} \sum_{i=1}^{92} \sum_{j=1}^{T_i} Re_i^j$$

本計畫是利用我們提出網格特徵來加強 3D 模型的內部資訊，並加入多重解析度的概念，使有密度網格特徵來提高更正確的搜尋結果。表一、二為不同網格數的網格特徵於無密度網格和有密度網格中都有不錯檢索正確率。

這些特徵實驗於普林斯頓 3D 模型資料庫中，在不同的類別檢索結果上如表三、四，也有比以往使用外部特徵的檢索正確率更好。所以藉由此實驗我們可以知道考慮 3D 模型的內部資訊是必要的，而本計畫所提出來的方法也是非常可行，讓檢索系統更完善更符合使用者的需求。



圖七 資料庫。(a) 在資料庫裡的一些類別。(b) 類型屬於轎車類。

表一、不同網格數無密度的正確率

網格數	無密度的正確率
128	0.2296
64	0.2337
32	0.2409
16	0.2381
8	0.1949

表二、不同網格數有密度的正確率

網格數	有密度的正確率
64+32	0.2961
64	0.2875
32	0.2833
16	0.2922
8	0.2514

表三、92 種類別，各種類別無密度的正確率。

類別 \ 網格	無密度 128-128-128	無密度 64-64-64	無密度 32-32-32	無密度 16-16-16	無密度 8-8-8
ant	0.32	0.28	0.24	0.28	0.2
axe	0.375	0.375	0.3125	0.375	0.25
barn	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
barren	0.2066	0.1736	0.1736	0.1405	0.1074
bench	0.1157	0.1488	0.124	0.1818	0.157
billboard	0.25	0.25	0.3125	0.25	0.25
biplane	0.2398	0.1837	0.1531	0.1429	0.1837
book	0.25	0.25	0.25	0.25	0.3125
bush	0.1728	0.1605	0.1605	0.2099	0.1481
butterfly	0.2041	0.1837	0.1837	0.1837	0.2041
cabinet	0.1235	0.1605	0.1235	0.1728	0.1852
chess_set	0.2222	0.2222	0.284	0.284	0.2346
church	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
city	0.24	0.21	0.22	0.2	0.2
commercial	0.2314	0.2231	0.2645	0.1736	0.1157
computer_monitor	0.2071	0.2308	0.2249	0.1834	0.2426
conical	0.16	0.16	0.18	0.2	0.23
covered_wagon	0.32	0.28	0.28	0.4	0.32
desk_chair	0.1556	0.1556	0.1733	0.1911	0.2267
desktop	0.2562	0.2645	0.2562	0.1736	0.1901
dining_chair	0.2893	0.3306	0.3967	0.2975	0.1653
dog	0.2449	0.2449	0.2245	0.2449	0.1429
door	0.3148	0.4167	0.466	0.4877	0.2562
electrical_guitar	0.4379	0.3905	0.2899	0.3254	0.2249
enterprise_like	0.1901	0.1901	0.1901	0.1653	0.1818
eyeglasses	0.4082	0.449	0.2653	0.3061	0.2041
face	0.4063	0.3672	0.3281	0.2422	0.2422
fighter_jet	0.2992	0.3152	0.3488	0.3504	0.2584
fireplace	0.2222	0.2222	0.1667	0.1667	0.1667
fish	0.173	0.173	0.1592	0.1869	0.1592
flowers	0.25	0.375	0.3125	0.25	0.25
flying_bird	0.1888	0.1939	0.1582	0.1327	0.1327
flying_saucer	0.1834	0.1598	0.1893	0.1893	0.1716
gazebo	0.2	0.24	0.2	0.44	0.28

gear	0.284	0.3086	0.284	0.2593	0.2346
geographic_map	0.2083	0.2153	0.3542	0.2917	0.2083
glass_with_stem	0.1358	0.1235	0.1111	0.1235	0.1481
glider	0.2604	0.2244	0.2161	0.2216	0.1496
hammer	0.4375	0.375	0.375	0.4375	0.3125
Hand	0.1488	0.1557	0.1557	0.1315	0.1038
handgun	0.23	0.21	0.27	0.22	0.15
hat	0.25	0.25	0.3611	0.1667	0.1667
head	0.418	0.3555	0.3281	0.2617	0.1992
helicopter	0.1327	0.142	0.1358	0.1605	0.0988
horse	0.3889	0.3333	0.3056	0.3611	0.1667
hot_air_balloon	0.2346	0.2346	0.2099	0.2593	0.1975
hourglass	0.1944	0.2778	0.1944	0.1944	0.1944
Human	0.2412	0.2624	0.2652	0.2988	0.2708
human_arms_out	0.1475	0.14	0.1525	0.135	0.155
jeep	0.2	0.2	0.28	0.28	0.2
knife	0.1837	0.2041	0.2653	0.1837	0.2245
ladder	0.25	0.25	0.25	0.25	0.1875
large_sail_boat	0.1944	0.1944	0.1667	0.1667	0.1667
mailbox	0.2653	0.2245	0.2041	0.1837	0.2041
monster_truck	0.24	0.24	0.36	0.4	0.28
motorcycle	0.2222	0.2222	0.2222	0.1667	0.1667
newtonian_toy	0.25	0.25	0.25	0.25	0.1875
one_peak_tent	0.25	0.25	0.375	0.25	0.25
one_story_home	0.0867	0.0867	0.0867	0.051	0.0306
pail	0.25	0.25	0.375	0.25	0.1875
potted_plant	0.0799	0.108	0.1686	0.2145	0.2441
rabbit	0.3125	0.3125	0.25	0.375	0.25
race_car	0.1633	0.1786	0.1735	0.1173	0.1173
rectangular	0.152	0.1696	0.184	0.2112	0.136
Satellite	0.1837	0.1633	0.1837	0.1429	0.1429
satellite_dish	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
school_desk	0.3125	0.25	0.25	0.25	0.25
sea_turtle	0.1667	0.1667	0.1944	0.1667	0.1667
sedan	0.26	0.3	0.36	0.43	0.2
semi	0.1633	0.1429	0.1429	0.1633	0.102
shelves	0.1006	0.1065	0.142	0.1834	0.0888

ship	0.1818	0.1983	0.1983	0.1653	0.1322
shovel	0.3056	0.3056	0.4167	0.3333	0.2222
single_leg	0.1667	0.1667	0.1667	0.1667	0.1667
sink	0.3125	0.25	0.25	0.25	0.1875
skull	0.3056	0.3333	0.3056	0.2778	0.2778
skyscraper	0.2	0.2	0.2	0.2	0.16
slot_machine	0.375	0.25	0.25	0.25	0.25
snake	0.25	0.25	0.25	0.3125	0.25
staircase	0.1429	0.1429	0.1429	0.1429	0.1224
standing_bird	0.1837	0.2245	0.1837	0.1633	0.1429
stealth_bomber	0.2	0.2	0.28	0.28	0.2
streetlight	0.25	0.3438	0.2656	0.3125	0.2344
submarine	0.2963	0.321	0.3951	0.2716	0.1358
sword	0.4141	0.4258	0.4141	0.4453	0.4492
tie_fighter	0.44	0.44	0.56	0.36	0.08
train_car	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
two_story_home	0.12	0.12	0.13	0.11	0.1
umbrella	0.4444	0.5556	0.4444	0.2778	0.2778
vase	0.124	0.124	0.1818	0.2231	0.124
walking	0.2188	0.2031	0.1563	0.1719	0.1406
wheel	0.25	0.25	0.3125	0.25	0.0625

表四、92 種類別，各種類別有密度的正確率。

類別	網格	有密度	有密度	有密度	有密度	有密度
		64-64-64	32-32-32	16-16-16	8-8-8	64+32
ant		0.4	0.28	0.28	0.32	0.36
axe		0.3125	0.375	0.25	0.4375	0.4375
barn		0.2	0.36	0.32	0.24	0.2
barren		0.3554	0.2975	0.2066	0.1074	0.3554
bench		0.2066	0.2479	0.2975	0.2149	0.2149
billboard		0.25	0.25	0.25	0.3125	0.25
biplane		0.2908	0.2296	0.2755	0.2041	0.301
book		0.3125	0.25	0.25	0.25	0.25
bush		0.2716	0.2346	0.1728	0.1481	0.2716
butterfly		0.2041	0.2449	0.2041	0.1837	0.2245
cabinet		0.2716	0.2963	0.2963	0.2469	0.2963
chess_set		0.321	0.2963	0.3086	0.2469	0.321

church	0.25	0.25	0.3125	0.25	0.25
city	0.26	0.2	0.22	0.21	0.26
commercial	0.2727	0.281	0.2397	0.2066	0.3058
computer_monitor	0.2544	0.2781	0.2249	0.2249	0.2722
conical	0.18	0.21	0.21	0.23	0.18
covered_wagon	0.44	0.52	0.44	0.36	0.48
desk_chair	0.2178	0.1867	0.2356	0.1867	0.2133
desktop	0.281	0.2645	0.2479	0.1983	0.281
dining_chair	0.4215	0.4711	0.3636	0.2149	0.4628
dog	0.3265	0.2857	0.3061	0.2449	0.3265
door	0.4043	0.5031	0.608	0.571	0.4938
electrical_guitar	0.4793	0.3669	0.3905	0.3136	0.4615
enterprise_like	0.2231	0.2066	0.1818	0.1818	0.2231
eyeglasses	0.4082	0.3878	0.3061	0.2245	0.4286
face	0.5508	0.5313	0.4609	0.3203	0.5469
fighter_jet	0.4148	0.4104	0.388	0.3736	0.4192
fireplace	0.25	0.25	0.1944	0.1667	0.25
fish	0.218	0.1972	0.2249	0.2076	0.2249
flowers	0.375	0.25	0.25	0.375	0.375
flying_bird	0.1939	0.1224	0.1327	0.1224	0.1837
flying_saucer	0.2071	0.1716	0.213	0.2367	0.1953
gazebo	0.32	0.24	0.36	0.4	0.32
gear	0.321	0.284	0.2593	0.2716	0.321
geographic_map	0.3056	0.3125	0.3889	0.2986	0.3125
glass_with_stem	0.1481	0.1235	0.1481	0.1235	0.1481
glider	0.241	0.2715	0.2992	0.241	0.2632
hammer	0.375	0.4375	0.4375	0.5625	0.4375
Hand	0.2422	0.2284	0.2007	0.1211	0.2422
handgun	0.29	0.3	0.45	0.21	0.33
hat	0.2222	0.3611	0.2222	0.1944	0.25
head	0.4258	0.4219	0.3555	0.2891	0.4375
helicopter	0.1481	0.1914	0.1173	0.1358	0.1667
horse	0.5	0.5833	0.3333	0.2778	0.5556
hot_air_balloon	0.2593	0.284	0.2593	0.1852	0.2593
hourglass	0.2222	0.2222	0.2778	0.25	0.25
Human	0.3464	0.302	0.328	0.3124	0.3468
human_arms_out	0.2125	0.205	0.1725	0.155	0.2175

jeep	0.28	0.28	0.52	0.32	0.32
knife	0.2245	0.2245	0.7551	0.2449	0.2245
ladder	0.25	0.25	0.3125	0.25	0.25
large_sail_boat	0.2222	0.1944	0.25	0.25	0.1667
mailbox	0.3469	0.2245	0.4898	0.2245	0.3469
monster_truck	0.28	0.32	0.76	0.48	0.28
motorcycle	0.3333	0.3889	0.4167	0.1944	0.3333
newtonian_toy	0.3125	0.25	0.3125	0.25	0.3125
one_peak_tent	0.375	0.25	0.375	0.25	0.4375
one_story_home	0.0918	0.1122	0.1224	0.0306	0.0918
pail	0.25	0.375	0.25	0.25	0.3125
potted_plant	0.1879	0.2396	0.2308	0.2485	0.2071
rabbit	0.3125	0.3125	0.375	0.25	0.3125
race_car	0.2755	0.1837	0.1837	0.1582	0.2602
rectangular	0.1872	0.2064	0.1936	0.1664	0.1936
Satellite	0.1633	0.1429	0.1837	0.1429	0.1633
satellite_dish	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
school_desk	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
sea_turtle	0.2222	0.2222	0.1667	0.2778	0.2222
sedan	0.4	0.38	0.52	0.36	0.44
semi	0.1837	0.1633	0.2041	0.2041	0.2041
shelves	0.1479	0.1775	0.2367	0.3195	0.1538
ship	0.3223	0.281	0.1901	0.1736	0.3388
shovel	0.3333	0.3889	0.5	0.3333	0.3611
single_leg	0.2222	0.1944	0.1944	0.2222	0.2222
sink	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
skull	0.3611	0.3056	0.2778	0.2778	0.3611
skyscraper	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
slot_machine	0.375	0.3125	0.25	0.3125	0.375
snake	0.25	0.25	0.3125	0.3125	0.25
staircase	0.1429	0.1429	0.1429	0.1633	0.1429
standing_bird	0.2653	0.2245	0.1429	0.1429	0.2245
stealth_bomber	0.24	0.32	0.36	0.2	0.24
streetlight	0.3438	0.375	0.3438	0.3594	0.3438
submarine	0.358	0.3951	0.2963	0.2469	0.3827
sword	0.4922	0.4688	0.5195	0.4883	0.4922
tie_fighter	0.44	0.44	0.44	0.28	0.44

train_car	0.2	0.24	0.2	0.2	0.2
two_story_home	0.12	0.14	0.11	0.11	0.12
umbrella	0.4444	0.4444	0.2778	0.3889	0.5
vase	0.124	0.1488	0.1901	0.124	0.124
walking	0.2656	0.2656	0.1719	0.2031	0.25
wheel	0.25	0.25	0.25	0.3125	0.25

二、參考文獻

- [1] Demo:<http://disney.go.com/disneyvideos/animatedfilms/chickenlittle/>
- [2] MPEG Video Group, MPEG-7 Visual part of eXperimentation Model Version 9.0, Doc. ISO/IEC JTC1/SC29/WG11/N3914, Pisa, January 2001.
- [3] National Taiwan University, CM Lab Graphics Group, 3D Model Retrieval System, Demo:http://3d.csie.ntu.edu.tw/%7Edynamic/cgi-bin/DatabaseII_v1.8/index.html
- [4] National Institute of Multimedia Education, Motomi T. Suzuki, Demo:<http://www.nime.ac.jp/~motofumi/Ogden>
- [5] Informatics and Telematics Institute, 3D Search, Demo:<http://3d-search.iti.gr/3DSearch>
- [6] Princeton University, Princeton Shape Retrieval and Analysis Group, 3D Models Search Engine, Demo:<http://shape.cs.princeton.edu/search.html>
- [7] T. Funkhouser, P. Min, M. Kazhdan, J. Chan, A. Halderman, D. Dobkin, D. Jacobs, "A search engine for 3D models", ACM Trans. Graphics 22 (1), pp. 83-105, 2003.
- [8] B. J. Super, H. Lu, "Evaluation of a hypothesizer for silhouette-based 3-D object recognition", Pattern Recognition, Vol. 36, pp. 69-78, 2003.
- [9] D. Y. Chen, X. P. Tian, Y. T. Shen, and M. Ouhyoung, "On visual similarity based 3D model retrieval", Computer Graphics Forum 22 (3), pp. 223-232, 2003.
- [10] D. Y. Chen and M. Ouhyoung, "A 3D Model Alignment and Retrieval System", Proc. of International Computer Symposium, Workshop on Multimedia Technologies, Vol. 2, pp. 1436-1443, Hualien, Taiwan, Dec. 2002.
- [11] Princeton Shape Benchmark, <http://shape.cs.princeton.edu/benchmark/>.