

# 行政院國家科學委員會補助專題研究計畫成果報告

## 三維物體的建構：利用物體投影的輪廓線重建 與細調的後處理

計畫類別： 個別型計畫      整合型計畫

計畫編號：NSC 89 - 2218 - E - 009 - 010

執行期間：89 年 8 月 1 日至 90 年 7 月 31

計畫主持人：陳 稔 國立交通大學資工系教授

共同主持人：賈叢林 中正理工學院電機系教授

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

執行單位：交通大學資訊工程學系

中 華 民 國 九 十 年 十 一 月 九 日

# 行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

計畫編號：NSC 89 - 2218 - E - 009 - 010

執行期限：89 年 8 月 1 日至 90 年 7 月 31 日

主持人：陳稔 國立交通大學資工系教授

協同主持人：賈叢林 中正理工學院電機系教授

E-mail: [zchen@csie.nctu.edu.tw](mailto:zchen@csie.nctu.edu.tw) Tel: 03-5731875

## 一、中文摘要

本計畫提出一套以校正過的相機對物體拍攝多方位的影像，便能建構物體的三維幾何尺寸模型的方法。其方法是一種體積交集法 (Volume Intersection) 的模式，使用拍攝相片中的物體輪廓，界定出線段模型中屬於物體的部分。由於模型中線段的解析度可動態調整，故能主動逼近物體外緣，以較少的線段獲得與高密度線段品質相近的結果。最後並能將線段模型轉化為物體的多邊形網格模型。

利用前述體積交集法所獲得雛形，無法處理物體上內陷點的位置計算。此時，我們利用立體視覺方法 (stereo vision)，將已知的物體雛形拿來做內陷點在相片中投影位置的鎖定，再利用立體視覺的三角定位技術 (triangulation method) 即可計算這些內陷點的三維位置，做幾何雛形的細調修補。

**關鍵詞：**體積交集法，線段實體模型，動態增加線段密度，多邊形網格，三角定位技術，內陷的細調修補。

## Abstract

This project attempts to reconstruct 3D real objects from a set of images captured with a calibrated camera at different viewpoints. Our method is to use the volume intersection approach to derive the line-based solid model from multiple silhouettes of the object. Since the resolution of lines in the model can be adjusted dynamically, the model can describe the boundary of the object more precisely without increasing the overall resolution. With this property, we can use few lines than the high-resolution model, while maintaining a similar quality. Finally, we convert the reconstructed object model to a 3D triangular mesh.

The object solid model obtained above cannot construct the concave part of the object. We then use the mesh model to assist the point correspondence finding. Based on the point correspondences, we can compute the 3D concave surface. We refine our mesh model to accommodate the concave part.

**Keywords:** Volume Intersection, Line-Based Solid Model, Dynamic Increment of line Density, Polygonal meshes, Triangulation Method, Refinement of Concave Surface.

## 二、緣由與目的

我們發現如何由二維影像系列去重建物體的三維幾何資料是一件很重要的工作。而這重建的工作通常需要做影像間特徵點的對應，由於特徵點有一對多以及物體上特徵點不夠稠密等問題，而得不到好的重建結果，故我們提倡不直接用點對應來做重建，而改以用物體的 occluding contours 或 silhouettes 來做，以避開完全用點對應所遭遇的窘境。這即所謂 shape from silhouette (or contour) 的技巧。

針對所拍攝的每一張影像中的物體的輪廓線 (silhouette) 與相機的鏡心構成一個觀視錐體 (viewing volume)。將所有拍得的影像的觀視錐體做交集，所得的立體模型可視為實際物體的粗略模型。基本上拍的愈密，模型愈逼近物體。

八分樹方法是最常見的體積交集法 (Volume Intersection) [14-24]。它最大優點是它的分割動作 (subdivision) 是遞迴的 (recursive)，整個交集運算在各層次的八分樹，都是同一做法，故方法一致，流程不變。但是，由於八分樹分割是每次分成相同大小的八塊，遇到物體在三個軸上的分佈有大小顯著的變化，則必需分割至很多層次，才能兼顧粗

細之不同。如此一來，八分樹的個數成幾何級數成長，浪費空間與時間。一般而言，八分樹模型比較適用於成塊狀的物體，如茶壺、印表機、電視機等，而不適用於薄片形狀物體，如花、樹及椅子、茶几等。

針對上述不適合八分樹表示的物體，我們提出用線段實體模型(Line-Based Solid Model)來取代八分樹模型。

所謂線段實體模型(圖 1)，是一組存在於固定空間(volume)中，平行的 3D 線段(line segments)，線段的長度可依需要而設定。每條 3D 線段上，又可分割為零至數個線段區間(sections)，這些區間所代表的，即為該 3D 線段上，實際屬於物體內部的範圍。

將八分樹與線段實體模型作比較可發現，若我們於八分樹的每個單元，其四個角落處各放置一條垂直於底面的線段，所有這些線段的集合，便形成前述的線段實體模型，見(圖 1-1)。

兩種模型最主要的不同，在於分割(subdivision)的方法。八分樹單元在水平面二軸是作二等分割。線段實體模型中，相鄰線段之間的分割方式也是類似，但分割的範圍略有不同。

在垂直軸上的分割方式，八分樹單元仍舊是作二等分割，但線段實體模型中的線段，則是以該線段與物體輪廓實際相交處作分割，是一種無段的分割方式，精確度僅受限於建構用相片影像的解析度。

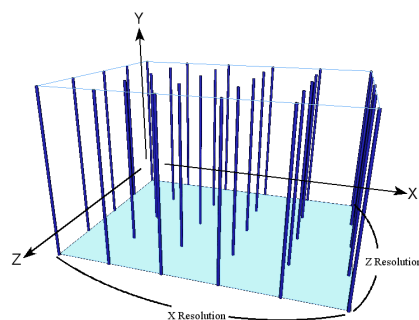
### 三、研究方法與成果

整個建構三維物體的流程主要可分為以下幾個步驟：

步驟一：針對所拍攝的每一張影像建立物體線段實體模型。

1. 建立初始線段模型。
2. 將模型中的每一條 3D 線段投影至相機影像平面，並計算在該影像平面上，線段投影與物體成像相交的區間。
3. 將所得之線段區間，反投影回相對應的 3D 線段上。

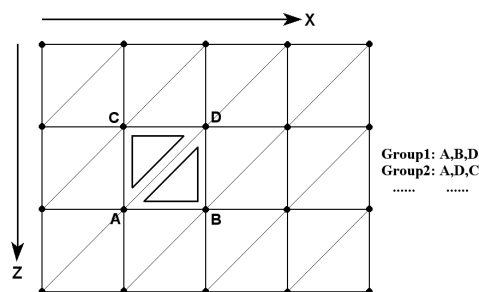
4. 將不同視角所得到的結果，求其交集，便能求得實際屬於物體內部的 3D 線段區間。



(圖 1) 初始線段模型示意圖

步驟二：動態增加線段模型的線密度

由正上方俯視初始線段模型所構成長方體空間，會發現相鄰的四條 3D 線段構成了一個長方形的區域。為了方便在後面所要產生多邊形網格(在這裡，所謂的多邊形指的就是三角形)，我們將位在長方形區域頂點的四條 3D 線段，分成二組，如圖所示：



(圖 2) 線段分組方式的俯視圖

在動態新增線段時，為了能以同樣的方式將新增的線段分組，則必須以上述長方形區域為基本單位，每一次的新增，就將原有的長方形區域在 X 軸及 Z 軸方向各切一刀，形成四個面積相等的小長方形，而小長方形頂點的位置，就是要新增的 3D 線段所在的位置，共新增五條。

決定需動態新增線段的法則

需要動態新增線段的狀況有以下二種：

- (1) 物體水平面的邊緣 (Horizontal Boundary Test)：假設  $L_i$  與  $L_j$  是二條相鄰的 3D 線段，其上的線段區間集合分別為  $S_i^*$  與  $S_j^*$ ，若  $S_i^* \neq \emptyset$  且  $S_j^* = \emptyset$ ，則表示  $L_i$  是在物體水平面的邊緣

處，反之亦然。

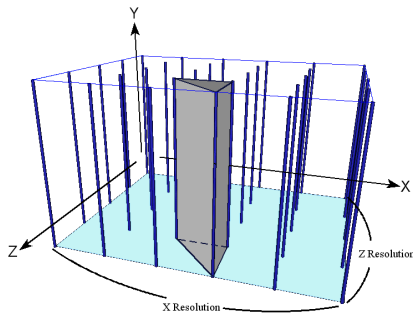
- (2) 相鄰二 3D 線段上之線段區間是否在垂直方向相連的判斷 (Vertical Overlapping Test) :

假設  $L_i$  與  $L_j$  是二條相鄰的 3D 線段，其上的線段區間集合分別為  $S_i^*$  與  $S_j^*$ ，若  $\exists t_i \in S_i^*$ ，使得  $\forall t_j \in S_j^*$ ， $t_j \cap t_i = \emptyset$ ，則表示  $t_i$  未與相鄰線段  $L_j$  中的任何線段區間  $t_j \in S_j^*$  在垂直方向有重疊，故無法判斷  $L_i$  上的線段區間  $t_i$  該與誰相連。

因此，只要對線段實體模型中任意二條相鄰的 3D 線段  $L_i$  與  $L_j$ ，進行上述二種測試，只要有其中一種成立，則表示  $L_i$  與  $L_j$  之間，有需要新增一條 3D 線段。

### 步驟三：將線段實體模型，轉換為多邊形網格

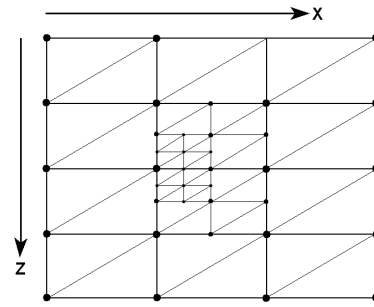
我們要把線段實體模型轉換為多邊形網格的封閉面模型，其間的差別過大，不易轉換，故借助一個中間的模型輔助。由觀察線段實體模型的結構可發現，在水平面(X-Z 平面)上，任意三條相鄰的 3D 線段，彼此間可以構成一個三角柱，見 (圖 3)。而將三角柱的五個面切開後，便能形成多邊形網格所需要的三角形。



(圖 3) 三角柱模型

轉換為三角柱的第一步，是將俯視圖 (圖 4) 中，相鄰四個 3D 線段所形成的長方形區域為基礎，將長方形沿對角線切半，可得到二個三角形，位在三角形三個頂點位置的 3D 線段，即分為一對三角柱。由於 3D 線段上，實際表示物體存在區域的，是該線段上各截在物體內的線段區間所成的集合。若將相鄰線段上，在垂直軸(Y 軸)高度有重疊的線段區間連為一體，則可將原有的三角柱區分為數段較短的三角柱，而這些較短的三角柱所包含的區域，

便是物體實際存在的範圍。



(圖 4) 三角柱頂點的組成

為了讓上述線段區間連為一體後，能夠構成封閉的較短三角柱。三條相鄰的 3D 線段，其上的線段區間集合，必須符合下列條件：

- (1) 線段區間的起點，必須與相鄰 3D 線段上，另外一個線段區間的起點相連。同理，終點也要與終點相連。
- (2) 線段區間的端點相連後，應形成封閉的三角形。
- (3) 端點相連所形成的三角形，應兩兩成雙出現，高度較低者為三角柱的底面，高度較高者為頂面。兩者之間的區域，即為三角柱的柱身

為了實驗本論文提出的方法，在重建不同形式的物體時所能達到的效果，我們以 3D Studio 建構了茶壺、步槍、花朵等三種各具特色的虛擬 3D 物體，進行模擬實驗。我們使用 3D Studio 所提供的虛擬相機功能，以物體垂直軸為轉軸，拍攝一系列的環物影像。每旋轉 10 度拍攝一張，共拍攝 36 張。圖 5 及圖 6 是其中較具代表性的幾個視角所攝得的影像及重建的結果。

### 步驟四：物體幾何雛形多邊形網格內陷的細調修補

步驟一中採用的 shape from contour 方法，並無法重建物體凹陷(concave)的區域。若在這些凹陷的區域上能找到足夠的特徵點，則可利用這些資訊對步驟一至三所產生的物體雛形網格作進一步的細調修補，使其更接近真實情況。我們所採用的方法流程如下：

- (一) 以雛形網格輔助點對應的搜尋

使用已有的物體雛形網格，可加速點對應的搜尋，並減少 ambiguity 的產生。演算法概述如下：

1. 首先，使用 Garbor wavelet 在 image  $i$  中尋找特徵點，假設找到了特徵點  $X_i$ 。
2. 將 image  $i$  的  $COPI$  與  $X_i$  相連可得一條射線，沿

射線方向，尋找物體雛形網格中，第一個其相交的 polygon，稱作 P。

3. 對另一張 image j 而言，先在 polygon P 投影所形成的區域中，搜尋  $X_i$  的對應點。若找不到，則以 polygon P 為圓心，依序選取物體雛形網格中，位在 P 周遭的 polygons，並對每個 polygon 作同樣的投影並搜尋對應點的動作，直到找到可用的對應點為止。

#### (二) 建立凹陷區域的三維網格

有了凹陷區域的特徵點在兩張影像間的對應關係後，即可使用立體視覺的三角定位法 (triangulation)，計算得知該特徵點的三維座標。

藉由影像上可知的各個特徵點間的相連關係，便能將這些定位出來的三維點座標，相連並形成一個足以代表該凹陷區域結構的多邊形網格。

#### (三) 使用凹陷區域的網格對原始的物體雛形網格作細調修補

此部分的演算法可分為下列步驟描述：

1. 由 (二) 所得的多邊形網格中，找出位在該凹陷區域開口處的多邊形頂點(vertices)，這些頂點彼此間相連會形成一個多邊形的環，表示為  $R = \{V_1 \ V_2 \ V_3 \ \dots \ V_m\}$ 。
2. 對各張影像作檢查，若 image i 中可看見  $V_1$  至  $V_m$  中的任何一點，則將  $COP_i$  選入集合 C 中。再對 C 中的各個 COP 點求其 convex hull，可得到另一組多邊形環，稱作 S。
3. 將 R 與 S 相連，則可得到一個多邊形的角柱。將此一角柱與物體的雛形網格作交集，可得到一個封閉的多邊形網格區域 W。(註：為避免 polygon subdivision 所需的運算，任何一個 polygon 只要有一部份與角柱相交，便將其選入交集區域 W 中)
4. 尋找位在多邊形網格區域 W 最外側的 polygon edges，將這些 edges 相連，可形成另一組多邊形的環  $T = \{W_1 \ W_2 \ W_3 \ \dots \ W_n\}$ ，其中  $W_1 \sim W_n$  為構成 T 的各個 polygon vertex。並將 W 內部的所有 polygons 移除。
5. 對 T 中的每一個端點  $W_i$ ，在 R 中找到一個最近的端點  $V_j$ ，將  $W_i$  與  $V_j$  相連，如此可使 T 與 R 兩個多邊形環相連相連。最後再將這些相連的面中尚未形成三角形的面，沿對角線切開，便得到細調修補完成的多邊形網格。

圖 7 所展示的是一個由 3D Studio 建構，具有凹陷區域的立方體的原始影像。圖 8 及 圖 9 則是重

建所得的雛形多邊形網格，及使用步驟四的方法將凹陷區域修正完成後的結果。

#### 四、結論

本論文提出一套線段模型建構三維物體的方法。該方法利用校正過的相機對物體拍攝多方位的，便能推論出物體的三維幾何尺寸模型。它的特色包括：

- (1) 不必擷取物體影像的特徵點，也不必做不同相片間特徵點的對應。因為它不用立體視覺的三角定位法(triangulation method)計算三維的點座標，而是用體積交集法(volume intersection)求出物體的三維幾何形狀。

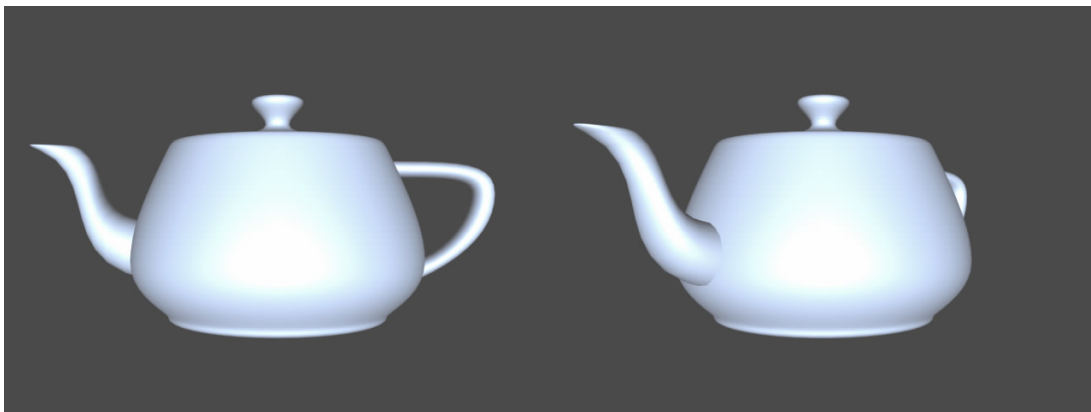
- (1) 它的線段模型中線段解析度不設定為固定值，而可以動態調整，故能主動逼近物體的外緣，以較少的線段獲得與高解析度模型差不多的結果。
- (2) 它能產生封閉的物體表面的網格模型。
- (3) 它不像八分樹建構方法需要龐大的儲存空間，且處理時間也快上數倍。

利用前述體積交集法所獲得雛形，無法處理物體上內陷點的位置計算。此時，我們再利用立體視覺方法(stereo vision)，將已知的物體雛形拿來做內陷點在相片中投影位置的鎖定，應可解決煩人的特徵點對應問題。有了點對應，利用立體視覺的三角定位技術(triangulation method)即可計算這些內陷點的三維位置，再做幾何雛形的細調修補。

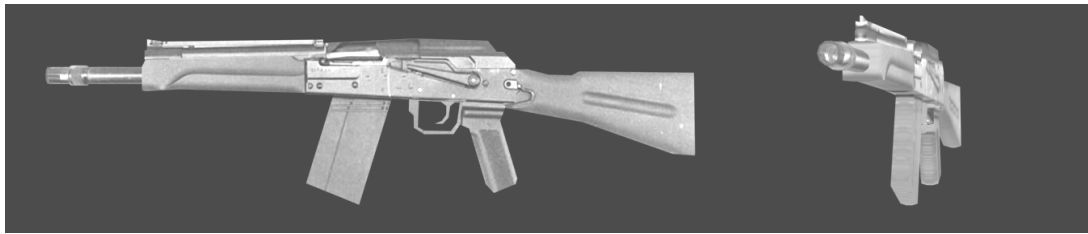
#### 五、參考文獻

- [1] F. Schmitt, Y. Yemez, 3D Color Object Reconstruction from 2D Image Sequences, Proceedings of ICIP 1999. Vol.3 69-69, 1999
- [2] Blanca Garcia, Pere Brunet, 3D Reconstruction with Projective Octrees and Epipolar Geometry, Computer Vision, 1998. Sixth International Conference, 1067-1072, 1998
- [3] Richard Szeliski, Rapid Octree Construction from Image Sequences, CVGIP: Image

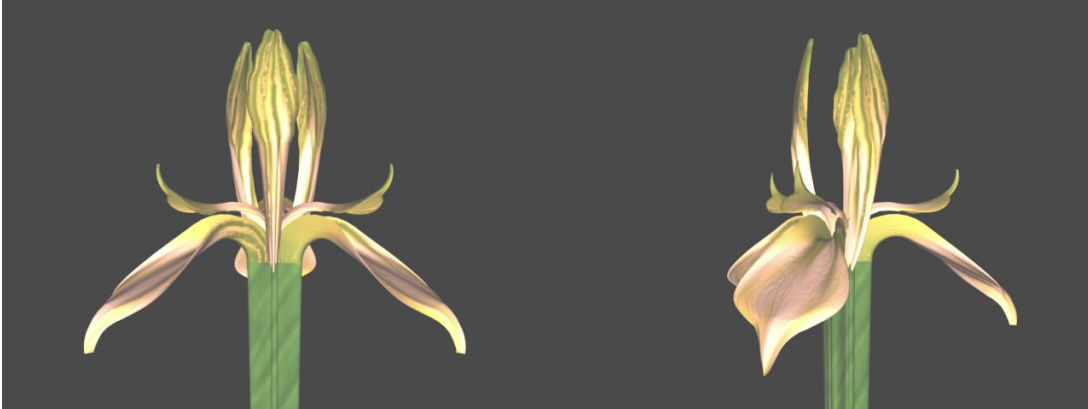
- Understanding, 1993.
- [4] S. K. Srivastava and N. Ahuja, "Octree generation from object silhouettes in perspective views," CVGIP, 49, pp. 68-84, 1990.
- [5] H. H. Chen and T. S. Huang, "A survey of construction and manipulation of octrees," CVGIP, 43, pp. 409-431, 1988.
- [6] M. Potmesil, "Generating octrees models of 3D objects from their silhouettes in a sequence of images," CVGIP, 40, pp. 1-29, 1987.
- [7] C. H. Chien and J. K. Aggarwal, "Identification of 3D objects from multiple silhouettes using quadrees/octrees," CVGIP, 36, pp. 256-273, 1986.
- [8] C. H. Chien and J. K. Aggarwal, "Volume/surface octrees for the representation of three-dimensional objects," CVGIP, 36, pp. 100-113, 1986.
- [9] Dan Snow, Paul Viola, Ramin Zabih, Exact Voxel Occupancy with Graph Cuts, Proceedings of CVPR 2000, Vol.3 345-352, 2000
- [10] Jeremy S. De Bonet, Paul Viola, Roxels: Responsibility Weighted 3D Volume Reconstruction, ICCV 1999
- [11] Steven M. Seitz, Charles R. Dyer, Photorealistic Scene Reconstruction by Voxel Coloring, IEEE 1997
- [12] S. M. Seitz and C. R. Dyer, "View Morphing," Computer Graphics Proceedings, SIGGRAPH 96, pp.21-30., 1996
- [13] R. Szeliski, "Video Mosaics For Virtual Environments," IEEE Computer Graphics and Applications 16, 2, 1996, pp. 22-30., 1996
- [14] L. McMillan and G. Bishop, "Plenoptic Modeling: An Image-Based Rendering System," Computer Graphics Proceedings, SIGGRAPH 95, pp.39-46., 1995
- [15] S. E. Chen and L. Williams, "View Interpolation for Image Synthesis," Computer Graphics Proceedings, SIGGRAPH 93, pp.279-288., 1993
- [16] L. Teodosio and W. Bender, "Panoramic Overview For Navigating Real-World Scenes," Proc. ACM Multimedia 95, 1993, pp. 359-364, 1993.
- [17] T. Beier and S. Neely, "Feature-Based Image Metamorphosis," Computer Graphics Proceedings, SIGGRAPH 92, pp.35-42., 1992
- [18] Milan Sonka, Vaclav Hlavac, Roger Boyle, "Image Processing, Analysis, and Machine Vision", 2<sup>nd</sup> Edition, PWS Publishing
- [19] Alan Watt, "3D Computer Graphics", 3<sup>rd</sup> Edition, Addison Wesley
- [20] Georg Glaeser, "Fast Algorithms for 3D-Graphics", Springer-Verlag New York



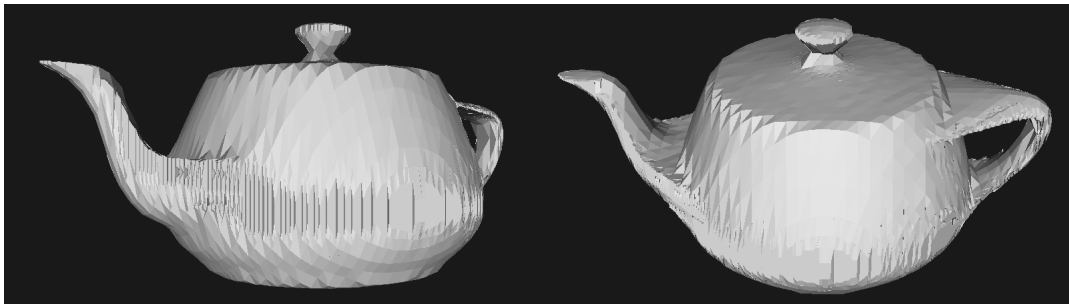
(圖 5a): 茶壺的原始影像



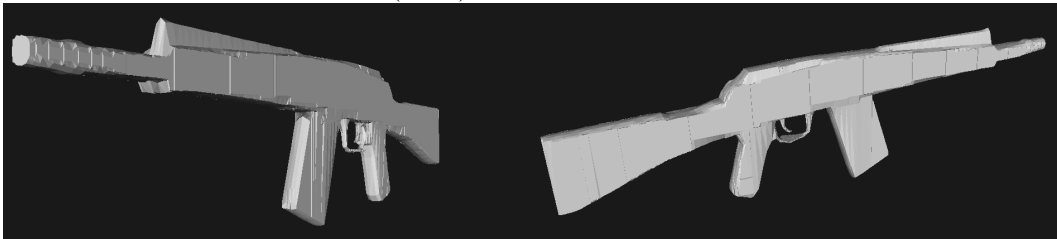
(圖 5b): 步槍的原始影像



(圖 5c): 花朵的原始影像



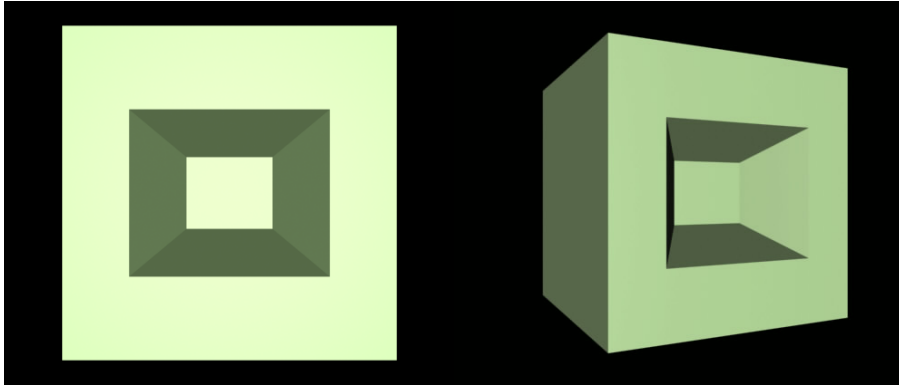
(圖 6a): 茶壺的重建結果



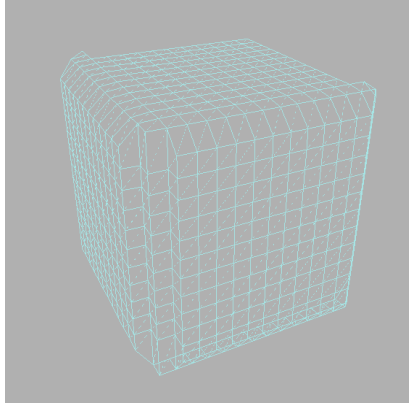
(圖 6b): 步槍的重建結果



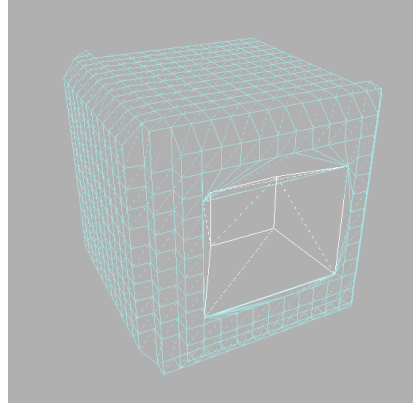
(圖 6c): 花朵的重建結果



(圖 7): 具有凹陷區域的物體的原始影像



(圖 8): 重建出的物體雜形多邊形網格



(圖 9): 凹陷區域細調完成後的網格