

基於輪廓與雙目視覺的固態物體三維重建

邱麟捷

朝陽科技大學
資訊工程系

Email: qulamj@gmail.com

姚志佳

朝陽科技大學
資訊工程系副教授

Email: cciao@cyut.edu.tw

摘要

三維重建在許多領域中都有重要的應用，而昂貴的設備卻使其無法普及化，本論文提出了一個低成本的三維重建方法，成功結合了輪廓法與雙目視覺的優點，也克服立體匹配易受到低紋理與重複紋理影像影響的困擾。實驗結果證明，本論文的方法在整體誤差上較輪廓法與雙目視覺小。

關鍵詞：電腦視覺、輪廓法、雙目視覺、立體匹配、三維重建。

Abstract

3D image reconstruction has important applications in many fields, but its expensive equipment causes it is hard to apply universally. This paper presents a new method for 3D reconstruction on low cost equipment, which combines advantage profile method and binocular vision, and overcomes stereo matching in low-texture and symmetrical-texture image sensitive area. Experimental results show the proposed method overcomes the contour method and binocular vision in the overall error.

Keywords: Computer vision; Profile method; Binocular vision photogrammetry; Stereo matching; 3D reconstruction.

1. 前言

隨著時代的演進，電腦視覺技術已經從傳統的二維平面影像逐漸發展到三維空間的立體影像。三維影像的發展使人們可以在螢幕上看到具有立體感的影像，使得物體更具真實性。而其構成三維影像的三維重建技術在電腦視覺技術中是困難且重要的一門課題，這個技術可以運用在許多領域中，例如：建築展示模型、3D 電影、3D 遊戲，在目前發展迅速的電子商務中，商品的真實性顯得尤其重要，而三維影像的出現可提供更全面且真實的物體訊息，商

品展示方式在不遠的未來將被三維立體的方式取代，由此可見，在未來的市場中三維重建的重要性[1]。

近年來隨著三維雷射掃描儀的發展，目前其精準度已經可以達到毫米的等級，但其價格卻使人卻步。為了使三維重建技術得以普及化，前人提出基於影像的三維重建方法，例如：輪廓法、立體視覺法等，相較於三維雷射掃描儀，在成本上降低了許多。

在基於影像的三維重建中，輪廓法與立體視覺法各有特點，在輪廓法中屬於物體的部分可以被完整的保留，但部分不屬於物體的部分，因為不存在影像的物體輪廓線上而被判定為物體，而立體視覺法在物體特徵獨特且明顯的部分有良好的效果，但在於重複或者是特徵不明顯的部分可能出現嚴重的偏差[2]。

在本論文中提出了兩種三維重建方法的結合，通過底座圓盤定位相機焦點與圓盤中心的相對位置，用於提高輪廓法的準確性，通過兩台相機的投影關係提高立體匹配準確性。實驗證明，所以提出的方法有提高其三維重建準確度。

本論文的章節安排如下：在第二章介紹在三維重建中運用的基本技術，在第三章詳細介紹提出的方法，在第四章比較輪廓法、立體視覺法與本論文的方法的三維重建準確性，最後為本論文的結論與未來工作。

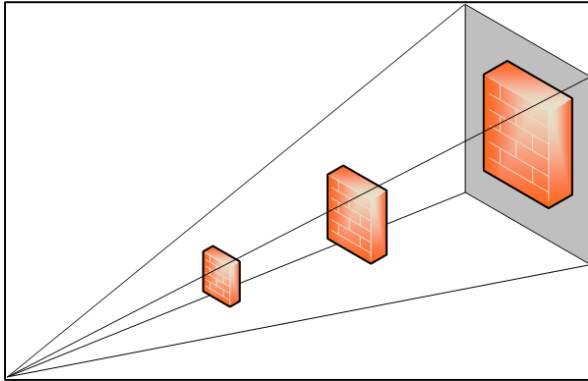
2. 基本理論原理

為了使用電腦視覺技術完成物體的三維重建，本論文參考了一些前人所提出的技術，主要可分為四大部分，輪廓法，立體視覺匹配、雙目立體視覺技術與三維重建技術，在本章節中將會對這些技術進行較簡要的介紹：

2.1 輪廓法

輪廓法是使用一系列的物體輪廓完成三維重建的方法，在針孔成像原理中，物體可能

存在位置將會隨其深度等比例放大，如下圖一所示，在獲得物體在各個角度中所拍攝的影像後，經過影像處理技巧去除背景取得輪廓，而在各個角度中物體可能存在位置的交集範圍即是物體的三維重建，重建成效受限於物體表面在影像輪廓線上的覆蓋率[3]。

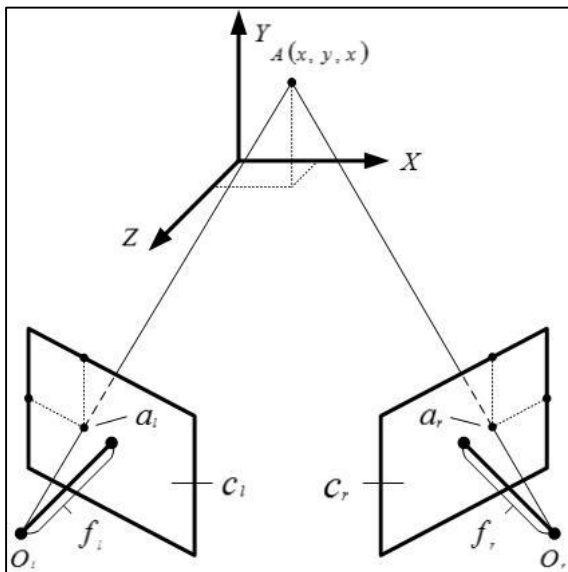


圖一 相機投射示意圖。

2.2 立體視覺匹配技術

目前主流的立體視覺匹配分為兩種：區域立體匹配和全域立體匹配，區域立體匹配的運行速度較快但匹配精準度較低，全域立體匹配的運行速度較慢但匹配精準度較高，隨著硬體設備的進步，未來的主流將為全域的立體匹配方法。而在立體匹配中，通常使用每一個點的特徵來做比對，例如：亮度、顏色值、Harris 角點、SIFT 特徵點、SURF 特徵點，但是對於整體的正確性較差[4]。

2.3 雙目立體視覺技術

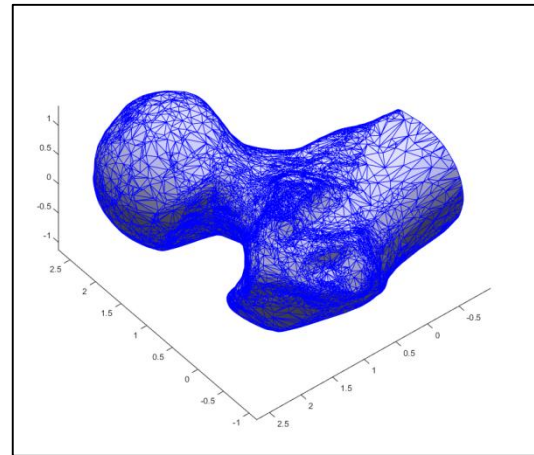


圖二 雙目視覺基本原理。

雙目立體視覺技術，使用兩台性能相同且位置固定的相機，獲取同一景物的兩幅影像，雙目立體視覺模型如圖二所示，假設在歐基里斯空間中點 $A(x, y, z)$ 為物體位置，其在左右相機 C_l 和 C_r 中的投影點為 a_l 和 a_r ，相機 C_l 與 C_r 的焦點為 O_l 和 O_r ，則物體位置 $A(x, y, z)$ 可以被表示為 $\overrightarrow{O_l a_l}$ 與 $\overrightarrow{O_r a_r}$ 的焦點[4]。

2.4 三維重建技術

三維重建的目的是為了建立一種三維物體能被電腦所表示和處理的方法，其主要方法為使用二維影像通過數學計算的方式還原其三維資訊，在 3D 印表機中通常使用 STL 格式儲存，以三角網格的方式表示物體表面，如圖三所示。



圖三 三角網格示意圖。

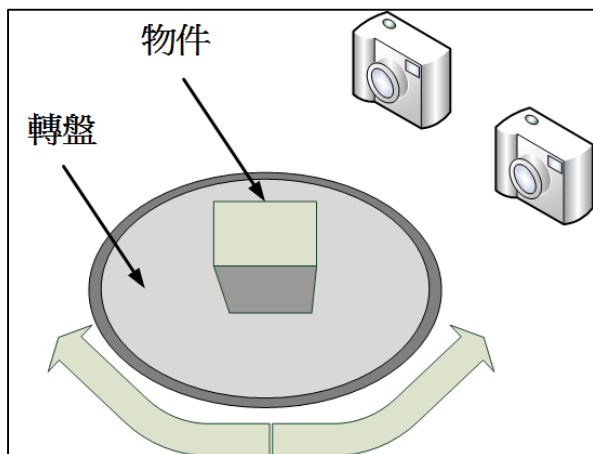
3. 研究方法

三維重建之輪廓法可以簡單的取得成效良好的三維影像，但當物體表面不在輪廓上的部份，重建後將無法正確的呈現，而基於雙目視覺的三維重建方法是使用兩台相機同時拍攝來獲得具有視差的兩張影像，取得影像後使用雙目視覺技術計算物體的深度影像，最後使用多張不同角度的深度影像進行三維重建，其缺點為在立體匹配部分容易受到影像中低紋理與重複紋理的影響，導致其最終重建結果的不準確。

本論文提出了新的三維重建的方法，考量了輪廓法的構成的三維影像必大於或等於實際物體的特點，改良了雙目視覺在匹配上不準確所造成在三維重建上的缺點，達成更良好的三維重建的效果，以下將詳細的介紹。

3.1 理論模型

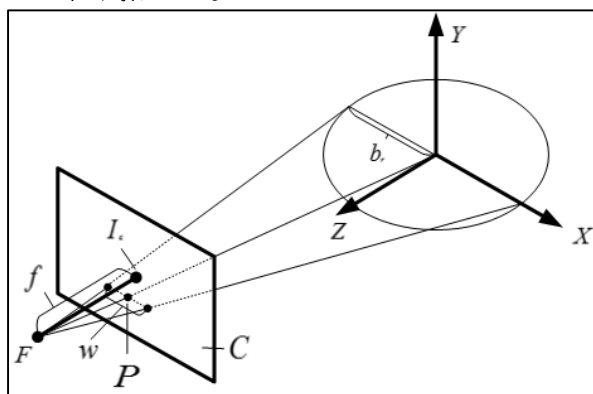
輪廓法需至各角度拍攝物體，在實作上除了建置環場軌道相機外，另外也可以使用手動或自動的電子轉盤達到相同效果，而基於雙目視覺技術，本論文需要使用到兩台相機，其示意圖如圖四所示。



圖四 架構示意圖。

物件放在轉盤中央，固定兩台相機，基於雙目視覺技術，將相機放在成像相同平面只有水準方向上的位置有差距。

3.2 相機焦點定位



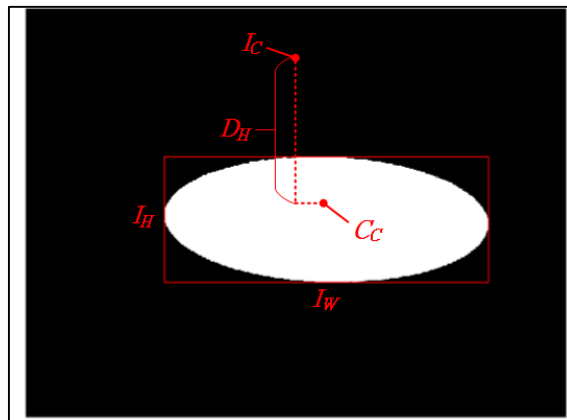
圖五 相機焦點在歐基里斯空間的示意圖。

假設底座圓盤中心在歐基里斯空間的原點位置，如圖五所示，其中 f 為相機焦距， I_c 為成像平面 C 的中心， P 為圓盤中心在成像平面上的投影點， b_r 為底座半徑， w 為底座在影像中投影的寬度，相機焦點位置 $F(x, y, z)$ 在歐基里斯空間可以用公式(1)求得：

$$F = \overrightarrow{PF} \times \frac{2b_r}{w} \quad (1)$$

\overrightarrow{PF} 為底座中心在影像中的投影點到相機焦點的向量。

為了計算相機的傾斜角度本論文將轉盤進行二值化處理，如圖六所示。



圖六 二值化結果。

其中 I_c 為影像中心， I_H 與 I_W 分別為圓盤在影像中的長與寬， C_c 為圓盤在影像中的中心位置， D_H 為 I_c 與 C_c 的垂直距離，則相機對X軸的傾斜角度可以用以下公式表示：

$$X_\theta = \cos^{-1} \frac{I_H}{I_W} + \tan^{-1} \frac{D_H}{f} - \frac{\pi}{2} \quad (2)$$

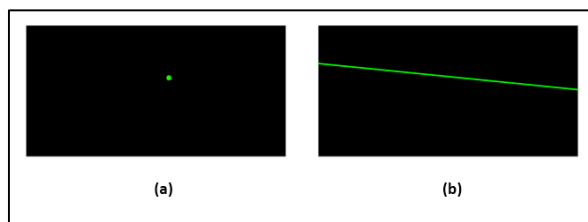
3.3 旋轉後相機焦點位置

物體與相機的相對位置，假設轉盤旋轉角度為 θ ，則旋轉後相機焦點位置可以表示為[6]：

$$F_\theta = [F_x \ F_y \ F_z] \times \begin{bmatrix} \cos \theta & 0 & \sin \theta \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \theta & 0 & \cos \theta \end{bmatrix} \quad (3)$$

3.4 深度圖

在未經過外極線校準的影像中，假設左右影像大小為 $I_{lw} \times I_{lh}$ 與 $I_{rw} \times I_{rh}$ ，則立體匹配的計算複雜度為 $O(I_{lw}I_{lh}I_{rw}I_{rh})$ ，但通過左右影像的投影關係可降低其尋找範圍，令其計算複雜度下降為 $O(I_{lw}I_{lh}I_{rw})$ ，其中左右影像的投影關係如下圖七所示。



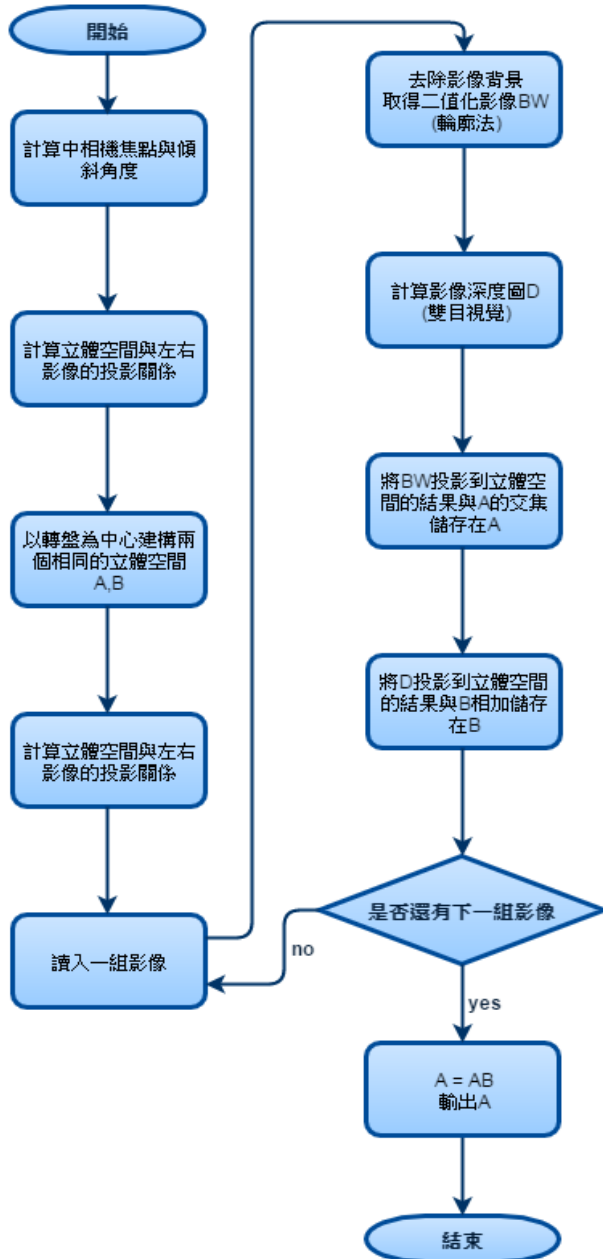
圖七 投影：(a)為左影像的一點。(b)為左影像一點在右影像的投影。

使用 SAD 匹配演算法找尋最相似點，建構深度影像，SAD 匹配公式可以表示為[7-9]：

$$\sum_{(i,j) \in W} |I_l(x_l + i, y_l + j) - I_r(x_r + i, y_r + j)| \quad (4)$$

其中 w 為搜尋遮罩，遮罩越大匹配準確度越高，但是前景放大效應也越強， (x, y) 為影像座標。

3.5 參數需求與系統流程圖



圖八 系統流程圖。

在三維重建中要制定的必要參數將在表一中列出[9]。

表一 參數制定

參數	描述
f	相機的焦距(cm)
S	在成像平面上每一個圖元的距離(cm)
r	轉盤的半徑(cm)

系統流程如圖八所示，其中在立體空間建構時 A 的初始值為 1， B 的初始值為 0，在深度圖投影到立體空間時大於深度為 2 小於深度為 1，三維成像結果將由閾值 φ 決定。

4. 實驗

4.1 實驗設置

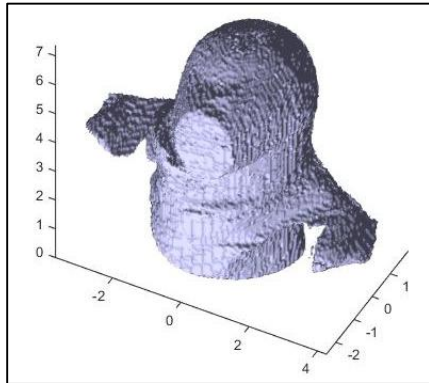
在軟體方面本論文使用 MATLAB 為系統開發工具，在硬體設備中，本論文使用兩台智慧型手機 Amazing A8 為拍攝工具，拍攝照片尺寸為 3120×4160 / pixel，轉盤尺寸為半徑 12.5 cm，轉盤每旋轉 10 度拍攝一張照片，總共拍攝 72 張。



圖九 (a)小小兵玩具。(b)測試積木。

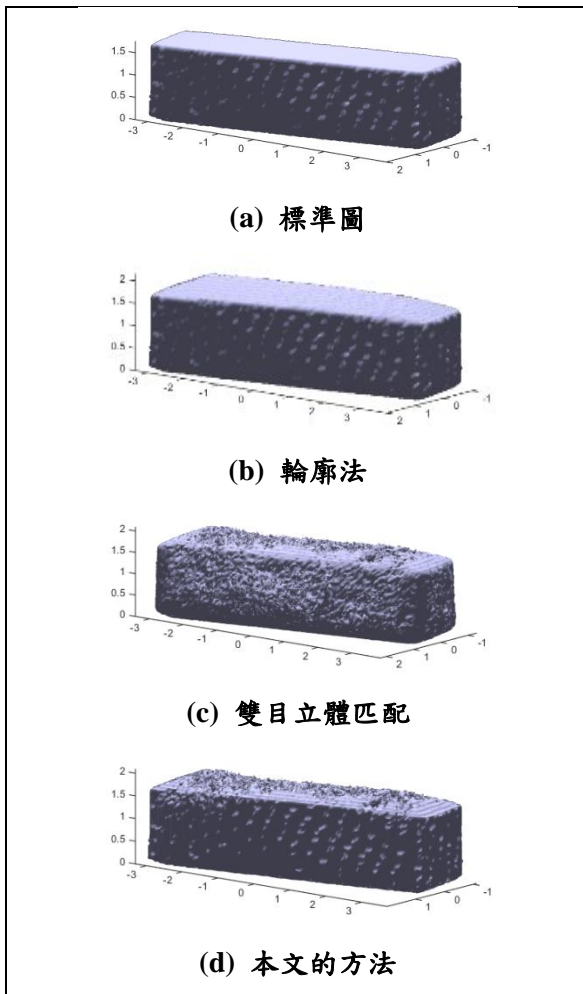
相機與轉盤參數設定為， $f = 0.04$ ， $s = 0.0000109462578305308$ ， $r = 12.5$ ，圖九(a)為小小兵玩具， $\varphi = 45$ ，圖九(b)為 $17 \times 17 \times 68$ mm 的木塊， $\varphi = 55$ 。

4.2 實驗結果與性能比較



圖十 小小兵三維重建

在圖十中呈現對測試物體(a)的三維重建結果，結果顯示本論文提出的方法可達到良好的重建效果，為了進行性能的比較，本論文使用測試物體 B 來比較輪廓法、雙目立體匹配與本論文提出的方法，三維重建結果如下圖十一所示。



圖十一 立體成像：(a)標準圖。(b)輪廓法。(c)雙目立體匹配。(d)本論文的方法。

圖十一(a)為標準圖，從圖十一(b)中可以看出積木上方因為拍攝死角而隆起，從圖十一(c)中可以看出使用雙目立體匹配所導致的嚴重凹凸不平的偏差，在圖十一(d)中可以看出其有效修正拍攝死角造成的隆起與凹凸不平的現象，而三維影像的實際誤差將會在表二中列出。

表二 相對於標準圖的正負誤差(mm³)

	輪廓法	雙目匹配	本文的方法
-	0.00	161.12	161.12
+	2095.70	6079.25	1085.45
總共	2095.70	6240.37	1246.57

從表二中可以看出在輪廓法的三維影像結果一定包含實際影像，而本論文提出的方法在於總誤差的表現是最好的。

最後本論文比較在不同閾值下雙目立體視覺與本論文的方法的誤差，結果將在表三中列出。

表三 在不同閾值得誤差情況

	雙目立體匹配	本文的方法
$\varphi = 35$	21791.20	2095.70
$\varphi = 40$	17638.30	2095.70
$\varphi = 45$	13855.55	2092.84
$\varphi = 50$	10117.026	1926.71
$\varphi = 55$	6240.37	1246.57
$\varphi = 60$	4382.67	2109.16
$\varphi = 65$	7783.34	7063.99
$\varphi = 70$	14426.40	14380.52

從表三中可以看出在不同閾值下本論文的方法都優於雙目立體匹配。

5. 結論與未來工作

本論文提出了一個有效提升輪廓法與雙目立體匹配在三維重建上的性能表現的方法，在本方法上對於其他輪廓法與雙目立體匹配得改良方法有良好的相容性，在雙目立體匹配上，本論文不需要對影像進行外極線校準即可進行立體影像匹配，實驗結果表明，該方法有效改良輪廓法與雙目立體匹配。在未來的研究中，本論文考慮到智慧型手機通常只有單一鏡頭，在未來工作中會將相機數量減少至一台，

通過轉盤旋轉的前後關係計算相機像對位置，從而使用單相機完成三維重建。

參考文獻

- [1] 羅於蘋, “以情境分析法探討 2030 年數位生活之 3D 應用功能發展,” 資訊科學, 交通大學, 2010.
- [2] 佟帥, 徐曉剛, 易成濤, and 邵承永, “基於視覺的三維重建技術綜述倡,” *電腦應用研究*, vol. 28, no. 7, 2011.
- [3] M. O. Berger, "Resolving occlusion in augmented reality: a contour based approach without 3D reconstruction." pp. 91-96.
- [4] 曹之樂, 嚴中紅, and 王洪, “雙目立體視覺匹配技術綜述,” *重慶理工大學學報 (自然科學版)*, vol. 29, no. 2, pp. 70-75, 2015.
- [5] Q. T. Luong, *MATRICE FONDAMENTALE ET AUTOCALIBRATION EN VISION PAR ORDINATEUR*, 1992.
- [6] T. Kanade, H. Kano, S. Kimura, A. Yoshida, and K. Oda, "Development of a video-rate stereo machine." pp. 95-100 vol.3.
- [7] D. Scharstein, and R. Szeliski, “A Taxonomy and Evaluation of Dense Two-Frame Stereo Correspondence Algorithms,” *International Journal of Computer Vision*, vol. 47, no. 1-3, pp. 7-42, 2002/04/01, 2002.
- [8] D. A. Altantawy, M. Obbaya, and S. Kishk, "A fast non-local based stereo matching algorithm using graph cuts." pp. 130-135.
- [9] A. Mavrinac, C. Xiang, and J. L. Alarcon-Herrera, “Semiautomatic Model-Based View Planning for Active Triangulation 3-D Inspection Systems,” *Mechatronics, IEEE/ASME Transactions on*, vol. 20, no. 2, pp. 799-811, 2015.