

電腦視覺在虛擬實境中的應用 (III) - 子計劃二：
利用彩色結構光之視覺技巧建構三維物體幾何模型
3D Vision-Based Object Reconstruction Using Color Structured Lighting

計劃編號：NCS88-2213-E-009-037

計劃期限：87/8/1-88/7/31

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 Tel: 03-5731875

一. 中文摘要

本計畫利用彩色結構光的視覺技術建構三維物體的幾何模型。在結構光法中，主要問題在解決 CCD 影像及投影機 LCD 中條紋間的對應關係。在本計畫中，我們將光源投射器中投射條紋打物體八分樹模型 (Octree model) 上，做為其在真實物面上大概位置，藉此可得該線投影在二維影像上的預測位置。再根據預測位置，在其鄰近區域，利用顏色等限制找出其相對應的 observed stripe。

八分樹模型除了可以解決上述點對應問題外，還可以解決另外幾項問題：

1. 當物體有自我遮蔽 (self occlusion) 時，不同景深的二個物面上不同的條紋有時會誤連成同一條，而造成三維重建的錯誤。此時，靠八分樹模型即可排除此種誤連，
2. 當物面變窄時，物面上的條紋亦變短，此時要用 epipolar line constraint 來確定這些條紋的點對應，由於可用鄰近資訊較少，會很難做。此時可用八分樹模型解決此窄物面的重建。

在解決對應問題後，便可著手去建物體表面條紋的三維位置。產生 wireframe model，同時，執行物面的平滑化。最後，我們做不同視圖重建物面的整合。

關鍵詞：虛擬實境，視覺式物件重建，彩色結構光，八分樹模型，立體對應。

Abstract:

In this project we propose to use a color structured light vision technique to construct a 3D geometric model for an object. One of

the core problems is to solve the stereo correspondence between the projected stripes in the image and the stripes on the LCD panel of the light projector. An octree model constructed from the images will be used to approximate the object geometry. Color stripes are projected onto the octree model, which is, in turn, projected onto the image. In this way, we predict the location of a projected stripe in the image. Since the octree model is approximation of the real object, the real projected stripe is supposed to lie in the neighborhood area of the predicted location.

The octree model of the object can also be used to solve the following problems:

- (a) In case that an object has self-occlusion, two structured light stripes cast on the object surface patches with different depth may create two stripes in the image, which are accidentally connected. This will cause wrong point correspondence and, therefore, the incorrect surface construction. With the octree object model, the projection of the stripe onto the occluded surface boundary can be detected, so the misconnection can be prevented.
- (b) If the object surface is elongated, the projected stripes on the surface are generally short. In this case the neighboring stripe information is not enough to determine a unique solution of the stereo correspondence. However, the octree model is generally quite accurate for this type of object surface, so the unique stereo correspondence between the projected stripes and light plate stripes can be obtained.

After the correspondence problem is

solved, we compute the 3D point of each stripe pixel. We integrate all the 3D points into a whole one, and generate a wireframe model for CG rendering.

Keywords: Virtual reality, vision based object reconstruction, color structured light, octree model, stereo correspondence

二. 計劃緣由與目的

虛擬場景的建構是虛擬實境中重要的技術。傳統上,系統開發者利用軟體,如 3DSMAX 建構場景中物體的三維模型,再整合為一個虛擬場景。但是,上述過程是十分花時間的。現今,有 3D scanner,其利用電腦視覺中結構光式重建技術來建構物體的三維模型。較成熟的產品有投射單點特徵及單條條紋。然由於投射在物體表面的特徵,要重建整個物體所花的時間也就增多。許多研究者將研究重心花在如何一次投射多條條紋或網格線在物體身上。主要問題就是要如何決定投射器中 projected pattern 和 CCD 影像中 observed pattern 中條紋或格子點間的對應關係。在 Stockman[4,5]中,其將 observed pattern 中的網格區分成一塊塊不相連的 networks。其再選定 network 中某網格為起始點,再一點點的利用空間及拓譜關係來決定對應關係。此方法必需測試所有可能,才決定出一組最滿足空間及拓譜關係的對應,是花時間的。在[6]中,對物體連續投射不同的黑白相間圖案,此時,攝影機也看到物體不同顏色的物體。透過投射圖案的設計,使每一組同位置的影像點所 concatenate 成的 code 是唯一的。如此,便可解決問題。此一方法的須 sequentially 打數個 pattern 在物體上,對於打單張圖案而言,是較花時間,且對晃動 object 是不適用的。在[10-13]則是對投射圖案中做空間上的編碼,將 pattern 分為許多的分開或相重疊 subgroups。每一的 subgroup 和其它的 subgroup 都由不同的 color 或黑白顏色做排列組何。假設影像所觀察到的物體表面是平滑的變化時,且物體表面是同色系的。便可透過影像中所看

到的顏色,到投射圖案中找尋顏色最接近的 subpattern,如此建立起對應關係。但是,透視投影成像的過程中會造成物體面積的失真,且影像中的物體可能有數個不連續的表面所構成。如此會破壞所投射圖案中 subgroups 內部顏色的排列組合。因此造成比對的錯誤。Blake[7]則是引進 passive vision 中的 trinocular stereo 來協助做對應。其 structured light system 是由兩個 light projectors 及一台攝影機所構成。影像中 stripe junction point 在兩 projected pattern 中分別產生兩條 epipolar lines。而這兩條 epipolar lines 中,各會有一點和 junction point 三角定位所形成的 3D 點是一致。但由於影像及投射圖案是 discrete,因此兩個計算出的 3D 點並非完全相同,只能找最接近的,如此,在同一條 epipolar line 仍可能有數個 candidates。因此 author 透過特殊設備的安排來減少可能的對應關係。而在 Chen[9]中,作者將 color structured light 投射在物體表面上做為人工的特徵。並利用 dynamic programming 建立起兩張影像間同一 scan-line 的對應關係。再比較上下 scan-lines 之間的點對應的關係來修正可能的錯誤對應。在 dynamic programming 比對中,兩張影像間的 stripe pattern 必須是一致,然由於兩個 cameras 擺設位置不一樣,且物體也可能凹凸起伏,有 see-through parts。因此,會造成影像中遮避效果不同,進而違反 stripe pattern 的一致性,造成比對的錯誤。在 Caspi[13]中,對 projector, object 及 camera 做一個 color transformation 的校正。藉由此一矩陣,給定一個影像點的顏色,便可以推算其是源自於 projected pattern 中的那一個 color。也就是 color matrix 的建立亦即完成點對應。然此一方法假設物體對於不同光頻譜的反射特性都是有其固定值。然真實物體並非如此,其會因本身材質、光源、camera 的位置及物體的表面變化而變化。因此單由 color matrix 來做 light labeling 將可能因 color 的失真而發生誤判的情況。

在 stripe labeling 時,若是我們知道投射在物體表面的彩色條紋可能坐落於何處,

將有助於工作的完成。而 **octree based**[14-19]可幫助我們建構物體的約略外形。

三. 研究方法與成果

在本研究中,我們利用彩色結構光來做物體模型的重建。我們希望利用不同顏色的判別來解決 **stripe labeling** 的問題。然因物體是隨意的,有不同的形狀,有不同的材質。有色光投射在物體表面時,會因材質不同造成其在 **CCD** 成像中色彩的改變。如此,顏色的選取不當會造成錯誤的對應。因為由投影機所投射出的彩色光線是由 **R**、**G**、**B** 三色光所混合而成,當我們使用 **R**、**G**、**B** 三色光時,相對應的 **color stripe** 內只含有純的色光,不會夾雜其它顏色的光。也就是,若照射物體表面的 **stripe** 為紅色,其只會反射回紅色光。物體表面的材質只會影響影像中顏色的強度,若被照區域是吸收紅光,則會變暗,反之會便亮。因此,在只有 **R**、**G**、**B** 三色光來做 **coding** 時,我們可以容易的決定 **stripe pixel** 的顏色,不會有因物體表面對 **R**、**G**、**B** 三色光不同的反應而造成 **projected stripes** 在影像中變色。然對於 **pixel color** 飽和的情況或是無光線反射回來,顏色則是無法決定,此點我們不列入比對。

因為用於區別的顏色只有三種,重覆的週期短,可能對應便會增加。在此我們引進 **octree model**,藉由 **octree model**,我們將光源投射器中投射條紋打物體 **octree model** 上,做為其在真實物面上大概位置,如此可得該線投影在二維影像上的預測位置。可能對應的條紋便在此預測位置在其鄰近區域,如此,將 **search space** 由整張 **stripe pattern** 降至某個區域。後再利用顏色等限制找出其相對應的 **observed stripe**。

由於 **octree based method** 無法重建出物體 **cavity** 區域,因此 **octree model** 相對於物體此部份區域將差異較大。若投射條紋圖案解析度太細,此區域條紋的比對會因 **octree model** 的不準而落入其他週期內,造成多條 **observed stripe** 對要同一條紋或都

差某個位移量的比對錯誤。因此,我們會再利用條紋與條紋間的空間關係,將對好的地方先定下來。若由多條對到同一條 **projected stripe**,再依 **ordering** 的關係將其分散給不同的 **projected stripe**。我們的物重建步驟如下:

1. 系統的架設,校正及決定使用的彩色條紋個數。
2. 影像的擷取:物體置放在旋轉台上,拍攝 **octree based** 及 **structured light** 重建方法所需要的影像。
3. **octree model** 的建構:偵測影像中物體的 **silhouette edge**,做 **octree model** 的重建。
4. **structured light method**:此部份包含了利用 **octree model** 做 **stripe labeling** 及三角定位。我們將 **observed stripe pixel** 投射在 **octree model** 上,再回投影在 **LCD panel** 上。用線與線間的關係,來修正整條線錯誤 **labeling** 的 **observed stripe**。
5. **model** 的整合及 **wireframe** 的產生:我們分別產生各 **view** 的 **3D** 點後,利用旋轉台的資料將其整合為一個同一座標的點資料。再做上下 **contour** 的相連。如此便可以產生物體三維 **wireframe**,做 **VRML** 檔的輸出。
6. **texture mapping**:我們可以在影像中找到各 **polygon** 所對應的 **texture** 以供紋理貼圖用。

在系統實作及實驗中,我們發現 **octree model** 如同先前講的,可以有效的協助我們做條紋的對應。圖(一)為欲建構的物體影像。圖(二)為所建構的 **octree model**。圖(三)為投射彩色條紋之影像。圖(四)為 **observed stripes** 投射在 **octree model** 上在回投影在 **LCD panel** 上。在此我們可以知到若投射圖案間隔較大,則 **octree model** 不用建很細。圖(五)利用本研究方法所建構出的模型。利用 **COSMO player** 所看的結果。

四. 結論

在本研究中,我們提出一個彩色結構光

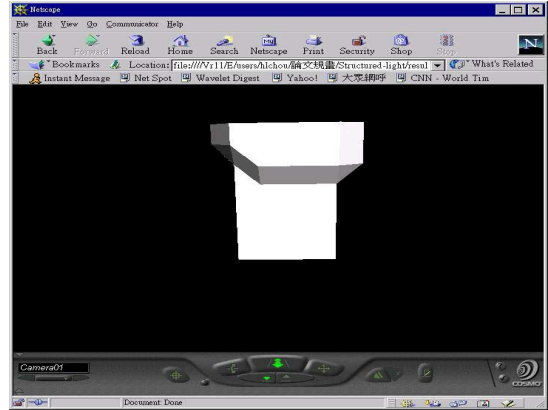
重建物體外形的方法。我們將條紋 labeling 的過程分作兩個步驟,可能區域的決定及細部的篩選。利用 octree reconstruction 方法,我們可以不需對應關係就建構出物體的約略模型。此一 octree model 可以協助我們做彩色條紋可能區域的決定。再利用不易變動的色彩做細部的篩選。利用 octree model 及顏色,並可以解決因物體 depth 變化造成條紋誤連的問題。待決定對應關係後便可以以三角定位定出物體的三維點資料,進而產生 wireframe model。由實驗可知,此方法結果是好的。

五. 參考文獻

- [1] R. M. Haralick and L. G. Shapiro, Computer and Robot Vision, volume II, Addison-Wesley, 1993.
- [2] Y. F. Wang, A. Mitiche, and J. K. Aggarwal, "Computation of surface orientation and structure of objects using grid coding," IEEE Trans PAMI, vol. 9, no. 1, pp. 129-137, 1987.
- [3] M. Asada, H. Ichikawa, and S. Jsuji, "Determining surface orientation by projecting a stripe pattern," IEEE Trans. PAMI, vol. 10, no. 5, pp. 749-752, 1988.
- [4] G. Hu and G. Stockman, "3-D surface solution using structure light and constraint propagation," IEEE Trans. PAMI, vol. 11, no. 4, pp. 390-402, 1989.
- [5] N. Shrikande and G. Stockman, "Surface orientation from a projected grid," IEEE Trans. PAMI, vol. 11, no. 6, pp. 650-655, 1989.
- [6] M. Minou, et al., "A Method of Time-coded Parallel Planes of Light for Depth Measurement," Trans. IEIC Japan, vol. E64, pp. 521-528, 1981.
- [7] A. Blake, et al., "Trinocular Active Range Sensing," IEEE Trans. PAMI, vol. 15, pp. 477-483, 1993.
- [8] T. L. Chia, Z. Chen and C. J. Yueh, "Curved surface reconstruction using a simple structured light method," Proc. ICPR, Vienna, Austria, pp. 844-848, 1996.
- [9] C. S. Chen, C. C. Chiang, Y. P. Hung and J. L. Wu, "Range data acquisition using color structured lighting and stereo vision," Proc. CVGIP, Taiwan, ROC, pp. 88-95, 1995.
- [10] K. L. Boyer and A. C. Kak, "Color-encoded structured light for rapid active ranging," IEEE Trans. PAMI, vol. 9, no. 1, pp. 14-28, 1987.
- [11] P. Vuylsteke and A. Oosterlinck, "Range Image Acquisition with a Single Binary-Encoded Light Pattern," IEEE Trans. PAMI, vol. 12, pp. 148-164, 1990.
- [12] R. A. Morano, et al., "Structured Light Using Pseudorandom Codes," IEEE Trans. PAMI, vol. 20, pp. 322-327, 1998.
- [13] D. Caspi, et al., "Range Imaging With Adaptive Color Structure Light," IEEE Trans PAMI, vol. 20, no. 5, pp. 470-480, 1998.
- [14] R. Szeliski, "Rapid octree construction from image sequences," CVGIP: Image Understanding, vol. 58, no. 1, pp. 23-32, 1993.
- [15] C. H. Chien and J. K. Aggarwal, "Volume/surface octrees for the representation of three-dimensional objects," CVGIP, 36, pp. 100-113, 1986.
- [16] H. H. Chen and T. S. Huang, "A survey of construction and manipulation of octrees," CVGIP, 43, pp. 409-431, 1988.
- [17] S. K. Srivastava and N. Ahuja, "Octree generation from object silhouettes in perspective views," CVGIP, 49, pp. 68-84, 1990.
- [18] M. Potmesil, "Generating octrees models of 3D objects from their silhouettes in a sequence of images," CVGIP, 40, pp. 1-29, 1987.
- [19] H. Noborio, S. Fukuda, and S. Arimoto, "Construction of the octree approximation three-dimensional objects by using multiple views," IEEE Trans. PAMI, vol. 10, no. 6, pp. 769-782, 1988.



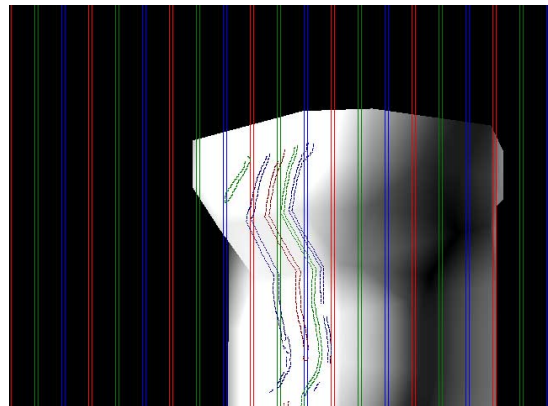
一.待重建之真實花瓶



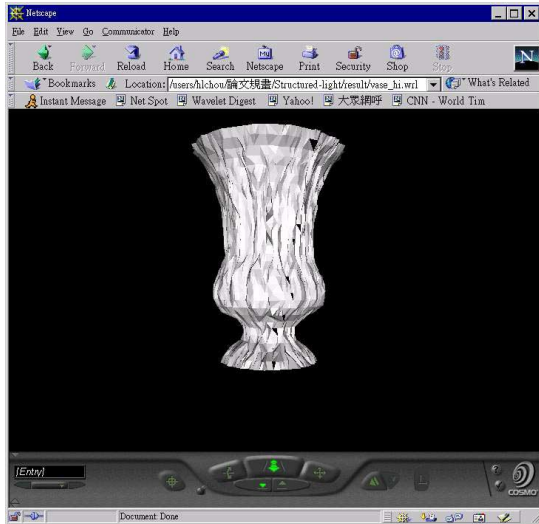
瓶.協助比對之 octree model



對.投射彩色條紋在物體表面之影像



像.Observed stripe 在 LCD panel 像之投影



像.重建出物體對維模型