

利用影像產生影子

Shadow Generation from Stereo Images

計畫編號：NSC-88-2213-E-009-062

執行期限：86/08/01 - 87/7/31

主持人：莊仁輝 交通大學資訊科學系 副教授

E-mail: jchuang@cis.nctu.edu.tw Fax: 03-5721490

經費來源：行政院國家科學委員會

一、中文摘要：(關鍵詞：影子產生，透視投影。)

本計畫提出了一個利用二維資訊來產生物體影子的新方法。以往產生影子的方法都是以三維幾何為基礎，在這個計畫中，我們將介紹一個可以產生三維物體正確影子的方法，而且只需要該物體兩張不同視點的影像。此外，對於每個物體影像，當點光源沿著兩個不同視點之間的連線移動時，物體的影子都可以被產生出來。此方法假設物體影子所要投射的底平面上至少有五個參考點可以在影像上被定義出來，這種影子的產生方法是利用相對於參考點的交比不變性以及一些透視投影的幾何性質來決定影像裡底平面上落在影子內的部份。這個方法能夠很容易的推廣到其他問題上包括多個物體以及物體影子投射到多個平面等等。

英文摘要：(Keyword: Shadow generation, Perspective projection.)

This paper presents a novel approach to generating object shadows using two-dimensional (2D) information. Previous approaches of shadow generation are usually based on 3D geometry. In this paper, we present a way of deriving accurate shadows of a 3D object which requires only stereo images of the object taken from two different viewpoints. For each view of the object, the object shadows can be generated for point light sources located along the line connecting the two view points. The approach assumes that at least five reference points on the base plane, where the object shadow is to be cast upon, can be identified in the stereo images. The shadow generation

is accomplished by identifying the portion of the base plane which is in shadow in an image with respect to the reference points using the view-invariant cross-ratios and some geometric properties associated with perspective projection. The approach can be extended easily to solve more general problems which involve multiple objects as well as multiple planar surfaces on which object shadows are to be cast.

二、計劃緣由與目的

在電腦的 3D 場景中，影子對於虛擬的 2D 影像的真實度具有決定性的因素。過去產生影子的方法通常都是以 3D 幾何為基礎，計算影子時所需要的相關 3D 資訊包括有 object model、光源的位置以及物體影子所要投射的平面等。一些相關 shadow algorithm 的 survey 可以參考 [1]

Scan-line shadow algorithm [2] 先將多邊形的邊界投射至掃描到的物體上，然後在 display 階段再投射到 viewing screen 上。一些事先的處理可以產生一對物體並且交互產生影子。在 [3] 中，其作法為先求得空間中包含影子區域的 volume，然後再利用這個 volume 的 boundary surface 來決定所看到的表面是否有落在影子中。在 [4] 中，必須判斷物體表面從光源處是否看得見，看不見的物體表面即是所謂的影子區域。在 [5] 中介紹了 z-buffer 的方法，"深度"的資訊必須求得並且分別儲存在眼睛和光源視點的 z-buffer 中。對於一個看得到的點，眼睛的深度值被轉換至光源的視點空間。若轉換後的值大於光源 z-buffer 中相對位置的深度值，則該點是落在影子當中。在 [6] 所提出的 ray-tracing 方法中，每一個 image pixel 都有一條射線從眼睛射向每一個看得見的物

體點。從該點射向光源的射線有交到任何其他物體的表面，則該點是在影子當中。

三、研究方法與成果

若 A 、 B 、 C 和 D 四點的影像可以在直線的影像上正確的定位出來(圖五中的 a 、 b 、 c 和 d)，則根據 **cross ratio** 的視覺不變性

$$[A, B, C, D] = [a, b, c, d]$$

因此，給與一條線段上四個點的 **cross ratio** 值，若知道任意三點在影像上的正確位置，則第四點的位置也可以輕易的求得。

在此計劃中，我們假設物體所在的地面上至少有五個參考點是已知且任意三點不共線的。在圖三與圖四中，因為五個參考點可以正確定位，所以我們也可以在五邊形的每一條對角線上定出四個參考點：兩個對角線的端點(也是五個原始參考點的其中之一)以及兩個與其他兩條對角線的交點。

圖 一

圖 二

圖 三

圖一與圖二分別顯示了物體以及五個參考點所形成的五邊形從兩個不同視點 V_1 和 V_2 所取得的影像，而圖一與圖二中物體邊界所圍成的區域(見圖三、圖四)即是點光源分別位於 V_1 與 V_2 時所產生的影子。只要參考點可以在影像上正確的定出來，則由任意的視點都可得到這一個影子的位置。例如，若我們可以於圖一中找出圖四中影子區域邊界的延長線與五邊形對角線的交點，則物體因光源於 V_2 所產生的影子即可求得。接下來，我們就要介紹如何使用視覺不變性 **cross-ratio** 來算出上面的交點進而得到正確的影子。

考慮 3D 空間中一條直線上的四個點 A 、 B 、 C 和 D (圖五)，則 $ABCD$ 的 **cross-ratio** 可表示成 $[A, B, C, D]$ ，其中

$$[A, B, C, D] = \frac{AC \cdot BD}{BC \cdot AD}$$

圖 四

圖 五

在圖三中，為了找出地面上影子邊界線段的延長線，必須先找出與至少兩條五邊形對角線的交點(若 V_1 和 V_2 不是相距很遠的話，我們可以選擇與邊界延長線交角較接近 90° 的兩條對角線)。在圖三中所選的兩條對角線上，上述所提的與邊界延長線的交點以及另外四個參考點的其中三個點即可以用來計算其 **cross ratio** 值。為了改善在計算上數值的穩定性，在選擇這三個點時，我們必須確保在計算 **cross ratio** 時，分母不會有出現極小值的情況。

圖 六

以圖六中的 K_l 點為例，它是 CE 與 L_l 的交點。若圖七中 l_l 與 ce 的的交點 $k_l=(k_{lx}, k_{ly})$ ，且 $[C, H, K_b, E]=R$ 則我們可以得到

$$k_{lx} = \frac{Rh_x(c_x - e_x) - c_x(h_x - e_x)}{R(c_x - e_x) - h_x + e_x}$$

圖 七

在這裡我們選擇 H 而不選 I 的原因是因為 I 點會使得分母較接近零。相似的情況， k_{ly} 也可以被求出來。以此類推， k_2 亦可如法泡製。有了 k_1 與 k_2 就等於有了 l_1 ，接著是 l_2 以及其他包含影子邊界線段的直線都可用相同的方法得到。最後則是影子的頂點 P' 、 Q' 、 R' 、 S' 、 T' 以及 U' (圖七)，其最後結果顯示在圖八與圖九。圖十與十一則是另一個類似的例子，圖中是一架飛機的影子。

圖 八

圖 九

上的某一位置時，(1)中這些點以及(2)中這些邊的影子都稱為影子的特徵(feature)

四、結論與討論

在本計劃中提出了一個嶄新的方法來產生影子。不像現存一些需要 3D 物體模型的演算法，我們只需要兩張多面體放置在一底平面 (base plane) 上的影像，其中平面上要有五個已知的參考點。根據我們所提出的方法，當光源位於兩張影像視點連線上任一位置時，都可以在兩張影像上產生影子。產生影子的主要步驟是根據某一張影像上的參考點，在另一張影像上定出物體在 base plane 上所佔的區域。當光源沿著上述連線移動時，我們可以產生更多的影子，而這其中只需用到一些簡單的 2D 幾何。這個方法可以很容易的推廣至更多一般的狀況，例如多個物體投射影子至多面體表面等。

圖 十

五、參考文獻

- [1] Woo, P. Poulin and A. Fournie, "A Survey of Shadow Algorithms," *IEEE Computer Graphics and Applications*, vol. 10, no. 6, Nov. 1990, pp. 13-32.
- [2] A. Appel, "Some Techniques for Shading Machine Renderings of Solids," *Proc. AFIPS JSCC*, vol. 32, 1968, pp. 37-45.
- [3] F. Crow, "Shadow Algorithms for Computer Graphics," *Computer Graphics (Proc. SIGGRAPH)*, vol. 11, no. 3, Aug. 1977, pp. 242-248.
- [4] P. Atherton, K. Weiler, and D. Greenberg, "Polygon Shadow Generation," *Computer Graphics (Proc. SIGGRAPH)*, vol. 12, no. 3, Aug. 1978, pp. 275-281.
- [5] L. Williams, "Casting Curved Shadows on Curved Surfaces," *Computer Graphics (Proc. SIGGRAPH)*, vol. 12, no. 3, Aug. 1978, pp. 270-274.
- [6] T. Whitted, "An Improved Illumination Model for Shaded Display," *CACM*, vol. 23, no. 6, June 1980, pp. 343-349.

圖 十一

有了上述的結果，當光源沿著兩張影像的視點之間的直線移動時，物體連續的影子也可以產生出來。在這當中我們必須用到兩個幾何性質包括(1)物體任何一點的所有影子都位在同一直線上。(2)物體任何一邊的所有影子之延長線都必須交於一點或者互相平行。在(1)中所提到的直線以及在(2)中所說的交點都可以從之前的結果得到。(1)中的直線可以得到是因為我們已經此直線上的兩個點：一個就是物體本身的頂點，而另一個則使用上述方法所得到的它的影子。此外，(2)中的交點正是包含邊的延長線和包含那條邊影子的延長線之間的交點。因此，在(1)中那條直線上物體頂點的任何一個影子若知道，則所有包含此點的邊之延長線的影子都可以根據性質(2)找出來。當光源位於兩視點之間的直線