



RRPE87013336

( &gt; .P)

整合幾何特性的限制來有效率的重建 3D 影像  
Effective 3D Surface Reconstruction to Combine Geometry-based Constraints

縮送

小

計畫編號：NSC 86-2213-E-041-002

組

執行期限：85/08/01 至 86/07/31

主持人：黃文楨 嘉南藥理學院醫務管理系 副教授

E-mail: [wenh@chna.chna.edu.tw](mailto:wenh@chna.chna.edu.tw) Fax: 06-2666411

共同主持人：李宗南 中山大學資訊工程研究所 副教授

E-mail: [cnlee@mail.nsysu.edu.tw](mailto:cnlee@mail.nsysu.edu.tw) Fax: 07-5254301

中文摘要：(關鍵詞：影像重建、幾何特性限制、交互作用、比對演算法)

重建三維影像的應用非常廣泛，但是由於需要大量的運算，在計算時間與精確度上就有諸多限制，因此如何有效率的求取三維的物體表面深度，就成為重要的研究課題。立體視覺(Stereo Vision)的目的是從一對不同位置所拍攝的影像來重建三維的深度資訊(Depth Information)。它是利用一對照相機分別置於左右兩邊，同時拍攝影像。一般傳統的方法是從兩個影像中先萃取特性如點、線、周邊等，再從兩個影像中所抽取的特性作比對。因此，如何選取正確的對應點便顯得格外重要。

本計畫即是利用整合的方法(如加入幾何限制)來加速左右兩邊對應點的搜尋。其主要的比對演算法以交互作用(Correlation Based)為主，基本上是以灰階強度，加上等極線(the epipolar line)的限制來減少搜尋對應點所需的時間，最後在考慮相異像素(disparity)附近的局部對應。當然還需要考慮相機參數的校正(Camera Calibration)，特徵點的攫取(Feature Detection)等等。

幾何特性的模組是以網狀的點(mesh points)所構成的模組。模組中的點會受到物體表面的點的引力而逼近物體表面，其間的引力可以用想像的彈簧來比喻。本計畫提出以可變大小的網狀模組(Adaptive-Size Meshes)來有效率的重建三維物體表面。

英文摘要：(Keyword: Surface Reconstruction, Geometry-Based Constraints, Correlation, Matching Algorithm)

The application of 3D surface reconstruction is popular. However, due to the limitation of huge computation and precision of such algorithm, the research topic about finding the three-dimensional information of surface becomes very important. The purpose of stereo vision is to obtain its depth information from two different view images. They use a pair of cameras to take a picture of the same object from left and right-side, respectively. The traditional method is to detect the features, such as point, edge, region, etc., from each image, then matching these features from both images. Therefore, finding the corresponding points between the stereo images is important.

This research is to combine the geometry-based constraints to accelerate the matching speed of corresponding points. Its matching algorithm is correlation-based, matching the intensity gray level of each image in addition to the constraints of the epipolar line to speed up the processing time with the local searching of disparity between two images. The major feature-based algorithms, such as camera calibration, feature detection, are also considered.

The geometry-based model is constructed by lots of mesh points. Each mesh points are pulled by the data points of the object surface, the forces between the data points and mesh points could be compared as the imaginary spring. This research proposed using the adaptive-size meshes to construct the 3D surface effectively.

## 比對演算法(Matching Algorithm) :

交互作用比對的原理是比較在第一個固定的視窗和第二個影像上移動的視窗是否吻合。當吻合程度達到一個峰值時，就代表這兩個視窗有吻合，然後算出他們的相異值(disparity)。假設視窗大小為 $(2i+1)(2j+1)$ ，令 $k=(2i+1)*(2j+1)$ ， $l(x,y)$ 為一個  $k$  維乘 1 的向量，其中每一個元素是相對應視窗從上而下，由左到右的每一個像素。 $I_1(x,y)$ 為第一個影像的向量視窗，而  $I_2(x,y)$ 為第二個影像的向量視窗。令  $I'_1(x,y)$ 和  $I'_2(x,y)$ 為  $I_1(x,y)$ 和  $I_2(x,y)$ 對所有元素取均量值。那麼我們可以給下列條件：

$$C_1(x,y,d) = \frac{\|I_1(x,y) - I_2(x+d,y)\|^2}{\|I_1(x,y)\| \cdot \|I_2(x+d,y)\|}$$

$$C_2(x,y,d) = \frac{I_1(x,y) \cdot I_2(x+d,y)}{\|I_1(x,y)\| \cdot \|I_2(x+d,y)\|}$$

$$C_3(x,y,d) = \frac{\|J_1(x,y) - J_2(x+d,y)\|^2}{\|J_1(x,y)\| \cdot \|J_2(x+d,y)\|}$$

$$C_4(x,y,d) = \frac{J_1(x,y) \cdot J_2(x+d,y)}{\|J_1(x,y)\| \cdot \|J_2(x+d,y)\|}$$

其中  $J_n(x,y) = I_n(x,y) - I_n'(x,y), n = 1,2$

## 幾何特性的模組(Geometry-Based Models)

$$m_i \frac{d^2 x_i}{dt^2} + r_i \frac{dx_i}{dt} + g_i = f_i$$

$$g_i = \sum_j \frac{c_{ij} (|x_j - x_i| - l_{ij})}{|x_j - x_i|} \times (x_j - x_i), i = 1, \dots, N$$

其中， $f_i$ 是外力，也就是模組中的點(nodal points)

與物體表面的點(data points)之間的力；  
 $r_i$  是振動係數(Damping Coefficient)；  
 $g_i$  是模組內部間各點之彈簧所形成的拉力；  
 $l_{ij}$  是彈簧在未受力前的原始長度；  
 $c_{ij}$  是彈簧的堅硬係數(Stiffness Coefficient)；  
 $x_i$  是第  $i$  點之空間座標(3D Coordinate Value)；

以上的方程式可以用「明顯的尤拉時間積分程序」(The explicit Euler Time-Integration Procedure)來解，可以推得如下的結果：

$$f_i^m = f_i^t - r_i v_i^t - g_i;$$

$$a_i^t = B_i f_i^m / m_i$$

$$v_i^{t+\Delta t} = v_i^t + \Delta t a_i^t$$

$$x_i^{t+\Delta t} = x_i^t + \Delta t v_i^{t+\Delta t}$$

其中， $f_i^t$ 是第  $i$  個點在時間  $t$  時的外力；

$v_i^t$ 是第  $i$  個點在時間  $t$  時的速度；

$a_i^t$ 是第  $i$  個點在時間  $t$  時的加速度；

$B_i$ 是投射的參數(projection operation)；

$m_i$ 是第  $i$  個點的重量；

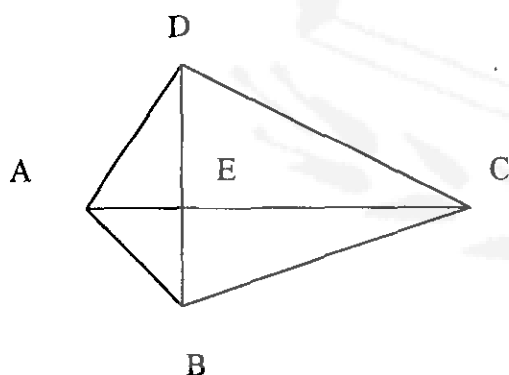
$\Delta t$ 是每次重複的時間間隔；當  $a_i \approx 0$  時，整個模組就會趨於穩定；

## 可變大小的網狀模組(Adaptive-Size Meshes)

以三角形為主的網狀模組可以允許增加或減少模組點(nodal points)時仍然保持整

體的立體網狀架構。對於立體表面的重建步驟來說，最初的模組是一個平面(planar mesh)，這模組上的點會被物體表面的點(data points)所拉近，但是在此模組的邊緣之點(boundary points)則是固定不能移動的，其他的點則可以往不同的方向自由移動。每一個模組上的點是被一群鄰近的物體表面點所牽引。如果說在模組中的鄰近點之間的距離太大或太小（與界線值「threshold」相比較的話），新的點會被增加到模組中或是從模組中刪除。

假設我們令  $H$  為高的界線值(threshold)，而  $L$  為低的界線值。對於模組中的每一個三角形，計算出三邊的長度，如果一邊的長度小於  $L$ ，那麼此邊界上的兩點將會合併為一點，也就是刪除了其中的一個模組點；如果一邊的長度大於  $H$ ，則加入一個新的模組點在此邊界上。



如上圖所示，如何在  $A$  和  $C$  之間加入一個新的模組點  $E$  在  $\triangle ACD$  中，如果  $AC$  的長度大於  $H$ ，則一新點  $E$  會被加在位於  $(A+C)/2$  的位置上。此方法可以自動找到另一個三角形  $\triangle ACB$ ，而將  $\triangle ACB$  分為  $\triangle AED$  與  $\triangle CDE$ ， $\triangle ABC$  也會被分為  $\triangle ABE$  與  $\triangle CBE$ 。而在  $\triangle ACD$  中，如果  $CE$  的長度小於  $L$ ，那麼  $E$  點就會被刪除。此方法可以自動找到另一個含  $AC$  邊的三角形  $\triangle ACB$ ，然後將  $\triangle AED$  與  $\triangle CDE$  合併成  $\triangle ADC$ ，並且把  $\triangle ABE$  與  $\triangle CBE$  合併為  $\triangle ABC$ 。

## 實驗結果

目前實驗的影像是在網路上所取得的公用立體影像對。在特徵點的攫取方面，程式執行的結果顯示， $SUSAN$  比  $PLESSEY$  的演算法速度要快十倍左右。在左右兩圖交互作用比對方面，找出其對應點的步驟如下：

1. 設定 correlation window 大小
2. 設定右圖之搜尋範圍。
3. 對範圍內每一特徵點做 correlation，並取得其最小值為其對應點。
4. 設定 correlation score 的 threshold，大於此值者不予考慮。

由左圖中所找到的 corner(有 252 點)，和右圖中的 corner(有 283 點)做比對，利用其搜尋範圍和 threshold，提高比對結果的正確率。

window 大小	總數	正確數	錯誤數	正確率
9*9	63	56	7	88.89%
11*11	61	54	7	88.52%
13*13	58	52	6	89.66%
15*15	59	55	4	93.22%
17*17	57	52	5	91.23%