

多功能虛擬實境模擬系統-子計畫四： 六軸運動平台的影像定位系統之研發(2/2)

A Study of the 3-D Image Positioning System Regarding Stewart Platform

成果報告

計畫編號：NSC-90-2213-E-009-014

執行期限：89年8月1號至90年7月31日

主持人：林昇甫 國立交通大學電機與控制工程研究所

計畫參與人員：莊仲龍，紀富中，蘇建焜，陳肇業

一、中文摘要

我們設計了一套分散式網路影像定位系統，而每一個子系統包含了一部雙眼取像設備(CCD)，及一個影像處理單元，並且透過網路將每一個子系統連接起來。狀態轉移映圖儲存了攝影機跟每一個子系統所包含的參數，並且用來同步化每一個子系統的影像處理單元。接著，每一個子系統會將處理完的影像資料傳送給其他的子系統用來處理特別的任務。例如，六軸平台在三度空間中的姿態可藉由三個目標物的中心點所決定。在我們的實驗中，將三套定位子系統置於六軸平台外側，並且去校正並計算平台的姿態。最後，我們將所預期的誤差包含網路連結的時間延遲，位置校正的誤差在文中加以討論並用來推導本系統所使用之數學關係式的正確性。

Abstract

An image positioning system using a distributed vision network is presented. Each vision system consists of a dual CCD cameras system and image processor and they are all connected through a computer-linking network. The state transition map stores the camera and view parameters of all the vision systems, and is used to synchronize the image processing between vision systems. Then, each system broadcast its image processing results to all other systems in order to handle specific tasks. For example, the attitude in the 3-D space of the Stewart platform can be oriented by three points of the centers. In our experiment, the three 3-D sub image positioning systems can be set outside the

Stewart platform, and calibrates and calculate the attitude in the 3-D space of the platform. Finally, the expected errors include network-linking delays, position calibration error will be discussed and prove the algorithms introduced in this system.

Keywords : Stewart platform, 3-D image positioning system, error analysis

二、計畫緣由與目的

六軸平台本身的控制室一種開迴路控制，導致平台的真實姿態和期望中的平台姿態會因機械結構的因素，操控延遲或負載改變等等原因而很難達到完全相同。六軸平台的二端是使用萬向接頭來連接基板及平台，藉由順向運動學的推導，僅能以遞迴的方式來得平台六軸長度與姿態的關係。為了達到更精準的控制，我們研發一套校正系統，利用三組立體取像系統對於平台的姿態做智慧型而自動的校正，期使測量的誤差降至最低。

為了達成影像定位系統的工作效能，我們將使用到有關於電腦視覺的技術。結合電腦視覺技術與影像定位系統，可得到平台在三度空間中的位置座標資訊。然而，傳統的影像處理技術只能處理二維空間的位置資訊，如何將二維空間的資訊轉成三度空間中所需的資料，我們則必須先知道六軸平台在三度空間中所移動的目標，這也是我們系統一個核心問題。

三、研究計畫成果與討論

在我們的研究中，我們以圖一的六軸平台為實驗物體。包含了六枝油壓制動器

(即六枝軸) 平台和底板。而圖二所示，則是六軸的長度計算。如果我們考慮第 i 個軸，它和底板的接點為 L_i 和平台的接點為 U_i ，連接 L_i 和 U_i 的向量為 P_i ，若平台和底板分別以 O_p 跟 O_b 來表示其座標系的話，那第 i 軸可被表示為

$$[s_i]_b = [x_i]_b + [p_i]_b$$

而其中， $[x_i]_b = [d_i]_b - [b_i]_b = (f_i, g_i, h_i)^T$

$$[p_i]_b = R[p_i]_p = (u_i, v_i, w_i)^T$$

R 為座標變換矩陣，所以第 i 軸的長度可被表示成

$$l_i = ((f_i + u_i)^2 + (g_i + v_i)^2 + (h_i + w_i)^2)^{1/2}$$

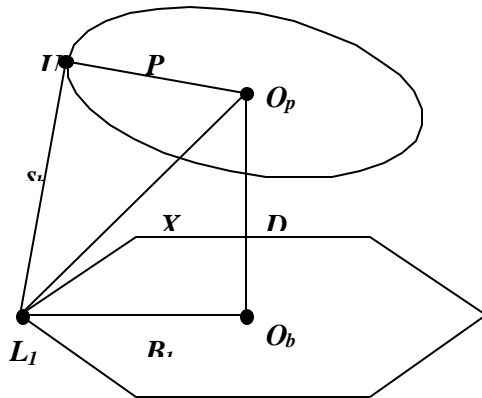


(圖一)

而在前二年的計畫中，對於 CCD 攝影機的內外部參數的設定及焦距失真的問題，已經成功地完成了 CCD 立體取像的定位系統。而這一年的計畫最主要是將複製成三台同樣的系統，置於六軸平台外側，經過適當地連結與計算並校正相對位置關係，能將在六軸平台上所放置的三個特定的特徵點給找出來，並透過立體成像等等的影像處理技巧，找出三個特徵點相對於世界座標的位置，並計算出六軸平台的中心點的位置，以平台中心點跟基底中心點的相對位置來定義整個六軸平台的整個姿態。

而我們所設計的定位系統包含了三個

子系統，每一個子系統各自擁有一部雙眼 CCD 攝影機用來擷取目標物的影像、及一個影像處理單元，並且連成一個簡單的網路來傳輸彼此所獲得的資料，這些都可以藉由狀態轉移映圖來表示，如圖三所示。在這裡，由於 CCD 所擺設的位置的不同，我們可以得到不一樣的狀態，而藉由彼此狀態在網路中的交換資料，我們可以得到六軸平台運動中的所有參數。



(圖二)

當每一個子系統一旦被啟動，將開始傳遞訊息給其他的子系統，而其他的子系統也會送出他們所擁有的資料來當作回應，而這些狀態訊息包含了攝影機的位置和自我校正的參數，所以每一個子系統都可以得到彼此的子系統所有的資訊。

而我們所處理的影像中，由於我們使用了點光源來當作特徵物，它的擺設位置也如圖三所示，在六軸平台頂點各設其一。透過影像處理的方法，如果每一點像素的表示如下：

$$x = \begin{cases} 1 & \text{if } f(x, y) \geq 252 \\ 0 & \text{if } f(x, y) < 252 \end{cases}$$

之後，將每個灰階值標示為 255 的像素聚合起來成一個區域，並將這些區域的左上方點 (u_l, v_l) 跟右下方的點 (u_r, v_r) 依下式計算

可以得到目標物中心點的位置：

$$(u_c, v_c) = \frac{(u_l, v_l) + (u_r, v_r)}{2}$$

而整個在網路傳輸資料過程中所會造成的延遲可以表示為 $N=(V, E, b, p, q)$ ，其中 $G=(V, E)$ 包含了網路中的頂點 V 跟連結 E ，而 $b(u, v) > 0$ 跟 $p(u, v) \geq 0$ 分別代表代表一個單向連結的 bandwidth 和 propagation delay， $q(u) \geq 0$ 則代表佇結在每一個傳輸節點上 queuing delay。

如果 $\delta = \langle v_1, v_2, \dots, v_l \rangle$ 為一個 $v_l - v_1$ 的路徑，則在 這條路徑上的 delay 可表示成

$$D(\delta) = \sum_{1 \leq j \leq k} p(v_{j-1}, v_j) + q(v_j)$$

其中 p 跟 q 如前所述為分別為 propagation delay 跟 queuing delay 而沿著路徑 δ 傳輸一個訊息 > 0 且 $b = B(\delta)$ 所需的時間 T 為

$$T(\delta, b, \delta) = D(\delta) + [\delta / \delta] - 1$$

在網路中傳輸每一個資料可視成一個 multi-path 傳輸的問題，可將一個訊息資料分解成

$$s = \sum_{1 \leq i \leq k} s_i, s_i \geq 0$$

而每一條相對應的路徑的 bandwidth 也可被分解成

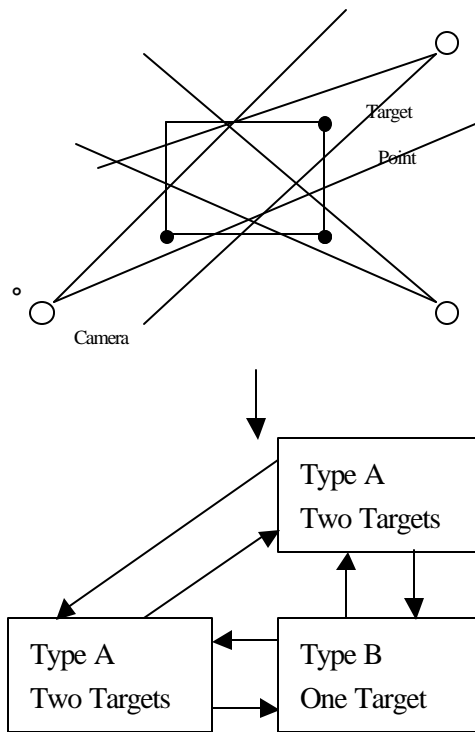
$$b(u, v) = \sum_{1 \leq i \leq k} b_i(u, v), b_i(u, v) \geq 0$$

藉由每一條路徑的傳輸，我們可以快速地將由 CCD 所獲得並處理過後的影像資料，傳至主電腦去計算出平台的姿態。

四、研究成果自評

以前二年計畫所做的基礎，若整個六軸平台相對於三台 CCD 取像設備的距離在 2m-3m，可以將靜態的位置誤差縮小到

0.001m, 但由於六軸平台的姿態為動態的量測, 加上網路及處理時間上的延遲, 使得誤差大約在 0.0057m 左右。



(圖三)

五、參考文獻

[1]D. Stewart, "A platform with six degrees of freedom," *Proc. Institute of Mechanical Engineering*, vol. 180, part 1, no. 5, pp.371-386, 1965-1966.

[2]J. Wang and C. M. Gosselin, "A new approach for the dynamic analysis of parallel manipulators," *Multibody Syst. Dyn.*, vol. 2, pp. 317-334, 1998.

[3]D. Kachi and X. W. Tu, "Geometric Camera Calibration: Theory and

Experiments," *Proc. of 1994 IEEE I. Symposium on Industrial Electronics*, Chile, Santiago, pp. 298-303, 1994.

[4]C. C. Nguyen, S. S. Antrazi, Z. Zhou, and C.E. Campbell, "Experimental study of motion control and trajectory planning for a Stewart platform robot manipulator," *Proc. of 1991 IEEE I. Conference on Robotics and Automation*, vol. 2, pp. 1973-1878, 1991.

[5]C. D. Zhang and S. M. Song, "An efficient method for the inverse dynamics of manipulators based on the virtual work principle," *J. Robot. Syst.*, vol. 10, no. 5, pp. 605-627, 1993.

[6]X. Jia, J. Cao, and W. Jia, "Real-Time Multicast Routing with Optimal Network Cost," *Real-Time Computing System and Applications, Proceedings, Third International Workshop on*, pp.49-56, 1996.

[7]A. Nakazawa, H. Kato, and S. Inokuchi, "Human Tracking Using Distributed Vision Systems," *Pattern Recognition, Proceedings, Fourteenth International Conference on*, vol 1.1, pp.593-596, 1998.

[8]C. Y. Lin, and L. Ping, "On Recursive Calibration of Cameras for Robot Hand-eye Systems," *Proceedings of IEEE International Conference on Robotics and Automation* vol. 2, pp. 838-843, 1989.

[9] S. W. Lee, B. J. You, and G. D. Hager, "Model-based 3-D Object tracking using Projective Invariance," *Proceedings of IEEE International Conference on Robotics and*

Automation, vol. 2, pp. 1589-1594, 1999.

[10]R. C. Gonzalez and R. E. Woods,
Digital Image Processing. Reading, MA:
Addison Wesley, 1992.

[11]O. D. Faugeras, *Three Dimensional
Computer Vision: A geometric viewpoint*.
Cambridge, MA: MIT press, 1992.