

雙鏡頭影像深度解析能力分析

林士傑¹ 劉思伶¹ 葉俊沅¹

¹ 國立清華大學 動力機械工程學系

E-mail: sclin@pme.nthu.edu.tw

摘要

近年來，工業的自動化生產需求逐漸上升，而自動化技術的應用包含結構的檢測、零件的辨識與組裝等等，其中，機器視覺技術可以應用在產品的外觀量測、瑕疵檢測、零件辨識與計數等等，用途非常廣泛，更是減少人力成本的一大利器。而機器視覺的目的是要取代人眼進行重複且精準的動作，因此雙鏡頭的測距能力變得相當重要。然而，以往的文獻鮮少探討有關雙鏡頭的配置與硬體設備的差異等等對距離判別的影響，因此本研究期望透過理論模型的推導，探討關於鏡頭擺設方式以及硬體規格的不同將會對雙鏡頭判別深度的能力有何影響，進而分析雙鏡頭影像深度的解析能力。

關鍵詞：自動化、機器視覺

1. 前言

為了提升工業自動化生產的產值，國內外紛紛發展機器視覺技術進行產品的檢測與辨識處理。機器視覺與機械就如同人類的眼睛與肢體，皆能根據接收到的資訊不同而產生相對應的反應動作。像是 M. Bertozzi 等人[1]利用機器視覺技術建構了一個可以即時辨識汽車車道與障礙物的檢測系統，可以分析車道線的寬度、轉彎處、位置等資訊；更精密的例子像是 R. P. Wildes 等人[2]利用機器視覺進行虹膜的辨識，並利用實驗證實視覺辨識的可行性。

由此可見機器視覺之應用相當的廣泛，因此，如何將擷取的影像作有效的處理並即時分析，並且同時又要兼備精準度是一重大課題。其中在距離的部分，利用架設雙鏡頭可以利用兩顆鏡頭的影像求出與物品之間的距離，但目前對於雙鏡頭辨識深度的能力之研究鮮少有文獻探討，因此本研究會先以模擬的方式，改變雙鏡頭的配置方式以及硬體設備的規格，分析

雙鏡頭影像的深度解析能力，藉此找出在各個條件下之最佳深度解析能力，以利未來提供機器視覺系統更方便的設計途徑。

2. 雙鏡頭影像深度解析能力分析

為了得知雙鏡頭辨識深度的能力，此章將對雙鏡頭影像進行深度解析能力的分析。其影像深度解析能力的定義為：當兩相機視野重疊區域進行深度計算時，能夠判斷其深度的準確能力。首先將推導雙鏡頭擷取影像並辨識出左、右兩顆相機之承斑的實際位置之座標公式，並且為了分析雙鏡頭在不同配置下的解析能力，設定鏡頭配置之參數，進行 2D 視野之分析，作為影像深度解析能力之模擬。

2.1 雙鏡頭位置座標公式推導

為了利用雙相機鏡頭擷取影像並辨識出左、右兩顆相機擷取的承斑成像位置，本研究使用 K.S.Fu[3]所撰寫的書中所提到之立體成像原理，如圖 1 所示。 $w(x, y, z)$ 為物體實際的座標， $p1(u1, v1)$ 為右方相機所得承斑在影像中的位置， $p2(u2, v2)$ 為左方相機所得承斑在影像中的位置，而兩個相機鏡頭相距 S 。

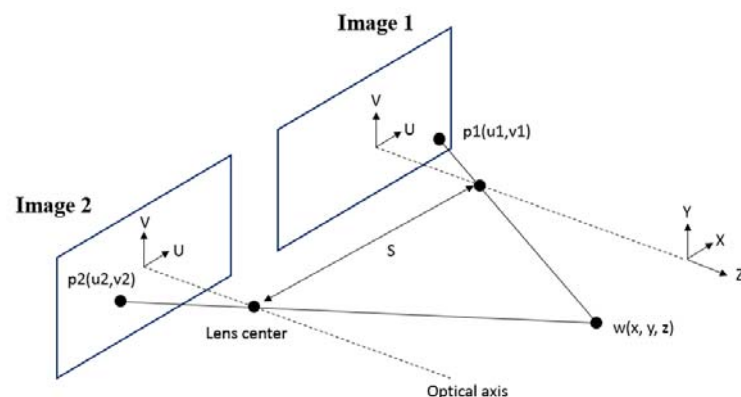


圖 1 雙鏡頭影像定位[3]

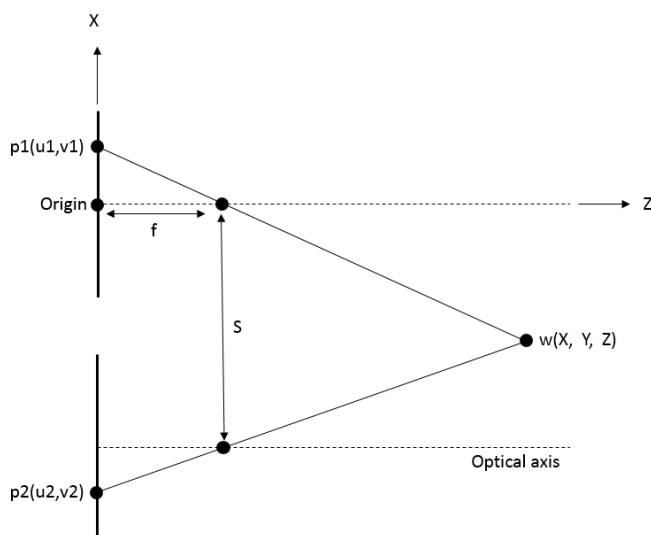


圖 2 雙鏡頭影像投影定位[3]

若將其投影至 X-Z 平面上，如圖 2 所示，相機鏡頭焦距為 f ，故物體實際的座標可由幾何關係推出：

$$X = \frac{u1}{f}(f - Z) \quad (1)$$

$$X = \frac{u2}{f}(f - Z) - S \quad (2)$$

$$Y = \frac{v1}{f}(f - Z) \quad (3)$$

由式(1)、式(2)可推出：

$$\frac{u2}{f}(f - Z) = \frac{u1}{f}(f - Z) + S \quad (4)$$

$$Z = f - \frac{f * S}{u2 - u1} \quad (5)$$

藉此即能求出物體實際的位置 $w(X, Y, Z)$ 。

2.2 深度解析能力分析模型

假設兩個相機鏡頭的視野角度相等，以 2D 平面進行解析，將兩個相機置於 X 軸上並相距 S ，相機光軸與 Z 軸方向平行，照射於與相機相距 D 的平面上(定義為視野深度)，定義相機 X-Z 平面之視野角度為 2α ，且兩相機向內收斂的傾角為 γ ，其示意圖如圖 3 所示，視野重疊區域即是可以進行深度計算的部分。

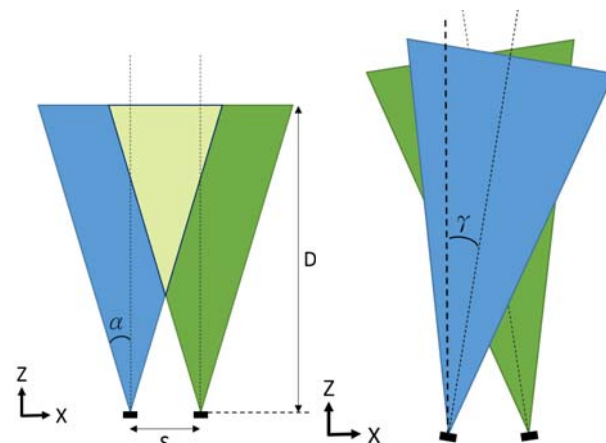


圖 3 2D 平面之雙鏡頭參數示意圖

其分析方法是以前述的數量平均分割兩相機的視野，因此在視野重疊區域可獲得數個交點，取得每個與此交點相鄰 4 點之 Z 方向的距離，找出最大距離，此距離愈小其解析能力則愈佳。換句話說，當欲量測這個點的深度時，最大可能會有此距離的誤差。其參數設定如表 1 所示：

表 1 深度解析能力分析之參數設定表

參數	代號	數值
解析度	R	640, 1280
$\frac{\text{視野深度}}{\text{兩鏡頭距離}}$	$\frac{D}{S}$	1.5, 2.0, 2.5
視野半角	α	22.5°, 30°, 37.5°
向內收斂 傾角	γ	0°, 15°, 30°

交點位置計算方式為：假設兩個相機的 X 方向解析度 R 分別為 m 跟 n ，可以當作是分割為 m 和 n 條線，定義第 m 條與第 n 條所交的點為 (m, n) ，則目標點之相鄰 4 點為 $(m-1, n)$, $(m, n+1)$ ，如圖 4 所示，計算這些點 Z 方向的距離，找到最大的距離，當此距離值愈小，表示要計算此目標點深度的誤差愈小，也就表示解析能力愈佳。

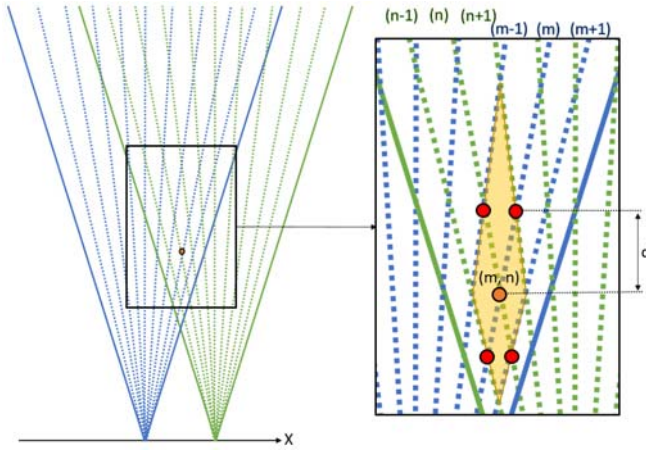


圖 4 目標點與相鄰 4 點示意圖

其交點位置的計算方式如下，令左方相機為原點，交點位置為 (x, z) ，示意圖如圖 5 所示：

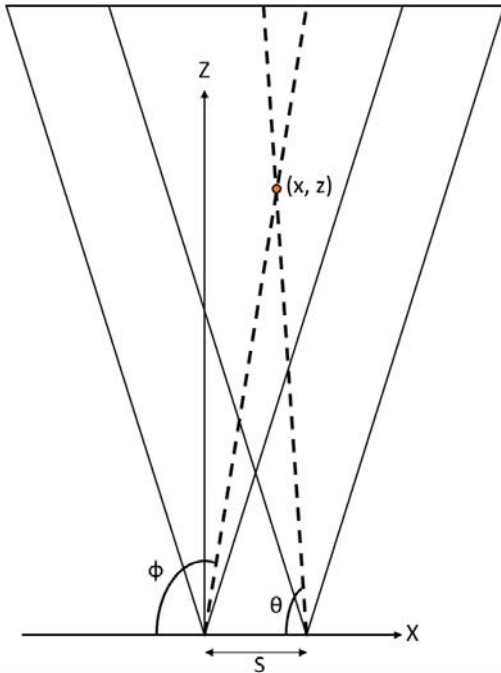


圖 5 交點公式推導示意圖

則交點位置為 (x, z) 可由下面幾個式子求出：

$$z = x * \tan(180 - \phi) \quad (6)$$

$$z = (S - x) * \tan \theta \quad (7)$$

由式(6)、式(7)可得：

$$x = \frac{S * \tan \theta}{\tan \theta - \tan \phi} \quad (8)$$

$$z = \frac{-S * \tan \theta * \tan \phi}{\tan \theta - \tan \phi} \quad (9)$$

將其無因次化，即將式(8)、式(9)除以兩鏡頭距離 S 得：

$$\frac{x}{S} = \frac{\tan \theta}{\tan \theta - \tan \phi} \quad (10)$$

$$\frac{z}{S} = \frac{-\tan \theta * \tan \phi}{\tan \theta - \tan \phi} \quad (11)$$

由於角度 θ 和 ϕ 會依照解析度 R 來進行分割，故可以依照式(10)及式(11)得到每個交點的無因次化座標，再找出與此交點相鄰四點之 Z 座標進行距離計算，找出最大距離的值，即表示判斷此目標點時的誤差距離，便可得到不同鏡頭配置與規格下之深度解析能力。

2.3 深度解析能力分析結果

經由 Matlab 程式撰寫並模擬結果，圖 6 與圖 7 分別為解析度 R=640 及 1280 時，改變各項參數後，將視野中各點與相鄰四點的最大距離無因次化後的結果。圖中 X 軸為兩相機間距離之無因次化，Y 軸為相機鏡頭至觀看平面距離之無因次化，顏色代表將此距離無因次化再取對數後的結果，紅色部分為 $10^0 \sim 10^{-1}$ ，黃色部分為 $10^{-1} \sim 10^{-2}$ ，藍色部分為 $10^{-2} \sim 10^{-3}$ ，可以發現隨著視野深度愈近，此距離的值愈小，表示深度解析能力愈高；也可以看出在相同視野深度下，收斂傾角與視野半角愈大，深度解析能力也愈高。另外，比較圖 6 與圖 7，可明顯觀察出在同樣的視野角度與收斂角度下，解析度 R 變大後深度解析能力有顯著的提昇。

利用此分析結果，我們可以帶入特定的兩相機距離 S 來判斷目前雙鏡頭影像深度解析能力的狀況，另一方面，也能反過來根據我們所要求的深度解析能力，找出適合的雙鏡頭配置。

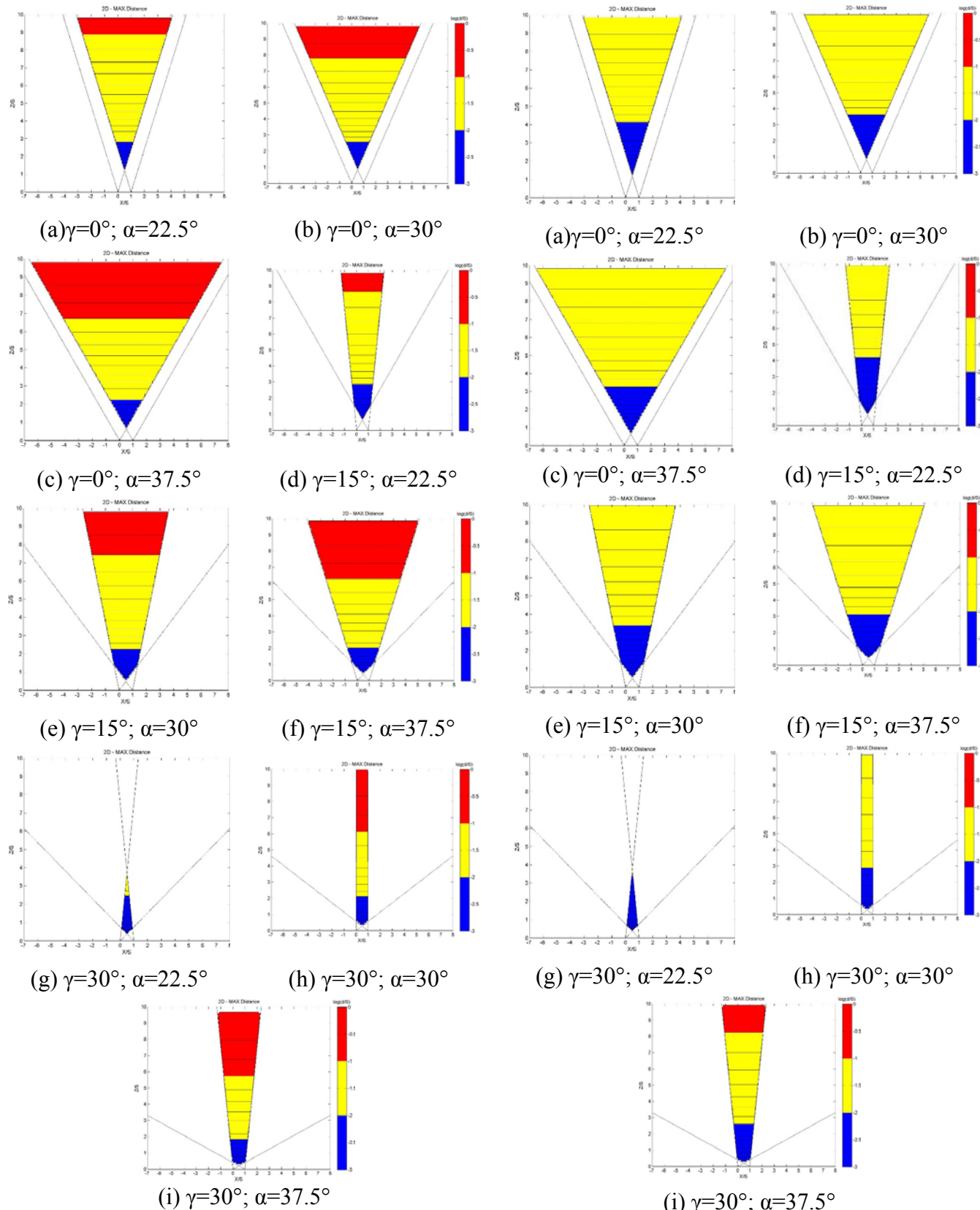


圖 6(a)~(i) R=640 時各點與相鄰四點的最大距離無因次化後的結果

圖 7(a)~(i) R=1280 時各點與相鄰四點的最大距離無因次化後的結果

3. 結論

本研究目的在於探討不同的雙鏡頭配置以及硬體設備規格下之雙鏡頭對深度的解析能力，前者包含鏡頭光軸的收斂傾角與兩鏡頭間的距離，後者包含相機的解析度以及視野角度。根據理論模型的推導，模擬上述中各個參數下的測距狀況，並由此得知其深度解析能力。由於目前的模擬僅止於 2D 平面的解析能力探討，若要實際運用需繼續進行 3D 立體空間的解析能力計算，方能做更精準的測距模擬分析。

4. 致謝

感謝科技部給予此一計劃經費上的協助 (MOST-105-2221-E-007 -056)。

5. 參考文獻

- [1] M. Bertozzi, A. Broggi, “GOLD: A Parallel Real-Time Stereo Vision System for Generic Obstacle and Lane Detection”, *IEEE Transactions on Image Processing*, vol.7,1998, pp 62-81
- [2] R. P. Wildes, J. C. Asmuth, G. L. Green, S. C. Hsu, R. J. Kolczynski, J. R. Matey, S. E. McBride, “A machine-vision system for iris recognition”, *Machine Vision and Application*, vol. 9, 1996, pp 1-8.
- [3] K. S. Fu, R. C. Gonzalez, C. S. G. Lee. *Robotics: Control, Sensing, Vision, and Intelligence*, New York: McGraw-Hill, 1987, pp 313-328.