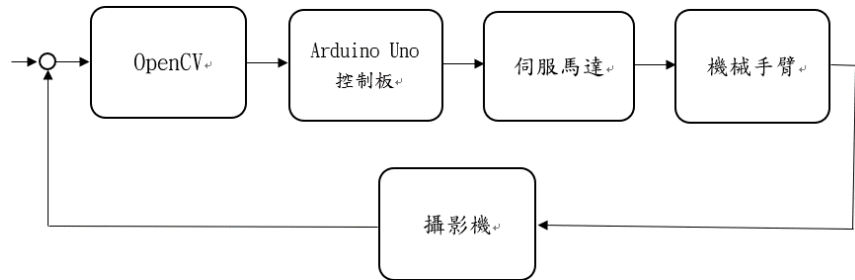


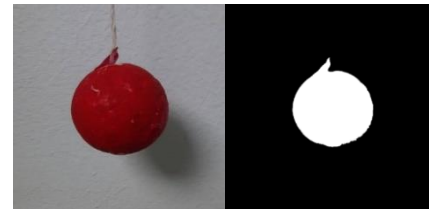
# 視覺回授控制多軸機器手臂

## 一、機械手臂系統方塊圖



## 二、影像處理

首先打開 Webcam，擷取包含紅色圓球的影像，將 RGB 的影像格式轉換成 HSV 色彩空間描述，再經由調整閾值來擷取所需區域的 HSV 數值區間，將此區間的資訊經過二值化轉換以降低資料處理量，提升影像處理的效率。再根據圖片中圓球進行質心運算，找出其的質心位置。

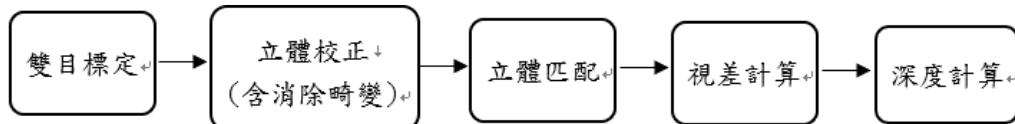


二值化前後比較圖

過程中，環境與背景都會影響影像運算的精準度，本論文使用膨脹與侵蝕的演算法，主動降低影像雜訊。

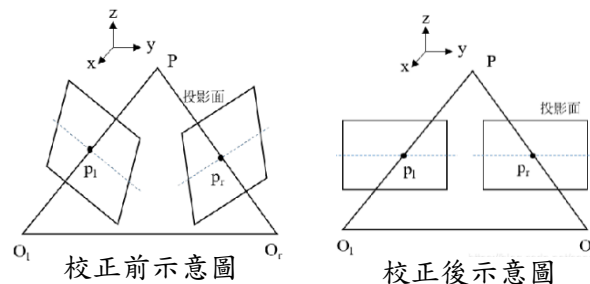
## 三、深度計算

在求得座標前需得到目標物的深度，本論文使用雙目測距來獲得，流程如下：



雙目測距的基本原理主要利用三角測量原理，即通過視差來判定物體的遠近。流程如下：

1. 雙目標定(相機校正): 目的是獲得左右兩個相機的內參、外參和畸變係數。
2. 立體校正(Rectification): 經過此校正後，兩幅圖中的極線就會完全水平，使空間中的同一個點在左右兩幅圖中的像素位置位於同一行。在達到共面行對準以後就可以應用三角原理計算距離。



3. 立體匹配: 立體匹配的目的是為左圖中的每一個像素點在右圖中找到其對應點（世界中相同的物理點），即可計算出視差。

本論文使用 SGBM (semi-global block matching) 演算法，屬於全局匹配演算法，其匹配原理為通過選取每個像素點的 disparity，組成一個 disparity map，設置一個和 disparity map 相關的全局能量函數，使這個能量函數最小化，以達到求解每個像素最優 disparity 的目的。

4. 視差計算: 視差圖是將立體匹配計算得到的視差值映射到相對應的 0~255 像素的灰度空間，在視差圖中，灰度值越高代表像素點越亮，說明物體與相機距離越近。反之則較遠。

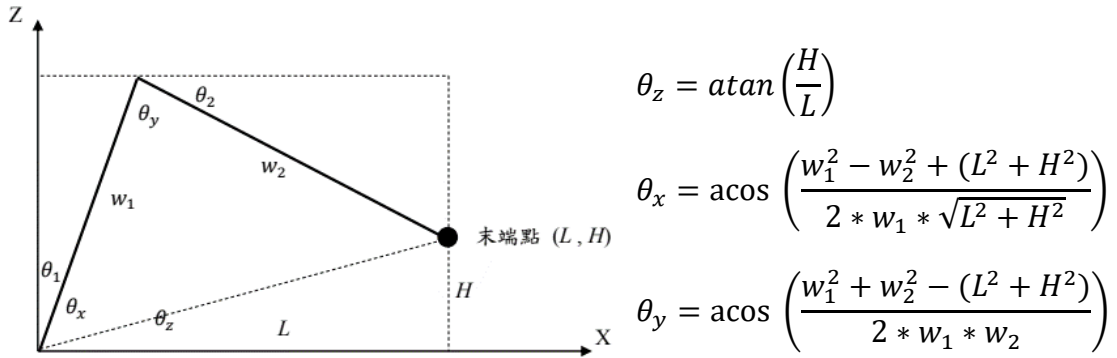
藉由以下公式可求得像素深度:

$$depth = \frac{f \times b}{d + (C_{xr} - C_{xl})}$$

其中  $f$  為焦距長度（像素焦距）， $b$  為基線長度， $d$  為視差， $C_{xl}$  與  $C_{xr}$  為兩個相機主點的列坐標。

#### 四、反向運動學

如下圖，本論文僅討論高度  $H \geq 0$  之情況，可得出:



#### 五、座標轉換

世界座標  $(x_w, y_w, z_w)$  與圖像座標  $(u, v, l)$  轉換如下:

$$z_c \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = z_c \begin{bmatrix} \frac{1}{dx} & 0 & u_0 \\ 0 & \frac{1}{dy} & v_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} f & 0 & 0 & 0 \\ 0 & f & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R & T \\ 0^T & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_w \\ y_w \\ z_w \\ 1 \end{bmatrix}$$

其中， $R$  為  $3 \times 3$  旋轉矩陣、 $T$  為  $3 \times 1$  平移矩陣、 $0^T$  為  $(0,0,0)$ 。

## 六、實驗結果

使用 MATLAB 進行雙目標定：

stereoParams.RotationOfCamera2

1	2	3
0.9907	0.0018	0.1362
-0.0023	1.0000	0.0036
-0.1362	-0.0039	0.9907

兩相機座標旋轉矩陣 R

stereoParams.TranslationOfCamera2

1	2	3
-28.1573	1.2512	-56.7518

兩相機座標平移矩陣 T

stereoParams.CameraParameters1.Int

1	2	3
1.3432e+03	0	0
-33.3649	1.3368e+03	0
271.6028	285.1937	1

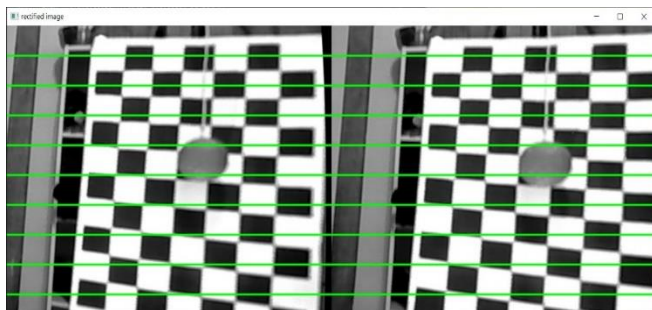
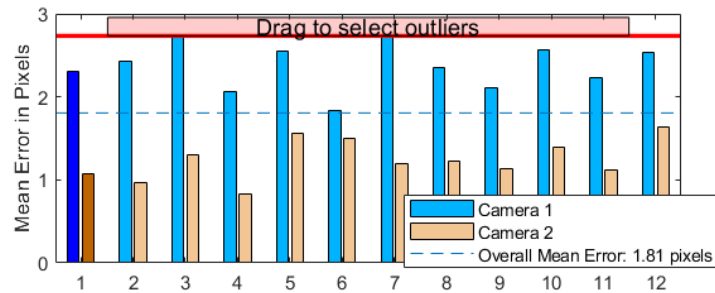
左相機內參矩陣

stereoParams.CameraParameters2.Intri

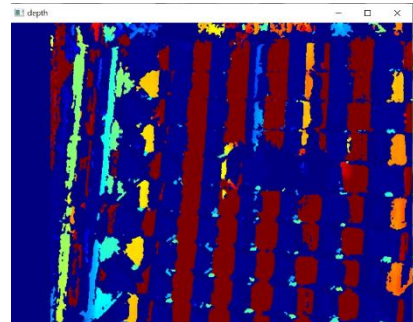
1	2	3
1.2653e+03	0	0
6.8175	1.2699e+03	0
283.5088	269.3237	1

右相機內參矩陣

誤差直方圖如下(篩選後):



立體校正相片組同水平面灰度圖



影像深度圖

i = 479 j = 510 x = -0.47750916973212554 y = 0.5226468524431225 z = 2.97029708913471 (m)

紅色圓球的相機座標

## 七、實驗結果分析

實驗共進行八次，深度誤差 $\leq 10\%$ 的機率為 62.5%，而在此條件下，夾頭可以碰到紅球的機率為 100%，而成功夾取率為 40%。

實驗的結果成功率不盡理想，與教授討論過後改善方法如下：

1. 使用更大尺寸的機械手臂，使距離能拉得更遠，兩相機的角度也能增大。
2. 將配對用的黑白方格紙邊長縮小，以增加同面積可配對的角點。
3. 額外供給電流使馬達運作更為穩定且有力。
4. 增加夾頭與球體接觸面積、更換相對摩擦力大的接觸面材質