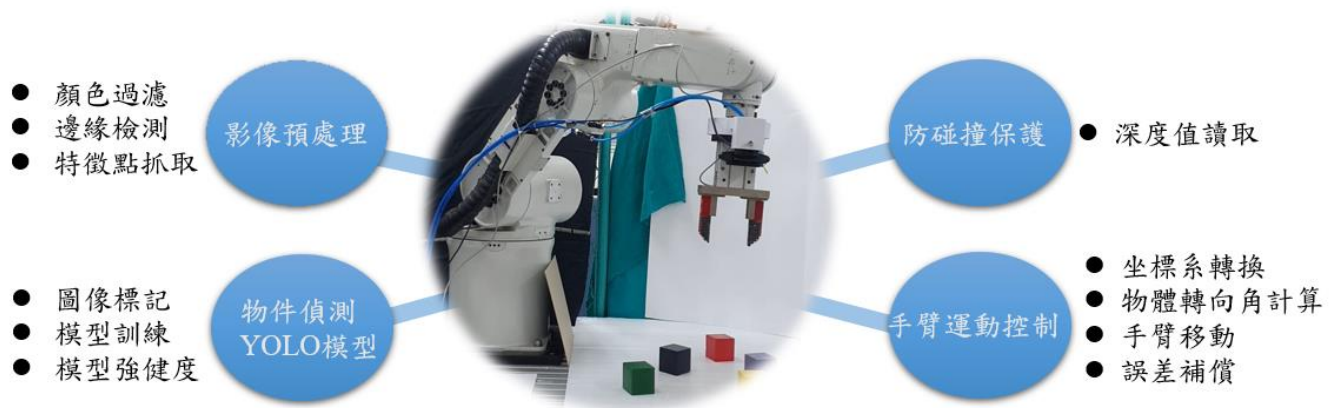


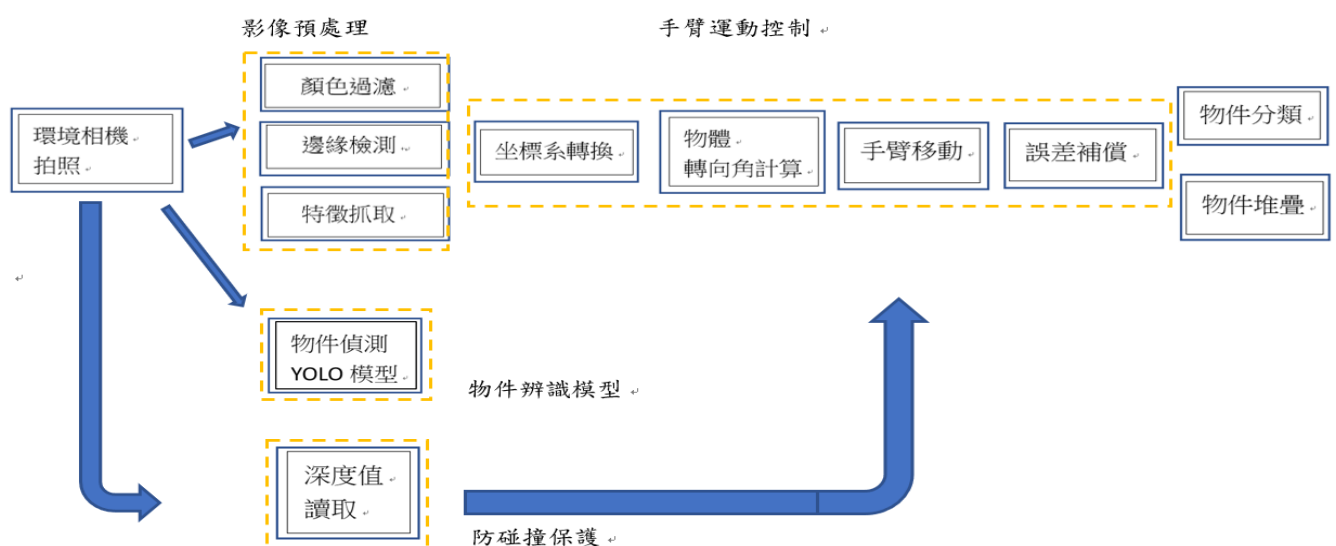
摘要

本專題旨在將人工智慧融入工業4.0的廠務管理，專注於結合電腦視覺與機械手臂進行物件分類。我們使用Python進程式開發，並採用YOLO V8深度學習模型進行測試與實作。經由影像預處理和物件標註對模型進行訓練，為解決物體轉動角度問題而採用Polygon Tool標註並透過RealSense D435i相機獲取物體的Z軸深度。最終，我們成功開發出一個能夠精確分類回收物，並識別物體擺放角度與堆疊深度的系統。透過實例分割技術，我們顯著提升了系統的分類準確性和方向判別能力。系統能透過相機獲取並存儲環境與物件資訊，利用影像處理為機器人提供控制數據，從而實現即時感知與動作處理。

實驗流程



圖一、系統架構

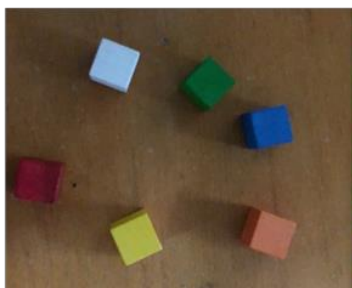


圖二、系統運行方塊圖

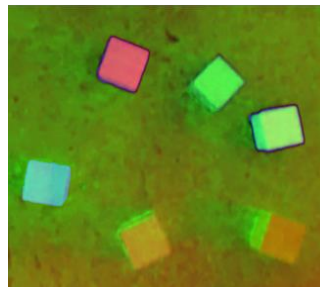
1、影像預處理

1.1 顏色過濾

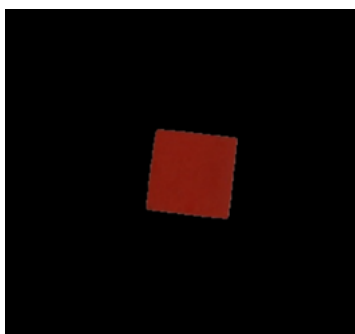
首先對目標物體進行HSV參數的抓取[圖五]，這樣可以避免環境光源造成的顏色誤差。接著，透過遮罩(mask)過濾掉環境中的雜訊[圖六]，從而確定所需的顏色範圍。這一過程的主要目的是將目標物體從背景中分離出來，便於進一步的分析與處理。



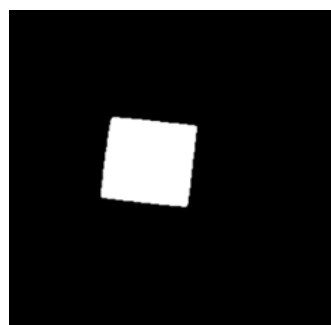
圖三、RGB圖像



圖四、HSV圖像



圖五、HSV參數抓取



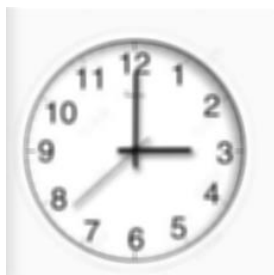
圖六、遮罩過濾

1.2 邊緣檢測

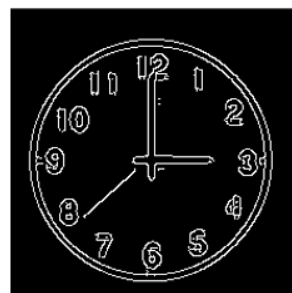
首先將圖片進行二值化處理[圖七]，將灰度圖像轉換為黑白圖像，簡化圖像資訊並突出目標特徵。接著使用高斯模糊[圖八]減少噪聲和干擾，透過加權平均平滑處理降低細節層次，提升後續計算的效率與準確度。最後，進行邊緣偵測[圖九]，利用像素梯度的變化來識別物體邊界並提取輪廓，從而幫助電腦準確分辨物體形狀，實現物體偵測與分類的目標。



圖七、二值化



圖八、高斯模糊



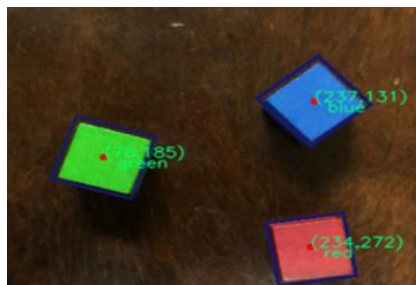
圖九、輪廓偵測

1.3 特徵抓取

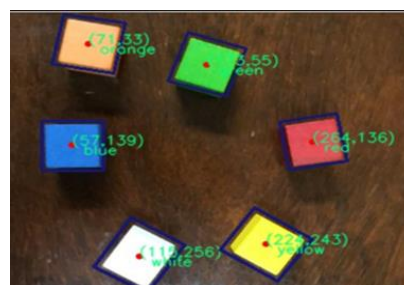
利用顏色過濾之結果進行曲線近似方法得出物體輪廓，找取圖像中的最大輪廓，並計算該輪廓的質心座標。接著，從輪廓中檢測出角點和中點，並將這些特徵點標示出來[圖十、十一、十二]，以便於後續的坐標系轉換。



圖十、偵測結果



圖十一、偵測結果

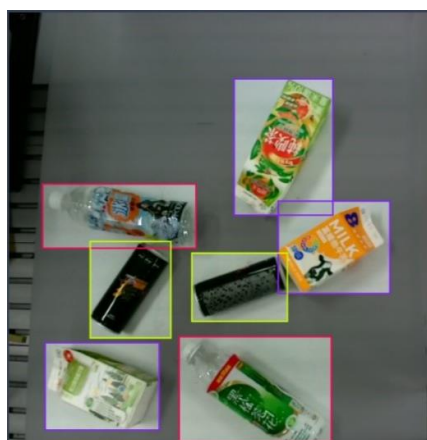


圖十二、偵測結果

2. 物件偵測YOLO模型

2.1 圖像標記

透過實體拍攝建立圖像資料庫，並使用roboflow進行模型標記。由於物品在圖像中存在傾斜擺放的問題，因此夾爪需要進行旋轉來夾取物品。為了更精確標記物品，選擇使用Polygon Tool進行標註[圖十四]，這樣可以更靈活地捕捉物品的邊緣。



圖十三、Bounding Box Tool標記



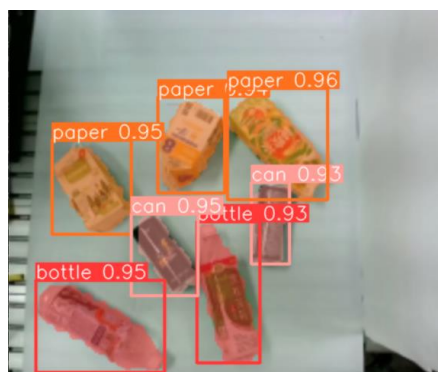
圖十四、Polygon Tool標記

2.2 模型訓練

我們使用的預訓練模型是官方的 yolov8n-seg.pt，選擇這個模型的主要原因是為了進行實例分割。實例分割相比於物件偵測更進一步，除了辨識圖像中的物體外，還能將它們與背景和其他物體區分開來。具體來說，實例分割模型的輸出包括每個物體的遮罩或輪廓、類別標籤以及置信度分數。當需要不僅知道物體在圖像中的位置，還需要獲取它們的具體形狀時，實例分割能夠提供更加精確的結果。



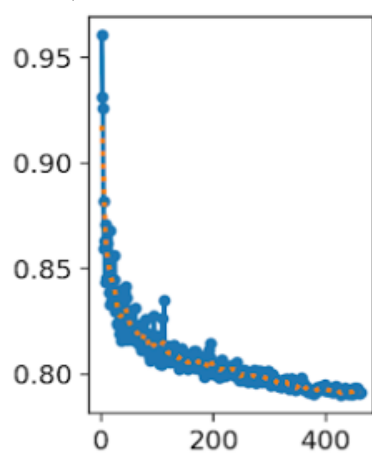
圖十五、物體偵測



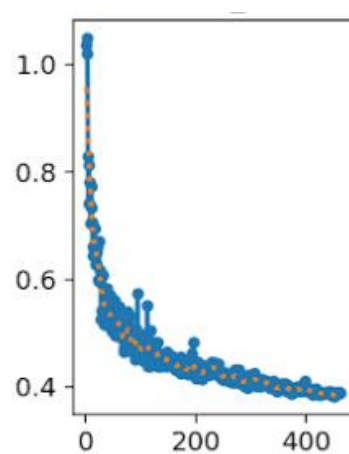
圖十六、實例分割

2.3 模型強健度

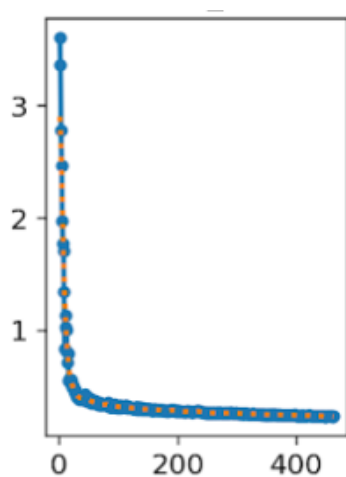
損失函數分析



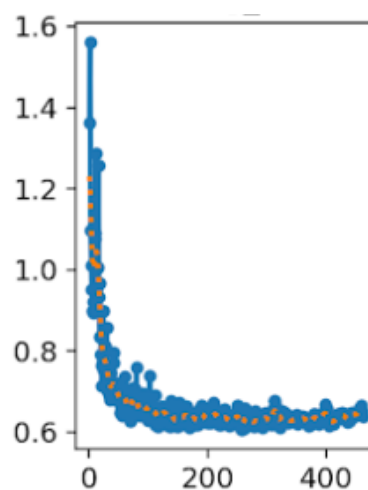
圖十七、偵測損失



圖十八、邊界框損失

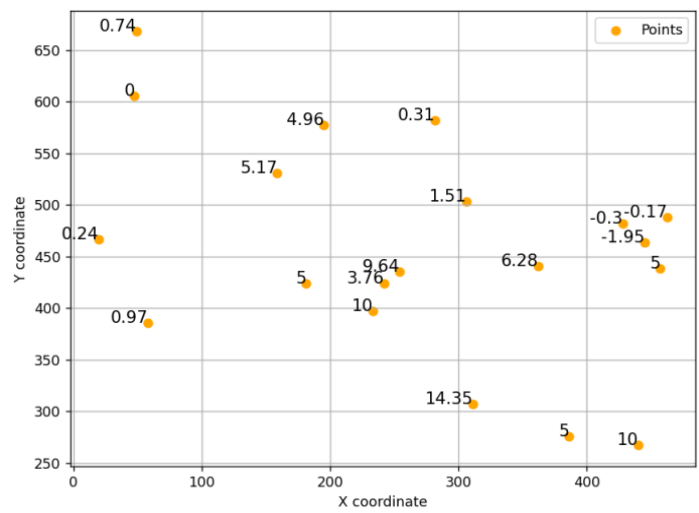


圖十九、分類損失

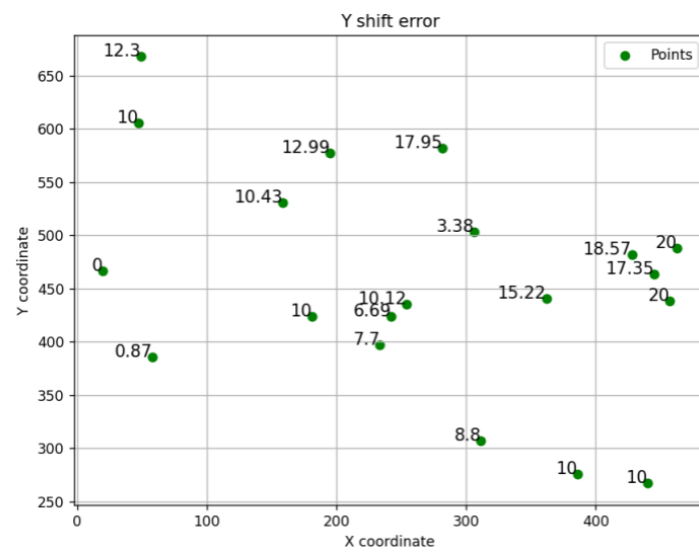


圖二十、分割損失

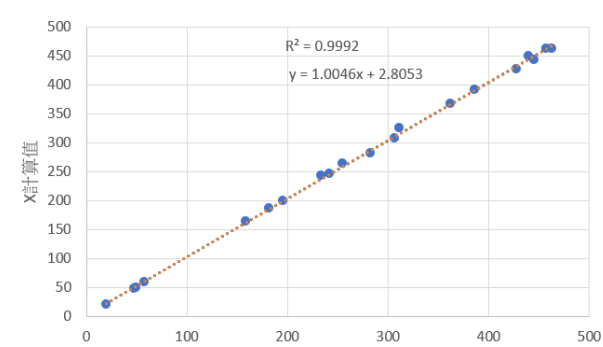
透過物件偵測模型進行物件分類時由於沒有確切的點位進行Perspective-n-Point(以下稱PnP)計算，因此我們透過雙線性內插法對手臂進行控制，進行此方法前需要事先評估此計算法在工作區內的線性程度。



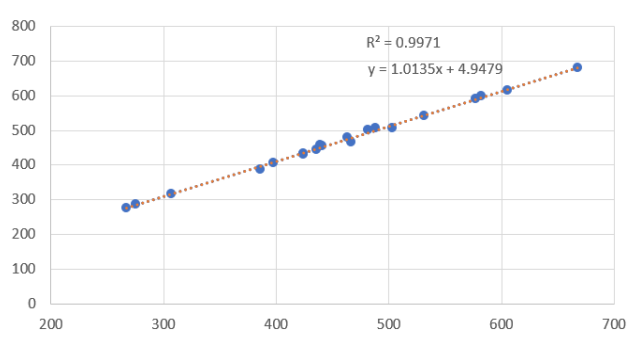
圖二十一、工作區域內手臂夾取點X方向位移誤差



圖二十二、工作區域內手臂夾取點Y方向位移誤差



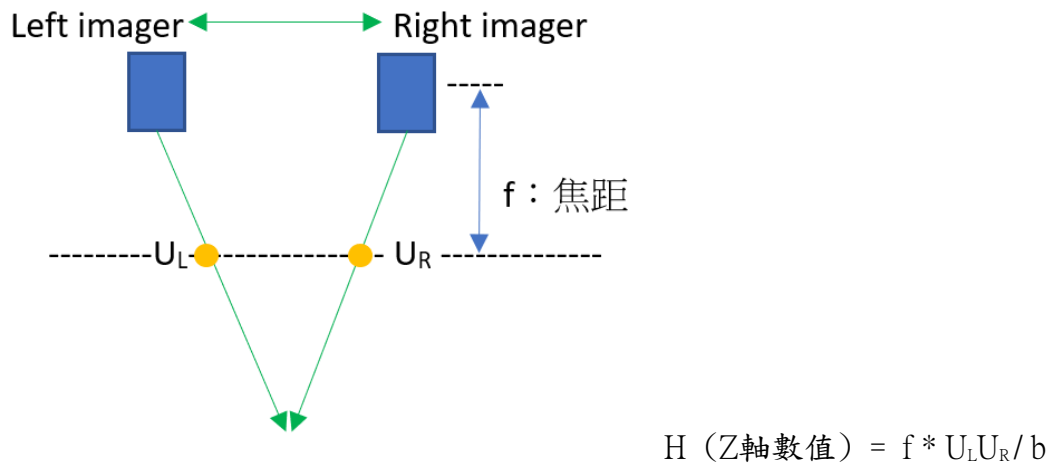
圖二十三、X方向線性度評估



圖二十四、Y方向線性度評估

3. 防碰撞保護

使用 intel RealSense D435i 獲取圖片中的三維空間數值(點雲)，再確保回傳之數值(Z軸深度)並無超過、接近極限值以達到碰撞保護功能、三維空間物件夾取實現。

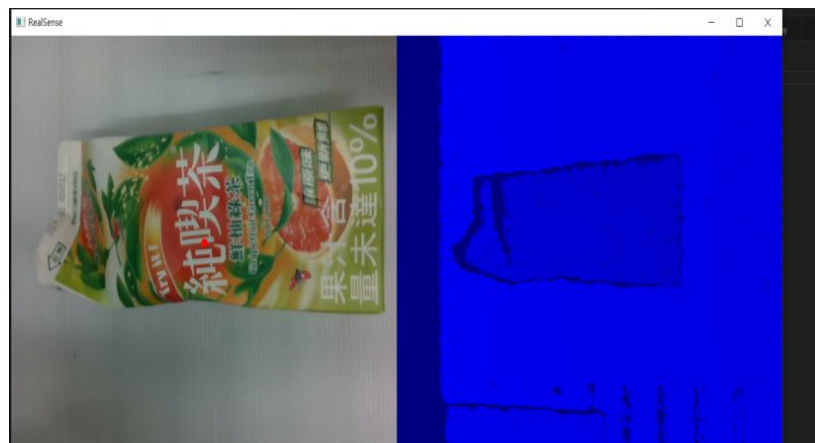


圖二十五、深度相機檢測原理

透過讀取像素點雲中的Z軸深度值可以得出待夾物件與夾爪TCP點位之距離，透過控制此段距離即可進行堆疊物件之夾取、碰撞防護等功能。



圖二十六、三維夾取



圖二十七、點雲偵測Z軸深度

4. 手臂運動控制

4.1 坐標系轉換

$$\mathbf{P}_{\text{feature}} : \begin{bmatrix} 25 \\ 25 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} \quad \mathbf{T}_{\text{cube} \rightarrow \text{cam}} : \begin{bmatrix} R_{3 \times 3} & T_{3 \times 1} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

式一、特徵點位置向量

式二、物體相對手臂相機轉移矩陣

$$\mathbf{T}_{\text{cam} \rightarrow \text{base}} : \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & T_x \\ 1 & 0 & 0 & T_y \\ 0 & 0 & -1 & T_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad \mathbf{T}_{\text{hand} \rightarrow \text{eye}} : \begin{bmatrix} R_{xx} & R_{xy} & R_{xz} & T_x \\ R_{yx} & R_{yy} & R_{yz} & T_y \\ R_{zx} & R_{zy} & R_{zz} & T_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

式三、環境相機至手臂基座轉移矩陣

式四、環境相機至手臂基座轉移矩陣

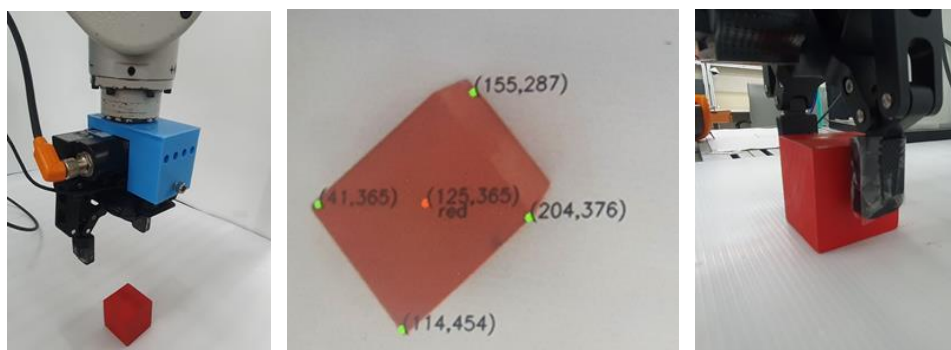
$$\mathbf{T}_{\text{cube} \rightarrow \text{eye}} : \begin{bmatrix} R_{3 \times 3} & T_{3 \times 1} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad \mathbf{T}_{\text{eye} \rightarrow \text{hand}} : \begin{bmatrix} R_{xx} & R_{xy} & R_{xz} & T_x \\ R_{yx} & R_{yy} & R_{yz} & T_y \\ R_{zx} & R_{zy} & R_{zz} & T_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

式五、環境相機至手臂基座轉移矩陣

式六、手臂相機與法蘭手眼校正矩陣

4.2 物體轉向角計算

透過距離演算法對所偵測的角點進行角點排序，以利後續PnP求解的點對應正確，避免造成計算結果異常



圖二十八、轉向角計算及對應結果

4.3 手臂移動

將物件坐標系上之物間特徵點乘上PnP矩陣將座標轉移至環境相機坐標系，再乘上環境相機致手臂基座轉移矩陣即可以得出物件相對手臂基座之座標，最終即可控制手臂移動至物件位置進行夾取。

$$\mathbf{D}_{\text{PnP1}} \begin{bmatrix} x1 \\ y1 \\ z1 \\ w1 \end{bmatrix} = \mathbf{T}_{\text{cube} \rightarrow \text{cam}} \times \mathbf{T}_{\text{cam} \rightarrow \text{base}} \times \mathbf{P}_{\text{feature}}$$

式七、第一次PnP移動計算

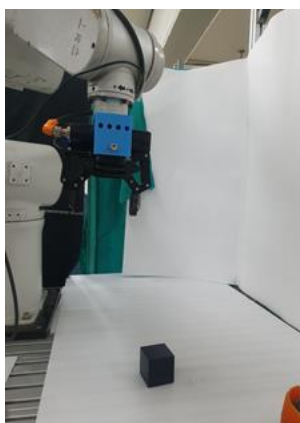
4.4 誤差補償

由於單獨使用環境相機並透過PnP求解控制手臂移動存在全域誤差，因此我們在第一次移動結束後再進行第二次PnP，透過較近距離的影像資訊能夠極大提升夾取準確性

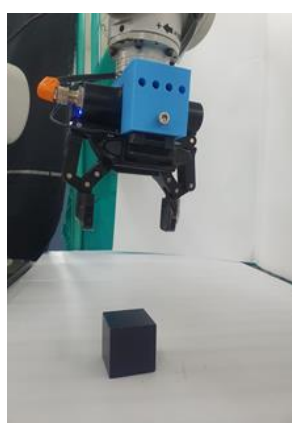
將物件坐標系上之物間特徵點乘上PnP矩陣將座標轉移至手臂相機坐標系，再乘上手眼校正轉移矩陣即可以得出物件相對手臂法蘭面之座標，最後再由TCP回傳手臂姿態經由逆向運動學得出法蘭面至基座轉移矩陣，乘上此轉移矩陣即可控制手臂移動至物件位置進行夾取。

$$\mathbf{D}_{\text{PnP2}} \begin{bmatrix} x2 \\ y2 \\ z2 \\ w2 \end{bmatrix} = \mathbf{T}_{\text{cube} \rightarrow \text{eye}} \times \mathbf{T}_{\text{eye} \rightarrow \text{hand}} \times \mathbf{T}_{\text{hand} \rightarrow \text{base}} \times \mathbf{P}_{\text{feature}}$$

式八、第二次PnP移動計算



圖二十九、第一次PnP結果



圖三十、第二次PnP結果

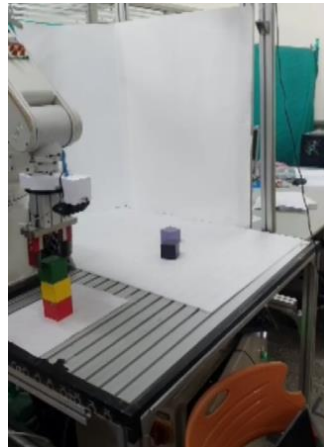
5. 結果展示

透過上述手臂操作過程可以實現以下功能

1. 輸入顏色順序，機器手臂能夠依照順序堆疊方塊
2. 選擇夾取物品，機器手臂能夠正確辨識並分類
3. 進行三維運動物件夾取暨分類



圖三十一、方塊夾取



圖三十二、方塊放置



圖三十三、方塊堆疊完成



圖三十四、物件夾取



圖三十五、物件分類



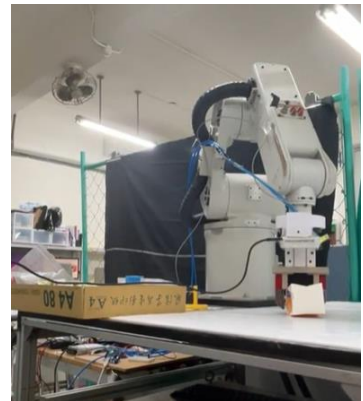
圖三十六、分類結果



圖三十七、深度夾取(1)



圖三十八、深度夾取(2)



圖三十九、深度夾取(3)