



基於乒乓球動態偵測計算球速之研究與應用

指導教授：李錫捷

組員：資工三 111010550 黃偉祥

資工三 111010512 李易

資工三 111010540 陳先正



目錄

1.	摘要	8.	模型訓練結果
2.	前言	9.	模型表現
3.	系統設計	10.	演算法
4.	Roboflow	11.	演算法結果
5.	資料標記	12.	結論
6.	資料預處理	13.	參考文獻
7.	資料集介紹		

摘要



本研究使用以 YOLOv8 為基礎的 Roboflow 模型，搭配自行錄製的訓練影片，以每秒 30 幀的速度對乒乓球進行物件測。該研究主要以解析度為 1280*720 的連續影片作為訓練集，並採由上而下的視角進行拍攝，同時結合以 Python 開發的演算法來對每顆球的速度及落點進行分析，期望打造出能實時檢測乒乓球的位置與速度來進行得分計算的監測系統，以此幫助運動員在訓練時可以將注意力都用在訓練上並在訓練結束後可以得到分析結果。



前言

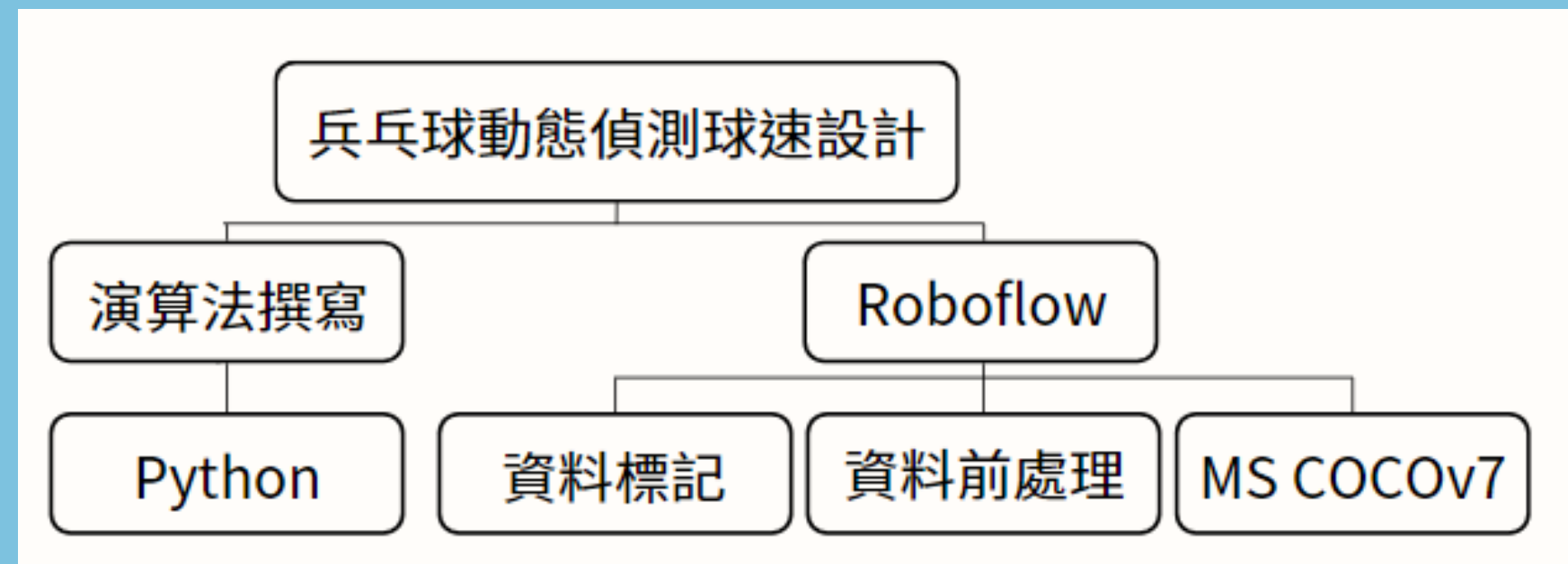


本研究利用機器視覺技術記錄和分析乒乓球對打過程，使用Roboflow平台標記和訓練資料集。通過攝影機捕捉圖像，逐幀標記，並使用YOLOv5進行球體偵測訓練。使用乒乓球發球機模擬各種球路，調整參數以提高訓練效果。資料標記和數據增強技術解決資料量不足問題。最終，使用Python分析偵測結果，計算球體三維落點和速度，確保多球體情況下的準確軌跡偵測。本研究旨在實現實時速度和得分檢測，降低運動訓練成本。



系統設計

本研究採用Roboflow平台來進行實作，然後將我們在Roboflow上訓練好的模型導入Python來撰寫的演算法並進行進一步的分析。其系統架構圖如圖一所示。



圖一、系統架構圖

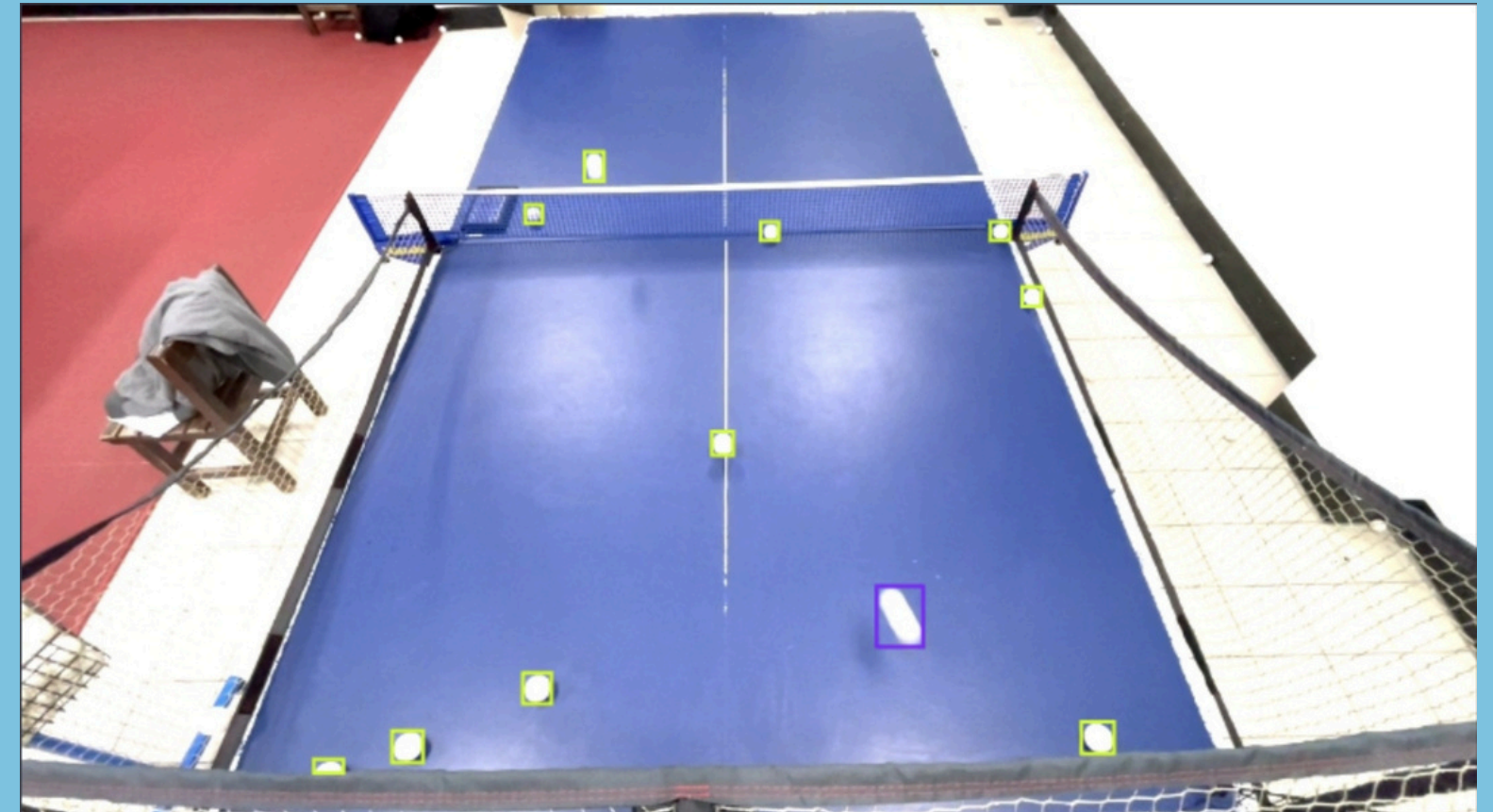
Roboflow

我們使用了約1000張的圖像來進行乒乓球物體識別的訓練，透過Roboflow平台上提供的影像前處理功能來增加資料量，最後透過平台上提供的 MS COCOv7 公開模型來進行訓練。MS COCO 是基於YOLOv8這個強大的物體識別模型去進行訓練出來的模型。



資料標記

在資料標記的部分我們使用Roboflow平台上提供的Auto Label的功能去做第一步的標記，然後人工去進行下一步的審核與修正。Auto Label 是Roboflow套用autodistill提供的自動標記功能。我們分別標記了靜止的球（綠色框）與正在快速移動的球（麵條狀，紫色框），範例如圖二所示。

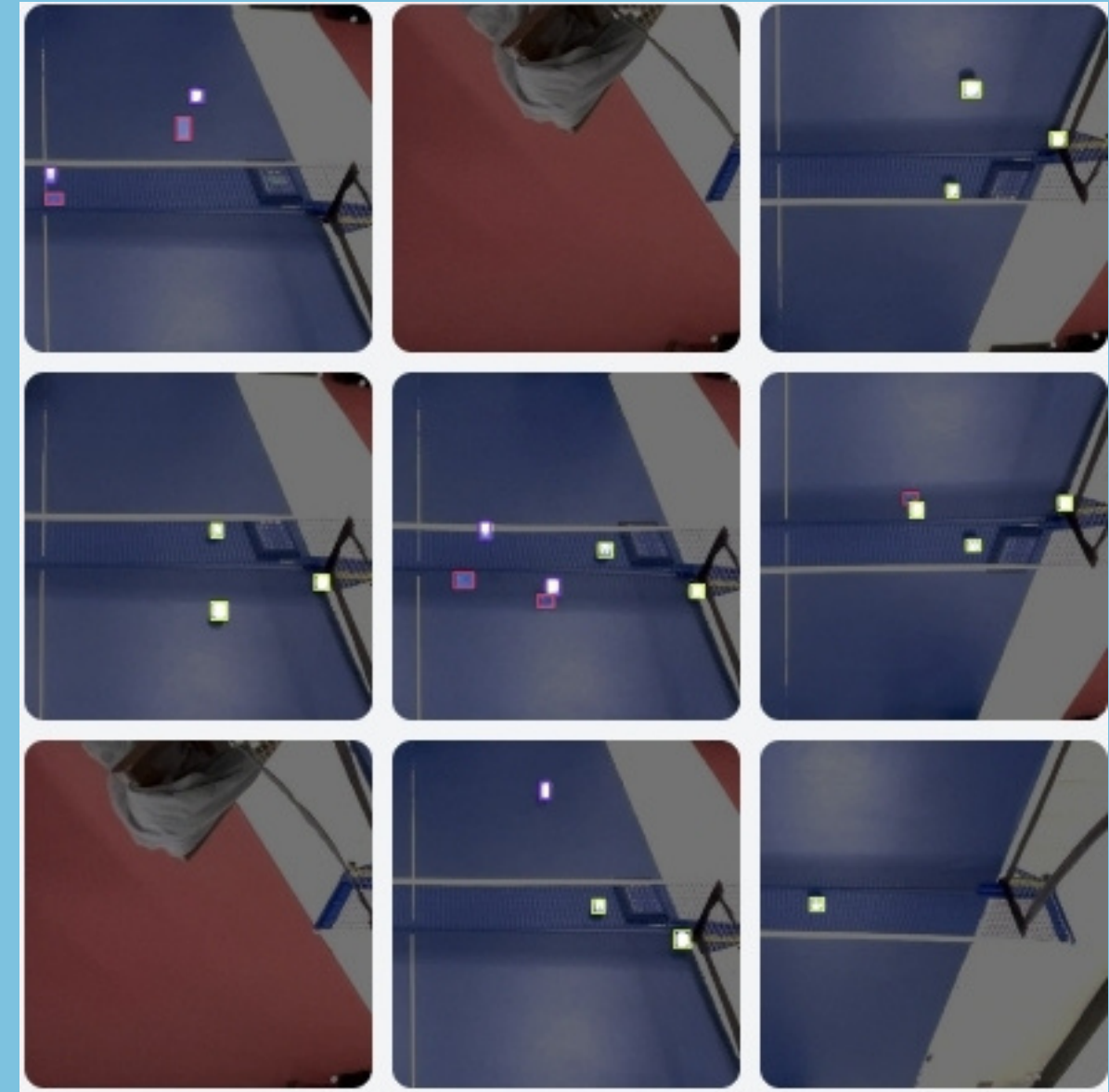


圖二、標記範例



資料預處理

- 1.重新調整為320*320（防止訓練的速度太慢）
- 2.Tile將圖像切割成2*4（提升小型物體識別的準確率）
- 3.水平與垂直反轉（增加資料量）
- 4.將重複的圖像刪除



圖三、訓練集

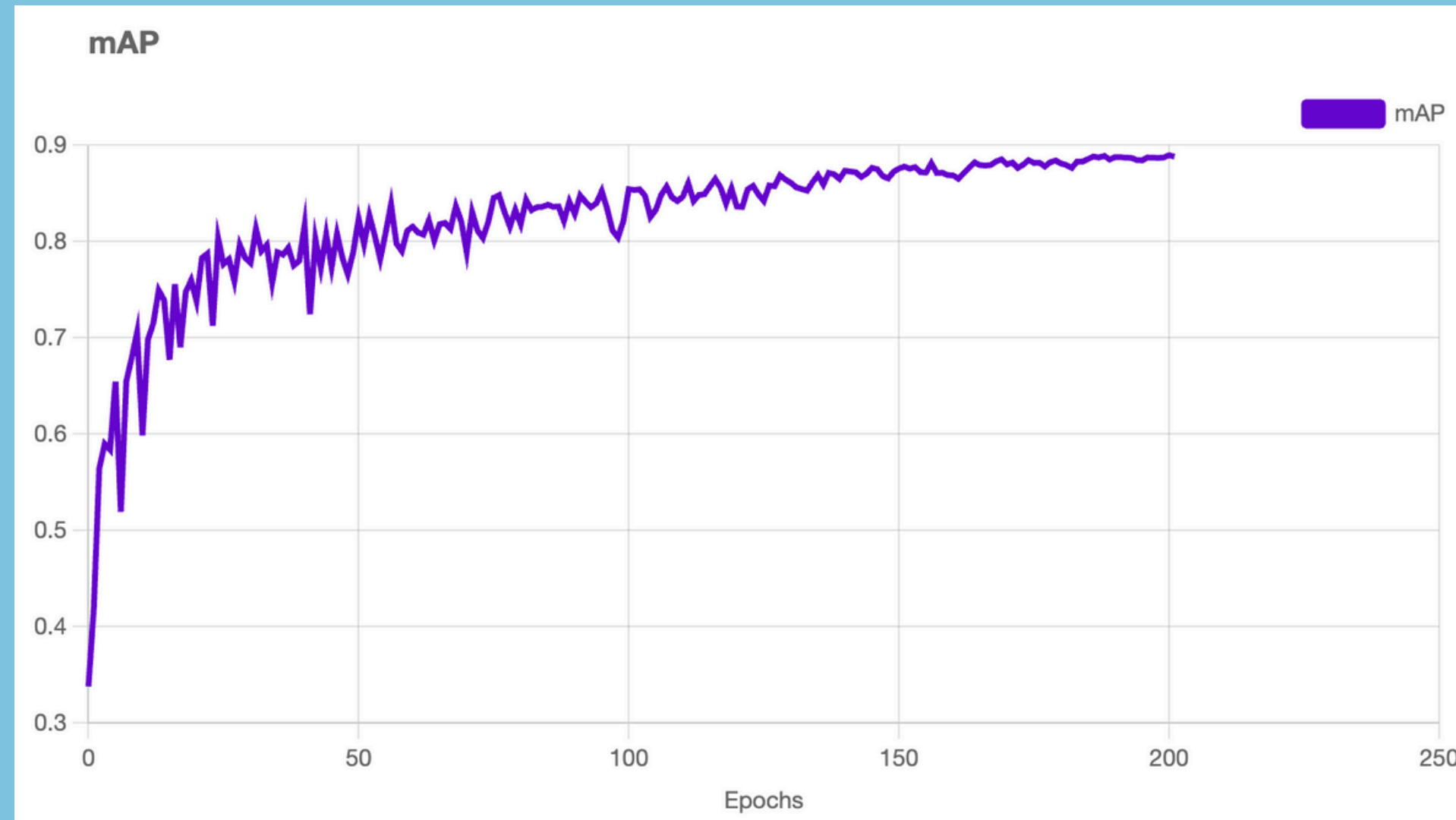


資料集介紹

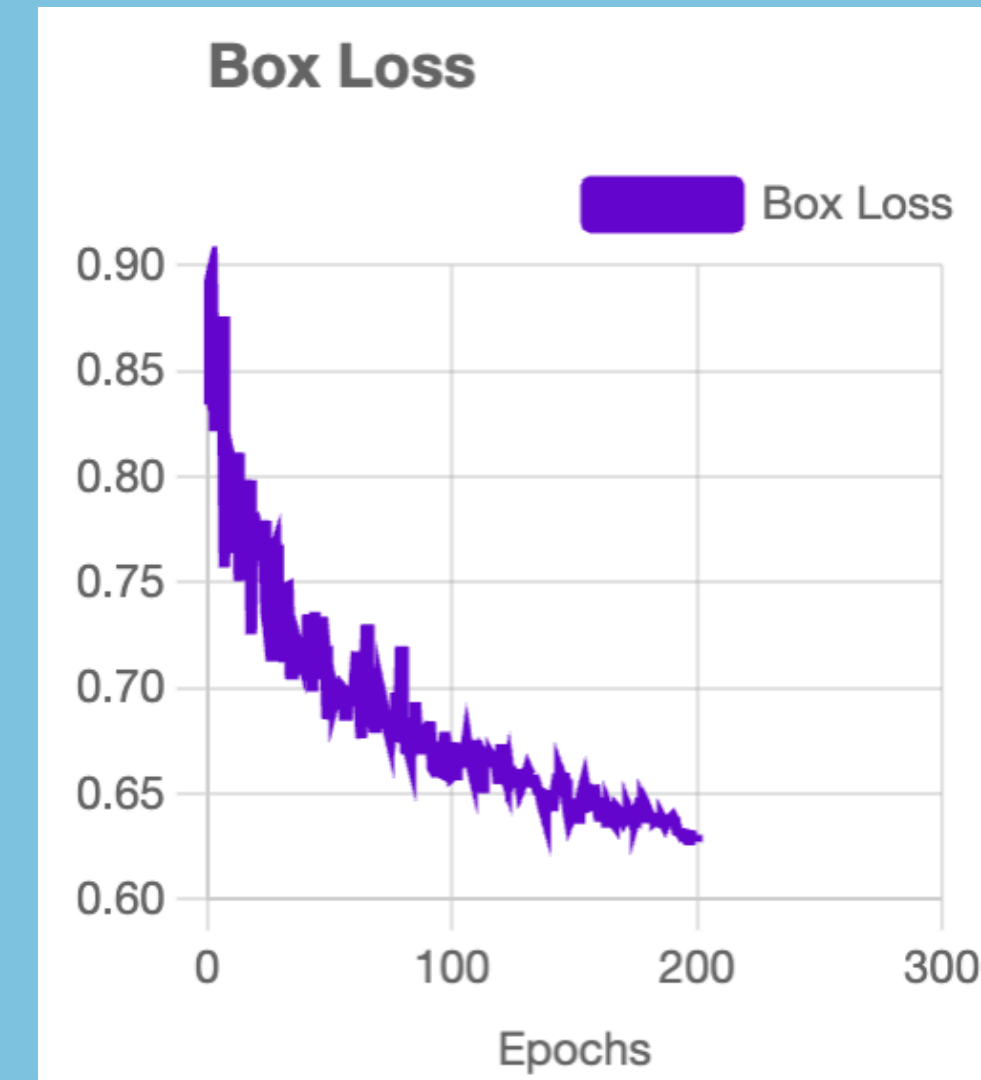
我們利用手機從上方拍攝影片，將其轉換為圖像，fps為30。我們的資料量從大約1000張的圖像經過前處理後的到15184張圖像，其中84%為訓練資料共12784張，11%為驗證資料共1600張，5%為測試資料共800張。



模型訓練結果



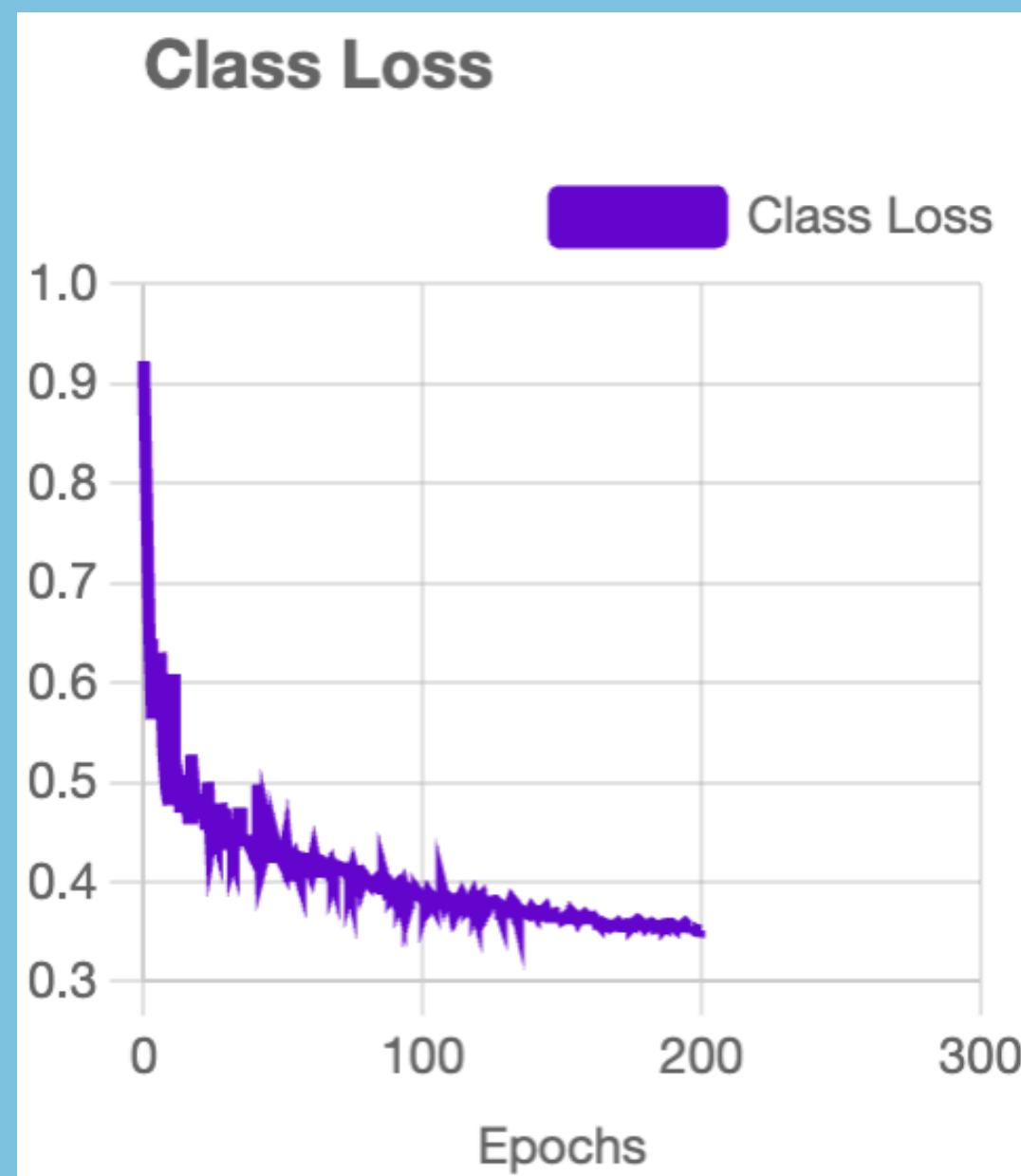
圖四、mAP



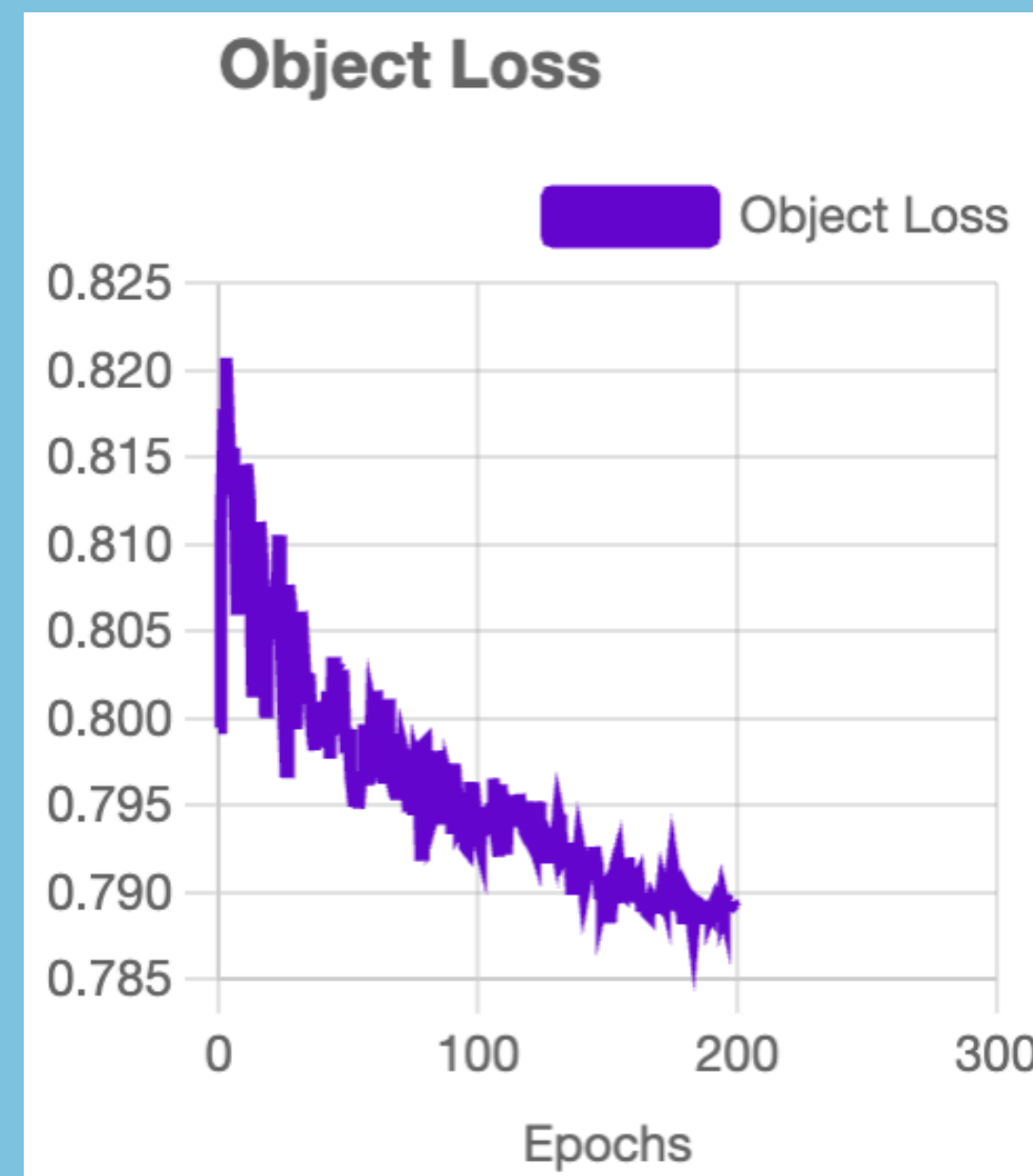
圖五、Box Loss



模型訓練結果



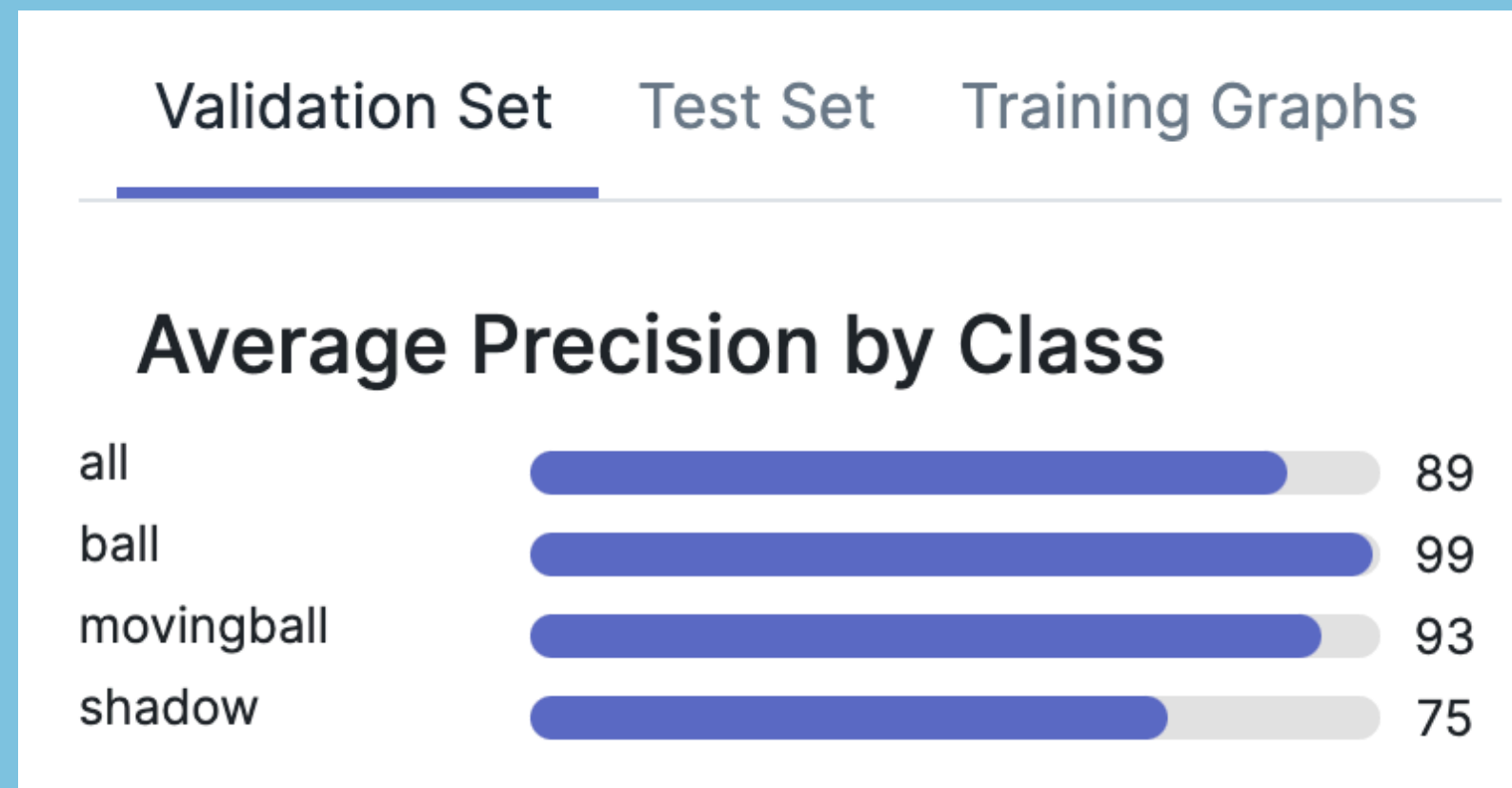
圖六、Class Loss



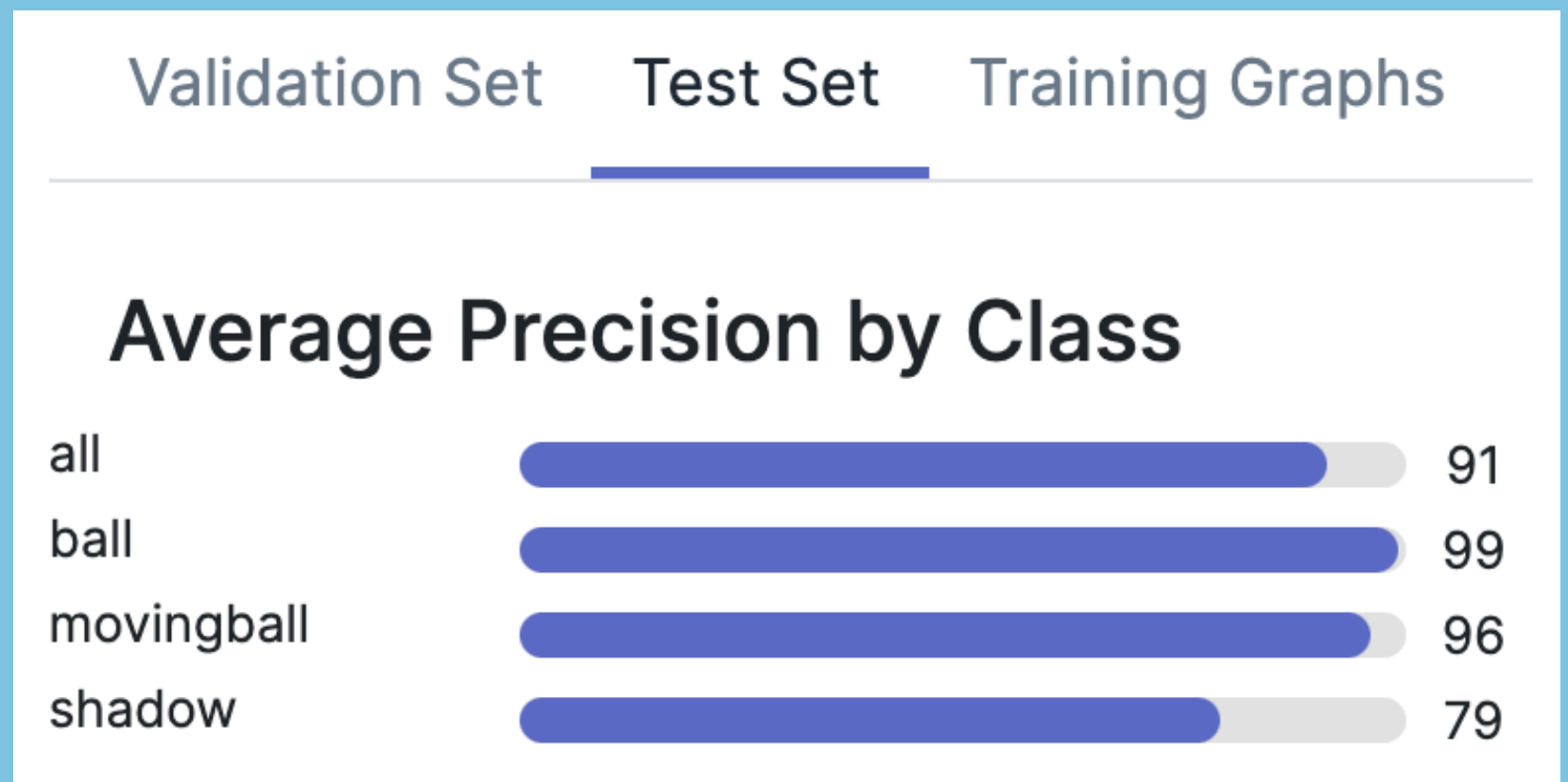
圖七、Object Loss



模型訓練結果



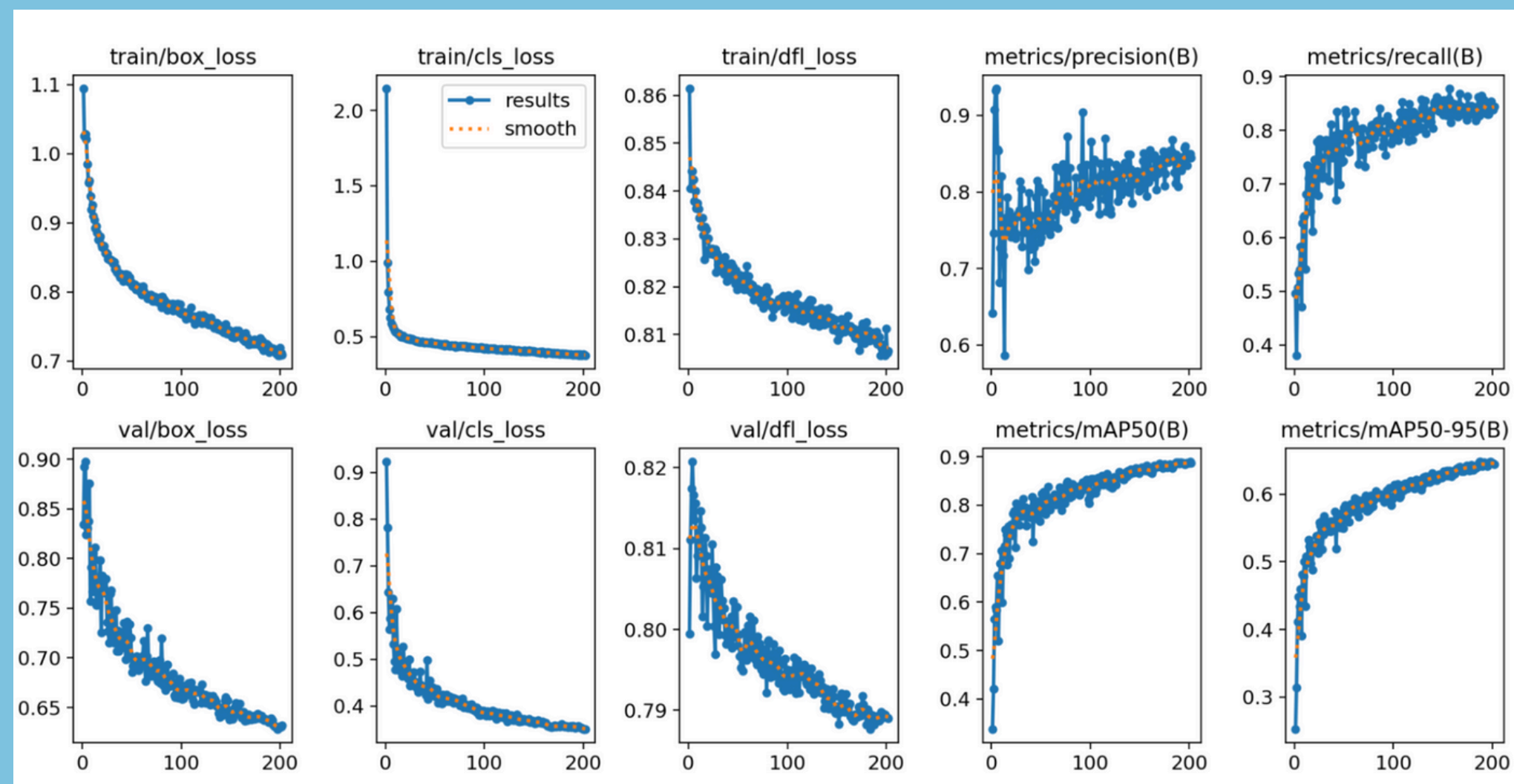
圖八、每個類別的精確度（驗證集）



圖九、每個類別的精確度（測試集）



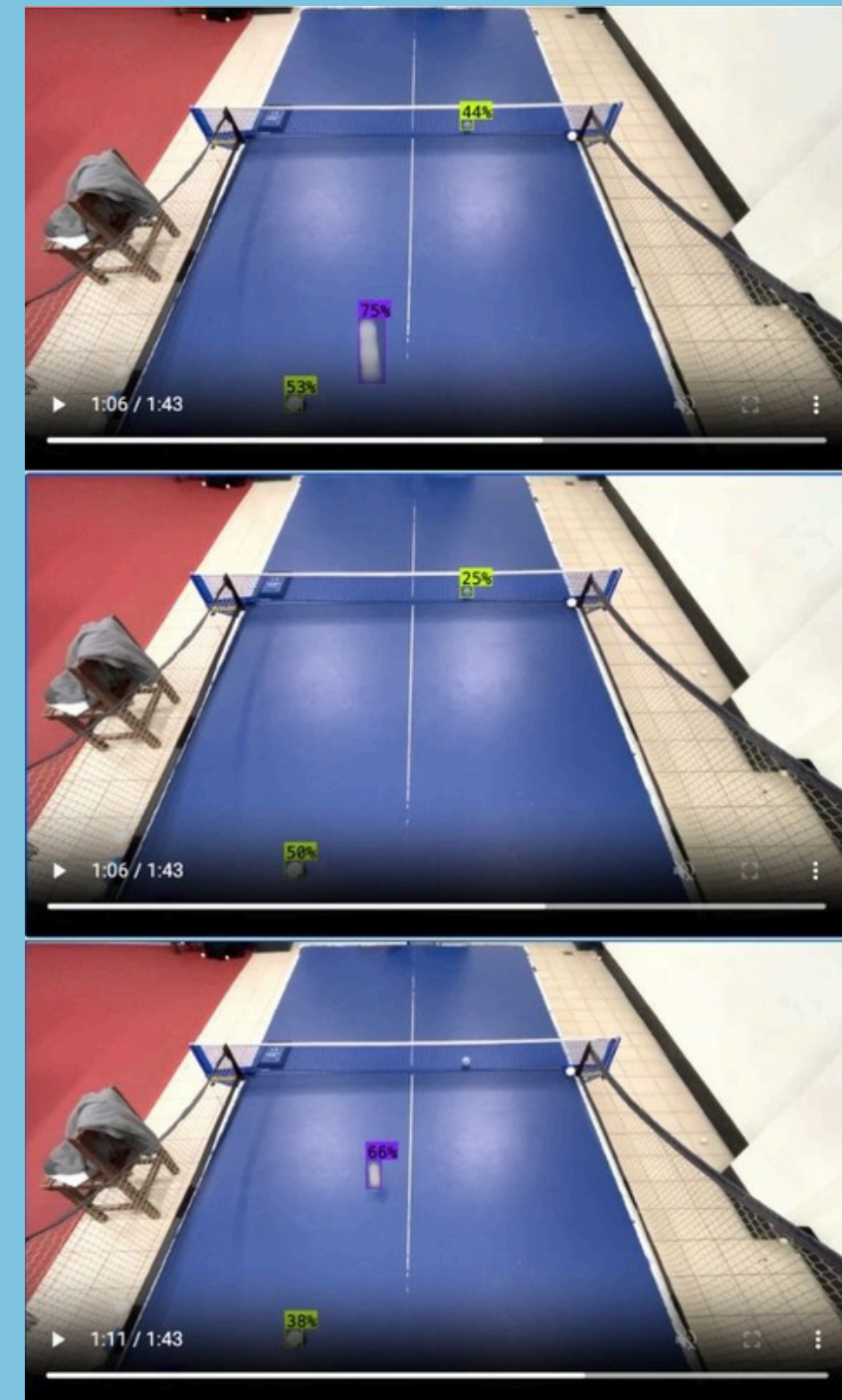
模型訓練結果



圖十、其他損失函數與指標

模型表現

模型訓練好後，我們可以透過Roboflow的網頁將想要測試的影片去進行測試，它會實時地更新預測結果與預測信心

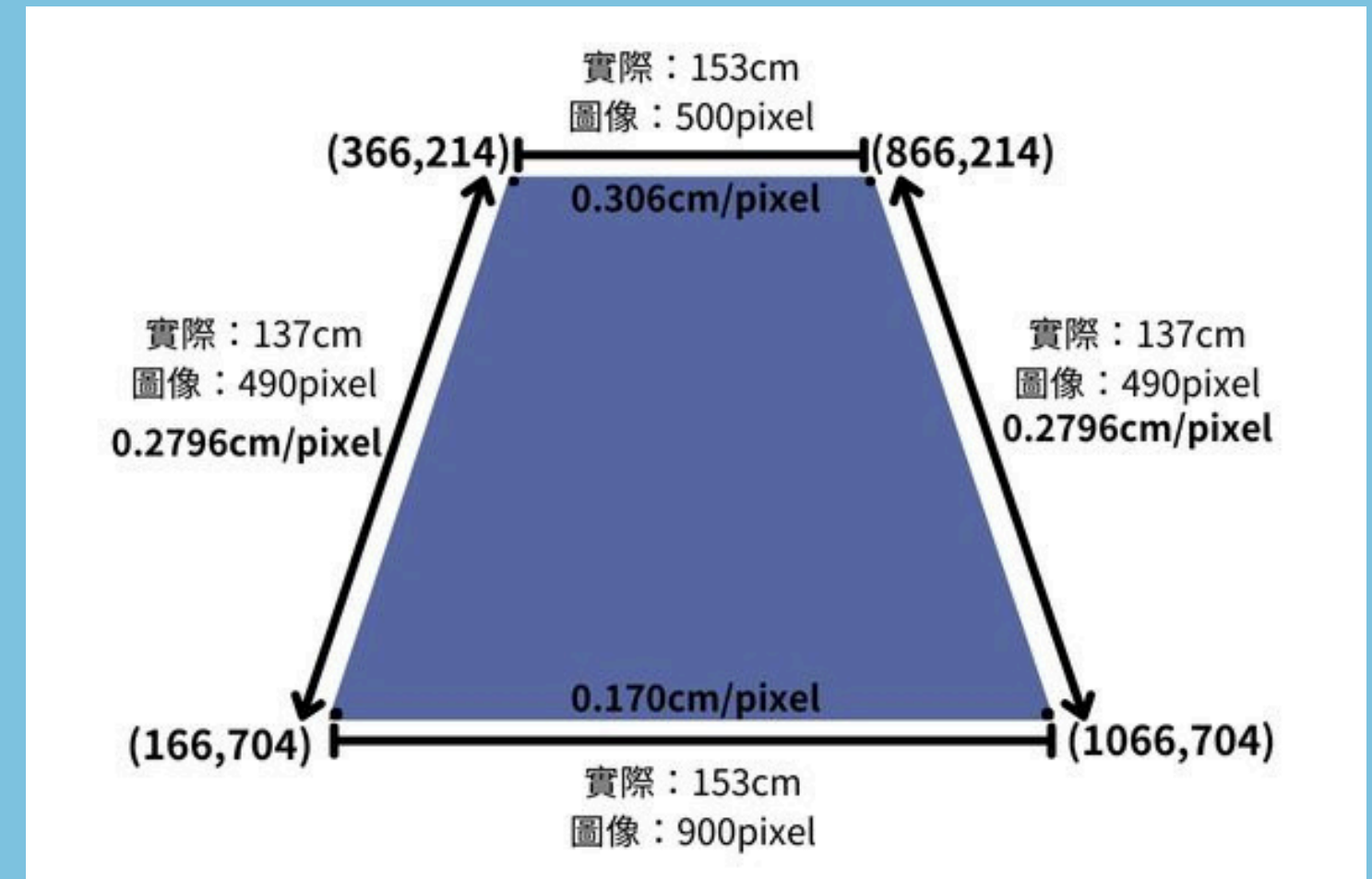


圖十一、模型表現測試



演算法

- 用id 標記追蹤它們的移動軌跡
- 獲取每一幀中球的位置、數量和坐標
- 比較每一幀與其前一幀，計算球的速度和方向
- 選擇最小速度值的路徑作為可能的正解，以排除重疊軌跡
- 這個算法的時間複雜度為 $O(n^3)$



圖十二、圖像裡球桌的比例

演算法結果

我們使用python語言來撰寫我們判斷移動中的球與計算速度的演算法，輸出結果會顯示抓到的正在移動中的球的一些重要數值，如：球的ID與來源ID、移動方向、速度。輸出結果範例如圖十二所示。

```
frame:0
frame:1
[['0', 'norm: inf', 'dir: [0.00, 0.00]', 'speed: 0.00 km/h', 'pos: [0.00, 0.00]']]
frame:2
[['1<-0', 'norm: 59.79', 'dir: [0.49, 0.87]', 'speed: 19.12 km/h', 'pos: [584.50, 108.50]']]
frame:3
[['2<-1', 'norm: 76.32', 'dir: [0.37, 0.93]', 'speed: 23.59 km/h', 'pos: [612.50, 179.50]']]
frame:4
[['4<-2', 'norm: 83.72', 'dir: [0.41, 0.91]', 'speed: 25.67 km/h', 'pos: [646.50, 256.00]']]
frame:5
[['5<-4', 'norm: 96.01', 'dir: [0.37, 0.93]', 'speed: 29.03 km/h', 'pos: [682.50, 345.00]']]
frame:6
[['6<-5', 'norm: 109.12', 'dir: [0.39, 0.92]', 'speed: 32.54 km/h', 'pos: [725.00, 445.50]']]
frame:7
[['9<-6', 'norm: 81.61', 'dir: [0.59, 0.81]', 'speed: 23.30 km/h', 'pos: [773.00, 511.50]'], ['9<-7', 'norm: 69.16', 'dir: [-0.14, -0.99]', 'speed: 20.79 km/h', 'pos: [578.50, 572.00]']]
frame:8
[['12<-8', 'norm: 92.95', 'dir: [0.65, 0.76]', 'speed: 25.52 km/h', 'pos: [833.00, 582.50]'], ['13<-9', 'norm: 73.19', 'dir: [-0.14, -0.99]', 'speed: 22.02 km/h', 'pos: [568.50, 499.50]']]
frame:9
[['14<-13', 'norm: 53.76', 'dir: [-0.17, -0.99]', 'speed: 16.17 km/h', 'pos: [559.50, 446.50]']]
frame:10
[['15<-14', 'norm: 59.43', 'dir: [-0.18, -0.98]', 'speed: 17.09 km/h', 'pos: [549.00, 388.00]']]
frame:11
[['16<-15', 'norm: 68.07', 'dir: [-0.18, -0.98]', 'speed: 20.53 km/h', 'pos: [537.00, 321.00]']]
frame:12
[['18<-16', 'norm: 63.64', 'dir: [-0.19, -0.98]', 'speed: 19.23 km/h', 'pos: [525.00, 258.50]']]
frame:13
frame:14
frame:15
[['19', 'norm: inf', 'dir: [0.00, 0.00]', 'speed: 0.00 km/h', 'pos: [0.00, 0.00]']]
frame:16
[['20<-19', 'norm: 19.81', 'dir: [-0.18, -0.98]', 'speed: 6.03 km/h', 'pos: [494.00, 87.00]']]
frame:17
[['21<-20', 'norm: 13.73', 'dir: [-0.18, -0.98]', 'speed: 4.18 km/h', 'pos: [491.50, 73.50]']]
frame:18
frame:19
frame:20
frame:21
[['22', 'norm: inf', 'dir: [0.00, 0.00]', 'speed: 0.00 km/h', 'pos: [0.00, 0.00]']]
frame:22
[['23<-22', 'norm: 418.62', 'dir: [-0.27, -0.96]', 'speed: 127.02 km/h', 'pos: [780.00, 42.50]']]
frame:23
frame:24
frame:25
frame:26
frame:27
frame:28
frame:29
frame:30
frame:31
frame:32
frame:33
frame:34
[['24', 'norm: inf', 'dir: [0.00, 0.00]', 'speed: 0.00 km/h', 'pos: [0.00, 0.00]']]
frame:33
[['25<-24', 'norm: 60.27', 'dir: [0.39, 0.92]', 'speed: 18.81 km/h', 'pos: [562.00, 133.00]']]
frame:34
[['26<-25', 'norm: 79.77', 'dir: [0.36, 0.93]', 'speed: 24.54 km/h', 'pos: [590.50, 207.50]']]
frame:35
[['27<-26', 'norm: 85.62', 'dir: [0.36, 0.93]', 'speed: 26.06 km/h', 'pos: [621.00, 207.50]']]
frame:36
[['28<-27', 'norm: 101.51', 'dir: [0.31, 0.95]', 'speed: 30.50 km/h', 'pos: [652.50, 304.00]']]
frame:37
[['29<-28', 'norm: 83.19', 'dir: [0.46, 0.89]', 'speed: 24.57 km/h', 'pos: [600.50, 458.00]']]
frame:38
[['31<-29', 'norm: 81.68', 'dir: [0.56, 0.83]', 'speed: 23.34 km/h', 'pos: [736.50, 525.50]'], ['32<-30', 'norm: 72.76', 'dir: [-0.14, -0.99]', 'speed: 21.88 km/h', 'pos: [564.50, 507.00]']]
frame:39
[['34<-32', 'norm: 54.02', 'dir: [-0.14, -0.99]', 'speed: 16.27 km/h', 'pos: [557.00, 453.50]'], ['35<-31', 'norm: 106.79', 'dir: [0.57, 0.82]', 'speed: 29.83 km/h', 'pos: [797.00, 613.50]']]
frame:40
[['37<-34', 'norm: 56.72', 'dir: [-0.16, -0.99]', 'speed: 17.88 km/h', 'pos: [548.00, 397.50]']]
frame:41
[['38<-37', 'norm: 68.07', 'dir: [-0.18, -0.98]', 'speed: 20.52 km/h', 'pos: [536.00, 330.50]']]
frame:42
[['39<-38', 'norm: 61.68', 'dir: [-0.19, -0.98]', 'speed: 18.63 km/h', 'pos: [524.00, 270.00]']]
frame:43
frame:44
frame:45
[['40', 'norm: inf', 'dir: [0.00, 0.00]', 'speed: 0.00 km/h', 'pos: [0.00, 0.00]']]
frame:46
[['41<-40', 'norm: 19.24', 'dir: [-0.16, -0.99]', 'speed: 5.04 km/h', 'pos: [497.00, 96.00]']]
frame:47
[['42<-41', 'norm: 14.04', 'dir: [-0.07, -1.00]', 'speed: 4.24 km/h', 'pos: [496.00, 82.00]']]
frame:48
frame:49
frame:50
```

圖十三、演算法輸出結果範例

結論

透過本研究，我們成功使用深度學習做到乒乓球的移動捕捉，並搭配演算法計算出乒乓球的移動速度、移動方向以及移動路徑。本研究所蒐集的影片資料高達數十部，並藉由切割方式取得數千張圖樣，透過 Roboflow 的訓練可達到實時的檢測，並最大可能的避免漏抓的情況。本研究成功建構出一套系統，能讓使用者以投喂影像的方式了解到球的運動形式，藉此在不依賴肉眼捕捉的情況下做出合理的得分判斷。該研究希望能以此協助運動員的訓練，幫助打造良好的乒乓球練習環境，並拓展至諸如奧運、世運等國際賽事上，以此對該項運動帶來發展。



參考文獻

- 1.<https://ieeexplore.ieee.org/document/8075888>
- 2.<https://ieeexplore.ieee.org/document/10179601>
- 3.<https://ieeexplore.ieee.org/document/10162116>
- 4.<https://ceur-ws.org/Vol-3181/paper38.pdf>
- 5.<https://mkirank.medium.com/training-an-object-detector-to-track-a-table-tennis-ball-f4567b1a6895>
- 6.<https://www.nature.com/articles/s41598-023-42966-6>
- 7.<https://www.mdpi.com/1424-8220/23/3/1726>



謝謝聆聽！