

利用 MediaPipe 和 CNN 分析籃球投籃姿勢的多類別模型訓練以及關節分析應用

Chieh-Hsiu Pao

Abstract—本篇報告是利用 MediaPipe 上的資源去找出姿勢的節點，然後運用在運動上面的分析。現在各種運動都一直在進步，不外乎是因為有科技的幫忙，體育現在已經有越來越多的像是分析師或是訓練師的工作出現，不光是對對手的分析相當重要，連運動員自己訓練時的分析也是對他們的進步有很大的優勢，因為可以參考職業球員的姿勢或者是可以將自身的姿勢用來分析是否對自己身體的傷勢，棒球方面像是揮棒姿勢的分析或者是投球的分析都對訓練有很大的幫助。籃球方面的話，本篇報告將運用節點抓出不同投籃姿勢的節點，然後將他們利用 CNN 去做一個 multi-class 的簡單模型訓練，可以用訓練出來的模型來判斷一個人的姿勢是像哪些球員然後以此為訓練目標，可以往那個球員的方向去做訓練，也可以將原始的圖片去做各種不同的影像處理，增加我們的訓練集。

Index Terms— MediaPipe, CNN, 運動分析, 影像前處理

I. INTRODUCTION

本篇報告提及了如何利用 MediaPipe 以及其他的影像處理去運用在各種不同的運動上，不論是訓練或是對比賽的分析都可以有很大的幫助。因為科技的發展，現在已經有越來越多的研究有應用到類似的概念，可以用來對運動員的進步有很大的幫助。

下列論文[1]-[4]都是有運用到 MediaPipe 中的各種函式來操作實驗的論文，尤其是 MediaPipe Pose 的部分。[1]是在提及因為近年來有很多獨居老人在家，可能會有跌到的風險，而這篇論文利用了 MediaPipe Pose 來辨別遭式以及利用模型來判斷老人是否有跌倒，可以做一個可以判別人類姿勢的移動機器人，論文中也應用了將例題的動作做出來的的方法，讓移動機器人的判斷可以更加準確，所以利用這篇所提及的方法對人體的姿勢進行分析。[2] 這篇與[1]一樣是在分析老人跌倒的裝置，但他加上了物聯網 (IoT) 的偵測配合手機上的系統，使

用預先訓練的 MediaPipe Pose 和隨機森林分類器

(Random Forest Classifier) 來識別跌倒事件，也就是說如果今天系統檢測到跌倒事件時，會觸發物聯網監測和警報系統，以及相關的警報訊息，以上的論文對未來都十分有幫助，我也將 MediaPipe Pose 的概念運用的我的報告上面，讓姿勢的分析更加精準。

[3]則是在說 MediaPipe 上的各種運用，通過上面的各種函式訓練出多分類的模型以及檢測，以此論文為參考，我希望能將多分類的模型應用在籃球的訓練上，可以用影像辨識出的資料作為訓練的資料，訓練出來的模型就可以拿來運用，以分類出各種不同的球員，可以用此模型來校正姿勢或是以此為基準作為訓練。[4] 這篇論文則是運用了 MediaPipe 進行身體關節點的檢測，然後運用有骨架化或是無骨架化的各種深度學習模型的性能。文中可以發現有骨架化對模型的預測結果有正向的影響。

[5] 這篇論文則是在說距離對籃球跳投表現的影響，因為釋放球的高度、角度或是速度都會有變化，就會對投籃的精準度產生變化，這是一篇十年前的論文，由這篇論文就可以得知關節出力的方式或是姿勢的變化對投籃會有很大的影響。[6]這篇則是在分析籃球運動用在比賽中手臂的變化導致下肢的聖物力學特徵，由此論文也可以看出姿勢對投籃的重要性。由[5],[6]的觀察下，所以我這篇報告就希望能將姿勢分析可以應用到訓練上。[7]是在說要如何預防棒球員在比賽中受傷的研究，可以發現有些姿勢對運動員會造成身體上的損傷，這篇論文利用運動捕捉系統測量的各種運動學參數與過度的關節負荷有關係，我認為若有用 MediaPipe 中的概念的話可以對這個研究有更大的幫助。

[8]則是在解釋車牌辨識的影像預處理會運用到什麼東

西，因為本篇報告也會需要抓出球員動作的邊緣或是對他們的照片做出預處理，所以我也運用了膨脹、侵蝕等等的方法來對照片做處理。[9]中也提及到了侵蝕以及膨脹的計算原理或是他的應用地方並且也做了些簡單的實驗來證明這是有用的方法，裡面會用到許多非線性的公式，由這個實驗的結果可以證明報告中的方法是可行的。

[10]說明了銳化圖片的實驗，因為銳化的 filter 對參數的選擇通常都很敏感又很耗時，所以這篇文章就提出了一種方法可以改善，本篇也有提及銳化的優缺點，如果之後想要往這方面改善的話也可以參考此篇論文。

[11]這則論文裡面有提到 rembg，這是一個可以去除背景的函式，[11]在論文裡面用了去背景以及還沒去背景的圖象做對比，本篇使用的影像技術就是用 mediapipe 去找到運動員的關節節點，可以更進一步去分析他的動作。

A. MediaPipe

MediaPipe 是 Google Research 所開發的多媒體機器學習模型應用框架，他可以運用在許多影像辨識的議題上面，而 MediaPipe 他的優勢在於它具有高效的處理能力他利用了圖形處理器 (GPU) 或神經運算元 (NPU) 加快了辨識圖像的速度。近年來越來越多人使用 MediaPipe 的原因是因為它取得方便建立環境也不難，所以可以在各種設備上做運用，而他同時也有跨平台支援的優點，包括 Android、iOS、MacOS 都可以運用。因為它提供了許多預先訓練好的模型可以直接應用，像是人臉追蹤、人臉網格、人物辨識、手掌偵測、全身偵測、姿勢偵測、物體偵測和人物去背等等。

B. mediapipe pose

本篇報告會運用到的是姿勢偵測以及人物去背。

MediaPipe 中的姿勢辨識(MediaPipe Pose) 模型可以標記出身體共 33 個姿勢節點的位置 (如 Figure 1 所示)，甚至可以進一步透過這些節點，將人物與背景分離，做到去背的效果。那麼它是如何分系人物的姿勢的呢，Mediapipe Pose 是使用了卷積神經網絡 (Convolutional Neural Network, CNN) 來對影像或者是圖片做姿勢的分析，只需要將圖片或是影片載入模組當中，就可以顯示出關節節點的位置 (如 Figure 1)，本次實驗採取圖片的形式來做實驗，當然如果能取得姿勢的節點，就可以拿來做許多事情，像是姿勢的追蹤等等，本實驗主要是想要拿來

然後個耶做訓練來看結果，實驗結果表明，去除背景對訓練可以起到很明顯的效果，所以本報告也會採取去背景的形式來對資料做訓練，因為訓練的過程中，勢必要避免會影響訓練的特徵，我們所需要分析的東西，是運動員本身，所以其他的背景是可以去除掉的。

II. GUIDELINES FOR MANUSCRIPT PREPARATION

體育在科技的輔佐之下，開始有了很多技術的發揮，

作為運動員訓練時的分析。2 為實際把球員的姿勢分析出來的圖片，我們希望此項技術可以應用在各種不同的運動上。

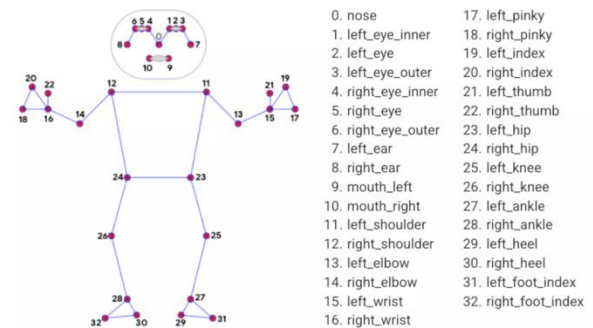


Figure 1 Mediapipe Pose 模型可辨識出的關節點



Figure 2 球員經過 MediaPipe Pose 所繪上的關節位置

C. MediaPipe Selfie Segmentation

那而除了 mediapipe pose 之外，我也有用到 mediapipe 中的去背景的功能，MediaPipe 提供了一個稱為 MediaPipe Selfie Segmentation 的組件，用於人物去背。那他可以將圖片中的人物獨立出來，將背景透明化，以此可以拿來替換景，在這裡會需要用到這個東西是因為如果要把資料拿去做辨識球員得時候，如果這時候有太多背景（如：其他球員或者是觀眾等等）會影響到辨識球員的方向，這時候就可以用 mediapipe 的這個功能，這個功能可想而知的可以應用在許多方面，像是 AR 或是合成圖片等等的技術都可以用到。Figure 3 就是我將圖片分割到白背景上的效果。因為可能背景太過於複雜或者是因為人物的邊緣不明顯，導致圖片無法被抓出來。為了解決這個問題，我找出了另一個開源軟件庫 Rembg。



Figure 3 MediaPipe Selfie Segmentation 去背景的效果

https://developers.google.com/mediapipe/solutions/vision/pose_landmarker/

C. Rembg

Rembg 是一個強大的圖像處理工具，它可以將圖片的背景去做移除。使用的方法上只需要將要處理的圖片輸入 Rembg 的函式裡，它會自動傳送圖片給預訓練的模型進行分析。他使用了深度學習中的語意分割原理進行背景去除，語意分割的意思就是把圖片的每個像素點進行分類，判斷該像素點是人物的部分還是背景的部分。然後就可以

保留人物，把背景透明化，生成透明背景的圖片，因為這是已經經過訓練的模型，所以可以進行分割。通常這種技術可以用在許多面向，像是要 p 圖或是編輯圖片的時候都會需要用到，本次實驗會需要用到也是為了要取出我們需要的圖片也就是人像的部分。由實驗結果 Figure 4 與上述 Figure 3 用 MediaPipe 所取出的照片，可得知這次的照片比較適合使用 Rembg 中的 remove。然而，如果今天我們輸入的影像背景比較複雜，可能會需要進一步的後期處理或選擇其他方法來達到更理想的效果。



Figure 4 使用 Rembg 中模型去背景的結果

III. 影像處理

如果圖片已經加上了節點，並且已經用 Rembg 或是 MediaPipe 裡面的東西做好前處理了，那麼還可以將圖片做其他的處理，如果要做訓練時，可以有更多的資料，以下就是我有用到的效果。

A. 邊緣檢測

我們可以將圖像中色彩以及亮度等等的值有劇烈變化的地方，也就是圖片中的邊緣去提取出來，實驗後的結果會如 Figure 5 所呈現。

這裡使用 Sobel 濾波器來進行邊緣的檢測，Sobel 濾波器是用於檢測圖像中的水平方向以及垂直方向的邊緣，因為有兩種方向，所以在程式碼中的計算會分成如 Figure 6 Sobel_1(y 方向、垂直方向)以及如 Figure 6 Sobel_2(x 方向、水平方向)，濾波器的元素會與圖像窗口內對應的像素質進行計算，最後將乘積的結果相加後就可以得到該位置的邊緣強度，分別計算完水平以及垂直方向的邊緣強度

後可以將他們的結果進行計算，我們使用的是將兩個濾波器的結果進行平方和開方運算，得到最終的邊緣強度值。當然也有許多濾波器可以拿來做檢測邊緣：像是 Prewitt、Laplacian、Canny 等等，Prewitt 較為快速但是可能只能處理一些比較低級圖像處理任務。Laplacian 濾波器是比較高級的方法但效率較差，Canny 則是最為複雜。

上述的方法都有各個的優點還有他們的應用範圍，使用以上的技術可以將圖片中的重要特徵被提取出來，可能可以對分析的資料進行擴充。



Figure 5 邊緣檢測處理後的圖片

Sobel_1 y 方向	Sobel_2 x 方向
$\begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 \\ 2 & 0 & -2 \\ 1 & 0 & -1 \end{bmatrix}$

Figure 6 Sobel 濾波器的矩陣

B. 銳化圖片

我們利用一個銳化濾波器，這個濾波器可以通過增強圖像中的邊緣來提高圖像的清晰度和對比度，使圖片中的邊緣更銳利、清楚，提高圖片的對比度。

而其中要如何將像素值進行計算來強調邊緣、細節我們這邊使用的是 Unsharp Masking 濾波器如 Figure 7，在這個運算過程中，會將圖片分成不同的色彩通道來進行計

算，因為以上的技巧可以強調圖片的細節等等，所以我們可以在運用各種影像處理前都先使用銳化，然而過度的銳化會使得圖像出現噪點或增加圖像的噪聲，Figure 8 就有做出不同參數的比較。因此，在應用銳化濾波器時需要調整參數，以達到對實驗最好的結果。下圖就是當過度銳化導致的噪聲點。

而銳化圖片可以應用在許多領域上，像是許多照片的後處理，可以增加照片的細節，可以凸顯照片的重點，通常在電影或是書本的封面都會常常用到這個技術，使畫面的重點可以增強，讓畫面更優美。近年來還有使用此技術應用在醫學影像中，可以使醫生更清楚的分析影像。本實驗也是希望在分析過程中可以讓細節更清楚，分得出球員的一些細節。

$$\text{Filter} = \begin{bmatrix} 0 & -a & 0 \\ -a & 1+4*a & -a \\ 0 & -a & 0 \end{bmatrix}$$

Figure 7 銳化的濾波器

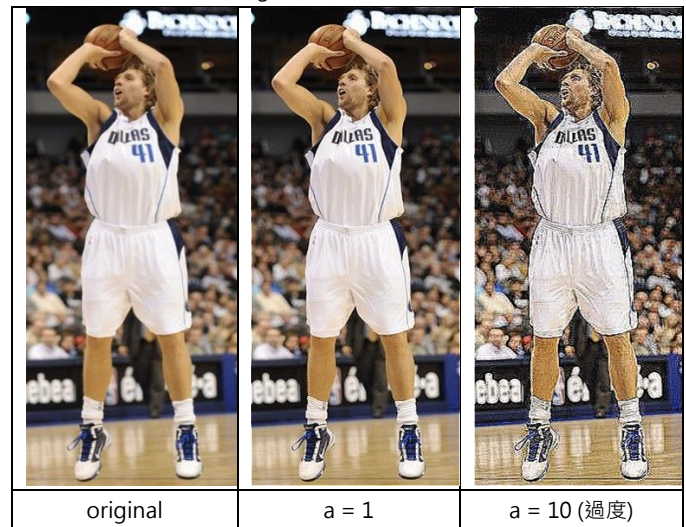


Figure 8 銳化圖片的比較結果

C. 提取人像及膨脹侵蝕

因為訓練中，可能會把球衣的圖案或者是顏色等等的東西一起辨識進去，這樣就會變成判斷這個球員是誰而不是拿來訓練用，所以我嘗試把球員的輪廓去提取出來如下圖。

圖片中我們保留了球員的輪廓然後將他的圖片其他我們不需要的部分都用成黑色，這樣可以剔除一些不必要的訓

練資料。然而圖中可以發現邊邊會有一些雜質或是小的空隙，在這種狀況就可以用侵蝕膨脹來解決這個問題。

侵蝕膨脹是用來處理二值影像的操作，侵蝕是將像素周圍的 3×3 區域取出，如果這個區域都是白色，那此像素就設為白色；否則將該像素設為黑色，侵蝕可以除小的白色區域或細小的物體，從而消除細小的雜訊。而膨脹則是將像素周圍的 3×3 區域取出，如果這個區域有任一白色的像素，那此像素就設為白色；否則將該像素設為黑色，膨脹操作可以擴大二值影像中白色區域的範圍，以填補小的空隙。

而我們在這個技術的基礎上定義了兩種運算方法，分別為 Opening 跟 Closing，Opening 是先進行侵蝕後再進行膨脹，這種操作方法能夠平滑我們的圖片，消除小的雜訊，這種方法通常用於去除小的雜訊或是平滑物體的邊緣。而 Closing 是先膨脹後再進行侵蝕，這種方法可以填補物體中的小洞，Closing 通常是用來處理平滑物體的邊緣填補物體中的空洞、連接斷裂的物體、平滑物體的形狀或去除小的黑色區域。下圖 Figure 9 可以看見 Opening, Closing 與未處理的圖片之比較。可以發現圖片邊緣的區域都有被填上，本此報告後面選用 opening 的方法來平滑訓練資料。

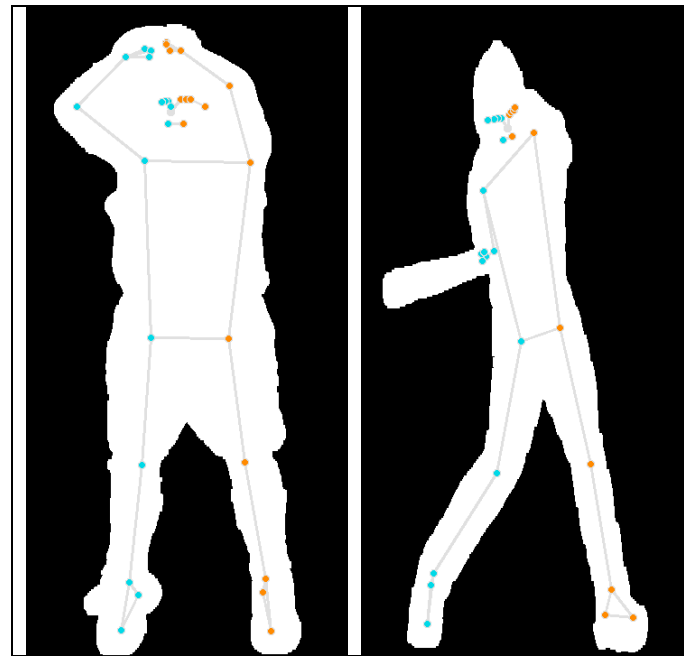


Figure 10 用上述提及技術所生成之資料

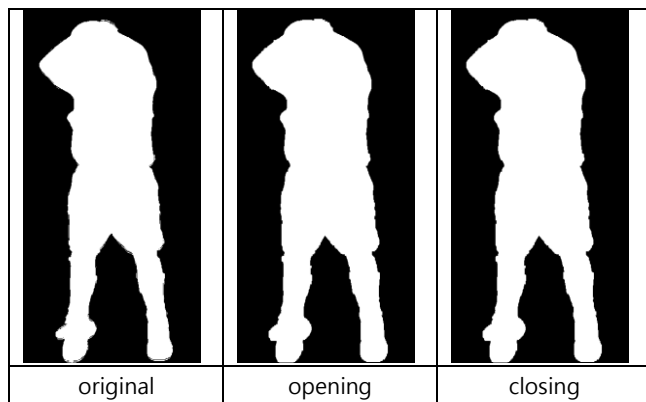


Figure 9 原圖與不同侵蝕膨脹方法之比較

D. 訓練資料

用上述的資料在運動領域可以用出許多訓練資料，然而我在這得實驗先取用一張圖片來作為訓練資料，所以我將球員跳投得圖片或是棒球揮棒的圖片取出球員的輪廓並對資料上節點，如下圖 Figure 10 所示。

IV. 實驗與應用實例

在籃球辨別球員姿勢實驗中，我先做一個簡單的模型而已，主要是要確定這個概念是可行的，可以辨別出你的投籃姿勢像誰。

A. CNN 模型

簡單地將球員的資料放到 CNN 裡面進行訓練，實驗中我只有放十個球員，因為只是簡單的測試而已，在實驗中我還用了資料擴充，讓資料可以有更多的變化，由於一個球員的投籃姿勢也會隨著受干擾程度或是角度的不同會有些微的偏差，所以我將每一個球員訓練的圖片至少用三張。訓練完的模型我會用同一個球員的投籃動作但是不同於訓練資料的照片做驗證，以代表這個模型是可以利用的。下列則是說明了我對資料擴充用了什麼方法。

1) **rotation_range;**

他可以對訓練資料的圖像做隨機角度的旋轉。

2) **width_shift_range;**

隨機水平平移圖像的範圍。Height_shift_range 就是垂直平移的範圍。

3) **shear_range;**

隨機錯切變換的角度範圍

4) **zoom_range;**

可以隨機縮放圖像的大小。

5) **horizontal_flip/vertical_flip**

水平、垂直翻轉圖像

下列 Figure 11 是用訓練好的模型，預測出驗證的球員的結果。由此可以得知這個模型是可以預測正確的。



球員圖片		
預測結果	dirk	kobe

Figure 11 實驗驗證結果

B. 應用實驗

這個模型的實際應用就是前面有提及到的，可以運用在訓練上面，像是下列 Figure 12 的高中生投籃姿勢可以判斷出他們的投籃姿勢跟哪位球員比較相像。像是第一位球員可以判斷出他像 Dirk Nowitzki 的投籃姿勢，那麼如果他想要往職業發展的話，就可以去參考這位職業藍球員的技能包，他的跳投會同時用到什麼動作，就可以往這方面去做訓練，第二位球員就可以去學習 Damian Lillard 的技能包，這對很多球員或是訓練師會有很大的幫助，讓球員可以有更明確的方向去做訓練。

當然不只投籃姿勢，也可以將自己的各種比賽中的動作與職業球員拿來分析以及比較，並且同時也可以參考職業藍球員的訓練方法或是比賽畫面，讓自己可以更快地適應職業賽場的節奏或是強度。

球員圖片		
預測結果	dirk	lillard

Figure 12 用訓練好的模型做訓練預測結果

C. 籃球的其他應用

除了上述提及的判斷投籃姿勢，也可以將這項技術運用在各種動作的分析上，以前科技尚未如此發達的時候，許多球員都深受一種病困擾，就是所謂的 Yips(易普症)，又稱為投籃失憶症，他是一種讓藍球員忘記如何執行動作技巧的疾病，大部分的原因都是因為過度使用特定肌肉造成在特定動作時肌肉產生不自主收縮的行情，特別是在重複性動作上最容易發生。有許多球員進入職業賽場會被要求更改自己的投籃姿勢，但有許多人反而因此遺失自己的準度，要完全的治療就需要請專業的物理治療師去分析會不會是哪部分的肌肉或是關節有不平衡的狀況，NBA 著名球星 Markelle Fultz 就曾經飽受這個症狀的困擾，遲遲無法回到球場，如果運用這項技術，就可以更加的幫助物理治療師觀察球員的姿勢是否有很大的差異，畢竟有時候身體些許的變化我們用肉眼看不出來，但是對身體上已經造成很大的影響了。

由此也可以得知這項技術對醫療也會有很大的幫助，對球員的治療可能可以達到加速的效果。下圖 Figure 13 也將訓練員對矯正姿勢的 before 以及 after 做合成，些微的差異對出球的發力點會有很大的影響。

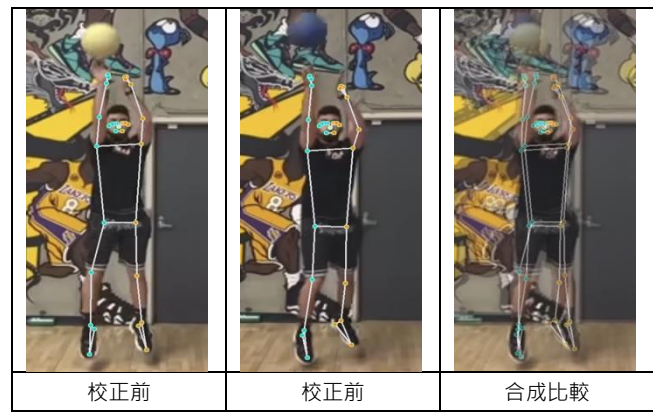


Figure 13 校正姿勢之比較

D. 棒球的發展

在棒球的發展上，我認為也可以使用這項技術。前陣子台灣旅美好手張育成 Figure 14(a)在比賽中不幸揮棒造成受傷，檢查後發現為左手鉤骨骨折。

根據[12][13]顯示，高達 96%的鉤狀骨骨折是由於擊球所造成的，並且多數骨折發生在選手非主打手的一側，他的成因都是因為揮棒的時候手部過多的力道會導致骨折，這時候這項技術就可以用來分析棒球員揮棒受傷的那一次擊球與平常的差別在哪裡，並且在復健過程中可以慢慢修正自己的打擊姿勢讓自己不要再傷到同一個部位，也可以在復健的時候利用分析姿勢讓自己復健的效果最大化。

近期一位棒球球員 Aroldis Chapman Figure 14(b)的變化我認為也有用到這項技術。Chapman 是一位以球速圍著稱的投手，然而經過年齡的摧殘，他已經不再是那個當年的火球投手，可以看下圖 Figure 15 得知他的直球均速正在歷年下降，去年就已經下降到了 97.5mph，令人驚豔的是他今年的直球均速竟然回春到了 99.5mph，根據球團的說法，那正是因為他們改變了 Chapman 的投球姿勢。經過對球員的姿勢分析後，配合他們的體態或是身材條件，可以針對每一位投手進行不同的調整，因為科技的進步，讓現在投手的球速可以越來越快，Chapman 這次的案例也是透過姿勢的微調，去讓他的投球可以更快，那麼本報告所提及的技術就一定可以有幫助分析師以及訓練員幫球員作出調整。

由上述的例子可以得知，不論是投手還是打擊手，都可以用這些技術讓自己的運動員生涯更加順遂，像是預防受傷、加強復健的效用等等或是在棒球上的訓練，都對運動員有很大的幫助。



Figure 14 棒球肢體分析之球員

Year	Pitch Type	#	# RHB	# LHB	%	MPH
2023	4-Seam Fastball	182	134	48	55.8	99.5
2022	4-Seam Fastball	377	275	102	55.5	97.5
2021	4-Seam Fastball	568	439	129	56.6	98.3
2020	4-Seam Fastball	144	94	50	72.4	97.8
2019	4-Seam Fastball	568	417	151	58.6	98.0
2018	4-Seam Fastball	606	448	158	65.9	98.7

Figure 15 Chapman 歷年速球紀錄

V. 未來展望及結論

這篇報告使用了 MediaPipe 中的 MediaPipe Pose 題取出各種圖片中人物的關節節點，再針對去做各種不同的操作，或是提出此技術可以發展的方向。

在實驗中簡單的模型中可以發現這個概念是可行的，實驗結果也有驗證成功，也對現在正要往職業發展的年輕台灣球員做出了他們的分析。但是真正要應用不可能只用 10 位球員，會需要更龐大的資料才能在真正為球員訓練時應用上。除了資料及的大小必須放大，另外我認為還有一點需要改善的就是通常投籃動作都會是連貫的，所以必須得用影片題取出多張圖片去做分析效果會更好，MediaPipe 也可以提供影片中的肢體辨識，所以這個方法是可行的，另外[14]也有提及一個技術，就是可以將 2D 的圖像轉為 3D，這樣可以對人體的各種姿勢分析得更透徹，題取出更多的特徵，這些都是可以讓模型更精準的一些未來展望方向。

除了模型的未來展望，也希望這項技術可以應用在更多地方，像是更多的體育方面都可以用這概念去分析，甚至

也可以不只侷限在體育的地方，可以運用到一些生活上的分析，人的走路習慣不同來辨別出不同的人之類的概念，都可以用本次報告提及的觀念去做分析。

REFERENCES

Basic format for periodicals:

J. K. Author, "Name of paper," *Abbrev. Title of Periodical*, vol. x, no. x, pp. xxx-xxx, Abbrev. Month, year, doi: 10.1109.XXX.1234567.

Periodicals using article numbers:

J. K. Author, "Name of paper," *Abbrev. Title of Periodical*, vol. x, no. x, Abbrev. Month, year, Art. no. xxxxx, doi: 10.1109.XXX.1234567.

Examples:

- [1] Kim, J.-W.; Choi, J.-Y.; Ha, E.-J.; Choi, J.-H. Human Pose Estimation Using MediaPipe Pose and Optimization Method Based on a Humanoid Model. *Appl. Sci.* 2023, 13, 2700. <https://doi.org/10.3390/app13042700>
- [2] C. A. Q. Bugarin, J. M. M. Lopez, S. G. M. Pineda, M. F. C. Sambrano and P. J. M. Loresco, "Machine Vision-Based Fall Detection System using MediaPipe Pose with IoT Monitoring and Alarm," 2022 IEEE 10th Region 10 Humanitarian Technology Conference (R10-HTC), Hyderabad, India, 2022, pp. 269-274, doi: 10.1109/R10-HTC54060.2022.9929527.
- [3] Singh, A.K., Kumbhare, V.A., Arthi, K. (2022). Real-Time Human Pose Detection and Recognition Using MediaPipe. In: Reddy, V.S., Prasad, V.K., Wang, J., Reddy, K. (eds) *Soft Computing and Signal Processing. ICSCSP 2021. Advances in Intelligent Systems and Computing*, vol 1413. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-16-7088-6_12
- [4] Garg, S., Saxena, A. & Gupta, R. Yoga pose classification: a CNN and MediaPipe inspired deep learning approach for real-world application. *J Ambient Intell Human Comput* (2022). <https://doi.org/10.1007/s12652-022-03910-0>
- [5] Okazaki VH, Rodacki AL. Increased distance of shooting on basketball jump shot. *J Sports Sci Med.* 2012 Jun 1;11(2):231-7. PMID: 24149195; PMCID: PMC3737873.
- [6] Struzik, Artur, Pietraszewski, Bogdan and Zawadzki, Jerzy. "Biomechanical Analysis of the Jump Shot in Basketball" *Journal*

-
- of Human Kinetics, vol.42, no.1, 2014, pp.73-79.
<https://doi.org/10.2478/hukin-2014-0062>
- [7] Sakiko Oyama, *Baseball pitching kinematics, joint loads, and injury prevention*, *Journal of Sport and Health Science*, Volume 1, Issue 2, 2012, Pages 80-91, ISSN 2095-2546, <https://doi.org/10.1016/j.jshs.2012.06.004>.
- [8] Joans, S. Mary. "Number Plate Recognition for Indian Cars Using Morphological Dilation and Erosion with the Aid Of Ocrs." (2011).
- [9] Breuß, M., Weickert, J. A Shock-Capturing Algorithm for the Differential Equations of Dilation and Erosion. *J Math Imaging Vis* 25, 187–201 (2006). <https://doi.org/10.1007/s10851-006-9696-7>
- [10] R. Dian, S. Li, A. Guo and L. Fang, "Deep Hyperspectral Image Sharpening," in *IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems*, vol. 29, no. 11, pp. 5345-5355, Nov. 2018, doi: 10.1109/TNNLS.2018.2798162.
- [11] Liang J. The research of background removal applied to fashion data : The necessity analysis of background removal for fashion data [Internet] [Dissertation]. 2022. (TRITA-EECS-EX). Available from: <http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:kth:diva-320601>
 pp. 585–590.
- [12] Engler ID, et al. Excision of Hook of Hamate Fractures in Elite Baseball Players: Surgical Technique and Return to Play. *Orthop J Sports Med*. 2022 Mar 30;10(3):23259671211038028. doi: 10.1177/23259671211038028.
- [13] Sheridan J, et al. Hook of Hamate Fractures in Major and Minor League Baseball Players. *J Hand Surg Am*. 2021 Aug;46(8):653-659. doi: 10.1016/j.jhssa.2021.03.015.
- [14] Philip V. Harman, Julien Flack, Simon Fox, and Mark Dowley "Rapid 2D-to-3D conversion", *Proc. SPIE 4660, Stereoscopic Displays and Virtual Reality Systems IX*, (23 May 2002); <https://doi.org/10.1117/12.468020>