

透視羽球——控球力評估系統

邱輝傑、劉柏宇、邱子宸、易志偉*

一、前言

羽毛球運動具有易學、易上手、趣味性高且運動量足等親民特性，加上近年臺灣選手在國際賽事上亮眼表現的推波助瀾，吸引更多人加入，目前已成為臺灣運動人口第二普及的運動項目。精熟羽毛球運動是具有挑戰性的，選手需擁有高度的手眼協調和快速反應能力，比賽時需先精確預判來球，做出快速反應及移動，應用靈活的戰術及精準高超的擊球技巧，掌握擊球瞬間以控制羽球的球速、方向及出球角，控出合適的軌跡及高度，以期打到刁鑽的落點，選手所展現出令人讚嘆的球藝，使比賽充滿看點。羽毛球是一項充滿激情的運動，無論單打、雙打還是混合雙打，比賽場上都瀰漫著挑戰極限的氛圍。選手們全情投入，全力追逐每一個羽毛球，彷彿他們在追逐一場激烈而精彩的對決。

在球員表現及控球能力的評估上，每次擊球的控球數據，如：出球的速度、方向及角度與軌跡的高度、落點及球種等，是關鍵指標。基於這樣的想法，我們開發基於電腦 3D 視覺的拍拍表現紀錄系統，可記錄場上對打過程球員每拍擊球的精準數據，用以記錄球員的表現，以綜合評估其控球能力及訓練成果。這套系統旨在運用先進的立體攝影與電腦視覺技術，追蹤羽球的軌跡，為場館使用者提供科學化的表現數據，提升運動體驗並增進運動學習的效率及娛樂性。因技術的進步、軟硬體成本的控制及實用性，這個方案或可成為未來智慧羽球場館的基礎設施，廣泛布建在羽球場館中，讓所有的羽球愛好者都能瞭解自己的打球表現，並享受科技帶來的喜悅。

這套智慧球館拍拍表現紀錄系統的應用，將為羽毛球運動注入科技化元素。在硬體上，為了能精確的量測時間資訊及進行 3D 定位，系統以軟體方式同步多臺高幀率攝影機，攝影機以 USB 介面連接至一臺配備 GPU 的伺服器，以

* 邱輝傑，國立陽明交通大學數據科學與工程研究所碩士；劉柏宇，國立陽明交通大學資訊科學與工程研究所碩士；邱子宸，國立中央大學資訊工程研究所碩士；易志偉，國立陽明交通大學資訊工程學系教授。

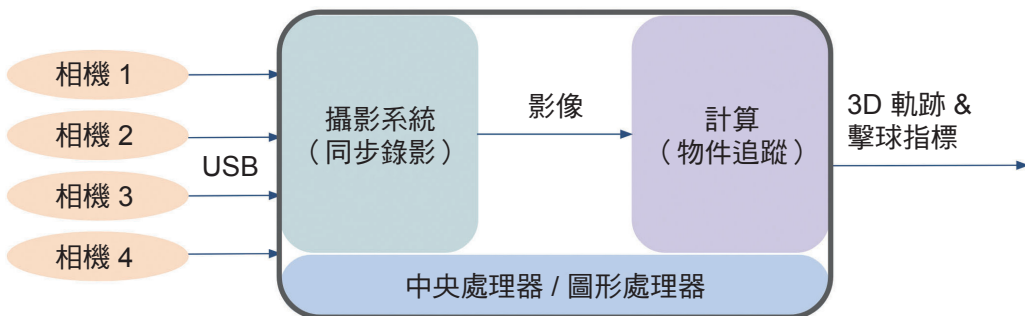
提供錄影及高速影像處理。在系統軟體上，自行開發攝影機的控制軟體，包含鏡頭形變、內部參數計算、外部參數計算及 3D 定位功能。在運動內容瞭解上，因羽球的軌跡是雙方對戰最重要的參考資訊，我們使用快速小物件追蹤深度學習網路執行羽球 2D 追蹤定位，進而計算 3D 軌跡，並從中解析球員的每拍擊球表現數據。系統能準確捕捉每次擊球的時間、擊球動作、羽球軌跡及動態表現數據，使球員和教練能夠深入分析每個動作的優勢及可能改進方向，這不僅僅是對個別球員有益，同時也對球館的營運提供新的亮點，以提高場地利用率。

這套科技化的量測方案為羽球運動提供不用的觀賞角度，透過系統提供的實時數據，深入瞭解比賽的動態和選手的表現，增添多樣且深入的觀賞體驗，同時也為羽毛球愛好者提供了一個更具互動性的環境，引領他們更加投入並參與到這項運動中。這套智慧球館拍拍表現紀錄系統的引入，不僅提升了羽毛球運動的科技水平，更為選手、教練、觀眾與球管經營者提供了全新的視野，透過與科技的結合增添娛樂效果，將有助於羽毛球運動的推廣與經營。

二、系統架構與方案

3D 攝影系統：多臺 120FPS 高速攝影機所組成，透過 USB 介面連接影像處理主機。為了追蹤及 3D 定位快速飛行的羽球，多臺攝影機的快門會以軟體進行同步拍攝並錄影，棋盤格法可用於鏡頭除形變參數與相機內部參數計算，而場地邊線則可用於外部參數計算。

羽球追蹤及定位：TrackNetV2 深度學習網路是針對如網球或羽球等會快速移動小物件所設計的，採用多進多出 (MIMO) 及 U-net 等設計，提供高達 100FPS 的小物件追蹤能力。



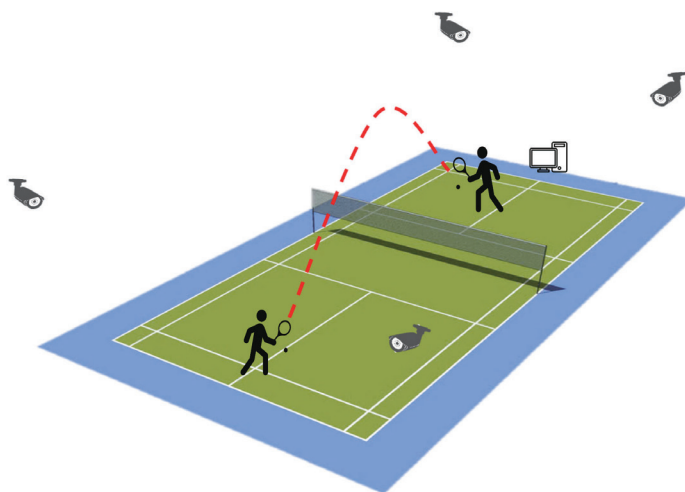
圖一：系統架構

3D 定位及軌跡平滑處理：在完成多個影像的 2D 羽球追蹤，利用相機的內部參數及外部參數，可以計算羽球的 3D 定位，但因定位誤差，羽球軌跡呈現曲折的現象，因此可用平滑化及內／外插等後處理來改善整體軌跡的合理性。

軌跡解析：羽球在被擊中時，軌跡會出現轉折，速度會有明顯的變化，因此透過解析軌跡來得知擊球事件或球落地，同時分解羽球對打的過程；此外，可以計算羽球被擊中後的瞬時速度、出球角及飛行速度，並可從軌跡的起點、落點及高度及參數進行球種分類及球員的控球評估。

三、攝影系統

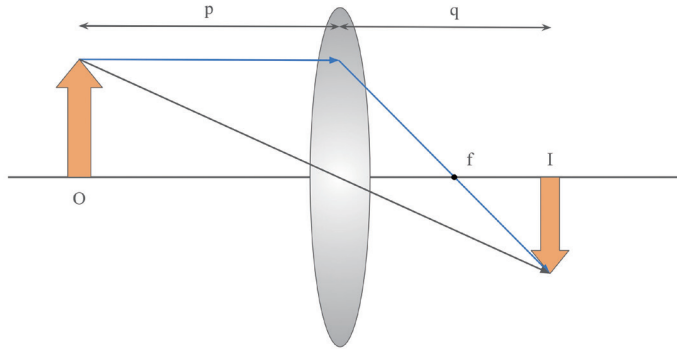
我們的系統採用了先進的立體攝影技術。該攝影系統由多臺同步高速攝影機組成，這些攝影機被裝設在羽球場地各個角落，如圖二所示。這樣的配置使得我們能夠以多視角同步錄製比分對打的畫面。這不僅使我們能夠捕捉球員擊球的姿態，還提供了更全面和詳細的羽球軌跡資訊。所錄製的畫面會即時傳送到高效能電腦進行分析處理，為後續的數據提取和分析提供了充分的素材。



圖二：3D攝影系統環境

該系統的第二個部分涉及相機內外部參數計算。主要功能是確保所錄製影像資料的高度準確性和可靠性。系統會自動計算相機鏡頭形變的參數，並提供後續校正所需的數據。同時，這個部分還為多鏡頭軌跡重建提供必要的參數。這樣的設計確保了系統在各種條件下都能提供穩定的影像數據。

相機成像的原理是一個涵蓋光學、幾何和成像過程的複雜主題。在這個過程中，我們通常使用一個光學系統，比如相機的鏡頭，來捕捉和投影真實世界中的物體，其投影如圖三。



圖三：相機成像原理

當物體距離鏡頭越近時，成像就會距離鏡頭越遠，反之亦然。在實際的成像過程中，光線從物體上折射，通過鏡頭系統，最終投影到感光或底片上形成影像。

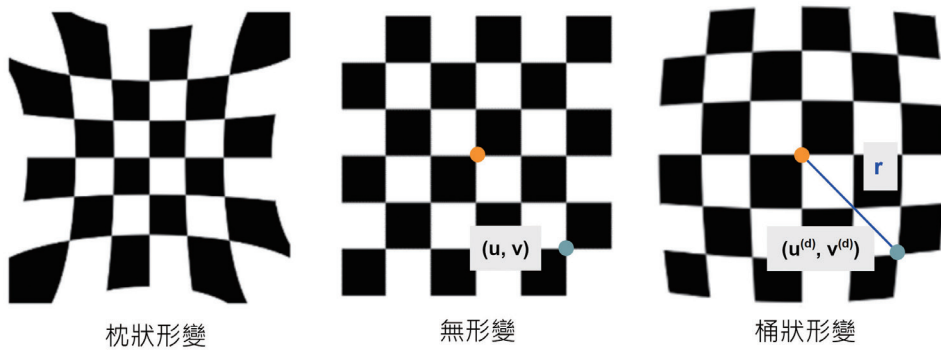
而我們的目標是想要從影像上的羽球座標回推 3D 世界座標，因此我們要先瞭解相機模型及數學原理。相機模型是描述相機如何捕捉三維世界的數學模型。針孔相機模型是相機模型的一種基本形式，它基於以下假設：相機是一個光學針孔，光線經過這個針孔投射到一個感光表面（例如相機的感光元件或相片底片）。

我們瞭解到上述的影像形成技術主要是關於針孔成像的原理。然而，實際上光線是透過透鏡成像在相機底片上，使用透鏡卻帶來了新的問題，在感光底片上的成像會產生不同程度的形變，如圖四，因此為了消除這些形變（以確保成像後的圖像與真實世界的景象相符），我們需要利用形變係數進行影像的校正。

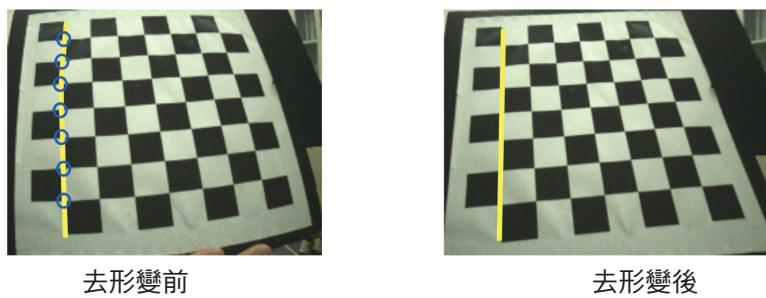
這些影像形變我們可以利用棋盤格法¹ 計算出形變係數，棋盤格法的步驟：

1. 拍攝棋盤格影像：在不同的角度和距離下，拍攝包含已知尺寸的棋盤格的影像。
2. 檢測角點：使用圖像處理技術（如角點檢測演算法）檢測棋盤格中的角點。
3. 角點配對：將檢測到的角點與棋盤格模式的理想位置進行配對。
4. 計算形變係數：利用找到的配對點，計算相機的形變係數，以校正失真效應。

¹ https://docs.opencv.org/4.x/dc/dbb/tutorial_py_calibration.html

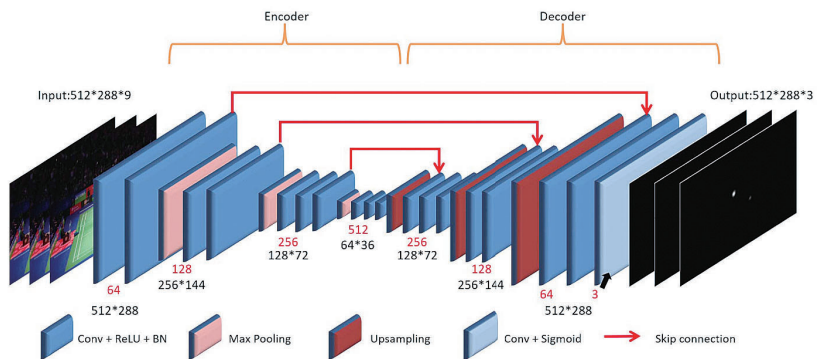


圖四：影像形變



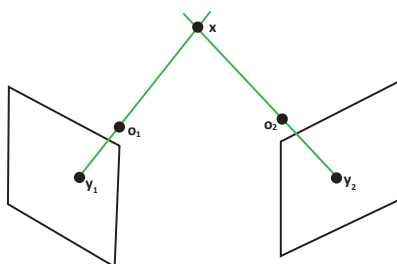
圖五：棋盤格法

第三部分是羽球的 2D/3D 軌跡計算。我們使用深度學習模型 TrackNetV2 來追蹤影片中的 2D 羽球軌跡，模型架構如圖六，作為羽球分析系統的核心之一，是一種先進的深度學習模型，專門設計用於追蹤羽球在影片中的運動軌跡，透過同時分析前後多張影像，並且通過大量的訓練數據學習辨識羽球在 2D 影像中的位置。這使得系統能夠即時追蹤球的運動軌跡，包括球的飛行方向和速度等關鍵資訊。這對於捕捉球員擊球瞬間及迅速變化的比賽局勢至關重要。



圖六：TrackNetV2深度學習模型架構

在重建羽球的 3D 座標時，單臺相機只有二維影像會缺少羽球的深度資訊，我們只知道羽球的位置相對於一臺相機是在一條直線上，當我們得出羽球在多臺相機的 2D 座標後，可以利用三角定位的方式，找出多條直線的交點，如圖七，便能算出羽球的 3D 座標。

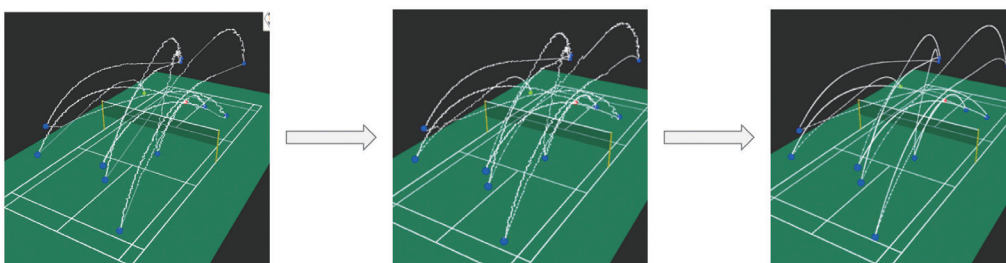


圖七：兩相機三角定位²

四、軌跡分析

在擊球事件的檢測和軌跡分析的過程中，3D 軌跡技術的應用可謂發揮了關鍵性作用。透過對球的運動軌跡進行細緻入微的分析，系統能夠不僅自動標記出球的起始點、擊球及終點等重要事件，還能深入解析每一個擊球的變化和軌跡特徵。這使得球員和教練可以更全面、深入的瞭解擊球的細節，從而更有針對性的進行技術和戰術的改進。

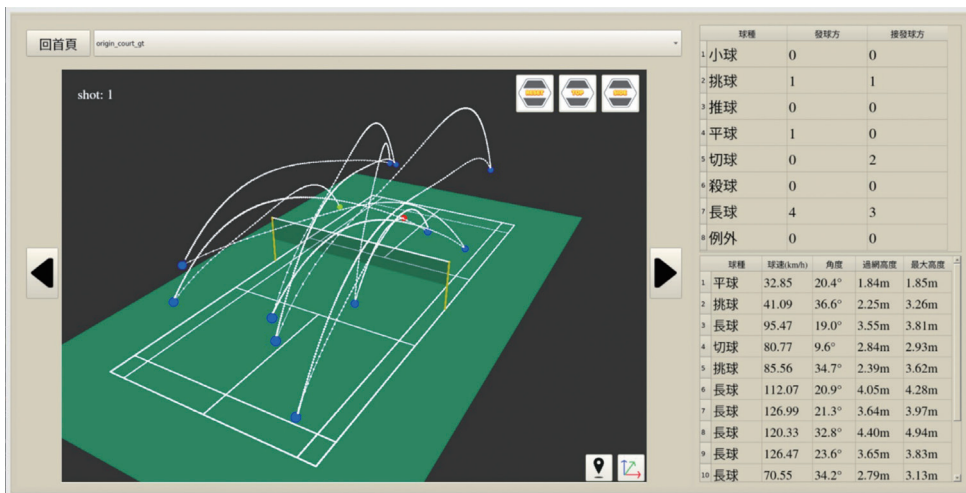
接下來是軌跡的分段和平滑化處理，這是確保軌跡分析結果更加穩定和清晰的關鍵步驟。通過細緻的分段，系統能夠更全面的理解球的運動情況，揭示擊球過程中的微妙變化和技術特點。同時，進行平滑化處理則有助於消除由於誤判或不穩定因素引起的不確定性，進一步提高分析的準確性，平滑化的結果如圖八。平滑化的結果不僅在數據上呈現更清晰、連貫的軌跡，同時也能夠使球員和教練更容易理解和應用這些數據於實際訓練中。



圖八：3D 軌跡平滑化

² https://en.wikipedia.org/wiki/Triangulation_%28computer_vision%29

最後是計算擊球表現數據的部分。這一部分是羽球軌跡解析的最終目標之一。基於 3D 軌跡，系統提取拍拍表現數據，如出球速度、出球角度和使用的球種等關鍵指標。這些數據以列表的形式呈現，為球員和教練提供了在分析和評估球技表現時所需的重要參考資料。同時如圖九，系統還提供了 3D 軌跡的視覺化功能，以直觀和生動的方式展示球的運動軌跡，有助於球員更好的理解和分析自己的擊球技術。



圖九：系統成果

這套系統的開發旨在提供精確且全面的羽球擊球表現紀錄，幫助球員和教練更好的瞭解球技表現、發現長處和改善之處。同時，觀眾和球迷也能透過這套系統獲得更豐富的觀賞體驗，深入瞭解羽球運動。這個系統的應用潛力廣泛，不僅可以應用於智慧球館，還可以用於訓練場地和比賽場地，提升羽球運動的品質和競爭力。

參考文獻

- Huang, Y. H., Huang, Y. C., Lee, H. S., Ik, T. U., & Wang, C. C. (September 2022). S 2-Labeling: Shot-By-Shot Microscopic Badminton Singles Tactical Dataset. In 2022 23rd Asia-Pacific Network Operations and Management Symposium (APNOMS) (pp. 1-6). IEEE.
- Liu, P. Y., & Ik, T. U. (August 2023). Badminton Shot Event Detection and Feature Calculation from 3D Rally Video. In Proceedings of the 52nd International Conference on Parallel Processing Workshops (pp. 22-29).
- Sun, N. E., Lin, Y. C., Chuang, S. P., Hsu, T. H., Yu, D. R., Chung, H. Y., & Ik, T. U. (December 2020). TrackNetV2: Efficient shuttlecock tracking network. In 2020 International Conference on Pervasive Artificial Intelligence (ICPAI) (pp. 86-91). IEEE.