

基於手機影像離線判斷桌球發球之拋球高度研究

賴儀紋¹ 侯良德¹ 王學斌¹ 林法伯¹ 洪彰鴻^{2*}

¹ 國立勤益科技大學電機系

² 國立勤益科技大學體育室

摘 要

許多運動已經開始導入影像科技來輔助裁判解決爭議進行最後判決，可以有效提高運動賽事判罰的公正性。在目前的桌球比賽中，發球時拋球高度問題是最難判定且有爭議的。因此，本研究針對桌球發球時拋球的高度，設計自動影像判定輔助系統，以手機錄製桌球發球的拋球動作，並精確的判斷桌球離開手的瞬間，直到球至最高點下降的瞬間，即為我們所要之發球拋球高度。演算法主要分為判定手的位置與找球位置的部分，最後藉由球的實際大小與像素的比例，找出拋球高度的實際距離。最後，期許此研究提供給相關的研究者，在桌球發球中的拋球違規，在影像科學的判定上給予更多的參考資料。

關鍵詞：桌球、霍夫轉換、YCbCr 色彩空間、連通元件標記法

通訊作者：洪彰鴻 411 臺中市太平區坪林里中山路二段 57 號 國立勤益科技大學體育室

電話：04-23924505*5636

傳真：23938809

Email: hongjh@ncut.edu.tw

壹、緒論

在桌球比賽中運動員為了獲得好成績爭取榮耀，選手們在技術上一直追求進步。因此，各方對於規則的制定，及要求運動員遵守比賽規則，也越來越嚴格。而在各項運動賽事中是否違規的判定，幾乎都依賴裁判本身的專業性與主觀判斷。然而，即使裁判是經過專業的訓練且盡量公平的判斷，也會因為主觀判斷的不精確性及生理上注意力降低等因素，導致賽事的誤判發生。在目前的桌球比賽中，爭議最大的違規判定，就是發球拋球高度的問題。桌球發球時拋球的高度至少需要達到 16 公分 (International Table Tennis Federation, 2018)，在沒有明確參考依據下，裁判要以肉眼精確判定是否違規確實有爭議。因此，有必要應用科技影像來輔助裁判之判決。許多運動已經開始導入影像科技來輔助裁判進行最後判決，並對於錯誤的判決提出更改，如網球及羽球的 Hawk-Eye (Baodong, 2014)，足球的 Goal-line technology (Nlandu, 2012) 及 VAR (王紅杰、向陽，2018)。

目前桌球裁判在判決方面大多依據本身的經驗與臨場的直覺反應，尚未應用影像技術來檢視裁判判決的正確性，因此選手對於裁判有質疑並沒有挑戰判決的空間。桌球裁判影像輔助系統目前尚在開發階段，Hung (2018) 建立一套桌球發球犯規影像判定輔助系統，而此系統採用之演算法是架構在高速攝影機獲取影像下，自動搜尋球的位置。由於高速攝影機價格昂貴不易取得，本研究擬嘗試應用手機捕捉影像，來建立桌球發球高度影像判定輔助系統。相較於高速攝影機，手機有著成本低、容易取得等優勢，如此不但有利於推廣，而且可做為訓練之輔助。計算桌球發球時拋球高度的首要工作為先找影像中之手部位置和球的位置。辨識手部位置的主要訊息是皮膚的偵測，研究指出 YCbCr 是適合用於皮膚的偵測 (Chai, & Bouzerdoun, 2000)，但由於大部分的圖片在 YCbCr 轉換過程中，會因為背景的影響，造成原本不是皮膚色的部份誤判為皮膚色，所以需要將雜訊濾除，若是直接找眾數，會因為圖面上只有黑白兩色，亦即雜訊及手之訊號皆相同，將無法判斷手的位置。根據 Gao 等人 (Gao, Siu, & Hou, 2001) 的研究中提到，運用相連通的影像，可以將影像中不必要的信息消除。連通元件標記法 (Connected-component labeling) 可將二值化後的影像，找出相鄰的像素是為同一元件，將互相連通的所有像素賦予同樣的標籤，代表這些像素屬於同一個區域，即同一個物件 (王偉存，2012)。因此，本研究以連通元件標記法來找出影像中手部位置。此外在找球的部分，最主要是圓形的判別。霍夫轉換是辨別數位影像形狀的知名方法，同常用於二值化影像的轉換，首先被應用於辨別直線後來功能延伸至辨識圓形 (廖俊鑑，2005)，而且也曾被運用於足球的辨識 (Orazio et al., 2002)。Wong (2007) 以類神經網路技術 (Artificial neural networks technologies) 來偵測圓形的桌球，其缺點為類神經模型是須要經過訓練才有能

力偵測，且此模型易受背景環境干擾而導致偵測錯誤。然而在找圓形的方法中，以霍夫轉換進行圓形的搜尋，已具備抗雜訊，以及演算法具有強健性等優勢 (Atherton, & Kerbyson, 1999; Ioannou, Huda, & Laine, 1999)。因此，本研究找圓的方法，則是使用 MATLAB 的內建函數「imfindcircles」來完成，而此函數是用霍夫轉換找圓的方式進行圓形的搜尋。所以，本研究將以霍夫轉換、連通元件標記法等運算技術來架構桌球發球自動化影像處理流程。

貳、方法

一. 研究流程

本研究之流程為以手機錄製收集桌球發球影像，再經由 MATLAB 的運算判斷手的位置並追蹤球的位置，並經由像素與現實長度關係的轉換算出發球拋球高度。

二. 實驗設備規格與限制：

本研究採用 iPhone 6s with 960×540 240 fps camera，為了判定方便及降低程式錯誤率，所以將手機擺放於黑幕之前，藉由手機擷取桌球拋球高度動作，取樣次數為 240 張靜態影像，影像大小為 960×540 像素，後續分析則針對每張畫格進行影像處理，實驗所使用桌球為日本 Nittaku NSD40+專業比賽用球。

由於本實驗拍攝的是速度較為快速的發球時拋球動作，所以本研究使用了 240 fps camera，而在快速攝影中，相機感光元件的曝光時間較短，因此會進入相機感光元件的光通量也隨之變少，所以在拍攝時，本研究必須在拍攝環境額外補光，以避免拍攝後整段影片素材太黑，而造成分析時的錯誤。另外，由於本實驗是使用桌球直徑以及拋球高度的像素轉換為真實距離，所以拍攝時的角度也至關重要，由於本系統並無設計視角補償機制，因此在拍攝時，本研究盡可能將攝影機的拍攝角度與桌球選手拋球之軌跡垂直，以此將視角可能造成的誤差降到最低。若光源或是背景的顏色與膚色較為接近，則可能造成電腦在分析影像時無法正確判斷桌球的位置而造成分析的錯誤發生。而由於本實驗使用的是快速攝影，在硬體設備的限制下，本系統無法在線即時進行分析，並且會隨著資料量變多，而使分析時間大幅變長。

三. YCbCr 色彩演算法

由於原圖片為 RGB 色彩空間，採用何種色彩空間對於膚色偵測而言非常重要。各種色彩空間基本可從 RGB 色彩空間轉換得出，採用何種色彩空間主要是看何種色彩空間能有效降低膚色跟非膚色的重疊性，為了避免環境光線對膚色造成的影像，一般都是忽略光線的影響，因此能夠將亮度獨立出來的顏色空間便常被人採用 (洪詩祐, 2009)。

Phung 等人 (2002) 認為使用 YCbCr 色彩空間來辨識膚色，優點是將亮度列為考量，並且可以減少儲存空間。所以本研究使用 YCbCr 色彩空間來偵測膚色。在本研究中的 RGB 色彩空間轉換至 YCbCr 色彩空間的定義，以高畫質顯示器 (High Definition Television, HDTV) 類型的方程式，來進行色彩空間轉換，Y 代表亮度 (Luma) 的資訊，而顏色的資訊則以 Cb 與 Cr 來進行表示。YCbCr 色彩空間與 RGB 色彩空間的疊加過程，如圖 1 所示。RGB 轉換為 YCbCr 的公式如式 (1) 至式 (3) (Jack, 2001)：

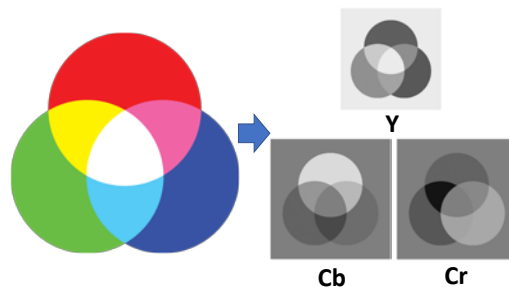


圖 1 YCbCr 色彩空間

$$Y = 0.213 \times R + 0.715 \times G + 0.072 \times B \quad (1)$$

$$Cb = -0.117 \times R - 0.394 \times G + 0.511 \times B + 128 \quad (2)$$

$$Cr = 0.511 \times R - 0.464 \times G - 0.047 \times B + 128 \quad (3)$$

其中 R 、 G 、 B 分別為紅、綠、藍的色彩成分。 Y 、 Cb 、 Cr 為 YCbCr 色彩空間的各色彩成分。並其範圍採用 8 位元的數位格式。

四.以霍夫轉換找出圓形

霍夫轉換常被應用在影像處理的圓形搜尋上。概念為影像中每一個非零的像素點都有可能是在圓上的一點，並由通過投票生成累積座標平面，最後以一個累積權重來定位圓 (Atherton, & Kerbyson, 1999)。本研究以 MATLAB 中的「imfindcircles」來進行搜尋圓的實現，即可在複雜的影像中找到符合特徵的圓形圖形。

五.影像像素與現實大小的轉換關係

本研究利用球的大小來進行影像像素與現實大小的轉換，實驗所使用的球為日本 Nittaku NSD40+專業比賽用球，其中球的直徑大小為 4 公分，程式測量球的大小像素為定值，其比值如下：球直徑 ($RADII \times 2$)：球實際大小 (公分) = 距離高度像素值 (手-球)：實際高度 (公分)

$$\text{經整理後得： } TRUE_{high} = \frac{4 \times (HAND_{max} - HIGHEST)}{RADII \times 2} \quad (5)$$

$TRUE_{high}$ ：實際高度 (公分)

$HAND_{max}$ ：球離手瞬間的手掌高度 (pixel)

$HIGHEST$ ：球的最高點 (pixel)

$RADII$ ：球的半徑 (pixel)

參、結果與討論

桌球發球過程整體可分為以下階段：1. 發球準備動作 2. 球離開手的瞬間 3. 球離開手上升至最高點 4. 球開始下降 5. 擊球。而本研究之目的就是要取得球離開手的瞬間與球離開手上升至最高點，也就是階段 2、3 之間的距離，並判斷其距離有無大於 16 公分。分析過程與結果如下：

一. 膚色辨識

本研究的首要程序為找出手的位置，由於膚色在 Cb 及 Cr 兩個分量內為不同的範圍，所以將其分為兩部份分析，在 Cb 內我們取的範圍為 $Cb \leq 128$ ，在 Cr 內我們取的範圍為 $Cr \geq 141$ ，並將其獲得的範圍變為白色 ($Cb=255$ 、 $Cr=255$)，其餘部份則變為黑色 ($Cb=0$ 、 $Cr=0$) 將兩個分量分析後的圖片重疊，其重疊之白色最大區域即為手的部份。

二. 雜訊濾除

本研究採用連通元件標記法之四連通將雜訊濾除，影像上會有多個元件 (component) 同時存在，此標記法是對於轉換後的影像元件給予標號，相鄰的元件給予相同的編號，最後即可區分出影像中每個像素 (pixel) 所屬的標號，而在像數太少的標號即可能為雜訊，因此我們可以透過尋找眾數的方式，找出涵蓋最多像素的標號，即為手臂部分，其餘涵蓋較少像素的標號則判斷為雜訊，再將這些標號上的像素清除，即可達到濾除雜訊的效果，如圖 2 所示。

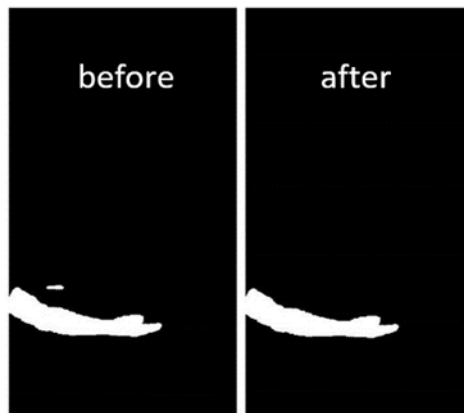


圖 2 雜訊消除結果

三. 霍夫找圓程式實現

在此我們使用 MATLAB 內建副程式「`imfindcircles`」判斷球於本圖中之正確位置，在分析過程中我們會先將球之半徑設定為一範圍值，但是因為靈敏度較高的關係會造成圖面中出現非常多的圓，因此我們須找出最符合設定值的圓，找到其最符合設定值的圓後，如圖 3 所示，MATLAB 同時匯出球的半徑距離及球心位置。

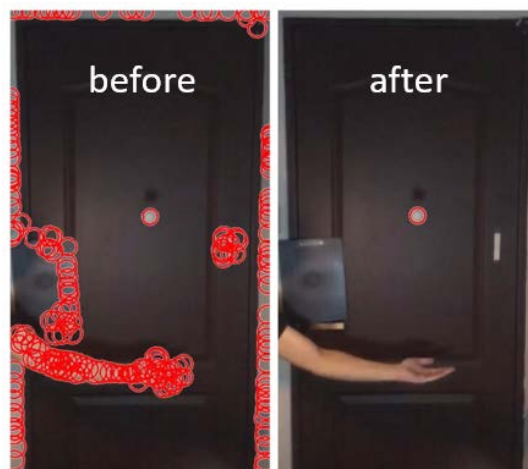


圖 3 霍夫找圓找出最符合設定值的圓

四. 判斷手部及球之最高點

此研究是用於判斷發球之拋球高度有無違規，因此需要找出手部最高點及球的最高點，並加以比較，藉此判斷有無違規之情形。我們先將連通分量標記後的矩陣進行轉置，並將維度由二維矩陣轉成一維矩陣，並找出一維矩陣中的第一個眾數的位置值，並且設定 Y 軸為垂直方向的位置變化量；而 X 軸則為水平方向的位置變化量，接著將位置值除以原矩陣之行數，由於其相除後之值不一定為整數，若有餘數則表示其位置位於其整數位之下一列，因此需採用無條件進入法，即可得到正確的 Y 軸最高值，此 Y 軸最高值即為手部最高點。

在前段敘述中，我們已經獲得最符合設定值之球半徑及位置，其位置值中包含球在此圖中之 X 分量及 Y 分量，X 分量代表的是球在此圖中的水平偏移量，Y 分量則代表了球的高度，由於此系統是用於判斷球員發球之高度，因此我們可以忽略 X 分量之值，並加以判斷 Y 分量，此 Y 軸最高值即為球之最高點。

在此部分的分析，我們使用了泡沫排序法 (Yan, Ke, & Chen, 2010) 的概念來取得球與手部的最高點，而泡沫排序法的排序方式是重複的讀取要排序的數列，一次比較兩個元素，如果這兩個元素的順序錯誤就把他們交換過來。而我們是將由程式中產生的兩個數值互相做比較，若是下一個數值大於前一個，我們就將此數值用比他大的數值覆蓋過去，反之則保留前一數值。

接著，我們以球的半徑作為判斷球是否離手之依據，在每一張圖片中，我們皆取得手部最高點及球心之位置，在發球過程中球未離手前，其球心位置與手部最高點的距離皆相同，此距離即為球半徑。因此，在球離手的瞬間，系統自動偵測其手部最高點與球心位置大於球之半徑值，即可判斷球已離手。但是在此過程中，有可能誤將手臂判斷為手部之最高點，此時球心與手部最高點之距離將直接大於球之半徑，將造成誤判，所以在這部份我們須另外加以判斷。

在 MATLAB 中，圖面的 Y 軸值為越靠上面其值越小，反之則越大，當球離手瞬間時，手部最高點減去球心位置所得的值將為正數，若是誤將手臂判斷為手部最高點，將其相減所得到的數將會是負數，由於在發球時，球離開手瞬間的手掌位置必定高於手臂位置，因此在我們取得正數之前的所有數值皆可忽略。

五. 顯示畫面

經由上述的膚色辨識、雜訊濾除、霍夫找圓程序後，可得到圖 4 的結果。圖 4 左結果顯示球離手的距離低於 16 公分的偵測結果，並標示為紅色。圖 4 右結果顯示球離手的距離高於 16 公分的偵測結果，並標示為綠色。將所有拋球高度數值繪製成曲線圖，如圖 5 所示。

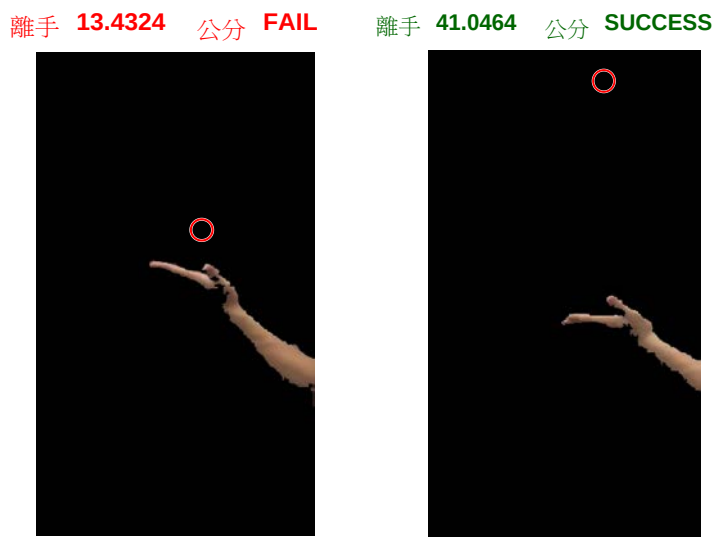


圖 4 球離手的高度

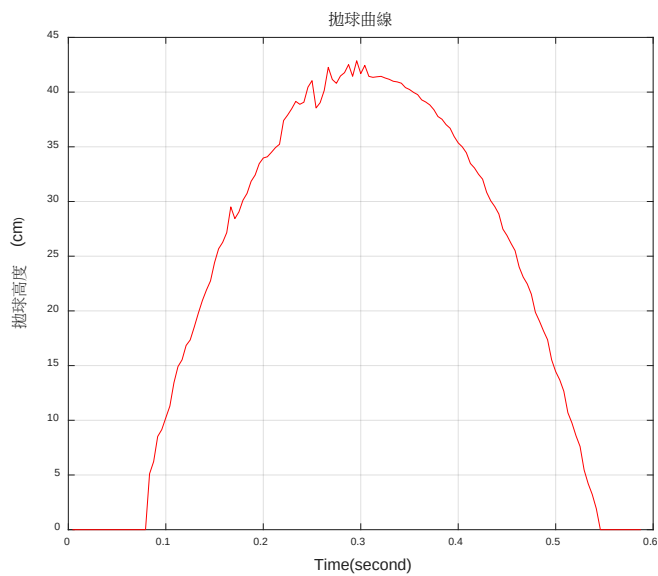


圖 5 拋球高度繪製曲線圖

六. 實驗數據與真實距離比較

為了驗證數據的準確性，我們在黑幕中加上尺規，在拍攝時要求拋球選手盡可能將手以及球的拋球軌跡貼近於黑幕，以此降低拍攝角度以及距離所造成的誤差，並且將此拋球軌跡直接使用人眼視覺得到拋球之真實高度，接著再與此實驗流程所得到的數據進行交互比較，來求得此分析流程所得到的數據之準確性。在圖 6 中我們得到了發球拋球時球離手瞬間位置，並且標示為離手 0 公分的位置，而在圖 7 中我們得到了程式分析發球時最高的位置，且得到分析高度為 37.36 公分，而黑幕中的尺規可以明顯看出球從離手瞬間到最高點約總共飛行過了 7 至 8 個區塊，而每個區塊為實際的 5 公分，可得到真實高度約為 35 至 40 公分左右，以上驗證了本實驗系統分析的準確性。

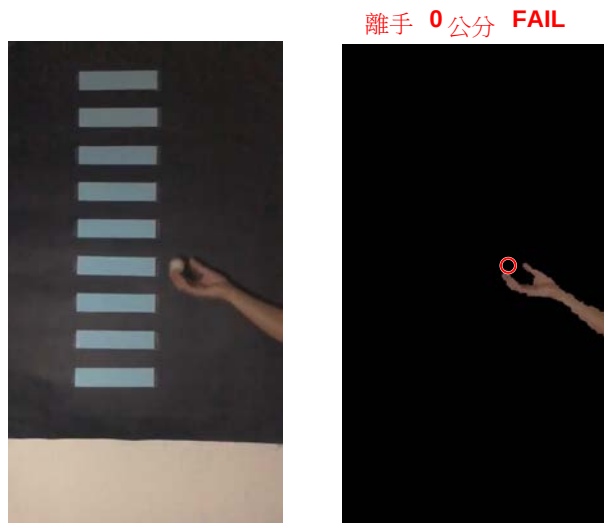


圖 6 拋球時球離手瞬間位置

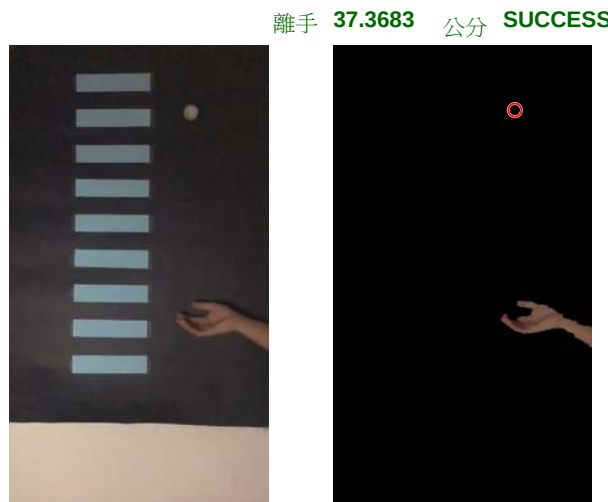


圖 7 拋球時球離手最高位置

七. 流程圖

依據本實驗結果整理出判定桌球發球拋球高度之細部流程，如圖 8 所示。

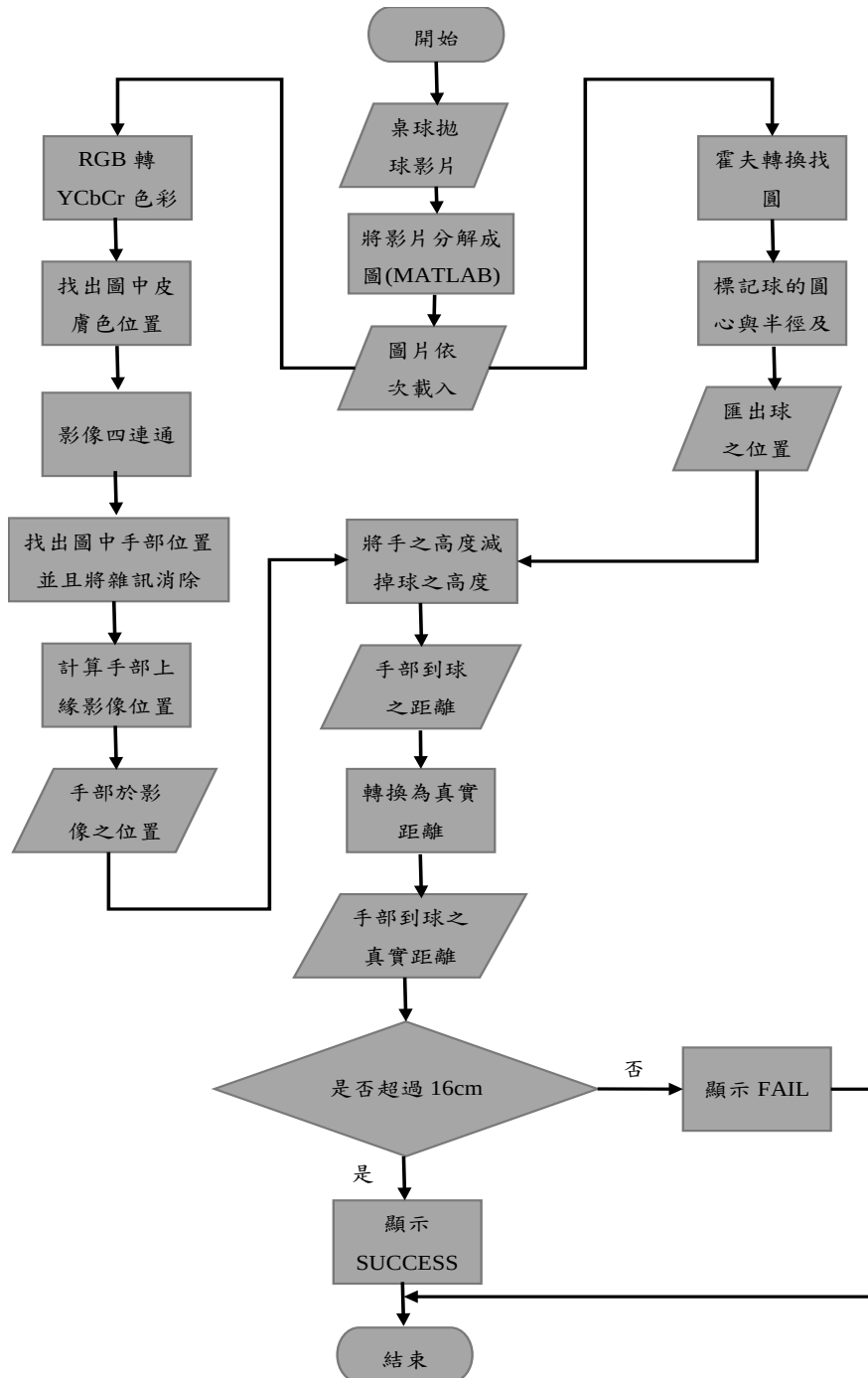


圖 8 判定桌球發球拋球高度之細部流程

肆、結論

桌球發球時拋球之高度必須高於 16 公分，要以肉眼精確的判定的確有難度，所以需要明確的影像依據或是輔助判決系統。而桌球發球過程只在極短的時間內即可完成，因此，影像輔助系統能在短時間內，提供判定的確是項挑戰。本研究嘗試在簡易的設備及光源條件下拍攝影片，並以色彩空間執行影像分割的流程，來自動進行球與手部皮膚的追蹤。以霍夫轉換自動搜尋球的位置，可在多雜訊影像下正確找出球的位置，所以，霍夫轉換搜尋圓對於抗雜訊的能力，在此範例的結果是最好的。在影像處理中的像素位置對應實際的距離單位，可由標的物實際大小與影像中的像素大小的比例來獲得，不須複雜運算即可進行轉換。本研究在電腦計算量的考量以及 iPhone 6s 的限制下，並無判斷拋球角度及視差的機制，我們也期待未來科技之進步，解決大計算量與高成本硬體的雙重限制條件下，在此領域的相關研究能更有突破。

參考文獻

- 王紅杰、向陽 (2018)。VAR 發展歷程及其工作機制簡析。《當代體育科技》，8 (25)，4-5。
- 王偉存 (2012)。利用影像之相關性及 Cb 值之分佈資訊之導盲磚區域搜尋方法研究 (未出版碩士論文)。私立中華大學，新竹市。
- 洪詩祐 (2009)。使用臉部訊息輔助自動化膚色偵測 (未出版碩士論文)。國立交通大學，新竹市。
- 廖俊鑑 (2005)。以改良式霍夫轉換為基礎的快速圓形／圓弧偵測方法之研究 (未出版博士論文)。國立臺灣科技大學，台北市。
- Atherton, T. J. and Kerbyson, D. J. (1999). Size invariant circle detection. *Image and Vision Computing*, 17(11), 795-803.
- Baodong, Y. (2014). Hawkeye technology using tennis match. *Computer Modelling and New Technologies*, 18, 400-402.
- Chai, D. and Bouzerdoum, A. (2000). A Bayesian approach to skin color classification in YCbCr color space. in *2000 TENCON Proceedings. Intelligent Systems and Technologies for the New Millennium (Cat. No.00CH37119)*, 2, 421-424.
- Gao, H., Siu, W. C., & Hou, C. H. (2001). Improved techniques for automatic image segmentation. *IEEE transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 11(12), 1273-1280.
- Hung, C. H. (2018). A Study of Automatic and Real-Time Table Tennis Fault Serve Detection

- System. *Sports*, 6(4), 158; doi:10.3390/sports6040158.
- Ioannou, D., Huda, W., and Laine, A. F. (1999). Circle recognition through a 2D Hough transform and radius histogramming. *Image and Vision Computing*, 17 (1) , 15-26.
- Jack, K. (2001). A Handbook for the Digital Engineer. 3rd ed. USA : LLH Technology Publishing, 15-30.
- Nlandu, T. (2012). The Fallacies of the Assumptions Behind the Arguments for Goal-Line Technology in Soccer. *Sport, Ethics and Philosophy*, 6 (4) , 451- 466.
- Orazio, T., Ancona, N., Cicirelli, G. and Nitti, M. (2002). A ball detection algorithm for real soccer image sequences. in International Conference on Pattern Recognition (ICPR), DC, USA, 16(1), 210-213.
- Phung, S. L., Bouzerdoun, A. and Chai, D. (2002). A novel skin color model in YCbCr color space and its application to human face detection. 2002 International Conference on Image Processing, 1, 289-292.
- The International Table Tennis Federation Handbook 2017. Available online: https://d3mjm6zw6cr45s.cloudfront.net/2016/12/2017_ITTF_Handbook.pdf (accessed on 30 June 2018).
- Wong, P. K. C. (2007). Developing an intelligent assistant for table tennis umpires. First Asia International Conference on Modelling and Simulation, Phuket, Thailand, 27-30.
- Yan, J. T., Ke, C. W., and Chen, Z. W. (2010). Ordered escape routing via routability-driven pin assignment. Proceedings of the 20th ACM Great Lakes Symposium on VLSI 2009, 417-422, USA: The ACM Digital Library.

Research on Determining the Height of Tossing Ball in Table Tennis Serve Based on Offline Mobile Phone Image

Yi-Wen Lai, Liang-De Hou, Xue-Bin Wang, Fa-Po Lin, Chung-Hung Hung*

National Chin-Yi University of Technology

Abstract

To ensure fairness in sports competition, many image technology based systems have been used to assist umpires and referees in resolving arguments and making the right judgment. In table tennis competition, the rule violation judgment with the greatest controversy is the height of the ball toss during service. Thus, we designed an automatic image judgment auxiliary system for ball toss height during service. We used the mobile phone to record the serve action, and accurately judge the moment when the ball leaves the hand until the moment when the ball reaches the highest point, which is the height of the ball toss we want. The algorithm is mainly divided into the determine the position of the hand and track the position of the ball. Therefore, the actual height of the ball toss is found by the actual size of the ball and the ratio of the pixels. Finally, it is hoped that this study will provide more useful information regarding how to identify illegal ball toss in table tennis using image processing techniques to other researchers.

Keywords : Table Tennis, Hough transform, YCbCr color space, Connected-component labeling,

