

籃球員自主投籃姿勢辨識系統之研究

夏至賢^{1,2*} 陳昭和³

¹國立宜蘭大學資訊工程學系

²中國文化大學科技藝術碩士學位學程

³國立臺灣科技大學電機工程系

摘 要

本文提出一個基於定點射籃動作並配合數值分析方法作籃球投籃姿勢以辨識進球與否。利用 Kinect 感應器擷取球員身體骨架動態節點資訊並捕捉全身動態動作進行研究分析。整體投籃辨識系統的架構，主要是從球員在罰球線投籃，由投籃預備期到籃球投射出去的軌跡過程，本文記錄身體連續動作骨架動態資訊分析。從籃球員身體的關節三維動態資訊中，擷取出完整的投籃動作中，作為分析與辨識。由實驗得知，本文所提出的籃球員自主投籃姿勢辨識系統進球辨識率可達 75%，非進球辨識率達 66.7%以及辨識時間為 15.625ms。

關鍵詞：Kinect感應器、身體骨架動態節點資訊、投籃分析。

ANALYSES OF BASKETBALL PLAYER FIELD GOAL SHOOTING POSTURES USING KINECT SENSOR

Chih-Hsien Hsia^{1,2*} and Zhao-He Chen²

¹Dept. Computer Science and Information Engineering
National Ilan University, Taiwan

²Master Program of Arts and Technology
Chinese Culture University, Taiwan

²Dept. Electrical Engineering
National Taiwan University of Science and Technology, Taiwan

ABSTRACT

This work proposes an analysis method base on field goal shooting postures that can predict good field goals. This work analyses the basketball player skeleton information which obtains from the Kinect camera. Based on the movement of the data captured from Kinect, we divide the field goal shooting posture into three steps, before-, mid-, and finish-action. The proposed analysis method abstracts complete field goal shooting movement from a series of continuous frames containing (x,y,z)-coordinate information of the joint positions. As results, the recognition rate of good field goals in all field goal shooting posture is up to 75%, while the recognition rate of missed field goal shots is 66.7%. The proposed technique has process ability in real-time up to 15.625ms.

Keywords: Kinect sensors, Human skeleton node information, field goal shooting analyses.

一、前言

在籃球運動中，投籃進球(Field goal shooting)率是比賽獲得勝利最重要的因素。一場比賽中如果能提高投籃時的進球率，比賽獲勝的機率相對也將會提高，因此提升投籃時的進球率是籃球選手訓練的主要目標之一。如果想要提升進球率就要維持穩定且良好的投籃姿勢。然而，投籃訓練中雖然有一套標準的投球姿勢，卻不見得適合每一個球員，所以練習投籃時通常會先以標準的投籃姿勢為基準，再依據每一個人的身型以及投球的身體協調感，逐漸調整自己的投籃姿勢，直到練習到維持穩定且一致的投籃姿勢。若有一套科學的訓練方式能幫助球員找出適合自己的投籃姿勢，就能提升進球率。因此，本文提供一個符合體育科學的系統流程，藉由科學的分析方法為球員在不確定的籃球訓練過程中，協助籃球球員找出適合自己的投籃姿勢。

文獻[1-2]對高爾夫揮桿動作體育科學學習方式之研究，提出九種初學者在揮桿上常犯的動作錯誤，並利用 Kinect 和演算法於使用者設計輔助系統，此文獻僅針對專家提出之姿勢做分析，並無針對其他可能的姿勢做研究。Hsia *et al.* [3]在探討籃球投球姿勢判斷與矯正分析，內容中將投籃姿勢分成三個階段，各階段中有其需判斷的姿勢。此文獻未將人體動態骨架資訊做錄製角度上的校正，部分未經角度校正的數據可能會影響分析的準確度且文獻僅計算出個別特徵對於進球與否的辨識度，即各特徵與進球與否間的關聯性，未考慮整體特徵與辨識度間的關係。Ding *et al.* [4]則是以動態時間校正(Dynamic Time Warping, DTW)演算法作為電腦判定人類控制智慧家電之手勢技術。此文獻除了以關節資訊作為特徵辨識並配合關節角度變化量的特徵；獲得其兩種特徵資訊後，接著為各特徵進行權重分配，分配方式是以經驗法則作為標準，此文獻在計算角度時僅針對 2 維平面的角度作分析，為依據 3 維的角度做分析。文獻[5]在探討勞工上之 MSD(Musculoskeletal disorders)危害評估研究。文中發現 Kinect 在人體骨架座標追蹤系統中，因節點座標出現震盪或跳動，產生不穩定影響(即雜訊干擾)。在收集數據時經由演算法算出人體肢段長度，此長度數值可作為依據如節點因雜訊跑出較大之誤差值時，則將此筆

資料刪除或以補點方式補上，加上平滑法所收集資料數據以提升穩定度，此文獻將數據平滑化的方法會造成數據的正確性降低。文獻[6]為了將標準專家動作模型套用在不同的人身上，藉由受試者與專家的肩頸比例，作為數據中距離的比例基準，此文獻在計算關節角度時，未考慮其方向性。文獻[7]是使用 Kinect 作為抽菸事件偵測的裝置，在偵測抽菸事件的人的通常不是站在定點定位定方向進行抽菸的動作，而是隨機出現，所以這篇文獻中，有一些篇章是在探討如何針對人體座標軸做校正的程序。有鑑於上述的問題，本文提出的辨識系統在進行數據分析前，會將數據做座標軸上的校正，減少分析時因誤差產生的錯誤，辨識的特徵包括角度和距離，藉由不同維度的特徵，將人體關節變化的方向性考量進來，除了考量專家提供之特徵外，也嘗試研究其他辨識度較高的特徵，因設備偵測造成的數據誤差，藉由統計方式將誤差數據排除在外。

本文分為五個章節，在第二章將介紹研究提出研究的流程與分析；接著在第三章中，提出實驗方法；第四章則是實驗數據分析結果；最後，在第五章做結論。

二、本文所提出之演算法系統

本研究計畫，利用微軟公司所推出的 Kinect 感應器及軟體開發工具(Software Development Kit, SDK)，以每秒 30 個影格速度(Frame per Second, FPS)偵測全身 25 個關節位置如圖 1 所示。以 Kinect 感應器偵測身體動態動作資訊，並利用 SDK 可以在籃球員進行投球動作時，紀錄其投籃動作的身體骨架資訊。

接著，將其投籃動作資訊存錄資料庫，以便進行研究分析如圖 2 所示，整體辨識系統的架構，主要分成資料處理和資料分析兩個部分。在資料處理的部分，處理的目的是要將一段投籃動作中，包含球員預備投球的姿勢到籃球投出後收手的資料中，標記從投籃預備時身體壓低的瞬間姿勢，以及標記出手時手肘高過於肩膀的瞬間姿勢，直到出手將球投出的瞬間。這一個區段中，投籃動態動作資訊每一個階段的影格，會被記錄在索引當中，如下圖 3 所示。

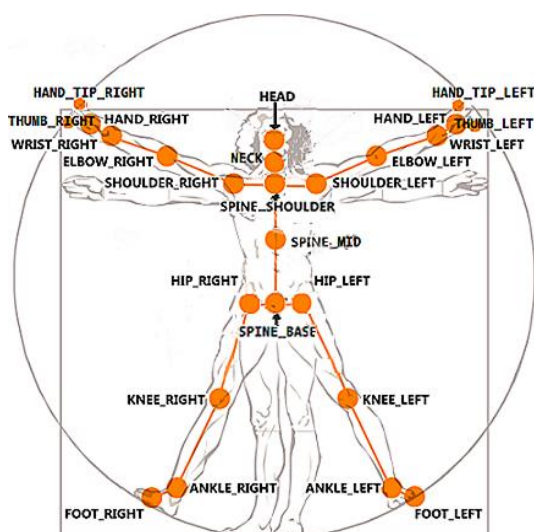


圖 1、Kinect SDK 所偵測到之全身的關節點

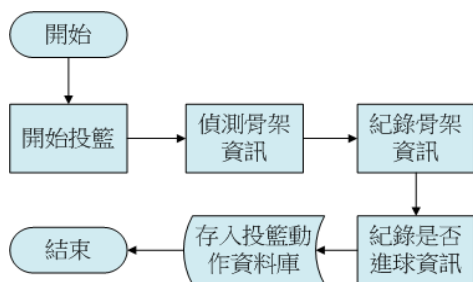


圖 2、錄製人體投籃資訊流程圖

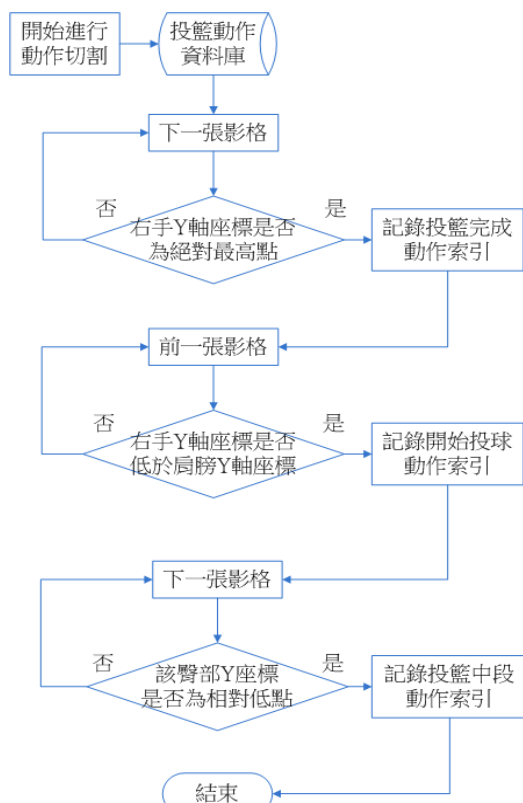


圖 3、紀錄投籃階段索引流程圖

在做資料分析時會當作擷取特徵時的基準，資料處理的部分還包括一開始提取出投籃的動作資訊時，會先將身體的位置資訊做座標軸的轉換，轉換的過程，會透過矩陣運算，將原先以 Kinect 感應器作為原點的三維座標系數據，轉換到以選手臀部為原點的三維座標系數據(如圖 6 所示)。資料分析的部分會運算 10 個特徵數值，其特徵包含身體瞬間動作時身體關節的距離和關節角度，每一個特徵分別在各階段瞬間做擷取，運算出來的距離和角度的數值會先以進球和不進球做歸類，並且統計在各個姿勢數據的當中。完成所有投球樣本的計算和統計後，會觀察每一個進球和不進球姿勢數值分布，接著會為每一個姿勢的數據設定閾值，閾值可以區分出進球和不進球的數值分布，閾值設定方法是利用類似於 ROC 曲線的方法，並藉由觀察，設定上下限閾值使得敏感度與特異度相加為最大值，即為最佳閾值；而每一次投籃資訊可以計算 10 個特徵中有幾個特徵有符合閾值的設定；如果符合閾值的特徵高過一定的數量，或是低於一定的數量，便可預測每一次投球，預測進球的辨識率及非進球的辨識率。然而，每一個特徵姿勢對於投球的預測率皆不一樣，所以會針對每一個姿勢的預測做權重調配，藉此增加整體辨識率，最終會有一個正確姿勢樣本，將作為初學者學習投籃時比對動作的依據。

三、實驗方法

在圖 4 中，本論文的實驗系統流程會利用 Kinect 感應器作為全身動態捕捉設備。在偵測投籃動作時，擷取全身骨架動態資訊；完成投籃動作時，擷取投籃動作骨架資訊，會經過資料處理，處理過程將會標註射籃動作的各個階段。分別是開始投球、投球中、以及完成投球，三個投籃動作階段，再來會經過座標系移轉的運算，將骨架資訊以設備為主的座標系移轉到以人為基準的座標系，之後將資料做特徵擷取運算，先前標註的每個投球動作階段，會有分別要計算和紀錄的特徵姿勢，如圖 5 所示。舉例而言，在投球中段會計算膝蓋是否有彎曲，彎曲的幅度是否夠大，開始投球時的站姿，兩腳寬度是否有與肩膀同寬，最終將對有進球的姿勢做統計分析，為每一種姿勢設定閾值，作為進球率較高的姿勢之樣本。然後系統會針對

辨識率較好的姿勢設定權值，做測試(Testing)分析時，會比對各階段對應的姿勢是否有達到標準，進而辨識此次投籃是否會進球。

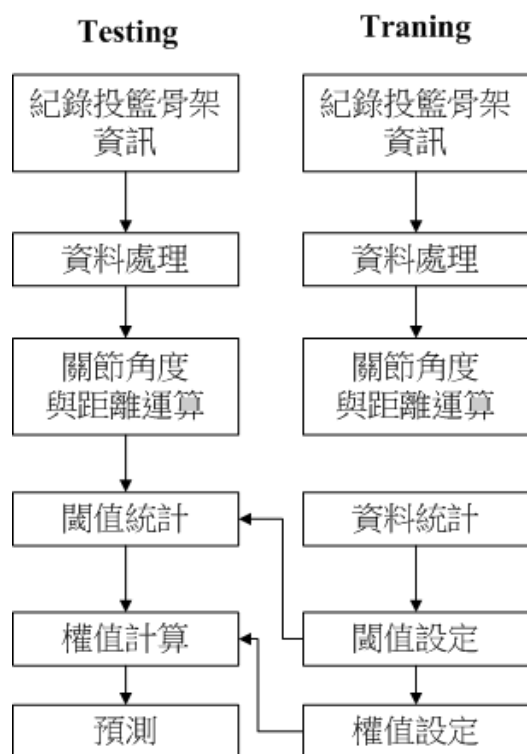


圖 4、研究架構

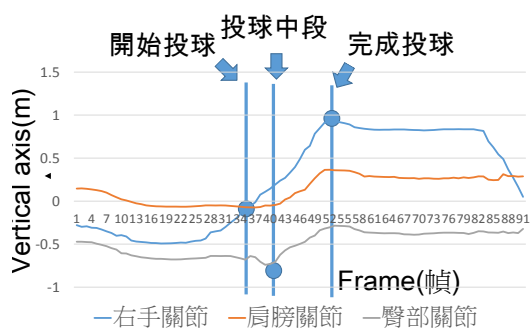


圖 5、右手、臀部、肩膀在 Y 軸上的曲線

3.1 投籃動作階段標記

投籃動作是一個連續性的動作，為了在這過程中找到明顯的特徵以正確分析投籃進球率，故本研究鎖定三個投籃的瞬間階段，分別 1)右手關節高過於肩膀的預備階段到降低重心、2)臀部到達最低點的瞬間、3)直到延展身體籃球離開指尖的瞬間；這三個階段是特徵姿勢擷取中主要的三個投球階段。在一個連續的投籃動作中標註這三個階段的方法是先找到

連續關節資料中，在 Y 軸上右手到達最高點的影格，並標註為完成投籃階段；接著在時間軸線上返回找在 Y 軸上右手低於肩膀的瞬間，並將該影格標註為開始投籃階段，然後在時間軸線上往前找在 Y 軸上臀部在十個影格內最低點的瞬間，並將該影格標註為投球中段，完整投籃動作標註流程如圖 3 所示。

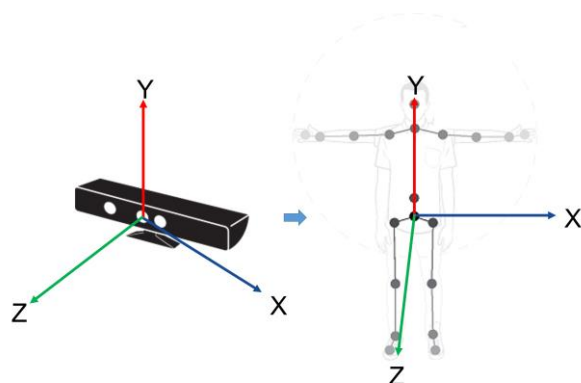


圖 6、座標系平移前後過程

3.2 座標系平移

在圖 6 中可見，座標系平移是將以 Kinect 鏡頭為原點的三維座標系，平移轉換到以球員臀部為原點的三維座標系，如圖 6 右邊。其轉換目的是為了避免因為拍攝角度以及站立姿勢方向的不同，在偵測人體關節時，會無法計算出關節之間真實世界的距離，而造成座標上人體關節距離的誤差，故以臀部中心關節(X_{hip} , Y_{hip} , Z_{hip})為坐標系原點。該方法除了臀部中心以外的關節座標，與臀部中心的關節座標相比。換句話說，新的座標系統是身體關節與臀部中心的關節座標相對位置，為了得到新的座標系統，每一個臀部以外的關節都會和臀部中心的關節座標相比，利用式(1)所示。 P_t^c 為所要計算之該關節的該維度數值， P_t^c 為新的座標系中該關節的該維度數值， $P_{hip_center}^c$ 為臀部關節的該維度數值。

$$P_t^c = P_t^c - P_{hip_center}^c \quad (1)$$

以球員臀部為原點的新的三維座標系統，並不是一個正確的相對座標位置，經平移後的座標系統，臀部關節與其他關節的相對座標位置會有誤差。其主因是 Kinect 感應器為原點的三維座標系統，會因為鏡頭面對人體的角度的不同，而造成人體關節相對位置有所差

異。舉例而言，用不同的角度拍攝同一個球員姿勢所得到的兩個座標位置，經過座標系統轉移後，所得到兩個新的同樣是以髋關節為原點的座標相對數值不同。其解決方法是利用三角形內積公式(如式(2))所得到 Kinect 感應器正對與雙肩平行的偏移角度後，再利用 Y 軸旋轉公式，如下式(3)和式(4)所示。再將每一個關節轉換到正對鏡頭的角度，即完成角度偏移的校正，如下圖 7 所示。

$$\theta = \cos^{-1} \frac{\vec{u} \cdot \vec{v}}{|\vec{v}| |\vec{u}|} \quad (2)$$

$$(x'' y'' z'' 1) =$$

$$(x' y' z' 1) \begin{bmatrix} \cos \theta & 0 & -\sin \theta & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 \\ \sin \theta & 0 & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$P_i^{''t}: \begin{cases} x'' = z' \sin \theta + x' \cos \theta \\ y'' = y' \\ z'' = z' \cos \theta - x' \sin \theta \end{cases} \quad (4)$$

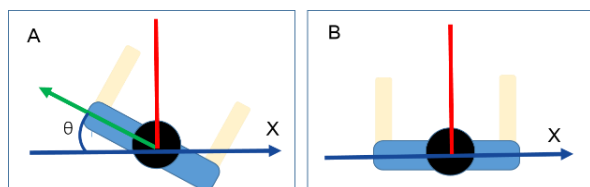


圖 7、坐標系角度校正俯視圖：(a)校正前；(b)校正後

3.3 特徵姿勢

本研究根據專業籃球運動教練所提供之建議，經實驗篩選分析，提出 10 種特徵姿勢。每一個特徵只會有一個投籃階段時擷取。除此之外，每一個特徵的數值會在特定的投籃階段做擷取，如圖 8 所示。我們將分別對下列 10 種特徵姿勢逐一介紹，特徵為身體關節角度或距離，角度計算方式使用餘弦定理，取三個關節計算其所形成之三角形邊長 a、b、c，接著代入式(5)中，即可進行角度運算。

$$\theta = \cos^{-1} \frac{b^2 + c^2 - a^2}{2bc} \quad (5)$$



圖 8、投籃各階段示意圖

3.3.1 右膝關節角度

根據專業籃球教練建議，在進行投籃動作時，首先屈膝降低重心，彎曲膝蓋讓身體維持一個蓄積力量的狀態，之後再延展身體將球投出。此特徵是利用感應器取得投籃期的中段，也就是身體重心最低的瞬間(即投籃時髋部關節(Y_{hip_center})位於最低點時的影格)，接著擷取右膝關節與右腳腕關節及右腳踝位置，並計算的出膝蓋彎曲角度。



(a)



(b)

圖 9、投籃特徵姿勢 1：(a)投籃姿勢；(b)姿勢 1 擷取階段

3.3.2 左膝關節角度

左膝關節角度，同樣是擷取進行投籃動作時投籃期的中段，身體重心最低的瞬間(即投籃時髋部關節(Y_{hip_center})位於最低點時的影格)，接著擷取左膝關節與左腳腕關節及左腳踝關節位置，並計算的出膝蓋彎曲角度。



(a)

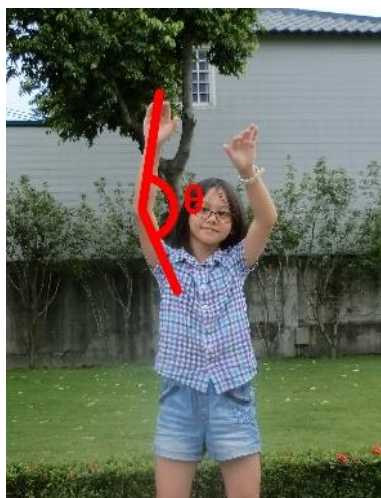


(b)

圖 10、投籃特徵姿勢 2：(a)投籃姿勢；(b)姿勢 2 擷取階段

3.3.3 右肘關節角度

根據專業籃球教練建議，為了讓球到達籃框，在進行投籃動作時，將球從手中投出去的瞬間，從手肘是否有打直來判斷是否有使出足夠的力量推送球，此特徵是利用感應器取得投籃期的完成投球階段，右手將球投出的瞬間(即投籃時右手關節(Y_{hand_right})位於最高點時的影格)，接著擷取右肘關節與右腕關節及右肩關節位置，並計算的出右手肘關節彎曲之角度。



(a)



(b)

圖 11、投籃特徵姿勢 3：(a)投籃姿勢；(b)姿勢 3 擷取階段

3.3.4 左肘關節角度

左手肘關節角度，同樣是擷取進行投籃期的完成投球階段，右手將球投出的瞬間(即投籃時右手關節(Y_{hand_right})位於最高點時的影格)，接著擷取左肘關節與左腕關節及左肩關節位置，並計算的出左手肘關節彎曲之角度。



(a)

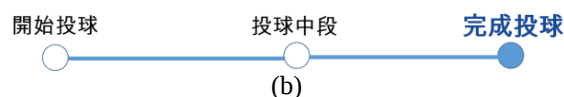
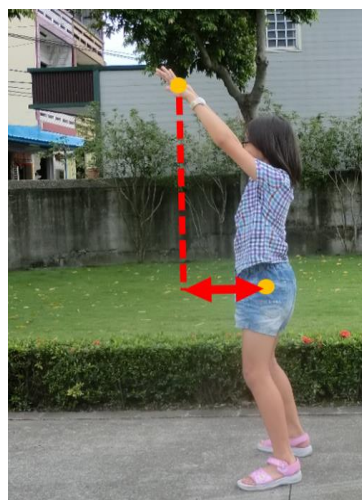


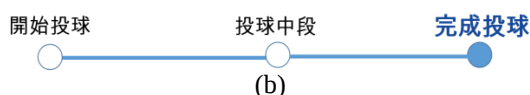
圖 12、投籃特徵姿勢 4：(a)投籃姿勢；(b)姿勢 4 擷取階段

3.3.5 右手在 Z 軸上與臀部的距離

根據專業籃球教練建議，為了讓球到達籃框，在進行投籃動作時，將球從手中投出瞬間，可以從手是否向前延伸足夠水平方向的力量，來判斷球的飛行距離是否足以進入籃框。此特徵是利用感應器取得投籃期的完成投球階段，右手將球投出的瞬間(即投籃時右手關節(Y_{hand_right})位於最高點時的影格)，接著擷取右手的關節位置(Z_{hand_right})，得出右手關節與臀部中心之 Z 軸距離。



(a)



(b)

圖 13、投籃特徵姿勢 5：(a)投籃姿勢；(b)姿勢 5 擷取階段

3.3.6 彎腰角度

在進行投籃動作時，降低重心的方式，除了屈膝維持蓄積力量的姿勢並彎腰，讓身體重心向前降低，此特徵是利用感應器取得投籃期的中段，身體重心最低的瞬間(即投籃時臀部關節(Y_{hip_center})位於最低點時的影格)，接著擷取臀部關節與中間脊髓關節及右膝關節位置，並計算的出腰部彎曲角度。



(a)



(b)

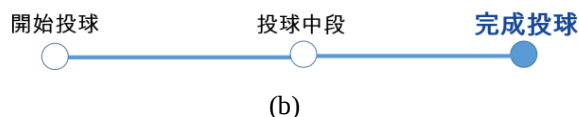
圖 14、投籃特徵姿勢 6：(a)投籃姿勢；(b)姿勢 6 擷取階段

3.3.7 右肩關節角度

根據專業籃球教練建議，為了讓球進入籃框，讓球飛行軌跡到達一定的高度可以增加進籃的機率。在進行投籃動作時，將球從手中投出去的瞬間偵測肩膀關節的角度，可以判斷手是否有將球推高到一定的高度，此特徵是利用感應器取得投籃期的完成投球階段，右手將球投出的瞬間(即投籃時右手關節(Y_{hand_right})位於最高點時的影格)，接著擷取右肩關節與右肘關節及臀部關節位置，並計算的出右手肩關節彎曲之角度。



(a)



(b)

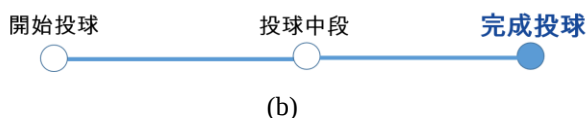
圖 15、投籃特徵姿勢 7：(a)投籃姿勢；(b)姿勢 7 擷取階段

3.3.8 左肩關節角度

左肩關節角度同樣是擷取進行投籃期的完成投球階段，右手將球投出的瞬間(即投籃時右手關節(Y_{hand_right})位於最高點時的影格)，接著擷取左肩關節與左肘關節及臀部關節位置，並計算的出左手肩關節彎曲之角度。



(a)



(b)

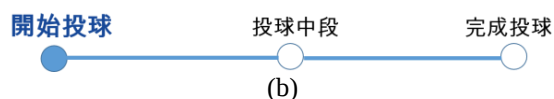
圖 16、投籃特徵姿勢 8：(a)投籃姿勢；(b)姿勢 8 擷取階段

3.3.9 手腕與髖關節軸心

根據專業籃球教練建議，投球時身體右手到右膝保持同一軸心可幫助投球穩定投出，下半身的力量更穩定傳達到籃球上，為了判斷右手到右膝是否保持同一軸心，分成兩個特徵做判斷，分別是手腕與髖關節及髖關節與膝蓋。此特徵是利用感應器取得投籃期的投球開始階段，接著擷取手腕(X_{hand_right})與髖關節(X_{hip_right})位置，並計算兩者之 X 軸距離。



(a)



(b)

圖 18、投籃特徵姿勢 10：(a)投籃姿勢；(b)姿勢 10 擷取階段

四、實驗數據

本實驗所使用之球員自主投籃動態資訊為自行錄製資料，受測籃球員慣用手為右手，投籃位置為罰球線射籃，資料樣本數總共有 40 個進球數，21 個非進球數；其中拆分 20 個進球數及 12 個非進球數作為特徵閾值訓練資料，20 個進球數及 9 個非進球數作為測試使用資料。

每一個樣本皆會經過 10 個特徵運算，其特徵個別運算結果會統計在一起，每一個特徵的數值分布可以從圖表中看出。接著，本文會為每一個特徵各別設定閾值，閾值設定方法是

利用類似於 ROC 曲線的方法，設定上下限閾值使得敏感度與特異度相加為最大值，即為最佳的閾值。敏感度即是進球辨識度，特異度則為非進球辨識度，首先，查看特徵的數值分布，粗略的設定閾值，為了找出較佳的閾值設定，藉由觀察敏感度與特異度相加的結果，逐步修正閾值，使得敏感度與特異度相加為最大，藉此得到較佳的辨識效果，如圖 19(a)至圖 19(j)為 10 個特徵的數值分布，表 1 為經過上述方法後所獲得閾值設定的結果。

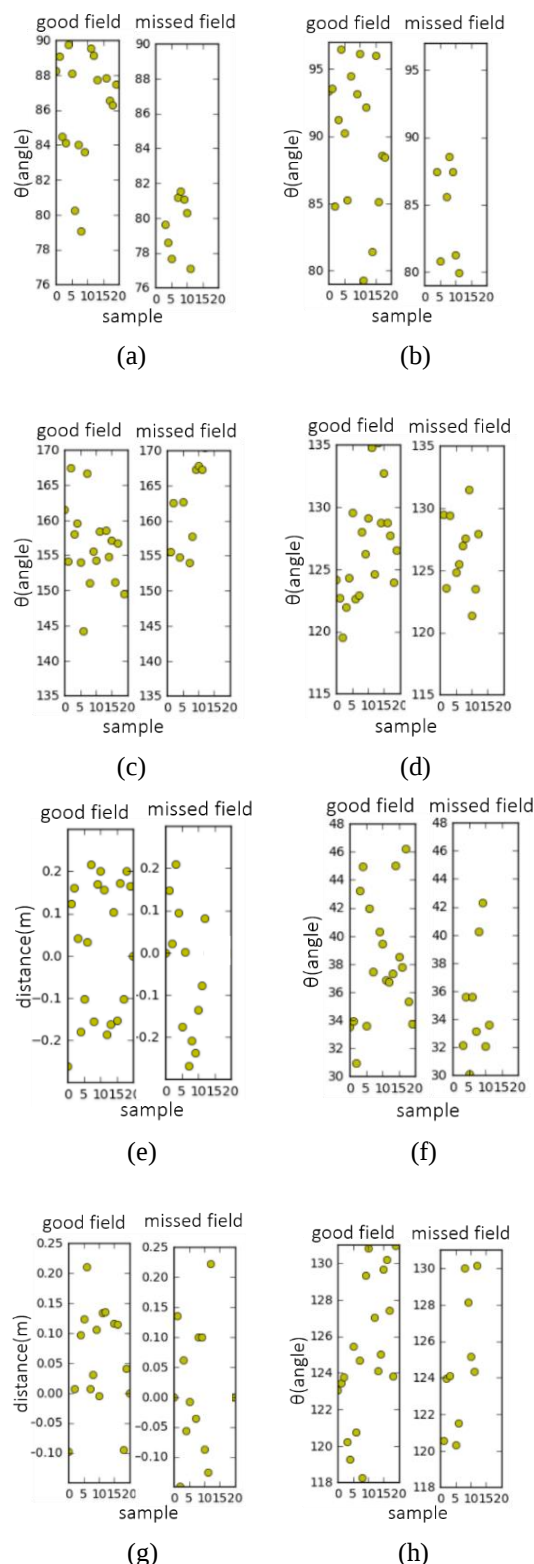
進球結果的方法是採用投票統計方式，只要有一項特徵數值在閾值設定範圍內，就計入一票進球預測。每一特徵的擁有的票數均為 1 票，也就是權值為 1，有超過 6 票以上的進球預測，則預測此投籃資料為進球樣本，否則預測為不進球樣本。表 2 為辨識率統計，預測進球辨識率達到 85%。表 3 為辨識錯誤率統計以及表 4 為個別特徵的辨識率統計，從數據中可以看出，權重為 1 的非進球辨識率似乎不甚理想。本文採用另一種權重計算方式，投票權只保留給個別特徵辨識率表現較佳的 4 個特徵，採用姿勢 2、姿勢 4、姿勢 5、姿勢 9，權重設定的方式是採用經驗法則。首先，查看個別特徵辨識率，粗略的設定權重，為了找出較佳的權重分配，藉由修正權重，得到較佳的辨識度，最終分別給予 4 個特徵權重為 1/8、2/8、3/8、2/8，權重相加後，加權值大於 0.4 以上，則預測此投籃資料為進球樣本，否則預測為非進球樣本。權重設計後的非進球辨識率提升至 66.7%，為了提升非進球辨識率 44.5% 的幅度，犧牲非進球辨識率 10%。式(6)和式(7)為計算辨識度的公式；最後，式(8)和式(9)為計算錯誤辨識率的公式。

進球辨識率 = (成功預測進球數 / 實際進球數) × 100% (6)

非進球辨識率 = (成功預測非進球數 / 實際非進球數) × 100% (7)

進球辨識錯誤率 = (實際進球數 / 預測進球數) × 100% (8)

非進球辨識錯誤率 = (實際非進球數 / 預測非進球數) × 100% (9)



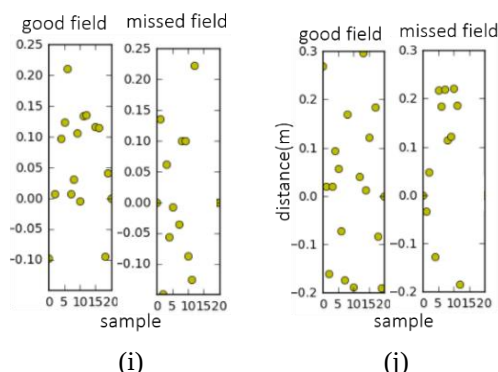


圖 19、10 個投籃特徵的數值分布：(a)姿勢 1；(b)姿勢 2；(c)姿勢 3；(d)姿勢 4；(e)姿勢 5；(f)姿勢 6；(g)姿勢 7；(h)姿勢 8；(i)姿勢 9；(j)姿勢 10

表 1、特徵姿勢閾值設定

姿勢	閾值
姿勢 1	79~89
姿勢 2	81.4~95
姿勢 3	140~160
姿勢 4	121.5~130
姿勢 5	0.07 ~ 0.19 & -0.17 ~ -0.03
姿勢 6	38~50
姿勢 7	144.5~148.5
姿勢 8	123~128
姿勢 9	0.11~0.2
姿勢 10	-0.21~-0.04

表 2、特徵姿勢辨識率

權值	進球辨識率	非進球辨識率
權值皆為 1	85%	22.22%
權值經設計	75%	66.7%

表 3、特徵姿勢辨識錯誤率

權值	進球辨識錯誤率	非進球辨識錯誤率
權值皆為 1	29.16%	60%
權值經設計	16.66%	45.45%

表 4、特徵姿勢辨識率

姿勢	進球辨識率	非進球辨識率
姿勢 1	65%	33.3%
姿勢 2	65%	55.5%
姿勢 3	75%	22.2%
姿勢 4	80%	55.5%
姿勢 5	60%	66.6%
姿勢 6	40%	30%
姿勢 7	60%	56%
姿勢 8	50%	33%
姿勢 9	50%	77.7%
姿勢 10	30%	88.8%

表 3、特徵姿勢辨識率

姿勢	進球辨識率	非進球辨識率
姿勢 1	65%	33.3%
姿勢 2	65%	55.5%
姿勢 3	75%	22.2%
姿勢 4	80%	55.5%
姿勢 5	60%	66.6%
姿勢 6	40%	30%
姿勢 7	60%	56%
姿勢 8	50%	33%
姿勢 9	50%	77.7%
姿勢 10	30%	88.8%

五、結論

本文提出一個多特徵點的分析方法，根據籃球員自主籃球投籃姿勢分析預測進球與否，經由複雜度低的運算過程分析身體動態資訊，運算時間僅需 15.6ms。實驗數據可知，非每一個特徵都會有良好的辨識度，無法藉由單一特徵準確得知進球率，但藉由加權計算可以篩選出辨識率較佳的特徵，來提升整體辨識率，而整體辨識率提升了 34.48 個百分點。由實驗分析結果得知，做好單一個投籃姿勢，無法有效提升進球率，必須將重要的投籃姿勢做對，才能讓投籃進球率有效的提升。

參考文獻

- [1] 林益亘、黃世育、郭癸賓、劉家維，“使用 Kinect 偵測錯誤高爾夫揮桿動作之研究，”第十二屆離島資訊技術與應用研討會，2013 年。
- [2] K. Kumada, Y. Usui, K. Kondo, “Golf swing tracking and evaluation using Kinect sensor and particle filter,” *IEEE International Symposium on Intelligent Signal Processing and Communications Systems*, pp. 698-703, 2013.
- [3] C.-H. Hsia, C.-H. Chien, H.-W. Hsu, Y.-F. Chang, and J.-S. Chiang, “Analyses of basketball player field goal shooting postures for player motion correction using Kinect sensor,” *IEEE International Symposium on Intelligent Signal Processing and Communications Systems*, pp.

222-225, 2014.

- [4] I.-J. Ding and C.-W. Chang, "Feature design scheme for Kinect-based DTW human gesture recognition," *Multimedia Tools and Applications*, vol. 75, no. 16, pp. 9669–9684, 2016.
- [5] 潘儀聰、田方治，運用動態感測技術建立勞工上肢 MSD 危害評估研究，勞動部勞動及職業安全衛生研究所研究成果報告，2013。
- [6] 劉志勇、郭伯臣、何宗融、李政軒，“太極拳自動化評量系統-以太極八法正面動作為例，”資訊科技國際研討會，2014。
- [7] 陳志豪，使用 Kinect 之抽菸事件分析，國立臺灣海洋大學電機工程學系碩士學位論文，2013.
- [8] Kinect SD 所偵測到之全身的關節點，
<https://i-msdn.sec.s-msft.com/dynimg/IC741371.png>
- [9] 座標系平移前後過程，
<https://msdn.microsoft.com/en-us/library/hh973073.aspx>