

# 利用陀螺儀偵測球拍角度進行球種分類與球質評估

## Using a gyroscope to detect the angle of racket, which is applied on the classification and evaluation of badminton shots

指導教授：馬席彬 組別：A51 組員：吳昱頡

### Abstract

羽毛球是持拍運動，球面會是唯一接觸球的地方，拍面角度的不同會對球路造成巨大的差異，我期望能利用感測器找出擊球時拍面角度與各種球種的關係。我最初嘗試利用磁力計偵測拍面角度，然而我在實驗中發現這個方法的不可行性，因此我接下來使用陀螺儀，並經由四元數法找出擊球仰角與滾角，並利用擊球時拍面的特徵值修改誤差。最後我利用此系統實際比對甲級選手與一般球友在擊球角度上的差異，在球質評估上也獲得一定程度的成果。

### Implementation & Results

1. 利用磁力計計算仰角
2. 利用陀螺儀計算仰角與滾角
  - a. 四元數法(Quaternion)

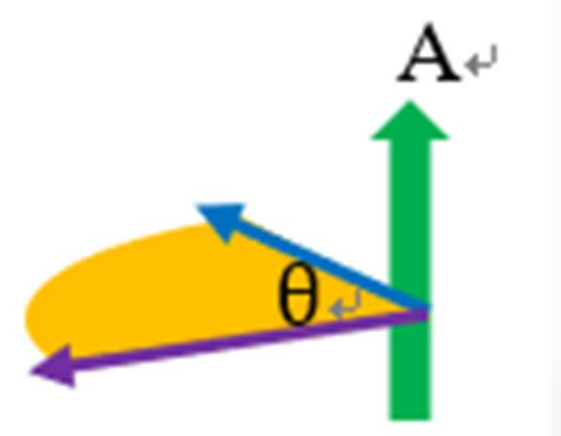


圖 1 四元數表示圖

$$q = \begin{bmatrix} w \\ x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\left(\frac{\theta}{2}\right)\cos\left(\frac{\phi}{2}\right)\cos\left(\frac{\psi}{2}\right) + \sin\left(\frac{\theta}{2}\right)\sin\left(\frac{\phi}{2}\right)\sin\left(\frac{\psi}{2}\right) \\ \sin\left(\frac{\theta}{2}\right)\cos\left(\frac{\phi}{2}\right)\cos\left(\frac{\psi}{2}\right) + \cos\left(\frac{\theta}{2}\right)\sin\left(\frac{\phi}{2}\right)\sin\left(\frac{\psi}{2}\right) \\ \cos\left(\frac{\theta}{2}\right)\sin\left(\frac{\phi}{2}\right)\cos\left(\frac{\psi}{2}\right) + \sin\left(\frac{\theta}{2}\right)\cos\left(\frac{\phi}{2}\right)\sin\left(\frac{\psi}{2}\right) \\ \cos\left(\frac{\theta}{2}\right)\cos\left(\frac{\phi}{2}\right)\sin\left(\frac{\psi}{2}\right) + \sin\left(\frac{\theta}{2}\right)\sin\left(\frac{\phi}{2}\right)\cos\left(\frac{\psi}{2}\right) \end{bmatrix}$$

q(w,x,y,z)為一個四元數， $\theta$ 為x軸角速度， $\phi$ 為y軸角速度， $\psi$ 為z軸角速度，則各軸的角度 $a_x(i)$ ， $a_y(i)$ ， $a_z(i)$

$$\begin{bmatrix} a_x(i) \\ a_y(i) \\ a_z(i) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 - 2(y^2 + z^2) & 2(xy + wz) & 2(xz - wy) \\ 2(xy - wz) & 1 - 2(x^2 + z^2) & 2(yz + wx) \\ 2(xy + wz) & 2(yz - wx) & 1 - 2(x^2 + y^2) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_x(i-1) \\ a_y(i-1) \\ a_z(i-1) \end{bmatrix}$$

- b. 角速度的取樣

原來的角度積分方式 $x(i) = x(i-1) + v(i-1)\Delta t$



圖 2 不連續訊號的誤差

將原取樣點 $t_1$ 改為 $\frac{t_1+t_2}{2}$ ， $x(i) = x(i-1) + \frac{v(i-1)+v(i)}{2}\Delta t$

因此x軸、y軸、z軸角速度 $\theta_i$ 、 $\phi_i$ 、 $\psi_i$ 將被調整為 $\frac{\theta_i+\theta_{i+1}}{2}$ 、

$$\frac{\phi_i+\phi_{i+1}}{2}、\frac{\psi_i+\psi_{i+1}}{2}$$

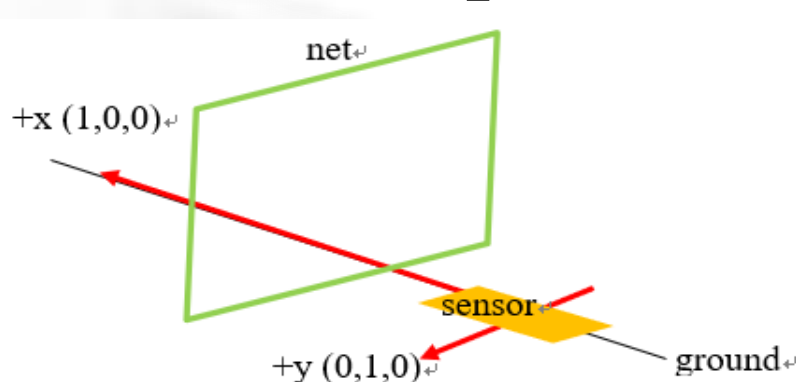


圖 3 感測器起始姿態

- c. 仰角(Elevation)與滾角(Roll)

定義起始仰角與滾角為(1,0,0)與(0,1,0)

圖 3 感測器起始姿態

則仰角為 $\sin^{-1}[-X_z(i)]$

滾角為 $\sin^{-1}[-Y_z(i)]$

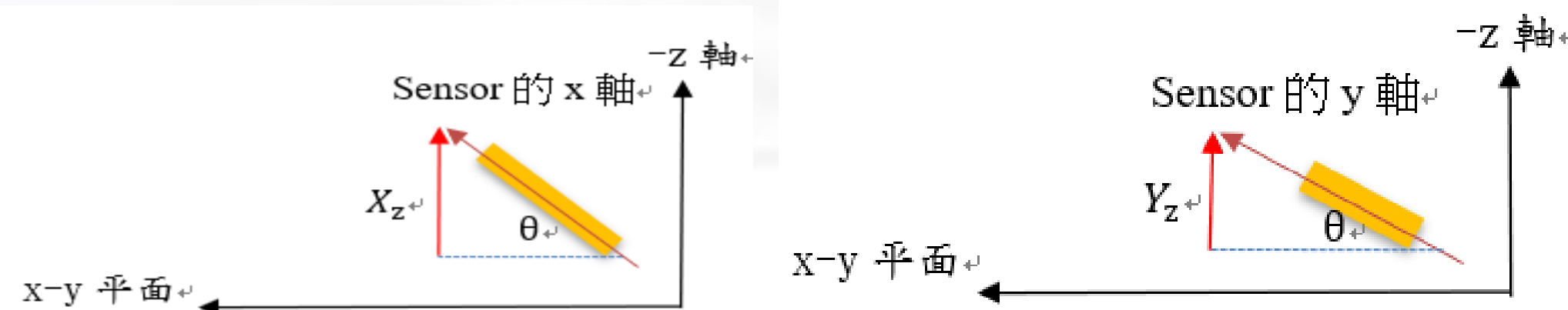


圖 4 仰角

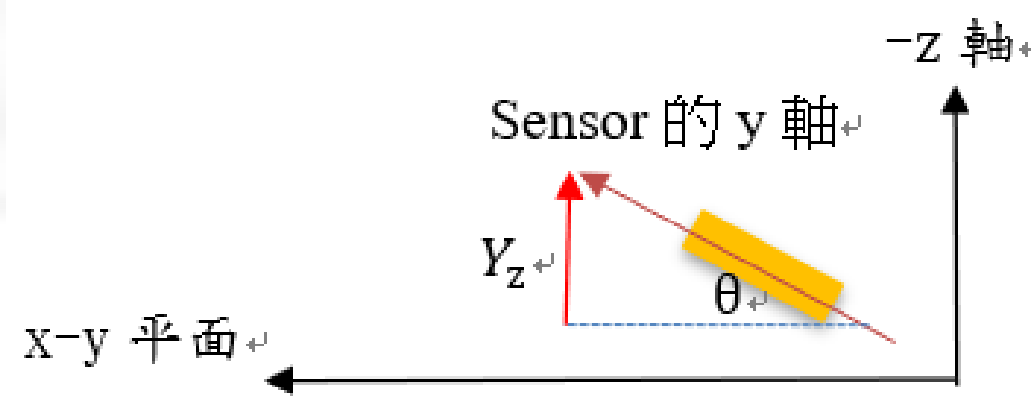


圖 5 滾角

3. 球種判斷

- a. 擊球區間與擊球點

先將角速度扣除threshold值，使得靠近0的數值歸零，如果開始有非零的資料點出現，再觀察一秒內有沒有異號的數值出現，如圖6的紅圈代表起始位置、綠圈為異號的最大絕對值，此點為擊球點，而一秒則是擊球區間。

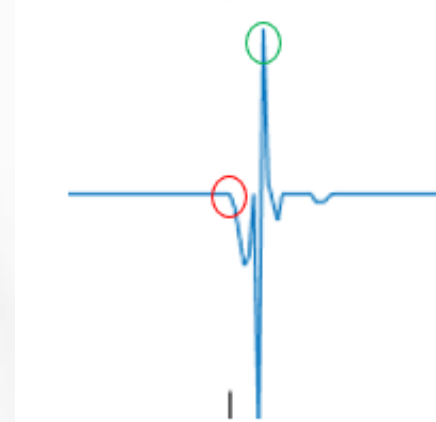


圖 6 判斷擊球點



圖 7 架拍與引拍

可以如此判斷是因為架拍期球拍往後拉、引球期球拍往前甩。

- b. 最高點與仰角角度校準

在上手揮拍過程中，球拍在架拍期會有一瞬間仰角為90度；在引拍期也同樣會有一瞬間仰角為90度，定義引拍期的為最高點，角速度大於零，然而此點大多時候的仰角因為誤差不為90度，於是強制其為90度，此方法可以大幅優化仰角角度。

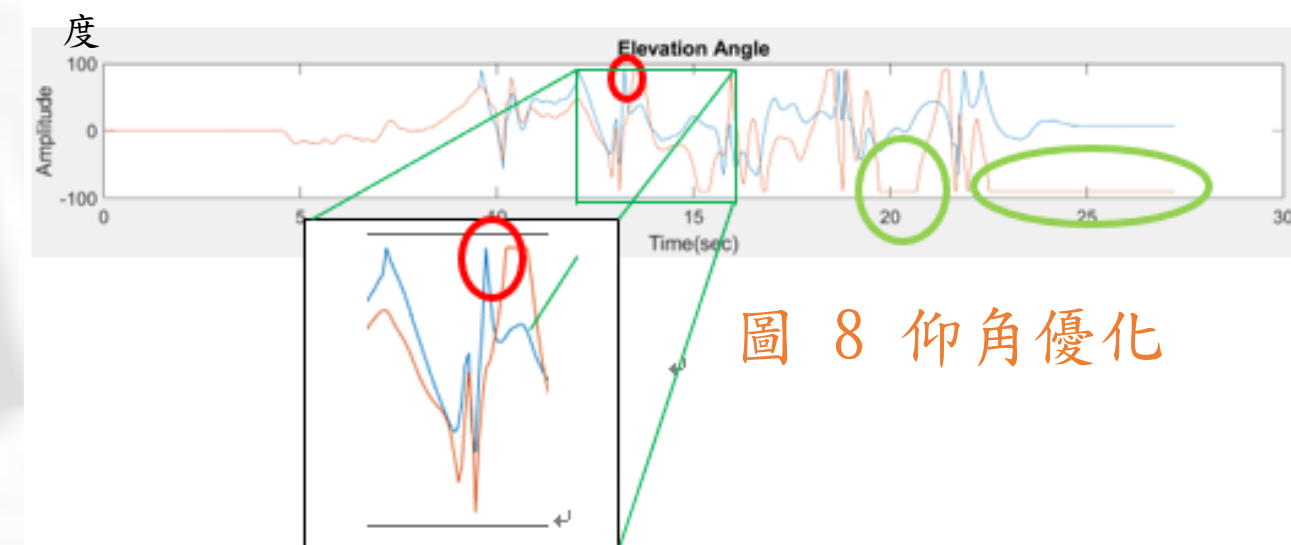


圖 8 仰角優化

- c. 球種判斷

殺球：擊球點小於90度，判斷成功率高

切球：擊球點與最高點角度差小於50度，判斷成功率高

長球：擊球點通常會落在頭頂區，擊球點等於最高點，判斷成功率低，可能是因為最高值時間點位移造成的誤差

測驗者	1	2	3	測驗者	1	2	3	測驗者	1	2	3
判斷擊球成功率(%)	100	100	100	判斷擊球成功率(%)	100	100	100	判斷擊球成功率(%)	100	100	100
判斷球種成功率(%)	80	80	80	判斷球種成功率(%)	80	50	75	判斷球種成功率(%)	20	0	0

表 1 判斷殺球

表 2 判斷切球

表 3 判斷長球

- d. 滾角優化

根據殺球和長球的特性，擊球剎那的滾角為零，於是如果判定擊出這兩種球種的話，就可以反饋至滾角計算，優化滾角，然而此方法的限制是必須判斷出這兩種球種才能進行優化。

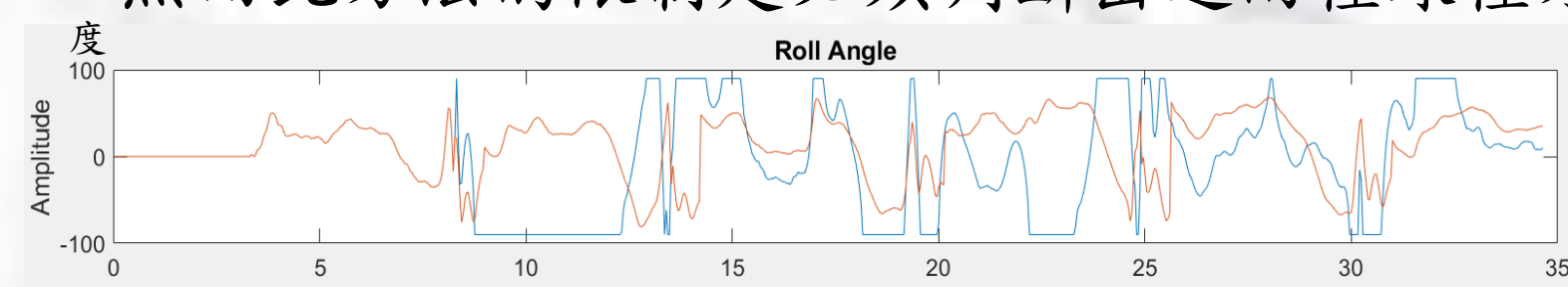


圖 9 滾角優化

4. 球質評估

如果在擊球點上x軸角速度也為極值，則根據動量守恆，此時羽毛球的初速將會最大化，此時記為1，若否則記為0，最後得到平均，即為評估球質。

測驗者編號(等級)	1(5.0)	2(3.0)	3(3.0)
長球球質	1	0	0.666
殺球球質	0.8	0.6	0.4
切球球質	0.6	0.666	0.625

表 4 球質評估

### Conclusion

羽毛球動作變化多變且精細，若感測器本身的sample rate太低，在實際應用上的成果就相當有限，特別是在角速度到角度的轉換上，揮拍的瞬間很容易因為取量值的一點偏差造成角度失真的狀況，而且由於本系統的數據建立在前一刻的資料上，雖然利用球種判斷時的反饋機制大幅減少因為取樣不足造成的誤差，但是隨著時間變長，角度失準的可能性也越大，此乃本研究的瑕疵之一，然而，此次研究的方法確實可以分辨短期內的角度、球種以及球質辨識，期望在未來能建立在這次的研究成果上繼續此領域的探索。