

以 Kinect 協助腦麻者上肢復健之個案研究

蔡佑佶、陳以邵*、張耀仁
中原大學通訊工程碩士學位學程

腦性麻痺兒童需要長期進行肢體復健，以促進神經發育，目前商用復健產品不易客製化，且價格過於昂貴，非公立特教學校所能負擔。於是本研究欲利用微軟開發的 Kinect 體感科技，搭配影像辨識技術，創造一套適用於腦麻者之復健系統。本系統創新之處在於利用體感技術，解決配戴感應器造成的不便，並且透過即時影像處理，偵測學生肢體移動軌跡，以判斷復健動作是否確實。

一、簡介

在台灣，2012 年 6 月底領有身心障礙手冊者達 110 萬人，其中以肢體障礙者占 34.3% 最多。肢體障礙為因發育遲緩，中樞或周圍神經系統發生病變，外傷或其他先天或後天骨骼肌肉系統之缺損或疾病而形成肢體障礙無法或難以修復者，而腦性麻痺亦屬於肢體障礙類。腦性麻痺 (CEREBRAL PALSY) 簡稱 C.P，是以肢體運動功能障礙為主的多重性障礙，是大腦在發育未成熟前，因故造成腦細胞受到傷害所引起的運動機能障礙。腦性麻痺者的主要障礙情形在於異常的動作所造成的肢體障礙，且經常伴隨視覺、聽覺、語言及認知的問題，可能面臨的問題包括日常生活與行動能力的限制、休閒社交問題、教育、工作、社交整合、關係維持及溝通問題。

2011 年初本研究團隊與啟智學校合作，以服務學習方式透過定期的討論、觀察等方式，了解目前學校的復健課程。因特教學校的物理治療師有限，且需要復健的學生眾多，產生了人力不足的狀況。在此背景下，研究團隊與物理治療師一起合作，希望可以設計一套適合的復健輔具，減輕老師負擔之餘，更可以透過科技的方式，來檢驗學生復健動作的品質，達到最佳的復健效果。

二、文獻探討

科技的進步日新月異，人們對於復健科技的想像不再僅限於傳統上的機械器材。考量更多使用者需求的介面與便利性的科技更是目前復健科技應用上的趨勢，例如 VR(虛擬實境)、AR(擴增實境)，或是 Nintendo 所推出的 Wii，以及 Microsoft 的 Kinect 等...，這些新穎的科技給予了開發者不同平台的選擇，也提供使用者全新的感官體驗。

虛擬實境的技術亦被應用於復健輔具的設計。1997 年，Burdea 與他的學生首先將虛擬實境技術導入手部復健治療[1]，透過病人手套上的感應器，提供使用者於虛擬情境的力道回饋，並透過系統的記錄，診斷出使用者每次活動的握力以及手指的指力以及彎曲角度。

R. Boian et al.[2]則是針對中風後的手部復健，設計出一系列的虛擬情境，患者戴上 CyberGlove，依序進行如彈鋼琴或者是擦拭物品的動作，透過過程與結果的記錄，得知患者手部或手指的復健狀況，如手指活動度、移動的速度、肌力等指標。

國內外，亦有許多學者將擴增實境技術融入於中風病人的復健設計，Atif Alamri et al. [3]設計出一系列復健情境，例如在真實的杯子上，貼上 AR 標籤，透過 Webcam 的影像，患者可看出自己是否有將杯子成功放置於系統設定目的地，藉以觀察每次握舉杯子時的移動軌跡；另外，移動杯子過程中，會對應於虛擬空間當中的量尺，觀察量尺的維度可判斷病人水平、垂直的力表現。除了肢體復健，Jia-Kuan Lin et al. [4]將其應用在認知功能的復健，透過遊戲的概念，使用者將九宮格上的虛擬水果圖案做一個配對的動作，並可將遊戲的分數，藉由社群網站分享給親朋好友，形成一種競爭的正面氛圍，彼此鼓勵，互相打氣，以增加復健的動力。

而 Gazihan Alankus et al.[5]則是將 Wii Remote 固定在中風病人的手臂上，病人利用手臂的移動來控制例如遊戲上飛機的移動、棒球遊戲裡接球的動作，希望透過遊戲的方式增加病人復健的欲望，並利用 Wii Remote 的特性來設計更符合個案的復健動作。

Yao-Jen Chang et al.[6]利用 Kinect 來協助有肢體障礙的學童進行復健，藉物理治療師的復健動作示範影片提示加上 Kinect 本身的動作判斷，讓學童可於老師不在身旁時，也可自行進行復健。系統中亦添加防止發呆的機制，萬一使用者於復健過程漫不經心時，系統會給予聲音及鼓勵的圖片提示，提醒復健者不要中斷當下的復健過程。上述研究使用 Kinect 來協助肢體障礙學童來進行客製化復健動作，其缺點是當中所指的客製化動作只是利用位移距離作為動作判斷，侷限了可使用的復健動作，然而上肢復健動作於三維空間當中有無數多種組合，如果只利用位移距離作為動作判斷的參數，會讓物理治療師在協助小朋友復健時，可使用的復健動作選擇受到限制，於是本研究利用角度做為參數，設計出八個上肢復健的指標動作，利用角度的計算便可組合出任意三維空間當中的動作，改善上述研究所提到的缺點，讓物理治療師可以依據每位小朋友狀況，為其設定更彈性的復健動作，達到更多元的復健目標。

三、系統架構與設計

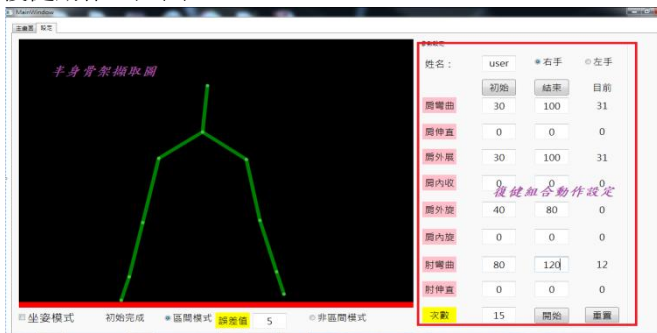
本研究主要是利用 Microsoft 的 Kinect 體感裝置來建立一套適用於腦麻者上肢復健的系統。應用情境是物理治療師根據每位學生的肢體障礙程度，為其規畫出復健

¹ 本研究由國科會贊助，計畫編號 NSC 102-2221-E-033-045 -。

姿勢(Pose),e.g.手向上伸直(Hand up),可訓練學生穿脫衣服,手向前伸直(Hand Forward),可訓練學生拿東西,以手就口(Hand to Mouth),訓練自行進食,並利用 Kinect 偵測關節點,計算出上述復健姿勢的肩關節彎曲、伸直、外展、內收、外旋、內旋以及肘關節彎曲、伸直角度,判斷該位學生的動作是否符合治療師的期待。

3.1 系統流程

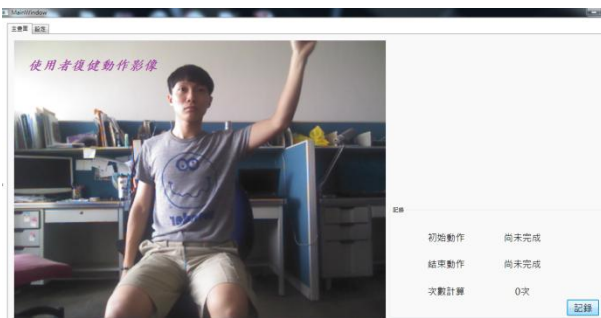
本系統以 Kinect 體感裝置為基礎,搭配動作演算法以及圖片、聲音回饋,協助使用者進行復健。系統著重於上肢復健的客製化,提供物理治療師設定任意組合之復健動作,如圖一。



圖一：系統設定

由於本研究的研究個案設定為腦麻所伴隨之肢體障礙學生,所以配合擺位椅的使用,系統可選擇坐姿模式的骨架偵測,此選項可較全身骨架偵測更來的精準。

在使用者使用前,系統會先做使用者骨架確認(初始化)的動作,接著由物理治療師輸入每個復健指標之容許誤差角度(設定值±誤差值)、使用者的姓名、復健的手部選擇,再根據每位學生的差異性給予不同上肢初始、結束的角度值,最後設定需要復健次數,即可開始進行復健。物理治療師於後端設定完畢後,即可將畫面切至前端使用者復健介面(圖二),讓學生開始進行復健。



圖二：使用者介面

使用者根據物理治療師所設定的角度,進行預期次數之復健動作,於過程當中,可觀看畫面之提示,可得知復健動作是否正確(初始或結束端角度有誤),並可以知道當下已完成的正確復健動作次數。

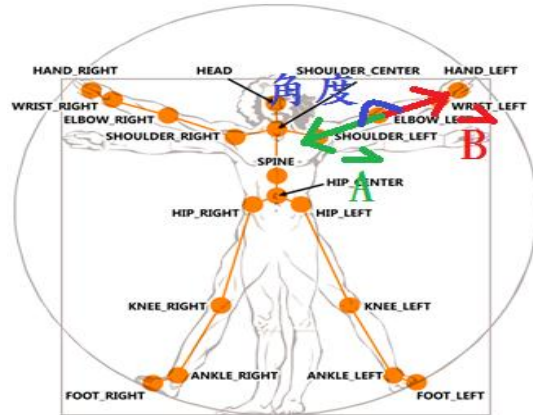
3.2 動作演算法

本研究中,我們以 Kinect 鏡頭前投射成的一個三維座標系統(圖三),Kinect 本身則為此三維空間當中的原點。



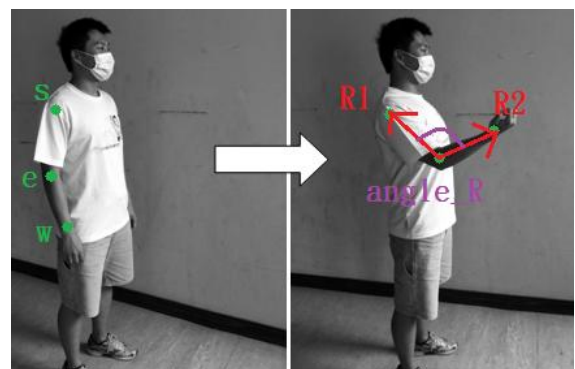
圖三：Kinect 三維座標系統

在 Kinect 的合理感應範圍內(1.2-3.6 公尺),人體的 20 組關節都可以各被轉換為一組座標值(圖四),此 20 組座標值可供研究者來制定肩關節彎曲、伸直、外展、內收、外旋、內旋以及肘關節彎曲、伸直等復健動作判定的演算法。利用 Kinect 的三維空間以及關節坐標值,我們可任意選擇兩關節點來做為向量,而向量與向量之間的夾角,便是用來判斷復健動作的基本單位。



圖四：任意兩向量間夾角

以肘關節彎曲為例(圖五)。於 Kinect 的三維座標系統當中,將右手腕的關節點令為 $w=(w.Position.X, w.Position.Y, w.Position.Z)$,右手肘的關節點令為 $e=(e.Position.X, e.Position.Y, e.Position.Z)$,右手肩膀的關節點為 $s=(s.Position.X, s.Position.Y, s.Position.Z)$ 後。空間中點對點的相減可得向量,故 s 減去 e 後可得一向量 $R1$, w 減去 e 後可得另一向量 $R2$ 。向量之間經由內積之後可得出夾角($angle_R$),此夾角即為右手肘關節彎曲角度(圖五)。



圖五：肘關節彎曲意識圖

```
//取得當下座標
w = new Vector3D(w.Position.X, w.Position.Y, w.Position.Z);
e = new Vector3D(e.Position.X, e.Position.Y, e.Position.Z);
s = new Vector3D(s.Position.X, s.Position.Y, s.Position.Z);
R1 = s - e;
R2 = w - e;
//計算角度
angle_R = (int)Vector3D.AngleBetween(R1, R2);
```

圖六：肘關節角度計算

得出角度 $angle_R$ ，再與物理治療師所設定的復健門檻值 $index_Threshold$ 做比較即可得知當下復健動作是否正確，而判斷標準在系統中有兩種模式，分別為區間模式與門檻模式(圖七)：

1. 區間模式

根據物理治療師的需求，我們亦可允許動作角度可有正負誤差角度，在此令為 $error$ 。當 $index_Threshold - error < angle_R < index_Threshold + error$ 時，即可得知目前角度正確；反之，如果當 $angle_R < index_Threshold - error$ 或 $angle_R > index_Threshold + error$ 時，便是不符合正確復健動作。

2. 門檻模式

當 $angle_R > index_Threshold$ 或 $angle_R < index_Threshold$ 時即為正確動作。

物理治療師可根據每位小朋友的狀況或者是復健動作的需求來選擇適當的模式來做應用。

```
//判斷動作
if (radioButton3.IsChecked == true) //區間模式
{
    if ((index_Threshold - error < indexefR) && (indexefR < index_Threshold + error))
    {
        check_ef1 = true; //動作正確
    }
    else if((index_Threshold - error > indexefR) || (indexefR > index_Threshold + error))
    {
        check_ef1 = false; //動作錯誤
    }
}
else if (radioButton4.IsChecked == true) //門檻模式
{
    if (indexefL > index_Threshold + error)
    {
        check_ef1 = true; //動作正確
    }
}
}
```

圖七：區間或門檻模式角度判斷

3.3 客製化復健動作設定

物理治療師根據每位孩童不同的肢障程度訂定每學期的復健目標，不同的復健動作可使小朋友擁有更好的生或自理能力，如穿脫衣服時，有些腦麻學童因為張力關係，無法將手向上伸直，復健師對這些學童的復健規畫就會著重在肩關節與肘關節彎曲(Flexion)程度的改善，所以本系統可依據不同的生活自理目標的復健動作選擇，協助治療師設定動作參數(圖八)，讓小朋友根據這些目標努力復健，進而擁有更佳的生活品質。

圖八：復健角度參數設定

3.4 系統回饋

啟智學校學生多半是多重障礙生，腦麻學童除肢體障礙外也伴隨智能障礙，故不同的學生認知障礙程度也有所不同，物理治療師在給予動機努力復健時，也得因應不同學生的程度做回饋設計。圖片回饋方式對於認知程度較差的啟智學校學童而言，多半可理解其圖片背後代表的鼓勵含意，治療師可根據不同的學生個性與喜好設定其喜愛的圖片(圖九)與聲音做為復健動作正確的回饋，藉此強化其努力完成每日的復健課程的動機。



圖九：系統回饋圖

四、實驗數據

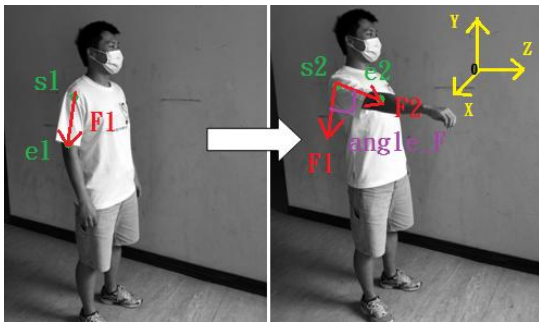
4.1 實驗設計

Kinect 復健輔具的完成過程，歷經多次與物理治療師反覆的討論、改善與測試，透過第一線工作者的實務經驗與意見，希望能夠降低腦麻學童使用輔具的限制以及簡化操作者的使用流程。最後，輔具設計完成後，我們將此系統帶至台南啟智學校，由該校物理治療師找來兩位國中部同學來試用輔具。表 I 為參與者的相關資訊。

表 I
參與者的相關資料

名字	性別	年齡	障別
小喻	女	14	智能障礙(中度)、肢體障礙(重度)
小潔	女	14	智能障礙(中度)、肢體障礙(重度)

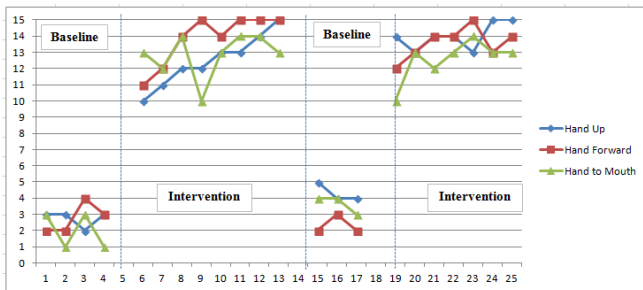
本次實驗採用倒反設計法 (Reversal replication designs)，本實驗包含兩個基線期(Basel)以及兩個介入期 (Intervention)。基線期時，學生根據物理治療師的說明與示範，完成復健動作，期間不給予任何協助與提示，Kinect 僅扮演偵錯角色。於介入期時，利用 Kinect 體感輔具協助學生於復健時進行偵錯，得知當下的復健動作是否符合治療師的要求，並透過圖片與聲音的回饋增加復健趣味性，強化復健動機。物理治療師根據學生能力設定三個復健動作讓學生進行，分別是單手向上舉高 (Hand up)、單手向前伸直 (Hand Forward)、以手就口 (Hand to Mouth)，並設定動作的初始姿勢(圖九，左)以及完成姿勢(圖九，右)。每個復健動作需做 15 次，不同的復健動作完成後，休息五分鐘，再進行下一個復健動作直至完成三個復健動作。



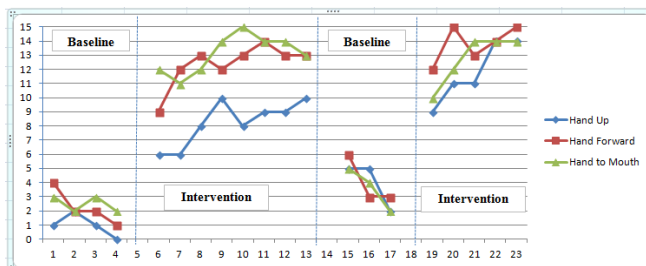
圖九：單手向前伸直意識圖

4.2 實驗結果

復健的成效，關鍵在於復健過程中動作是否正確，所以此次實驗的重點為學生能否透過 Kienct 體感輔具的協助，能正確的完成物理治療師所設定的復健動作以及藉由圖片與聲音回饋增強使用者的動機，進而完成更多的復健次數，以下為此次實驗的結果圖(圖十，十一)，縱軸代表正確復健動作次數，橫軸為時間。



圖十：小喻實驗結果



圖十一：小潔實驗結果

由上圖(十，十一)狀況可看出，小喻和小潔於基線期時，對於物理治療師指定的動作完成正確率並不高，其原因為對於他們而言，指定的復健動作本身已有一定的難度，再加上沒有回饋的吸引，因此對復健的態度並未積極，例如單手舉高的動作，可能手未到達指定高度時就放下，導致復健動作的品質無法滿足治療師的期待與復健的效果。而於介入期時，小喻和小潔的正確率明顯較基限期提升許多，經由實驗過程從旁觀察，學生對於完成正確動作後，所顯示的回饋圖片甚感興奮，加上回饋介面中代表分數的圖示對於兩人的復健過程亦產生了一種同儕間相互競賽的正向循環。

復健課程對於肢體障礙的學生而言，是於特教學校或啟智學校一般課程外最重要的事情，因為在學校有專業的物理治療師可協助其治療，但回家後，可能家人忙碌或者不重視復健導致學生於家中無法獲得進一步練習的機會，實為可惜。本研究使用 Kinect 做為輔具的開發

器材，目的除了其體感應用的簡便外，更重要的是已市售化的商品往往價格都不會太高，對於部分家庭或學校而言，此成本應該在其可購買能力的範圍之內，比起國外進口的專業復健輔具，本系統大大的增加了使用者輔具的取得性，也希望透過此輔具落實居家復健的重要，惟有反覆的練習與堅持，才可以讓肢體障礙者盡早恢復應有的生理機能。

五、結論

本研究團隊藉由田野調查，得知目前台南啟智學校物理治療師協助肢體障礙學童上復健課程時所遭遇到人力不足、設備昂貴與設備不符需求等問題，經過多次討論與溝通，確認輔具的客製化設計。研究人員利用 Kinect 開發出肩關節彎曲、伸直、外展、外旋、內旋與肘關節彎曲六個復健指標，藉由上述動作的角度運算，讓學童得知其復健過程是否動作正確，並透過系統介面所提供的回饋圖片與聲音強化學童對於復健的動機與欲望，讓復健不再無趣乏味。而使用已商品化的 Kinect 做為開發裝置，更可以大幅降低輔具的成本，讓學校或者家庭都能在可負擔的狀況下使用，讓肢體障礙的學生有更多機會做有效的復健，進而使得生理機能盡早恢復到可生活自理的狀態。

無障礙科技的發展，落實了人們對於平等的提倡，透過跨領域的合作，得知實際場域當中物理治療師協助腦麻學童復健時的困境，在特教學校資源較少的情况下，透過客製化的輔具協助，讓治療師可幫助更多學生進行復健，也讓身心障礙學生共同也能分享科技的果實，邁向更無礙的生活。

參考文獻

- [1] Burdea, G., Deshpande, S., Liu, B., Langrana, N., and Gomez, D., 1997, "A Virtual Reality-Based System for Hand Diagnosis and Rehabilitation," IEEE Transaction on Rehabilitation Engineering, Vol.6, No. 2, pp. 229-240.
- [2] R. Boian, A. Sharma, C. Han, A. Merians, G. Burdea, S. Adamovich, M. Recce, M. Tremaine and H. Poizner, "Virtual Reality-Based Post-Stroke Hand Rehabilitation," Proceedings of Medicine Meets Virtual Reality, 2002 Conference, IOS Press, pp. 64-70, Newport Beach CA, January 23-26 2002..
- [3] Atif Alamri, Jongeun Cha, and Abdulmotaleb El Saddik, Fellow, IEEE, "AR-REHAB: An Augmented Reality Framework for Poststroke-Patient Rehabilitation," IEEE TRANSACTIONS ON INSTRUMENTATION AND MEASUREMENT.
- [4] J.K Lin, P.H Cheng, Y. Su, S.Y Wang, H.W Lin, H.C Hou, W.C Chiang, S.W Wu, J.J Luh, M.J Su, "Augmented Reality Serious Game Framework for Rehabilitation with Personal Health Records," 2011 IEEE 13th International Conference on e-Health Networking, Applications and Services.
- [5] Gazihan Alankus, Rachel Proffitt, Caitlin Kelleher, and Jack Engelsberg, "Stroke Therapy through Motion-Based Games: A Case Study," ASSETS'10, October 25-27, 2010, Orlando, Florida, USA.
- [6] Yao-Jen Chang, Shu-Fang Chen, Jun-Da Huang, "A Kinect-based system for physical rehabilitation: A pilot study for young adults with motor disabilities," Research in Developmental Disabilities Volume 32, Issue 6, November-December 2011, Pages 2566-2570.