

# 大型觸控螢幕內三維虛擬物件的 旋轉操控模式與手勢型態配對之研究

顧兆仁\* 陳立杰\*\*

\* 玄奘大學視覺傳達設計學系，大同大學設計科學研究所  
chaojenku@gmail.com

\*\* 大同大學設計科學研究所  
lcchen@ttu.edu.tw

## 摘要

觸控螢幕的應用，在現今的社會已達非常普及的程度，有些單位運用大型觸控螢幕來輔助藝術展演與文宣推廣，部分博物館也運用大型觸控螢幕，作為知識宣導與教育的互動媒介，甚至運用動畫技術，展出擬真的三維虛擬物件。然而，在二維的平面觸控螢幕上操控三維物件的動作時，使用者若是對於觸控手勢型態與物件變化的配對方式感到不自然，將會導致績效的降低，甚至影響操作時之愉悅感。因此，本研究之目的即欲探討在數位內容導覽系統中，以不同手勢型態操作大型觸控螢幕時，所對應之三維物件的不同視角翻轉模式及其使用績效。本研究即以製作一款三維擬真生態物種，在大型觸控螢幕上，透過受測者以手勢互動的操作，介紹其細部的外觀，並透過實驗與統計的過程加以分析研究，旨在透過探討水平與垂直拖曳、直線斜角拖曳、弧形或旋轉拖曳與輕推，四種不同手勢型態，對三維物件於三視與透視兩種不同視角模式，在翻轉時的使用績效。以雙因子變異數分析結果顯示：（1）根據耗用時間與點擊次數分析，完成三視圖模式任務皆比透視模式任務容易；（2）經由行為分析的結果發現，當須完成透視模式任務時，使用者直覺上會先以水平或垂直拖曳來操控物件，若無法定位才會嘗試以其他方向拖曳；（3）無論三視模式或透視模式任務，水平垂直拖曳的手勢型態最能讓使用者認知物件翻轉的對應性，也具有較高的使用績效；（4）由於水平或垂直拖曳的手勢往往有些斜度產生，因此容易與直線斜角拖曳混淆。（5）輕推手勢，因與物體旋轉方向較難配對，因此較少使用。

本研究建議未來在設計以觸控手勢操縱三維物件旋轉的介面時，針對水平或垂直拖曳動作應加入手勢移動之水平或垂直偏移量的校正式，以符合一般人操作時之期待。此外，若欲提供弧形或旋轉拖曳之手勢動作，則建議在物體外觀輪廓上增加相對於不同轉軸的圓弧形導引線，或增加不同軸向模式切換的操控介面，以幫助解決二維觸控手勢與三維內容軸向配對不易的問題。

關鍵詞：觸控手勢、大型觸控螢幕、三維虛擬物件操縱、生態教育媒體

論文引用：顧兆仁、陳立杰（2011）。大型觸控螢幕內三維虛擬物件的旋轉操控模式與手勢型態配對之研究。《設計學報》，16（2），1-22。

## 一、前言

自然生態的教育，在今日是非常重要的議題。在推廣環境保育教育相關的領域上，結合互動科技的技術，塑造自主性互動學習的環境，成為十分便捷利的一種方式，目前，博物館或生態展示館中，經常運用大型觸控螢幕，作為生態宣導與教育的互動媒介，使用者只需要以手指，輕碰觸控螢幕上文字或按鈕圖像介面，即能得到欲查詢的相關資訊。而拜科技之賜，動畫影像製作技術的發展，在電腦應用普及下，由於能做到擬真的動態表現，多被用在博物館或展示館中，已成為展示設計中吸引目光的焦點。

由於動畫軟體技術的快速發展，設計者可以運用三維電腦繪圖的軟體，製作出擬真的三維物件；在自然生態的物種介紹中，基於保護自然生態環境的原則，不任意干擾生態棲息的情況下，有許多物種的影像難以捕捉，就可以藉由三維動畫軟體製作的方式，扮演著不易拍攝到的自然生態物種實體，讓使用者藉由觸控的方式，用點選、拖曳與推動的不同手勢，進行物種的翻轉動作，在不同的視角下呈現隱藏或不易看見的部份，成為便利的動作。

本文的研究動機為長久已來，使用者多習慣在桌上型銀幕以滑鼠與鍵盤作為輸入設備，用以操控螢幕上文字、二維圖像，甚至三維物件的動作。如今在觸控螢幕技術快速進步，已成為十分普及的應用商品時，使用者已經無需運用滑鼠與鍵盤的輸入指令方式，取而代之的是採用較自然的觸控手勢作為輸入工具，在平面（二維）觸控螢幕上操控文字、二維圖像的動作，成為便捷的操控模式。然而，在二維的平面觸控螢幕上操控三維物件的動作時，使用者若是對於觸控手勢型態與物件變化的配對方式感到不自然，將會導致績效的降低，甚至影響操作時之愉悅感。

因此，本文的研究目的在探討在數位內容導覽系統中，以不同手勢型態操作大型觸控螢幕時，在二維的平面觸控螢幕上操控三維物件的手勢動作，所對應之三維物件的不同視角翻轉模式，了解不同手勢在操控觸控螢幕的立體物件之不同視角翻轉模式及其使用績效。

## 二、文獻探討

### 2-1 互動設計與使用者介面的設計原則

「互動」的概念原本就是人際溝通的自然特質，在數位科技發展快速的時代，人們會透過數位媒體或介面關注與另一個智慧實體連結中的感覺、察知、與反應（Rafaeli, 1988）。直覺或自然的使用者介面（natural user interface）是人機介面研究的一個重要議題，亦被視為未來介面設計的方向之一（Jaimes & Sebe, 2007）。隨著科技不斷推陳出新，滿足人機互動需求的介面往往有許多不同的解決方案（Karray, Alemzadeh, Saleh, & Arab, 2008）。但是以人為本的介面必須可以幫助人們依其需求或某一目的導向，方便地進行介面的操控，由被動轉為主動，來達成良好的互動效果。

Norman（1990）從認知心理學的角度，來看介面與使用者的操作，對於物體的承擔性定義指出：「物體的承擔性指的是為人所認知，該物足以承擔的作用」，因此，在觸控螢幕面前，使用者應會依其過往經驗主動採取觸摸、點選螢幕、在空間中移動手部。此外，Norman 也曾提出自然配對（natural mapping）的功能，是可以減少使用者對於資訊的記憶，進而提昇使用績效。Bevan 等人亦指出許多有關親和性使用者介面的設計原則，並提出了五項特性，即易學性、功效性、易記性、容錯性與涵蓋性（Bevan & Curson,

1997, Federico, 1999; Nielsen, 1992)。若欲依據使用者自然的反應與行為，進行介面的設計，這些特性在整個互動系統的設計上，也都是重要的因素。

## 2-2 觸控手勢介面與研究議題

「手勢」是人與人在互動時的自然動作，也是一種非語言的肢體訊息，屬誠實不易做假的自然表達方式 (Pentland, 2008)。因為這些肢體的動態讓人們得以溝通，進而相互瞭解與表達內心想要表達的意思；而面對電腦觸控螢幕，欲進行人與機器最自然、便捷的相互溝通，即需依賴觸控手勢的操作介面。

由於觸控螢幕具有許多優點 (Karat, McDonald, & Anderson, 1986; Sear & Shneiderman, 1991)，文獻中已有許多成功的運用案例。如弱勢居民健康資訊系統 (Jackson & Peters, 2003)，供醫院中各種不同求診病患所使用的通用性資訊系統 (Holzinger, 2003)，車用導航系統 (Chiang, Brooks, & Weir, 2004)，輔具控制介面 (Rogers, O'Brien, & McLaughlin, 2006)，工廠吊掛機具操控系統 (Suter, Dooroo, Singhose, Sorensen, & Glauser, 2007)，智慧型家用電力管理系統 (Mainardi, 2008)，電子投票系統 (Nishino et al., 2010) 等。近年來有更多的研究人員，利用其特性並結合多媒體數位內容，成功地提升了老年癡呆症患者與看護人員之間的溝通模式 (Astell et al., 2010) 及協助人們與三維視覺化之科學數據，進行互動 (Yu & Isenberg, 2009)。由於觸控介面在行動裝置上的運用日漸普及，研究人員也開始利用觸控的方式，在行動裝置螢幕上操縱 3D 物件 (Fiorella, Sanna, & Lamberti, 2009)，或以行動電話當成操縱大螢幕內 3D 物件的遙控器 (Katzakis & Hori, 2010)。此外，若妥善建置好控制與回饋系統，則無需學習新的操作手勢，就可在大型觸控螢幕上，讓使用者簡易的以 2D 手勢，操控 3D 物件的攝影機鏡頭位置 (Hachet, Declé, Knodel, & Guitton, 2009)，或在 3D 虛擬場景中移動 (Valkov, Steinicke, Bruder, & Hinrichs, 2010)。

觸控使用者介面設計的研究議題，主要包含軟體按鍵形狀 (Breinholt & Krueger, 1996)，軟體按鍵大小與配置設計 (Kwon, Lee, & Chung, 2009; Park & Han, 2010)，觸控圖像設計 (Huang & Lai, 2008)，觸控手勢 (Cheng & Takatsuka, 2006; Bach, Jæger, Mauney, Howarth, Wirtanen, & Capra, 2010; Skov, & Thomassen, 2008; Villamor, Willis, & Wroblewski, 2010)，行動裝置之觸控模式 (Ashbrook, Lyons, & Starner, 2008; Karlson & Bederson, 2008; Karlson, Bederson, & Contreras-Vidal, 2008; Parhi, Karlson, & Bederson, 2006; Perry & Hourcade, 2008)，輔助觸覺回饋模式 (Rantala et al., 2009)，不同視覺區的點選操作績效 (Po, Fisher, & Booth, 2004)，及不同年齡層的操作績效 (Rogers, Fisk, McLaughlin & Collins, 2005) 等。

圖像介面與觸控螢幕的結合是最有力的工具 (Breinholt & Krueger, 1996)。螢幕上圖像的使用介面，讓使用者以視覺形式來操作電腦，並常用圖像按鍵 (icon) 作為介面 (Nasanena & Ojanpaa, 2003)。影響觸控螢幕上圖像介面使用性的因子，除了碰擊、觸感、圖像文字、動態、形狀與色彩外，最為重要的是觸控區域 (Huang & Lai, 2008)，由於以視覺搜尋資訊時，觸控螢幕上的虛擬按鍵，無法提供相同於實體按鍵所給予的觸覺回饋 (Buxton, Hill, & Rowley, 1985)，其觸控區域、尺寸會成為影響操作的因素 (Lindberg & Nasanen, 2003)，若手指面積尺寸大於按鍵尺寸，或按鍵太小時，將產生誤壓與降低輸入功能，造成使用性降低。而調整螢幕上之按鍵尺寸，能改善輸入區域之感應成效，但不保證能減少操作時間 (Kwon, Lee & Chung, 2009)。尤其，如按鍵位置在於螢幕角落，其使用性更差，好的按鍵設計能增加使用成效，減少錯誤 (Huang & Lai, 2008)。食指具有較好的操作成效 (Wobbrock, Myers, & Aung, 2008)，研究者建議在 12.1 英吋的 LCD 的螢幕上以食指操作文字輸入時，20mm 為足夠大的按鍵尺寸 (Colle & Hiszem, 2004)。在 PDA 上以拇指輸入時最小尺寸為 9.6mm。眾多研究 (Parhi, Karlson, & Bederson, 2006) 均探討碰觸與螢幕間的議題，其中觸控手勢型態與數位內容變化的配對方式，往往需要深入的研究與實驗才能找到最佳的組合。

選擇以手勢為互動的介面，應該要趨向以人為核心的特質，即是本能反應、以暗喻或形象邏輯功能、毫不猶豫的記得、合乎人因工程的設計原則 (Nielsen, Störring, Moeslund, & Granum, 2003)。由於電腦科技對於輸入設備的限制，必須搭配以簡易的輸入型式，作為人機雙方的溝通法則；因此，在導覽型態的人機互動展示上，注重人體手部自然動作為基礎的手勢設計，在觸控螢幕面板上接觸與移動，即成為操控數位內容的重要的參考依據。其中觸控手勢與三維內容物件的操控與呈現方式，就是兩項重要的探討議題，因此，在數位內容使用大型觸控螢幕導覽時，操控手勢的型態及所控制三維物件視角的自然對應性，亦將影響使用者操作時的績效。

## 2-3 觸控手勢型態

在觸控螢幕上以單一手指點選物件進行操控，為基本的手勢，以拖曳 (drag and move) 在觸控螢幕上的功能 (Saffer, 2009)，常見方式如圖 1，有點選 (tap to select)、單向拖曳 (slide to scroll)、旋轉拖曳 (spin to scroll)、輕推 (flick to nudge)，藉著這些在平面螢幕上移動的手勢，以拉動，移動、旋轉物件轉軸，得以展示更多的影像與資訊。拖曳的特性是在手指對物件點選後，做同一方向與旋轉方向的拖曳，物件隨手勢繼續移動，而持續轉動，直到手勢停止時，手指離開螢幕，物件也同時停止轉動；旋轉或弧形拖曳亦即多個短距離移動的連續動作。通常為順時針、逆時針與不規則的方向在螢幕上滑動。

輕推 (flick to nudge) 的手勢則是以手指在物件表面點選的同時，往某一方向輕輕推動，手指隨即離開螢幕，物件隨手勢由快速轉動到漸慢，最後停止。輕推的動作，是十分自然的手勢 (Saffer, 2009)，在小型觸控螢幕上以姆指在螢幕上作小範圍的旋轉，經常能操控物件的拖曳轉動、移動與棄置，而以食指在觸控螢幕正面操作時，水平移動有較好的使用績效 (Wobbrock, Myers, & Aung, 2008)。在大型觸控螢幕上的手勢動作，選放 (pick-and-drop) 比拖放 (drag-and-drop) 更像操作剪貼 (copy-paste) 的動作 (Collomb & Hascoet, 2008)，而拖放 (drag-and-drop) 已廣泛被使用在大螢幕上作為移動物件之用 (Collomb & Hascoet, 2005)。至於拖拋 (drag-and-throw) 與推拋 (push-and-throw) 的動作是為多螢幕所設計的手勢 (Hascoet, 2003; Hascoet, Collomb, & Blanch, 2004)。此外，以單一系統控制多螢幕或多系統控制多螢幕時，手勢動作與回饋之間若配對不自然，就會出現因不夠直覺而導致不規則的滯緩現象，減少互動的使用性。而應用於大型觸控螢幕如螢幕牆上，可能因為不易確定操控物件要移動或置放的目標區位，容易造成使用上的困難 (Collomb & Hascoet, 2008)。因此，目前使用大型螢幕如電視牆或多螢幕呈現，多以有經驗者與專家來操控，如在簡報室中播放簡報的放映師或電視台專業新聞、氣象主播。

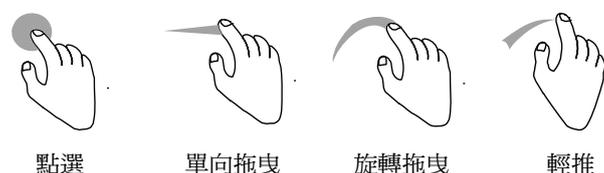


圖 1. 觸控螢幕上常用之手勢 (Saffer, 2009)

## 2-4 三維物件視角

數位科技時代，可透過三維虛擬物件展示，讓原本需倍受保存、不易展示、更不能被觸碰的古物，藉由三維物件的重建而可以被使用者操控、觀看，以實現在實體博物館所無法提供的功能 (徐士雅、王年燦、陳國棟, 2009)。在三維空間與物件的表達形式上，常見以透視與三視視角方式呈現。在立體三

度空間的世界，三維物件具有 X、Y 與 Z 三個軸，可以分別的轉動水平、垂直與深度的三個軸向，或以這三個軸向來操控三維空間或物件的視角，因此，許多三維繪圖的軟體，需要分別點選不同的軸向的控制模式，來作調整的動作。此外，在平面二維觸控螢幕上（如圖 2），操控立體三維物件方面，由於螢幕上能以水平移動控制三維物件的 X 軸的轉動，垂直移動可以操控 Y 軸的轉動（Catanese, 2001），對於 Z 軸向的操控，則可以透過切換螢幕上垂直向的移動，來操控 Z 軸的轉動。

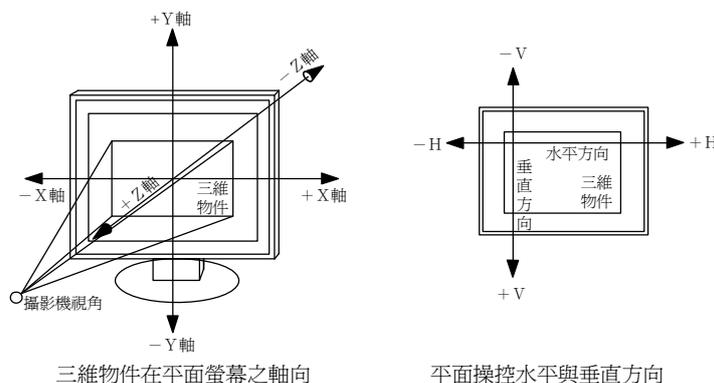


圖 2. 三維物件對應二維螢幕之軸向示意圖（Catanese, 2001）

## 2-5 文獻探討總結

在人因工程的領域，已有許多文獻探討觸控螢幕的優缺點及應用（Sears, 1991; Sears, Revis, Swatski, Crittenden, & Shneiderman, 1993; Saffer, 2009），近年來，探討觸控手勢型態與三維虛擬物件變化之配對議題的文獻，也逐漸增加（Fiorella, Sanna, & Lamberti, 2009; Hachet, Declé, Knodel, & Guitton, 2009; Katzakis & Hori, 2010; Valkov, Willis, & Wroblewski, 2010）。因此需要結合手勢辨識技術，研究更創新的互動科技，讓使用者在三維的環境中更容易的進行互動操作。根據文獻探討，較常使用之「單向拖曳」（drag to scroll）的動作又可區分為「水平垂直拖曳」（horizontal and vertical drag）的手勢與「斜角拖曳」（slanting drag）的手勢。「水平垂直拖曳」的手勢若結合透視視角的需求，可以利用水平方向移動操控三維物件的 X 軸轉動，垂直方向移動則操控 Y、Z 軸軸向的轉動。而「斜角拖曳」的手勢似乎可以同時操控 X 軸與 Y（Z）軸。但也可能因為同時對應與轉動三維物件的 X 與 Y（Z）軸，對使用者操控配對上可能較為複雜。「弧形旋轉拖曳」與「輕推」的手勢似乎也具有操控三維物件轉動的潛力，但因每次能夠移動的距離較短，是否比「水平垂直拖曳」或「斜角拖曳」來的自然仍需實驗才可得知結果。

## 三、實驗設計

本研究實驗中，考量了四種類型的觸控螢幕上所使用的拖曳手勢型態，以及兩種類型的三維物件視角之操控模式；因此，本實驗使用 4x2 因子的設計，螢幕背景影像為海底圖，背景音效為海水潮聲。實驗內容的三維物件，為台灣地區自然生態中的珍貴物種—綠蠵龜，並使用帶有自然情境的海底景觀與氣氛音效。在選擇一種雙軸向操控模式後（如下頁圖 3），首頁畫面，提供六項綠蠵龜完成樣貌的任務圖像選單，及兩項自由造型的問號選單（如圖 3-a）。經由受測者輕觸圖像選單後，進入拖曳起始畫面，即是一幅頭向右的綠蠵龜俯視圖像（如圖 3-b），受測者以手指在三維物件圖像上點選，並開始拖曳，將

綠蠓龜作不同軸向旋轉與視角的拖移，直到完全符合被要求完成的視角圖像（如圖 3-c），即完成一項任務，受測者須依亂數排序完成八項任務的操作。

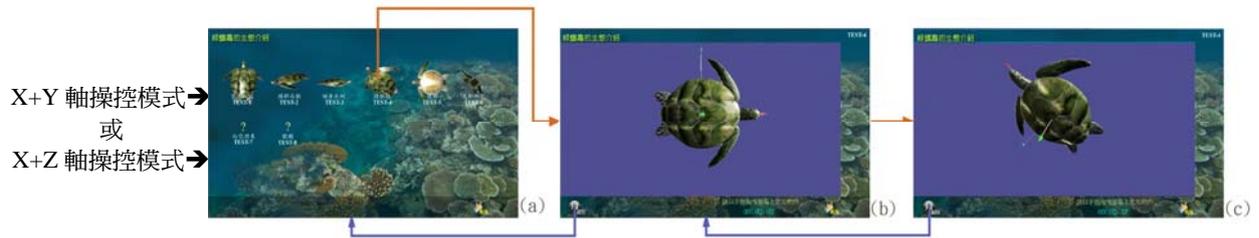
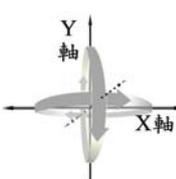
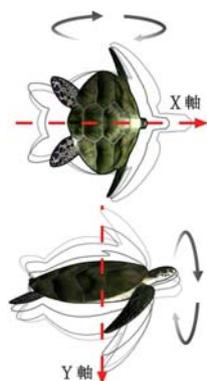
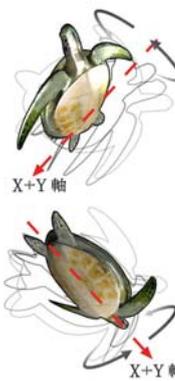
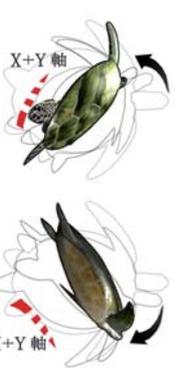
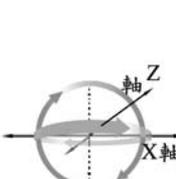
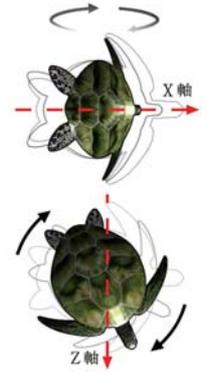
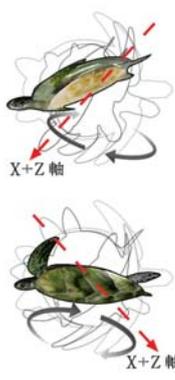
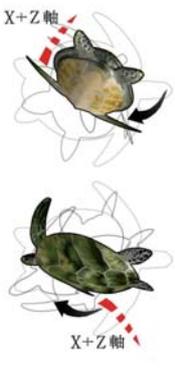


圖 3. 實驗任務操作示意圖：(a) 首頁任務點選 (b) 拖曳起始畫面 (c) 任務完成畫面

### 3-1 手勢型態的四種類型

每位受測者皆經由實驗設計者，親自告知手勢與軸向旋轉的對應性，並將軸向對應示意圖（如表 1），置於實驗台前桌面，便於受測者參閱。受測者經由自主性的手勢，操控此三維物件的翻轉，其手勢的分類有：（1）水平與垂直拖曳（H. and V. drag）；（2）直線斜角拖曳（slanting drag）；（3）弧形或旋轉拖曳（spin to scroll）與（4）輕推（flick to nudge）等四種型態，其中，第一種型態為水平與垂直拖曳的手勢，僅對應三維物件的橫軸與縱軸；第二種型態為直線斜角拖曳手勢，則能同時轉動 X 與 Y（Z）兩個軸向；第三種型態為弧形或旋轉拖曳，依不同角度同時轉動 X 與 Y（Z）兩個軸向；第四種型態為輕推，亦能在以上兩種不同軸向操控的模式下，轉動三維物件，呈現不同的翻轉視角。

表 1. 兩種操控三維物件視角軸向與四種觸控手勢類型之對應表

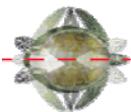
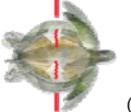
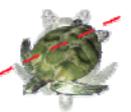
實驗軸向	水平與垂直拖曳	直線斜角拖曳	弧形或旋轉拖曳	輕推
<p>X+Y 軸向 操控模式</p> 				
<p>X+Z 軸向 操控模式</p> 				

### 3-2 手勢操控三維物件視角

由於三維物件具有三個軸向，對應到平面（2D）觸控螢幕上僅有水平垂直兩個軸向；三維物件的視角轉動是根據 X、Y、Z 三個軸向的旋轉，以螢幕平面為視點，則 X 軸呈現水平的橫向軸，Y 軸呈現垂直的縱向軸，Z 軸則為面對視點的深度軸。由於 2D 平面螢幕僅能同時表達與操控兩個軸向，橫向與縱向對應三維物件的 X 軸與 Y 軸，當拖曳的手勢為橫向水平拖曳時（即轉動 X 軸），三維物件呈現水平翻滾（如表 2-a），當拖曳的手勢為縱向垂直拖曳時（即轉動 Y 軸），三維物件呈現縱向翻滾（如表 2-b）。本實驗為了亦能同時觀察 Z 軸的操控性，亦建立另一組實驗為橫向與縱向對應三維物件的 X 軸與 Z 軸，橫向手勢拖曳時，三維物件同樣呈現水平翻滾，但當拖曳的手勢為縱向拖曳時（即轉動 Z 軸），三維物件呈現順時針或逆時針的翻轉（如表 2-c）。

在螢幕上以以斜角拖曳時，則同時操控兩個軸向，如設定為 X 軸與 Y 軸的運作模式下，以斜角度的手勢拖曳，三維物件呈現水平橫向與垂直縱向同時翻滾，若設定為 X 軸與 Z 軸的運作模式下，以斜角度的手勢拖曳，三維物件則呈現水平橫向與順、逆時針方向同時翻滾。轉動角度為單向，因此兩個軸向角度的增加與減少，呈現等差級數增減（如表 2-d）。以旋轉角度拖曳時，則類似直線斜角之翻轉，亦呈現 X 軸結合 Y 軸或 Z 軸同步轉動，但旋轉角度隨手勢拖曳弧度變化，呈現為多向，因此兩個軸向角度的增加與減少，呈現等比級數增減（如表 2-e）。進行輕推手勢時，手指在螢幕上作不規則之短促移動，角度與方向不定，但由於每次操作多移動兩個軸向，不易體現手勢方向與物件轉動角度的對應關係，因此，必須以多次輕推的手勢，來轉動三維物件到想要呈現的角度（如表 2-f）。

表 2. 手勢方向與三維物件視角軸向對應操作說明

					
(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
進行水平拖曳手勢時，操作控三維物件之 X 軸轉動，即橫向前後之翻轉。	設定在 X+Y 模式下，進行垂直的拖曳手勢，操控三維物件之 Y 軸轉動，即縱向前後翻轉。	設定在 X+Z 模式下，進行垂直的拖曳手勢，操控三維之 Z 軸轉動，即順或逆時針的旋轉。	進行直線斜角拖曳時，操控三維物件同時翻轉橫向與縱向前後(X+Y 軸)，或同時轉動橫向與順逆時針轉動(X+Z 軸)。	進行旋轉拖曳時，操控三維物件 X+Y 軸或 X+Z 軸同時轉動，相當於連續性不同方向短距離直線斜角的拖曳。	進行輕推手勢時，操控三維物件 X+Y 軸，或 X+Z 軸同時轉動，須短促輕推多次才能轉到所要角度。

此實驗在軸向旋轉的操控任務上，以三視圖像與透視圖像兩種型態呈現，兩種任務型態交錯排列出現，如表 3 所示任務 1、3、5 為三視視角影像，任務 2、4、6 為透視視角影像，第 1 項完成操控任務之視角為正上俯視，第 2 項為左俯透視，第 3 項為正右側視，第 4 項為左仰透視，第 5 項為正左底視，第 6 項為底斜透視，分別引導受測者，查看綠蠓龜之背甲斑紋、頭部面貌、側身比例、鱗狀肢、腹部紋路與尾部特徵。

表 3. 六項任務之觀查目的與影像視角分類

任務1 查看背甲斑紋	任務2 查看頭部面貌	任務3 查看側身比例	任務4 查看鱗狀肢	任務5 查看腹部紋路	任務6 查看尾部特徵
					
正上俯視 (三視圖)	左俯透視 (透視圖)	正右側視 (三視圖)	左仰透視 (透視圖)	正左底視 (三視圖)	底斜透視 (透視圖)

### 3-3 實驗設備與實驗步驟

三維物件為綠蠔龜，三維繪圖軟體以 Cinema 4 D 製作元件，互動軟體則以 Director 建構，置入之三維物件為 Shockwave3D 格式，並設定螢幕拖曳最小單位為像素、物件旋轉角度最小單位為度，亦即水平或垂直拖曳 1 像素，則物件翻滾為 1 度；完整螢幕對應三維物件旋轉，從左拖曳至右，物件水平翻轉約三圈半、而從上拖曳至下，物件垂直或順逆時鐘旋轉約二圈（如圖 4），於附有 32 英寸螢幕的 HP xw4600 工作站上作測試。此大型觸控螢幕使用由 Xiroku 公司所開發的光學感應技術，並架置在具有 1366x768 解析度的 BenQ 32" LCD TV 上，螢幕尺寸為 71.5cm x 40.5 cm，與水平呈 60 度傾斜，釘製座台放置螢幕，因此螢幕表面以 60 度後仰，螢幕下緣離地高度為 108cm。

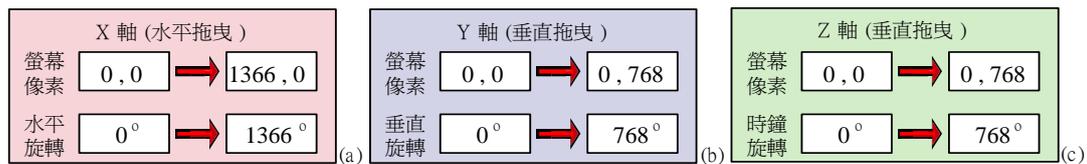


圖 4. 拖曳像素對應旋轉角度：(a) X 軸拖曳水平旋轉角度 (b) Y 軸拖曳垂直旋轉角度 (c) Z 軸拖曳時鐘旋轉角度

本實驗中，有 36 位受測者，執行將三維物件調整成指定物件視角的工作；包括 16 位女性及 20 位男性，平均年齡 25.8 歲，受測者平均身高為 168.0 公分，男生平均 173.5 公分，女生平均 161.2 公分。他們被隨機分成二組，第一組有 18 位受測者，先操控 X+Y 軸，再操控 X+Z 軸任務，第二組為另 18 位受測者，則先操控 X+Z 軸，再操控 X+Y 軸任務。他們被要求在大型觸控螢幕上，以各種點選加上拖曳的手勢，操控物件軸向的旋轉，需完成符合視角圖像的六項任務，與兩項自行設計圖像的任務。每位受測者執行任務的順序皆以亂數制定，所使用之時間都在 30~50 分鐘間。

實驗期間，為正確記錄操作所耗費時間，互動軟體 Director 從各任務一點選開始，即計算操作的時間；為了觀察參與者行為，此實驗使用三組錄影設備，以 Camtasia 紀錄螢幕上三維物件的完整任務動作、以固定於螢幕正上方的 Webcam 攝影機，紀錄執行任務之手勢動作，並於側面以數位攝影機錄製受測者肢體動作（如圖 5 所示）。之後，參與者被要求完成系統使用性與整體工作負荷度評估的問卷。該系統元件的使用性評估包括六個有關選單及觸控的項目，分別是：操控易識性、水平垂直、斜角度、旋轉與弧形、輕推等四種觸控手勢，對應三維軸向旋轉的易用性與螢幕斜度的滿意度。而整體的工作負荷度評估，則從 NASA-TLX 工作負荷指標修改所得的六個評量。它們以正面表達方式呈現，亦即：良好的導引、身體負荷小、時間壓力輕、學習努力少、執行滿意度與挫折感低。受測者根據他們的感受，填寫七尺度李克特量表（Likerts Seven Scale），來評估在大型觸控螢幕上操控手勢與物件呈現視角的使用績效。分數愈高，代表愈正面的績效評估。相關量化資料，則運用如雙因子變異數分析的之統計方法作分析。



圖 5. 大型觸控螢幕實驗現場

## 四、結果與討論

### 4-1 任務執行使用時間

以不同視角的任務來看，雖然在操作的時間上，完成三視圖視角模式（平均 23.6 秒）與透視圖視角模式（平均 31.8 秒）有明顯的差異 ( $F(1,140) = 13.971, p < 0.05$ )，但針對 X+Y 與 X+Z 兩種不同軸向混合操控時，在完成三視圖像與透視圖操作任務的時間上，則並沒有明顯的差異（如表 4）。

表 4. 完成三視圖與透視圖視角任務時間之平均數與標準差

混合軸向模式	三視與透視圖像視角操控時間 (單位：秒)	
	三視圖像視角	透視圖像視角
X+Y	22.4 (10.0)	28.9 (14.3)
X+Z	24.8 (11.3)	34.7 (16.2)

細部分析發現，在個別操作任務完成的時間上，有明顯的差異 ( $F(5,420) = 7.289, p < 0.05$ )，在三視圖之正左底視圖像任務（任務-5）中，受測者無論在 X+Y 軸向與 X+Z 軸向，由於只需橫向拖曳 X 軸，因此操控任務之完成秒數最短，只需 17.5 秒（X+Y 軸）與 19.3 秒（X+Z 軸）。在三視圖之正上俯視圖像任務（任務-1）中，由於需由原本朝右的綠蠟龜頭部方向轉向為朝上即可，因此 X+Z 軸向只需調整垂直向拖曳 Z 軸（逆時針轉向），因此完成平均秒數最短，需 17.7 秒，快於 X+Y 軸向的拖曳（平均 29.2 秒）。但透視視角任務的操控，皆需同時操控對應兩個軸向的轉動，因此所耗費的操控時間較長；其中任務-2 平均耗時最長（38.6 秒），為 X+Y 軸向的左俯透視圖像（如表 5）。

表 5. 完成六項視角任務所使用時間之平均數與標準差

混合軸向模式	各任務操控使用時間 (單位：秒)					
	1.正上俯視	2.左俯透視	3.正右側視	4.左仰透視	5.正左底視	6.底斜透視
X+Y	29.2 (16.8)	25.2 (13.2)	20.4 (15.3)	30.4 (18.1)	17.5 (9.7)	31.1 (21.2)
X+Z	17.7 (13.1)	38.6 (21.1)	37.3 (21.1)	30.8 (18.8)	19.3 (15.6)	34.6 (22.9)

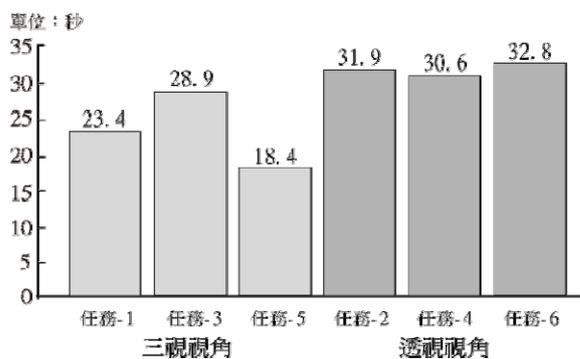


圖 6. 各任務在不同視角之平均操控時間

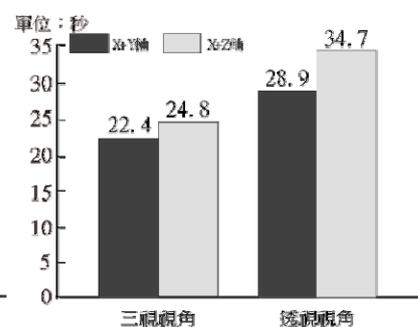


圖 7. 不同視角與軸向之平均操控時間

以使用者操控任務之完成時間來看，任務-5 與任務-1 分別為完成俯視與底視的視角為最快（如圖 6）；據研究者觀察，相較於俯視與底視視角，受測者在判別任務-3 綠蠟龜側視視角的正確性上，三軸向的微調較耗時所導致，而操控完成三視視角任務，皆比操控透視視角任務使用較短的時間（如圖 7）。

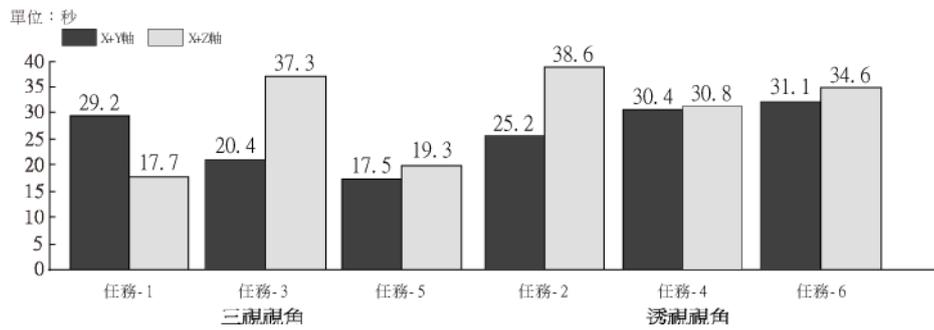


圖 8. 各單項任務在不同視角與軸向之平均操控時間

透視視角之任務-2：如圖 8 所示，以使用 X 與 Y 軸型態操控時間（平均 25.2 秒），快於 X 與 Z 軸型態（平均 38.6 秒），發現最快的操控方式為先以水平向右拖曳的手勢調整 X 軸，讓向右的頭部轉為向左，再以垂直的手勢調整 Y 軸，讓腹部翻轉為背部向上，最後以些微向右上斜角的拖曳微調到定位；以三個拖曳手勢即可完成任務，因此為透視視角任務中，操控時間使用最短者。

#### 4-2 任務執行觸擊次數

在觸擊螢幕次數上，以不同視角的任務來看，完成三視視角模式（平均 6.2 次）與透視視角模式（平均 10.0 次）有明顯的差異 ( $F(1,140) = 11.377, p < 0.05$ )，顯示完成三視視角模式任務比透視視角模式任務容易。針對 X+Y 與 X+Z 兩種不同軸向型態操控時，在三視圖像與透視圖像操作任務的點擊次數上，則無明顯的差異（如表 6）。

表 6. 完成三視圖與透視圖視角任務觸擊螢幕次數之平均數與標準差

混合軸向模式	三視與透視圖像視角操控次數（單位：次）	
	三視圖像視角	透視圖像視角
X+Y	5.5 (3.9)	7.8 (6.6)
X+Z	6.9 (5.0)	12.2 (9.7)

在未扣除誤觸的次數下，統計發現：無論 X+Y 與 X+Z 兩種軸向組合，都以三視圖視角模式之第五項任務（正左底視），X+Y 軸模式 3.7 次，X+Z 軸模式 4.9 次，所點擊次數為最少（如表 7）。

表 7. 完成六項視角任務所觸擊螢幕次數之平均數與標準差

混合軸向模式	各任務操控使用時間（單位：秒）					
	1.正上俯視	2.左俯透視	3.正右側視	4.左仰透視	5.正左底視	6.底斜透視
X+Y	7.5 (6.9)	7.2 (7.8)	5.4 (5.5)	8.6 (9.0)	3.7 (2.6)	7.6 (7.1)
X+Z	5.5 (6.7)	14.2 (13.5)	10.3 (8.5)	10.4 (10.2)	4.9 (5.9)	11.9 (12.2)

以點擊螢幕次數與任務完成使用時間的關係來看，發現任務-5 與任務-1 皆為點擊次數最少，且操作時間最短，如圖 9 與圖 6 所示；而操控完成三視視角任務，皆比操控完成透視視角任務使用較少的點擊螢幕次數與較短的操作時間，如圖 10 與圖 7 所示，呈現操控任務時間與點擊螢幕次數成正比，亦即點擊次數愈少（多），則操控時間愈短（長）。

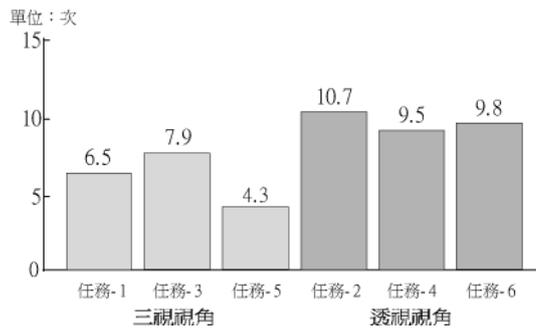


圖 9. 各任務在不同視角之平均點擊次數

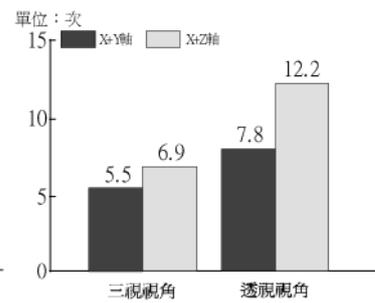


圖 10. 不同視角與軸向之平均點擊次數

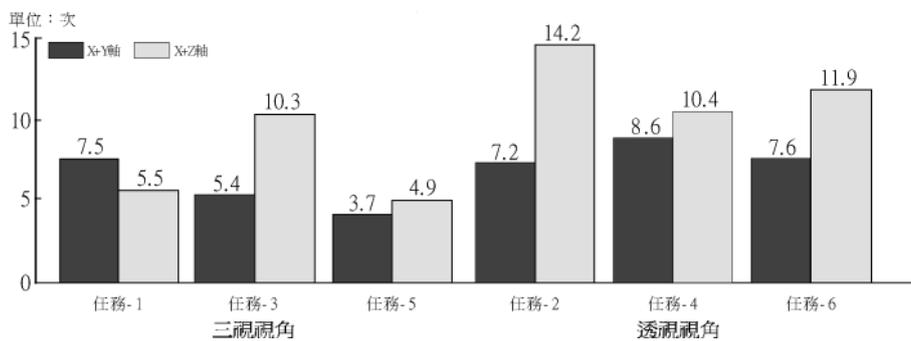


圖 11. 各單項任務在不同視角與軸向之平均點擊螢幕次數

以使用者對於不同兩軸向與物件轉動的相對應認知來看，X 軸與 Y 軸的雙軸操控相較於 X 軸與 Z 軸，皆使用較少的點擊螢幕次數，如圖 11 所示，觀察使用者對於雙軸操控手勢，較習慣於水平橫向（X 軸）與垂直縱向（Y 軸）的翻轉，對於水平橫向（X 軸）與順逆時針（Z 軸）的同步翻轉對應三維物件的轉動，則較不適應。此外；由於受測者在以食指觸擊觸控螢幕的手勢上，不習慣手掌太過靠近螢幕時，可能造成同時多點感應的情形，或經常出現其他手指的干擾，因此有誤觸的情況發生，造成部份不熟悉觸控螢幕的使用者，操控任務的時間較長。

### 4-3 系統使用性的評估

從主觀評量的統計數據資料顯示（如表 8），在三維軸向的旋轉模式對應手勢動作上，進行「水平與垂直」拖曳的手勢比「斜角」拖曳的手勢，更能讓受測者瞭解其對應性，在橫向拖曳「X 軸」時，對應三維物件「水平」轉動的關聯性、與在縱向拖曳「Y 軸」時，對應三維物件「垂直」轉動，或在縱向拖曳「Z 軸」時，對應「順、逆時針」旋轉的關聯性 ( $F(1,140) = 50.600, p < 0.05$ )；研究者研判在進行「弧形與旋轉」與「推動」手勢時，進行「弧形與旋轉」拖曳的手勢比「推動」拖曳的手勢，較能讓受測者瞭解其對應關聯性 ( $F(1,140) = 29.408, p < 0.05$ )，研判其原因為：推動手勢的動作較短，不易察覺物件轉動的軸向，而弧形旋轉手勢，較易經由較長時間拖曳方向的軌跡，來判別物件旋轉動的對應軸向。

表 8. 拖曳手勢對應軸向轉動的認知評估

混合軸向模式	拖曳手勢			
	水平/垂直向拖曳	直線斜角拖曳	弧形或旋轉拖曳	輕推
X+Y	5.4 (0.9)	3.7 (1.5)	5.2 (1.3)	3.9 (1.3)
X+Z	5.0 (1.2)	3.8 (1.2)	5.0 (1.2)	4.1 (1.2)

問卷修改自系統使用性評估 (SUS)，以七尺度李克特量表 (Likerts Seven Scale) 計測

經由觀察受測者操作紀錄的分析，只需保持橫向（水平）與縱向（垂直）拖曳，對照手勢對應軸向轉動認知程度的受測者主觀評量，可知水平與垂直拖曳的手勢，對應三維物件的旋轉操控，最能被使用者辨識與順利操控；旋轉拖曳的操作通常耗時較長，受測者以邊操作邊觀察的方式，有利於操控三維物件到正確視角位置，對於透視視角的操控有較高的使用率。

#### 4-4 工作負荷評估

由於在每次任務開始前，實驗設計者皆親自對每位受測者，以使用說明圖卡在觸控螢幕前，針對操作軸向作仔細的說明，並於任務進行同時，將操作說明置於工作台前方，便於受測者參考，但受測者於任務中再參閱操作說明者，並不多見。因此，在操作任務時的主觀心智負荷上，均產生較高的效益，X+Y 軸 5.2 ( $SD=1.1$ )，X+Z 軸 5.3 ( $SD=0.8$ )。

觀察受測者在操作任務時，會更換中指或食指，有時以兩指或三指進行點擊與拖曳的動作，並參考影片紀錄發現有些受測者，用力的在觸控螢幕上點擊與移動。此外，有些受測者經常習慣性本能的以手指，在螢幕上單擊或雙擊點選物件與按鈕，此點反應在較差的生理負荷的主觀感受上，如表 9 所示，X+Y 軸 4.1 ( $SD =1.6$ )，X+Z 軸 3.4 ( $SD =1.3$ )，無論何種軸向的操控，都呈現較低的效益。但在整體工作負荷度評估上有顯著的差異 ( $F(5,420)=12.822, p<0.05$ )。

表 9. 任務操作時工作負荷評估表

混合軸向模式	工作負荷					
	較低心智負荷	較低生理負荷	較低時間壓力	較低學習負荷	工作滿意程度	較低挫折感受
X+Y	5.2 (1.1)	4.1 (1.6)	4.9 (1.4)	4.5 (1.4)	4.6 (1.2)	4.8 (1.4)
X+Z	5.3 (0.8)	3.4 (1.3)	4.5 (1.3)	3.7 (1.4)	4.4 (1.1)	4.3 (1.3)

問卷修改自工作負荷主觀評量 (NASA-TLX)，以七尺度李克特量表 (Likerts Seven Scare) 計測

#### 4-5 受測者對於導覽選單意見

受測者反應，在拖曳方向的操作容易度比較上，從上往下的手勢 (↓)，優於從下往上的手勢 (↑)，而左下往右上 (↗) 拖曳，優於右下往左上 (↖) 的手勢，顯示上往下與左往右的動作，自然反應在觸控螢幕手勢操控的習慣性移動方向。

在各互動手勢模式的操作優缺點上，受測者認為：(1) 以水平與垂直方向拖曳時，其優點是較易於預測三維物件的轉動結果，以細部觀查上來看，橫向移動的水平拖曳是較好操作的；但缺點是以手指在觸控螢幕上拖曳時，很難作到完全的水平與垂直移動，造成非預期的軸向偏差。(2) 斜角拖曳的手勢，其優點是容易操控，但缺點是斜角移動時較難對應三維軸向。(3) 以旋轉手勢來看，優點是能易於多方向觀查目標物，並覺得操作過程好玩，但缺點為需要較長的時間來適應物件的軸向。(4) 推動手勢的優點是比較順手，感覺是直覺式的操作，但缺點透視的視角較不易精確的操控 (如下頁表 10)。

受測者認為整體優點為：三維模型真實，圖像設計優美，手的觸感有真實感與柔順感，可以任意調整自由翻轉物件視角。缺點是在三維物件呈現透視視角時 (傾斜狀態)，較不易旋轉到想要的位置；當有些角度接觸點重疊後，不易感應與控制。從受測者的意見了解到與滑鼠相比，在觸控螢幕上操控三維物件的轉動，其互動性能比使用滑鼠控制佳。觀察受測者的操作姿態，發現在 151-180 公分的身高範圍內，無論高與矮，都無彎腰或驅向螢幕的姿勢，眼睛到螢幕的視線距離在 55~75 公分，比對問卷中有關

螢幕斜度的操控方便性，發現螢幕的斜度對受測者的使用意見反應良好，研究顯示與水平呈現 60 度的傾斜螢幕對觸控的操作是可行的。

表 10. 觸控手勢優缺點比較表

評論	互動操控手勢			
	水平/垂直向拖曳	直線斜角拖曳	弧形或旋轉拖曳	輕推
優點	較易預測物件的轉動結果 橫向 (X 軸) 的轉動比較好操作	易操控	能多方向去觀察目標物 操作過程有趣好玩	直覺式操作 比較順手
缺點	不易作到無偏差的水平與垂直拖曳	斜角滑動較難 對應三維軸向	軸向對應需時間適應	透視視角不易精確操控

### 4-6 手勢對應視角之操控性比較

為瞭解受測者最自然的手勢動作反應，觀察影片發現受測者在執行各任務時的第一個直覺操作手勢型態進行紀錄與比較。此手勢為受測者自我判斷與認知三維物件的起始視角到完成視角之差異後，所產生翻轉操控三維物件時最自然的手勢。例如，當進行透視視角任務時，受測者會因為不規則型視角而進行弧形旋轉拖曳，同步進行雙軸向的拖曳；而進行規則型三視視角時，多先進行單一視角的操控，再評估是否加入另一視角的調整（如表 11）。如果系統提供的回饋方式與大多數受測者直覺動作，產生自然的配對，就可協助快速達成操作任務。

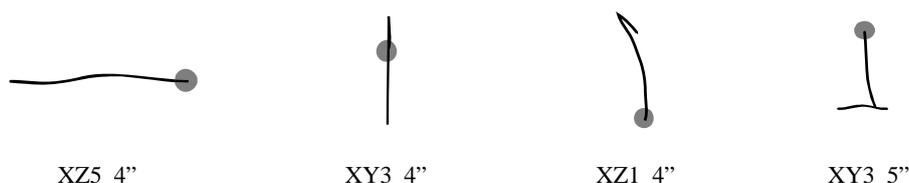
表 11. 各任務之受測者第一個手勢型態百分比統計表 單位：%

	任務1 (正上俯視)	任務2 (左俯透視)	任務3 (正右側視)	任務4 (左仰透視)	任務5 (正左底視)	任務6 (底斜透視)
1. 水平拖曳	8	25	10	18	58	21
2. 垂直拖曳	53	24	76	28	25	24
3. 直線斜角拖曳	10	11	4	14	4	24
4. 弧形旋轉拖曳	26	39	6	39	10	32
5. 輕推	3	1	4	1	3	0

根據受測者操控個別任務影片之紀錄，顯示三視視角所耗費時間皆低於透視視角，其中透視視角在操控方向上，以 X 軸與 Z 軸的組合，略快於 X 軸與 Y 軸的組合，各任務最少時間分別如下：

#### 4-6-1 三視視角

(1) 以 X+Z 軸操作任務-5，耗時 4 秒；(2) 以 X+Y 軸操作任務-3，耗時 4 秒，(3) 以 X+Z 軸操作任務-1，耗時 4 秒；(4) 以 X+Y 軸操作任務-3，耗時 5 秒。



(註：圓點為拖曳起始點，XYZ 為軸向、中間數字為任務編號、右方數字為秒數)

圖 12. 最快完成三視圖模式任務之手勢移動軌跡圖

根據最快完成任務的手勢移動軌跡圖顯示：在操作三視圖模式任務時（如上頁圖 12），最快的操控是以水平與垂直方向拖曳，其中任務五以左右的水平拖曳，將向右的龜背轉向為向左的龜背、任務三以上下拖曳龜背翻轉為側面，均僅需 4 秒；而從上往下後結合由右往左拖曳，控制側面的水平轉向，需時 5 秒。

#### 4-6-2 透視視角

(1) 以 X+Z 軸操作任務-6，耗時 5 秒；(2) 以 X+Z 軸操作任務-4，耗時 6 秒；(3) 以 X+Y 軸操作任務-2，耗時 7 秒；(4) 以 X+Z 軸操作任務-6，耗時 9 秒。

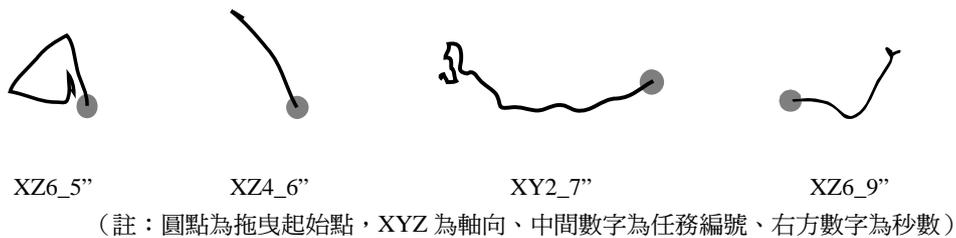


圖 13. 最快完成透視圖模式任務之手勢移動軌跡圖

在操作透視圖模式任務時（如圖 13），在透視視角上，以 X+Z 軸向設定模式操控任務-6，觀察綠蠟龜尾部特徵為例（S14），先掌握綠蠟龜之頭部調整為朝上，再作向右後方翻動，將龜尾部轉向自己並呈現 45 度角傾斜，一面觀察角度作為手勢移動參考，成為最快的操作方式。以 X+Z 軸模式操控任務-4 時（S08），由於掌握逆時針與前翻的斜角度拖曳，再搭配觀察綠蠟龜轉動的動作，自然的微調手勢角度與距離，即能快速的操控完成。

在觀察最快的前四組手勢軌跡圖時，呈現先以水平或垂直拖曳手勢操作，若無法定位時再配合其他手勢旋轉軸向，經由移動經驗判斷調整手勢之拖曳動作，則有較好的成效。

#### 4-7 討論

以性別與年紀面向來觀察，根據受測者資料與操作任務所耗費時間的數據中，發現兩位未使用過與初學 3D 軟體經驗之兩位年長女性（NF15, 51 歲、NF05, 31 歲），操控三維物件到正確位置，耗時最長與觸控次數最多（138.7 秒、65.4 次與 100 秒、56.3 次）。其中年輕女性（S22, 22 歲），每天使用 14 小時電腦，學習過 3D 軟體（Maya, Rhino, Pro-E），為女性受測者中操作時間最短，平均耗時 19.2 秒，觸控 5.3 次，僅次於四位男性受測者（11.9 秒、14.5 秒、15.2 秒、16.9 秒與 17.2 秒）。此外，最年輕女性（S19, 21 歲）有使用 iPhone 手機與學習過 3D 軟體經驗，每天使用 18 小時電腦，相較於所有女性平均操作時間，為次快速完成操作任務之受測者（19.8 秒、6.1 次）。最年長之兩位男性（NM18, 49 歲、NM16, 40 歲），平均每天使用電腦一小時，無 3D 軟體經驗，耗費平均時間較久（51.3 秒、14.7 次與 38.5 秒、12.8 次），但均優於年長女性。

在所有受測者中，完成操作任務耗時最短者為男性（S14, 24 歲, 178 公分），有 iPhone 觸控手機，平均每天使用電腦 4 小時，有使用網路電玩與學習過 3D 軟體（Alias, Maya, Pro-E），平均操作任務時間為 11.9 秒（ $SD=5.4$ ），亦是最少碰擊次數者 1.2 次（ $SD=0.4$ ）。次快完成操作任務者（S15, 21 歲, 172 公分），每天使用電腦 5 小時，亦經常使用第一人稱網路電玩，有操作 iPhone 手機觸控螢幕之經驗，有學習 3D 軟體經驗（Maya、Max），平均操作時間為 14.5 秒（ $SD=9.0$ ），碰擊次數為 2.3 次（ $SD=2.3$ ）。

以上觀察與統計推論顯示：(1) 拖曳時間與點擊次數成正比，即在觸控螢幕上拖曳完成耗時較少者，其碰觸螢幕次數亦較少，反之，耗時較多者，其碰觸螢幕次數亦較多；(2) 學習過 3D 軟體者，因較能正確的運用手勢，他們點擊螢幕的次數也較少；(3) 經常在大型銀幕上，使用 3D 遊戲機的使用者，對於在大型觸控螢幕上操控三維物件具有較好的使用成效；(4) 男性使用者對於三維物件在手勢與轉動視角的對應上，比女性有較高的認知，但經由學習與熟悉 3D 軟體操作經驗，女性使用者仍能有效呈現較高的成效。

## 五、結論與建議

### 5-1 結論

受測者操作任務紀錄顯示。無論操作順序為先 X+Y 軸、後 X+Z 軸，或先 X+Z 軸、後 X+Y 軸，都呈現第二次操作的使用時間與次數，都有明顯的減少。顯示在操控三維物件時，符合 Nielsen 等人認為使用者介面的設計指標中易記性參數，具有實質操作的成效 (Bevan & Curson 1997; Federico, 1999; Nielsen, 1992; Nielsen et al., 2003)。

根據操作任務所使用時間與點擊次數分析，實驗結果顯示：完成三視圖模式任務比透視圖模式任務較容易，在操作的時間上，三視圖模式任務 (平均 23.6 秒) 與透視圖模式任務 (平均 31.8 秒) 有明顯的差異 ( $F(1,140) = 13.971, p < 0.05$ )，無論三視模式或透視模式任務，水平垂直拖曳的手勢型態最能讓使用者認知物件翻轉的對應性，也具有較高的使用績效。此外，本研究發現，水平拖曳比垂直拖曳的操控上更容易，在觀察紀錄影片時發現，操控完成三視視角模式任務上，最快的手勢是以水平與垂直方向拖曳；經由行為分析的結果發現，當須完成透視模式任務時，使用者直覺上會先以水平或垂直拖曳來操控物件，若無法定位才嘗試以其他方向拖曳。由於水平或垂直拖曳的手勢往往有些斜度產生，因此容易與直線斜角拖曳混淆，物件視角呈現無預期的操控偏移，也造成操作任務時的困擾。

此外，輕推則因與物體旋轉方向較難配對，因此較少使用。雖然輕推的手勢是十分自然的動作 (Saffer, 2009)，在人因工程的角度來看，輕推的手勢在小螢幕的範圍中具備簡易操控功能；而大型螢幕的尺寸超出以拇指輕推的範圍，尤其在操控三維物件的轉動時，必須依賴食指多次的輕推動作，以調整更精準的視角，因此，在大型觸控螢幕上較不方便做三維物件的操控。

### 5-2 對後續研究之建議

在拖曳手勢的輸入方面，一般使用者在觸控螢幕上，因不易作到完全水平與垂直的拖曳手勢，導致難以快速操作對應軸向的轉動；建議未來在設計以觸控手勢操控三維物件旋轉的介面時，針對水平或垂直拖曳動作，應加入手勢移動之水平或垂直偏移量的校正式，以符合一般人在操控三維物件時之期待 (如圖 14)，並可經由實驗找出校正的閾限值。

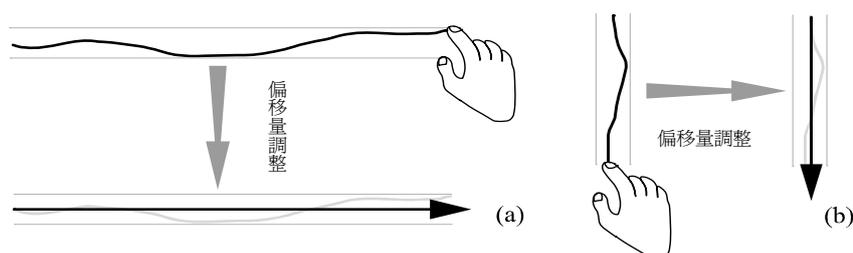


圖 14. 拖曳偏移量校正示意圖：(a) 左至右水平拖曳校正 (b) 上至下垂直拖曳校正

建議未來，程式設計師應設計一套拖曳手勢專用的操控應用程式，對應手勢拖曳的動作，系統能夠即時回饋修正後的正確三維物件旋轉動作，有助於提供使用者快速判斷一直覺手勢與物件旋轉的配對性，期能有效節省操作控制三維物件旋轉的步驟與使用的時間。

此外，若欲提供弧形或旋轉拖曳之手勢動作，則建議在物體外觀輪廓上增加相對於不同轉軸的圓弧形導引線（如圖 15-a），或增加不同軸向模式切換的操控介面（如圖 15-b），以幫助解決二維觸控手勢與三維內容軸向配對不易的問題。使用者只需在觸控螢幕上，自行點選與拖曳欲操控的軸向，並隨時調整不同模式的旋轉，應能有助於快速操控物件轉動到想要的方向。至於圓弧形導引線與不同軸向模式切換功能何者較佳，也可透過後續研究來驗證。

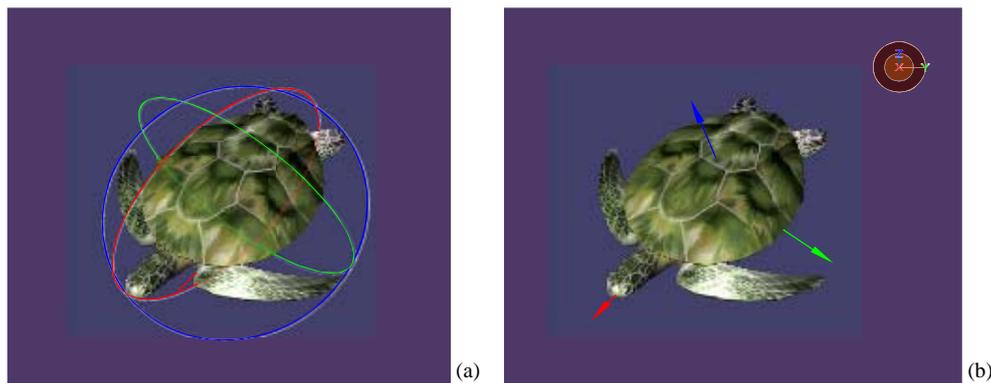


圖 15. 建議三維物件弧形或旋轉操控方式：（a）顯示三軸導引線供拖曳 （b）簡易軸向模式切換

因為三維物件在背景呈現的影像與聲音，能夠造成擬真的現場氣氛，緩和使用者的心情，並減低操控物件時的壓力，因此，未來，針對情境的因子，如背景動態或靜態的影像，或情境音樂的加入，藉以觀察使用者愉悅感、使用成效或反應，探索情境元素所造成的影響。由於目前小型觸控螢幕有許多已有二維圖像放大與縮小的功能，能夠達到使用者想要看到細節的需求。在觀察本研究實驗動作時，受測者在進行第七與第八項自選角度任務時，反應出不易辨識操控的精細度，想要以雙手進行三維物件調整大小的動作，以便達成察看細部的特徵。因此，未來的研究將探索以多點觸控的輸入型態，加入三維物件放大、縮小、位移...等操控動作的實驗，探索在三維環境中任何可能的操作需求，研究更自然的動作反應與相配對的觸控手勢。

為增加使用績效，相關研究曾由人因工程的角度來確認觸控螢幕工作站的操作性（Beringer & Peterson, 1985；Sears, 1991）。在觸控導覽系統的現況上，螢幕角度從與地面呈 90 度垂直到水平的設置，各種傾斜度與高度的裝設都有。部分文獻指出，傾斜的輸入，可讓使用者以單手控制設備，且不必降低螢幕亮度（Parisa & Roderick, 2008）。也有學者提出，最佳的觸控螢幕視角為：距水平 19 和 54.5 度之間（Schulz, Batten, & Sluchak, 1998）。在未來，可以加入觸控螢幕斜度的因子，觀察使用者操作時斜度造成手指與手掌干擾的影響。此外，觸控螢幕的輸入感應裝置，在感壓式與紅外線感應式不同的設置，對應不同角度的螢幕，造成的操控影響，亦成為一個重要的研究議題，藉此探討在操控三維物件導覽時，大型觸控螢幕最適合的放置角度、感應模式、與螢幕亮度等議題。

## 參考文獻

1. Ashbrook, D., Lyons, K., & Starner, T. (2008). An investigation into round touchscreen wristwatch interaction. In *MobileHCI '08: Proceedings of the 10th International Conference on Human Computer Interaction with Mobile Devices and Services* (pp. 313-314). New York: ACM press.
2. Astell, A. J., Ellis, M. P., Bernardi, L., Alm, N., Dye, R., Gowans, G., & Campbell, J. (2010). Using a touch screen computer to support relationships between people with dementia and caregivers. *Interacting with Computers*, 22(4), 267-275.
3. Bach, K. M., Jæger, M. G., Skov, M. B., & Thomassen, N. G. (2008). You can touch, but you can't look: Interacting with in-vehicle systems. In *Proceeding of the 26th Annual SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (pp. 1139-1148). New York: ACM press.
4. Beringer, D. B., & Peterson, J. G. (1985). Underlying behavioral parameters of the operation of touch-input devices: Biases, models, and feedback. *Human Factors*, 27(4), 445-458.
5. Bevan, N., & Curson, I. (1997). Methods for measuring usability. In S. Howard, J. Hammond, & G. Lindgaard (Eds.), *Proceedings of the IFIP TC13 International Conference on Human-Computer Interaction* (pp. 672-673). Sydney, Australia: Chapman and Hall.
6. Breinholt, G., & Krueger, H. (1996). Evaluation of key shapes on a touchscreen simulation of a specialised keypad. *Applied Ergonomics*, 27(6), 375-379.
7. Buxton, W., Hill, R. & Rowley, P. (1985). Issues and techniques in touch-sensitive tablet input. *Computer Graphics*, 19(3), 215-223.
8. Catanese, P. (2001). Director's third dimension: Fundamentals of 3D programming in Director 8.5. Indiana: Que.
9. Cheng, K., & Takatsuka, M. (2006). Estimating virtual touchscreen for fingertip interaction with large displays. In *OZCHI '06: Proceedings of the 18th Australia Conference on Computer-Human Interaction Design: Activities, Artefacts and Environments* (pp. 397 - 400). New York: ACM press.
10. Chiang, D. P., Brooks, A. M., & Weir, D. H. (2004) . On the highway measures of driver glance behavior with an example automobile navigation system. *Applied Ergonomics*, 35(3), 215-223.
11. Colle, H. A., & Hiszem, K. J. (2004). Standing at a Kiosk: Effects of key size and spacing on touch screen numeric keypad performance and user preference. *Ergonomics*, 47(13) , 1406-1423.
12. Collomb, M., & Hascoet, M. (2005). Comparing drag-and-drop implementations. *Technical Report RR-LIRMM-05003, LIRMM*, University of Montpellier, France.
13. Collomb, M., & Hascoet, M. (2008). Extending drag-and-drop to new interactive environments: A multi-display, multi-instrument and multi-user approach. *Interacting with Computers*, 20(6), 562-573.
14. Federico, M. (1999). Usability evaluation of a spoken data-entry interface. In *Proceedings of IEEE International Conference on Multimedia Computing and System, 1* (pp. 726-731), Florence , Italy.
15. Fiorella, D., Sanna, A., & Lamberti, F. (2009). Multi-touch user interface evaluation for 3D object manipulation on mobile devices. *Journal on Multimodal User Interfaces*, 4(1), 3-10.
16. Hachet, M., Declé, F., Knodel, S. & Guitton, P. (2009). Navidget for 3D interaction: Camera positioning and further uses. *International Journal of Human-Computer Studies*, 67, 225-236.
17. Hascoet, M. (2003). Throwing models for large displays. In O'Neill, E., Palanque, P., & Johnson, P. (Eds.) , *People and computers XVII: Designing for society. Proceedings of HCI 2003* (pp. 73-77). London:

- Springer-Verlag.
18. Hascoet, M., Collomb, M., & Blanch, R. (2004). Evolution du drag-and-drop: Du modele d'interaction classique aux surfaces multi-supports. *Revue I3*, 4(2), 9-38.
  19. Holzinger, A. (2003). Finger instead of mouse: Touch screens as a means of enhancing universal access. Universal Access Theoretical Perspectives, Practice, and Experience. *Lecture Notes in Computer Science*, 2615, 387-397.
  20. Huang, H., & Lai, H. (2008). Factors influencing the usability of icons in the LCD touchscreen. *Displays*, 29(4), 339-344.
  21. Jackson, M., & Peters, J. (2003). Introducing touchscreens to black and ethnic minority groups: A report of processes and issues in the Three Cities project. *Health Information & Libraries Journal*, 20(3), 143-149.
  22. Jaimes, A., & Sebe, N. (2007). Multimodal human-computer interaction: A survey. *Computer Vision and Image Understanding*, 108, 116-134.
  23. Karat, J., McDonald, J., & Anderson, M. (1986). A comparison of selection techniques: Touch panel, mouse, keyboard. *International Journal of Man-Machine Studies*, 25(1), 73-88.
  24. Karlson, A. K., Bederson, B. B., & Contreras-Vidal, J. (2008). Understanding one handed use of mobile devices. In J. Lumsden (Ed.), *Handbook of research on user interface design and evaluation for mobile technology* (pp. 86-101). New York: IGI Global.
  25. Karlson, A. K., & Bederson, B. B. (2008). One-handed touchscreen input for legacy applications. In *CHI '08: Proceeding of the 26 Annual SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (pp. 11399-1408). New York: ACM press.
  26. Karray, F., Alemzadeh, M., Saleh, J. A., & Arab, M. N. (2008). Human-computer interaction: Overview on state of the art. *International Journal on Smart Sensing and Intelligent Systems*, 1(1), 137-159.
  27. Katakakis, N., & Hori, M. (2010). Mobile devices as multi-DOF controllers. In *Proceedings of IEEE Symposium on 3D User Interfaces 2010* (pp. 139-140). Waltham, Massachusetts: IEEE Xplore.
  28. Kwon, S., Lee, D., & Chung, M. K. (2009). Effect of key size and activation area on the performance of a regional error correction method in a touch-screen QWERTY keyboard. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 39(5), 888-893.
  29. Lindberg, T., & Nasanen, R. (2003). The effect of icon spacing and size on the speed of icon processing in the human visual system. *Displays*, 24(3), 111-120.
  30. Mainardi, E. (2008). Design of a portable touchscreen interface for powerline domotic systems. In *Proceedings of IEEE International Conference on Automation Science and Engineering* (pp. 680-684). Arlington, VA: IEEE Xplore.
  31. Mauney, D., Howarth, J., Wirtanen, A., & Capra, M. (2010). Cultural similarities and differences in user-defined gestures for touchscreen user interfaces. *CHI EA '10: Proceedings of the 28th of the International Conference Extended Abstracts on Human factors in Computing Systems* (pp. 4015-4020). New York: ACM press.
  32. Nasanena, R., & Ojanpaa, H. (2003). Effect of image contrast and sharpness on visual search for computer icons. *Displays*, 24(3), 137-144.
  33. Nielsen, M., Störning, M., Moeslund, T. B., & Granum, E. (2003). A procedure for developing intuitive

- and ergonomic gesture interfaces for HCI. In A. Camurri, & G. Volpe (Eds.), *5th International Gesture Workshop, LNCS(LNAI)*, Vol. 2915 (pp. 409-420). Heidelberg: Springer.
34. Nielsen, J. (1992). The usability engineering life cycle. *Computer*, 25(3), 12-22.
  35. Nishino, H., Goto, R., Kagawa, T., Utsumiya, K., Hirooka, J., Osada, T., Nagatomo, N., & Aoki, E. (2010). An electronic voting system for Haptic touchscreen interface. In *Proceedings of the 2010 International Conference on Complex, Intelligent and Software Intensive Systems* (pp.1164-1169). Washington: ACM.
  36. Norman, D. A. (1990). *The design of every day things*. New York: Basic Books Inc.
  37. Parhi, P., Karlson, A. K., & Bederson, B. B. (2006). Target size study for one-handed thumb use on small touchscreen devices. In *Proceedings of the 8th Conference on Human-computer Interaction with Mobile Devices and Services* (pp. 203-210). New York: ACM press.
  38. Parisa, E., & Roderick, M.-S. (2008). Control centric approach in designing scrolling and zooming user interfaces. *International Journal of Human-Computer Studies*, 66(12), 838-856.
  39. Park, Y. S., & Han, S. H. (2010). Touch key design for one-handed thumb interaction with a mobile phone: Effects of touch key size and touch key location. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 40(1), 68-76.
  40. Pentland, A. (2008). Understanding 'honest signals' in business. *MIT's Journal of Management Research and Ideas*, 50(1), 70-75.
  41. Perry, K. B., & Hourcade, J. P. (2008). Evaluating one handed thumb tapping on mobile touchscreen devices. In *GI '08: Proceedings of Graphics Interface* (pp. 57-64). Toronto: ACM press.
  42. Po, B. A., Fisher, B. D., & Booth, K. S. (2004). Mouse and touchscreen selection in the upper and lower visual fields. In *CHI '04: Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (pp. 359-366). New York: ACM.
  43. Rafaeli, S. (1988). Interactivity: From new media to communication. In R. P. Hawkins, J. M. Wiemann, & S. Pingree (Eds.), *Sage annual review of communication research: Advancing communication science, Volume 16*, (pp. 110-134). Beverly Hills, CA: Sage.
  44. Rantala, J., Raisamo, R., Lylykangas, J., Surakka, V., Raisamo, J., Salminen, K., Pakkanen, T., & Hippula, A. (2009). Methods for presenting braille characters on a mobile device with a touchscreen and tactile feedback. *IEEE Transactions on Haptics*, 2(1), 28-39.
  45. Rogers, W. A., O'Brien, M. A., & McLaughlin, A. C. (2006). Selection and design of input devices for assistive technologies. In *the Proceedings of 9th International Conference on Control, Automation, Robotics and Vision* (pp. 1-6). Singapore: IEEE Xplore.
  46. Rogers, W. A., Fisk, A. D., McLaughlin, A., & Collins, P. R. (2005). Touch a screen or turn a knob: Choosing the best device for the job. *Human Factors*, 47(2), 271-288.
  47. Saffer, D. (2009). *Designing gestural interfaces*. Sebastopol, CA: O'Reilly Media.
  48. Schulz, K. L., Batten, D. M., & Sluchak, T. J. (1998). Optimal viewing angle for touch-screen displays: Is there such a thing? *International Journal of Industrial Ergonomics*, 22(4), 343-350.
  49. Sears, A. (1991). Improving touchscreen keyboards: Design issues and a comparison with other devices. *Interacting with Computers*, 3(3), 251-269.
  50. Sears, A., & Shneiderman, B. (1991). High-precision touchscreens: Design strategies and comparisons with a mouse. *Ht. J. Man-Machine Studies*, 34, 593-613.

51. Sears, A., Revis, D., Swatski, J., Crittenden, R., & Shneiderman, B. (1993). Investigating touchscreen typing: The effect of keyboard size on typing speed. *Behavioural and Information Technology*, 12(1), 17-22.
52. Suter, J., Dooroo K, Singhose, W., Sorensen, K., & Glauser, U. (2007). Evaluation and integration of a wireless touchscreen into a bridge crane control system. In *Proceedings of IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics* (pp. 1-6). Zurich : IEEE Xplore.
53. Valkov, D., Steinicke, F., Bruder, G., & Hinrichs, K. (2010). A multi-touch enabled human-transporter metaphor for virtual 3D traveling. In *Proceedings of IEEE Symposium on 3D User Interfaces* (pp. 79-82). Waltham, MA. : IEEE Xplore.
54. Villamor, C., Willis, D., & Wroblewski, L. (2010). Touch gesture reference guide. Retrieved August 1, 2010, From <http://www.lukew.com/ff/entry.asp?1071>
55. Wobbrock, J. O., Myers, B. A., & Aung, H. (2008). The performance of hand postures in front- and back-of-device interaction for mobile computing. *International Journal of Human-Computer Studies*, 66(12), 857-875.
56. Yu, L., & Isenberg, T. (2009). Exploring one- and two-touch interaction for 3D scientific visualization spaces. In M. Ashdown, & M. Hancock (Eds.), *Posters of Interactive Tabletops and Durfaces*, ITS 2009, Extended abstract and poster, to appear. New York: ACM.
57. 徐士雅、王年燦、陳國棟 (2009) 。虛擬社群中化身互動機制研究-以虛擬博物館為例。 *屏東教育大學學報-理工類* , 29 , 15-42 。
- Hsu, S. Y., Wang, N. T. & Chen, G. D. (2009). A research on Avatar's interactions in virtual communities: A case study of the virtual museum. *Journal of National Pingtung University of Education*, 29, 15-42.

# A Study on the Mapping of Rotation Manipulation for 3D Virtual Objects and Gesture Patterns on Large Touchscreens

Chao-Jen Ku\*    Li-Chieh Chen\*\*

\*Department of Visual Communication Design, Hsuan Chuang University  
Graduate Institute of Design Science, Tatung University  
chaojenku@gmail.com

\*\* Graduate Institute of Design Science, Tatung University  
lcchen@ttu.edu.tw

## Abstract

Recently, large touchscreens have been adopted as the interactive devices for exhibition in art galleries or museums. Some contents displayed on these devices may include three dimensional objects manipulated by two dimensional gestures. To facilitate intuitive usage by universal visitors, the nature mapping between 3D content manipulations and 2D gestures is an important issue. To address this issue, the objective of this research is to explore the mapping of rotation manipulation for 3D virtual objects and gesture patterns on large touchscreens. The experiment system was a digital media for ecological education that allowed the users to view and rotate a model of a green turtle with different gestures, such as nudging or dragging on horizontal, vertical, inclined angle, and circular patterns. The tasks of experiments were to rotate the 3D model from the original angle to a designated angle with these gestures. The processes were recorded for detailed analysis.

The results of analysis included the following findings. The tasks of rotating models to orthogonal angles were easier than perspective angles. When the task was to rotate the model to perspective angles, participants tended to try the dragging gesture in vertical or horizontal directions first. For all tasks, dragging in vertical or horizontal directions provided more natural mapping between rotation manipulation and gestures than other gestures, such as circular dragging or nudging. In addition, since it was difficult for users to move their fingers in completely horizontal or vertical ways, the confusion of such operations and dragging gestures with inclined angles happened frequently.

To overcome the problem of not being able to perform fully horizontal or vertical finger movement, it is necessary to include the algorithm for recognizing the intents of users in the system. The simplest way is to provide calibration with respect to movement using predefined

threshold. In addition, if the users would like to perform inclined dragging for the purpose of rotating models with respect to multiple axes, two assistive supports could be offered. First, the system should provide shortcuts for users to change the viewing angles of model orthogonally. Second, circular lines on the bonding sphere of the model should be offered to provide guidance for finger movements with respect to different axes of rotation.

**Keywords:** Gesture of Touch, Large Touchscreen, 3D Object Manipulation, Digital Media for Ecological Education.