

中華民國第 52 屆中小學科學展覽會

作品說明書

高中組 生活與應用科學科

佳作

040818

躍然幕前一立體影像拍攝條件之探討

學校名稱：臺北市立第一女子高級中學

作者： 高二 邱雅雯 高二 高紹芳	指導老師： 李美英 黃光照
-------------------------	---------------------

關鍵詞：鏡頭間距、立體影像凸出、可旋式鏡頭

摘要

本研究建立視線三角形之模型，用於推算拍攝立體影像時兩鏡頭的最大間距，並預測立體影像凸出螢幕之距離。接著拍攝並編輯用於立體影像觀測實驗之影像對，以觀看對照示意圖的方式，量化不同拍攝與顯示條件下合成效果的差異，最後透過受測實驗的進行找出人因上的限制條件與數值，並驗證模型。

經本研究可推知，影像凸出效果主要受兩眼影像顯示距離影響，可由沙漏形視線三角形模型預測並進行調整與控制；欲拍攝可舒適合成之立體影像時兩鏡頭之最佳間距約為 6 公分；改變影像尖銳與平坦程度的因素主要為角度資訊(含鏡頭間距與拍攝角度)及顯示時兩影像的距離；利用兩可旋鏡頭拍攝可改善平移兩眼影像時造成的變形，使影像尖銳與平坦程度更符合真實情況。

壹、研究動機

立體顯示可說是現今相當熱門的討論話題。近年來，多種立體技術及顯示器輩出，其中最為風行且普及的非 3D 電影莫屬，但立體電影觀賞的效果因人而異，且常有不舒服的現象，進而引發了我們對於這個主題的興趣。

爲了瞭解立體影像的製作方式，我們決定由拍攝端著手；經過實際操作 HTC EVO 3D 智慧型手機與 Fujifilm FinePix REAL 3D W3 數位相機等圖一所示之科技產品後，發現兩者在軟硬體上的功能、設計與效果各有優劣，且與高三選修生物-生物對外界刺激的感應(視覺)中所學及一般認知的人眼構造皆有諸多相異之處。



圖一：HTC EVO 3D 手機(左)與 Fujifilm FinePix REAL 3D W3 相機(右)。兩台相機皆利用具有兩個並列平行鏡頭的設計得到兩張具不同角度資訊的影像，並一起放映於顯示器上，而呈現具深度的立體圖像。

一、觀看感受差異

在觀看 3D 電影時，部分影像會凸出銀幕所在平面，但凸出的距離並不固定。反觀人眼在觀看真實物件時，僅有景物遠近之分，而無物體凸出於特定平面的感受，且與觀看人爲製作的立體影像時的感受明顯不同。

二、硬體設計差異

Fujifilm 相機的鏡頭間距爲 7.7 公分，HTC 手機的兩相機鏡頭則僅相距 3.5 公分，和一般相距約 6 公分的人類雙眼皆有些許差異；而鏡頭間距比雙眼大的 Fujifilm 相機並無法妥善呈現近物的立體影像，反觀 HTC 手機的鏡頭間距較雙眼小，便無此困難。同時，相較於可轉動的眼球，上述兩產品的鏡頭皆不可各自轉動或進行相對移動。

三、軟體設計差異

人類眼球的轉動能使大腦接收到不同角度的影像資訊，再進一步合成立體畫面，而 Fujifilm 相機則內建有由拍攝後調整兩影像顯示距離的軟體，可以經平移改變兩影像的重疊寬度；HTC 並無此功能。但與人眼的調整機制仍有不同，推測可能因高三選修物理-幾何光學(光的直進)中所學的光學特性有關，造成觀賞時影像的失真。

透過實際操作這些產品，對於所呈現的立體效果有了更深刻的瞭解。爲了改善現今立體相機的拍攝效果，並使其與人類雙眼的觀看機制更爲相似，於是開始尋找解決方法。

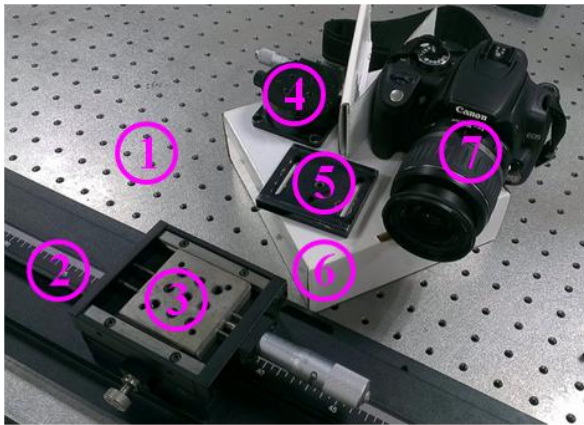
貳、研究目的

有鑑於各種拍攝條件下立體效果的差異，以及市面上一般立體相機與人眼在構造與觀感上的異同，本研究設計相關實驗，對受測者的感受進行比較和量化，進而得出適宜的量化方法、環境資訊與人因限制參數，最後建構更近似於人眼的立體相機。

為拍攝並呈現使觀看者皆可舒適觀賞的立體影像，本研究將於第一階段的測試實驗，企圖控制影像中物體凸出於螢幕的距離，並找出具並列雙鏡頭的相機欲拍攝可舒適合成的立體影像時，所能容許的最大鏡頭間距，同時瞭解利用軟體於水平方向上改變兩影像顯示距離造成的變形。再於第二階段，藉由可旋式鏡頭的設計，模擬眼球於水平方向上的轉動，以修正平移影像的後製所造成的變形。

參、研究設備與器材

一、拍攝所需器材



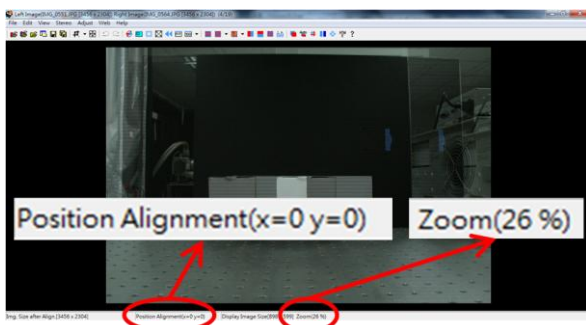
- ①光學桌(optical table)
- ②光學軌(optical bench)
- ③光學滑動平台(optical carrier)
- ④精密旋轉平台(precision rotation stage)
- ⑤滑動基板(slide base)
- ⑥供拍攝影像之物體：白色長方體紙盒
- ⑦供拍攝示意圖之紙板，由和⑥相同的紙盒製作
- ⑧單眼相機(Canon EOS 350D Digital)

圖二：拍攝用研究器材。

二、影像處理軟體

(一) StereoPhoto Maker 軟體

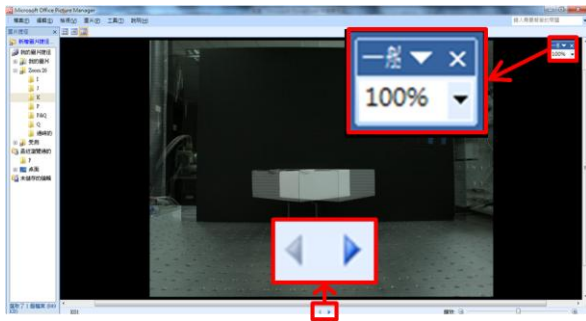
為網路上下載之自由軟體，用於兩張影像的合成與編輯，如圖三。



圖三：StereoPhoto Maker 軟體介面簡介。下方狀態列紅圈處的 x 值與 y 值為左右兩張影像水平與鉛直方向偏移的畫素個數；Zoom 中的百分比即為所見影像與原始檔案相比的縮放比例。

(二) Microsoft Office Picture Manager 軟體

為 Microsoft Office 2007 中的影像檢視軟體，用於圖檔的播放，如圖四。



圖四：Microsoft Office Picture Manager 軟體介面簡介。上方紅圈處的百分比用於調整圖檔的縮放比例；影像播放視窗的下方中央處有向左及向右的按鈕，可藉由點選直接進行快速的圖檔更換。

三、測試所需設備

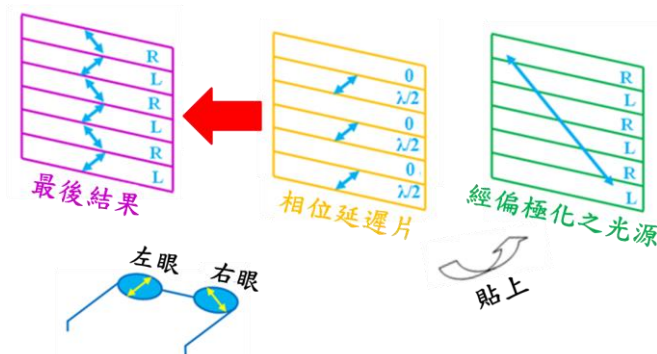


- ①具有偏光顯示螢幕之 Acer Aspire 5738DG 筆記型電腦
- ②塑膠框的偏光眼鏡
- ③夾在一般眼鏡上的偏光鏡片夾

圖五：受測用研究設備。

(一) 偏光(polarization)顯示技術介紹

電磁波為三維的橫波，當電磁振盪只發生在一個方向而其他方向為零時，便稱為偏振光，可用於進行左右眼影像的區分與遮蔽。利用液晶轉向與「在不同介質間折射率差異造成光行進速率不同」的原理製作而成的相位延遲片(wave retardation plate)則可用於改變偏振光的偏極方向，如圖六。



圖六：偏光顯示技術原理。利用相位延遲片讓左眼影像(L)光源的偏振延後半個波長，右眼影像(R)則維持不變；影像透過偏光眼鏡而分別被送至左右兩眼時，一眼只能接收到設定給該眼的影像資訊，而兩眼影像互不干擾。圖中藍色及黃色的雙箭頭為光線的偏振方向。

(二) 選擇偏光顯示技術之原因

舉其他顯示技術與偏光進行比較，由於偏振眼鏡的價格較低，其製作過程容易因不夠嚴謹而導致眼鏡與光源的偏振方向不完全相符，或是兩眼鏡片的偏振方向不完全垂直，造成俗稱「漏光」的現象，使觀賞者因不同偏振方向的光殘留而看見並非設定給該眼的影像，更因看見原先設定給另一眼的影像而感到混淆甚至不適。然而可透過對受測者進行說明、使漏光造成的殘影能被辨識，將其影響降到最低；而柱狀透鏡為裸眼顯示技術，故放映效果易受觀看角度影響，本研究的實驗皆需與受

測者進行互動，因此不適宜採用。同時，柱狀透鏡為較新型的顯示技術，雖然輕巧但器材成本較高，價格較為昂貴；偏光眼鏡則為目前大型場所中所使用的主流立體顯示技術，其眼鏡成本相對較低且不易損壞。即使 Acer Aspire 5738DG 的體積稍大、重量稍重，但並不影響實驗本身的進行。

經過對於器材成本及顯示效果的考量後，確認透過 Acer Aspire 5738DG 螢幕的偏光設計以及偏光眼鏡的搭配，可以滿足本研究的探討方向及實驗設計對於立體顯示的需求，故決定採用偏光顯示技術進行影像放映。而本研究主要針對立體影像製作進行探討，故可合理推測使用不同的顯示技術將不影響所得到的結果。

肆、研究過程與方法

一、文獻探討

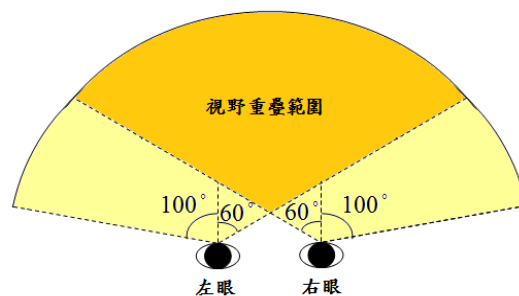
(二) 人類視野範圍

眼睛的視野範圍稱為視覺圓錐角，視錐角度愈大則視野愈廣，但清晰程度愈差。當人類集中精神注視特定目標，維持約 0.2~0.3 秒以上的不動凝視時，所能接收到詳細資訊的區域僅 $3^{\circ}\sim 5^{\circ}$ 的立體角，如圖七。



圖七：注視特定目標時之視覺圓錐角。

本研究為簡化計算，忽略視覺圓錐角 $3^{\circ}\sim 5^{\circ}$ 之角度範圍，並視人眼接收光線的範圍為一點。由此可明確定義視線為眼睛與所看見物體的連線，其方向由眼睛射向物體，且兩眼視線皆需位於左右兩眼視野的重疊範圍內才能匯聚並交會於同一點，如圖八。



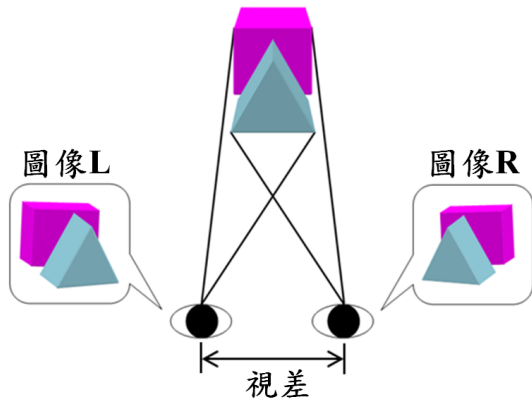
圖八：人類視野於水平方向的角度範圍。人類的視野於水平方向約涵蓋 200° 的範圍，深黃色部分即為兩眼視野重疊區域。

(二) 立體視覺的原理

人眼對於空間的認知可分為心理和生理，一般心理上的立體效果依經驗法則進行邏輯判斷而不需仰賴雙眼視覺。生理性的立體效果則需人眼內外的肌肉與雙眼的黃斑部合作，而 3D 電影正是利用此方式，故眼壓升高且容易疲勞，而以下將針對生理性立體的成因進行說明。

1. 雙眼視差(binocular parallax)

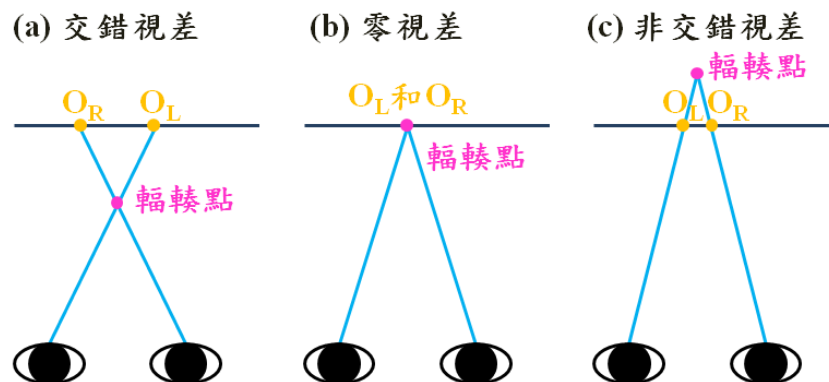
人類因左、右兩眼分布在臉部的位置略有不同而產生視差，大腦則會藉此將左右眼各自得到的影像融合成一個具深度資訊的立體畫面。換言之，欲產生立體效果必須分開放送影像至兩眼，使其互不干擾，如圖九所示。大部分立體顯示技術便是預先設定兩眼分別所應看到的影像，再利用各種顯示技術將左右眼影像分開播放，分別送入左右眼，進而產生立體效果的錯覺。



圖九：立體視覺原理。以左眼為例，左眼只能看到左眼視線方向的影像，即圖像L，而不會看見右眼視線方向的圖像R；反之，右眼亦然。以現今的科學技術而言，對於眼動的偵測及追蹤技術尚未普及，故於受測者進行測試時直接取得兩瞳孔中心之間的距離有相當程度的困難。基於上述原因，計算視差時只考慮大多數人類平視前方時，雙眼瞳孔中心之間的直線距離，其值約為6公分。

2. 光角(convergence)

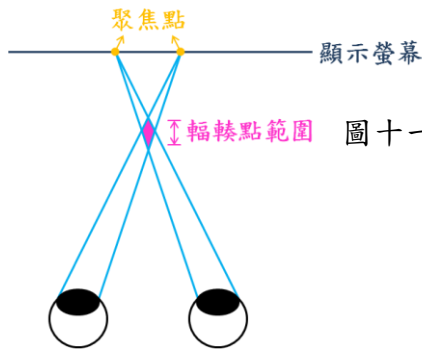
當所注視的物體移近時，視線將由平行從眼睛射出轉而交會於一點，便可清楚看見該點的影像，並稱該交會點為輻輳點、兩視線夾角為光角。觀看經由屏幕播放的立體影像時，輻輳點的位置可分為三類：螢幕前、螢幕上與螢幕後，依視線的變化分別稱為交錯視差(crossed-parallax)、零視差(zero-parallax)與非交錯視差(uncrossed-parallax)，如圖十所示。



圖十：輻輳點位置。選定左右眼影像中皆會看到且具代表性的一點O，並於左眼影像中稱之為 O_L ，於右眼影像中稱之為 O_R 。

3. 調節力(accommodation)

藉由睫狀肌的調節，水晶體將會變厚以令光線聚焦至視網膜，而此時視光線由物體(或螢幕)上的一點發出，射出一圓錐狀的光束至瞳孔，並稱該點為聚焦點，而人類可藉由水晶體的鼓起進行遠近程度的感知，如圖十一。



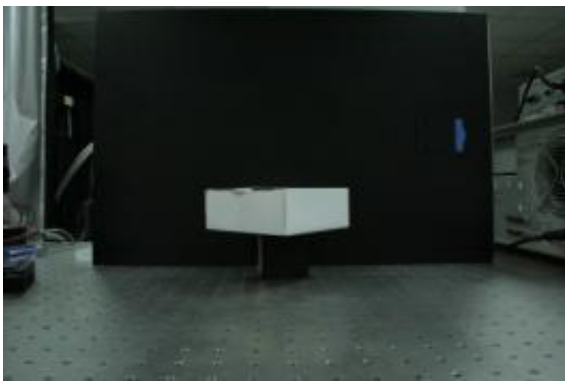
圖十一：輻輳點與聚焦點。當忽略螢幕上一點射出的錐狀光束時，視其為一與視線方向相反之直線，則輻輳點範圍可視為一點。如圖可知聚焦點必位於觀看目標上，可能為物體或螢幕；輻輳點則受其他條件影響而無固定位置。兩點意義與落點皆不同。

二、製作測試實驗用圖

第一階段藉由水平移動單鏡頭之 Canon EOS 350D Digital 相機，而第二階段則改變相機於水平方向上的拍攝角度，再利用軟體 StereoPhoto Maker 取代 Fujifilm 相機內建調整影像距離之功能，以每兩張為單位進行合成與處理。如此可分別模仿不同鏡頭間距及不同角度拍攝所得的影像，同時排除相機內建軟體於使用者無法得知的情形下進行的任何修正或調整指令。

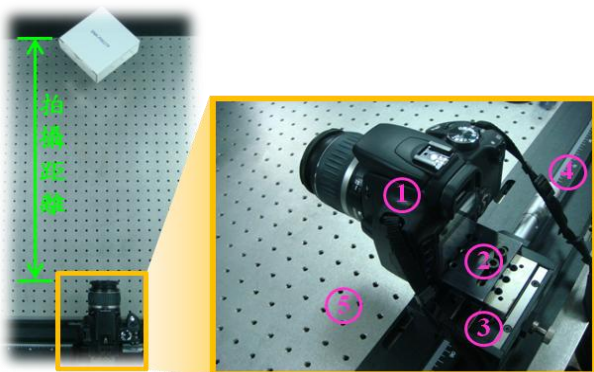
(一) 環境擺設(圖十二)

以黑色平板作為拍攝背景，利用背景與拍攝物體的顏色差異避免造成判斷時的混淆。並墊高物體使相機能對焦於其上，否則焦距不同將影響影像的清晰程度，且造成影像規格的變異。再測量相機鏡頭前緣和物體垂直於光學軌方向的最短距離，定為拍攝距離。



圖十二：環境擺設說明。拍攝物體為一白色長方體盒子，使其稜線朝前，並確保由相機觀景窗觀看時盡可能平視物體稜線中點而無過大的俯角或仰角。

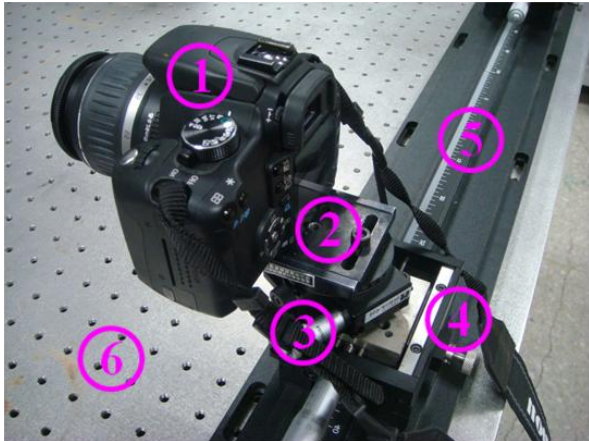
(二) 影像拍攝



- ① Canon EOS 350D Digital 單眼相機
- ② 滑動基板
- ③ 光學滑動平台
- ④ 光學軌
- ⑤ 光學桌

圖十三：第一階段拍攝機構說明。

於第一階段的拍攝時，固定光學軌於光學桌，並將 Canon 相機以螺絲栓於滑動基板，再將相機與滑動基板固定於光學滑動平台上，並放置整體裝置於光學軌上。再調整相機模式與設定，並在拍攝時維持一致，並將相機移動至光學軌上離拍攝物體最近之處進行自動對焦，再使用手動模式拍攝，讓相機沿著光學軌水平左右移動時，不因對焦於物體以外的地方而造成焦距改變。由光學軌自左向右移動相機，對應光學軌上的刻度，每間隔 1 公分拍攝一張影像，直到白色盒子無法完整出現於螢幕上為止，共拍攝 18 張影像。



- ① 單眼相機(Canon EOS 350D Digital)
- ② 滑動基板(slide base)
- ③ 精密旋轉平台(precision rotation stage)
- ④ 光學滑動平台(optical carrier)
- ⑤ 光學軌(optical bench)
- ⑥ 光學桌(optical table)

圖十四：第二階段拍攝機構說明。

於第二階段時，相機架設及移動方式則略有不同。於滑動基板與光學滑動平台間架設一個旋轉平台，使相機能模擬人眼在水平方向上的旋轉。拍攝時使觀景窗中央的黑色十字對準並聚焦於白色盒子的稜線中點。固定兩影像拍攝位置的間距而變更拍攝距離，當視線三角形的底角每改變 1° 時拍攝一張影像；選擇 9 種拍攝距離及 2 種拍攝位置的間距，再加上相機未經旋轉的對照組，共拍攝 72 張影像。

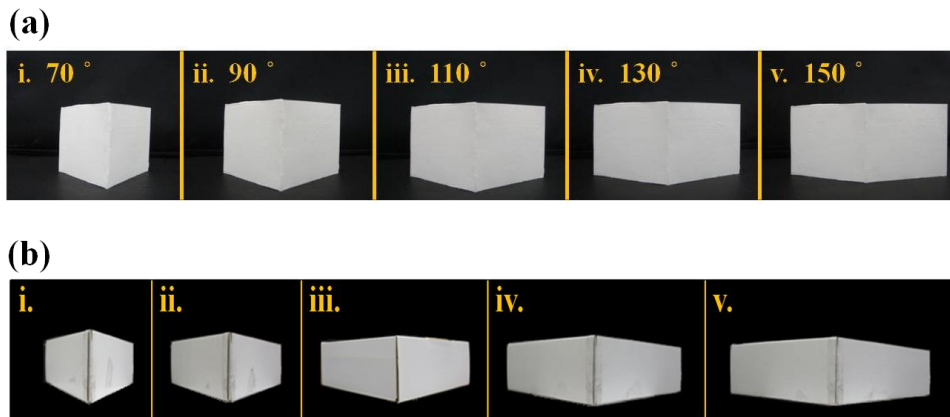
(三) 測試影像處理

軟體 StereoPhoto Maker 可將兩張影像以橫向線條穿插(row interlaced)的方式合成，但更替影像時需經多次點選才能同時放映兩張影像的穿插合成圖，因此延長受測時程，可能因此造成受測者的不適。故將兩張像用軟體 StereoPhoto Maker 合成，初步穿插時 $x=0$ ，可以由 x 值改變兩張影像水平方向上的距離，而沿著光學軌移動 1 公分拍攝所得的兩張影像在 StereoPhoto Maker 軟體中以 26% 的縮放比例(Zoom)放映時，螢幕上白色盒子的稜線於水平方向上將移動 0.4 公分，相當於 52 畫素。按下 Prt Sc 鍵(Print Screen)複製螢幕上的影像，以儲存為單一圖檔。

(四) 製作對照示意圖

操作可調整影像距離的介面時，發現以平行並列的鏡頭拍攝，當兩影像拍攝距離較遠或顯示的水平距離較大時，觀測物體如被擠壓般凸出；拍攝位置較近或顯示距離較小時，物體如被壓扁而攤平。由此推測，當兩眼影像資訊與顯示距離與人眼機制不同時通常會有變形產生，其變化趨勢可由物體的尖銳與平坦程度分辨。故於第一階段的測試中試圖瞭解影像資訊及顯示距離對合成效果造成的影響，第二階段則以模擬人眼旋轉的機制拍攝影像並驗證其失真程度是否得到改善。

為製造供量化與比較的標準，並作為受測時之對照物體形狀之示意圖，於第一階段時仿拍攝物體，取兩張紙片排成一向前的稜角，改變擺設使其俯視時的張角不同，再由前方一一拍攝之；第二階段則直接拍攝白色盒子，並將之剪開以直接改變稜線兩側平面間的角度，如圖十五。



圖十五：變形程度對照示意圖。(a)於第一階段時使用，俯視兩張紙片時其張角分別為 70° 、 90° 、 110° 、 130° 、 150° ；(b)於第二階段時使用，俯視盒子兩面時其張角分別為 50° 、 70° 、 90° 、 110° 、 130° 。兩圖編號皆由左至右依序為 i、ii、iii、iv、v。

三、推論

(一) 視線三角形

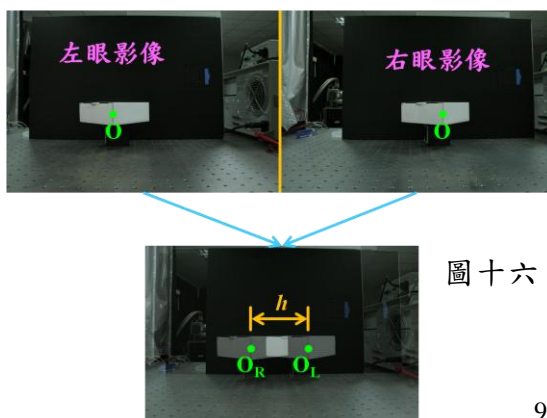
1. 定義

注視特定目標時，兩眼視線將交會於輻輳點，故視線與雙眼連線會形成一三角形，於本研究中稱之為「視線三角形」，其頂角即為光角；同理可套用於雙鏡頭相機攝入影像時的情況，此時視線為物體與鏡頭之連線。

依觀測物體位置的不同，所形成之視線三角形不一定等腰，但當物體位於兩影像接收點之中垂線上時，視線三角形為等腰三角形；為簡化情況，本研究只針對等腰之視線三角形進行探討。而測試實驗影像對中的所取兩張影像的拍攝位置皆與基準線等距，故所形成之視線三角形必為等腰。

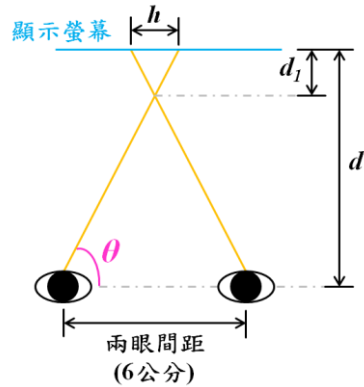
2. 推廣一：凸出程度的量化

Fujifilm 相機之內建軟體及 StereoPhoto Maker 皆可控制左右兩眼影像的距離，故於上述可行調整之介面上皆可選定 O 、 O_L 、 O_R 以進行推算，如圖十六。



圖十六：左右影像間距離 h 的定義。對於 O 的定義方式參照圖十，令 O_L 與 O_R 之直線距離為 h ，為由顯示螢幕上測量所得的距離。

由於相機與拍攝物體相對位置的改變，合成兩張影像後 O_L 將位於 O_R 之右方。當右眼視線看見 O_R ，左眼視線看見 O_L 時，視線、兩眼連線與 $\overline{O_R O_L}$ 將形成沙漏形，即圖十(a)中的交錯視差，而因眼睛可清楚看見視線交會點的影像，故推測沙漏中心即為影像凸出的位置。



- h : O_L 與 O_R 之直線距離
- d : 受測者至螢幕的觀賞距離
- d_1 : 輻輳點至螢幕的距離
- θ : 視線三角形底角

圖十七：沙漏形視線三角形。

由圖十七上下三角形相似之特性經(式一)算出沙漏中心與螢幕間的距離 d_1 ，其中 θ 為視線三角形之底角。本研究中以視線三角形底角取代頂角(光角)進行探討，則是由於對可旋式鏡頭拍攝條件計算時方便性的考量。

$$d_1 = \frac{h \times d}{6 + h} \quad (\text{式一})$$

為驗證此模型是否可作為預測凸出程度的依據，需設計實驗使受測者以手比出所見立體影像的凸出程度，以測量其指尖位置與螢幕間的距離，與模型所得之預測值進行比較。

3. 推廣二：立體視覺之臨界條件

視線三角形之底角應有一限制範圍，此範圍可能與產生立體視覺的臨界條件相關。因兩眼視線需交會才可看見物體，故視線三角形之底角應介於 $0^\circ \sim 90^\circ$ 之間，由此推知立體視覺的臨界條件應為底角 θ 的最小值，於本研究中稱之為「臨界角」；底角比臨界角大之視線三角形形成時皆可產生立體視覺。故觀看螢幕上的物體時可由圖十七推得(式二)。

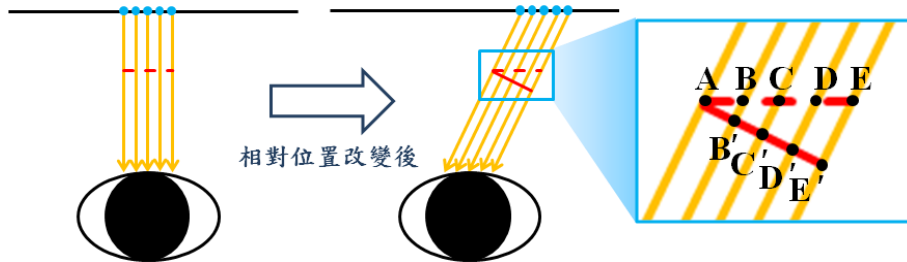
$$\theta = \tan^{-1} \frac{2 \times d_1}{h} \quad (\text{式二})$$

藉由固定拍攝距離並以不同鏡頭間距的相機拍攝立體影像，可由(式二)推得視線三角形底角 θ 。而影像組 I 即為了模擬改變兩平行並列鏡頭間距的情況，以相機及拍攝物體間最短距離之連線為中央之基準線，每兩張與基準線左右等距離拍攝之影像為一對，並以各自移動 1 公分(兩影像拍攝位置間距擴大 2 公分)為單位，共 9 對。組成 I 類圖檔之影像拍攝位置皆不同，得到白色盒子稜線與鏡頭連線亦與基準線夾不同角度，故每一圖檔所含之角度資訊與兩影像顯示距離皆不一致。

(二) 變形程度

1. 原理探討

觀看本身即具深度的場景時於一特定位置可得到一種視線方向的影像資訊，且受兩個不同位置的觀看角度而相異，如圖九。由此可知改變觀看或拍攝的位置皆會造成不同的合成效果。此論點針對已固定拍攝位置與角度而無法改變角度資訊的平面影像亦成立，而可藉改變兩眼影像的顯示距離影響合成效果。



圖十八：視線方向改變造成影像變形。黃線於三圖中皆為平行入射眼睛的光線。圖中的紅色虛線及紅色實線分別和與垂直螢幕方向的黃線垂直及與螢幕不垂直的黃線垂直。紅色虛線、紅色實線與不垂直螢幕的黃線可形成一系列相似之母子三角形 $\triangle ABB'$ 、 $\triangle ACC'$ 、 $\triangle ADD'$ 、 $\triangle AEE'$ 。

舉液晶顯示器為例，當眼睛位置與螢幕上的圖像產生水平方向的相對移動時，原本以垂直螢幕方向入射至眼睛的光線，將改與螢幕成一不為 90° 之夾角，如圖十八。因母子三角形中之平行線會截出等比例之線段，可知 $\overline{AB} : \overline{BC} : \overline{CD} : \overline{DE} = \overline{AB'} : \overline{BC'} : \overline{CD'} : \overline{DE'}$ ，故螢幕上圖像將有一固定程度之縮放比例，造成影像之變形。

2. 設計驗證實驗

基於實際嘗試與原理探討時發現影像各部分縮放比例改變之趨勢，推測影像的變形程度可由對照觀看物體稜線兩側平面夾角大小的變化進行量化，故設計受測實驗分別固定影像角度資訊及顯示距離，進行比較與和示意圖的對照：取 I 類之影像對，調整其 x 值(畫素)大小以改變兩影像的距離，分別組合成影像組 J 模擬改變螢幕上兩影像的距離，及影像組 K 模擬不同角度資訊的影像組合，並將 I、J、K 三種影像組的觀看實驗稱之為第一階段。

影像組 J 中以兩影像距離每增加或減少 104 畫素為一對，故顯示距離及對數皆與 I 類影像對一一對應，但因所取自影像組 I 的影像對不同，且分別使影像距離縮小或放大，故組成兩種分別含相同影像資訊的影像組：影像組 J_1 取拍攝位置最左及最右的兩張影像合成，再使兩影像間的距離縮小；影像組 J_2 則取拍攝位置離基準線最近兩張合成，再使兩影像間的距離擴大。影像組 K 中則將 I 類影像對中的兩影像皆調整成與人眼間距最接近的 6 公分拍攝時的情形，兩影像顯示距離皆為 2.4 公分，以去除影像距離對於觀看感受的影響。

3. 設計改良實驗

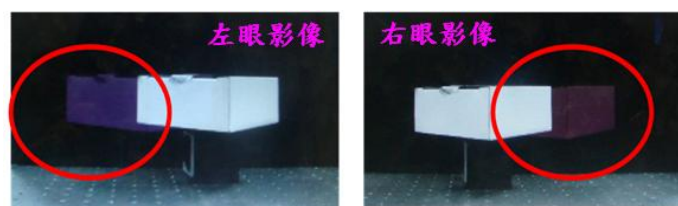
經由對第一階段實驗結果的猜測，造成影像變形的主要因素為立體相機與人眼機制的差異，故於第二階段賦予原本並列而以平行方向拍攝的兩鏡頭水平旋轉的自由度：設計 P、Q 兩種影像組，其中影像組 Q 中的影像對皆經過旋轉的調整，其觀景窗中央十字對準白色盒子稜線中點，而影像組 P 之對應影像對則為在相同位置拍攝但未經旋轉故鏡頭方向皆平行的對照組。影像組 P₁ 及 Q₁ 選用的鏡頭拍攝位置間距為 6 公分，與人眼相近；P₂、Q₂ 則為 10 公分，以瞭解可旋式鏡頭針對變形程度，是否較平移式的軟體具更佳的改善效果。

四、測試實驗

請受測者觀看影像對，並指示針對其立體效果及受測時的感受進行說明。

(一) 前置預備

1. 以簡報向受測者告知測試實驗之流程及相關注意與配合事項，但僅提供必要資訊，如所需遵守的步驟、殘影的判別、所需回答之問題等，而不說明完整的實驗目的與不同影像對之間的差異，以避免心理作用造成認知或觀看結果上的差異。
2. 戴上偏振眼鏡，眼鏡分為膠框眼鏡和鏡片夾，如圖五，視受測者的習慣、喜好及方便程度選擇，將不影響實驗結果。
3. Acer Aspire 5738DG 內建軟體建議觀賞立體影像時使螢幕與鍵盤的夾角為 120°、受測者視線與螢幕平面垂直時距離 60 公分。選定舒適的姿勢並完成測量後，請受測者維持此姿勢直到測試完成，於受測過程中盡量不轉動或移動頭部及身體。
4. 漏光時，影像中的白色盒子旁邊會出現多餘的色塊殘影，如圖十九。受測開始前，需確認其對於殘影的定義與實驗設計者相同且能明確辨認之，並在不影響立體效果的判斷的情況下將之忽略。



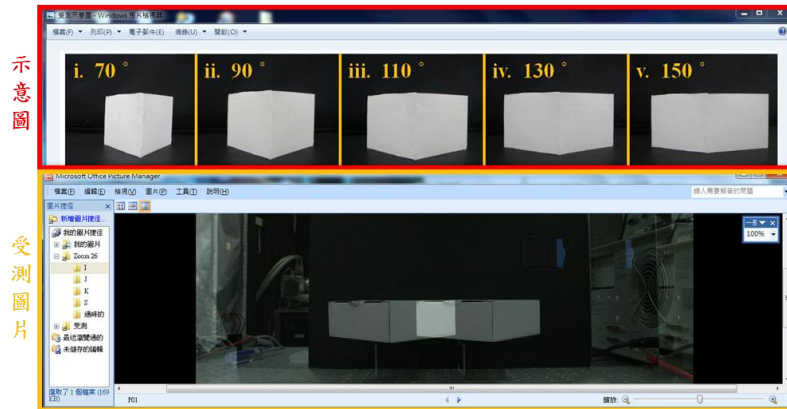
圖十九：殘影範例圖。左圖為左眼影像，紅圈內紫藍色色塊即為左眼之殘影；右圖為右眼影像，紅圈內紫紅色色塊即為右眼之殘影。

(二) 測試內容

1. 凸出效果測試能驗證立體影像之凸出位置是否符合沙漏形視線三角形模型的預測。受測者將告知影像是否呈現立體、白色盒子是否凸出螢幕外，並試圖比出凸出位置且記錄指尖與螢幕間的距離。若無法看見物體凸出，則以手指前後移動輔助，直到聚焦於影像或手指任一，影像及手指皆為單一影像時亦為凸出位置。
2. 合成難易測試將實驗兩影像顯示距離對於合成立體影像所花時間的影響。受測者將告知看見影像的第一瞬間，所見到的為單一立體影像或兩張分離影像。若為分

離，請受測者估算由看見影像到完成合成大約需時多久。

3. 變形程度測試可瞭解角度資訊和影像顯示距離於變形程度上的關聯。請受測者對照視窗上方的示意圖(參照圖十五)，告知與觀看物體形狀最相近者。



圖二十：變形程度測試受測介面簡介。

(三) 進行測試

1. 於第一階段時，三個測試受測者皆需進行，但於第二階段時，由於僅針對旋轉鏡頭的效果進行瞭解，故只需進行變形程度測試。
2. 請受測者於測試時觀察白色盒子上即可，回答相關問題且盡可能詳細敘述觀看影像時的感受。測試過程中，記錄受測者測試所得之各項數據以及針對觀看效果的說明。
3. 第一階段時，為了避免受前後臨近樣本的影響而產生累積效應，因此盡量不連續選取相鄰或編號太近的圖檔，而以亂序排列影像供受測者觀看，同時針對影像組 I、J₁、J₂、K 皆使用相同的圖檔排序。而第二階段則無累積效應的影響，為了增加影像對間的鑑別度，使前後影像間的差異更容易辨識，故按照拍攝距離由近到遠依序放映圖檔，影像組順序為 P₁、P₂、Q₁、Q₂。
4. 為更換圖檔時更為方便且大幅改善在測試進行中點選影像所造成的時間浪費，改由 Microsoft Office Picture Manager 進行影像對圖檔的放映。如此受測時只需以滑鼠按下介面上的向右鍵(參照圖四)即可播放下一張圖檔。為使影像長條能符合螢幕上不同偏極方向的畫素位置，需調整其播放比例為 100%。
5. 欲更換影像時，請受測者閉眼略作休息或觀看較遠處，使實驗所得數據較不易產生累積效應，也可減緩受測者的疲倦感。

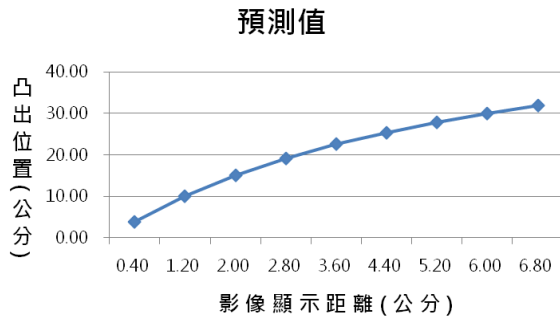
伍、研究結果

經過測試實驗後，將所得數據繪成圖表。由於受測者眾多，故只選取數張具代表性的圖表進行說明。雖實驗值的數據點與數據點之間無直接關聯，但為避免混亂而看不出趨勢，故部分圖表仍將數據點連線，並以折線圖呈現。另外，由於本研究之受測實驗皆較為主觀，故實驗誤差較大，因此主要針對數據趨勢與變因相關性進行探討，分析時有時會將不合理的數據排除，下圖將詳列圖中樣本數占總樣本數的比例。

一、第一階段

影像組 I 之操縱變因為鏡頭間距，故同時影響拍攝資訊及兩影像顯示距離；影像組 J 中固定拍攝位置，故操縱變因僅含兩影像顯示距離；影像組 K 中固定兩影像顯示距離，故操縱變因為拍攝資訊。此外，影像組 I、J、K 皆固定拍攝的角度，意即拍攝方向皆平行而垂直於光學軌。欲探討的應變變因則為三個測試實驗，包含凸出效果、合成難易及變形程度；以下將針對影像組內及組間的差異分別進行分析。

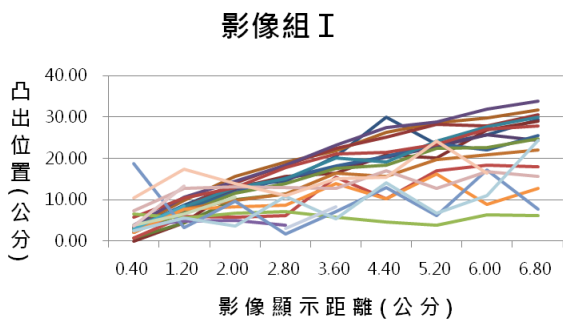
(一) 凸出效果測試



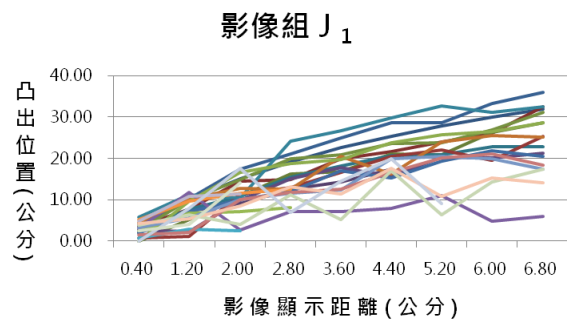
依沙漏形視線三角形模型的預測，將觀測距離 $d=60.0$ (公分)與影像距離 h 代入(式一)可算出針對影像組 I、 J_1 、 J_2 之預測值如左圖二十一，而因影像組 K 之影像距離皆為 2.4 公分，故得預測值為 17.14 公分。

圖二十一：顯示距離-凸出位置預測值。

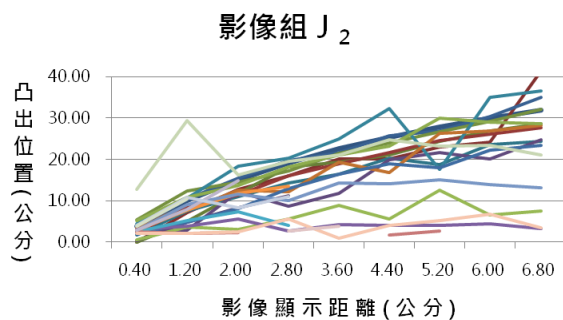
圖二十二至圖二十五則為依所觀看的影像組 I、 J_1 、 J_2 、K 分類，所有受測者凸出位置實驗值與影像距離的折線圖。



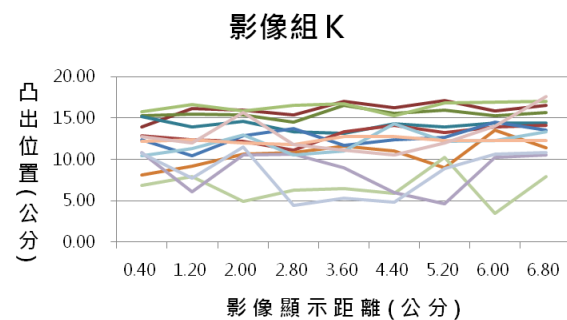
圖二十二：I-顯示距離-凸出位置實驗值。



圖二十三： J_1 -顯示距離-凸出位置實驗值。

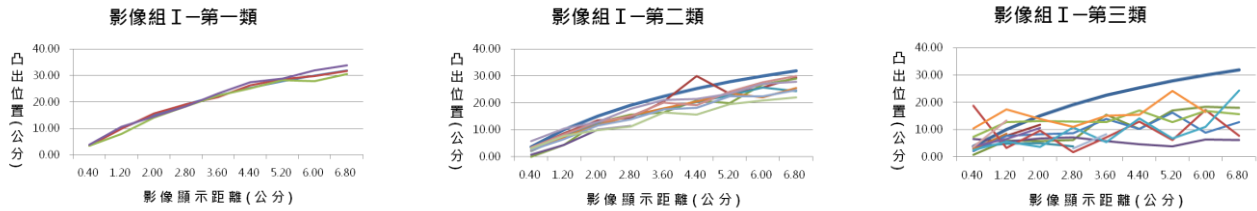


圖二十四： J_2 -顯示距離-凸出位置實驗值。



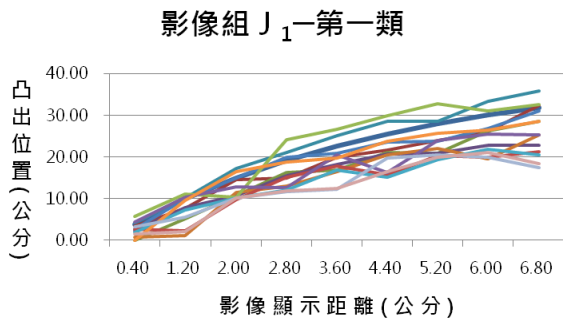
圖二十五：K-顯示距離-凸出位置實驗值。

由圖二十二可看出影像組 I 之實驗結果可分為三類，如圖二十六至二十八：第一類為和預測值近乎相符者，約占 12%；第二類為和預測趨勢相同但數值略小、整條曲線大致向下方等距平移者，約占 36%；第三類為剩下趨勢較亂而看不出明顯規則者，約占 52%。

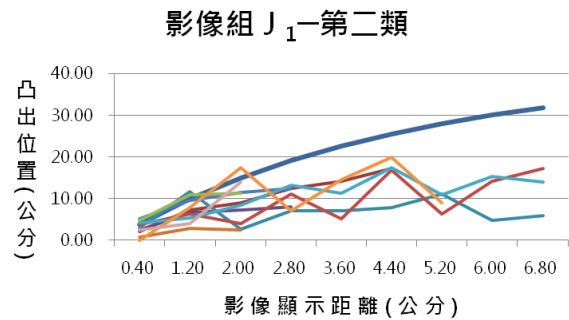


圖二十六：凸出效果-I-第一類。 圖二十七：凸出效果-I-第二類。 圖二十八：凸出效果-I-第三類。

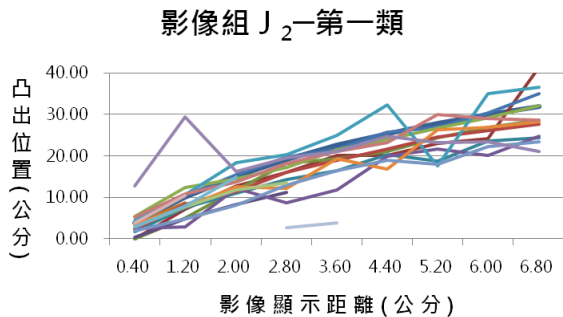
而由圖二十三及二十四可看出影像組 J_1 、 J_2 之結果可分為兩類，如圖二十九至三十二： J_1 之第一類為與預測趨勢相近且分布於預測值曲線附近者，約占 67%，第二類為剩下的不規則樣本，約占 33%； J_2 之第一類為與預測趨勢相近且分布於預測值曲線附近者，約占 56%，第二類為剩下的不規則樣本，約占 44%。



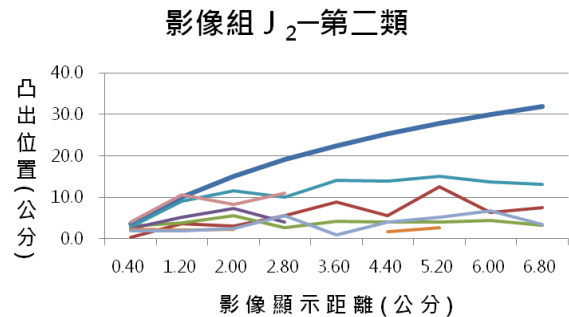
圖二十九：凸出效果- J_1 -第一類。



圖三十：凸出效果- J_1 -第二類。

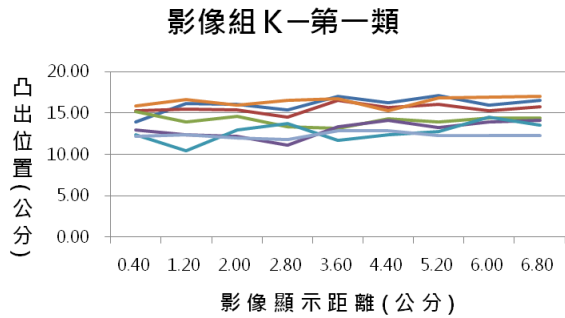


圖三十一：凸出效果- J_2 -第一類。

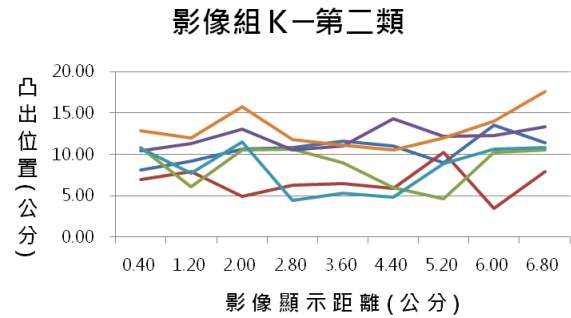


圖三十二：凸出效果- J_2 -第二類。

同樣由圖二十五可看出影像組 K 之結果可分為兩類，如圖三十三及三十四：第一類為與預測值相近且波動幅動較小的折線群，約占 44%；第二類為剩下數值變異較大且與預測值有一定差距的樣本，約占 38%。



圖三十三：凸出效果-K-第一類。

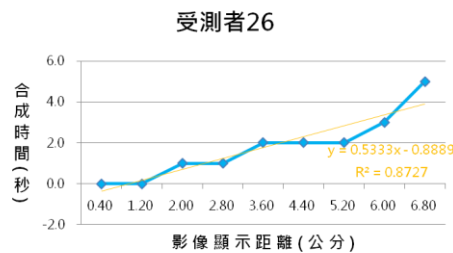


圖三十四：凸出效果-K-第二類。

由圖二十六、二十七、二十九及三十一可知，凸出位置大小與兩眼影像距離成正相關，且趨勢與沙漏形視線三角型模型的預測相符，但其中影像組 I 之實驗值較 J_1 、 J_2 更與預測值相符，且其變異範圍較小。再者，因圖三十三中影像組 K 之實驗值多近似水平線，幾乎為一定值，故證實影像凸出位置的主要因素為兩眼影像距離。

(二) 合成難易測試

由於此測試實驗的量化方式較為主觀，故誤差較大且數值僅於同一受測者觀看不同影像時進行比對才具相對意義，故不從各影像組中所有受測者合成時間與影像距離的折線圖中觀看數值變化的趨勢；改由趨勢符合推測，或較具代表性之受測者為例，繪製單一受測者於觀看特定影像組之圖檔時數值變化的線性趨勢線，並以趨勢線斜率的正負與量值分析影像顯示距離與合成所需時間的相關性。圖三十五為受測者 26 於影像組 I 的受測結果；下表一則為影像組 I、 J_1 、 J_2 單一受測者實驗數值趨勢線之斜率值，所選取樣本為所有有觀看影像組 K 之受測者，未經特別篩選。



圖三十五：合成難易-受測者 26-I。

受測者編號	1	2	3	4	5	6	7	8	9	11	12	20
I	0.2583	0.0000	0.6000	0.0000	5.0000	0.1167	0.0000	1.8000	1.2000	0.3667	0.2500	0.3429
J_1	0.1417	0.0000	0.2143	0.0000	X	0.1833	0.0000	-0.2000	0.5000	-0.3000	0.0667	0.0000
J_2	0.2167	0.0000	0.4000	0.0000	1.0000	0.0667	0.0000	0.9500	0.7000	0.5667	0.1000	0.3000

受測者編號	26	27	28	29	30	31	44	45	47	48	49	50
I	0.5333	0.0000	-0.1000	1.0000	0.0500	-0.2000	0.3667	3.8571	0.2583	1.9524	-0.9286	0.0000
J_1	3.4189	-0.2167	1.0000	0.9000	0.1000	0.4833	0.2333	2.5000	0.2083	1.4643	X	3.2500
J_2	0.5000	0.0000	0.6000	0.5000	0.0000	0.3500	0.1548	0.5259	0.5917	1.9767	0.5714	1.0000

表一：合成難易-I、 J_1 、 J_2 -線性趨勢線斜率值。

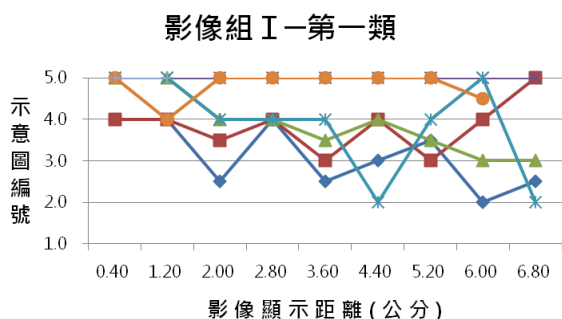
影像組 I 中斜率為正值者占總樣本數約 67%，為非負值者占 88%；影像組 J₁ 中則分別占約 63% 及 79%；J₂ 中分占 79% 及 100%；其中打叉者只有一個數據點，故不列入斜率計算。由此可推斷，影像顯示距離與合成時間成正相關。

(三) 變形程度測試

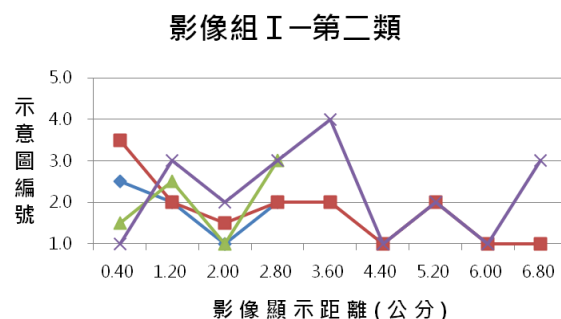
經推論，已知影像的變形主要在於尖銳與平坦程度的差異，且由影像資訊及顯示距離的不同造成。因此可直覺推測：由於鏡頭間距較寬者所得影像資訊中白色盒子稜線側兩面的面積較大，間距較窄者多得到面向稜線、正前方的影像資訊，故鏡頭間距應與示意圖編號成正相關，即拍攝位置相距愈遠時物體將愈扁平；當影像顯示距離愈遠時，根據凸出效果測試可知，物體將更為凸出而造成變得尖銳的視覺效果，故顯示距離與示意圖編號成負相關，即兩眼影像顯示距離愈遠時物體將愈尖銳。

為驗證上述推測，於是針對影像組 I、J₁、J₂、K 之受測結果進行分析，可大致分為四個類別：第一類多分布於示意圖編號 3.0 以上；第二類大多於 3.0 以下；第三類多由 3.0 以上跨至 3.0 以下，分布範圍較廣；第四類則皆位於 3.0 附近。

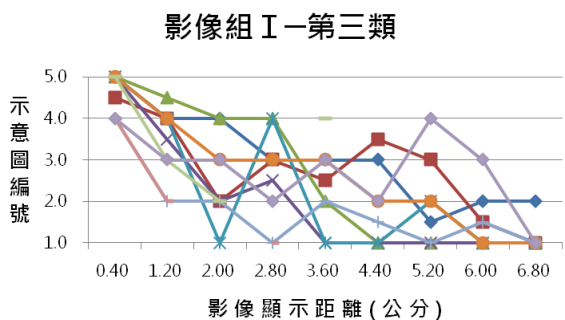
圖三十六至圖三十九依序為影像組 I 的四類：第一類約占 28%、第二類 16%、第三類 40%、第四類則為 12%。



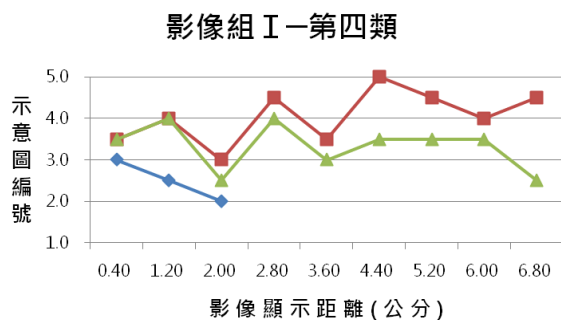
圖三十六：變形程度-I-第一類。



圖三十七：變形程度-I-第二類。

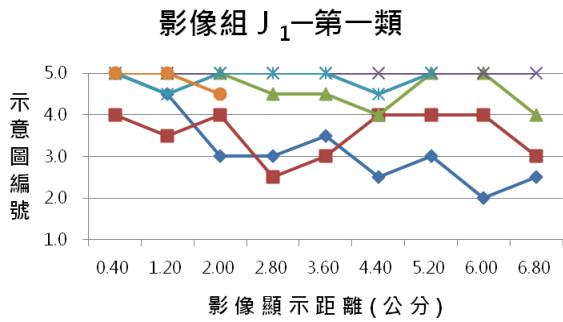


圖三十八：變形程度-I-第三類。

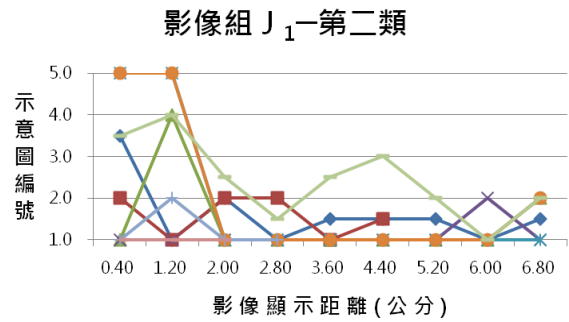


圖三十九：變形程度-I-第四類。

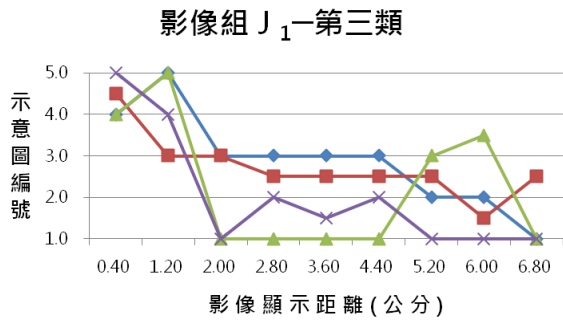
圖四十與四十三依序為影像組 J_1 的四類：第一類約占 24%、第二類 36%、第三類 16%、第四類則為 20%。



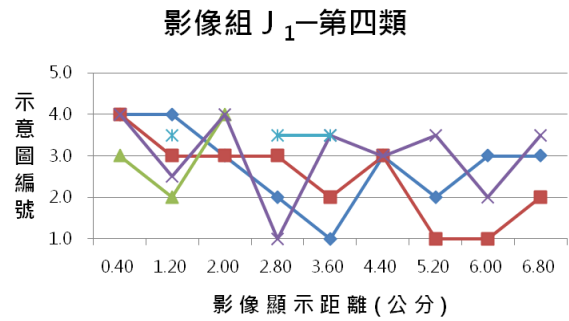
圖四十：變形程度- J_1 -第一類。



圖四十一：變形程度- J_1 -第二類。

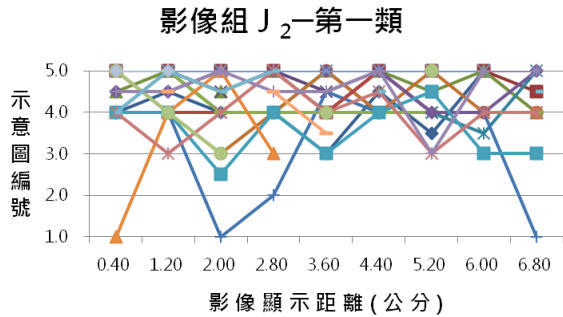


圖四十二：變形程度- J_1 -第三類。

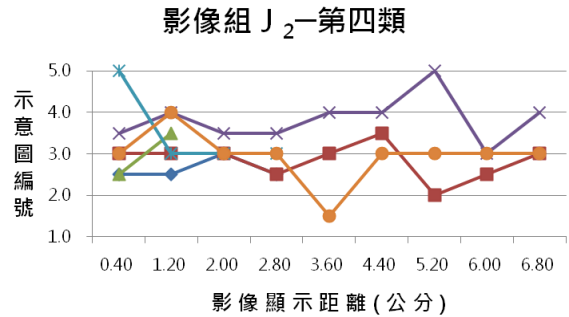


圖四十三：變形程度- J_1 -第四類。

圖四十四與四十五分別為影像組 J_2 的分類：第一類約占 76%、第四類 24%。

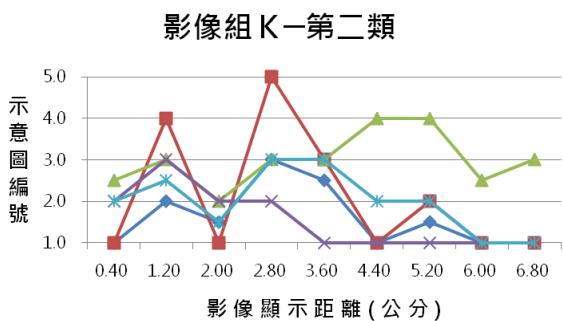


圖四十四：變形程度- J_2 -第一類。

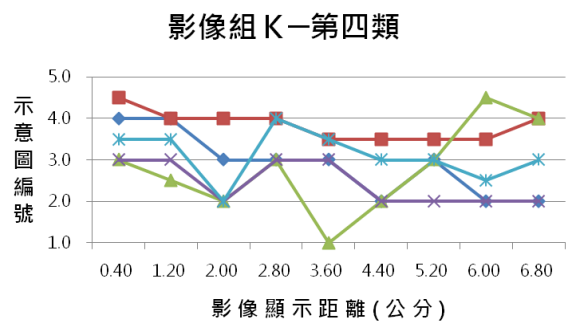


圖四十五：變形程度- J_2 -第四類。

圖四十六及四十七依序為影像組 K 的分類：第二類約占 31%、第四類 31%。



圖四十六：變形程度- K -第二類。



圖四十七：變形程度- K -第四類。

由此可知，影像角度資訊及拍攝位置都會影響觀看物體的尖銳與平坦程度，且可藉由對照進行比較與量化。

二、第二階段

影像組 P、Q 同時改變拍攝距離，但 Q 多於 P 之操縱變因為拍攝時相機是否進行旋轉而使拍攝方向不垂直於光學軌，而 P、Q 又各自依不同鏡頭間距分為兩類。為了瞭解可旋式鏡頭對於影像變形程度的改善效果，欲探討的應變變因僅變形程度；以下將針對影像組間及個體差異分別進行分析，由表二至表九，主要可分為四類：

以下選取單一受測者皆以 P₁、Q₁ 為先，P₂、Q₂ 在後。第一類中的數據顯示無論是哪一個影像對，皆幾乎沒有變形產生，故數值幾乎全數位於 3.0，以受測者 39、33 為代表；第二類則於 3.0 上下變動，但震盪範圍頗小，舉受測者 2、31 為例；第三類中影像組 P 的數值較小，而 Q 的數值較大，表示影像組 Q 中圖檔的物體較 P 中為平坦，較具代表性者為受測者 2、4；第四類數據中的示意圖數值趨勢隨拍攝距離愈遠而增加，故漸為平坦，取受測者 27、33 為代表。

受測者39			
拍攝距離(公分)	P ₁	Q ₁	Q ₁ 對應的底角(°)
16.51	5.0	3.0	80
19.05	3.0	3.0	81
21.59	3.0	3.0	82
24.13	3.0	3.0	83
27.94	3.0	3.0	84
34.29	3.0	3.0	85
43.18	3.0	3.0	86
49.53	3.0	3.0	86.5
57.15	3.0	3.0	87

表二：第二階段-1-受測者 39。

受測者33		
拍攝距離(公分)	P ₂	Q ₂
16.51	3.0	3.0
19.05	3.0	3.0
21.59	3.0	3.0
24.13	3.0	3.0
27.94	3.0	3.0
34.29	3.0	3.0
43.18	3.0	3.0
49.53	5.0	3.0
57.15	5.0	3.0

表三：第二階段-2-受測者 33。

受測者2			
拍攝距離(公分)	P ₁	Q ₁	Q ₁ 對應的底角(°)
16.51	4.0	3.0	80
19.05	3.5	3.0	81
21.59	3.0	3.0	82
24.13	3.0	4.0	83
27.94	3.5	4.0	84
34.29	3.0	4.5	85
43.18	4.0	4.5	86
49.53	4.0	5.0	86.5
57.15	4.0	3.0	87

表四：第二階段-1-受測者 2。

受測者31		
拍攝距離(公分)	P ₂	Q ₂
16.51	2.0	1.0
19.05	2.0	3.0
21.59	2.0	3.0
24.13	2.0	3.0
27.94	2.0	3.0
34.29	3.0	3.0
43.18	3.0	3.0
49.53	3.0	3.0
57.15	3.0	4.0

表五：第二階段-2-受測者 31。

受測者4			
拍攝距離(公分)	P ₁	Q ₁	Q ₁ 對應的底角(°)
16.51	1.0	4.0	80
19.05	1.0	3.0	81
21.59	1.0	3.0	82
24.13	1.0	3.5	83
27.94	1.0	4.0	84
34.29	1.5	4.5	85
43.18	2.0	4.5	86
49.53	2.0	4.0	86.5
57.15	2.5	3.5	87

表六：第二階段-1-受測者 4。

受測者2		
拍攝距離(公分)	P ₂	Q ₂
16.51	2.0	3.0
19.05	2.5	3.0
21.59	1.5	3.0
24.13	1.0	3.0
27.94	2.0	3.5
34.29	3.0	4.0
43.18	3.5	4.0
49.53	4.0	4.0
57.15	4.0	4.0

表七：第二階段-2-受測者 2。

受測者27			
拍攝距離(公分)	P ₁	Q ₁	Q ₁ 對應的底角(°)
16.51	3.0	2.0	80
19.05	3.0	3.0	81
21.59	3.5	3.0	82
24.13	4.0	3.0	83
27.94	4.0	3.5	84
34.29	4.5	3.5	85
43.18	5.0	4.0	86
49.53	5.0	4.0	86.5
57.15	5.0	5.0	87

表八：第二階段-1-受測者 27。

受測者38		
拍攝距離(公分)	P ₂	Q ₂
16.51	2.0	1.5
19.05	2.0	2.0
21.59	3.0	2.0
24.13	3.0	2.5
27.94	3.0	3.0
34.29	3.5	3.5
43.18	4.0	4.0
49.53	4.5	4.5
57.15	5.0	5.0

表九：第二階段-2-受測者 38。

陸、討論

針對研究結果進行運算與探討，找出原因及條件，以得結論。經由上文對於結果的分析，可整理出各變因的相互關係。為簡化敘述，以下平均角度值皆四捨五入至個位。

一、不同影像組

操縱及控制變因分別為鏡頭間距(同時改變影像資訊以及顯示距離)、顯示距離、拍攝距離、鏡頭角度；應變變因則為三個測試實驗，即合成難易、凸出程度與變形程度。

	操縱變因	控制變因	應變變因
I	鏡頭間距	鏡頭角度、拍攝距離	合成難易、凸出程度、變形程度
J	顯示距離	鏡頭角度、拍攝距離、鏡頭間距	合成難易、凸出程度、變形程度
K	鏡頭間距	鏡頭角度、拍攝距離、顯示距離	變形程度
P	拍攝距離	鏡頭角度、鏡頭間距	變形程度
Q	拍攝距離、鏡頭角度	鏡頭間距	變形程度

表十：各影像組之變因與立體效果之相關性。

一、各受測實驗

第一階段：

(一) 凸出效果測試

1. 若以凸出位置的實驗值繪製沙漏形視線三角形時，視線並非直線，故需重新考慮原本對於視覺圓錐角及聚焦點射出光束的忽略。
2. 影像組 I 之受測數據除不規則者外可簡單分為兩類，而針對趨勢相同但數值皆略小的第二類，推測可能因眼睛的調節力導致輻輳點向位於螢幕上的聚焦點靠近造成。由於聚焦點需落在螢幕上才能看清影像，故為了使聚焦點與輻輳點儘可能符合，輻輳點會向螢幕靠近；當聚焦點確實落於螢幕上或輻輳點落於螢幕附近時，才易於合成而能清楚看見影像。同時調節力可能與受測者的年齡相關，但截至目前為止樣本數仍不足以做此方面的分析，可做為日後探討的方向之一。
3. 由結果可知，影像組 I 中與預測值趨勢相符者(第一、二類)共占 48%，近五成，影像組 J₁ 中符合趨勢者占 67%、J₂ 中占 56%，K 中與預測值相近者亦有 44%；故沙漏形視線三角形之預測模型具有一定的可信度，不符的樣本可能因主觀判斷或操作時的實驗誤差造成，推測可藉由改善實驗方法或增加樣本數提升趨勢相符的比例。

(二) 合成難易測試

1. 臨界角度值

欲找出一名受測者的臨界角度值，其臨界角對應的影像對為影像組 I 中可立即合成者中兩影像顯示距離最大者。不選擇影像組 J 是因其經過非拍攝端的調整，

而取得臨界角度值的目的是爲了求得理想的鏡頭間距。由下表 X 可知，由合成難易測試得到的臨界角度平均值約爲 86° ；若視線三角形之底角小於 86° ，則受測者大多無法舒適的看清立體影像。

受測者編號	1	2	3	4	5	6	7	8	9	11	12	20
d_i	14.40	29.00	10.00	24.39	3.00	9.90	25.50	18.30	6.65	20.10	7.70	17.80
θ	86.24	84.47	86.57	85.18	86.99	86.57	85.03	85.89	86.78	85.70	86.72	85.93

受測者編號	26	27	28	29	30	31	44	45	47	48	50
d_i	5.90	6.10	3.90	2.95	8.70	1.75	12.65	10.65	3.70	17.32	13.30
θ	86.83	86.81	86.94	86.99	86.65	87.05	86.37	86.52	86.95	85.98	86.32

表十一：臨界角度值的計算。

2. 最佳鏡頭間距

將臨界角度平均值 86° 、人眼間距 6 公分與觀測距離 60 公分代入(式二)，可反推兩影像顯示距離 $h=2.40$ (公分)，得對應之鏡頭間距爲 5.99 公分，和爲 6 公分的人眼間距相近。理論上使用小於 6 公分的鏡頭間距拍攝所得的影像皆能使人產生立體視覺，但由於凸出效果受影像距離影響，爲了提供較佳的凸出效果，以 6 公分爲理想的立體相機鏡頭間距。但由於換算數值由平均值取得，故仍有部分受測者無法舒適合成影像組 K，即顯示距離爲 2.40 公分之影像。

3. 影像播放順序

部分圖檔有合成時間相對減少的效應，推測可能是位於一影像組的 9 張影像中播放順序較後段的圖檔，故因學習而造成合成時間減少；相對的，處於播放順序較前段位置的圖檔，因眼睛尚未適應，導致合成時間增長。由此可知，播放順序可能造成趨勢的不規則，使合成所需時間因學習而改善。

(三) 變形程度測試

1. 影像組 I 於凸出效果測試之實驗數值較 J_1 、 J_2 更與預測值相符，於凸出效果及合成難易測試時之變異範圍皆較 J_1 、 J_2 小，推測是因影像組 J_1 、 J_2 經過軟體平移的編輯而產生變形，導致合成與凸出之立體效果較差。
2. 由結果可知，影像組 I 以第三類爲大宗，約四成； J_1 各類中以第二類最多，近四成； J_2 的樣本中第一類占近八成；K 則是第二類與第四類各占三成。
3. 四個類別中第三類之尖銳與平坦程度變化最大，故可推測影像組 I 之操縱變因——鏡頭間距，含拍攝位置的影像資訊及兩眼影像顯示距離——都可能是造成變形的主要因素。第一、二、四類則分布較爲集中，其中影像組 J_1 之樣本多較爲尖銳、 J_2 多較爲平坦，推測即使大幅改變顯示距離，影像的變形仍受到影像資訊很深的影響。影像組 K 的數據則多分布於 3.0 附近或以下，表示其影像中的物體較爲尖銳，但變形的發生因固定顯示距離而不如其他的影像組嚴重。
4. 無論是哪一影像組，其變形程度皆可分爲數種類型，但大致與推測相符且可找出合理的解釋方法，故研判影響變形程度的因素應主要爲影像角度資訊及顯示距離，但仍有本研究外找出的其他變因或實驗方法不甚良好而有導致數據誤差過大的可能，上述猜測皆有待日後持續進行瞭解。

第二階段：

(一) 視線三角形底角範圍

舉電影銀幕與電視螢幕為例，一般觀看立體影像時，人與放映畫面皆有相當遠之距離，故雙眼視線趨近於平行，則其視線三角形底角接近 90° ；上述實驗中受測者與筆記型電腦螢幕間的距離固定為 60 公分，即使相對較近仍與實驗結果相近，故於第二階段中選擇的角度範圍甚小。

(二) 視線三角形底角與拍攝距離的關係

改變拍攝距離時發現，由於影像於螢幕上的顯示距離與雙眼間距固定，故即使觀看或拍攝距離與凸出位置變動較大時，視線三角形的底角僅在一範圍內小幅變動。第二階段中以 $80^\circ\sim 87^\circ$ 為視線三角形底角範圍，因小於 80° 時每減少 1° 時拍攝距離的差異過小；大於 87° 時拍攝距離過長而不便操作。

柒、結論

一、研究成果(以下數值皆四捨五入至個位)

本研究之第一階段主要由影像製作及受測者觀看時的感受，針對立體效果成因與其量化方法進行探討。

由合成難易測試可知，合成立體影像的難易程度與兩眼影像顯示距離相關，但可經由學習改善。具並列雙鏡頭之立體相機的最大鏡頭間距約為 6 公分，此時應距離 Acer Aspire 5738DG 筆電螢幕約 60 公分進行觀賞；若拍攝機構的鏡頭間距小於 6 公分，理論上皆可拍出可呈現立體效果的影像。

凸出效果測試證實本研究成功建立用於推算立體影像凸出螢幕距離的預測模型，並求得其運算公式，且所得實驗數據多符合預測趨勢。然而部分受測者之輻輳點會往螢幕靠近，推測可能因年齡影響調節力而影響輻輳點位置。

經變形程度測試得知，物體形狀同時受不同角度的影像資訊、兩眼影像距離影響，且證實單純改變兩影像的距離與改變雙鏡頭相機之鏡頭間距或不做改變相較，所得影像於立體效果上確實有些許失真，可能與不同角度的影像資訊、視線方向的改變、兩眼影像距離皆相關。

二、未來展望

對於本研究未來之發展，期望能不斷進行實驗方法之改良，進而找出測得數據背後之原因並將本研究之實驗結果作為實際應用之用途。

針對第一階段的合成難易測試，期望能透過設計新的實驗方法，找出人眼對於立體視覺臨界條件的成因，並瞭解重複練習對於合成立體影像難易的影響。此外，藉由所得鏡頭間距與相關環境資訊的應用，而能以更佳的效果呈現立體影像，並期許未來能根據實驗結果所得，建構出一實際相機。

對於凸出效果測試，則希望能深入瞭解年齡對於眼睛調節力與輻輳點位置改變的影響，進而瞭解不同年齡層對於觀看立體影像時的感受，並判斷出不適合觀看立體影像的年齡層，重點發展發向則為提高立體影像與觀賞者的互動性，以增加觀看立體影像或影片時的臨場感，甚至研發 3D 的觸控功能，讓使用者不需觸碰螢幕即可和影像進行互動。

而第二階段的變形程度測試則可作為 2D 轉 3D 程式除了考量影像中物體位移以外，針對觀看角度改變的參考依據，以增進該程式輸出影像的真實性，並期許能找出可旋式鏡頭對於拍攝立體影像時的其他影響，以架構一更符合人眼機構且所得影像更為真實之立體相機。

捌、參考資料及其他

- 一、伊彬、林演慶(民 95 年 12 月)。視覺影像處理之眼球運動相關研究討論。設計學報第 11 卷第 4 期。民 101 年 1 月 31 日，取自：
<http://www.jodesign.org.tw/index.php/JODesign/article/viewFile/502/180>
- 二、呂怡貞(無日期)。戴上眼鏡 看見立體世界。科學 Easy Learn。科學人雜誌網站。民 101 年 4 月 22 日，取自：
<http://sa.ylib.com/saeasylearn/saeasylearnshow.asp?FDocNo=1915&CL=89>
- 三、視野、車速與駕駛人(無日期)。交通部公路總局公路人員訓練所南部訓練中心動態新聞網。民 101 年 2 月 12 日，取自：
<http://www.thbstc.gov.tw/teach-class/doc/%E8%A6%96%E9%87%8E%E3%80%81%E8%BB%8A%E9%80%9F%E8%88%87%E9%A7%95%E9%A7%9B%E4%BA%BA.pdf>
- 四、陳瑩山(民 100 年 1 月 25 日)。「雙黃」成 3D? --探討 3D 的形成與壓力的由來。《健康世界》421 期 2011 年 1 月號。民 101 年 4 月 22 日，取自：
<http://tw.myblog.yahoo.com/dr-eye/article?mid=-2&next=504&l=f&fid=12>
- 五、劉榮政(民 90 年 6 月 5 日)。平面螢幕之立體影像設計。國立中央大學光電科學研究所碩士論文。
- 六、*Eye Physiology/Accommodation and Convergence* (2010, April 29). Eye Exercises for Myopia. Retrieved April 22, 2012, from
<http://www.forbestvision.com/accommodation-and-convergence/>
- 七、Heresy(民 98 年 12 月 3 日)。立體顯示技術簡介三 B、被動式眼鏡立體系統：偏光立體系統。Visualization and Interactive Media Laboratory of NCHC 國研院國網中心國家高速網路與計算中心。民 101 年 2 月 14 日，取自：
http://viml.nchc.org.tw/blog/paper_info.php?CLASS_ID=1&SUB_ID=1&PAPER_ID=145
- 八、*Stereo Photo Maker (English)*. Retrieved February 12, 2012, from
<http://stereo.jpn.org/eng/stphmkr/>

【評語】 040818

以物體呈像位置，並賦予相機鏡頭有旋轉的功能，來解決眼睛視覺的問題，整個模型呈現清楚，且系統化，非常好的問題解決能力。