

2013 臺灣國際科學展覽會

優勝作品專輯

作品編號	100008
參展科別	工程學科
作品名稱	可旋式雙鏡頭立體相機之設計與效果分析
得獎獎項	三等獎

就讀學校 臺北市立第一女子高級中學

指導教師 林晃巖、李美英

作者姓名 高紹芳

關 鍵 字 可旋式鏡頭、雙鏡頭相機、立體效果量化

作者簡介



我是高紹芳，目前就讀於臺北市立第一女子高級中學三年級溫班。從國中二年級以來第一次接觸理化這個學科，便深深愛上科學世界的博大精深，於是成為一名科學家的志向至今仍舊不變。

升上高中後有幸考上北一女數理資優班，便開始展開了充斥著專題研究的生活。曾在中研院天文所進行過短期的研究，並於 2011 年 9 月起跟隨臺大電機系的教授學習 3D 顯示方面的相關知識，並激發我對立體視覺的興趣，進而展開研究。

在這個題目上努力默默耕耘已有一年半左右的時間，期間陸陸續續獲得校內科展特優、北市科展特優與全國科展佳作等獎項的肯定，更加堅定了我對這份專題的信心。雖然這段期間曾經歷煎熬的高三上學期以及學測，但我對於科展的熱忱並沒有被消磨殆盡，在師長、家人以及朋友的鼓勵下，反而得以持續進行。

能夠參與 2013 臺灣國際科展是我的榮幸，而我非常感謝在科展與科學研究的這一路上所有幫助過我的人，是他們成就了今天的我。

摘要

由現有立體相機與人眼之差異發想，本研究架設模擬可調參數之雙相機系統，拍攝兩眼影像，並在偏光式立體顯示系統平台中，定義立體影像品質，如：合成難易、凸出程度、變形程度，並讓受測者評估，以俾找出立體影像品質影響因素。研究發現：透過視線三角形模型推算拍攝立體影像時，最佳鏡頭間距約為 6 公分，並得以預測與控制立體影像凸出螢幕之距離。

我們得到最佳鏡頭間距與影像顯示距離，也發現可旋式鏡頭對變形的影響，並藉由人因工程的研究方法，利用受測實驗得到的結果與參數，建立了一個具有可旋式鏡頭的立體相機雛型，期許未來可將可旋式鏡頭之設計積體化，進而製成一具有最佳立體影像品質的實體相機。

Abstract

Inspired by the difference between now existing 3D cameras and human eyes, we constructed a system to simulate dual-lens cameras whose system parameters can be adjusted and take binocular images. By subjective test, we are able to define and evaluate the 3D image qualities. With help from the line of sight model, our discoveries include: the most appropriate lens spacing should be approximately 6 cm; the 3D depth and image deformation can be predicted and controlled by the system parameters; the image deformation could be reduced and the 3D images look more realistic with rotating lenses.

In summary, we found the best lens spacing and disparity of binocular images and the rotating lenses are found to be helpful for reducing image deformation. Therefore, a prototype based on these results is constructed using ergonomics techniques to quantify certain aspects of 3D visual perception. We look forward to integrating the prototype to form a concrete camera with the best 3D image qualities.

壹、研究動機

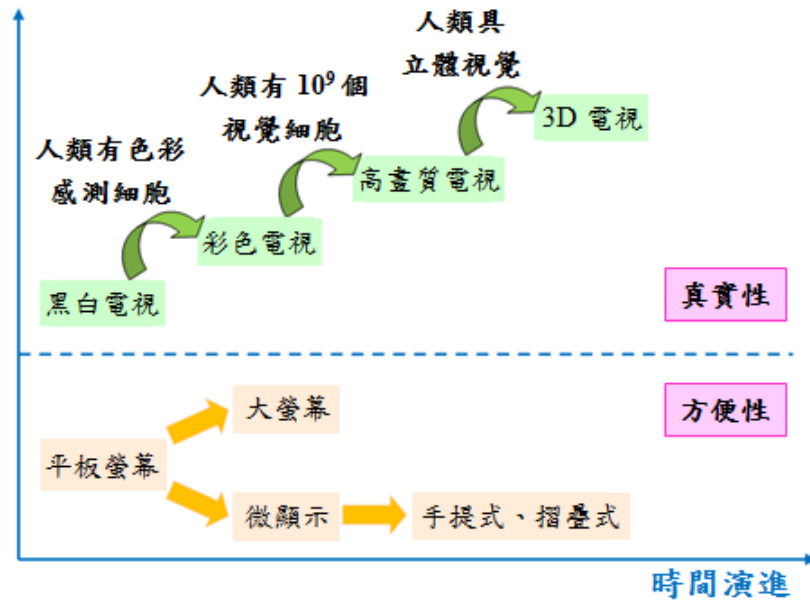


圖 1.1 顯示技術發展

顯示技術的發展主要可分為真實性及方便性兩大方向，而如圖可知，人類的需求為推動進步的主要動力，現今最新穎的發展趨勢則為立體顯示技術。

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如雨後春筍般紛紛上市，而除了風行一時的 3D 電影等大型的顯示技術，各公司及廠商也依照消費者的訴求陸續推出新穎的電子產品，使立體顯示逐漸步入家庭，甚至有個人化的傾向。然而各種產品的立體顯示效果互有高下且因觀賞者而異，更常有不舒服或不夠真實的情況，進而引發了對於這個主題的興趣。

貳、研究目的及研究問題

在眾多產生立體影像的方式中，3D 電影以及立體相機是比較常見的。其中電影為動態影像，而部分相機則可拍攝影片但大多以靜態影像為主，然而 3D 電影拍攝後，多因後製過程的繁瑣大大地提高了人力、時間以及金錢上的成本，反觀立

體相機拍攝後的效果雖然較差，但可於拍攝後立即觀賞影像，其差異可見表 2.1。

表2.1 – 3D電影與立體相機之比較。

	3D 電影	立體相機
動態影片	○	○(部分可)
靜態影像	×	○ 🏆
是否需經後製	○(大量成本)	×(可立即觀賞) 🏆
立體效果與真實性	較佳 🏆	較差

本研究考慮上述變因後，決定針對複雜程度較低的靜態影像，以立體相機著手，由拍攝端探討立體影像的最佳製作方式及拍攝條件。

而經過實際操作具有立體拍攝功能的 HTC EVO 3D 智慧型手機與 Fujifilm FinePix REAL 3D W1 數位相機等圖 2.1 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，且與一般認知的人眼構造皆有諸多相異之處，以下將分述之。



圖 2.1 HTC EVO 3D 手機(左)與 Fujifilm FinePix REAL 3D W1 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，與觀看人為製作的立體影像時的感受明顯不同。

二、硬體設計差異

Fujifilm 相機的鏡頭間距為 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；而鏡頭間距比雙眼間距大的 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圖像資訊，再進一步合成立體畫面，而 Fujifilm 相機內建有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 則無此功能。但此軟體的操作變因與人眼的調整機制仍有不同，推測可能因此造成觀賞時影像的失真。

為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為相似，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。其最終目標則是建立一臺能夠於拍攝後立即呈現良好立體效果的相機，並找出最佳的拍攝條件，讓立體影像的製作不需經過高成本且繁瑣的後製程序。

針對上述問題，本研究將針對以下的項目進行實驗與探討，如表 2.2，測試實驗設計之內容將於下文詳述之。

表 2.2 立體感受與機構差異及其探討方法

差異	研究項目	測試實驗
觀看感受	找出改變影像凸出距離的原因並試圖控制之	凸出效果測試
硬體設計	找出最適合的鏡頭間距	合成難易測試
	比較平行鏡頭與可旋轉的人眼之差異	變形程度測試
軟體設計	拍攝後調整兩影像顯示距離的軟體操作方式 與人眼機制的差異	變形程度測試

參、研究設備及器材

一、拍攝所需器材

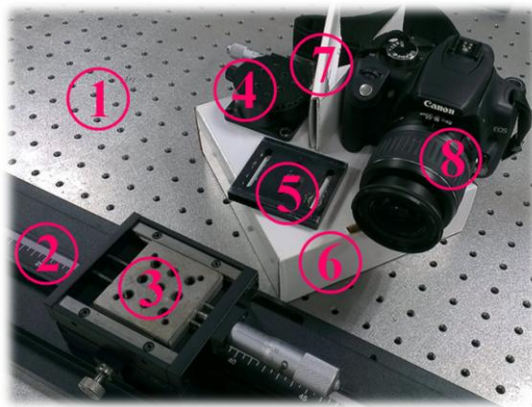


圖 3.1 拍攝用研究器材。

- (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) 作為拍攝物體的白色長方體紙盒
- (7) 作為拍攝示意圖之紙板，由(6)製作
- (8) 單眼相機(Canon EOS 350D Digital)

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 4.2 所示。

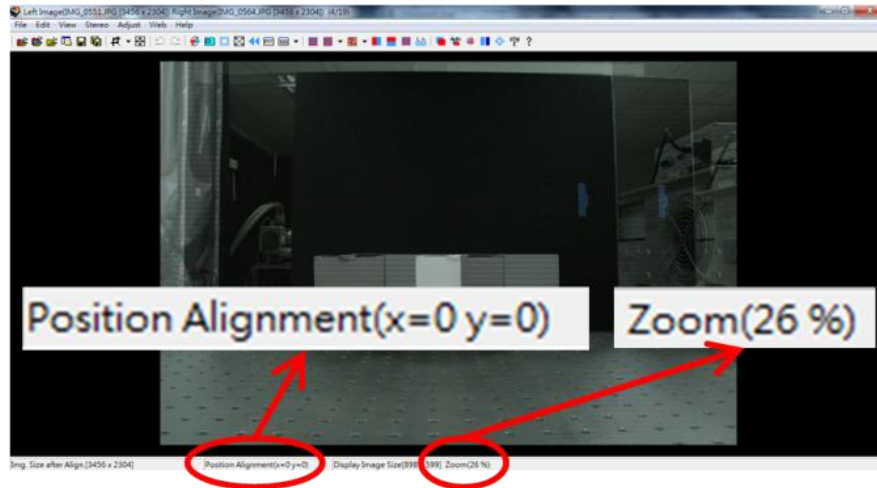


圖 3.2 StereoPhoto Maker 軟體介面簡介

Position Alignment 中的 x 值與 y 值分別為左右兩張影像水平與鉛直方向與未調整時相比，偏移的畫素個數；Zoom 中的百分比即為相較於原始檔案的縮放比例。

(二) Microsoft Office Picture Manager 軟體

為 Microsoft Office 2007 中的影像檢視軟體，用於圖檔播放，如圖 4.3。

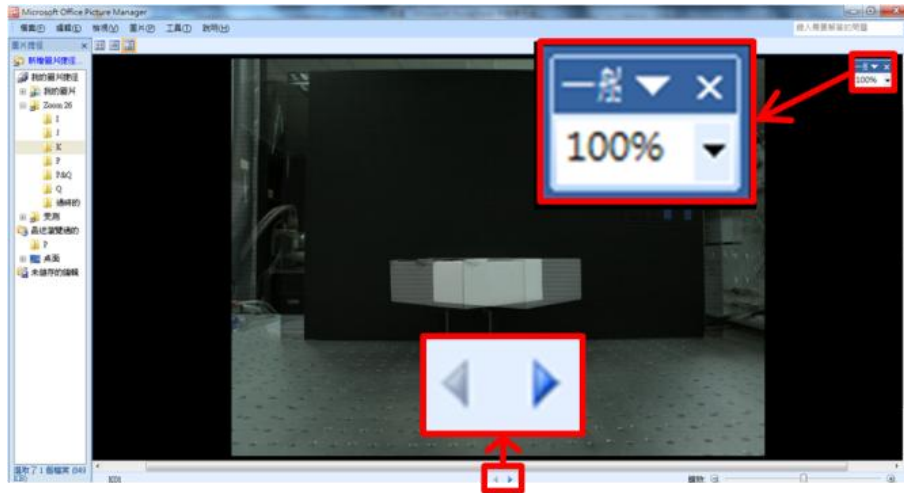


圖 3.3 Microsoft Office Picture Manager 軟體介面簡介

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



圖 3.4 受測用研究設備

- (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

四、實體操作所需工具



圖 3.5 拍攝與傳輸用工具

- (1) 用於拍照的 HTC One V T320e 手機
- (2) 供電腦遠端操控手機之 j5 create JUC 600 Android Mirroring 裝置
- (3) 供兩台電腦行遠端控制之網路線

使用手機做為拍照工具是為了一方面能以觸控方式在螢幕上的特定位置對焦，再進行拍攝，另一方面則能透過電腦操控手機，使控制介面統一至單一螢幕上。然而，市面上新款的數位相機即使有觸控功能，多無開放由電腦端操控的功能，故使用 Android 手機並利用 j5 create 公司研發的 Android Mirroring 裝置控制之，其介面一如複製手機螢幕至電腦螢幕上，如圖 3.6。

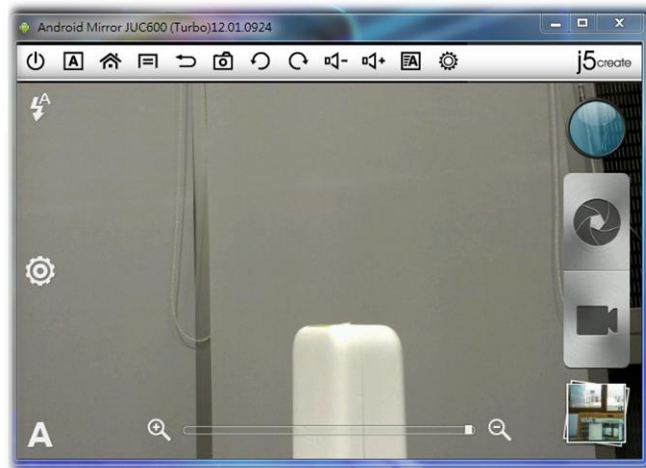


圖 3.6 利用 j5 create Android Mirroring 以電腦操控手機

利用 Android Mirroring 裝置可藉由滑鼠點擊與拖曳取代手指於手機面板上的觸擊與滑動，亦可透過電腦鍵盤打字在手機中輸入文字。



圖 3.7 Lego(樂高)系列積木與設備

Lego Mindstorms NXT		Lego Technic
Accessories:	Sensors:	⑤ building elements
① 9841 NXT Intelligent Brick	④ 9844 Light Sensor	⑥ gears
② 9842 Interactiv Servo Motor		
③ 8528 Converter Cables		

樂高機器人 Mindstorms NXT 是一組可透過個人電腦製作的程式操控及樂高塑膠積木組裝而成的機器人玩具，整組的套件包含了微處理

器、馬達、數種感測器及連接線。Technic 系列則是有別於傳統塑膠積木，更加強調齒輪(gears)及馬達(motor)用途的一套樂高玩具，部分產品甚至以具有圓形小孔的樑柱(beams)和連接用的插銷(pins)取代積木(bricks)進行組裝。如圖 3.7 中所示，本研究對於上述三種組裝零件(building elements)皆有使用。

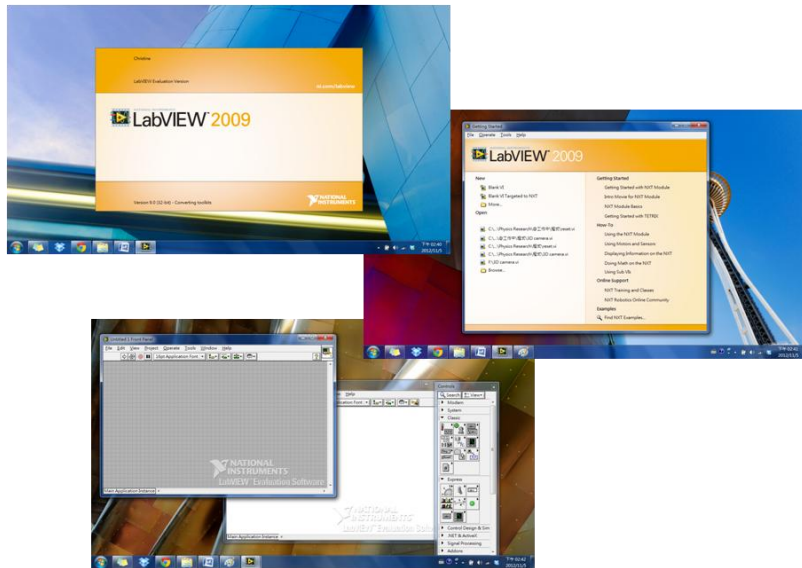


圖 3.8 NI LabVIEW 2009 軟體介面。

LabVIEW (Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench, 實驗室虛擬儀器工程平台)是由美國國家儀器公司(National Instruments)所開發的圖形化程式編譯平台，採用「資料流」的概念而以流程圖的設計介面，打破傳統撰寫程式的思維模式，使程式設計的介面相形簡單且易懂，加快了開發模型的速度且方便日後的軟體維護，因此目前廣泛的被系統開發及研究人員喜愛，而大量應用於工業自動化之領域上。

本研究透過 LabVIEW 撰寫程式，以控制利用 Lego Mindstorms NXT 系統組裝的相機機構，運用 LabVIEW 首創的「虛擬儀表」概念，讓使用者節由極為簡潔的人機介面，直接操縱機構。

肆、文獻探討

◎於文獻探討的過程中，並無找到與立體影像之最佳觀賞與拍攝條件相關之參考資料。

人眼對於立體效果中深度的感知(depth cue)可區分為心理性(psychological)和生理性(physiological)兩類。一般心理上的立體效果依經驗法則進行邏輯判斷，因此不需仰賴雙眼視覺，由單眼即可進行，如遮蔽(occlusion; interposition)、線性透視(perspective)、光影(light and shadow)、相對大小(size)、相對明暗或彩度等。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，易導致觀賞時眼壓升高與疲勞，主要方式有雙眼視差、調節力、輻輳等，而 3D 電影正是採用生理因素達到立體的效果，以下將分項簡述之。

一、雙眼視差 (binocular parallax)

人類左、右兩眼相距平均約為 6 公分(見參考資料二)，因為分布在臉部的位罝略有不同而產生視差，使物體在兩眼視網膜上的相對成像位罝有些許差異，而大腦便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 4.1 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感覺。

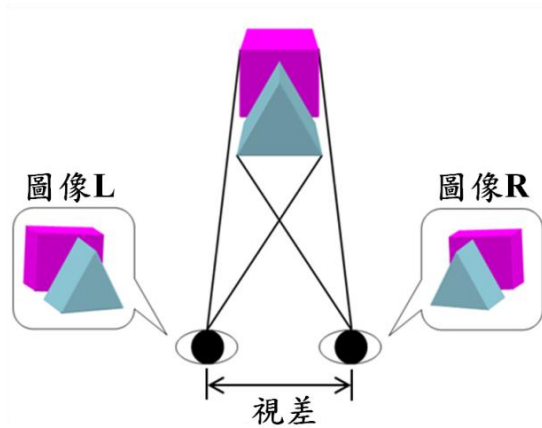


圖 4.1 立體視覺原理

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；右眼則反之。

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。因此，本研究針對視差的計算採用人類平視前方時，雙眼瞳孔中心之間的平均直線距離，其值約為 6 公分。視差之類型詳見示意圖 4.6 及下文中有關輻輳點之說明。

二、人類視野範圍

眼睛的視野範圍稱為視覺圓錐角，視覺圓錐角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(見參考資料一)時，所能接收到詳細資訊的區域僅 $3^{\circ}\sim 5^{\circ}$ (見參考資料三)，如圖 4.2。



圖 4.2 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眼球表面中央的一點。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 4.3。

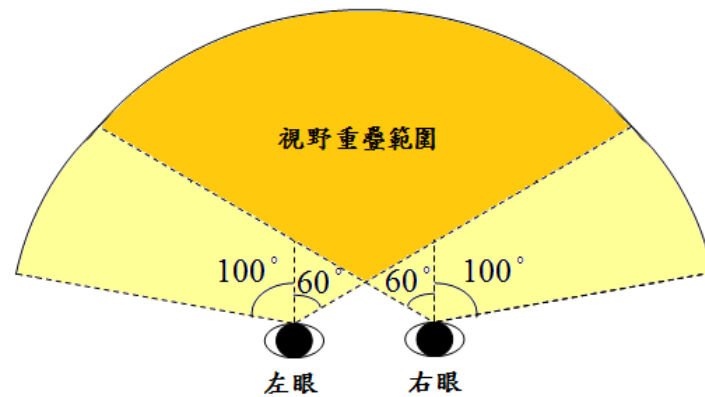


圖 4.3 人類視野於水平方向的角度範圍

人類的視野於水平方向約涵蓋 200° ，深黃色部分即為兩眼視野重疊區域。

此範圍即為能以雙眼同時看見的區域，觀看物體位於其中時可藉雙眼視差產生立體效果。

三、調節力(accommodation) 與輻轉點(convergence)

當所注視的物體移近時，人眼會藉由調節力，使睫狀肌收縮、懸韌帶(又稱韌小帶)放鬆，水晶體則會變凸，讓光線聚焦至視網膜，如圖 4.4 所示。由此可知，調節力為一改變眼睛屈光度(diopter)的機制，使人眼可以看見不同遠近的物體。

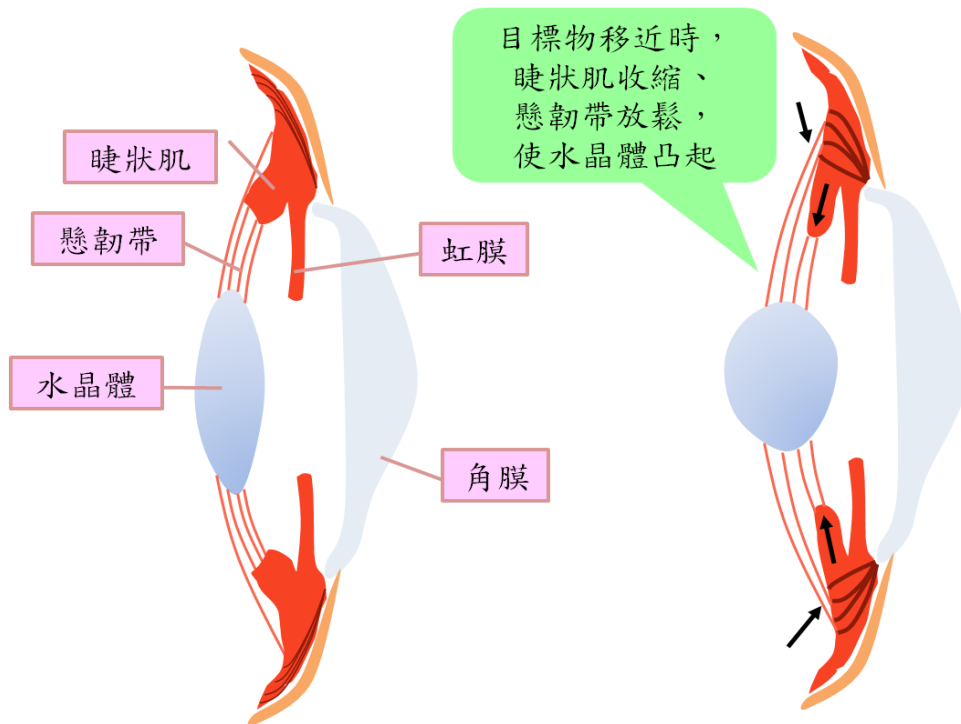


圖 4.4 人類眼球基本構造側面圖

左圖為觀看遠方物體時的眼睛肌肉所呈現的狀態，當所觀看之物體移近時，則如右圖所示。

若稱物體或螢幕上會發光的一點為聚焦點，則可視光線由該點射出一圓錐狀的光束至瞳孔而由人眼接收。同時，視線將由平行轉而交會於一點；由於可清楚看見該點的影像，故稱該交會點為輻輳點，如圖 4.5。

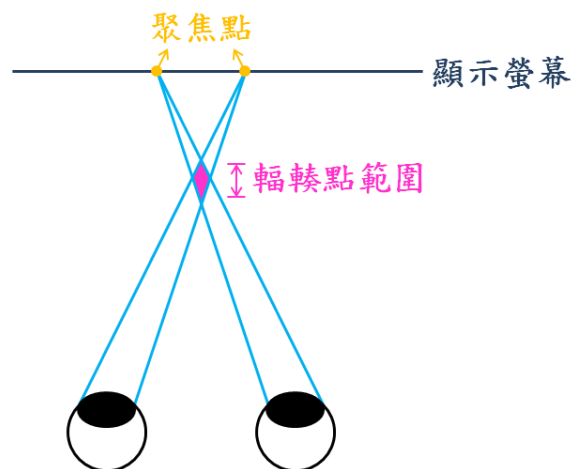


圖 4.5 聚焦點與輻輳點

當忽略螢幕上一點射出的錐狀光束，而視其為一與視線方向相反之直線

時，輻輳點範圍可簡化為一點。

其中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(見參考資料五)：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)，分別如圖 4.6(a)、(b)、(c)三圖所示，並稱兩視線夾角為光角(optical angle)。

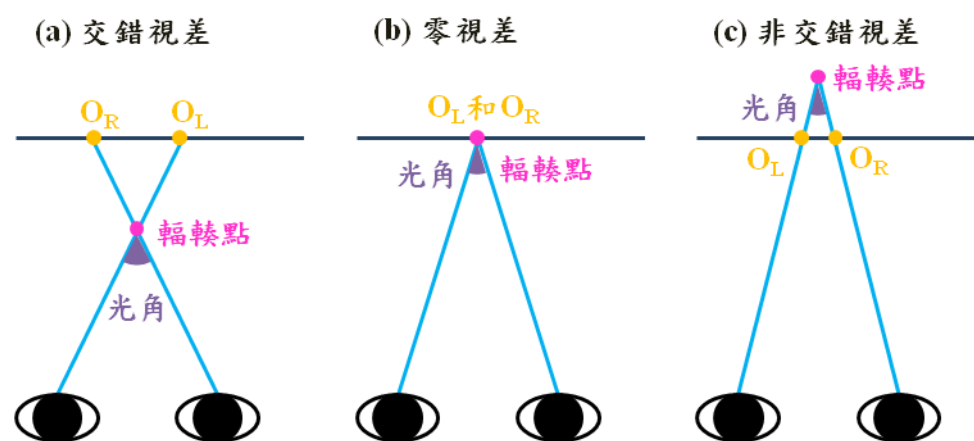


圖 4.6 輻輳點位置與視差類型

選定左右眼影像中皆會看到且具代表性的一點，並於左眼影像中稱之為 O_L ，於右眼影像中稱之為 O_R ，範例可見圖 5.3；輻輳點與光角如圖所標註， O_L 、 O_R 為聚焦點。

相較於無固定位置的輻輳點，聚焦點必位於觀看目標上，其目標可能為物體或螢幕(見參考資料四、六)。事實上，兩點意義與落點皆不同，但人眼有「調節-輻輳反射(accommodation-convergence reflex)」的機制：通常當兩點位置不同時，人眼將試圖改變輻輳點，盡量使兩點重合。

四、偏光(polarization)顯示技術

由於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，便稱為線型偏振(linearly polarized)光。利用液晶轉向與折射率差異製

作而成的相位延遲片(wave retardation plate)則可用於改變線型偏振光的偏極方向，進行左右眼影像的區分與遮蔽(見參考資料七)，簡要程序如圖 4.7 所示。

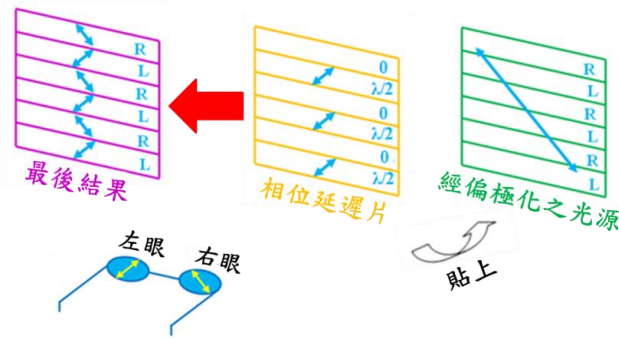


圖 4.7 偏光顯示技術原理

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圖像資訊，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。

偏光為目前大型場所中所使用的主流立體技術，一般 3D 電影的放映多使用之，主要因其眼鏡成本相對較低且不易損壞。近年來也有廠商生產偏光式的電腦螢幕(如 Acer)或電視(如 LG)。

然而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符合該眼的影像，更因看見原先設定符合另一眼的影像而感到混淆甚至不適。此外，多次偏光也會造成一定程度的亮度衰減。

伍、推論與驗證方法

一、視線三角形

(一) 猜測

1. 於操作具雙鏡頭之立體相機時，發現透過鏡頭間距較人眼寬的 Fujifilm 相機拍攝時，攝進雙鏡頭的影像常無法合而為一，而呈現兩張獨立的圖像，且並無立體效果。於是推測鏡頭間距為影響合成難易程度的變因之一，進而猜測，若視線與兩眼連線間之夾角有一大小限制，則無論用眼睛或相機觀看，達到極限時，兩眼連線及兩視線形成的三角形皆應相似，如圖 5.1 所示。

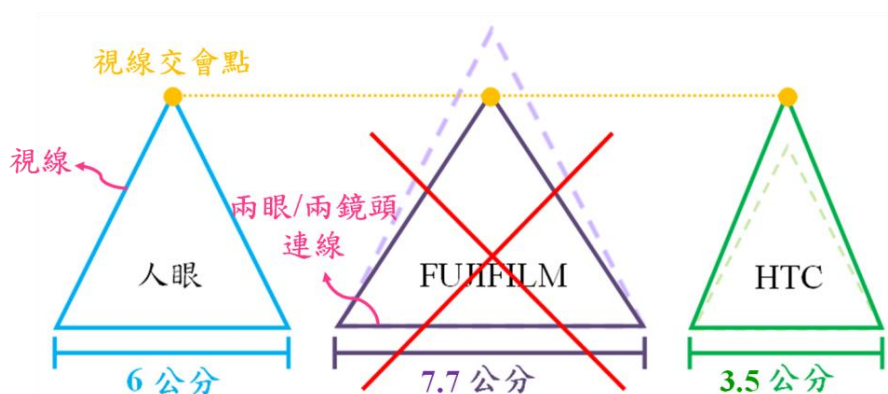


圖 5.1 視線三角形猜想示意圖

黃色虛線為相同觀看或拍攝距離下物體的連線；三個由實線所構成的三角形為觀看或拍攝當下之視線三角形，紫色與綠色虛線者與藍色實線之三角形相似。

當觀看或拍攝物體位於相同的距離時，視線交會點應皆處於相同的位置。假設圖 5.1 中人眼之藍色實線三角形已為一極限情況，即兩眼球再向內旋轉便無法舒適地合成立體影像，則欲維持此情況並改變鏡頭間距，物體應分別擺放於紫色及綠色虛線三角

形之頂角。

如圖可知，紫色實線的三角形底角過小，綠色實線者則較綠色虛線為大，故可由此合理推測在觀看距離較近的物體時，較大的鏡頭間距為無法順利合成立體影像之因素。

2. 由圖 4.6 可知，輻輳點可依不同條件調整至不同位置。由於觀看立體圖像時，所見影像一般皆會浮至螢幕前，又因視線交會點為人眼視野中最为清晰之處，故推測輻輳點應為影像凸出的位置。

(二) 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，於本研究中稱為「視線三角形」，其頂角即為光角，另兩角稱為底角；同理可套用於雙鏡頭相機攝入影像時的情況，此時視線即為物體與鏡頭之連線。

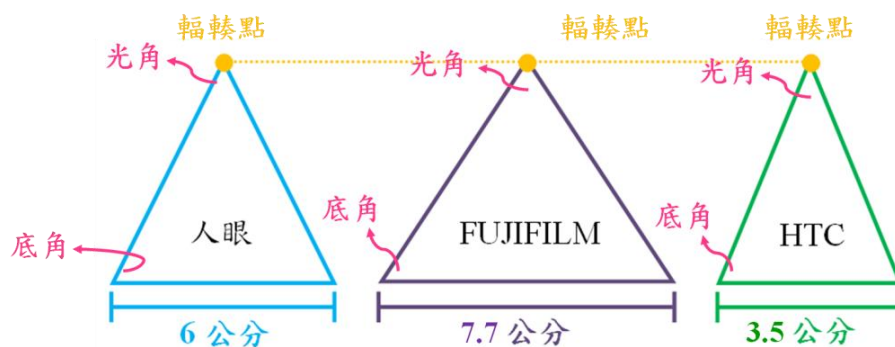


圖 5.2 視線三角形定義

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。

(三) 推廣一：凸出程度的量化

1. 公式推導：沙漏形視線三角形預測模型

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 5.3。

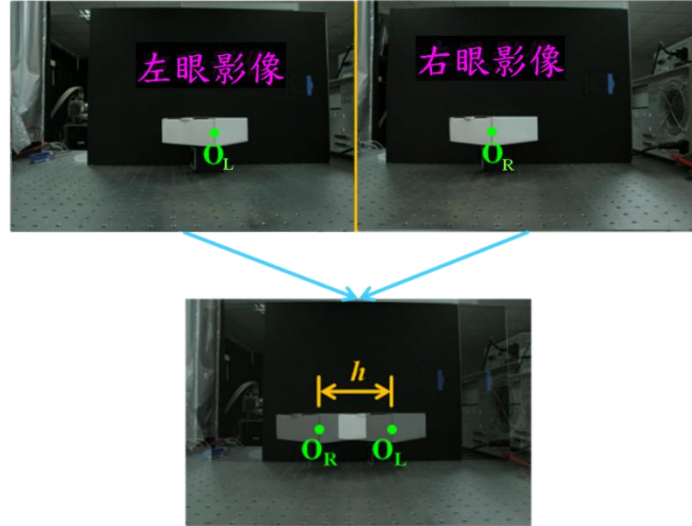


圖 5.3 左右影像間距離 h 的定義

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 之左方。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 $O_L O_R$ 將形成沙漏形，即圖 4.6(a) 中的「交錯視差」，而因眼睛可清楚看見視線交會點的影像，故推測位處輻輳點的沙漏中心即為影像凸出的位置，如圖 5.4 所示。

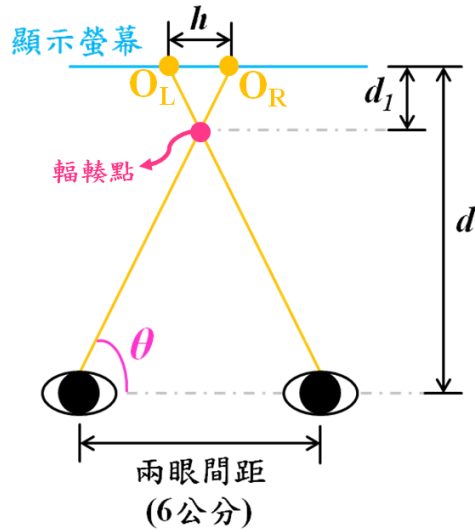


圖 5.4 沙漏形視線三角形模型

h : O_L 與 O_R 之直線距離(兩影像顯示距離)

d : 受測者至螢幕的觀賞距離

d_1 : 輻轉點至螢幕的距離

θ : 視線三角形底角

【除 θ 之單位為角度($^\circ$)外，其餘單位皆為公分】

由圖 5.4 上下三角形相似之特性經(式一)可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，則是針對可旋式鏡頭的設計，計算時方便性的考量。

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

【數值單位皆為公分】

2. 設計驗證實驗：凸出效果測試

由(式一)可推測影像凸出程度會受兩影像距離 h 影響。為驗證此模型是否可作為預測凸出距離的依據，需設計實驗使受測者以指尖指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，本研究將之命名為「凸出效果測試」。此外，本研究僅針對影像凸出於螢幕外的「交錯視差」進行探討。

(四) 推廣二：立體視覺之臨界條件

1. 公式推導：沙漏形視線三角形預測模型

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 φ 」；底角比臨界角大之視線三角形形成時皆可產生立體視覺。恰處於臨界角之視線三角形應如圖 5.1 之虛線所示，彼此相似。故觀看螢幕上的物體時可由圖 5.4 推得(式二)。

$$\theta = \tan^{-1} \frac{2 \times d}{6 + h} \quad (\text{式二})$$

【除 θ 之單位為角度($^{\circ}$)外，其餘單位皆為公分】

2. 設計驗證實驗：合成難易測試

由(式二)可推測視線三角形底角及臨界角度值會受兩影像距離 h 影響，因此藉由固定拍攝距離並以不同鏡頭間距的相機拍攝或直接以不同顯示距離播放立體影像，可由(式二)推得視線三角形底角 θ ，並設計受測實驗，測量受測者觀看影像過程中需花多少時間適應並合成兩眼影像，且定義「立即合成」為舒適的觀賞感受，以試圖找出使能舒適成立體影像之臨界條件與相關數值，如所能容許的最大鏡頭間距等，本研究將之命名為「合成難易測試」。

二、變形程度

(一) 猜測

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圖像資訊，且受兩個不同位置的觀看角度而相異，如圖 4.1 亦可解讀為「當一隻眼睛於水平方向上移動時，所看見的圖像資訊將產生差異」。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。

(二) 探討

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 5.5。因母子三角形中之平行線會截出等比例之線段，可知 $\overline{AB} : \overline{BC} : \overline{CD} : \overline{DE} = \overline{AB'} : \overline{BC'} : \overline{CD'} : \overline{DE'}$ ，故推測螢幕上圖像將在某一方向上有一固定程度之縮放比例，造成影像之變形。

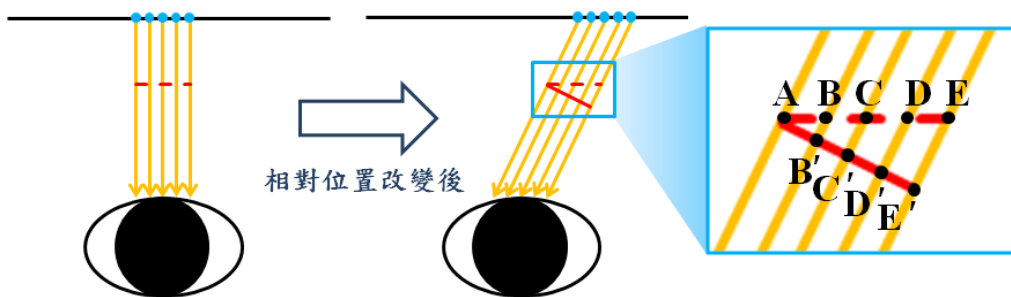


圖 5.5 視線方向改變造成影像變形示意圖

黃線於三圖中皆為平行入射眼睛的光線。其中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 $\triangle ABB'$ 、 $\triangle ACC'$ 、 $\triangle ADD'$ 、 $\triangle AEE'$ 。

(三) 設計驗證實驗：變形程度測試

1. 實際嘗試

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，可參考圖 5.4。

2. 找出趨勢

基於影像各部分縮放比例改變之趨勢，推測當兩眼圖像資訊及顯示距離與人眼觀看機制不同時，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。

3. 設計實驗

由對照簡單的觀看物體，如一方形盒子，其稜線兩側平面夾角大小的變化進行尖銳與平坦程度的量化。

(1) 於第一階段以平行並列的雙鏡頭拍攝，相當於固定拍攝角度，再進行與示意圖的對照，試圖瞭解鏡頭間距及顯示距離對合成效果造成的影響。

(2) 由於立體效果的優劣可能受到和人眼觀賞機制相似程度的影響，故根據前文針對人眼及雙鏡頭相機硬體設計差異的探討，再於第二階段賦予兩鏡頭水平旋轉的自由度，並重複第一階段變形程度測試之實驗步驟，以模擬人眼旋轉的機制，並驗證影像失真程度是否得到改善。

下表 5.1 將統整由上述之視線三角形及變形程度推論衍生的測試與驗證步驟；而後將根據此藍圖設計實驗，並執行前置的相關作業。

表 5.1 測試實驗設計與其內容

測試實驗		實驗內容
第一階段： 針對機構現有參數 進行分析與探討	凸出效果測試	預測並控制影像中物體凸出於螢幕的距離
	合成難易測試	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
	變形程度測試	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
第二階段： 建立可旋鏡頭機構	變形程度測試	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

陸、實驗過程及方法

一、製作測試實驗用圖

實驗用圖可分為兩類：一是受測時用於觀看並判別效果的影像，二則是變形程度測試中用於對照之示意圖。針對前者，為了排除 Fujifilm 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，本研究將於取得影像後，再以每兩張照片為單位，用軟體 StereoPhoto Maker 取代 Fujifilm 相機內建調整影像距離功能，進行合成與處理。

(一) 環境擺設

拍攝物體為一白色長方體盒子，使其稜線朝前，由正面拍攝之；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，同時墊高白色盒子使相機能平視拍攝物體，供墊高之物體大約處於盒子中央，如圖 6.1。



圖 6.1 環境擺設示意圖

由圖 6.1(b)俯視圖所示，測量相機鏡頭前緣與物體墊高處，垂直於光學軌方向的最短距離，並定之為「拍攝距離」。此外，拍攝時應由觀景窗平視物體稜線中點，使相機相對於白色盒子無過大的俯角或仰角。所得影像如圖 6.2 所示。

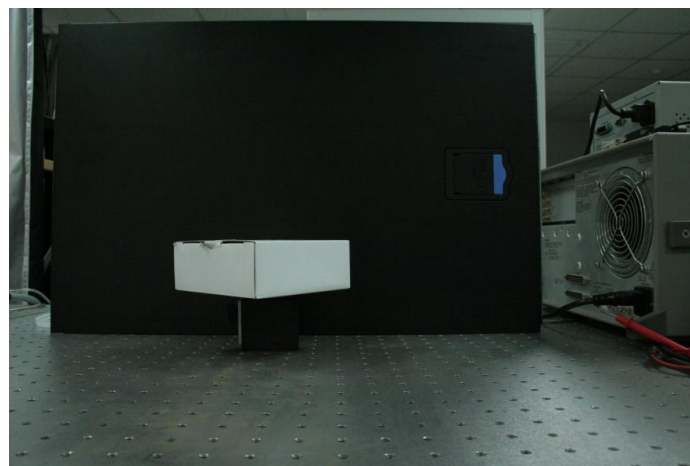


圖 6.2 所得影像範例

(二) 相機架設與拍攝

拍攝可分為兩個階段，其相機架設及移動方式略有不同：第一階段

以水平方式移動單鏡頭之 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；如此便分別模仿不同鏡頭間距及不同角度下拍攝所得的影像。

固定光學軌於光學桌，再將 Canon 相機與相關光學零件依所需之自由度架設。機構架設完畢後，調整相機模式與設定，並使之在拍攝時維持一致：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，使相機移動或轉動時焦距仍維持定值，否則將影響影像的清晰程度，且造成其規格的變異。

1. 第一階段

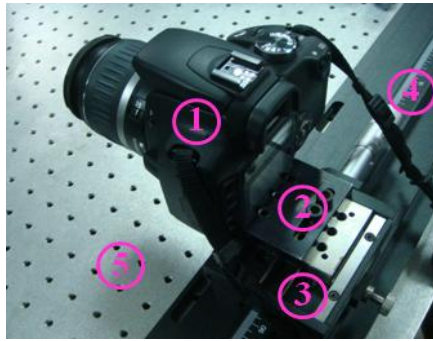


圖 6.3 第一階段拍攝機構

- (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

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。沿光學軌自左向右移動相機，對應其上的刻度，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。

2. 第二階段

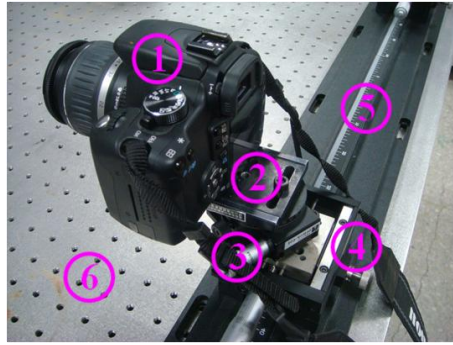


圖 6.4 第二階段拍攝機構

- (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)

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。

當視線三角形的底角每改變 1° 時拍攝一張影像，並固定兩影像拍攝位置的間距而依視線三角形的變化改變拍攝距離，使拍攝物體始終位於視線三角形的頂點。選擇 9 種拍攝距離及 2 種拍攝位置的間距 (6 公分與 10 公分)，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。

故將兩張影像用軟體 StereoPhoto Maker 合成，以儲存為單一圖檔。

穿插時 Position Alignment 初始 $x=0$ ，可以由調整 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將水平移動 0.4 公分，相當於 52 畫素，可得(式三)。

$$x = 130 \times h \quad (\text{式三})$$

【 x 之單位為畫素， h 之單位為公分】

(四) 影像分組方式

依表 3.2 及上述影像拍攝步驟，可將所得影像分為 I、J、K、P、Q 五種影像組，其中組成 I、J、K 的影像由第一階段的拍攝取得，P、Q 則由第二階段得到。

製作影像對時所取兩張影像的拍攝位置皆與中央基準線等距，故所形成之視線三角形符合推論中的條件，必為等腰。

1. 第一階段

(1) 影像組 I

影像組 I 的設計是為了模擬改變兩平行並列鏡頭間距的情況，故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，由兩影像拍攝位置距離 1 公分開始擴大，共 9 對，如圖 6.5 所示。

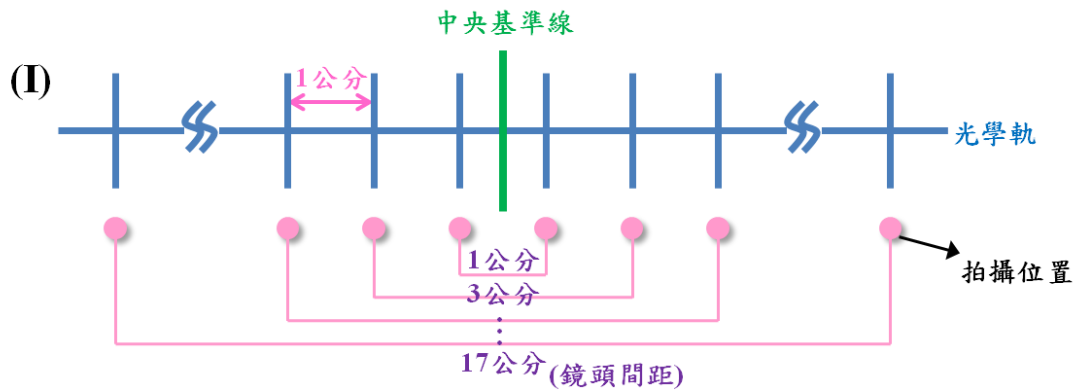


圖 6.5 影像組 I 組合方式示意圖

組成 I 之影像拍攝位置皆不同，於是影像中白色盒子稜線與鏡頭連線亦與基準線夾不同角度，故每一圖檔所含之圖像資訊與兩影像顯示距離皆不一致，其差異如圖 6.6 所示。利用表 3.2 及推論中提到的三項測試實驗，可透過影像組 I 分別了解拍攝位置距離(即鏡頭間距)對凸出效果、合成難易及變形程度的影響。

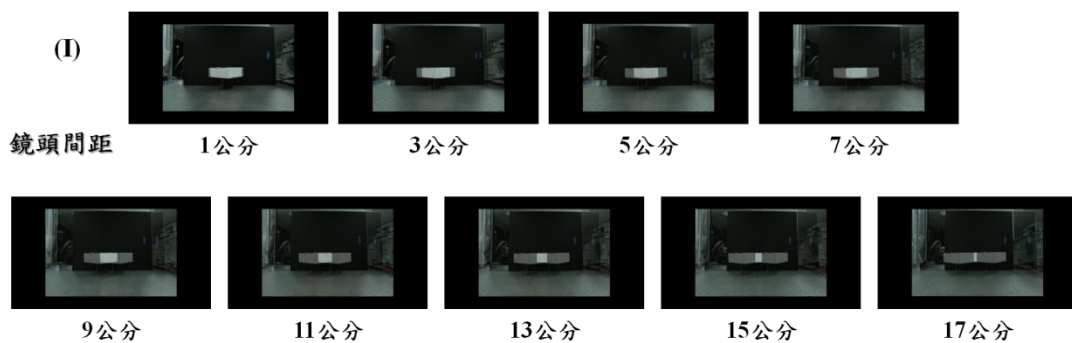


圖 6.6 影像組 I 組合範例

由圖 6.6 可知，鏡頭間距愈大者，其光角愈大，故視線三角形底角愈小；顯示距離則隨著鏡頭間距擴大而增加。

由於此影像組中的每一圖檔皆由不同位置拍攝的影像配對組成，故其圖像資訊皆相異。因此，在改變鏡頭間距的過程中，圖像資訊及顯示距離皆會隨之改變，若將其視為獨立的變因，可進而設計固定圖像資訊的影像組 J 及固定顯示距

離的 K，由此便能獨立探討此二變因對於上述三項測試實驗結果的影響。

(2) 影像組 J

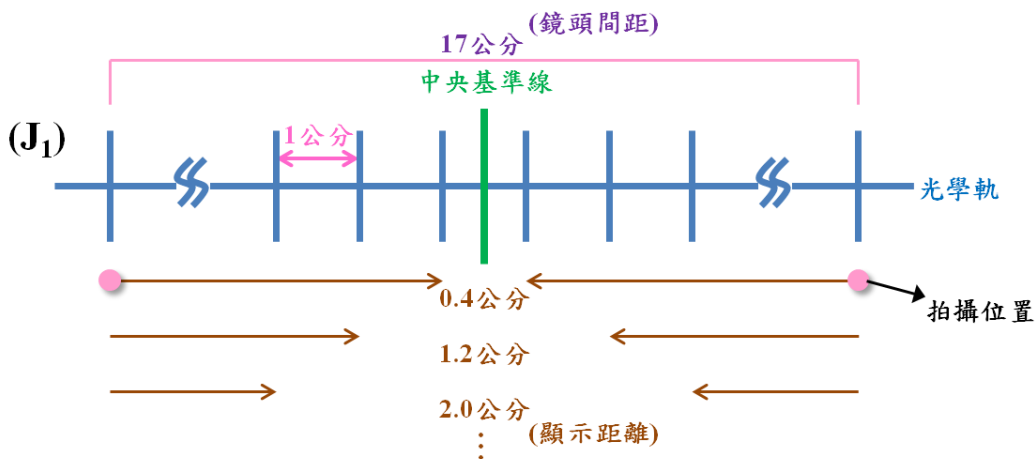
影像組 J 的製作原則為固定圖像資訊，而以顯示距離做為操縱變因，故取一張 I 類圖檔(一對影像對)，調整其 x 值以改變兩影像的距離。其中兩影像距離增加或減少的幅度參照影像組 I 的變化，可得(式四)說明不經任何後製時，鏡頭間距 l 與影像顯示距離 h 之對應關係：

$$h = 0.4 \times l \quad \text{(式四)}$$

【數值單位皆為公分】

由(式四)推算，每增加或減少 0.8 公分製成一對，使影像組 J 之顯示距離及對數皆與 I 類影像對一一對應。

然而，根據所取自影像組 I 的影像對不同，組成兩種分別含相同資訊的影像組 J_1 及 J_2 。其中影像組 J_1 取拍攝位置最左及最右的兩張影像合成，再縮小顯示距離；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。其示意圖如圖 6.7，合成影像如圖 6.8。



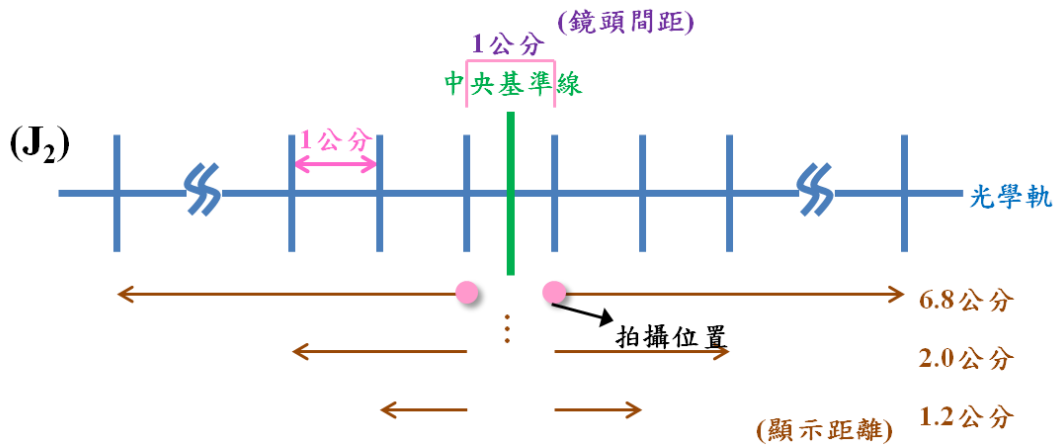


圖 6.7 影像組 J 組合方式示意圖

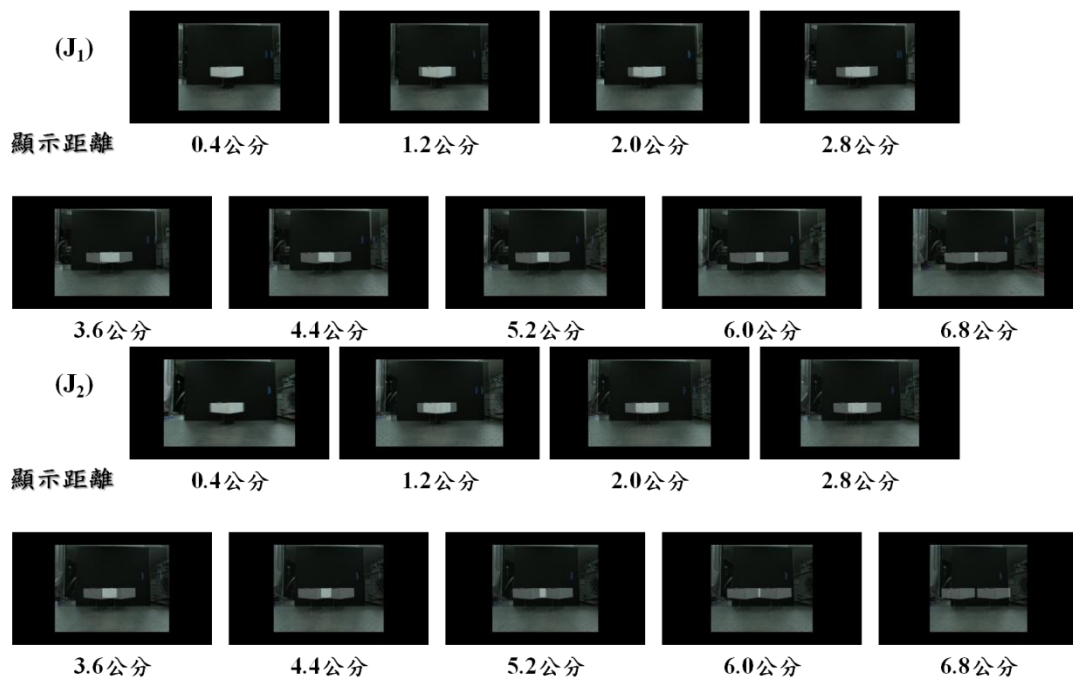


圖 6.8 影像組 J 組合範例

(3) 影像組 K

影像組 K 則固定顯示距離，取所有 I 類圖檔但皆將之調整至相同的顯示距離下播放，所選距離為以與人眼間距最接近的 6 公分拍攝時的情形，即 2.4 公分，藉此去除影像距離對於觀看感受的影響，而單純模擬不同圖像資訊的影像組合，其示意圖如圖 6.9，合成影像如圖 6.10。

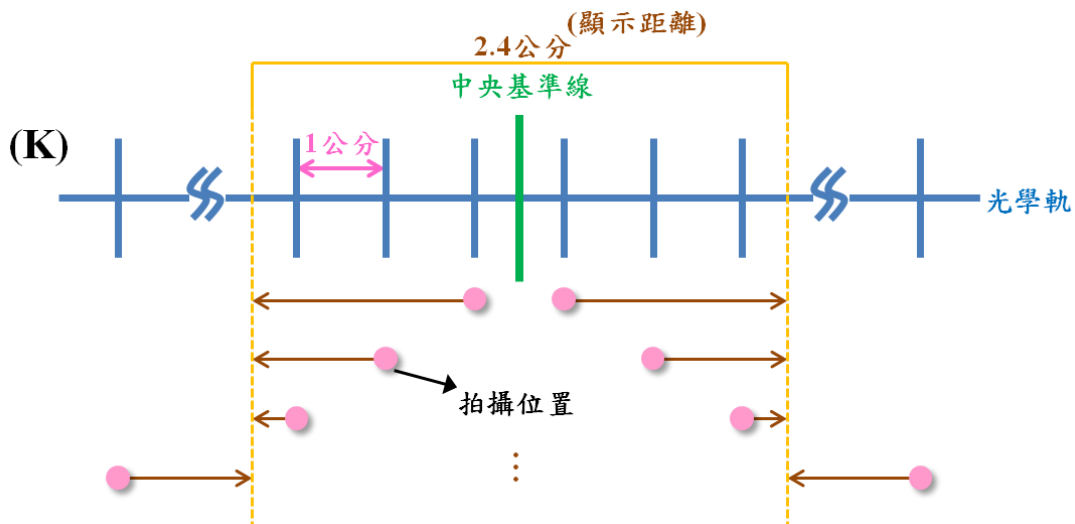


圖 6.9 影像組 K 組合方式示意圖

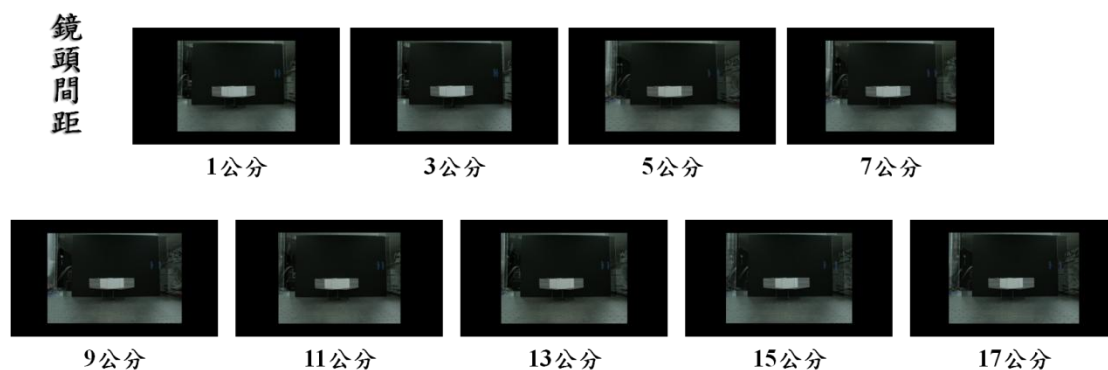


圖 6.10 影像組 K 組合範例

2. 第二階段

影像組 P、Q 的設計加入了鏡頭是否可進行旋轉的變數，透過改變拍攝距離(參見圖 6.1)但固定鏡頭間距的拍攝條件，同時令兩影像的觀景窗中央黑色十字皆對準白色盒子稜線中點，而讓視線三角形底角隨之改變。而影像組 Q 中的影像對皆經過旋轉的調整後，由於白色盒子稜線皆位於視野中央，導致其顯示距離為 0 公分，而影像組 P 則為與 Q 一一對應的對照組，在相同拍攝距離拍攝，但未經旋轉，鏡頭方向皆平行，其示意圖如圖 6.11。

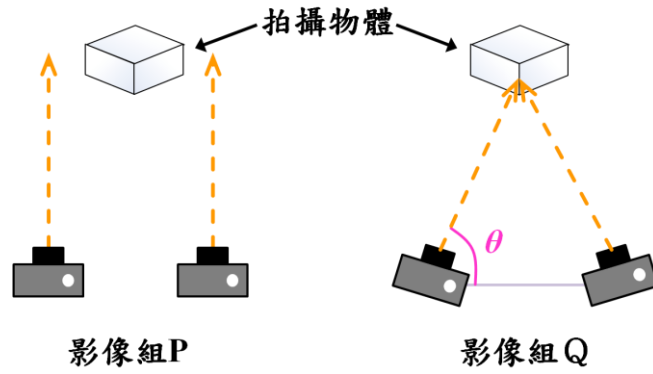


圖 6.11 影像組 P、Q 拍攝方式示意圖

此二影像組將用於第二階段的測試實驗，礙於變形程度勢必成為變因之一，而僅針對變形程度進行分析，有別於改變鏡頭間距，以改變拍攝距離的方式影響所得的圖像資訊，進而探討可旋式鏡頭相對於平行鏡頭的修正效果。其中影像組 P_1 及 Q_1 選用的鏡頭拍攝位置間距為 6 公分，與人眼相近； P_2 、 Q_2 則為 10 公分，以試圖瞭解可旋式鏡頭針對變形程度的改善效果在不同鏡頭間距下是否會有優劣之分，其合成影像如圖 6.12。

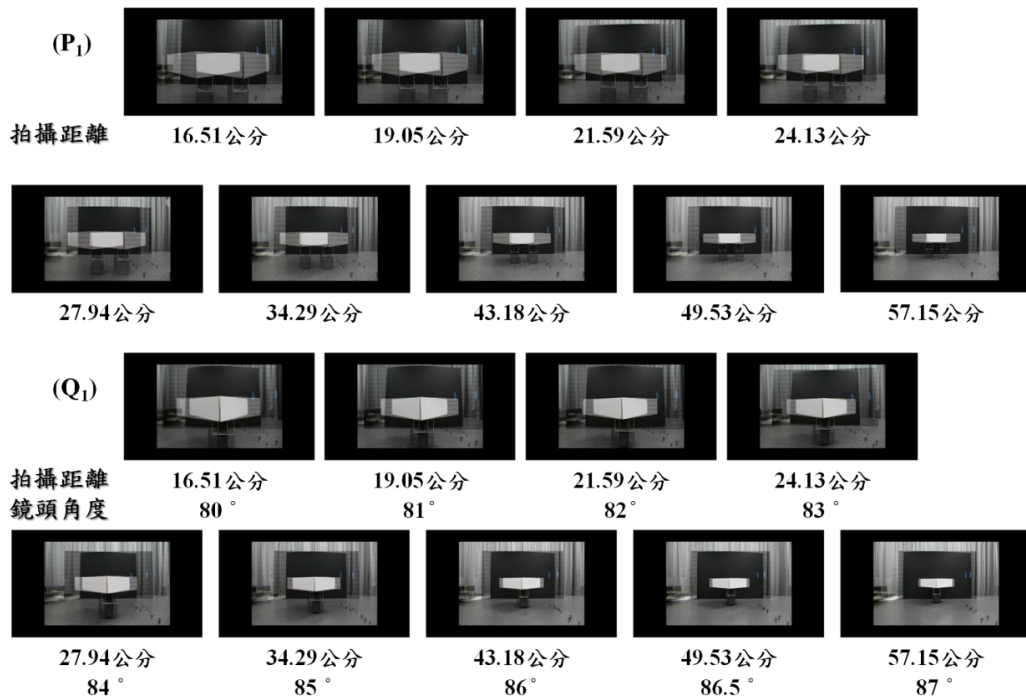


圖 6.12 影像組 P_1 、 Q_1 組合範例

大部分的影像拍攝時之視線三角形底角皆以 1° 為間隔，但 86.5° 之影像之拍攝距離為 49.53 公分，與第一階段之拍攝條件相同，故增加該影像對。

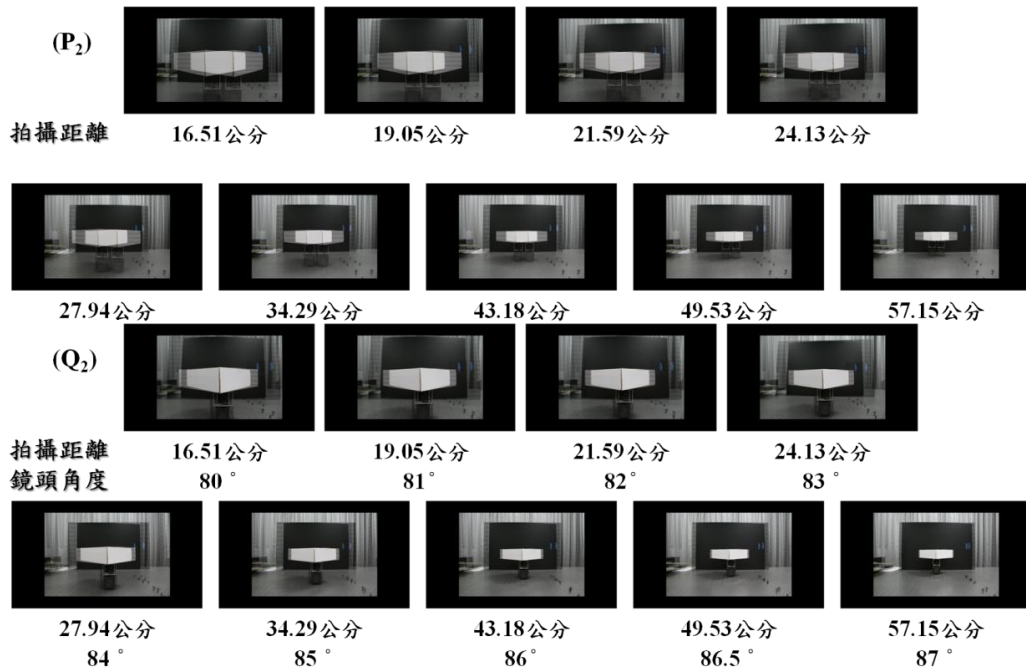


圖6.13 影像組P₂、Q₂組合範例

大部分的影像拍攝時之視線三角形底角皆以 1° 為間隔，但 86.5° 之影像之拍攝距離為 49.53 公分，與第一階段之拍攝條件相同，故增加該影像對。

3. 影像組與變因

操縱及控制變因分別為鏡頭間距(同時改變圖像資訊以及顯示距離)、顯示距離、拍攝距離、拍攝角度；應變變因則為三個測試實驗欲進行測量的值，即合成難易、凸出程度與變形程度，分別由合成時間、凸出位置、示意圖編號量化之，其關係如表 6.1 與 6.2 所示。

表 6.1 影像組與相關變因分析

拍攝	操縱變因	應變變因	處理	操縱變因
第一階段	鏡頭間距 (即拍攝位置)	圖像資訊 顯示距離	I	無
			J	顯示距離
			K	
第二階段	拍攝距離 鏡頭角度	圖像資訊 顯示距離	P	無
			Q	

表 6.2 -變因與觀看效果分析。

操縱變因	應變變因
顯示距離	凸出效果
	合成難易
	變形程度
拍攝距離 鏡頭角度	

(五) 製作對照示意圖

為針對變形程度製造供量化與比較的標準，於是製作受測時之對照物體形狀之示意圖，如圖 6.14。

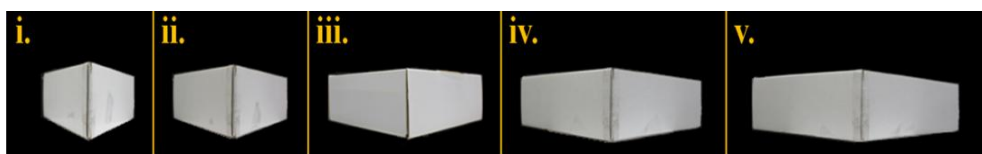


圖 6.14 變形程度對照示意圖

俯視盒子兩面時其張角分別為 50°、70°、90°、110°、130°，其編號由左至右依序為 i、ii、iii、iv、v。

示意圖之製作方式為將白色盒子剪開後，直接改變稜線兩側平面間的角度，以膠帶黏貼固定，再拍攝之，如圖 6.15。



圖 6.15 對照示意圖之製作

其拍攝環境與上文所述相同，但不限制其拍攝距離，且需以正面、於鏡頭前緣與白色盒子墊高處相距最近處拍攝。

二、測試實驗

請受測者觀看影像對，並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、現象與效果的判別、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 4.4)，視受測者的習慣、喜好及方便程度選擇，不影響實驗結果。
3. Acer Aspire 5738DG 筆電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

60.00 公分，如圖 6.16。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。

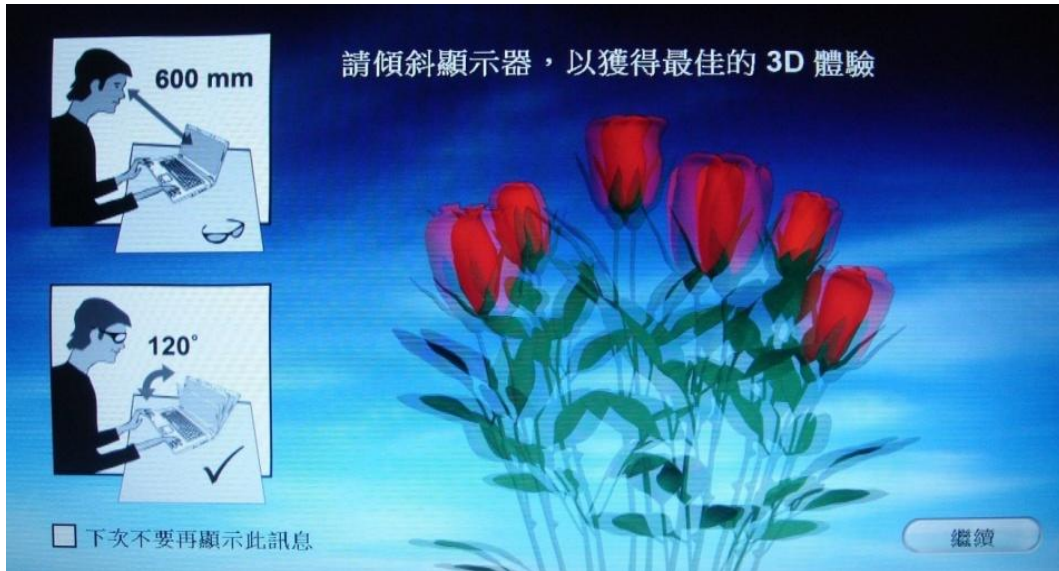


圖 6.16 校準立體觀賞角度之顯示畫面

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 6.17。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。

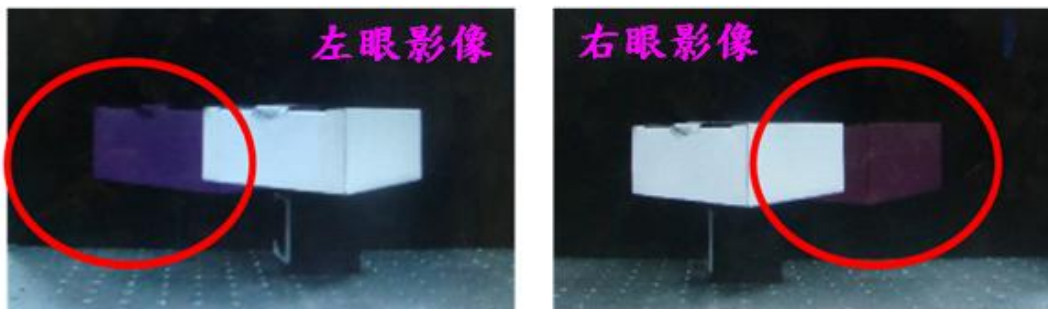


圖 6.17 殘影範例圖

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

此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，並試圖指出凸出位置且記錄指尖與螢幕間的距離。

2. 合成難易測試

此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

透過此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 6.14)，告知與觀看物體形狀最相近者。

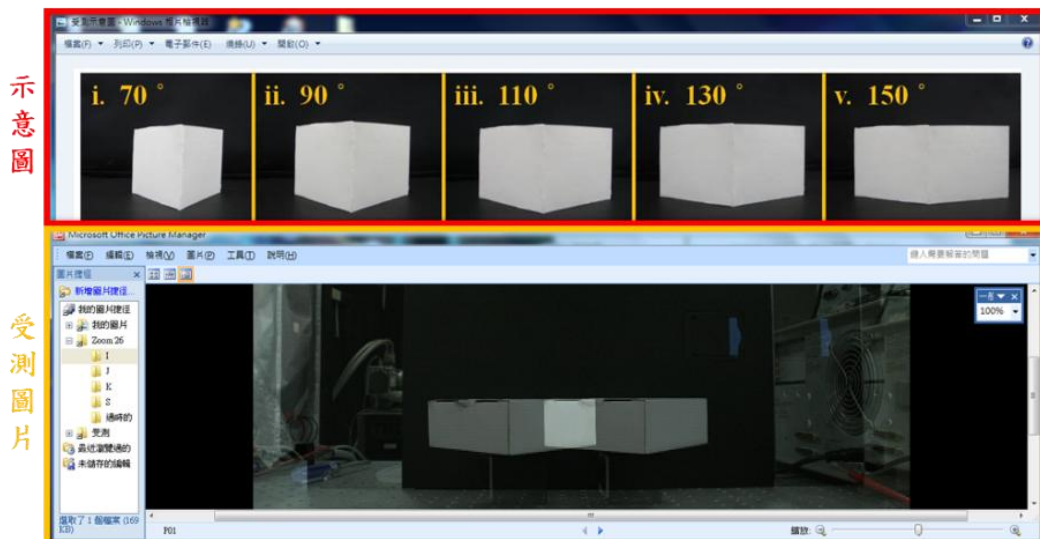


圖 6.18 變形程度測試受測介面

(三) 進行測試

1. 請受測者於測試時觀察白色盒子上即可，而可忽略圖像中的其他部分(如背景中的物體等)，並回答相關問題，且盡可能詳細敘述觀看影像時的感受。
2. 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。

表 6.3 第一階段受測影像排序

播放順序	編號	I	J	K
7	1	1.00	0.40	1.00
2	2	3.00	1.20	3.00
5	3	5.00	2.00	5.00
1	4	7.00	2.80	7.00
3	5	9.00	3.60	9.00
8	6	11.00	4.40	11.00
4	7	13.00	5.20	13.00
9	8	15.00	6.00	15.00
6	9	17.00	6.80	17.00

註：圖檔編號為鏡頭間距(I、K)或顯示距離(J)由小至大的順序，I、J、K 三欄之數值單位皆為公分。

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. 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。

5. 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 3.3)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%。
6. 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。

(四) 選擇偏光顯示技術之原因

舉柱狀透鏡(lenticular lens)為例，與偏光進行比較，可主要由三個方向說明：

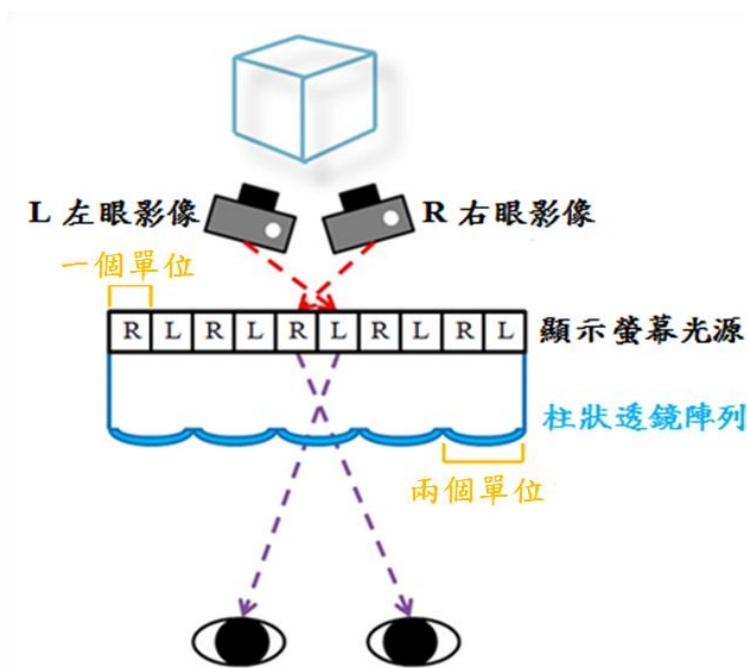


圖 6.19 柱狀透鏡顯示技術原理

將欲送至左右眼的兩張影像分別切割成等寬的直長條，再令之交錯排列穿插，並排顯示於螢幕上。在液晶顯示器外加上柱狀透鏡陣列，每一條柱狀透鏡與左右眼各一影像長條進行搭配。其弧面構造可藉折射分

光，將左眼影像（L）送至左眼，右眼影像（R）送至右眼。

1. 觀賞限制與缺點

因柱狀透鏡為裸眼顯示技術，故放映效果易受觀看角度影響，而本研究的實驗皆需與受測者進行互動，因此不適宜採用；雖偏光顯示容易產生漏光的現象，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。

2. 器材體積與成本

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；偏光眼鏡之成本相對較低且不易損壞。即使具備偏光顯示技術的 Acer Aspire 5738DG 筆記型電腦的體積稍大、重量稍重，但並不影響實驗本身的進行。

3. 顯示技術普遍性

雖然 Fujifilm 相機採用柱狀透鏡的顯示屏幕，但通常觀看立體影像時，觀賞者會傾向把影像由相機匯出至電腦或電視觀看，而目前大型螢幕的顯示器多以偏光或左右眼切換開關顯示為主，播放立體電影的銀幕也以偏光顯示為主。故本研究利用 Fujifilm 相機的拍攝條件，但以於 Acer Aspire 5738DG 之偏光顯示螢幕上觀看之效果做為評斷拍攝條件優劣之基準。

柒、研究結果與討論

經過測試實驗後，將所得數據繪成圖表，並針對所得結果或趨勢給予適當的解釋與說明。雖實驗值的兩數據點之間無直接關聯，但為避免混亂不清又為了有助於探討數據變化的趨勢，故將部分離散的數據點以折線相連。

第一階段將直觀的針對機構現有參數進行分析與探討，如雙鏡頭相機的鏡頭間距、兩影像於螢幕上的顯示距離、立體影像相較於螢幕的凸出程度、所見立體

影像的尖銳與平坦(變形)程度等。第二階段則藉由第一階段得到的結果，賦予兩鏡頭水平旋轉的自由度，以減少立體相機與人眼機制的差異，並探討其與原相機拍攝效果之別。而上述分析將逐項於凸出效果測試、合成難易測試、變形程度測試的實驗結果中分述之。

一、凸出效果測試

(一) 依理論得到預測值

根據視線三角形推論針對凸出程度量化方法的推廣一，由(式一)及已知參數 h 、 d 可得到凸出位置 d_1 (即輻輳點至螢幕距離)的預測值，如圖 7.1 所示。其中(式一)中的 h 為兩影像顯示距離，視各影像數值不同而分別代入之； d 為受測者至螢幕的觀賞距離，為 60.00 公分。

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

【數值單位皆為公分】

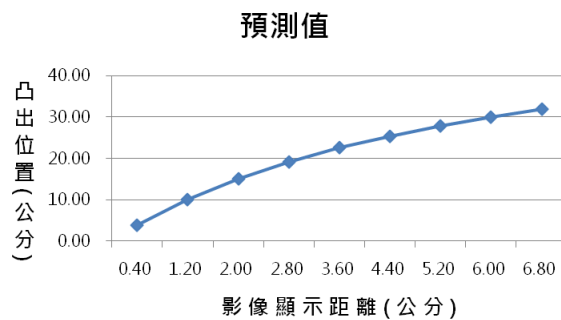


圖 7.1 顯示距離-凸出位置預測值折線圖

依沙漏形視線三角形模型的預測，將觀測距離 $d=60.00$ (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，而影像組 K 之影像距離皆為 2.4 公分，代入(式一)可得預測值為 17.14 公分。

(二) 由受測得到實驗值

依所觀看的影像組 I、J₁、J₂、K 分類，得到所有受測者凸出位置實驗值與影像顯示距離的折線圖，如圖 7.2。

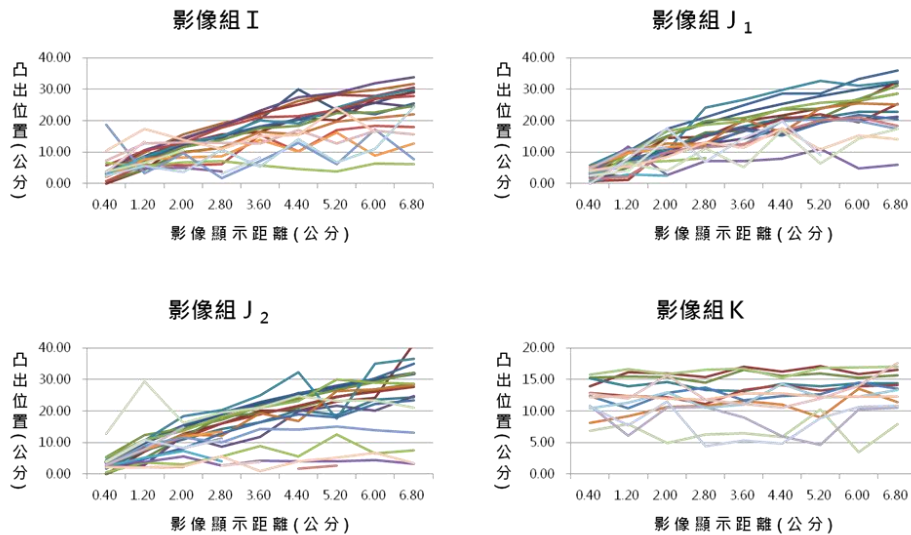


圖 7.2 影像組 I、J、K 凸出效果測試原始數據折線圖

(三) 將預測值與實驗值比較

在統計學中，「離差」一般定義為離均差，即第 i 名受測者之第 j 筆資料 x_{ij} 的離差為 $x_{ij} - \bar{X}_i$ ，其中 \bar{X}_i 為受測者 i 之所有數據資料的平均值。然而本測試需探討受測結果是否符合預測趨勢，故修正離差之定義為 $x_{ij} - \hat{x}_{ij}$ ，其中 \hat{x}_{ij} 為與 x_{ij} 對應的預測值；對 $x_{ij} - \hat{x}_{ij}$ 取絕對值後稱為 δ_{ij} ，即預測值與實驗值間的距離。

針對每一筆資料皆計算 δ_{ij} 後，受測者 i 將分別得到一個 δ_{ij} 之標準差 σ_i 值和 δ_{ij} 之平均 $\bar{\delta}_i$ 值。由於符合趨勢者宜先求圖形相似，再求個別數據點與預測曲線的距離較近，故以 σ_i 為主要分類基準，以 $\bar{\delta}_i$ 為輔，由此將受測結果分為兩大類：A 類為與預測值連線得到之淡紫色趨勢線幾乎吻合者，B 類為比預測值略小但符合趨勢，其餘趨勢較為紊亂者則不列入分類。

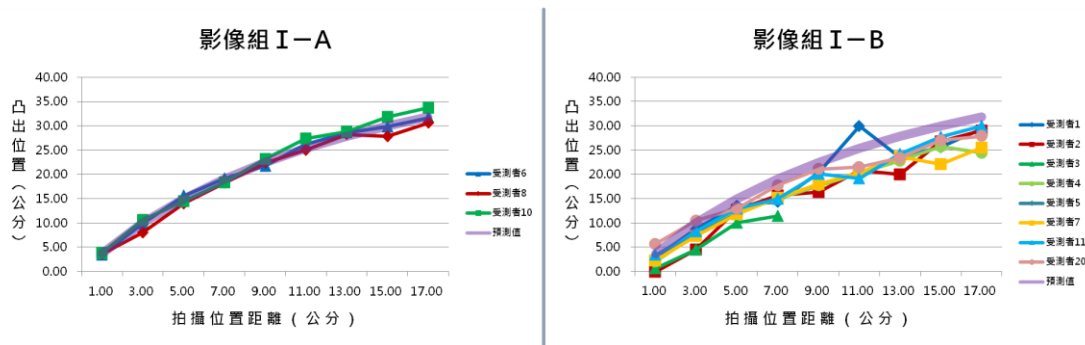


圖 7.3 影像組 I 凸出效果測試結果分類

左圖 A 類為 σ_i 小於 1.00 公分者且 $\bar{\delta}_i$ 小於 1.50 公分，占總樣本數的 12%；右圖 B 類為 σ_i 小於 2.00 公分者，占 32%。

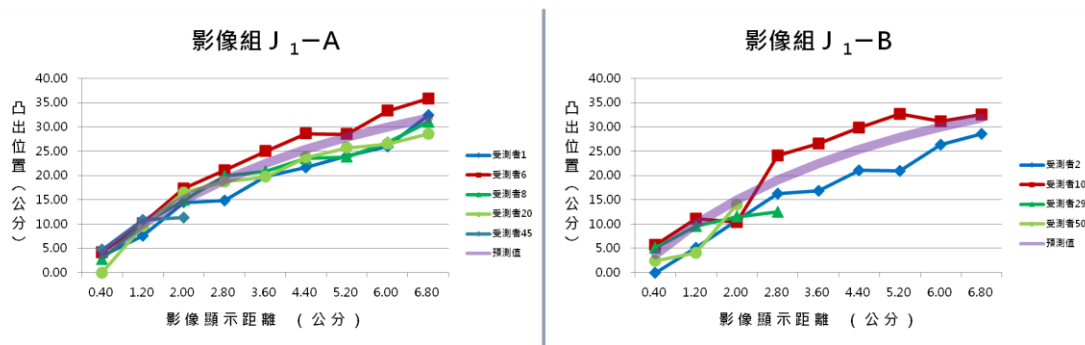


圖 7.4 影像組 J₁ 凸出效果測試結果分類

左圖 A 類為 σ_i 小於 2.00 公分且 $\bar{\delta}_i$ 小於 3.00 公分者，占 20%；右圖 B 類為 σ_i 小於 2.00 公分或 $\bar{\delta}_i$ 小於 3.00 公分者，占 20%。

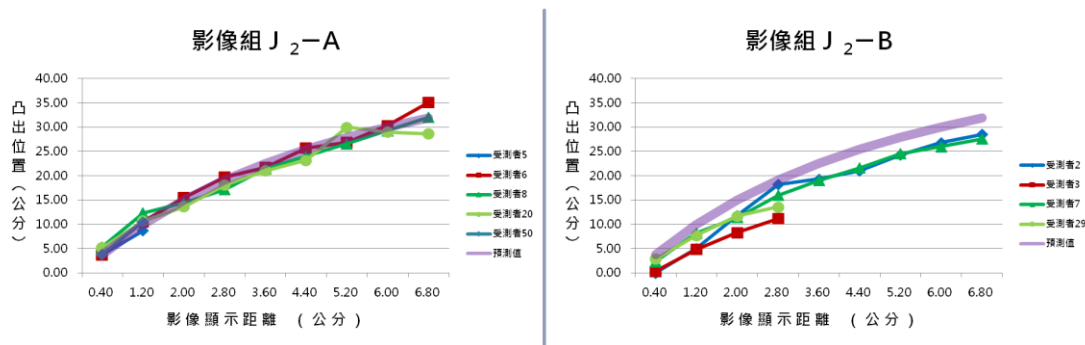


圖 7.5 影像組 J₂ 凸出效果測試結果分類

左圖 A 類為 σ_i 小於 1.00 公分且 $\bar{\delta}_i$ 小於 2.00 公分者，占 20%；右圖 B 類為 σ_i 小於 2.00 公分者，占 16%。

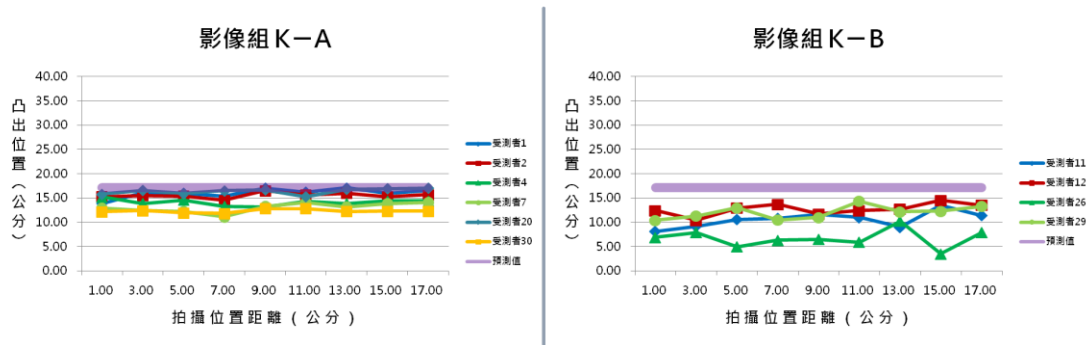


圖 7.6 影像組 K 凸出效果測試結果分類

左圖 A 類為 σ_i 小於 1.00 公分者，占 37.5%；右圖 B 類 σ_i 小於 2.00 公分者，占 25%。此外 \hat{x}_{ij} 無論 A 類或 B 類，幾乎所有 δ_{ij} 皆與取絕對值前 $x_{ij} - \hat{x}_{ij}$ 之值差一負號，表受測結果 x_{ij} 絕大部分小於預測值。

如圖可知，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，推測可能因影像組 I 之製作未經任何拍攝後之後製，故影像呈現較為自然，使受測者於實驗中之判斷較為準確。然而，A 類僅分占各影像組的一到四成不等，B 類亦只占二成五上下，推測造成紊亂而不符趨勢之可能原因如下：

1. 以凸出位置的實驗值繪製新的沙漏形視線三角形時，視線並非原先推論中假設的直線，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. 相較於與預測值較為吻合的 A 類，推測 B 類的產生可能因「調節-輻輳反射」，而藉眼睛的調節力，使輻輳點向位於螢幕上的聚焦點靠近，影像組 K 則無論 A、B 類皆有此現象。由於聚焦點需落在螢幕上才能看清影像，此反射機制的目的即為了使聚焦點與輻輳點儘可能符合，讓輻輳點向螢幕靠近；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。

3. 由於本測試實驗取得受測數據的依據為受測者以手指指出的位置，與預測值差異較大的樣本可能因主觀判斷，如受測者於實驗設計者之定義不完全相同，或操作時的實驗誤差造成。

(四) 比較結果分析

1. 預測模型

將 A、B 兩類視為符合預測模型得到趨勢的受測結果，則約占各影像組中總樣本數的四成到六成不等。故沙漏形視線三角形之預測模型具有一定的可信度，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。

2. 變因與趨勢

由上述折線圖可知，凸出位置大小與兩眼影像距離成正相關，且趨勢大致與沙漏形視線三角形模型的預測相符；而由於影像組 K 之實驗值多近似水平線，表示其幾乎為一定值，進而證實影像凸出位置的主要因素為影像顯示距離。

二、合成難易測試

(一) 推測變因及趨勢

根據視線三角形推論針對立體視覺臨界條件的推廣二，由(式二)及已知參數 h 、 d_l 可得到視線三角形底角 θ ，如圖 5.4 所示。其中(式二)中的 h 為兩影像顯示距離，視各影像數值不同而分別代入之； d 為受測者至螢幕的觀賞距離，為 60.00 公分。

$$\theta = \tan^{-1} \frac{2 \times d}{6 + h} \quad (\text{式二})$$

【除 θ 之單位為角度($^\circ$)外，其餘單位皆為公分】

由此可知，當 h 愈大時， θ 將愈小，所求臨界角度值 φ 即為人眼所

能容許之 θ 最小值；故推測當顯示距離愈大時，應有合成漸難的趨勢，導致合成時間愈長。

(二) 驗證變因及趨勢

由於此測試實驗的量化方式為請受測者自行估算合成所需的時間，所得數據較為主觀而誤差較大，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，受測者之間則不具比較意義。因此，不採分析凸出效果測試的做法，製作各影像組中所有受測者合成時間與影像距離的折線圖，而改由下列兩種分析方式取代。

1. 線性趨勢線斜率

由於無法得知合成時間與影像顯示距離之關係是否為二維線性相關，故無法相關係數的正負值進行正負相關的判斷，故改以合成時間—影像顯示距離折線圖的方式呈現數據，並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，再以趨勢線斜率的正負分析影像顯示距離與合成所需時間的相關性。

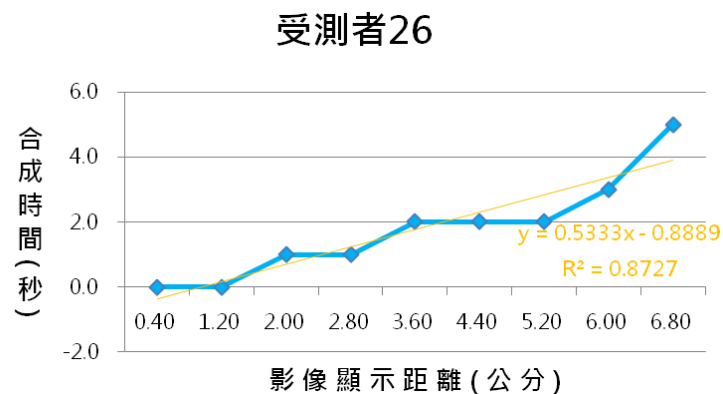


圖 7.7 合成難易測試數據結果趨勢線繪製範例

圖為編號 26 之受測者於影像組 I 的受測結果；藍色折線為數據點連線，黃色直線為一次趨勢線，黃色文字則分別為趨勢線方程式及相關係數平方值。

按照此方法，可得表 7.1 及 7.2，表中列有單一受測者觀看顯示距離有改變之影像組 I、J₁、J₂ 之實驗數值趨勢線斜率值，暫不針對影像組 K 進行分析。

表 7.1 影像組 I、J₁、J₂ 合成難易線性趨勢線斜率值

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 7.2 影像組 I、J₁、J₂ 合成難易線性趨勢線斜率分布比例

趨勢線正負值	正值	零	負值	無
影像組 I	66.7% ₍₁₆₎	20.8% ₍₅₎	12.5% ₍₃₎	0% ₍₀₎
影像組 J ₁	62.5% ₍₁₅₎	16.7% ₍₄₎	12.5% ₍₃₎	8.3% ₍₂₎
影像組 J ₂	79.2% ₍₁₉₎	20.8% ₍₅₎	0% ₍₀₎	0% ₍₀₎

如表 7.2，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。由此可驗證，影像顯示距離與合成時間成正相關。

- 除了由合成時間的長短探討，由於理想且舒適的合成狀態為立即合成，即合成時間為 0 秒，故統計每一張影像可於觀看時立即合成之受測者人數，如圖 7.8。

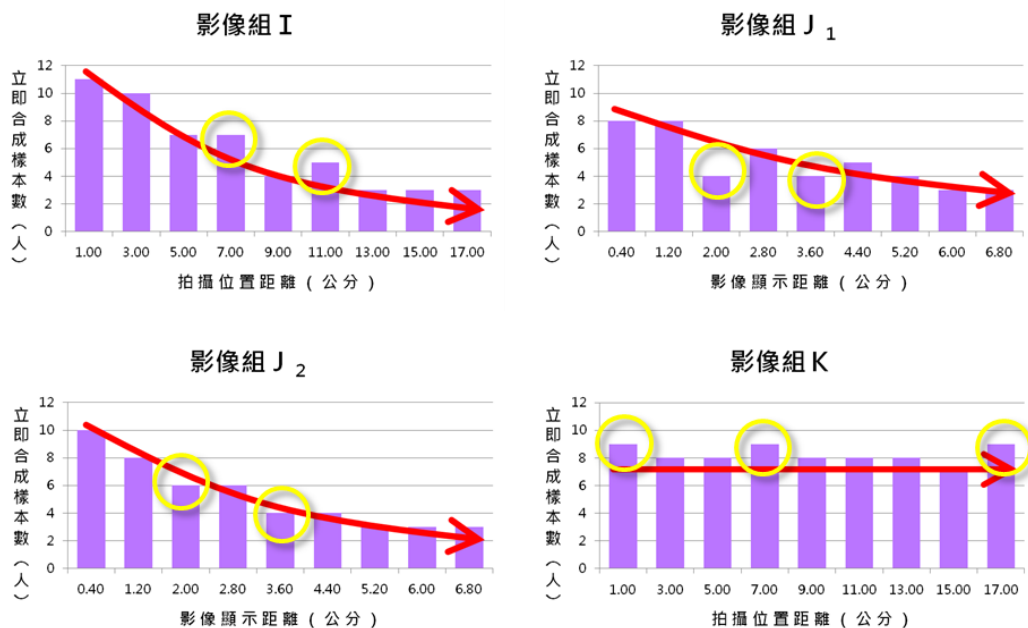


圖 7.8 影像組 I、J、K 立即合成樣本數—顯示距離直條圖

圖中紅色箭頭為樣本數量變化的大致趨勢，黃色圓圈為略顯不合趨勢者。

由圖 7.8 可知，影像組 I、J 之立即合成樣本數將隨著鏡頭間距或顯示距離增加而減少，影像組 K 於同一顯示距離下播放，則趨勢大致呈水平，可再次驗證合成時間主要與顯示距離相關；因立即合成樣本數與顯示距離成負相關，可推測合成時間與顯示距離成正相關。

然而，趨勢有些許不規則的現象，如圖 7.8 黃圈處：對應表 6.2 可知拍攝位置距離或影像顯示距離軸上之長條由左而右可分別之編號由 1 至 9 遞增；圖檔有樣本數相對減少的效應者分別為影像組 J₁ 及 J₂ 之編號 3、5，其放映順序分別第 5 張及第 3 張，而有樣本數相對減少效應者分別為影像組 I 之編號 4、6 與影像組 K 之編號 1、4、9，其放映順序分別為第 1 張、第 8 張及第 7 張、第 1 張、第 6 張。

由此可知，樣本數量不規則的情形可能不只受一個變因控制，但可推測出下列兩種將構成相反效應的因素。

(1) 學習效應

位於一影像組的 9 張影像中播放順序較前段的圖檔可能因眼睛尚未適應，導致合成時間增長，立即合成樣本數減少；相對的，圖檔處於播放順序較後段位置的圖檔，則因學習而造成合成時間減少，進而使立即合成樣本數增加。

(2) 疲勞效應

若無適應上的困難，則觀看播放順序較前段的圖檔時，眼睛尚未因調節力等原因產生疲勞而仍在舒適的範疇，故立即合成樣本數較多，合成時間相對較短；反觀經過一段時間的受測過後，眼睛可能因疲倦而導致調節之反應變慢，或無法調節至理想之程度，導致立即合成樣本數減少，合成時間亦相對增長。

由上述探討可知，播放順序(參照表 6.2)及視覺疲勞皆會造成趨勢的不規則，使合成難易或因學習而改善，或因疲勞而不適。

(三) 臨界角度值

$$\theta = \tan^{-1} \frac{2 \times d}{6 + h} \quad (\text{式二})$$

【除 θ 之單位為角度($^{\circ}$)外，其餘單位皆為公分】

由(式二)計算 θ 值時， h 值皆需視各影像對之對應數值代入之，而單一受測者之臨界角度值對應的影像對，即為影像組 I 中其受測結果顯示可立即合成者中，兩影像顯示距離之最大者，故將該影像對之兩影像

距離 h 代入(式二)。選用此方法的原因簡述如下：

1. 不選用影像組 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為了求得理想的鏡頭間距，故應盡量避免任何後製程序，而以鏡頭間距為單一操縱變因實驗。
2. 不選用影像組 K 則是因其顯示距離 h 皆為 2.4 公分，為透過(式三)換算 6 公分之鏡頭間距得到，故此影像組將用於驗證「與人眼間距最為相近之鏡頭間距效果最佳」之猜想。
3. 不選用凸出效果測試中所得到的 d_I 實驗值，而由圖 5.4 之理論推導直接簡化計算之則是因為由其測試結果之分析可知，受測實驗值之誤差較大，且預測值可能較符合真實情況。

下表 7.3 詳列所有完整完成第一階段受測且趨勢符合預測之受測者觀看影像組 I 的結果，其中符合預測者指影像顯示距離與合成時間折線圖趨勢線斜率非負之受測者。

表 7.3 各受測者之臨界角度值

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

由表 7.3，可得其 θ 平均值約為 86° ，即為由合成難易測試得到的臨界角度平均值，表示當視線三角形之底角小於 $\varphi=86^\circ$ 時，受測者大多無法舒適的看清立體影像。

(四) 最佳鏡頭間距

1. 將臨界角度平均值 $\varphi=86^\circ$ 、人眼間距 6 公分與觀測距離 $d=60.00$

公分代入(式二)，可反推兩影像顯示距離 $h=2.4$ 公分，恰為影像組 K 之顯示距離，由(式四)可得其對應之鏡頭間距為 6 公分，相當於人眼間距。

2. 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，為了提供較佳的凸出效果，以 6 公分為理想的立體相機鏡頭間距。
3. 然而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顯示距離為 2.40 公分之影像，即影像組 K。

(五) 視線三角形之討論與應用

1. 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。

2. 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 60.00 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。

三、變形程度測試

由變形程度推論，可知影像的變形可由尖銳與平坦程度的差異量化，而影像變形的因素可視為立體相機與人眼機制的差異，可能由圖像資訊及顯示

距離的不同造成。依影像拍攝時的改變的自由度可分為兩個階段，以下將分述兩階段的測試結果。

(一) 第一階段：變形程度與鏡頭間距、顯示距離之關聯

1. 推測

由 I、J、K 影像組的製作方式及設計變因探討變形程度可能的變化趨勢。

- (1) 由於鏡頭間距較寬者所得圖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、正前方的圖像資訊，故鏡頭間距應與示意圖編號成正相關，即鏡頭間距愈寬時物體將愈尖銳。
- (2) 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；而鏡頭間距改變時顯示距離亦隨之改變。

由此可知，圖像資訊及顯示距離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。

2. 定義參數並製圖

由圖 6.13 可知，示意圖編號 iii 之白色盒子俯視張角為 90° ，即為正常狀況下觀看盒子的樣子，故定義「變形量」為示意圖編號減 3.0 後的值，代表與不變形的偏差程度，正值表示變得扁平，負值表示變得尖銳，並依不同影像組，分別繪製變形量—影像距離折線圖。

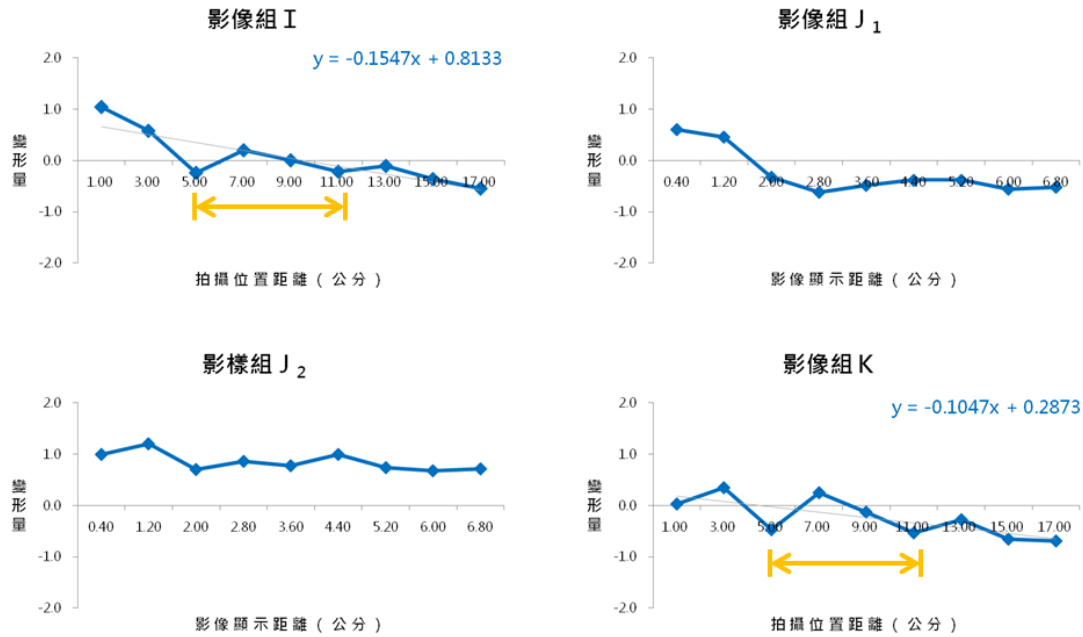


圖 7.9 影像組 I、J、K 變形量—影像距離折線圖
黃色雙箭頭表示變形量相對較少的區域。

由圖 7.9 可得到以下推論：

- (1) 當影像組 I 拍攝位置距離(鏡頭間距)於 5~13 公分之間時變形量最小，而 6 公分的鏡頭間距處於此範圍內。
- (2) 影像組 K 的折線與影像組 I 相似，但其趨勢線斜率絕對值較小，表示 2.4 公分的顯示距離略對變形程度有改善效果，但造成變形主要變因仍為圖像資訊。
- (3) 由影像組 J 可再度驗證，當固定拍攝位置時，影像顯示距離對變形程度的影響較小。
- (4) 圖中折線略有由左上往右下的趨勢，雖不顯著，但仍可驗證影像將隨著鏡頭間距或顯示距離增加而變得扁平的趨勢。

3. 最佳顯示距離

由於顯示距離對於變形程度造成的影響並不大，故可忽略之。

但由凸出效果測試可知，當顯示距離愈大時，凸出距離將愈大，因

此可得到較佳的立體感；由合成難易測試可知，當顯示距離愈大時，合成時間將愈長，導致合成難度上升。為從兩種趨勢中取得平衡，於觀賞限制距離螢幕 60.00 公分、顯示比例 26% 的條件下，取得到臨界角度值之顯示距離，為 2.4 公分，即為影像組 K 的設計。

(二) 第二階段：變形程度與鏡頭角度之關聯

1. 推測

此階段忽略第一階段時顯示距離造成的變形而針對圖像資訊進行更深入的探討。由於第一階段已透過水平移動相機，討論水平方向上圖像資訊改變造成的影響，故第二階段拍攝時賦予旋轉的自由度，使所得影像與人眼攝入者更為相似，並猜測將進而達到修正變形的效果。

2. 定義參數並製表

利用第一階段對於變形量的定義，針對影像組 P、Q 忽略受測者間的差異，而取所有受測結果之平均，並另稱影像組 P 得到變形量為 ΔP ，Q 亦同理，而 $|\Delta P| - |\Delta Q|$ 為變形量取絕對值後的差，取絕對值的目的是為了消除變尖與變扁平造成值的差異，而將兩者都視為變形。當 $|\Delta P| - |\Delta Q|$ 為正時，代表 Q 相對於 P 具有修正效果，為負則表 Q 的修正導致了反效果，因 Q 的變形量較 P 為大。

表 7.4 影像組 P、Q 之變形量與修正效果探討

拍攝距離 (公分)	旋轉角度* ¹ (°)	$ \Delta P_1 $	$ \Delta Q_1 $	$ \Delta P_2 $	$ \Delta Q_2 $	$ \Delta P_1 - \Delta Q_1 $	$ \Delta P_2 - \Delta Q_2 $
16.51	80	0.3	0.0	0.3	0.3	0.2	0.1
19.05	81	0.3	0.1	0.4	0.1	0.2	0.3
21.59	82	0.4	0.2	0.3	0.3	0.2	0.1
24.13	83	0.2	0.2	0.2	0.3	0.0	0.0
27.94	84	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	-0.1
34.29	85	0.3	0.4	0.4	0.0	0.0	0.4
43.18	86	0.4	0.9	0.5	0.4	-0.5	0.1
49.53	86.5	0.5	1.0	0.9	0.6	-0.5	0.4
57.15	87	0.6	0.9	0.8	0.7	-0.3	0.1
平均* ²		0.325	0.350	0.375	0.288	-0.013	0.125

*¹：旋轉角度為拍攝影像組 Q 時相機模擬人眼時所形成之視線三角形的底角。

*²：由於 86.5° 之數據與其他角度值相比並非處於等差之列，故計算平均時忽略之；平均值所取之位數略多是為了方便比較數值大小，其有效位數仍同上為兩位。

由表 7.4 可得以下推論：

- (1) 雖然 $|\Delta P_1|$ 、 $|\Delta Q_1|$ 、 $|\Delta P_2|$ 、 $|\Delta Q_2|$ 四欄之平均值相近，但 $|\Delta P_1| - |\Delta Q_1|$ 及 $|\Delta P_2| - |\Delta Q_2|$ 兩欄皆多為正值，表示可旋式鏡頭的拍攝相對於平行並列鏡頭，確實有修正變形的效果。
- (2) $|\Delta P_2| - |\Delta Q_2|$ 中值為正的項目數較 $|\Delta P_1| - |\Delta Q_1|$ 多，平均值亦較高，表示鏡頭間距較寬時，可旋式鏡頭的修正效果將更為優異，可由等比例放大的視線三角形解釋。
- (3) P_1 本身的變形量較 P_2 小，可重複驗證拍攝位置距離 6 公分時將產生較少的變形。
- (4) 儘管拍攝距離為影像拍攝時的變因，但可由圖 7.10 知其對變形程

度的影響甚小，故不進行討論。然而，其緩緩往右上的趨勢可能因物體位置距離較遠，導致形狀變得較為平坦的心理因素造成。若需取得較少的變形，根據臨界角為 86° 且鏡頭間距為 6 公分的限制，建議將拍攝距離維持在 20~30 公分。

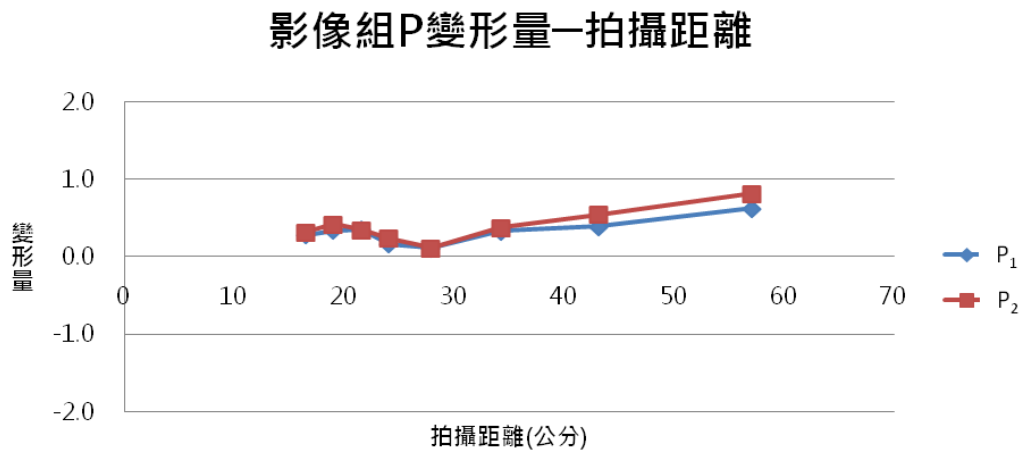


圖 7.10 影像組 P 變形量—拍攝距離散布圖

捌、結論與應用

一、研究成果

表 8.1 研究成果整理

差異	研究項目	測試實驗	研究成果
觀看感受	凸出位置預測與控制	凸出效果測試	<ol style="list-style-type: none"> 1. 影像凸出位置可由沙漏形視線三角形推算得到 2. 凸出位置與顯示距離成正相關 3. 調節力將造成輻輳點往螢幕靠近，使凸出距離較預測為短
硬體設計	最適宜鏡頭間距	合成難易測試	<ol style="list-style-type: none"> 1. 最佳鏡頭間距與人眼間距相近，約 6 公分 2. 可舒適合成時雙眼連線與視線夾角之最小值約為 86° 3. 合成時間與顯示距離成正相關 4. 合成時間受調節力影響，可透過學習改善或因疲乏而感不適
	可旋式鏡頭設計		證明確實有修正變形的效果，且鏡頭間距愈寬時修正效果愈佳
軟體設計	顯示距離之影響	變形程度測試	調整顯示距離確實會造成影像的尖銳與平坦程度改變，但其影像程度不及圖像資訊，且受心理層面影響大

透過表 8.1，可整理出以下最優化之條件：

(一) 顯示條件：

距離 Acer Aspire 5738DG 筆電螢幕約 60 公分進行觀賞且以 26% 的比例顯示影像時，取 2.4 公分為最佳顯示距離；若影像本身之顯示距離小於 2.4 公分，則為顧及凸出效果的逼真程度與合成的舒適與否，應維持原顯示距離。

影像之變形程度(尖銳與平坦程度的變化)與不同角度的圖像資訊、視線方向的改變、兩眼影像距離皆相關，可透過可旋式鏡頭的設計及上述針對顯示距離的要求使其變形最小。

(二) 拍攝條件：

當鏡頭間距為 6 公分(或與觀賞者雙眼間距相近)且鏡頭旋轉 86°以

上時，可達最真實之效果；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。此外，拍攝距離對於影像變形與否之影響不大。

二、實際應用

透過上述得到的研究成果，根據所求得之拍攝條件架設一立體相機雛型，以兩台手機分別作為相機的雙鏡頭，並以 Lego Mindstorms NXT 及 Technic 系列積木建構機體，同時賦予機構改變鏡頭間距與旋轉鏡頭角度的自由度，機構裝置如圖 8.1 所示，圖 8.2 則說明此相機雛型開放的自由度。

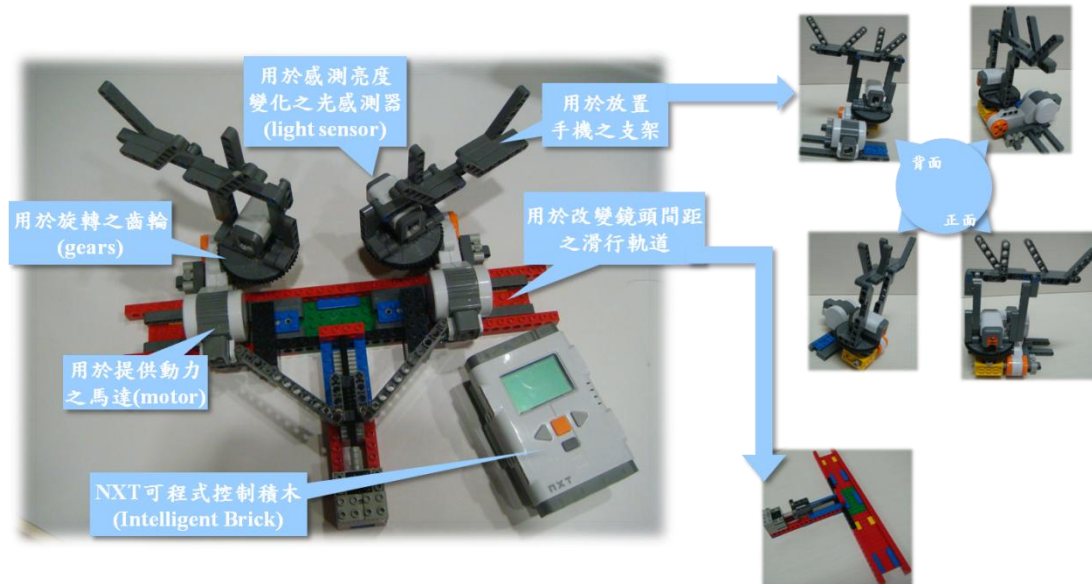


圖 8.1 相機雛型機構說明



圖 8.2 相機雛型可調整變因說明

將手機放至支架上並完成所有接線工作(如圖 8.3 左上)後,利用 j5 create JUC600 之 Android Mirroring 裝置連接手機與電腦,進而以電腦操縱手機並顯示其螢幕。但由於該 Mirroring 裝置只支援手機和電腦一對一的操控,於是準備兩臺筆電,再利用遠端桌面連線(如圖 8.3 右上)控制另一支手機。將兩臺筆電以一般的網路線相互連接後,分別依序點選「[開始]功能表/附屬應用程式/遠端桌面連線」,任意設定兩臺電腦的 IP 位置但須相差一號,即可予以認證,認證完成後即跳出另一台電腦的畫面,則連線成功。

開啟利用 LabVIEW 所寫的程序,用於操控相機雛型機構的旋轉與平移,其中針對手機及其支架的旋轉,另設有光感測器,透過程式的設定,可透過亮度的差異測得何時須停止旋轉才能讓白色盒子稜線位於手機拍攝螢幕正中央(如圖 8.3 右下);此時需對白色盒子的一側打光,使其面向鏡頭的兩個平面產生亮度差,而不能使用均勻環境光。

完成旋轉及平移後，開啟 Android Mirroring 介面(如圖 8.3 左下)，以滑鼠點擊兩個畫面中白色盒子的稜線中點，使對焦於其上，再分別點擊畫面上的拍攝鍵，即完成拍攝。

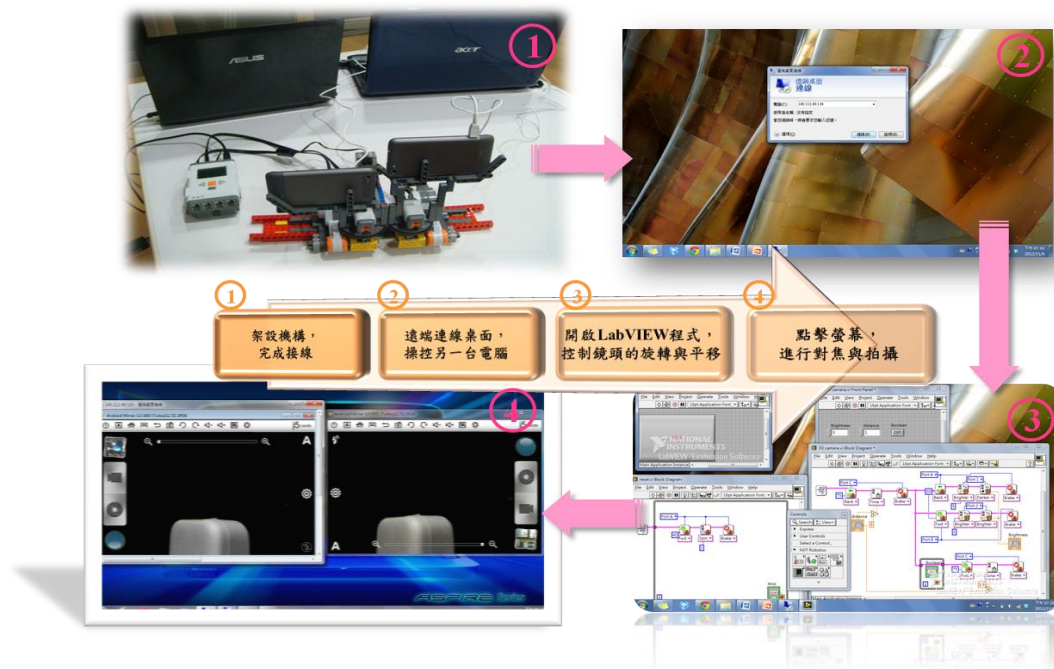


圖 8.3 相機雛型使用及拍攝步驟 (左下並非預設拍攝時之白色盒子，僅為供參考步驟之範例圖)

從檔案總管可取得兩臺手機分別拍攝得到的兩張影像，可仿製作受測影像用圖之步驟，利用 StereoPhoto Maker 使兩影像距離調整為 2.4 公分，再以 Microsoft Office Picture Manager 放映，即完成 3D 影像的製作。

三、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，以得到更為大眾化的數據，甚而找出測得數據背後之原因並針對生理上的影響進行探討與改善，進而將本研究之實驗結果與延伸作為實際層面之用途。

(一) 大眾化

由於立體感受的測量屬於人因實驗的範疇，標準差大、實驗不宜多

次重複且較難找到最佳實驗方法的狀況與一般物理或化學性之實驗不同，其牽扯變數較多，甚至從受測者對於感受的定義與表達，至實驗設計者的接收與理解皆可能造成變異。與人相關的數據更可能因或然率導致常態分布，而在樣本數太低時無法找到趨勢與更精確的真值落點範疇。

因此，本研究將持續增加受測之樣本數，以了解不符合預測趨勢抑或無法找到趨勢之因，並予以適當的推測與解釋。透過大量的受測數據，期許未來能找到普遍對於立體影像觀看及拍攝方面的限制條件。

(二) 客製化

有別於設計供一般大眾皆可使用的相機，本研究期許在找到普遍性的條件之前，能製作出開放部分變因供使用者調整與並依個人需求進行校正，成為一可調式(adjustable)拍攝或顯示機構。

(三) 生理因素

觀看立體影像時常有頭暈甚至嘔吐的現象，一般人即使能迅速合成並獲得良好的立體感，往往在觀看 3D 影像過久後多會產生不適。本研究期許能了解這些生理狀態背後之原因，甚至如針對變形程度一般，對舒適程度予以盡可能客觀的量化。

此外，關於立體視覺臨界條件的確切成因、調節力可能影響輻輳點位置或合成時間的效應、以及重複練習及觀看時間造成的疲憊對於合成立體影像難易的影響等，皆是本研究將繼續探討並試圖了解的方向。

(四) 應用與發展

關於可旋式鏡頭相機之後續研發，本研究期許能針對實驗內得到的數值進行推廣，獲得對於各種顯示器與顯示條件下相對應的拍攝需求。

此外，更期許相關相機廠商參考此設計，並針對本研究實體架設及後製的步驟予以積體化，將繁瑣的過程壓縮，進而成為商品。

關於本研究的延伸性，期望能有別於目前主要針對拍攝端的探討，進一步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。

此外，現今進行 3D 研發方面的公司多以程式後製為主要發展方向，儘管耗時費力成本高，但逼真程度確實較佳。而本研究對於這方面的貢獻，則是提供 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。

玖、參考資料及其他

1. 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>
2. 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>
3. 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>
4. 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>
5. 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。

6. *Eye Physiology/Accommodation and Convergence* (2010, April 29). Eye Exercises for Myopia. Retrieved April 22, 2012, from <http://www.forbestvision.com/accommodation-and-convergence/>
7. 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
8. *Stereo Photo Maker (English)*. Retrieved February 12, 2012, from <http://stereo.jpn.org/eng/stphmkr/>

評語

立體顯象是目前相當熱門的研究領域，具深廣的應用性。本作品從理論著手，自製道具，並分析立體成像之效果，作品完整性尚好，但仍有更深入探討之空間。