

# 國立交通大學

電機學院 電子與光電學程

碩士論文

Crosstalk 對動態立體影像  
影響之人因評估



研究生：陳國宗

指導教授：黃乙白 助理教授

中華民國九十八年四月

**Crosstalk 對動態立體影像影響之人因評估**  
**Human Factor Assessment on Crosstalk**  
**In Moving Stereoscopic picture**

研 究 生：陳國宗

Student : Kuo-Tsung Chen

指 導 教 授：黃乙白

Advisor : Dr. Yi-Pai Huang

國 立 交 通 大 學

電機學院 電子與光電學程



Submitted to College of Electrical and Computer Engineering

National Chiao Tung University

in partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Science

in

Electronics and Electro-Optical Engineering

April 2009

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國九十八年四月

# Crosstalk 對動態立體影像 影響之人因評估

碩士研究生：陳國宗      指導教授：黃乙白 助理教授

國立交通大學 電機學院 電子與光電學程碩士班

## 摘 要



隨著顯示器技術的提升以及對人因參數的了解，已使立體顯示器的產品化變為可行。現今影響立體影像的成像品質，主要原因是顯示器本身所引發的 Crosstalk 干擾，造成鬼影現象，降低影像品質，嚴重時，甚至無法呈現立體影像，然而目前立體顯示器在設計時，都僅依據靜態畫面下的 Crosstalk 因素作為考量，缺乏動態影像下 Crosstalk 對影像品質影響的人因參數。

本論文利用 Crosstalk 感知臨界值的縱深範圍，進行人因實驗的規劃，作為立體顯示器設計時，對立體影像品質判斷的主要依據。

實驗一. 探討受測者的 Panum's fusional area 與 Crosstalk 對 3-D 靜態畫面的影響，實驗結果顯示，隨 Crosstalk level 越大，其感知臨界值的縱深範圍越小。

實驗二. 說明在動態畫面下 Crosstalk 感知臨界值的縱深範圍較靜態畫面大。由運動的吉普車在不同縱深的運動範圍搭配五種 Crosstalk level (0, 5, 10, 15, and 20%) 以及二種播放速度，進行實驗。結果顯示運動速度愈快，Crosstalk 感知臨界值的縱深範圍就越大。

# Human Factor Assessment on Crosstalk In Moving Stereoscopic picture

## Abstract

**Student: Kuo-Tsung Chen**

**Advisor: Dr. Yi-Pai Huang**

A three-dimensional (3-D) display is becoming increasingly feasible based on various recent technological developments combined with an enhanced understanding of 3-D perception and human factors issues surrounding 3-D display. Nowadays, crosstalk is probably one of the most annoying distortions in 3-D displays. Perceptual 'benefits' of perceived depth can be nullified by the perceptual 'costs' of crosstalk, as both increases depth and crosstalk. However, display designers still have a relative lack of knowledge about the relevant subjective attributes affected by crosstalk in moving picture and how they are combined in an overall 3-D visual experience model.

In the thesis, observers mark the depth according to threshold of perceiving crosstalk in a controlled experiment. The aim of the first experiment is to investigate two perceptually important attributes influencing the overall visual experience: Panum's fusional area and perceived depth in still 3-D picture. Results show that perceiving depth decreases with increasing crosstalk. Especially higher crosstalk levels are more visible at larger large disparity. The first experiment shows that preference decreases with increasing crosstalk, but not as strong as expected.

The second experiment shows that the crosstalk visibility threshold in moving objector is higher than in still one. The stimulus material used consisted of moving car varying in depth and crosstalk level (0, 5, 10, 15, and 20%) with two moving speed. Results show that the faster the object moves, the higher crosstalk visibility threshold increases.

## 誌 謝

首先誠摯的感謝指導老師黃乙白老師對於研究態度及方向的指導，以及提供豐富的資源與完善研究環境，使我得以在碩士生涯提升了專業能力，順利完成此論文。此外，也感謝各位口試委員所提供的寶貴意見，使本論文更加的完備。

在實驗室的日子裡，感謝吳其霖、勝昌、凌峽、建良等同學們在研究上的幫助與分享。特別感謝學弟介堯的協助，因為有他的幫忙，才能讓實驗如此順利完成。

最後，我要感謝我的家人及關心我的同學，感謝你們多年來的支持，使我能無後顧之憂的研究與學習，並順利完成碩士學業。在此，我將這份喜悅與每位關心我的人分享。

# 目 錄

摘 要 .....	iii
Abstract .....	iv
誌 謝 .....	v
目 錄 .....	vi
表目錄 .....	vii
圖目錄 .....	viii
一、 緒論 .....	1
1.2 立體顯示技術的發展 .....	3
1.3 研究背景與動機 .....	9
二、 立體影像的原理 .....	14
2.1 人類的空間感知 .....	14
2.1.2 心理因素 .....	15
2.2 雙眼視差 .....	17
2.3 影響立體影像品質的要素 .....	18
三、 立體影像之設計與製作 .....	19
3.1 立體影像的設計 .....	19
3.1.1 最小深度變化 .....	19
3.1.2 Convergence 的限制 .....	21
3.2 立體影像的拍攝 .....	22
3.3 融合影像的製作 .....	25
四、 人因實驗規劃與操作 .....	28
4.1 Crosstalk的定義與量化 .....	28
4.2 實驗設計 .....	29
4.3 實驗流程 .....	33
五、 實驗結果與分析 .....	35
5.1 Crosstalk對靜態畫面的影響 .....	35
5.2 Crosstalk對動態畫面的影響 .....	37
5.3 以時序插圖改善Crosstalk .....	39
六、 結論與展望 .....	40
參考文獻 .....	41
附錄 一 .....	42

## 表目錄

表 一	不同Crosstalk的比例.....	10
表 二	評分標準.....	13
表 三	實驗條件列表.....	30
表 四	修正實驗條件列表.....	31
表 五	平均Crosstalk感知臨界值的縱深範圍.....	35
表 六	動態畫面下平均Crosstalk感知臨界值縱深範圍的增加比率.....	37
表 七	時序插圖改善之比較判斷.....	39



# 圖目錄

圖 一. 顯示器的發展.....	1
圖 二. 兩眼視差及移動視差示意圖.....	1
圖 三. 3-D顯示技術的分類圖.....	3
圖 四. 全平面式立體影像顯示器。.....	4
圖 五. 體積式顯示器示意圖。.....	5
圖 六. 多平面式 3-D顯示器示意圖。.....	5
圖 七. (a)利用柱狀透鏡產生立體影像對；(b)可切換式液晶柱狀透鏡。.....	6
圖 八. 視差遮屏(Parallax barrier)示意圖.....	7
圖 九. 時間多工式雙光源 3-D顯示器示意圖。.....	8
圖 十. Lenticular Type (A)透鏡與面板對位情形 (B)實際拍攝圖.....	9
圖 十一. (1) watch (2) ipod (3) bar.....	9
圖 十二. 在不同圖形下增加額外的Crosstalk之評分表.....	11
圖 十三. 視差屏障式立體顯示 (a) 2D mode (b) 3-D mode.....	12
圖 十四. 實驗用圖.....	12
圖 十五. 評分結果.....	13
圖 十六. 兩眼視差成像.....	14
圖 十七. 光角與對焦距離關係.....	15
圖 十八. 光角與對焦距離關係.....	15
圖 十九. 引起深度感的心理因素.....	16
圖 二十. Panum's fusional area and Horopter.....	17
圖 二十一. 焦點距離與深度變化.....	19
圖 二十二. 光角與深度變化.....	20
圖 二十三. Panum's fusional area (藍線為焦平面位置，紅線與綠線為融合邊界).....	21
圖 二十四. 實驗用影片 (分左右眼).....	21
圖 二十五. 平行式拍攝.....	23
圖 二十六. (a)IZ3-D 平行式拍攝 (b) screenscope 平行式拍攝.....	23
圖 二十七. 交錯式拍攝.....	24
圖 二十八. (a)IZ3-D 交錯式拍攝(b) screenscope交錯式拍攝.....	24
圖 二十九. screenscope 原理.....	25
圖 三十. IZ3-D 原理.....	26
圖 三十一. IZ3-D 左右眼RGB亮度灰階圖.....	27
圖 三十二. Screenscope所需的影像.....	29
圖 三十三. 動態影像.....	29
圖 三十四. (a) screenscope 簡單、高對比的影像畫面 (b) IZ3-D 複雜的影像畫面 (c) IZ3-D 一般階調的影像畫面.....	32

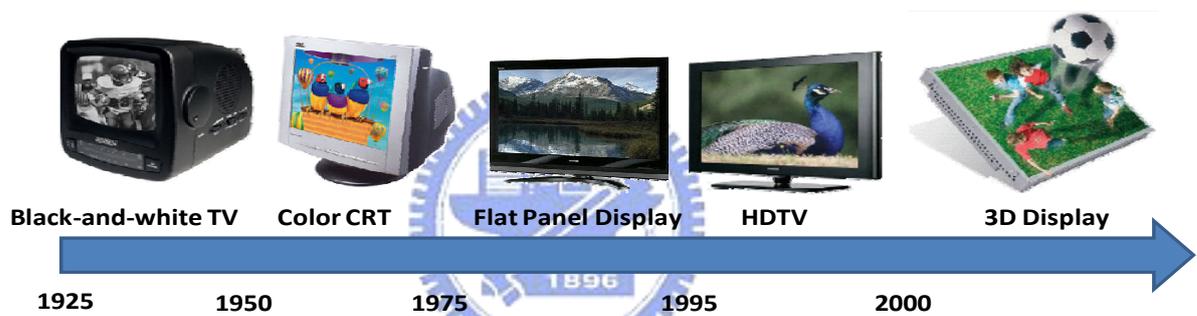
圖 三十五.	Crosstalk level V.S. perceiving depth in front of focus plane (靜態畫面).....	36
圖 三十六.	Crosstalk level V.S. perceiving depth behind focus plane (靜態畫面).....	36
圖 三十七.	粗棒狀為靜態縱深範圍，細棒狀為物體運動下延伸的縱深範圍..	37
圖 三十八.	Velocity V.S. perceiving depth increase in front of focus plane focus plane (動態畫面，Crosstalk level 5%).....	38
圖 三十九.	Velocity V.S. perceiving depth increase behind plane focus plane (動態畫面，Crosstalk level 5%).....	38



# 一、緒論

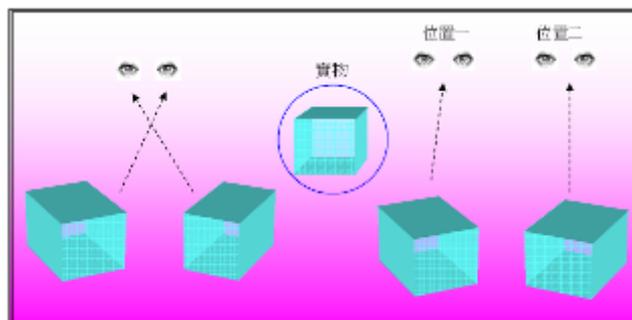
## 1.1 前言

顯示器一直以來是和人們接觸最頻繁的電子用品，而顯示器的進步也代表著人類在追求更真實的視覺享受。從早期的黑白電視到彩色電視，到現在的高畫質電視，無一不是追求著更自然、逼真的影像品質。而3-D立體顯示器的發展也提供了人們更進一步的視覺感官，除了一般的影像與色彩外，更提供了立體空間的感受。人類的大腦可以利用兩眼視差(Binocular parallax)，來判斷物體的距離感。而這些立體感覺可提供人類在判讀影像資訊時更高的可靠性，因此，隨著顯示技術的蓬勃發展，如圖一[1]，立體影像顯示器的應用也越來越多元化。



圖一. 顯示器的發展

一般而言，立體顯示器必須具有雙眼視差(Binocular parallax)及移動視差(Motion parallax)的特性，如圖二所示[2]。所謂的兩眼視差是指觀賞者的左眼及右眼有在水平方向約 6.5 公分的位移(歐美人士的統計結果)，故在觀看物體時，由於觀看角度略有不同，因此，所接收的影像內容也略有差異。而移動視差則是指觀賞者的眼睛位置移動時，由於觀賞角度也隨之改變，眼睛所接收的內容也有所不同。所以若我們要接受到立體的影像，也就是我們要如何讓左眼與右眼分別只接受到有些微差異的個別影像。



圖二. 兩眼視差及移動視差示意圖

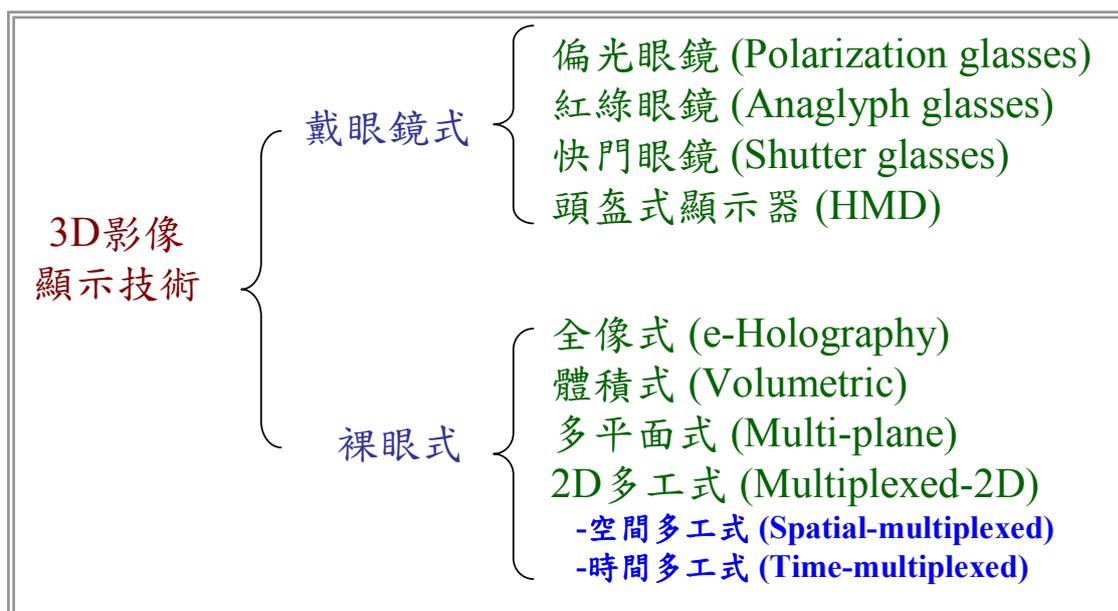
3-D 立體顯示技術的發展的原始想法也就是來自左右眼分別接受不同的影像。可分為戴眼鏡式(Stereoscopic)以及裸眼式(Autostereoscopic)。早期的立體影像顯示器大部份是戴眼鏡的立體顯示器，然而，這些立體顯示器都需要佩帶特殊的儀器，常會阻礙人類自然的視覺，因此近幾年來，裸眼式的立體影像顯示器逐漸多元發展。

雙眼視差的立體顯示技術是目前最為直接的立體顯示方式，在理想的情況下左眼影像將會完全投射至左眼，右眼也會完全接受到右眼影像。但是由於各顯示技術的“漏光問題”，造成左右眼無法完全只接受到單純左眼或右眼的影像，因此此類型的立體顯示技術通常伴隨著 Crosstalk，而 Crosstalk 的嚴重程度影響立體影像品質甚鉅。Crosstalk 為雙眼視差之立體顯示系統的本質問題，要改善此現象最根本的方法必須從顯示系統著手，但在此之前我們必須先得知人眼對 Crosstalk 的敏感度以及可接受程度。



## 1.2 立體顯示技術的發展

3-D 立體顯示技術的發展的原始想法也就是來自左右眼分別接受不同的影像。早期的立體影像顯示器大部份是戴眼鏡的立體顯示器，然而，這些立體顯示器都需要佩帶特殊的儀器，常會阻礙人類自然的視覺，因此近幾年來，裸眼式的立體影像顯示器逐漸多元發展，其 3-D 影像顯示技術的大致分類如圖三所示。



圖三. 3-D 顯示技術的分類圖

### (一) 戴眼鏡式:

#### 1. 偏光眼鏡(Polarizing glasses)

偏極式眼鏡的應用可說是現今大家較為熟悉的，現今的立體電影的放映方式便是利用此一方法。在所配戴的眼鏡上左右眼分別使用水平及垂直的偏光鏡片。使得一眼只能看見垂直偏振的光另一眼則是水平的。而投影設備則是同時使用兩台可以投影出偏振光的投影機。分別投射出水平及垂直的光，分別給左右眼觀賞。但缺點則是當頭部有微斜時，偏光眼鏡往往就會無法完全濾掉另一方向的光。使得眼睛會看到另一眼的影像，有些觀眾會因此而感到不適。

#### 2. 紅藍(綠)眼鏡(Anaglyph)

早在 1850 年代 Joseph D'Almeida 就是用紅綠眼鏡來撥放立體電影造成轟動。這是把左右眼的影像用不同顏色畫在同一畫面中，當戴上紅藍眼鏡後，利用顏色過濾的原

理，左右眼就看到有角度差異的影像了。但缺點是只能看灰階或單一色調的畫面，是因為顏色會被濾鏡濾掉所造成。

### 3. 快門眼鏡(Shutter glasses)

在影像撥放時，我們把影像分為奇數影像和偶數影像。其中若我們設定放奇數影像時是給右眼所接受，我們便利用眼鏡將左眼遮住讓右眼觀看。之後再放偶數影像利用相同的原理，如此左右交替便能看到立體影像。這種眼鏡本身是利用液晶做成，所以可以控制左右眼的開與關。但缺點是眼鏡成本較高。並且一般而言需要使用 CRT 螢幕。因為 LCD 螢幕的反應速度往往不夠快速。

### 4. 頭盔式顯示器(Head mounted display)

此一方式便是直接在眼鏡上分別做兩個螢幕直接分別給左右眼觀賞，所以只要分別給兩邊不同的訊號即可。但缺點便是只能單一觀眾觀賞，並且眼鏡不管是在造價和重量上都屬最貴重的。

## (二)裸眼式:

### 1. 全像式(e-holographic)

主要是麻省理工學院所發展的，是利用紅、藍、綠三色雷射光源，各自經過聲光調變器晶體(Acoustic Optical Modulator, AOM)，產生相位型光柵，帶著光柵訊息的雷射光經過全像片合併之後，利用垂直掃描鏡(Vertical Scanning mirror)及多面鏡(Polygonal mirror)，進行垂直及水平的掃描，進而將立體影像呈現出來[3]，其優點為全像片的取得容易且技術成熟，然而，影像大小常受限於聲光調變器晶體的大小，且多面鏡的掃描速度必須與三色雷射光源在晶體傳播速度同步。

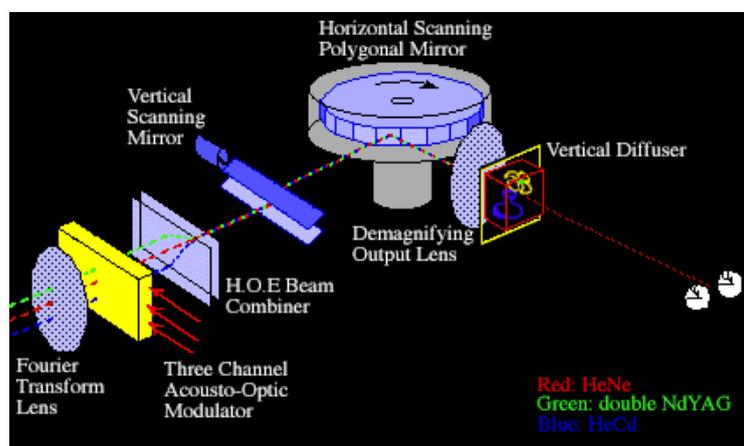


圖 四. 全平面式立體影像顯示器。

## 2. 體積式(Volumetric)

德州儀器(Texas Instrument, TI)提出一種利用雷射掃描立體影像顯示器，又有人稱之為體積式顯示器。如圖五所示，主要是利用一個快速旋轉的圓盤，配合由底下投影的雷射光源，藉由雷射光源投射到快速旋轉的旋轉面時，會產生散射的效應，以掃描空間中的每一點[4]，其缺點是影像中央必須有一個旋轉軸，靠近軸心的影像旋轉速度較慢，立體影像較不清晰。

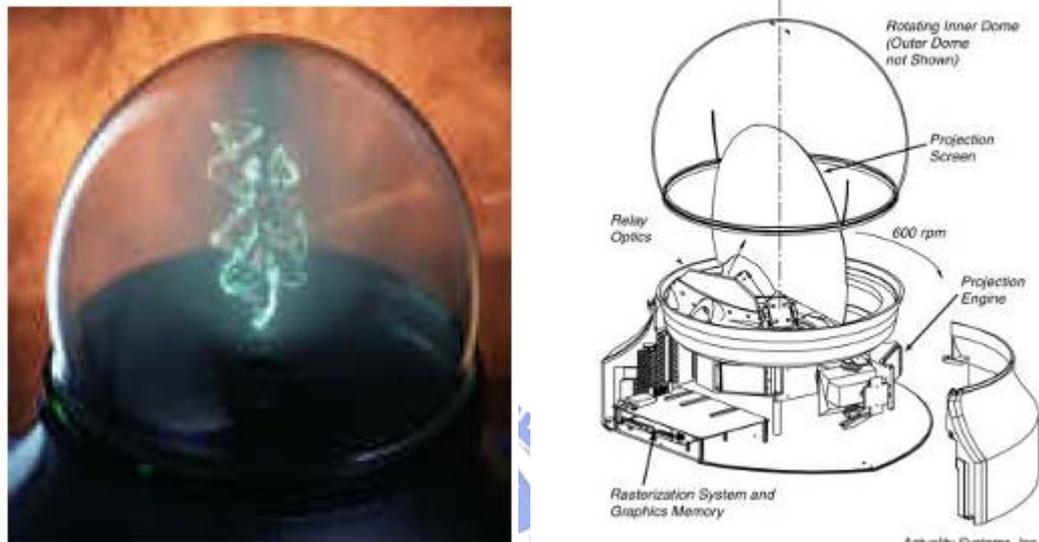


圖 五. 體積式顯示器示意圖。

## 3. 多平面式(Multi-Planar)

日本 NTT 提出一種利用兩個重疊的液晶面板，在兩個面板顯示大小相同的影像，利用物體離觀賞者的遠近距離不同，會有陰暗及顏色上的差別，進而將前後物體影像重疊在一起，讓觀賞者產生立體感，其缺點是前後面板的對位困難，且因為是由兩個二維影像重疊的結果，所以只有在正視方向觀賞，立體效果較佳，其餘觀賞角度則不易顯出立體效果。

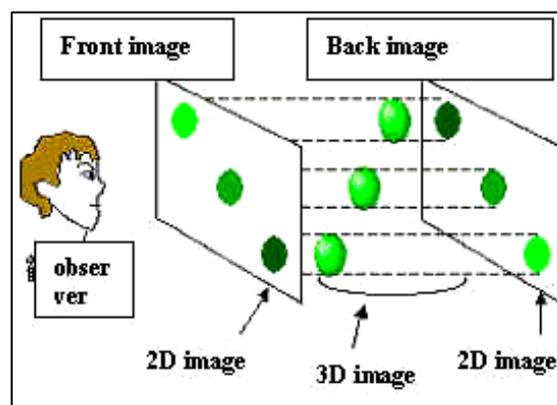


圖 六. 多平面式 3-D 顯示器示意圖。

#### 4. 2D 多工式(Multiplexed 2D)

這一兩年來各家廠商所普遍採用的方式，是在同一個顯示系統上分別提供觀賞者左右眼各一個視角不同的平面影像，利用大腦可以將左右眼所看到的不同影像，融合在一起，以產生立體影像的感覺，這種便是所謂立體影像對 2D 多工的方式。而 2D 多工式又可再細分為空間與時間多工式。

在空間多工式方面，日本的三洋(SANYO)最先提出利用立體影像對的方式來產生立體影像顯示系統，是將液晶面板的畫素分成若干個奇數畫素及偶數畫素的影像對，奇數畫素影像對提供觀賞者一眼的影像，偶數畫素影像對則提供觀賞者另一眼的影像，而影像對的多寡，則決定了視域的多寡，並利用柱狀透鏡(Lenticular lens)將光線分光，進而將奇數畫素與偶數畫素的影像，分別投影至觀賞者的兩眼[5]，如圖七(a)所示，因此產生立體的影像。而近年來飛利浦(Philips)公司則是最積極投入此一技術的公司，也是利用相同的方式製造立體影像對，但其柱狀透鏡內部有注入液晶，因此便可以利用電場控制其柱狀透鏡的聚焦特性(圖七(b))，而便於 2D/3-D 的切換[6]。所以但缺點在於柱狀透鏡與液晶面板的對位必須十分精準，才能使奇數畫素對及偶數畫素對的影像準確地投影至觀賞者的左右眼，但由於製作柱狀透鏡時的誤差，常會使透鏡表面不易平整，容易產生散射，此外，柱狀透鏡的間距(Pitch)在面板的中央及邊緣大小不一，都會造成部分模糊的立體影像。

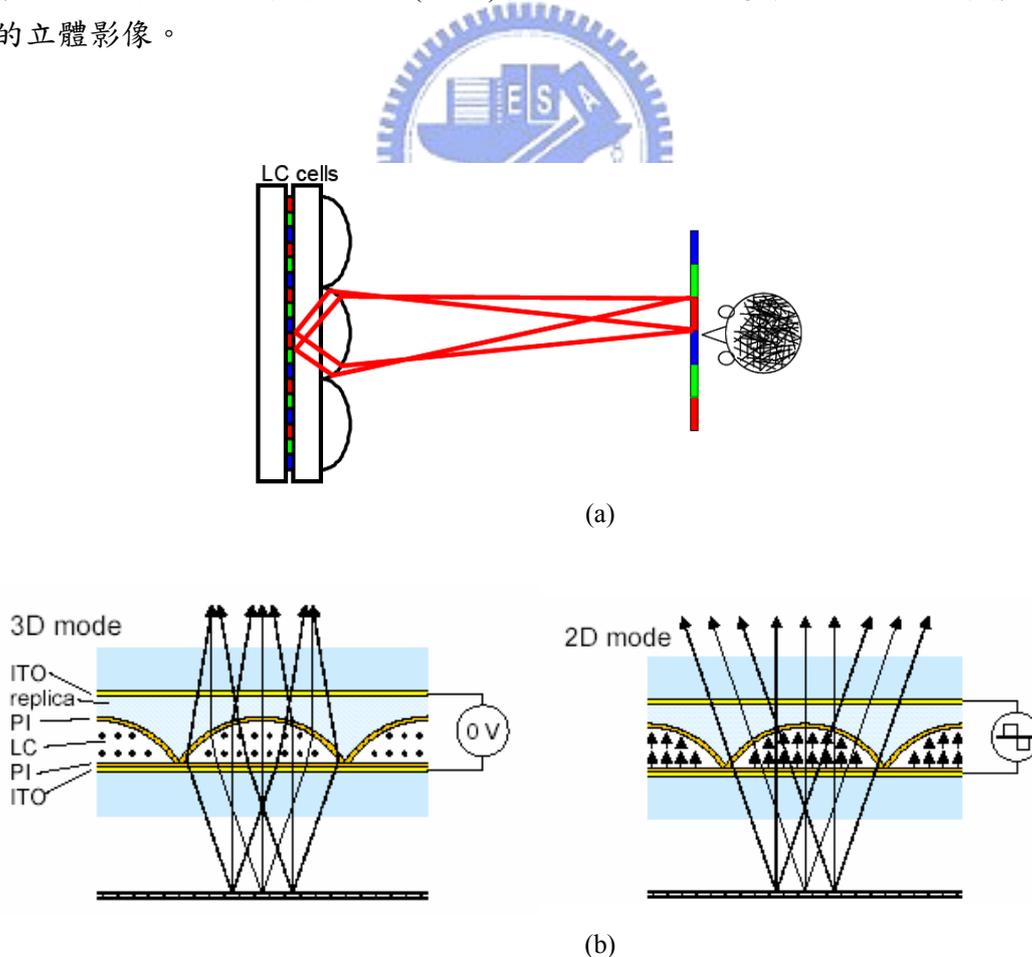


圖 七. (a)利用柱狀透鏡產生立體影像對；(b)可切換式液晶柱狀透鏡。

除了柱狀透鏡，日本 Sharp 與韓國三星公司則皆是利用視差遮屏(Parallax barrier)來進行分光[7][8]，如圖八所示。所謂的視差遮屏，是以黑色與透明相間的直線條紋，將其置於離液晶面板一小段距離，讓觀賞者的其中一眼只能看到液晶面板奇數畫素對，觀賞者另一眼則只能看到液晶面板偶數畫素對。通常為了能夠進行二維/三維(2D/3-D)影像的切換，所以是利用另一片的液晶面板來當作視差遮屏，當要顯示二維影像時，第二片的液晶面板會呈現亮態(Bright State)，讓通過第一片液晶面板後的所有光線都可以通過，而要顯示三維影像時，則該片的液晶面板則呈現亮態與暗態(Dark State)相間的狀態，相當於黑色與透明相間的直線條紋。

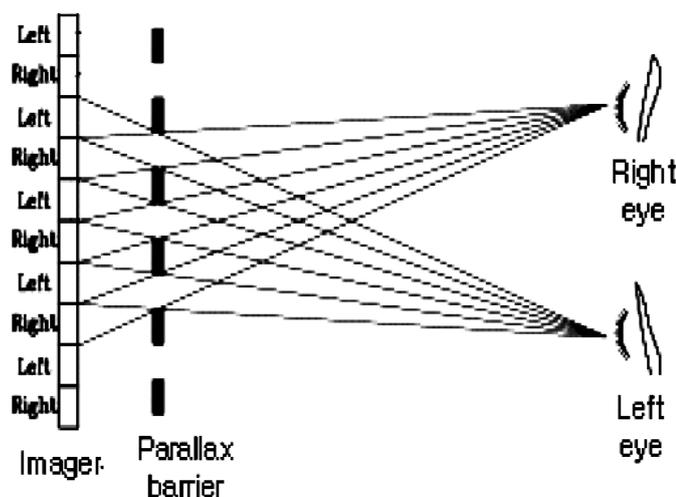
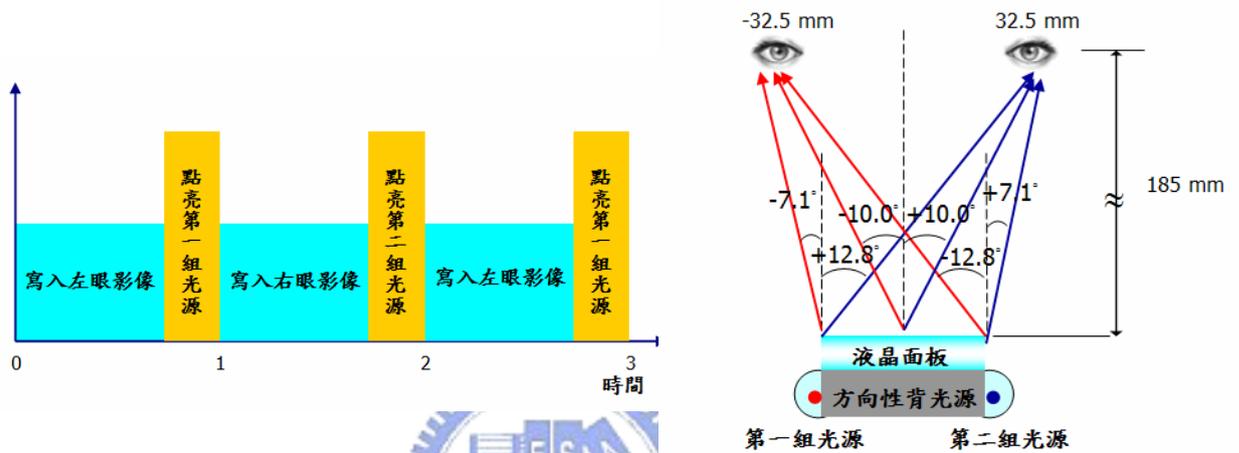


圖 八. 視差遮屏(Parallax barrier)示意圖

但這種方式的缺點為當光線通過黑色的直線條紋區域時，由於光線被吸收，在二維影像切換成三維影像顯示時，亮度會減少一半以上，因此，有人利用鉻與鋁上下兩層接合的直線條紋來取代黑色的直線條紋，當光線打到原本黑色條紋的區域時，會因鋁層的作用，使得光線被反射回原本光源處，能夠再利用，而不會被吸收，因此，影像亮度便可以提升。除了製造過程中對位困難之外，這些方式仍然有一個共同的缺點，由於液晶面板的畫素被分成若干個奇數畫素及偶數畫素影像對，為了能夠讓立體影像可在更多角度被觀賞到，所以多個視域將使得三維影像的解析度(Resolution)變成二維影像的一半以下，甚至更少，端看所區分的視域多寡，而且，當觀賞者的雙眼，稍微錯位一個畫素的位置，原本投影至左眼的影像，便會投影至右眼，而原本投影至右眼的影像，會投影至左眼，進而使大腦無法融合影像產生立體感覺，此種現象稱為錯覺視域效應(Pseudo viewing zone effect)。所以也往往無法提供多人同時觀賞。

相較於空間多工的方式，時間多工具有解析度在進行二維/三維(2D/3-D)影像的切換時，不會減少的優點，同時，也不需要嚴格的對位，因此，提供了另一種產生立體影像

的顯示方法。所謂時間多工是指，在某一個時間點，立體影像顯示器將影像投影到觀賞者的左眼，在下一個時間點，則將影像投影到觀賞者的右眼，當左右眼的影像切換夠快時，大腦將不會感受到影像的切換，而形成左右眼的影像為視角稍不同的立體影像對。交通大學與友達光電共同開發了左右兩個光源快速切換的背光源系統[9][10]，配合快速切換的液晶層時，將可使成對的立體影像交替投影到左眼或右眼，以形成具有高解析度的立體影像。另一方面，如果兩個光源同時亮，又可以切換成二維影像顯示器。不過此以技術仍需要有快速反應的液晶顯示器搭配方可呈現最佳的顯示品質。



圖九. 時間多工式雙光源 3-D 顯示器示意圖。

綜觀以上的技術，目前所提出的各種方式都仍有其優缺點，但隨著時間的進步，這些問題也漸漸的被解決；正如當初的彩色顯示器代替了黑白顯示器、LCD 代替 CRT 一樣，隨著顯示技術的革新，3-D 顯示技術代替平面顯示技術將是必然趨勢。

在推廣 3-D 顯示器方面，日本以顯示器廠商為主，聯合硬體製造商、軟體發展商等 70 多家公司成立了“3-D 聯盟”，共同研發 3-D 顯示技術的產品和應用；韓國政府提出了“2010 年 3-D 視覺”政策，計畫到 2010 年，實現大多數顯示產品和記錄設備與 3-D 立體格式的轉換。目前，3-D 顯示技術有著非常廣闊的市場前景。除了在醫療、科研、教學、軍事等專業領域外，在奢侈品以及文物藝術品展示、會展、大企業形象展示、新媒體等各領域都正在發揮其獨特的視覺作用。我們相信 3-D 立體顯示最終仍會普及至每個家庭中，甚至能做到觀賞者與立體影像互動，使得大眾更能深刻體驗到身歷其境的感覺。

### 1.3 研究背景與動機

立體影像的呈現，原本就有許多優點，諸如可表現複雜的物體表面，可涵蓋較多的空間訊息等。然而此技術遲未量產的主要原因，即為人因限制，其中以硬體設計不良所引起 Crosstalk 現象影響最大。目前針對 Crosstalk 對立體影像品質的人因實驗多集中探討靜態的立體影像，從文獻上我們可觀察出不少對於靜態 Crosstalk 的研究方法，如下列探討：於多視點立體顯示上最小可接受之 Crosstalk 為 $(7\pm 5)\%$ ；於兩視點立體顯示上 Crosstalk 須小於 5.8%才可以被接受。

#### (1) Multi-view autostereoscopic 3-D

Philips 於 2007 發表對多視點(Multi-view)立體顯示技術之研究[11]。下圖十(A)為柱狀透鏡式中透鏡與面板畫素的對位圖，從圖中可看出共有九個視點。圖(B)為在某一點下所拍攝透鏡與畫素實際的顯示圖，每一個次畫素(sub-pixel)被透鏡放大約九倍(黃框所示)。圖十一為所選取的實驗用圖。

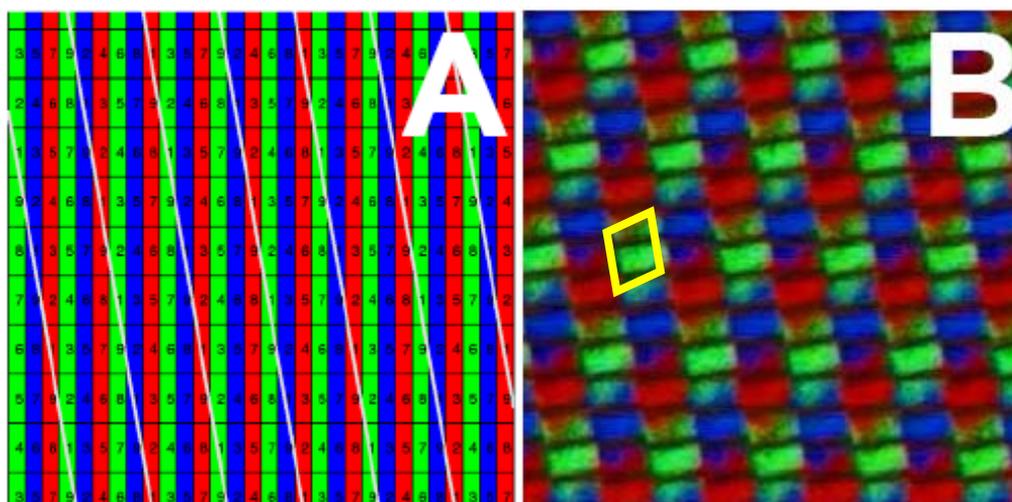


圖 十. Lenticular Type (A)透鏡與面板對位情形 (B)實際拍攝圖

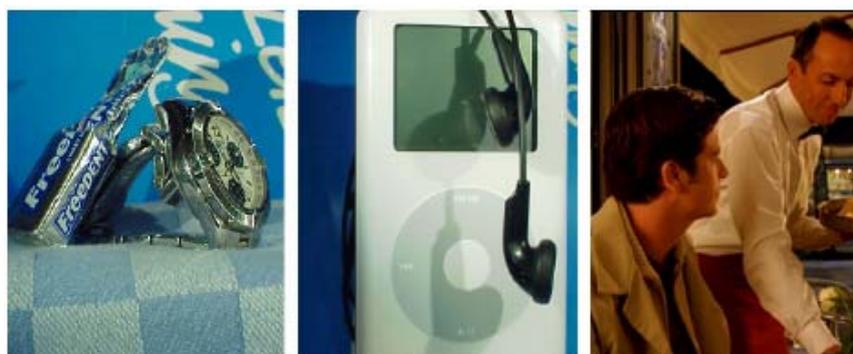


圖 十一. (1) watch (2) ipod (3) bar

由於 Crosstalk 的大小取決於立體顯示器的選擇與應用原理，因此為了正確評估 Crosstalk 對人判斷 3-D 影像的影響，必須充分了解實驗載具立體顯示器的操作原理並利用影像處理的方式來增加 Crosstalk 的比例。多視點立體顯示器的特性，可在同一螢幕上同時顯示不同角度的畫面變化，此實驗選擇的立體顯示器包含中心與左右各四個視區共九個視點，而中心視區由於受左右相鄰四個視區的影響，所以 Crosstalk 最為嚴重。下表一為多視區影像包含不同 Crosstalk 比例的實驗條件：name 5 代表中心視區，name 3,4,6,7 各為左右相鄰的視區，“0”表示 0% 的 Crosstalk、“10”表示多視區影像總共有 10% 的 Crosstalk 干擾、而“N”表示只有鄰近兩個視點的影響、“B”表示鄰近四個視點的影響。

表一 不同Crosstalk的比例

Name	View				
	3	4	5	6	7
“0”	0	0	100	0	0
“10N”	0	5	90	5	0
“20N”	0	10	80	10	0
“20B”	5	5	80	5	5
“40N”	0	20	60	20	0
“40B”	10	10	60	10	10



此研究分為兩個實驗：第一個實驗為對所選的三種類型的圖(圖十一)與兩種景深(即兩種左右眼影像位差)，外加不同比例的 Crosstalk 下來評分。實驗結果如下圖十二，從實驗結果驗證所含 Crosstalk 比例越高，影像品質就越低的結論，但是比較多視點以及較少視點所造成的 Crosstalk 並無規律性，例如 BAR 與 IPOD “N” 分佈的喜好評價均優於 “B” 的分佈，在 WATCH 的喜好評價則正好相反，反倒是和影像本身複雜度與對比有關，從分析結果可得知，WATCH 畫面複雜度與細節多且對比高，因此對不同 Crosstalk 比例間的感受差異大，IPOD 由於畫面複雜度低，所以 Crosstalk 比例間的感受差異小，而 BAR 則畫面複雜度與對比介於中調，因此人因評價表現也居中。

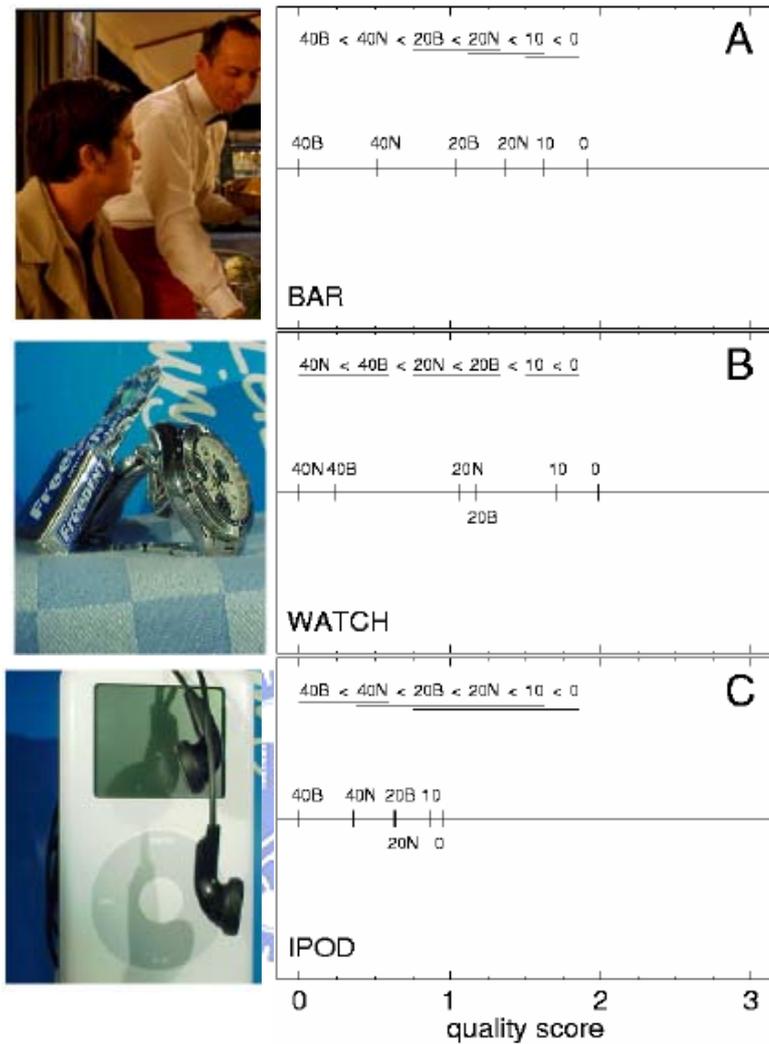


圖 十二 在不同圖形下增加額外的Crosstalk之評分表

第二個實驗則為量測可接受的最小 Crosstalk，相同地利用影像處理的方式來增加 Crosstalk 的比例。最後，三張圖可接受的最小 Crosstalk 比例分別為 IPOD(20±9)%、CHECKBOARD(12±6)%、WATCH(7±5)%。由此可得知多視點的 3-D 顯示器對 Crosstalk 的容忍度比 Two-View 的立體顯示器高，即使如此靜態畫面下在不同複雜度的圖形，Crosstalk 仍必須小於 7%。

(2) 2-view autostereoscopic 3-D

Philips 於 2008 再發表對雙視點(2-view)立體顯示技術之研究[12]。此實驗使用視障屏障(Parallax Barrier)式的立體顯示器(下圖十三)，並使用影像處理的方式來增加

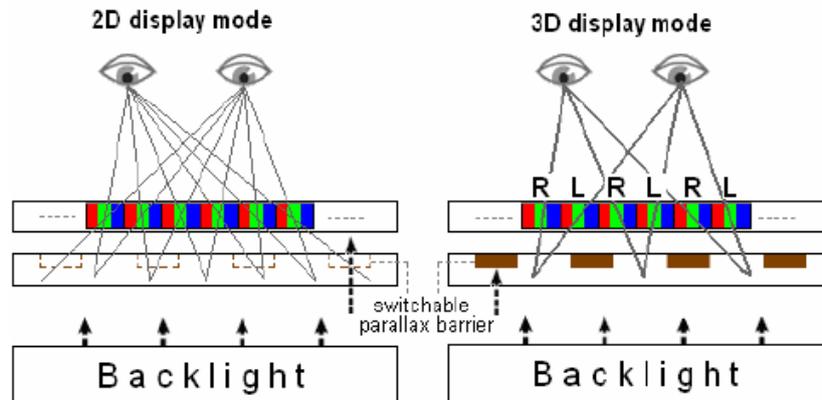


圖 十三. 視差屏障式立體顯示 (a) 2D mode (b) 3-D mode

Crosstalk 的比例，公式如下：

$$\begin{aligned} R_L' &= R_L + \alpha \times R_R - \alpha \times R_L \\ R_R' &= R_R + \alpha \times R_L - \alpha \times R_R \end{aligned} \quad (1)$$

其中 $R_L$ 表示左眼影像的起始值， $R_R$ 表示右眼影像的起始值， $\alpha$ 表示Crosstalk的值， $R_L'$ 、 $R_R'$ 表示經過外加Crosstalk後所產生的值。

接著選取以下兩張圖(圖十四)並加上額外的 Crosstalk， $\alpha$  的值從 0 到 20，也就是說外加的 Crosstalk 從 0%到 20%，並給予平分(表二)



圖 十四. 實驗用圖

表 二. 評分標準

Grades	Crosstalk
5	Imperceptible
4	Perceptible, but not annoying
3	Slightly annoying
2	Annoying
1	Very annoying

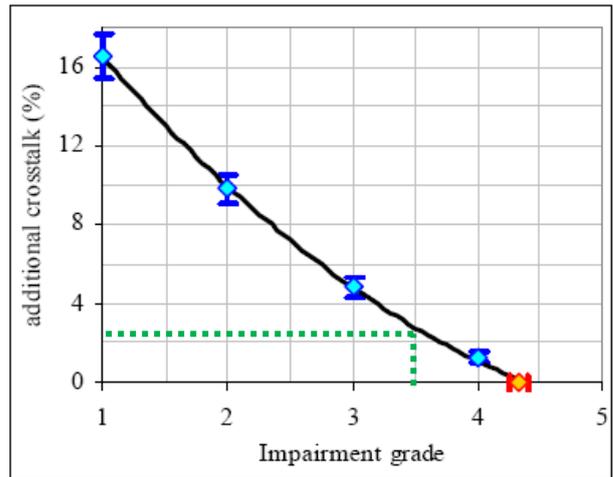


圖 十五. 評分結果

實驗結果於圖十五，訂定 3.5 分為可接受之影像品質，因此可發現外加的 Crosstalk 大約為 2.8%，並加上顯視器本質 Crosstalk 約 3%，所以可接受的 Crosstalk 須小於 5.8%。

由上述得知幾乎所有文獻都致力於靜態立體顯示上的研究，而平常我們所接收到的資訊都為動態影像，最終立體顯示也必須在動態影像上實現與應用，然而關於 Crosstalk 對動態影像的研究是目前所缺乏的，因此我們十分好奇，動態的立體影像伴隨著人眼 convergence 以及影像大小的不斷改變，人眼對 Crosstalk 感知的臨界值是否跟隨著改變？是否有顯著的差異？僅就靜態 Crosstalk 感知的臨界值作為改善立體顯示器的標準是否已經足夠？故本論文就 Crosstalk 對動態立體影像的成像品質依據人因實驗作一定性的討論，針對 3-D[動態(Dynamic)]影像進行視覺研究，成果將提供未來 3-D 顯示器設計之參考值。

## 二、立體影像的原理

要探討立體影像之前，首先應該了解人們如何從立體顯示器感知縱深。因此本章第一步先說明人類如何利用視覺與認知系統建立三度空間，接著探討雙眼視差在立體顯示器上的應用，最後討論這些機制如何影響立體影像品質。

### 2.1 人類的空間感知

人類對自然界三度空間的感知建立，主要依據視覺與認知系統的相互作用，也就是包含生理與心理層面，分述如下[13]。

#### 2.1.1 生理因素

1. 雙眼視差 (Binocular parallax) :人類兩眼相距約六公分左右，就是因為兩眼在水平上的差距，使得物體間在兩眼視網膜內的相對成像位置略有差異，並藉由此差異感知和判斷物體間的縱深, 如圖十六. 所示。

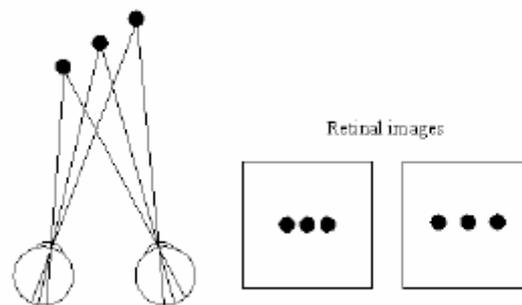


圖 十六. 兩眼視差成像

2. 光角 (Convergence) :即兩眼視線對一物體之交叉角，從觀測者到對象物之間的距離依遠近的不同，兩眼視線的交叉角也跟著改變。彼此距離較靠近的話交叉角(光角)很大，反之，距離很遠則交叉角變小，如圖十七. [14]所示。依照觀測物的距離遠近，兩眼眼鏡的角度也不得不跟著作調整，於是便可以感覺出物體遠近深度的距離大小。因此，在近距離時，視角的變化對於深度感的貢獻是相當大的 (尤其是它與眼調節能力一起作用時)，但是當距離超過十公尺，由於視角的變化很小，而無法感知物體的深度。

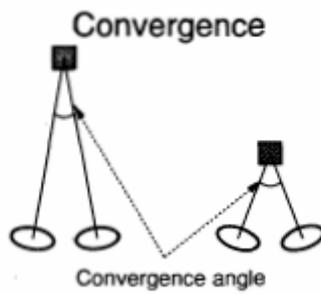


圖 十七. 光角與對焦距離關係

3. 調節 (Accommodation) : 人類眼睛構造中水晶體相當於相機的對焦透鏡，能夠將影像投影在視網膜表面。依照水晶體的調整也可以感覺出對象物的深度遠近。一般當對象物距離超過二公尺以上的時候，要藉此來感知對象物的實際深度將有困難。

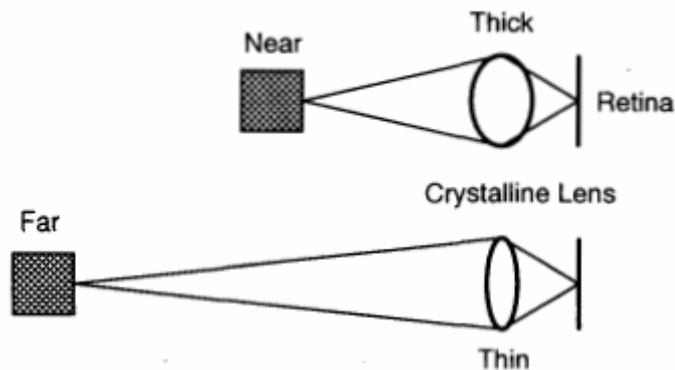


圖 十八. 光角與對焦距離關係

### 2.1.2 心理因素

#### 1. 運動視差 (Motion parallax) :

當觀測者和對象物相對移動時，因近景和遠景的移動所產生的視差，我們稱此為單眼運動視差。單眼運動視差也能夠提供觀測者對於物體深度遠近的感覺。

#### 2. 大小 (Size) :

藉著在視網膜上成像大小的不同，即使是相同的物體也能分別出距離之遠近。

#### 3. 線性透視 (Perspective) :

從物體在三度空間的排列配置可以組合出其深度和立體的感覺。

#### 4. 光與影 (light and shadow) :

光線的反射與陰影變化可以感受到物體的立體感。

5.遮蔽 (Interposition) :

在視界內，兩物體的遮蔽關係，也能分別出距離之遠近。

6.細節 (Texture Gradient) :

近景的物體較遠方的物體可以觀察到更多細節。

7.天際遠景 (Aerial perspective) :

由於雲霧的影響與折射作用，遠方通常較為模糊且偏藍。

8.顏色 (Color) :

由於眼球內的折射現象，即使在同一距離的物體，顏色較鮮艷的物體感受較近。

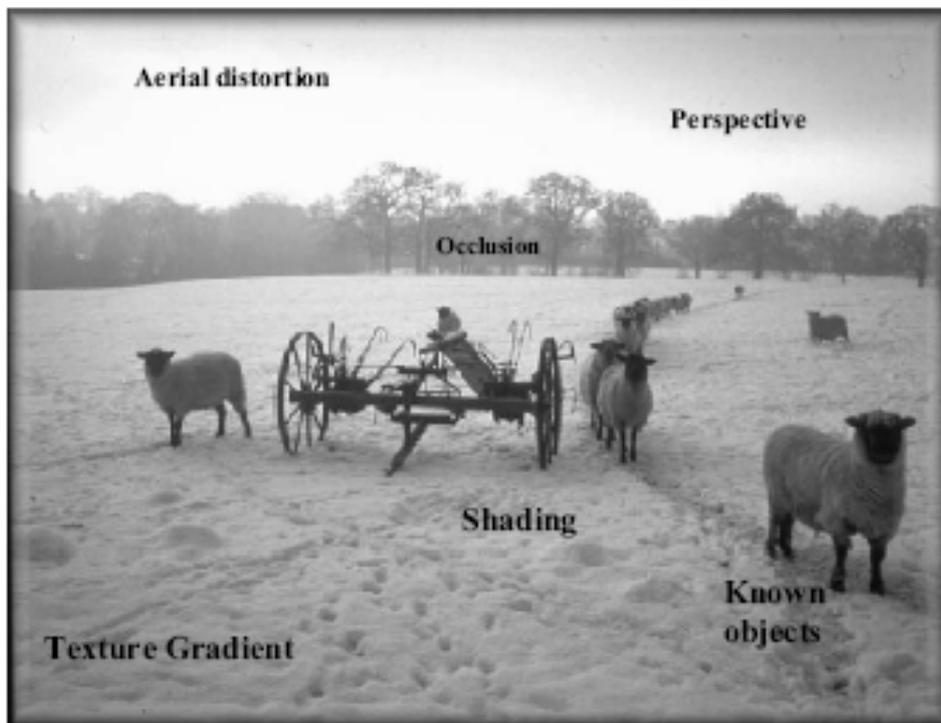


圖 十九. 引起深度感的心理因素

## 2.2 雙眼視差

水平方向的雙眼視差是產生立體感的主要原因，實際上，雙眼視差所感受到物體間的縱深是相對性的。當兩隻眼睛聚焦於同一物體時，在兩眼的視網膜內並無視差，根據文獻，此時存在一通過焦點的曲線稱 Horopter 所有在這曲線上的位置均在視網膜內呈現對稱而無視差，因此形成一縱深的基準線。如圖二十.[15]所示，當雙眼聚焦於F處，因物體X在Horopter曲線之前，所以在左眼視網膜的成像在F的右方，在右眼視網膜的成像在F的左方，形成交錯成像。同理可證，當物體在Horopter曲線之後時，則形成非交錯成像。

而雙眼能相互融合成像的區域，稱為Panum's fusional area，在融合區域外的物體則產生類似複視的效果，但由於人眼在日常生活中的對交焦點是不斷游移改變，因此在積分作用下融合區域相對擴大並不會造成嚴重的雙眼視覺對抗問題。

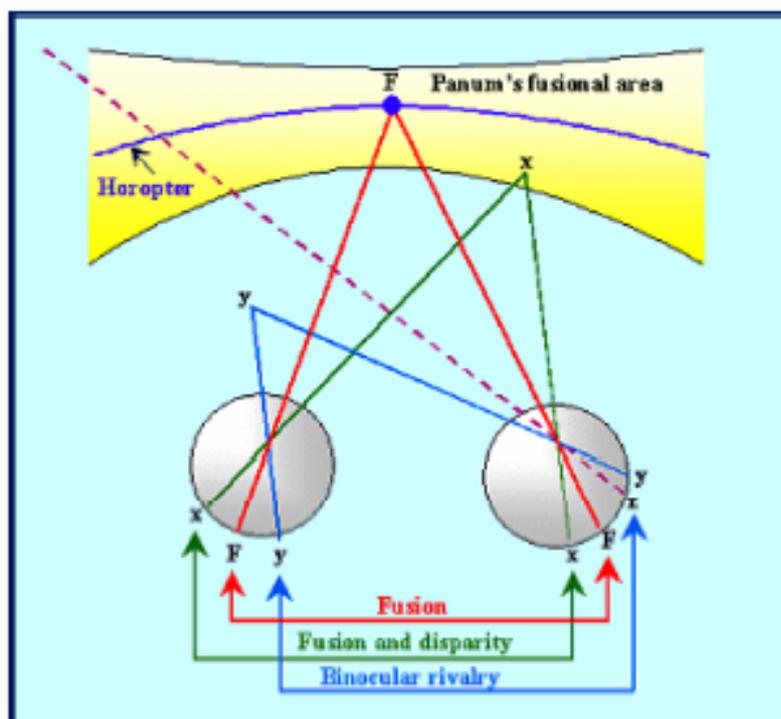


圖 二十. Panum's fusional area and Horopter

## 2.3 影響立體影像品質的要素

目前已有許多有關立體影像品質的研究報告，大部分都是依據人因實驗的結果，其歸納有三個主要因素，分述如下：

### 1. 視覺系統異常

僅發生於少數人身上，無法藉由兩眼觀看不同相位差的影像融合成立體影像。

### 2. 光角（Convergence）與調節（Accommodation）的不匹配

造成觀看立體顯示器產生嚴重不適感的主要原因。真實生活中，光角與調節作用是相互匹配的。然而在觀看立體顯示器時，調節作用聚焦於螢幕平面，利用左右眼觀看不同影像的光角變化，產生的縱深效果，實現立體影像，卻因此造成兩作用間的不匹配，產生視覺疲勞與頭暈等副作用，因此根據人因實驗的結果，光角與調節的不匹配有其先天的限制範圍。

### 3. 雙眼影像的不對稱

不對稱包含影像光學幾何的不對稱（諸如大小，旋轉等）與影像特性的不對稱（諸如對比，亮度，顏色，Crosstalk等）

上述三個主要影響立體影像品質的要素，多數均為先天的限制，有其最大範圍。其中Crosstalk主要是由立體顯示器所貢獻，因此本文希望就Crosstalk的討論，能讓立體顯示器的設計有一定遵循的方向。



### 三、立體影像之設計與製作

#### 3.1 立體影像的設計

由上述討論，我們已經了解到，影響立體影像的因素非常多。因此，當我們針對 Crosstalk 作人因實驗探討時，在設計立體影像之前，我們必須瞭解眼睛對於立體影像的種種限制，並將之量化，以進行設計，確保實驗數據不受其他人因條件的干擾。

##### 3.11 最小深度變化

感知物體週遭的最小深度變化與觀看距離的平方成正比，因此，觀看的距離越遠，物體週遭的最小深度變化也就必須越大才能產生立體感，這是由於雙眼視差是造成深度感的重要因素如圖二十一。

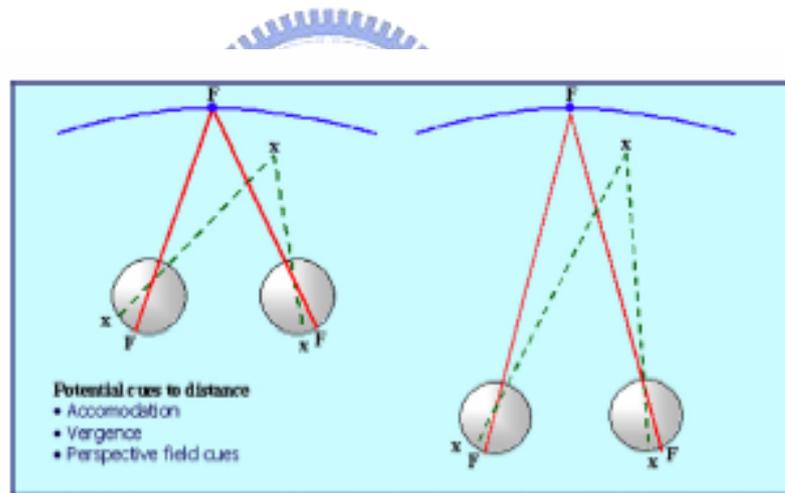


圖 二十一. 焦點距離與深度變化

現在，我們將上述的原理加以數學分析。如圖二十二在雙眼視界上，A點視線的交角為  $a$ ，而c點視線的交角為  $c$ ，這兩點視角的差異  $\delta$  則定義為：

$$\delta = a - c \tag{2}$$

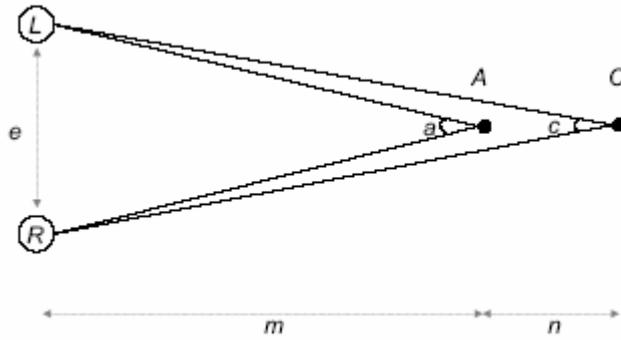


圖 二十二. 光角與深度變化

根據研究，人眼可以判斷的視角差最小為 $1.8''$ ，一般建議實際操作值為 $20''$ 。依據此數值，我們設 $m=750\text{mm}$ ，此為一般桌上型螢幕與使用者眼睛的平均距離，雙眼距 $e=65\text{mm}$ ，則 $a$ 的視角值：

$$a = 2 * \arctan\left(\frac{(e/2)}{m}\right) = 2 * \arctan\left(\frac{32.5}{750}\right) \quad (3)$$

將 $\delta=20''$ 代入可得 $c$ 的視角值

$$\tan(c/2) = \tan\left(\frac{a - \delta}{2}\right) = \tan\left(\frac{a - 20''}{2}\right) \quad (4)$$

$n$ 為最小深度

$$\tan(c/2) = \frac{(e/2)}{m + n} \quad (5)$$

整理式(4)與式(5)得式(6)

$$n = \left(\frac{(e/2)}{\tan(c/2)}\right) - m \quad (6)$$

式(6)代入上述數值後， $n=0.84\text{mm}$ 。我們得知當觀看螢幕距離為 $750\text{mm}$ 時，最小可感知深度為 $0.84\text{mm}$ ，而本論文中，運動物體的移動間隔最小單位為 $50\text{mm}$ 。同理當我們用 $a=20''$ 代入時，我們可得到最大可感受深度的距離，約 $680\text{m}$ ，也就當物體距離觀察者大於 $680$ 公尺以上的距離時，我們無法分辨物體間的相對位置的差異，然而這個限制，同時，伴隨眼睛的光角功能（Convergence）也會一起作用，而使得在遠距離觀看景物時，立體感便會消失。

### 3.1.2 Convergence 的限制

由2.2節的討論，我們知道當Convergence落於Panum's fusional area之外時，會發生雙眼視差無法融合成單一立體影像的情況發生，然而Panum's fusional area範圍隨著觀測者與物體間的距離改變，如圖二十三，一般約在視角差15 arc min內（取決於受測者與測試畫面）。且此區域在對焦點附近較窄約 6-10 arc min，往兩側水平方向逐漸擴張在12度視角處約 30-40 arc min。

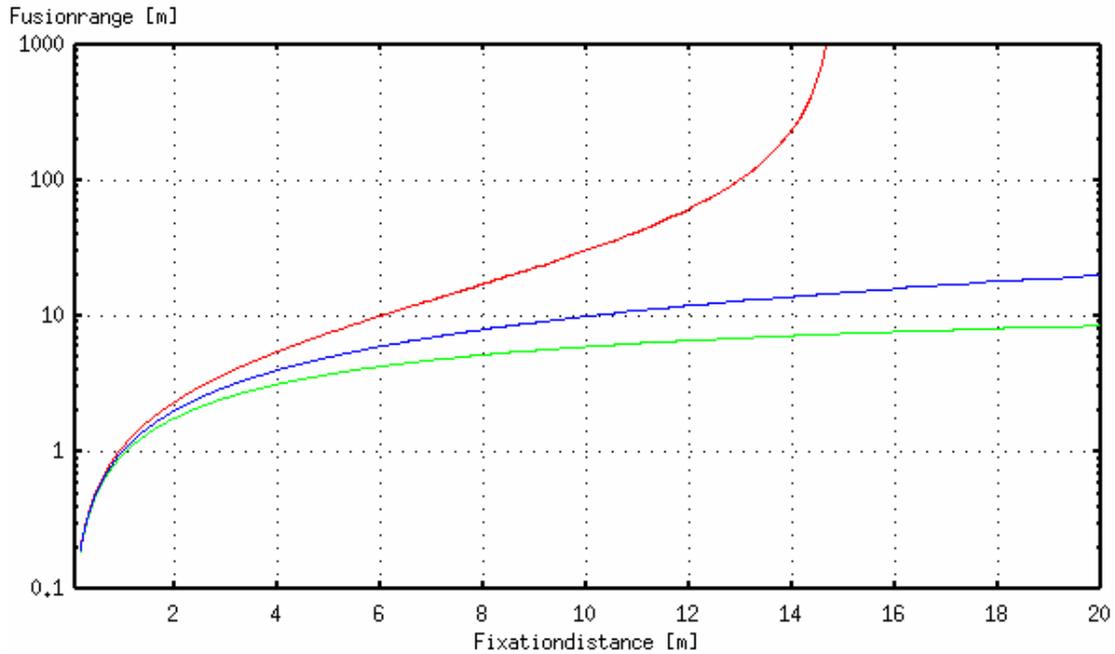


圖 二十三. Panum's fusional area(藍線為焦平面位置，紅線與綠線為融合邊界)

因此，根據上述的限制，當我們在設計與拍攝動畫時，對於畫面的安排如圖二十四，拍攝距離 76cm，焦點（黃色工程車）位於中央且靜止不動，左側 10公分左右的位置有一移動的吉普車，移動距離焦平面後 43cm，焦平面前 23.5cm，單位移動距離0.5cm。



圖 二十四. 實驗用影片（分左右眼）

## 3.2 立體影像的拍攝

基本上，我們的眼睛就像照相機的構造一樣，當我們觀看物體時，景物經由眼球（鏡頭），成像在視網膜（底片）上，再由視網膜上的視覺神經（底片上的化學微粒、或是數位相機的CCD）將影像送往大腦中樞處理（沖洗相片）於是我們便可以看到景物了。藉由雙眼視差（Binocular Parallax）、兩個視網膜位差（Retinal Disparity）的影像，大腦組合成一個立體的景物影像。因此我們根據這個原理，利用照相機的移動來模擬我們的雙眼，這是拍攝立體影像的最基本原理，當利用相機由左眼（或右眼）位置平移至右眼（或左眼）位置，這個距離我們稱之為“立體距離”，係指一般人兩眼瞳孔平均距離，約為6.3 cm~7.0 cm。而我們人類就是靠著這不變的兩眼立體距離來產生立體感的。

一般拍攝3-D影像的方法有兩種，分別是交錯式拍攝與平行式拍攝。專用的立體照相機是其中最容易在市面上買到的一種，而且對於立體影像的拍攝是非常的方便；不過此種相機只能持水平橫拍，不能交錯式拍攝，這是稍微美中不足的地方。若要自行利用兩部相同的相機結合在一起同步拍攝，則需考慮到水平、垂直的擺放與拍攝空間的架設，並且最好是能依照“交錯式拍攝”，將這兩台相機固定在適當的角度與方向。若可以的話，可以向照相器材行買一條可同時控制兩台相機快門之同步線以進行同步拍攝，如此便可利用所拍攝到的多張同步左右影像來進行動態立體影像的製作。

### 平行式拍攝

相機平行排列，平移約眼距 65mm，模擬雙眼凝視遠方。只能產生非交錯光角的立體影像，即所有立體影像均在螢幕的後方，僅能取用重疊區域用於立體影像的播放，並且不容易控制拍攝時物體排列與相對應的雙眼影像位差，增加實驗難度。

### 交錯式拍攝

當雙眼在觀看景物時，兩個眼睛的視角自然會將視線集中在目標物的同一位置上，因此我們利用此原理，以相機來模擬我們雙眼的作用來拍攝景物；也就是說，在平移拍攝的過程中，要將相機取景窗裡的對焦中心點（Focus Center），對準在目標景物的同一位置上即可。用此法拍攝立體影像，螢幕即為零視差平面（horopter），我們可以同時得到在螢幕內外的立體影像，本實驗即利用交錯式拍攝，完成立體動畫。

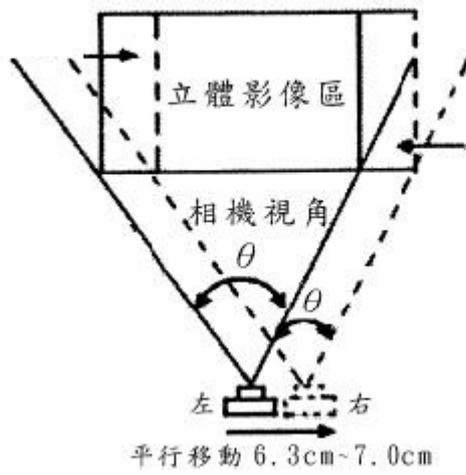


圖 二十五. 平行式拍攝



(a)



(b)

圖 二十六. (a)IZ3-D 平行式拍攝 (b) screenscope 平行式拍攝

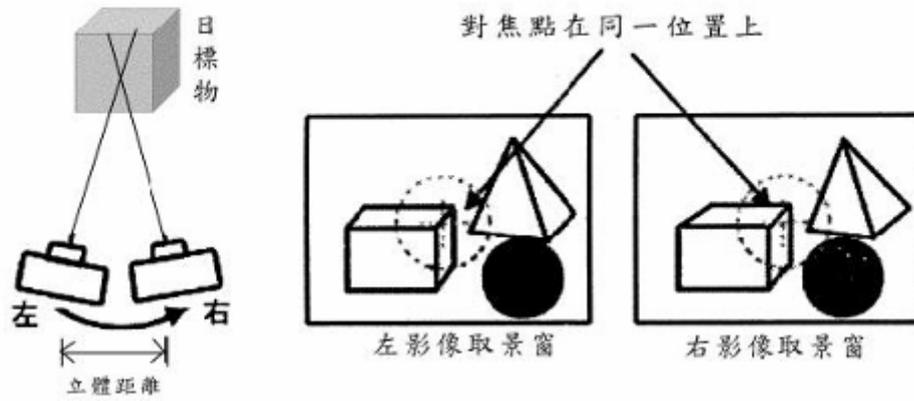


圖 二十七. 交錯式拍攝



(a)



(b)

圖 二十八. (a)IZ3-D 交錯式拍攝(b) screenscope 交錯式拍攝

### 3.3 融合影像的製作

依據上述條件拍攝完成的立體動畫，仍需針對不同的立體顯示器的應用進行後製。本論文主要目的是探討 Crosstalk 現象，所以需要完全沒有 Crosstalk 內在值的立體顯示器作為參考基準。我們選擇 Screenscope 作為參考基準，其原理即為 Wheatstone 立體視鏡，如圖二十九。因此影片後製的過程，需將左右眼影像並列，並且為確保投射在左右眼視網膜內成像間的相對位差(即disparity)如實驗設計，我們需對並列的影片作些微的調整與測試，並限制受測者的觀賞距離，使焦點（即工程車）都能落在每個受測者左右眼對應的位置（即horopter曲線上），如此才可避免因為實驗的操作造成受測者間感受的視差不一致而形成的誤差。

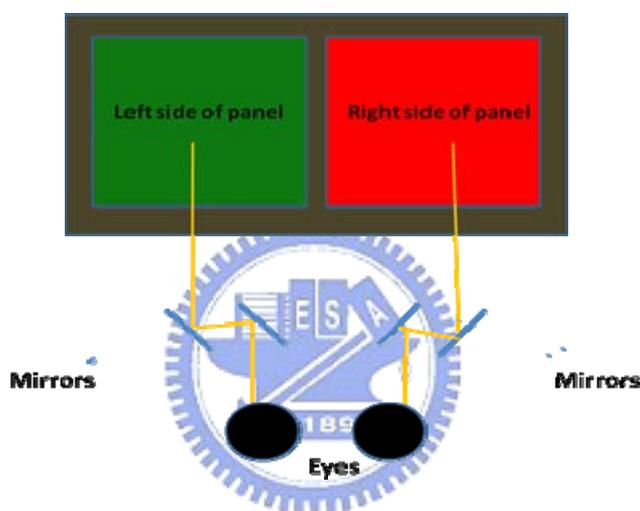
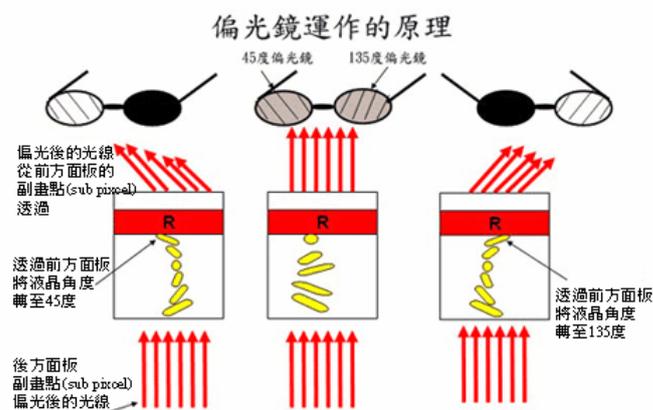
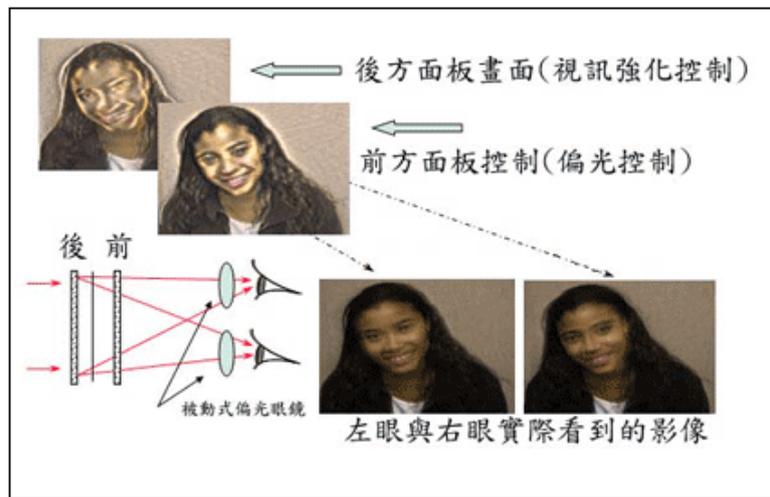


圖 二十九. screenscope 原理

此外，我們也同時選擇 IZ3-D (桌上型立體顯示螢幕)作為實驗載具，該立體顯示器的原理是利用兩片液晶面板與偏光片實現左右眼影像分離，如圖三十.，因液晶具有折射率雙軸性，利用電壓驅動液晶的排列，可以將線偏振光轉為不同方向的橢圓偏振光，再利用偏振片眼鏡進行左右眼分光，其最大優點是可維持高解析度 Two-View的輸出，且觀賞距離符合一般使用情況。然而使用偏光技術，容易受偏光片漏光的影響，無可避免地具有Crosstalk初始值，因此，我們首先須對 IZ3-D 進行左右眼分光進行各灰階的亮度補償將Crosstalk初始值降至最低，此時仍舊有2%左右的 Crosstalk 內含值。

第一步是量測 IZ3-D螢幕分別從左右眼觀看的灰階-亮度值，如圖三十一，是由 CA210 量測建立，將灰階值轉換 IZ3-D 的亮度對應值，之後完成左右眼亮度的分光補償程式，並實現前、後面板對應的look-up table，再利用matlab 運算軟體進行融合影像的製作，拍攝的影片經look-up table的轉換，產生前、後面板所需的畫面。



圖三十. IZ3-D 原理

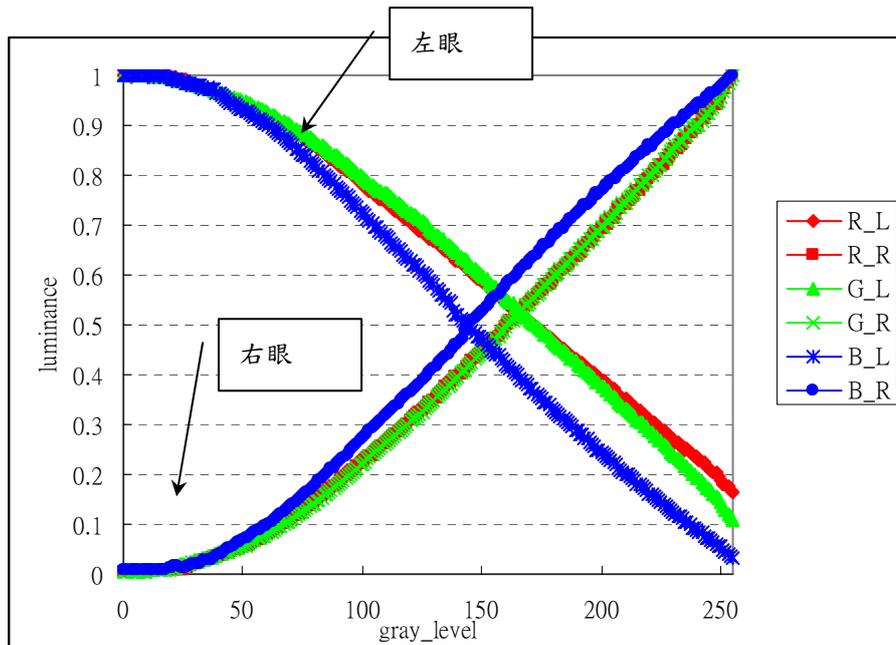


圖 三十一. IZ3-D 左右眼 RGB 亮度-灰階圖



## 四、人因實驗規劃與操作

### 4.1 Crosstalk的定義與量化

實驗之初，我們首先須給Crosstalk一個明確的定義範圍，Crosstalk現象在立體顯示器領域中，係指左右眼影像相互干擾。由於目前多數立體顯示器是利用雙眼視差（即讓左右眼各自觀看兩張有相位差的影像）實現立體效果。因此，當左眼看到原本只該成像在右眼的影像，或者右眼看到原本只該成像在左眼的影像，就容易受到鬼影的干擾，也就是所謂 Crosstalk 現象。目前針對Crosstalk的量化，普遍接受的方式會考量背景畫面的影響，其公式如式(7)[16]：

$$C = \frac{L_G - L_{BL}}{L_M - L_{BL}} \quad (7)$$

$L_M$ 代表主要觀測影像的亮度

$L_G$ 代表鬼影影像的亮度

$L_{BL}$ 為背景畫面的亮度



然而一般的影像通常具有複雜的亮度範圍，如果採用上述量化公式勢必增加實驗操作的困難性，因此本實驗對Crosstalk的量化方式如下

$$\text{左眼感受Crosstalk的百分比} = \text{左眼影像} + \text{右眼影像} * \text{百分比} \quad (8)$$

$$\text{右眼感受Crosstalk的百分比} = \text{右眼影像} + \text{左眼影像} * \text{百分比}$$

## 4.2 實驗設計

關於 Crosstalk 對立體影像品質的影響，已有相當多的人因研究報告提出，絕大多數都僅針對靜態的立體影像，在我們收集的文獻當中也沒有發現任何有關Crosstalk對3-D 動態影像影響的探討。因此我們設計一組人因實驗，共有25名經過訓練的受測人員參與立體動態影像實驗，並設定

1. 動態影片中物體的運動方向在螢幕平面前後移動（即光角隨時間改變），我們稱作Z軸運動。
2. 對立體影像品質影響的判斷標準是依據Crosstalk感知臨界值的縱深範圍。
3. 為確保本實驗不受其他人因因素的影響，所有物體的運動範圍，均在每個受測者的Panum's fusional area 之內。
4. 僅移動物體加入Crosstalk level。

本論文著重在探討兩視點(Two-View)的立體顯示器對雙眼影像互擾(Crosstalk)的討論。

### 第一階段實驗：製作實驗影像

拍攝或製作實驗用之左右眼圖片及影像，並且製造出具有不同景深範圍的動畫(如圖三十二.)。接著利用影像處理逐步外加 Crosstalk 比例。此步驟的重點在於確保每個受測者所看到的立體影像均落於 Panum's fusional area 中，且拍攝影像的同時，亦限制了實驗時受測者與立體螢幕的距離。



圖 三十二. Screenscope 所需的影像



圖 三十三. 動態影像

### 第二階段實驗：Crosstalk 對景深的影響

利用靜態立體影像找出在不同比例的 Crosstalk 下可接受的 Z 軸景深。受測者亦在此時訓練熟悉 Crosstalk 影像的判斷，由於影像製作之初與實驗的過程設計已排除其他可能產生 Crosstalk 影響的因素，僅以亮度的變化作為 Crosstalk 的比例變化值，也因此受

測者在判斷有無 Cross-talk 影響時，均以畫面的銳利度與鬼影為依據。

### 第三階段實驗：速度對 Crosstalk 的影響

利用動態影像(圖三十三.)，調整物體移動速度不同時，找出於不同 Crosstalk 比例下可接受的景深。

### 第四階段實驗：形狀、大小以及複雜度對 Crosstalk 的影響

改變不同形狀、大小以及複雜度的物體重複一到三階段實驗，並探討不同物體間之影響。

### 第五階段實驗：

改變背景複雜度，並重複一到三階段實驗探討不同背景間之影響。

表 三. 實驗條件列表

Level of Crosstalk	Objects	Background	Velocity
0 %	Car	Dark	Low
5%		Gray Level	Middle
10%	Complex		
15%		Box	
20%			

參與實驗人數 >20人(男女各半)

實驗條件:

- (a) X-talk level – 5種
- (b) 目標影像 – 2種(簡單與複雜)
- (c) 背景資訊 – 3種(單色黑、單色灰、彩色複雜)
- (d) 動態移動速度 – 3種(低、中、高)

## 初始實驗結果：

第一次實驗設計包含兩種立體顯示器 (Screenscope and IZ3-D)、三種影像畫面設計 (簡單、中調與複雜) 如圖三十四, 三種物體移動速度 (靜止、中速與高速) 與五種 Crosstalk level (0%, 5%, 10%, 15%, 20%) 的動態影像組, 實驗條件如表三。

在實驗過程中, 我們發現簡單、高對比的影像畫面 (即灰階畫面), 如同文獻指出, 在 Crosstalk level 小於 0.3% 時即可感知, 且此時物體移動縱深範圍小於 3cm, 因此動態畫面如同閃動畫面, 容易造成嚴重的不適感, 所以我們完全無法以此畫面進行動態影像實驗。

另外在複雜的影像畫面實驗, 受測者對 Crosstalk 感知臨界值明顯增加, 且物體移動縱深範圍大於 14cm, 但多數的受測者指出過於複雜的畫面影響他們對 3D 影像的融合 (在 IZ3-D 情況, 尤其嚴重), 且在加入速度因素後, 引起不適感的情況也更為嚴重。

## 修正實驗：

我們依據第一次實驗結果, 修正我們的實驗設計為單一影像畫面設計 (中調), 三種物體移動速度 (靜止、中速與高速) 與五種 Crosstalk level (0%, 5%, 10%, 15%, 20%), 並進行影像處理將移動物體與背景對比拉近, 以加大對 Crosstalk 的容忍度, 目的在確保有足夠的 Z 軸運動範圍以及流暢的運動畫面, 且定義中速為 6 cm/s、高速為 30 cm/s。

另外, 從第一次實驗得來的靈感, 我們設計一實驗為靜態影像在顯示器的更新頻率約 1 秒 60 張時, 我們在受 Crosstalk 影響的靜態影像, 每秒 60 張置換 1、3、5、10 張 0% Crosstalk 同樣的靜態影像, 即更新頻率約 1 秒 60 張中, 有 1、3、5、10 張 0% Crosstalk 的影像間隔插入置換, 並與原來的影像相比做人因實驗判斷, 其目的在證明靜態畫面透過時序畫面的改善, 如應用影像處理改善時序中部份的更新畫面, 亦可改善 Crosstalk 現象。

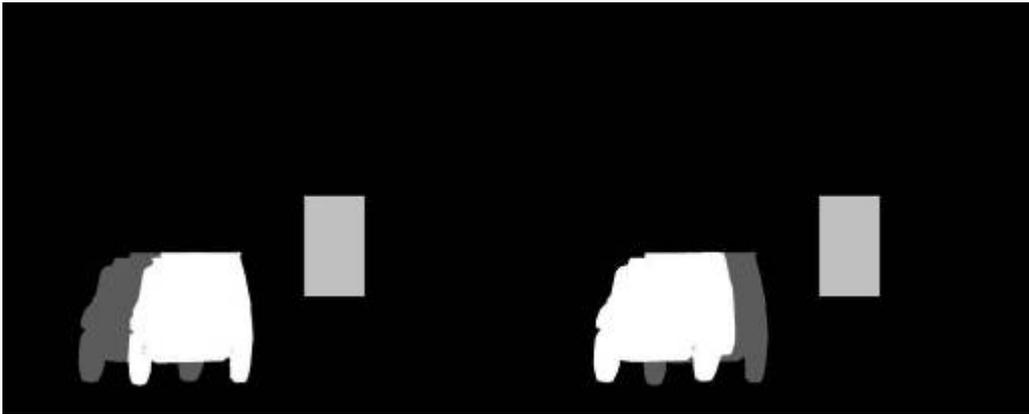
表 四. 修正實驗條件列表

Level of Crosstalk	Objects	Background	Velocity
0%	Car	Gray Level	Middle
5%			
10%			High
15%			
20%			

參與實驗人數 >20人(男女各半)

實驗條件:

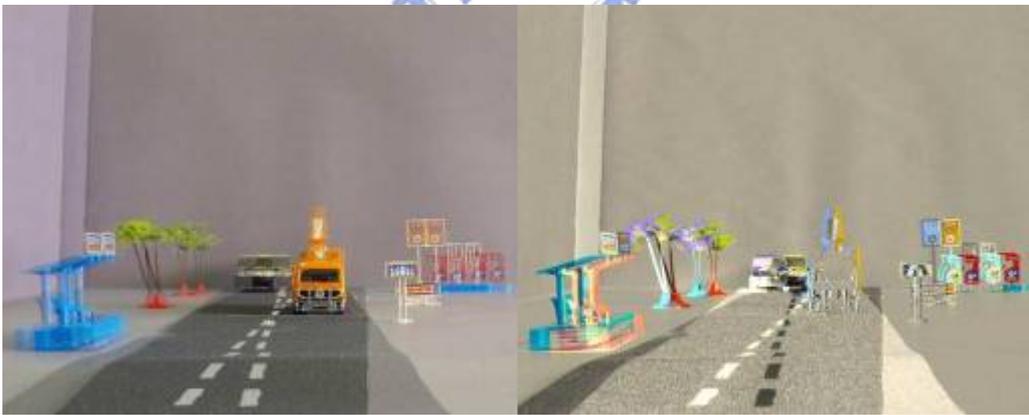
- (a) X-talk level – 5種
- (b) 目標影像 – 1(car)
- (c) 背景資訊 – 1(單色灰)
- (d) 動態移動速度 – 2(中、高)



(a)



(b)



(c)

圖 三十四. (a) screenscope 簡單、高對比的影像畫面 (b) IZ3-D 複雜的影像畫面  
(c) IZ3-D 一般階調的影像畫面

### 4.3 實驗流程

在實驗開始之前，為確保各受測者可以正確感知 3-D 影像，我們首先會確認受測者是否可以判斷 3-D 物體的前後關聯，接著隨機播放不同縱深的 3-D 圖片，此時 Crosstalk level 為0%，目的在了解各受測者可以融合立體影像的 Z 軸範圍（即Panum's fusional area）。

實驗的過程中，由於判斷標準是Crosstalk感知臨界值的縱深範圍，因此會有較大範圍的 Z 軸變化，從先前影響畫面品質的人因要素討論，我們知道光角（Convergence）與調節（Accommodation）的不匹配會造成嚴重的不適感，為了不讓此一要素影響我們的實驗數據，實驗以測試五分鐘休息十分鐘為一循環進行人因實驗。

實驗一.

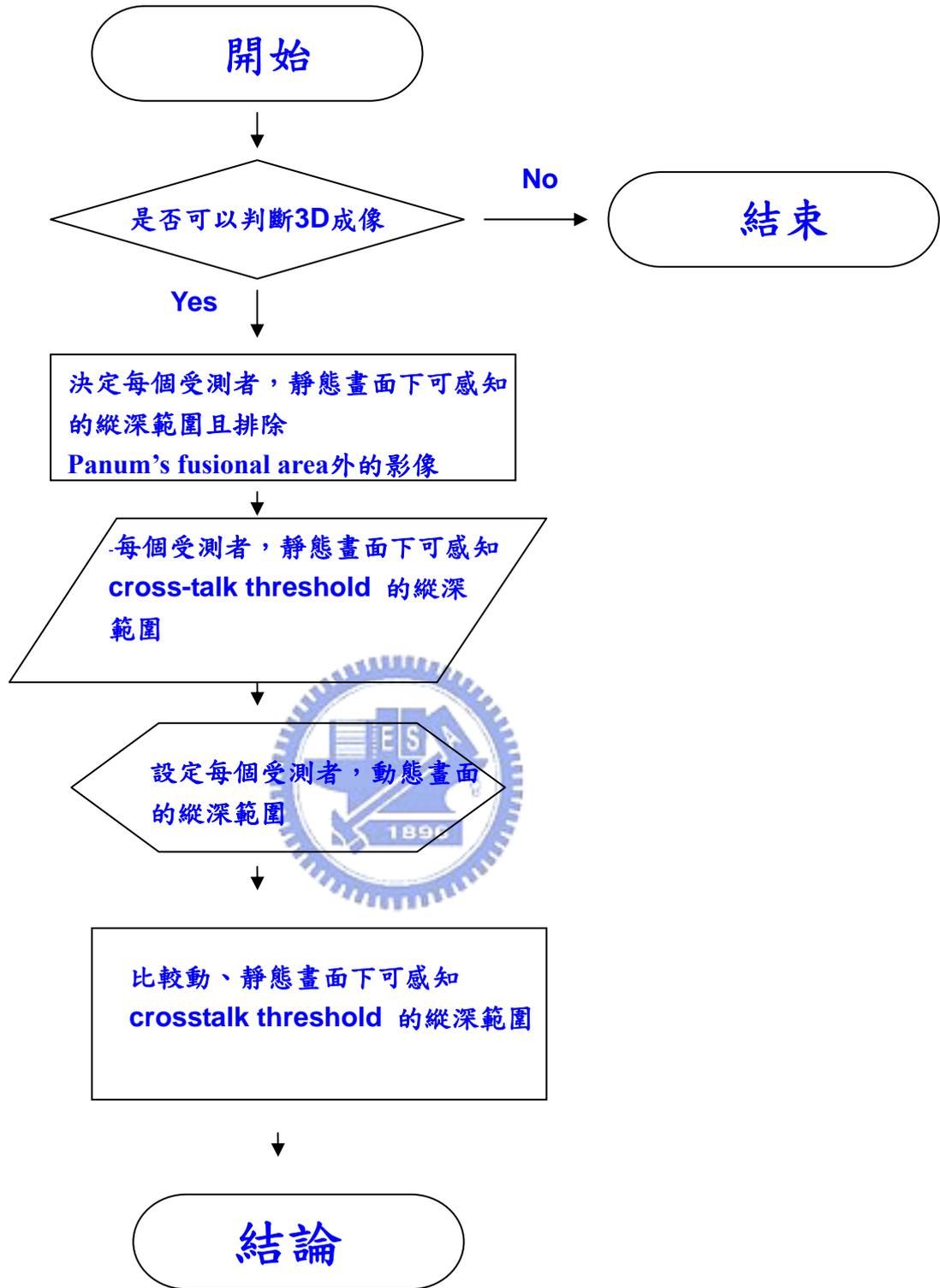
重複上述流程，確認各受測者可以正確感知 3-D 影像，接著隨機播放不同縱深的靜態 3-D 圖片，此時Crosstalk level包含5%,10%,15%,20%，以測試五分鐘休息十分鐘為一循環進行人因實驗，直到確認所有Crosstalk level感知臨界值的縱深範圍。

實驗二.

依據實驗一的數據，每一 Crosstalk level建立五種縱深範圍影像組，搭配兩種播放速度，共40組動畫，以測試五分鐘休息十分鐘為一循環進行人因實驗，直到確認所有Crosstalk level感知臨界值的縱深範圍。

實驗三

以 Crosstalk level 10% 與 5% 成像在螢幕後5.5cm的兩張靜態畫面做人因實驗比較，並在Crosstalk 10%的靜態畫面更新頻率約1秒60張中，有1、3、5、10張 0% Crosstalk的影像間隔插入置換。



## 五、 實驗結果與分析

### 5.1 Crosstalk對靜態畫面的影響

如同文獻報告[17][18][19][20]，Crosstalk的影響與雙眼影像位差（disparity）關聯甚大，而立體影像的縱深主要就是藉由雙眼視差經大腦感知。因此，從我們的實驗數據，亦可顯示其中關聯，即Crosstalk level 愈高，所能感知的縱深越小如表四。而實驗數據中顯示聚焦平面前後縱深的差異，主要是因為物體遠近，大小改變，在螢幕上產生Crosstalk的區域面積大小不同所造成，也就是，即使在同一縱深的物體，其大小不同會對Crosstalk的感知產生差異。

此外，我們發現當Crosstalk level大於10%以上的數值時，對於Crosstalk level感知臨界值的縱深範圍差異越小，有一部分數據顯示10%,15%與20%的縱深範圍是沒有差異的，也就是，在75cm的觀賞距離，螢幕前後縱深2cm內的立體影像，對於大部分人而言，是不受Crosstalk影響的。



表 五. 平均 Crosstalk 感知臨界值的縱深範圍

Crosstalk Level	5%	10%	15%	20%
Average threshold of tolerance visual depth (cm)	12	8.9	8.86	6.9

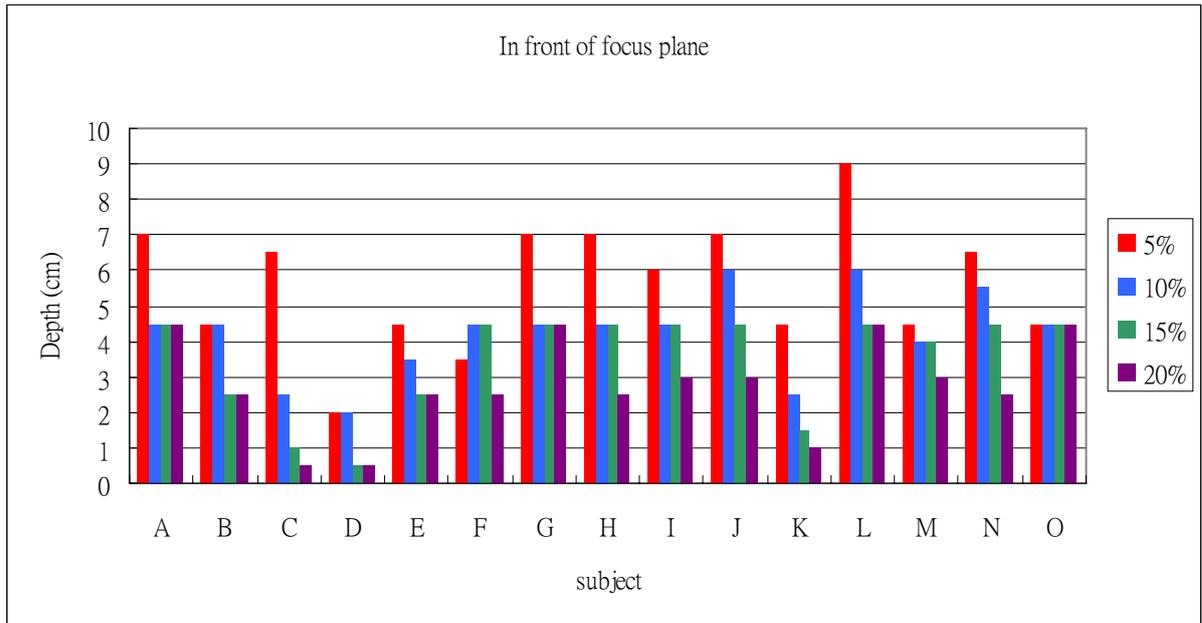


圖 三十五. Crosstalk level V.S. perceiving depth in front of focus plane (靜態畫面)

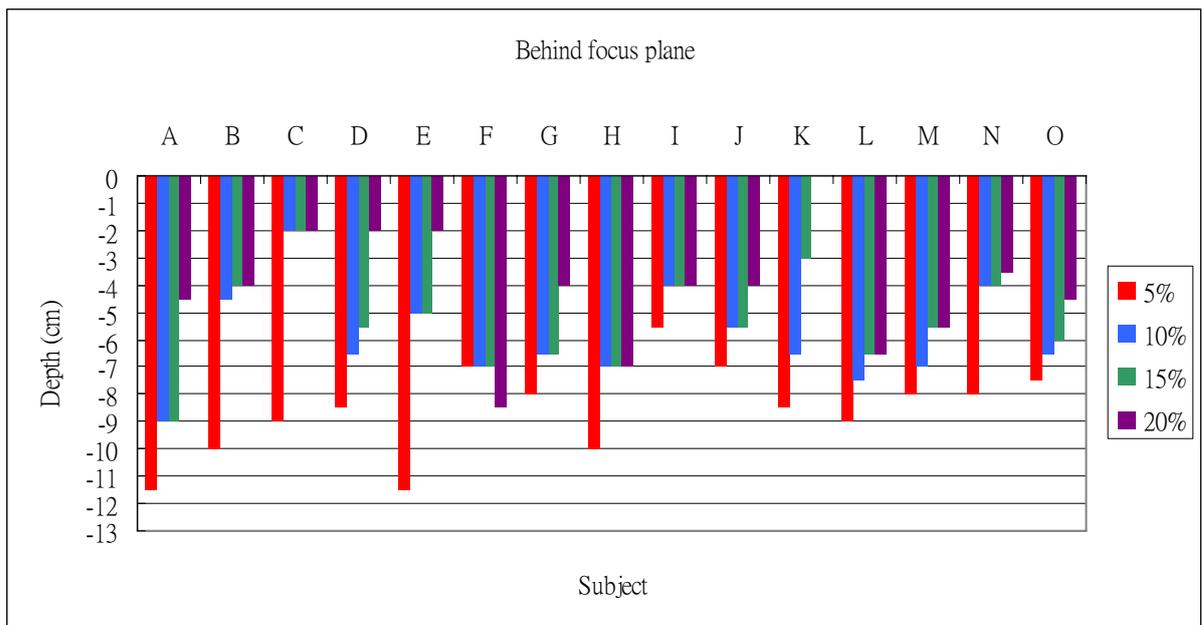


圖 三十六. Crosstalk level V.S. perceiving depth behind focus plane (靜態畫面)

## 5.2 Crosstalk對動態畫面的影響

由於動畫的製作比靜態畫面來的複雜，因此一開始採用動畫運動縱深的範圍，依每個Crosstalk level固定五組，共20組。其五組範圍是依據每個Crosstalk level靜態的平均範圍，分別-10cm，-7cm，0cm，+7cm，+20cm定義五組，實驗過程以兩種不同的播放速度，中速為 6 cm/s、高速為 30 cm/s，由同一批受測者判斷。實驗結果如圖三十八，我們發現物體運動的速度對Crosstalk感知臨界值的縱深範圍有幫助，即對Crosstalk的容忍度增大，但由於取固定範圍，大部分受測者的數據，僅於高速運動時，表示可以改善Crosstalk現象。因此，我們選取其中 8 名受測者，依據其5% Crosstalk level的靜態範圍，逐漸增加，同樣以兩種不同的播放速度進行，結果如圖三十八，三十九所示，隨著運動速度的增加，對Crosstalk感知臨界值的縱深範圍也越大

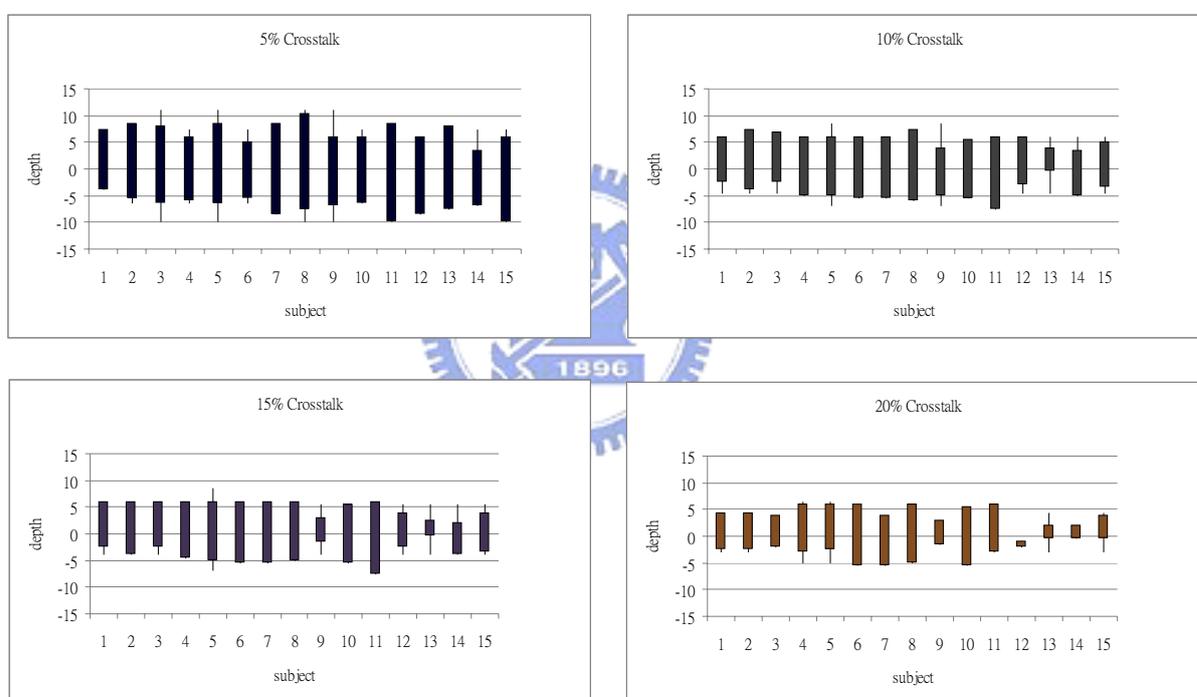


圖 三十七. 粗棒狀為靜態縱深範圍，細棒狀為物體運動下延伸的縱深範圍

表 六. 動態畫面下平均 Crosstalk 感知臨界值縱深範圍的增加比率

X-talk / Moving speed	5%	10%	15%	20%
Mid-velocity	1.25	1.22	1.11	1.03
High-velocity	1.63	1.57	1.51	1.22

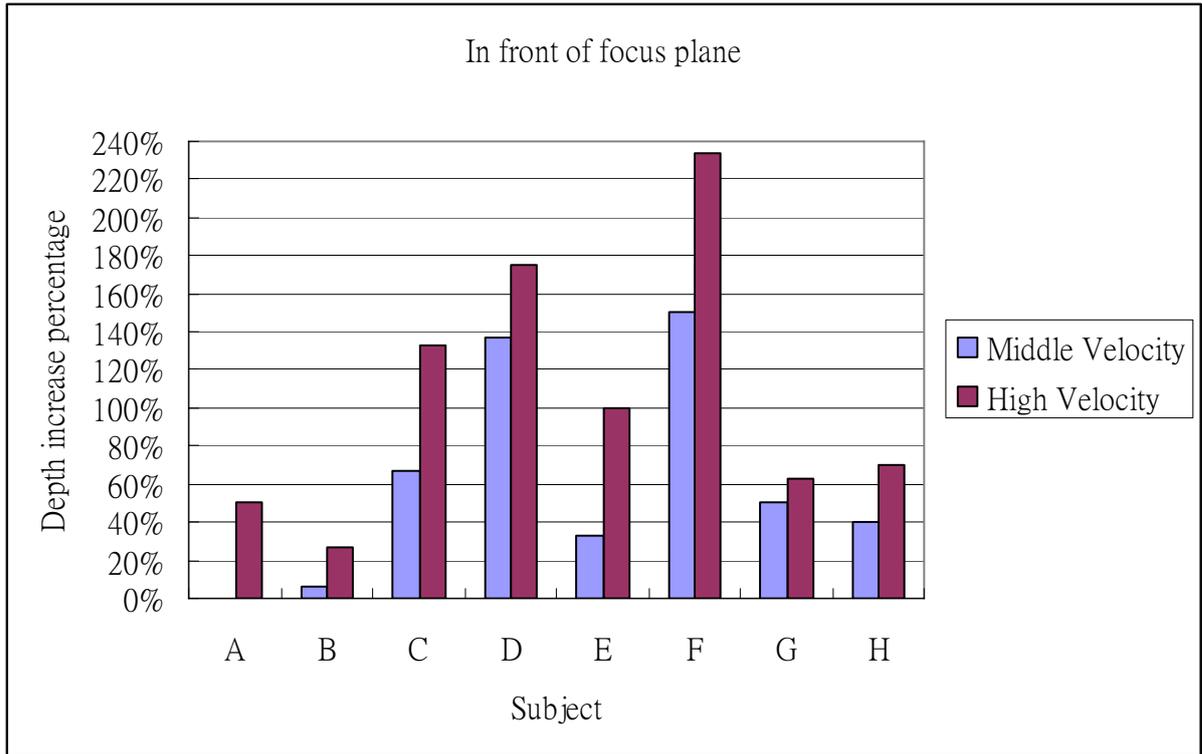


圖 三十八. Velocity V.S. perceiving depth increase in front of focus plane focus plane  
(動態畫面, Crosstalk level 5%)

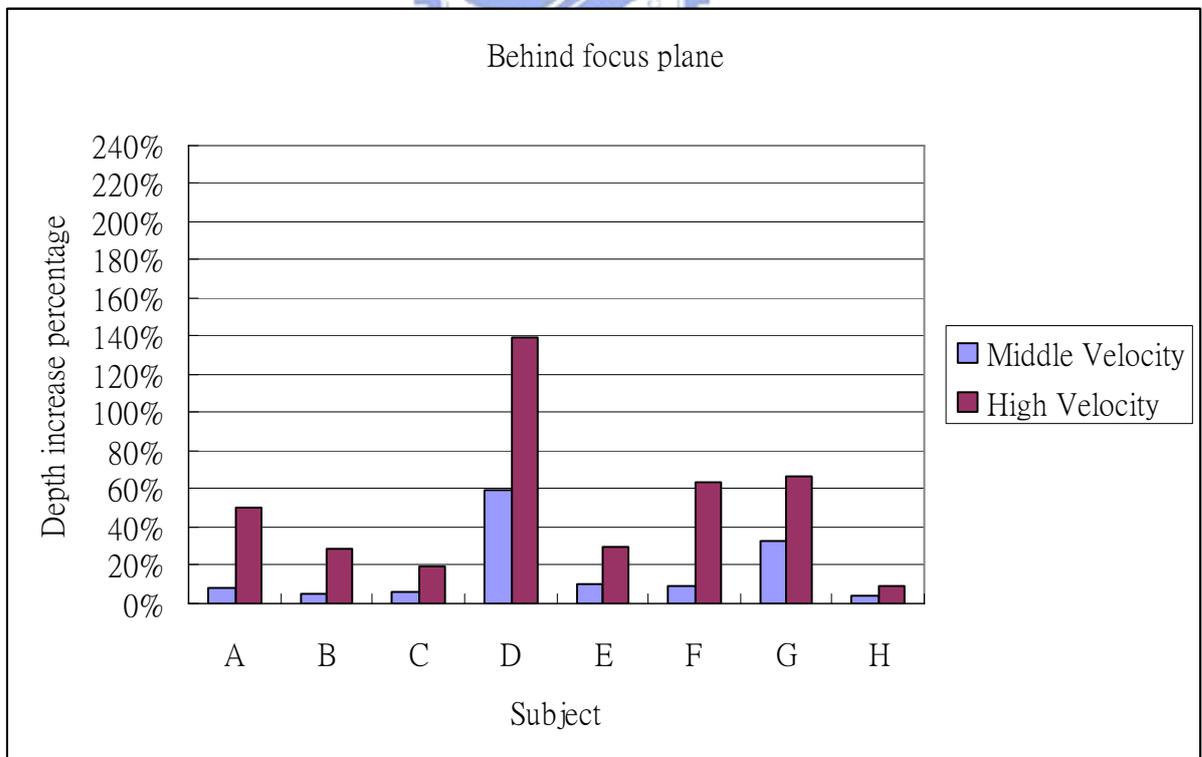


圖 三十九. Velocity V.S. perceiving depth increase behind plane focus plane  
(動態畫面, Crosstalk level 5%)

### 5.3 以時序插圖改善Crosstalk

一般顯示器，即使在播放靜態畫面，其更新頻率仍大於或等於 60HZ，即每秒更新 60 張影像，我們利用此特性，在 Crosstalk level 10% 的靜態畫面下，每秒 60 張影像其中分別置換 1、3、5、10 張 0% Crosstalk 的影像再與 Crosstalk level 5% 的靜態畫面做比較，其實驗結果，如表六所示

表 七. 時序插圖改善之比較判斷

insert frame subject	1	3	5	10
A	X	X	X	●
B	X	X	X	X
C	X	X	X	▲
D	X	X	X	▲
E	X	X	X	X
F	X	X	X	▲
G	X	X	X	▲
H	X	X	X	X
I	X	X	●	●
J	X	X	X	▲

●:表示此時 Crosstalk level 10% 較 5% 感受輕微

X:表示此時 Crosstalk level 5% 較 10% 感受輕微

▲:表示此時受 flicker 影響判斷

由此，我們得知利用時序插圖做 Crosstalk 改善是可行，且至少需置換 15%以上的每秒更新畫面，然而仍需克服因置換畫面所引起的 flicker 現象。

## 六、 結論與展望

本篇論文針對Crosstalk對動態畫面的影響，作一系列的探討，比較在不同Crosstalk level 下靜態與動態畫面的差異。由本文的實驗結果，我們得到下列結論：

1. Crosstalk在動態畫面下的容忍度較靜態畫面高，也就是在同一Crosstalk level下，動態畫面可允許較寬的縱深範圍不受Crosstalk影響，且隨著物體運動速度越快，不受Crosstalk 影響的縱深範圍越大。
2. 當Crosstalk越大時，動態畫面不受Crosstalk影響的縱深範圍與靜態不受Crosstalk影響的縱深範圍差異越小。

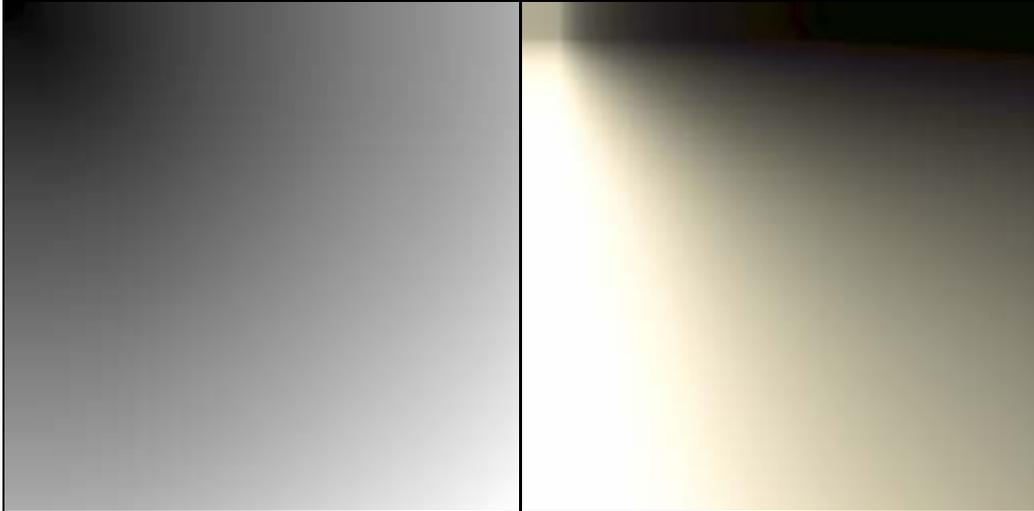
因此當我們在設計立體顯示器時，即使僅針對動畫應用，如3-D 遊戲、電影等，僅需判斷該設計在靜態畫面下受Crosstalk限制的縱深範圍，即為該顯示器不受 Crosstalk 影響最小的顯示縱深，作為設計依據。

另外，由動態畫面可允許較寬不受 Crosstalk 影響的縱深範圍的結果，我們提出時序插圖做為Crosstalk改善的實驗，結果顯示我們的想法是可行的。然而因置換畫面所造成的flicker現象，在未來的工作，我們將利用影像處理的方式，進行研究改善，由於3-D影像是利用左右兩眼的所看到景象的視差，我們知道當兩眼所看到的影像解析度不同時，只需一眼的影像解析度維持高解析度即可補償3-D影像，而且物體的Crosstalk與物體跟背景的對比有關，因此未來我們期望能夠利用壓縮3-D影像資料量的同時，利用其不同的模糊影像的演算法，降低Crosstalk與flicker的影響。

## 參考文獻

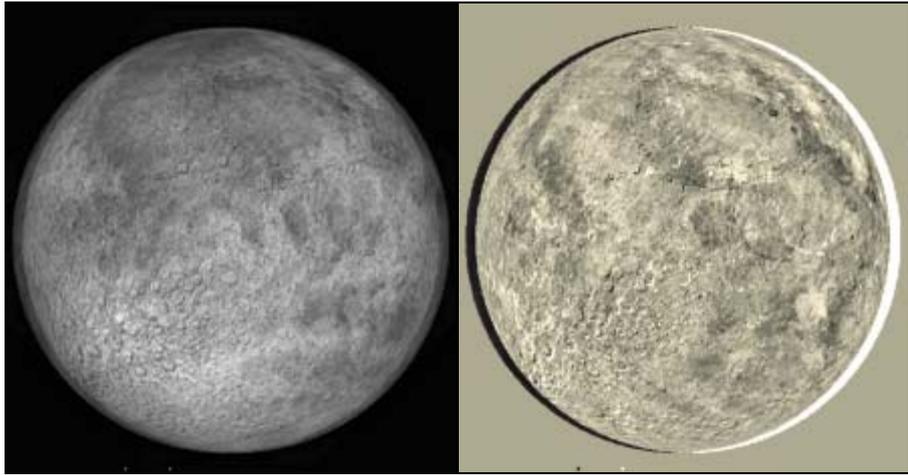
- [1] J. A. Castellano, *Handbook of Display Technology*, Academic Press, San Diego (1992).
- [2] K. N. Ogle, "Researches in Binocular Vision," Hafner Publishing Co. Ltd, 1964.
- [3] J. S. Kollin, S. A. Benton, M. L. Jepsen, "Real-Time Display of 3-D Computed Holograms by Scanning the Image of an Acoustic-Optic Modulator," SPIE Proceedings, Vol. 1212, p.174 (1990)
- [4] "Laser Based 3-D Volumetric Display System," US Patent No. 5,854,613 (1998)
- [5] C. Berkel, "Image Preparation for 3-D LCD," SPIE Proceeding, Vol. 3639, p.84 (1999)
- [6] W. L. IJzerman, S. T. de Zwart, T. Dekker, "Design of 2D/3-D Switchable Displays", SID'05 Digest, P.98
- [7] I. Sexton, "Parallax Barrier 3-D TV", SPIE Proceeding, Vol. 1083, p. 84 (1989)
- [8] Hui Nam, Jangdoo Lee, Hyoungwook Jang, Myoungseop Song, Beomsik kim, "Auto-Stereoscopic Swing 3-D Display," SID 05 Digest, P.94
- [9] Han-Ping D. Shieh, Yi-Pai Huang and Ko-Wei Chien, "Micro-Optics for Liquid Crystal Displays Applications", IEEE/OSA J. Display Technology, 1(1), 62 (2005).
- [10] Ko-Wei Chien and Han-Ping D. Shieh, "Time-multiplexed three-dimensional displays based on directional backlights with fast-witching liquid-crystal displays", Applied Optics, Vol. 45, No. 13, 3106(2006).
- [11] Ronald Kaptein and Ingrid Heynderickx, "Effect of Crosstalk in Multi-View Autostereoscopic 3-D Displayson Perceived Image Quality", SID07,p.1220
- [12] Li Chen, et al., "Investigation of Crosstalk in a 2-View 3-D Display", SID08, p.1138
- [13] N. Holliman, "3-D Display Systems", Department of Computer Science, University of Durham, 3, Feb. (2005).
- [14] Hideki Kakeya, Koichi Oyama and Yoshiki Arakawa, "3-D Display System for Reality-Enhanced Teleoperation", IEEE(1999)
- [15] Robert Patterson, "Human factors of 3-D displays"SID07, p. 861
- [16] S. Palaa, R Stevensa, P Surmanb, "Optical Crosstalk and visual comfort of a stereoscopic display used in a real-time application", SPIE-IS&T/ Vol. 6490 649011-1(2007)
- [17] W. A. IJsselsteijn, H. de Ridder, and J. Vliegen, "Subjective Evaluation of Stereoscopic Images: Effects of Camera Parameters and Display Duration", IEEE TRANSACTIONS ON CIRCUITS AND SYSTEMS FOR VIDEO TECHNOLOGY,(2000)
- [18] P.J.H. Seuntjens\*, L.M.J. Meesters, W.A. IJsselsteijn, "Perceptual attributes of Crosstalk in 3-D images" Displays 26 (2005) 177-183
- [19] Andrew J. Woods, Ka Lun Yuen and Kai S. Karvinen, "Characterizing Crosstalk in anaglyphic stereoscopic images on LCD monitors and plasma displays", SID07, P889
- [20] Andrew J. Woods\*, Stanley S. L. Tan, "Characterising Sources of Ghosting in Time-Sequential Stereoscopic Video Displays", Proc. SPIE, 4660, (2003).

# 附錄 一

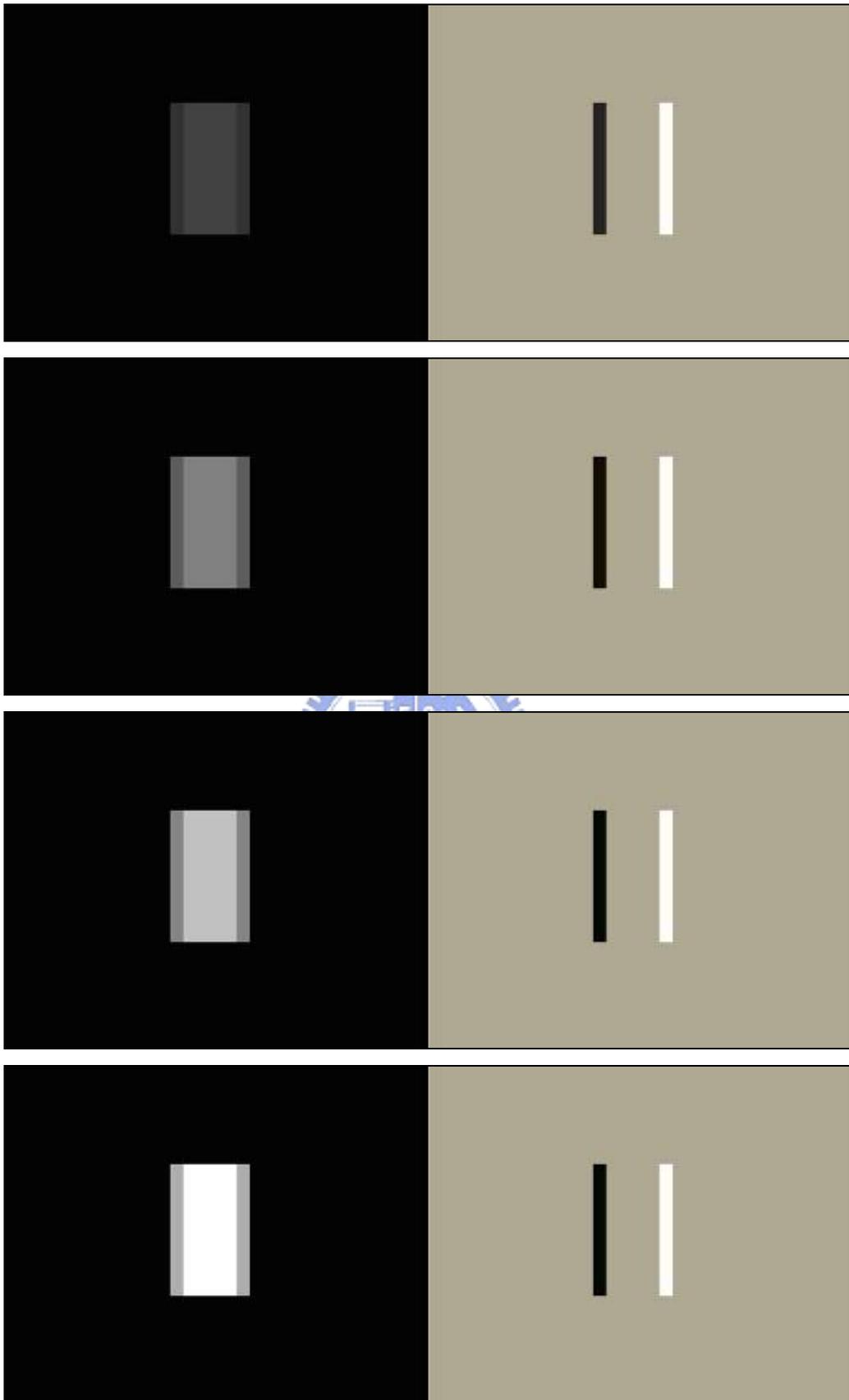


IZ3-D look-up table

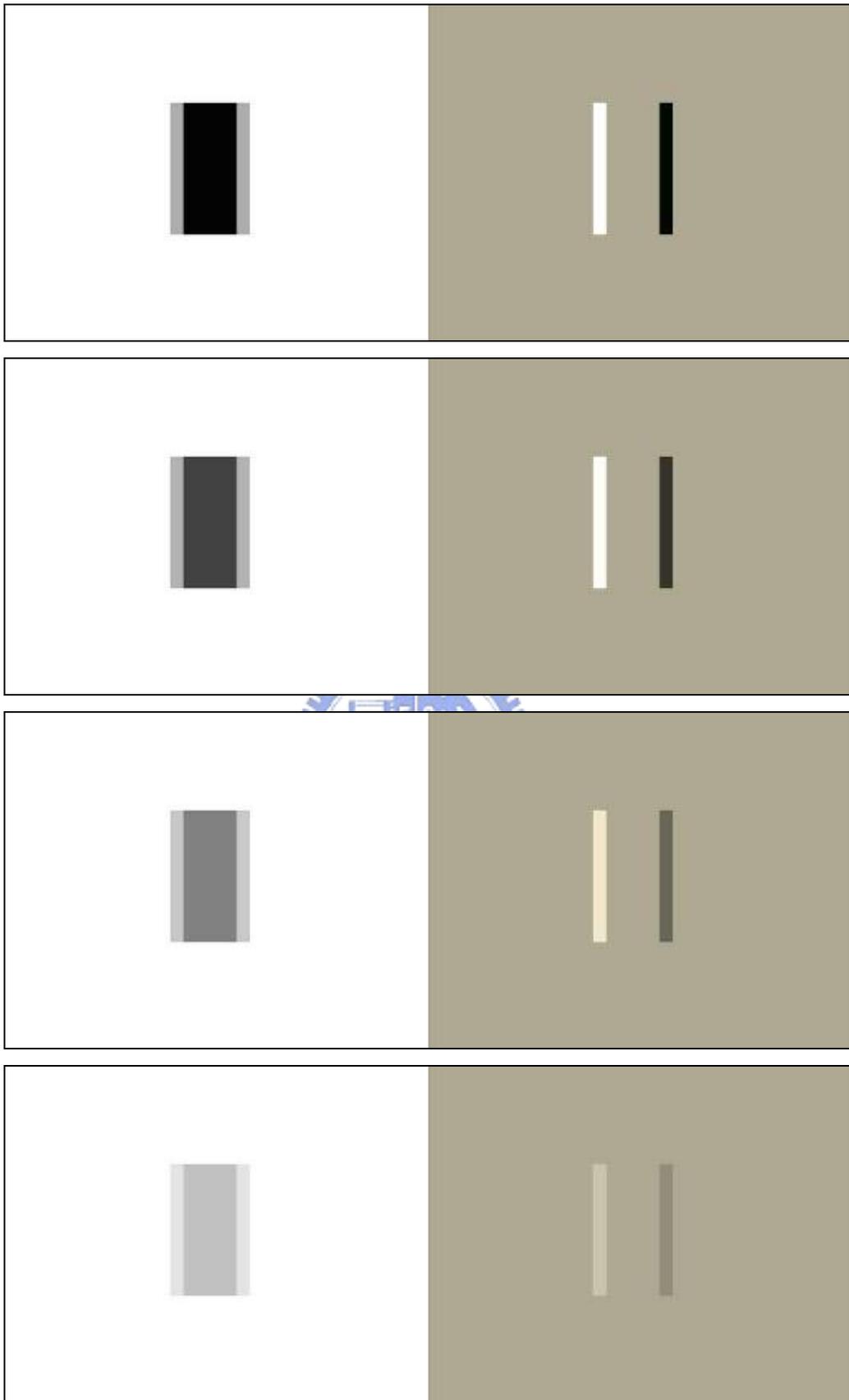




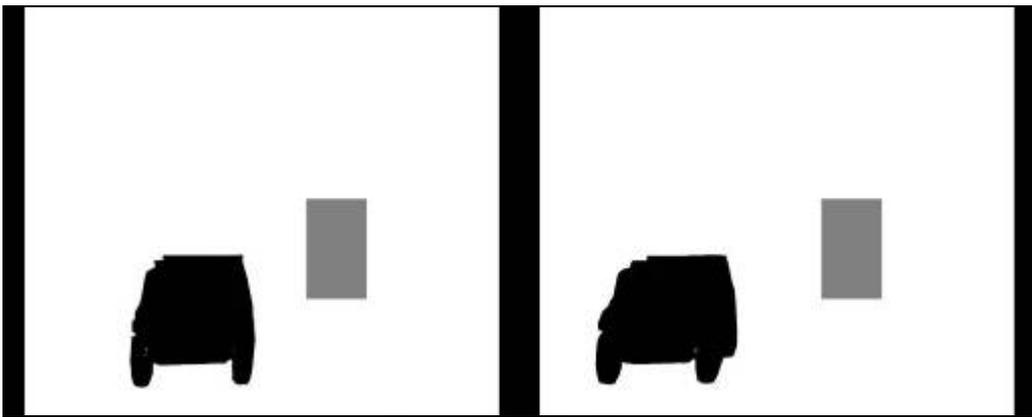
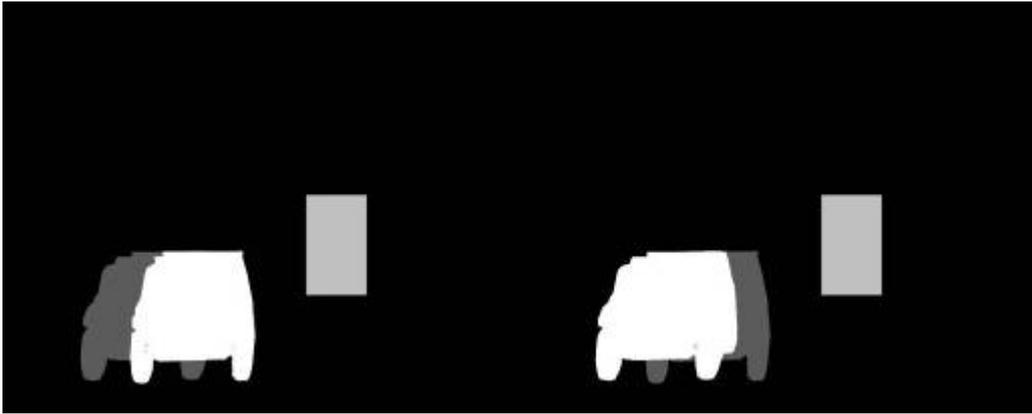
3-D 視感測試圖

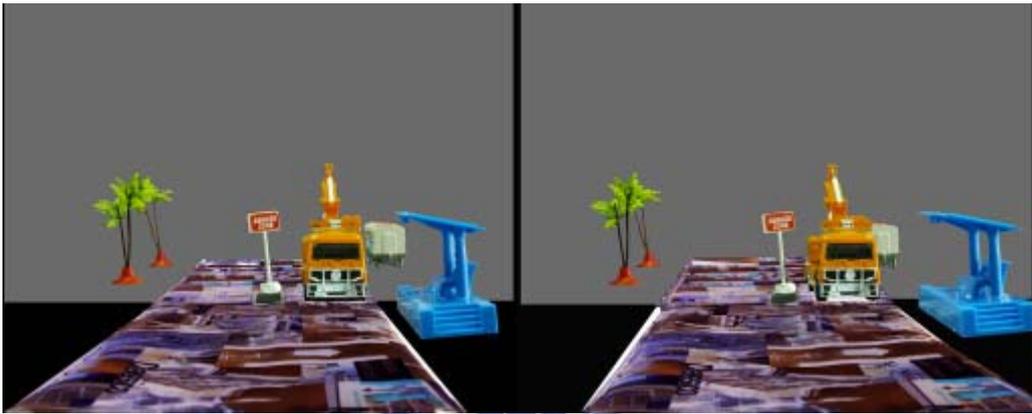


3-D 對比測試



3-D 對比測試





3-D 動態畫面測試圖