

國立交通大學

電控工程研究所

碩士論文

柱狀透鏡之即時裸視立體顯像操控之實現

A Realization of Manipulation on Real-time
Naked-eye 3D Vision Based on Lenticular Lenses

研究 生：黃則銘

指 導 教 授：林昇甫 博士

中華民國一百年七月

柱狀透鏡之即時裸視立體顯像操控之實現
A Realization of Manipulation on Real-time Naked-eye 3D
Vision Based on Lenticular Lenses

研 究 生 : 黃則銘 Student: Tse-Ming Huang
指 導 教 授 : 林 昇 甫 博 士 Advisor: Dr. Sheng-Fuu Lin

國立交通大學

電控工程研究所

碩士論文

A Thesis

Submitted to Institute of Electrical Control Engineering

College of Electrical Engineering

National Chiao-Tung University

in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of

Master

in

Electrical Control Engineering

June 2011

Hsinchu, Taiwan, R.O.C

中華民國一百年七月

柱狀透鏡之即時裸視立體顯像操控之實現

學生：黃則銘

指導教授：林昇甫 博士

國立交通大學電控工程研究所 碩士班

摘要

近年來立體顯示技術蓬勃發展，尤其是在電影娛樂上，立體顯示更是一股潮流。但是我們觀賞 3D 畫面時，通常需要戴上一副 3D 眼鏡，戴久後常常會造成不適感。另外，現今醫生在替病患診斷頸部腫瘤時，是以雙手直接去按壓發病部位做觸診，若是能配合一個頸部周圍的 3D 空間結構模型來診斷，將有助於醫生及病人對病情的了解。而目前學術上研究 3D 建模的文獻通常都侷限在 2D 畫面中的虛擬 3D，而不是實際的 3D 畫面。有鑑於此，本篇論文實現了一個即時裸視立體顯像操控程式做為應用例，建造了虛擬 3D 物體，三維空間任意視角轉動、橫切面截取輪廓線以及物件個別分離觀看等功能，最後並將此虛擬 3D 物體以裸視 3D 的方式顯像出來。本論文貢獻如下所述，首先，本論文將此套裸視立體顯像操控架構實現出來，為往後的生醫研究者提供了一個應用例可供參考或套用。第二，本論文將此操控程式的輸出畫面結合裸視 3D，提供使用者一個嶄新的立體視覺效果，跳脫出傳統的 2D 畫面。第三，除了據有深度資訊的裸視 3D 模型外，此應用例程式還有另外建立對應的平面虛擬 3D 模型，使用者能夠依據上述的操作功能，將兩種影像同時做仔細的檢查與比對，增加使用者對建立模型的三維空間結構和排列情形更加了解。

關鍵字：裸視 3D、柱狀透鏡、立體顯像

A Realization of Manipulation on Real-time Naked-eye 3D Vision Based on Lenticular Lenses

Student: Tse-Ming Huang

Advisor: Dr. Sheng-Fuu Lin

Institute of Electrical Control Engineering
National Chiao Tung University

ABSTRACT

3D stereoscopic technology has been developing vigorously in recent years. Especially in movie entertainment, 3D stereoscopic technology is a trend. We usually need to wear a pair of 3D glasses when we watch the screen. However, after wearing for a long time, we often feel uncomfortable. Besides, in the diagnosis of cancer for patients, doctors often use their hands directly to press the diseased part of human body such as neck. If the diagnosis of cancer can operate with a 3D structure model around the diseased part, doctors and patients will understand the disease easily. Besides, academic literatures for constructing 3D model are usually limited in 3D virtual environment rather than 3D stereoscopy. In view of above, we realize a manipulation on real-time naked-eye 3D vision program based on lenticular lenses and use the program as an application example. In this program, we construct two virtual 3D objects, and we can control these objects doing arbitrary angle rotation in three dimensional space, intercepting their contours and separating the objects individually.

The contributions of this paper could be summarized as follows. First, in this paper, we realize the manipulation on real-time naked-eye 3D vision program, and we use the program as an application example for future biomedical researchers to refer or apply. Second, in this paper, we combine naked-eye 3D vision with the output of the program, providing users with a new three dimensional visual effect rather than traditional two dimension vision. Third, in addition to constructing naked-eye 3D models owning depth information, we also construct the corresponding 2D models in this program. Therefore, with operating the interface's functions described in above ,

users are able to carefully examine and compare the two kinds of models at the same time. Then, the users will more understand the 3D space structure of the models.

Keyword: Naked-eye 3D, Lenticular Lenses, Three-dimensional Vision

誌謝

首先要以最誠摯的謝意，感謝我的指導教授林昇甫博士，感謝他在研究上的啟迪與指導，以及細心校閱本論文的謬誤之處。同時也要感謝本實驗室的學長詹哥、爆肝、阿清、阿牛、大雄、佳興和國育；一起同甘共苦的同學阿達、勁成和御筆以及學弟們，由於他們熱心的協助與討論，使得研究過程中的困境能夠迎刃而解。還要感謝我的女友配紅，與我從研究所開始一路互相扶持、共同追求進步、一起成長。

最後要感謝我親愛的父母和哥哥，感謝他們的養育之恩以及在我求學生涯中給我最大的鼓勵與支持，使我得以在精神與生活上無後顧之憂，順利完成學業。

目錄

中文摘要.....	i
英文摘要.....	ii
誌謝.....	iv
目錄.....	v
表目錄.....	vii
圖目錄.....	viii
第一章 緒論.....	1
1.1 相關研究.....	3
1.1.1 歷史背景.....	3
1.1.2 應用層面.....	7
1.2 研究動機.....	8
1.3 論文貢獻.....	10
1.4 論文架構.....	11
第二章 相關知識及理論.....	12
2.1 人體雙眼立體視覺.....	12
2.1.1 立體視覺的成因.....	12
2.1.2 深度感生成形式.....	16
2.1.3 雙眼畫面的深度資訊.....	19
2.2 左右眼畫面差異輸出.....	20
2.2.1 明暗眼鏡.....	21
2.2.2 紅藍(綠)眼鏡.....	22
2.2.3 色碼眼鏡.....	23
2.2.4 偏光眼鏡.....	24
2.2.5 快門眼鏡.....	28
2.3 多視角(視點)影像輸出	29
2.3.1 視差屏障式.....	30
2.3.2 柱狀透鏡式.....	32
2.3.3 指向光源式.....	33
2.4 其它 3D 成像技術.....	34
2.4.1 頭盔 3D 顯示器.....	34
2.4.2 全息攝影.....	35
2.4.3 體積式 3D 技術.....	37
2.4.4 多平面式 3D 技術.....	37

2.5 柱狀透鏡式裸視 3D 技術與原理.....	38
第三章 柱狀透鏡式之即時裸視立體顯像操控程式.....	43
3.1 系統架構與設計.....	46
3.1.1 系統設計概述.....	46
3.1.2 OpenGL 與 DirectX.....	48
3.2 基於 MATLAB 之即時裸視立體顯像操控程式	49
3.2.1 程式設計.....	50
3.2.2 動態連結程式庫.....	54
3.3 基於 C 語言之即時裸視立體顯像操控程式	55
3.4 幾何基礎多視角影像合成系統.....	58
3.5 裸視 3D 硬體輸出端.....	60
第四章 裸視立體顯像之實現與討論.....	61
4.1 系統實現結果.....	61
4.1.1 基於 MATLAB 之即時裸視立體顯像操控程式	61
4.1.2 基於 C 語言之即時裸視立體顯像操控程式	68
4.1.3 幾何基礎多視角影像合成系統與硬體輸出端.....	71
4.2 視角測試設計與討論.....	75
4.3 立體顯像操控實現討論.....	93
第五章 結論與未來發展.....	95
參考文獻.....	97

表 目 錄

表 4.1 3D 影像的尺度。	76
表 4.2 垂直 0° 各位置點(定點)裸視 3D 觀察效果。	78
表 4.3 垂直上下 0° 至 30° 各位置(區域範圍)裸視 3D 觀察效果。	78
表 4.4 垂直上下 30° 各位置點(定點)裸視 3D 觀察效果。	79
表 4.5 垂直上下 30° 至 45° 各位置(區域範圍)裸視 3D 觀察效果。	79
表 4.6 垂直上下 30° 45° 各位置(定點)裸視 3D 觀察效果。	80
表 4.7 垂直上下 45° 至 60° 各位置(區域範圍)裸視 3D 觀察效果。	80
表 4.8 垂直上下 60° 各位置(定點)裸視 3D 觀察效果。	81
表 4.9 垂直上下 60° 至 90° 各位置(區域範圍)裸視 3D 觀察效果。	81

圖 目 錄

圖 1.1 3D 顯示技術統整圖。	2
圖 1.2 達文西所繪雙眼視覺圖	3
圖 1.3 恩波里所繪雙眼視差圖。	4
圖 1.4 惠斯通立體鏡。(a)裝置實體圖 (b)裝置示意圖。	4
圖 1.5 布魯斯特立體鏡。(a)裝置實體圖 (b)裝置示意圖。	5
圖 1.6 第一張左右眼視覺照片圖。	6
圖 2.1 3D 顯示技術依輸出原理分類圖。	13
圖 2.2 雙眼視覺與視角示意圖。	14
圖 2.3 視差示意圖。	14
圖 2.4 運動視差的原理示意圖。(a)朝向人眼的月亮(前景)和太陽(後景) (b)人向右移動 (c)人向左移動 (d)遠景物定位。	15
圖 2.5 交錯視差示意圖。	17
圖 2.6 零視差示意圖。	17
圖 2.7 非交錯視差示意圖。	18
圖 2.8 極線平面示意圖。	19
圖 2.9 明暗眼鏡。	21
圖 2.10 紅藍眼鏡。	22
圖 2.11 紅綠眼鏡。	22
圖 2.12 紅藍眼鏡影像畫面。	22
圖 2.13 色碼眼鏡。	23
圖 2.14 色碼眼鏡影像畫面。	23
圖 2.15 光波通過垂直偏光膜示意圖。	24
圖 2.16 光波通過線型偏光眼鏡示意圖。	25
圖 2.17 線型偏光眼鏡。	25
圖 2.18 液晶顯示器影像通過線型偏光眼鏡示意圖。	26
圖 2.19 液晶顯示器影像通過環型偏光眼鏡示意圖。	27
圖 2.20 環型偏光眼鏡。	27
圖 2.21 快門眼鏡。	28
圖 2.22 快門眼鏡成像原理示意圖。	29
圖 2.23 視差屏障式成像原理示意圖。	30
圖 2.24 視差屏障式 2D 和 3D 互相轉換示意圖。	31
圖 2.25 柱狀透鏡式成像原理示意圖。	32
圖 2.26 指向光源式成像原理示意圖。	33
圖 2.27 頭盔顯示器。	34
圖 2.28 魔術 Pepper's ghost 效果示意圖。(a)左方房間開燈 (b)左方房間關燈 (c)左方房間燈由亮變暗。	35

圖 2.29 頭盔顯示器。	37
圖 2.30 兩個視角(two-view)視覺區域圖。	38
圖 2.31 五個視角(five-view)。(a)視覺區域圖 (b)拍攝示意圖。	40
圖 2.32 觀賞者距離位置與 3D 顯像效果關係示意圖。	41
圖 3.1 影像基礎 3D 畫面製作流程。(a)多張視差影像合成法 (b)DIBR 法。	
	44
圖 3.2 幾何基礎 3D 畫面製作流程。	45
圖 3.3 系統架構與流程圖。	47
圖 3.4 OpenGL 與 DirectX 分類示意圖。	48
圖 3.5 第一部分系統流程圖。	49
圖 3.6 基於 MATLAB 之即時互動式多功能操控介面設計圖。	50
圖 3.7 虛擬 3D 模型圖。(a)兩組虛擬 3D 模型 (b)一組頸部虛擬模型。	51
圖 3.8 DLL 檔結構流程圖。	56
圖 3.9 第二部分系統流程圖。	57
圖 3.10 基於 C 語言之即時互動式多功能操控介面圖。	58
圖 3.11 第三部分系統流程圖。	60
圖 3.12 幾何基礎多視角影像彩現流程圖。	60
圖 3.13 第四部分系統流程圖。	61
圖 4.1 基於 MATLAB 測試介面執行後初始畫面。	62
圖 4.2 基於 MATLAB 創建的模型。(a)第一組 (b)第二組 (c)頸部。	62
圖 4.3 橫切面輪廓圖(level 值為 60)。(a)第一組 (b)第二組 (c)頸部。	63
圖 4.4 橫切面輪廓圖(level 值為 90)。(a)第一組 (b)第二組 (c)頸部。	64
圖 4.5 三個物件個別單一分離圖。(a)(b)(c)第一組 (d)(e)(f)第二組 (g)(h)(i)頸部。	65
圖 4.6 三個物件全部分離圖。(a)第一組 (b)第二組 (c)頸部。	66
圖 4.7 三個物件個別單一旋轉圖。(a)第一組 (b)第二組 (c)頸部。	66
圖 4.8 三個物件同時旋轉圖。(a)第一組 (b)第二組 (c)頸部。	67
圖 4.9 基於 C 語言創建的模型。(a)第一組 (b)第二組 (c)頸部。	68
圖 4.10 橫切面輪廓圖。(a)第一組 (b)第二組 (c)頸部。	69
圖 4.11 三個物件全部分離圖。(a)第一組 (b)第二組 (c)頸部。	69
圖 4.12 三個物件個別單一分離圖。(a)(b)(c)第一組 (d)(e)(f)第二組 (g)(h)(i)頸部。	70
圖 4.13 三個物件同時旋轉圖。(a)第一組 (b)第二組 (c)頸部。	71
圖 4.14 三個物件個別單一旋轉圖。(a)第一組 (b)第二組 (c)頸部。	71
圖 4.15 驅動程式設定圖。(a)效能設定 (b)路徑設定。	72
圖 4.16 即時轉換九個不同視角圖。(a)第一組 (b)第二組 (c)頸部。	72
圖 4.17 合成後的多視角畫面圖(整體)。(a)第一組 (b)第二組 (c)頸部。	73
圖 4.18 合成後的多視角畫面圖(物件分離後)。(a)第一組 (b)第二組 (c)頸部。	

圖 4.19 可拆卸式柱狀透鏡光柵組裝圖。(a)光柵固定架 (b)可拆卸柱狀透鏡光柵 (c)光柵上的柱狀條紋 (d)光柵與螢幕接合 (e)整體完成圖。.	74
圖 4.20 視角測試觀察點三維空間定點位置設置圖.....	75
圖 4.21 實驗測試水平面各定點位置圖。(a)第一組 50cm (b)第一組 100cm (c)第一組 150cm (d)第一組 200cm (e)第二組 50cm (f)第二組 100cm (g)第二組 150cm (h)第二組 200cm (i)頸部 50cm (j)頸部 100cm (k)頸部 150cm (l)頸部 200cm。	82
圖 4.22 實驗測試螢幕左向角度 30° 各定點位置圖。(a)第一組 50cm (b)第一組 100cm (c)第一組 150cm (d)第一組 200cm (e)第二組 50cm (f)第二組 100cm (g) 第二組 150cm (h)第二組 200cm (i)頸部 50cm (j)頸部 100cm (k)頸部 150cm (l)頸部 200cm。	83
圖 4.23 實驗測試螢幕左向角度 45° 各定點位置圖。(a)第一組 50cm (b)第一組 100cm (c)第一組 150cm (d)第一組 200cm (e)第二組 50cm (f)第二組 100cm (g) 第二組 150cm (h)第二組 200cm (i)頸部 50cm (j)頸部 100cm (k)頸部 150cm (l)頸部 200cm。	84
圖 4.24 實驗測試螢幕左向角度 60° 各定點位置圖。(a)第一組 50cm (b)第一組 100cm (c)第一組 150cm (d)第一組 200cm (e)第二組 50cm (f)第二組 100cm (g) 第二組 150cm (h)第二組 200cm (i)頸部 50cm (j)頸部 100cm (k)頸部 150cm (l)頸部 200cm。	85
圖 4.25 實驗測試螢幕上方角度 30° 各定點位置圖。(a)第一組 50cm (b)第一組 100cm (c)第一組 150cm (d)第一組 200cm (e)第二組 50cm (f)第二組 100cm (g) 第二組 150cm (h)第二組 200cm (i)頸部 50cm (j)頸部 100cm (k)頸部 150cm (l)頸部 200cm。	86
圖 4.26 實驗測試螢幕上方角度 45° 各定點位置圖。(a)第一組 50cm (b)第一組 100cm (c)第一組 150cm (d)第一組 200cm (e)第二組 50cm (f)第二組 100cm (g) 第二組 150cm (h)第二組 200cm (i)頸部 50cm (j)頸部 100cm (k)頸部 150cm (l)頸部 200cm。	87
圖 4.27 實驗測試螢幕上方角度 60° 各定點位置圖。(a)第一組 50cm (b)第一組 100cm (c)第一組 150cm (d)第一組 200cm (e)第二組 50cm (f)第二組 100cm (g) 第二組 150cm (h)第二組 200cm (i)頸部 50cm (j)頸部 100cm (k)頸部 150cm (l)頸部 200cm。	88
圖 4.28 本論文系統裸視 3D 顯像效果圖(與螢幕距離皆為 50cm~200cm 且垂直上下 0° 至 90°)。(a)螢幕左向 0° 至 15° (b)螢幕左向 15° 至 30°(圖以(a)為基準順時針轉動 30° 以方便觀看) (c)螢幕左向 30° 至 45°(圖以(a)為基準順時針轉動 30° 以方便觀看) (d)螢幕左向 45° 至 60°(圖以(a)為基準順時針轉動 60° 以方便觀看) (e)螢幕左向 60° 至 90° 。	90

第一章

緒論

回顧人類通訊與資訊傳播的發展歷史紀錄，史前人類曾在洞窟裡留下壁畫，經歷歷史學家研究過後，我們知道人類在西元前一萬七千年就會用顏料繪畫來紀錄信仰與生活了。後來，西元前3500年左右，定居在現今伊拉克南部美索不達米亞平原的蘇美爾人，發明了世界上最早的象形文字。為了加速人類對資訊的傳遞與歷史的紀載，人類需要更直觀且易明瞭的方式來紀錄大量的史實和資訊，於是人類於通訊領域做不斷的發明與創新。西元1897年，映像管顯示器(CRT映像管電視)正式問世，將以往靜態文字傳播的模式，轉為動態影音的傳播形式，為人類生活帶來重大改變。從此以後，資訊以大量傳遞的形式，並將文字難以形容的事物，轉為能夠以輕易、迅速傳播且較為完整的動態資訊，打破了空間的藩籬，連接了時空的斷點，因而映像管顯示器可說是帶來第一波資訊革命。然而自從CRT映像管電視發明以後，經歷了黑白電視(black white TV)、彩色電視(color TV)，一直到高畫質電視(high definition TV)，人類對於視覺上的饗宴做了一次又一次的革新，但是平面顯示器能提供的資訊和畫面滿足不了人類的欲望，於是近幾年來3D顯示器，開始蓬勃發展，各家廠商無不投入大量人力和財力下去做研究，從最早需要戴上配合顯視器的3D眼鏡技術(stereoscopic display system)[1]，到不需要配戴3D眼鏡的裸視3D顯示技術(autostereoscopic display system)[2]，人類一直都在追求著更自然、逼真且與符合我們雙眼所見真實且實際的影像資訊。

本章共分成四節，將3D顯示技術這個領域的發展過程做詳細的介紹。首先，

根據文獻[1] [2] [3]的論述，經統整後以樹狀圖架構方式呈現發展至今的主流 3D 顯示技術，如圖 1.1 所示，白框部分代表各層級分類；黑框代表已經發展出來的技術。然後，1.1 節將介紹 3D 顯示技術的發展情形與經過，1.1.1 節先介紹 3D 顯示技術發展的歷史背景；1.1.2 節則介紹 3D 顯示技術的應用層面與未來發展；1.2 節將說明本論文研究基於柱狀透鏡式之即時裸視 3D 多功能操作介面的動機與目的；1.3 節概述本論文的架構，1.4 節說明本論文之貢獻。

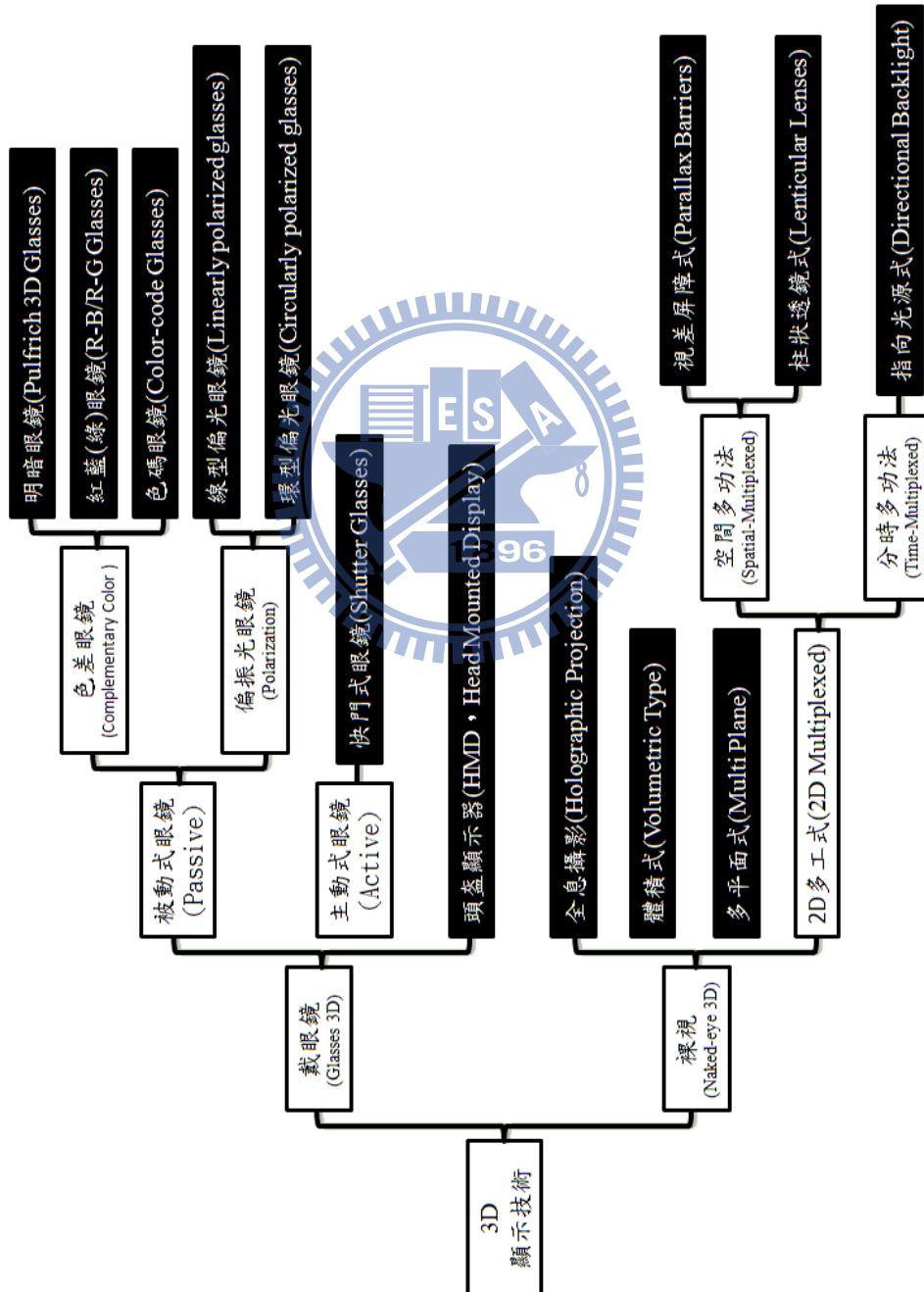


圖 1.1 3D 顯示技術統整圖。

1.1 相關研究

3D 顯示技術從十五世紀發展自今，種類繁多，有許多通用的主流理論，也有許多科學家各自研發的儀器，並有自己的特別技術，這些研究不外乎是把最真實的影像以立體方式再次呈現在世人面前。

1.1.1 歷史背景

3D 一詞英文為 three dimension，即是指三維空間，也就是人類雙眼實際所見的三度空間。3D 起源最早可以追溯到西元前三世紀時的古希臘哲學家，同時也是古典幾何學之父歐基里得(Euclid)，他早在兩千多年前就寫下「To see in relief is to receive by means of each eye the simultaneous impression of two dissimilar images of the same object」這段話[4]，表示出左、右眼看同一物體時，左右兩個畫面不同這個事實。到了西元 1500 年左右，義大利文藝復興時期的天才藝術家兼科學家達文西(Leonardo da Vinci)對於雙眼視覺現象方面的光學研究，如圖 1.2 所示[35]。

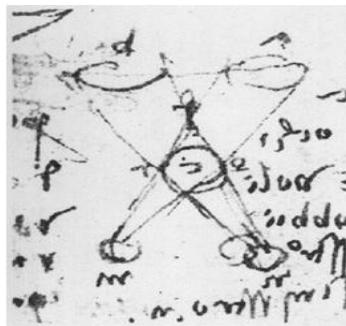


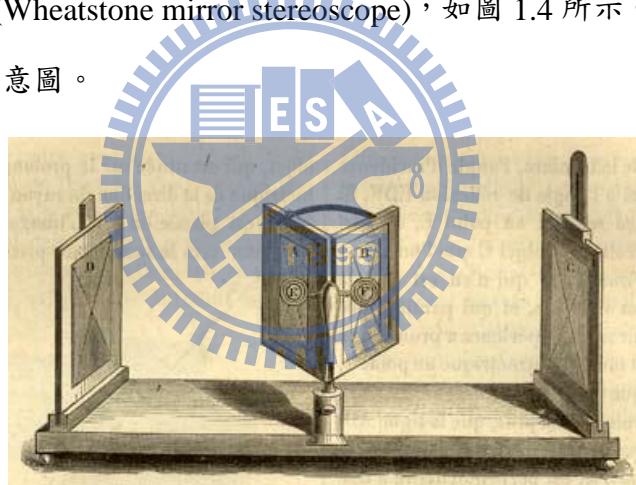
圖 1.2 達文西所繪雙眼視覺圖[35]。

隨後在西元 1600 年，義大利畫家恩波里(J. C. D. Empoli)將人類兩眼所見同一物體的些微差別詳細畫出來，如下頁圖 1.3 所示[36]。當左右眼在同一位置分別看到左右眼對應的圖畫時，此時大腦會自動把兩張圖合成有立體視覺的成像。

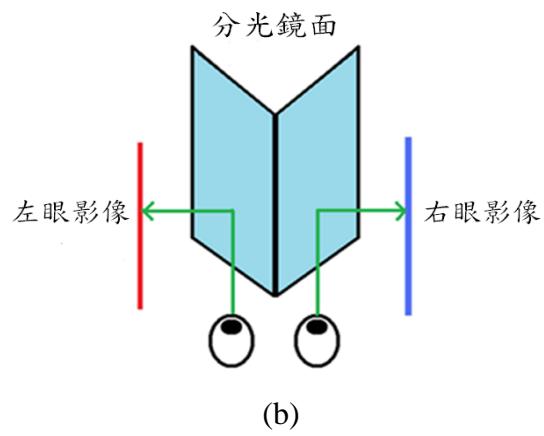


圖 1.3 恩波里所繪之雙眼視差圖[36]。

到了西元 1839 年，英國科學家惠斯通(C. Wheatstone)利用了人類雙眼看同一物體有不同成像的原理，發明可讓雙眼觀看平面圖像產生不同成像的 3D 眼鏡，稱為惠斯通立體鏡(Wheatstone mirror stereoscope)，如圖 1.4 所示。圖 1.4 (b)為圖 1.4 (a)[37]裝置的示意圖。



(a)



(b)

圖 1.4 惠斯通立體鏡。(a) 裝置實體圖[37]；(b) 裝置示意圖。

西元 1952 年，同樣是英國科學家布魯斯特(D. Brewster)發表一篇革新的研究，「如何由雙眼視覺推知距離」。他仔細的研磨兩個曲率、焦距、反射率完全一模一樣的鏡頭，當成立體攝影機的兩個鏡頭，然後將兩個鏡頭的折射光投射到同一張底片上，成功拍出了立體照片。不同顏色的光有不同的折射率，因此三度空間的照片，與一般的照片不同，有不同顏色的光折射後的相位差。當人戴上一種特殊材質的眼鏡，這些相位差在人的視覺上就看出立體的影像，並且將裝置設計出來，如圖 1.5 所示，圖 1.5 (b)為圖 1.5 (a)[38]裝置的示意圖。而他之後又在西元 1849 年製造出第一部簡單功能的立體攝影機。

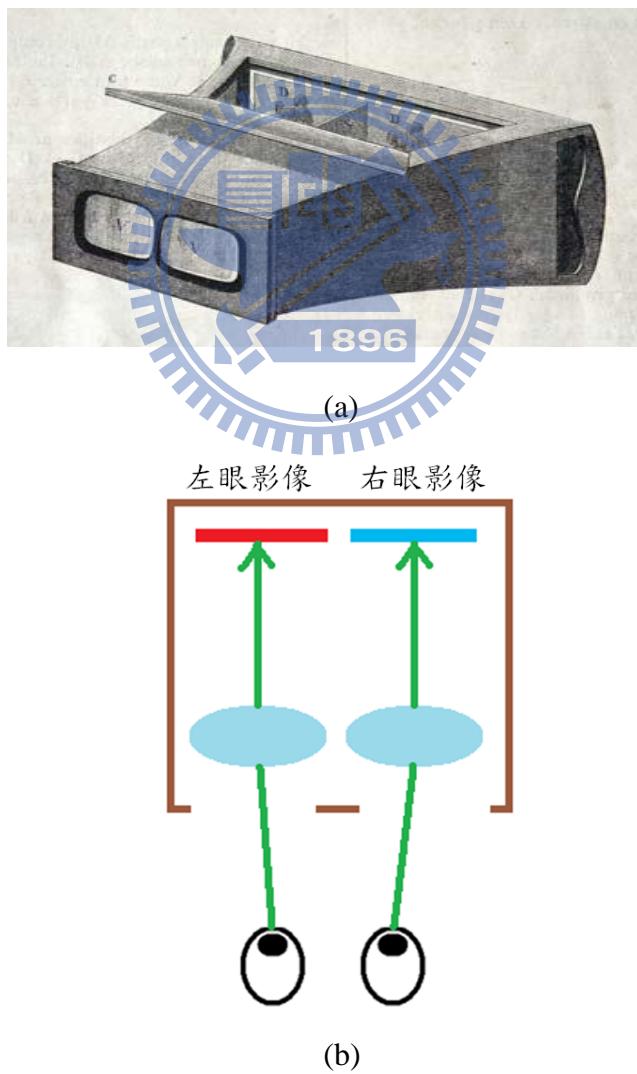


圖 1.5 布魯斯特立體鏡。(a) 裝置實體圖[38]；(b) 裝置示意圖。

西元 1853 年，羅爾曼(W. Rollmann)在德國發明了紅藍眼鏡式(red-blue 3D glasses)立體顯示技術，過了幾年後，西元 1860 年，出現了第一張模擬左右眼視覺的立體照片，如圖 1.6 所示[39]。靜態的 3D 影像或照片經過需多科學家多年研究，到此大致已經有初步的成果和技術了。

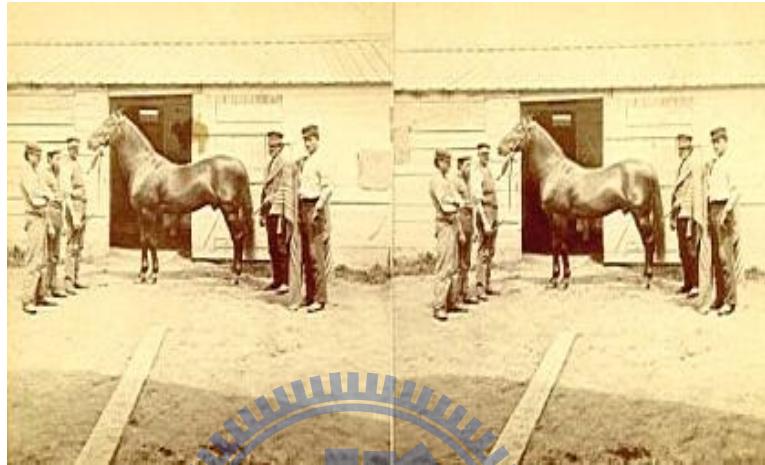


圖 1.6 第一張左右眼視覺照片圖[39]。

二十世紀開始，動態的 3D 影像陸續被科學家研究和發展。西元 1900 年間，美國科學家 F. E. Ives 發明了模仿人類眼睛的高功能立體攝影機，西元 1922 年，導演兼發明家 H. K. Fairall，運用一枚自製的雙鏡頭攝影機，拍攝出史上第一部 3D 電影愛的力量(the power of life)，是一部黑白愛情默劇。當時的觀眾，只要戴上以紅色及藍色鏡片組成的立體眼鏡，便能感受到電影的立體效果。西元 1927 年，德意志立體觀視協會(German society for stereoscopy, GSC)成立於德國柏林，主要致力於研究 3D 影像技術。然後在西元 1932 年，對往後 3D 技術有重大影響的發明問世，美國發明家 E. H. Land 發明了一種物質，可以從普通的光中產生偏振光。這種濾光物質相對地比較便宜，且只讓某一振動方向的光波通過，即是偏振濾光鏡(polaroid filter)。這種濾光物質現在以寶麗來(Polaroid)的商標為人所知。

西元 1950~1980 年間，多部 3D 電影推出於市面上，算是 3D 技術的第一次風潮，但是在 1980~1990 這十年之間，因為礙於 3D 技術始終無法更進一步突破，於是 3D 熱潮開始減弱，到了近十年間，以往視覺娛樂效果已經無法繼續滿足人類的眼睛，於是在電影藝術的流行和潮流帶動下，3D 話題又開始風行，更多的人力物力投入下，3D 顯示技術有了更進一步的發展，西元 2009 年，強調以 3D 特效製作的電影阿凡達(Avatar)推出，更是將 3D 熱潮正式引爆，除了電影外，電視、電腦、遊戲主機和智慧型手機等，無不與 3D 技術當作促銷話題，各大公司推出了一系列 3D 的電子產品，趕搭上 3D 的潮流。

1.1.2 應用層面

3D 影像比以往的 2D 影像更能讓觀眾知道畫面的空間感與距離感，符合我們肉眼真實所見的感覺，一直以來被大量運用在影視產業上，從螢幕跑進跑出的物體能讓觀眾有如身臨其境，娛樂效果十足。近年來，3D 顯示技術的快速發展，3D 不再僅僅拿來取悅觀眾了，3D 技術開始結合教育、生命科學、地理資訊重建、提升醫療手術品質與效率等各層面，應用面愈來愈廣也更多元，以 3D 創新科技開始被業者、學術人員和科學家致力推崇。西元 2010 年 3 月，全球首次 3D Live 手術在比利時 Liège 執行，並和距轉播處 16 公里之外的醫院以現場轉播方式同步撥出，轉播內容為一場腦神經外科手術，由比利時的神經外科權威 D. Martin 教授親自執刀。要完成這場即時轉播極為艱困，首先，所有的攝影器材都必須經過嚴格消毒，轉播工作人員也得像醫護人員般穿上無菌衣；另外，拍攝時都必須與醫療團隊保持至少十公尺的距離，以免因不必要的肢體碰撞造成干擾、提高手術風險。除此之外，3D 即時影像的資料量非常龐大，拍攝團隊還請來比利時知名電腦公司支援並架設網路，才得以順利進行。雖然手術過程中有打開頭蓋骨等血肉模糊的畫面，非一般觀眾所能適應，然而對於醫療專業人員來說，3D

影像如臨手術現場的視覺效果，卻對他們判斷病變位置、瞭解動刀程序，以及學習手術時若遇到大出血或其他緊急情況的應變措施，帶來莫大助益。

3D 影像應用在醫療系統上著實有極大益處，在診療上，醫生透過 3D 影像對病患和家屬做解釋和利弊說明，可讓對人體醫學不熟的病患和家屬對疾病的發生位置和影響範圍更加清楚明瞭，不僅可讓病患有安心的作用，對於可能需開刀的病患家屬，能在更短的時間內做出是否開刀的決定，縮短考慮時間在分秒必爭的疾病上；而在手術中，醫生同步觀看 3D 影像能夠詳細且清楚的觀察病患體內神經纖維束、腫瘤和組織分布的相對位置，不但讓手術前的流程規劃達到事半功倍效果，更能提高手術成功率，也可有效對病患的病情做後續追蹤。3D 影像對於醫學上不僅提升了效率，也能夠大大提升醫療品質。

除了醫療領域之外，3D 影像也廣泛應用在生物科學上的研究。例如台灣國家實驗研究院高速網路與計算中心與清華大學生物科技研究所所長江安世教授以及他的研究團隊合作，發展出突破性的超高解析度、3D 互動的單一神經元果蠅全腦神經網路圖譜，並利用嶄新的 3D 生物影像科技，建構出果蠅腦內部分嗅覺圖譜，發表了「果蠅腦內嗅覺神經網絡地圖」研究，立即得到國際學術界的重視，並刊登於西元 2007 年 3 月頂級的細胞(CELL)科學期刊上[5]，這是我國第一篇獲登於該期刊的研究成果。

1.2 研究動機

由圖 1-1 我們可知，現今的 3D 顯示技術主要可分成戴眼鏡(glasses)3D 和裸視(naked-eye)3D，戴眼鏡 3D 需要配戴對應畫面的 3D 眼鏡或是頭盔顯視器(head mounted display, HMD)[6]來輔助觀看。在戴眼鏡 3D 顯示技術高度發展的今日，已經能滿足許多的需求，像是能夠讓多人共同觀看、3D 比以往更加逼真等，但是當使用者戴上這些 3D 輔助器，使用一段時間後常常感受到各種生理上的不適，例如近視者觀看 3D 電影，除了本身的近視眼鏡外，還需再戴上一副 3D 眼鏡，

易造成鼻梁痠痛以及雙眼乾澀。另外，現今主要的戴眼鏡 3D 技術如偏振光 3D 眼鏡和快門 3D 眼鏡(此兩技術會在第二章裡作詳細介紹)，使用時皆會使畫面亮度降低，觀看者需更聚精會神的觀賞，長時間下來令很多人產生了大大的不適感。除此之外，快門 3D 眼鏡技術搭配的畫面需要短時間內快速閃爍，雖然人體的視覺暫留能克服極快速的閃爍畫面，不過看久了一樣會使人眼產生疲勞。文獻[7]裡指出，市面上可買到或使用到的戴眼鏡 3D 產品，至少有超過百分之十，使用時戴上 3D 輔助器觀賞時會明顯感受到不舒服。於是近年來各家廠商紛紛想改良這個重大的缺點，投入了不需要配戴對應 3D 輔助器的裸視 3D 顯示技術研發。主旨無不在於要創造出貼近人類世界更真實的立體影像，以及減低戴眼鏡 3D 技術帶來的身心不適感影響。

此外，醫學上醫生對病患的診斷也常受醫生在診斷時無法清楚得知病患發病部位詳細情形所困擾，例如醫生在頸部癌症上的診斷。頸部位於頭胸之間，在這狹窄的有限部位通過了肌肉、神經、血管、淋巴管、氣管、食道，還有內分泌腺，包括甲狀腺、副甲狀腺與部分的唾液腺等，有許多的器官與組織。在頸部腫塊中，最常見的就是淋巴結的腫大。淋巴腺腫大又可分為發炎性與腫瘤性，造成良性淋巴腺發炎的原因，大多是感染所造成；病毒性或是結核性頸部淋巴腺炎則大部分檢查數據可能都正常，只能靠手術來證實。而頸部腫瘤可能會病變成癌症，例如唾液腺癌、甲狀腺癌，或是從其他部位所轉移的淋巴腺腫大。時至今日，癌症一直居於國人十大死因之首，不少人偶爾在頸部觸摸到了腫塊就驚慌失措趕緊就醫，以為得到了癌症。在門診中醫生診斷時，常常需要以雙手去按壓病人頸部以及檢視斷層掃描圖，就以推論病患可能的發病情形，但是醫生實際上並無法非常清楚知道頸部內部的病變情形與發病後位置的空間結構，若是我們能提供一個裸視 3D 的顯像操控平台，用來顯示病患頸部某部位的內部組織與器官的空間結構和腫瘤的實際位置，並且可以將此部位由皮膚開始由外而內層層檢視，再配合醫生本身對病患頸部的按壓與檢視斷層掃描圖，將有助於醫生對病情的掌控與了解，實為對醫生的一大助益。

根據以上所述之相關問題，本論文先以 MATLAB 軟體寫出一個虛擬 3D 顯像操控平台，然後再將虛擬 3D 顯像與 MATLAB 的繪圖函式經過轉換再輸入至 C 語言軟體，最後再透過顯示卡內部的圖形驅動程式(graphics driver)將 Microsoft Direct3D API 的幾何向量圖形函式庫與影像資訊彩現(rendering)出具有深度資訊的視差顯像，並以即時(real-time)的方式轉成多視角(multi-view)影像(用以產生裸視 3D 顯像)。接著再合成柱狀透鏡 3D 顯示器的格式，輸出裸視 3D 顯像畫面。此畫面能夠呈現虛擬物體三維空間中任意視角觀看、選擇物體單獨識別功能和橫切面輪廓線功能。替未來生醫方面的影像處理研究者或是生醫研究者提供一個空間感更加直觀的裸視 3D 模型顯像，做更進一步的研究。

1.3 論文貢獻

本論文基於裸視 3D，建構出一個顯像操作應用程式，並實現了一個即時裸視立體顯像操控程式做為應用例，為往後的生醫研究者提供了一個應用例可供參考或套用。此外，本論文將此操控程式的輸出畫面結合裸視 3D，提供使用者一個嶄新的立體視覺效果，跳脫出傳統的 2D 畫面，且實現裸視 3D 的硬體只需一塊可拆卸式柱狀透鏡螢幕套件和對應尺寸的液晶螢幕，裝卸方便又快速。接著，本論文同時建構出平面虛擬 3D 模型(MATLAB 介面中)與裸視 3D 模型的顯像，讓使用者能夠根據此兩個畫面，在其之間做詳細的比對與檢視，增加了相關研究人員對建立模型的三維空間結構和排列情形的了解。

1.4 論文架構

本篇論文章節分為序論、相關理論與研究概況、系統架構流程和實驗模擬與討論，安排如下。第一章簡述本論文的動機與目的，與發展歷史。第二章將介紹此章節影像輸出方式來分類目前市面上常見的 3D 顯示的產品，並再介紹其工作原理以及功能，接著詳細說明本論文所選用的裸視 3D 技術：柱狀透鏡式(lenticular

lenses)的成像原理和主要理論，以便本論文後續討論及發展。然後第三章介紹本論文設計的實驗，主要闡述本論文所設計應用程式，以 MATLAB 軟體為基礎測試平台，並連結 C 程式語言與 Microsoft DirectX，以產生裸視 3D 顯像。第四章本章節將依據第三章所述的連結方式，將 MATLAB 裡的虛擬物體連結至 C 程式語言，再配合 Microsoft DirectX 的輸出，和可拆式 3D 柱狀透鏡螢幕，成功的將虛擬物體以裸視 3D 的方式顯示在電腦螢幕上，最再將實驗結果做完整的討論。最後第五章將針對前章節所述內容做一概括性總結，並說明本論文各項優缺點及探討未來研究與改善方向。



第二章

相關知識及理論

與本篇論文相關的知識以及理論將會在此章節作說明。3D 顯示技術發展至今日已經有諸多理論與技術，由於考慮到本論文第三章與第四章實驗的做法與理論，在這裡不以第一章圖 1.1 的方式來分類，而是將目前主流的 3D 顯示技術以影像輸出方式做一個概括性的分類以利後續的介紹，請見下頁圖 2.1，分別為左右眼畫面差異輸出、多視角(視點)影像輸出和其它 3D 成像技術。

首先，2.1 節會先說明為何人的雙眼會有立體視覺；然後 2.2 節、2.3 節與 2.4 節將分別對左右眼畫面差異輸出、多視角(視點)影像輸出和其它獨有的 3D 成像技術相關產品及其成像技術原理一一的做詳細介紹。接著 2.5 節將會特別更加一步詳盡說明與闡述的本篇論文使用的裸視 3D 顯示技術：柱狀透鏡式(lenticular lenses)的成像原理和主要理論。

2.1 人類雙眼立體視覺

首先本章節先在 2.1.1 節說明立體視覺的成因；2.1.2 節說明深度感的三個形 式；然後再 2.1.3 節將會說明依據雙眼畫面如何得到深度資訊。

2.1.1 立體視覺的成因

人類為什麼看東西會有立體感並且可以感覺到物體與我們距離的遠近？這是

因為我們擁有立體視覺(stereoscopic vision)。我們之所以能感受到立體視覺，是因為人類的雙眼是橫向並排的，之間大約相距 5 公分~7 公分，因此左眼所看到的影像與右眼所看到的影像會有一個相對應的視角 θ (viewing angle)，如圖 2.2 所示

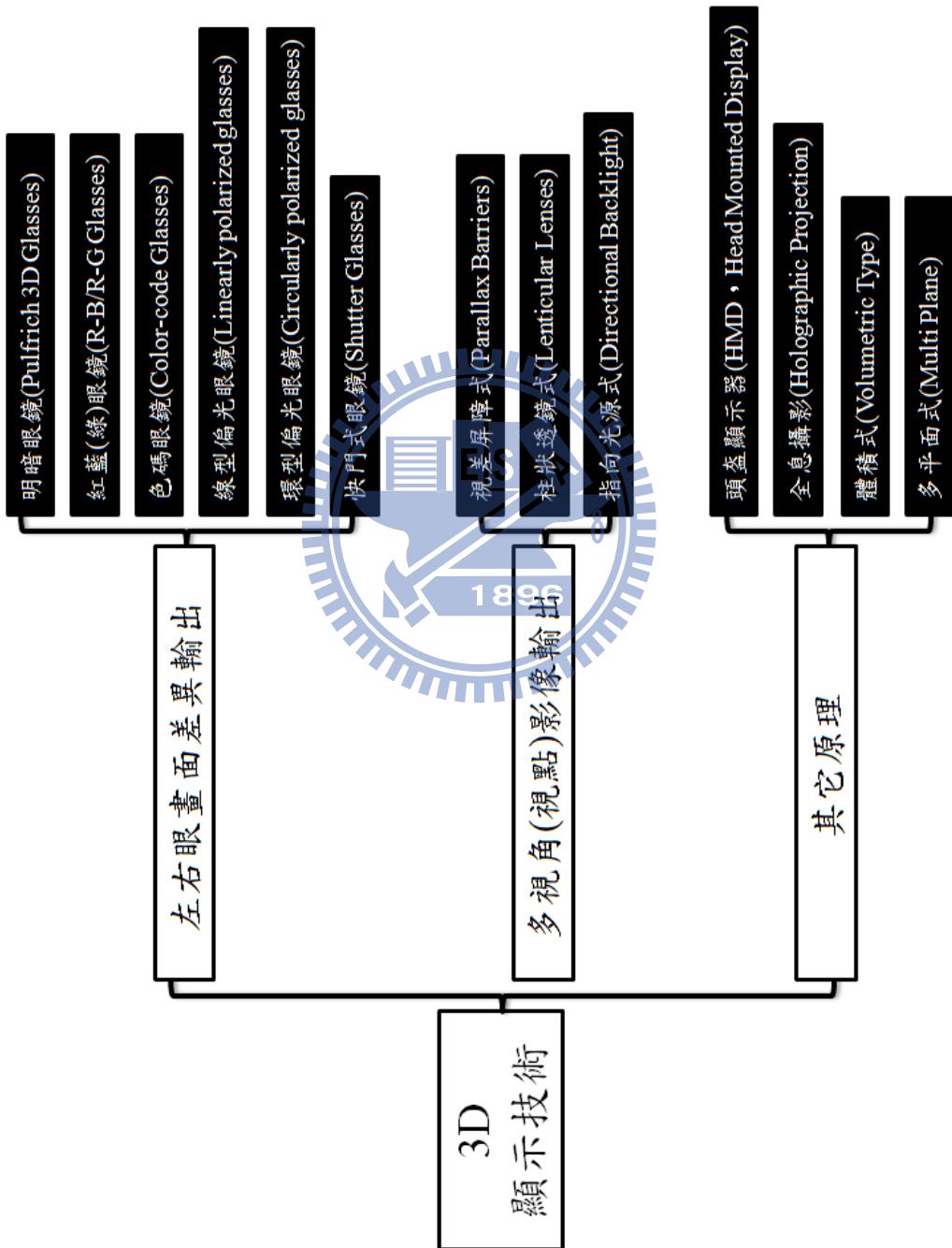


圖 2.1 3D 顯示技術依輸出原理分類圖。

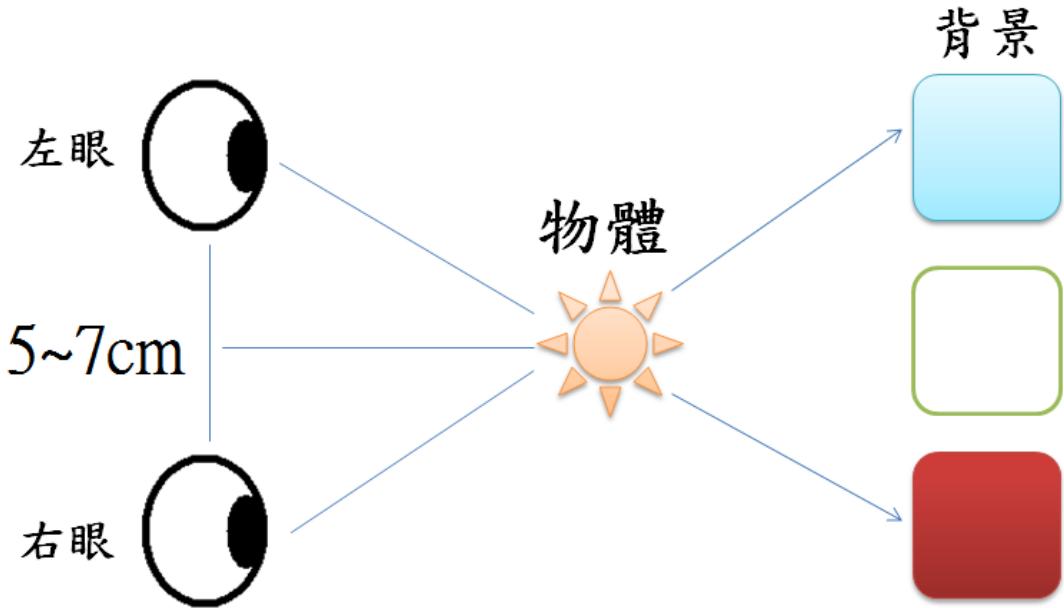


圖 2.2 雙眼視覺與視角示意圖。

這個視角 θ 會造成我們兩眼看到的同一物體有些微的差異，左眼看到的物體左側面多些，右眼看到的物體右側面多些，這個差異被稱為雙眼視差(binocular parallax)[8]，如圖2.3視差示意圖所示。1896



圖 2.3 視差示意圖。

人類視網膜的基本機能和照相攝影的原理相類似[9]，在我們的視網膜上面密密麻麻地分布了上下左右二維的視神經細胞因此能夠感知左右兩眼所看同一物體的這一點點些微差別。所以三維空間的物體，藉由其反射的光線進入到人類眼睛的視網膜表面，在兩側視網膜上各形成一個彼此對稱，但同時完整的略有差別的影像。此影像訊息經中樞整合後，再經過大腦的判斷與合成，便能夠知道物體的存在與形狀，並產生了有厚度的一個物體的立體視覺。這就是人類擁有立體視覺原理。雙眼視覺可擴大視野，增強判斷物體大小、距離的準確性；而單眼視覺就缺少了距離感(深度資訊)，雖然有時因物體陰影、光線反射等原因，也可產生立體感，但是仍不夠確實，立體感沒有雙眼視覺來的好。

除了上述的原理外，人類雙眼產生的立體視覺的原因也會因為觀察者與被觀察物之間的相對位置改變時，兩者之間的相對位置與相互關係隨之改變所影響。此原理稱為運動視差(motion parallax)[10][11][12]，下面圖2.4 (a) (b) (c) (d)分別介紹運動視差的基本原理。

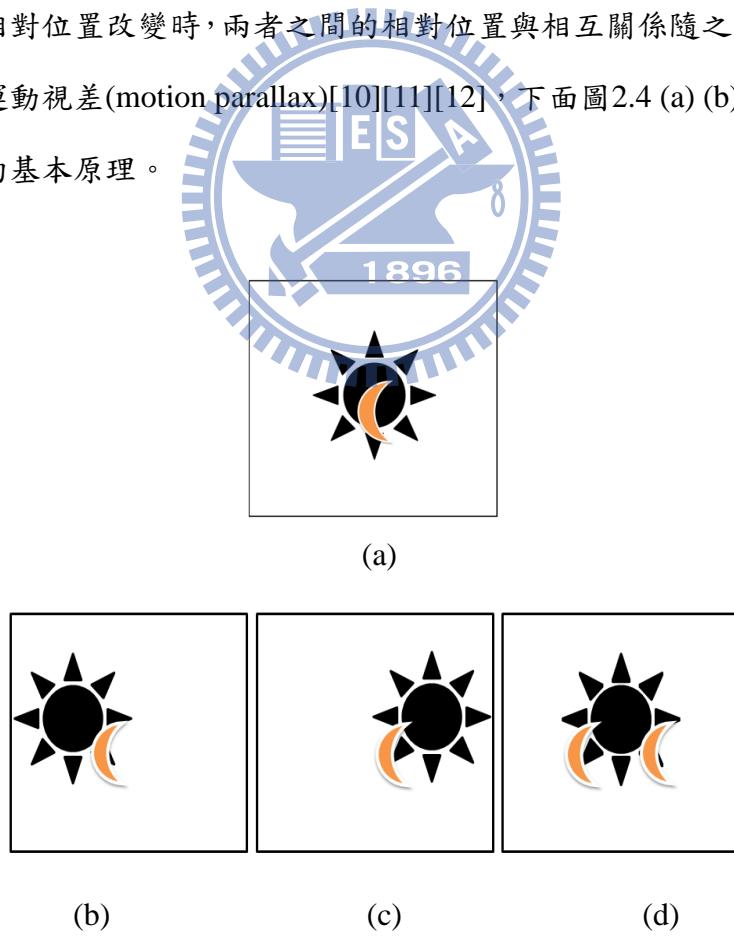


圖 2.4 運動視差的原理示意圖。(a) 朝向人眼的月亮(前景)和太陽(後景);(b) 人向右移動;(c) 人向左移動;(d) 遠景物定位。

首先圖2.4(a)表示人體靜止時觀看月亮(前景)和太陽(後景)的關係圖；當我們身體稍微向右移動時，月亮和太陽的相對位置在此時發生了變化，如圖2.4(b)所示；當我們身體稍微向左移動時，月亮和太陽的相對位置發生了與身體右移相反的變化，如圖2.4(c)所示。如果現在我們身體往某方向快速移動，並將視點定位在遠方景物太陽上面，會發現前方近物月亮會有晃動的並且模糊情形，此種視覺上的效果就是運動視差，如圖2.4(d)所示之月亮晃動情形。例如當我們搭車時，注視著遠方的某一座山，眼角餘光可以看到近方物體都變成一連串模糊的線條。

當然人類雙眼產生立體視覺的原因不僅僅只是上述兩個原因，以下各點皆是讓人類感覺到視覺立體因素：

1. 所有被觀察物體之間三度空間中的排列配置及組合。
2. 觀看遠方物體之間的大小比例(contrast ratio)，也可以從比例的變化情形來判斷物體的距離與深度。
3. 從被觀察物表面因光照產生的陰影變化和明暗情形等也可以感受到物體三度空間的立體程度。
4. 每個人天生對立體圖形的感受度不同。
5. 長時間經驗的累積也會影響人類腦中判斷物體立體的程度。



2.1.2 深度感生成形式

基本上，我們人類的眼睛觀看景物可概分為遠、中、近三個層次，因此，我們的眼球會隨著景物的遠近而自動調整到一個最舒服的視角 θ 來觀看，當兩個眼睛各自有其不同的位置與角度時，自然就會產生視差了。而這個視差依眼睛觀看遠、中、近程景物的不同也會影響人類觀看物體的立體感，其兩眼視線的變化又可以分為：交錯視差(crossed-parallax)、零視差(zero-parallax)與非交錯視差(uncrossed-parallax)，以下介紹這三種形式的差別。

1. 交錯視差:兩眼焦點視線在背景前有交叉的情況(亦即兩眼觀看近距離的物體)，其影像將會呈現在背景前的焦點上，如圖2.5所示。

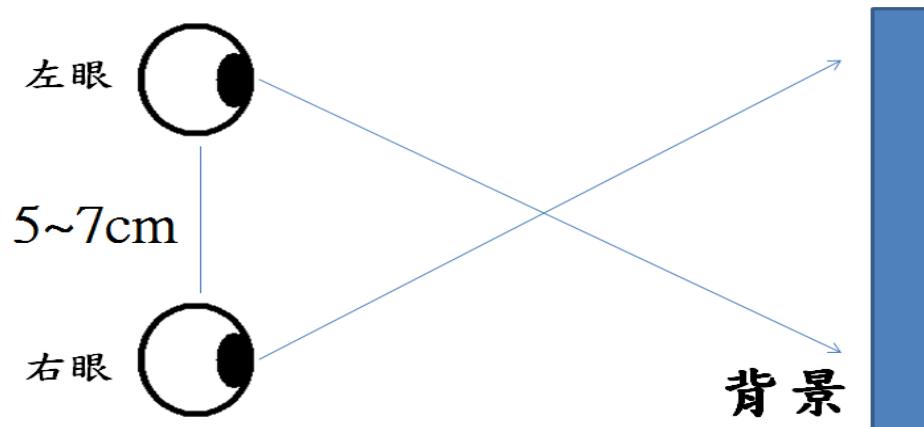


圖 2.5 交錯視差示意圖。

以人體雙眼相距平均6公分為例，若是觀看物體與雙眼中心距離10公分，視角 θ 為：

$$\theta = 2 \times \tan^{-1} \left(\frac{3}{10} \right) = 2 \times 16.7^\circ = 33.4^\circ \quad (2.1)$$

2. 零視差:兩眼焦點視線的交叉點落在背景上(亦即兩眼觀看中距離的物體)，則其影像將會呈現在背景上，如圖2.6所示。

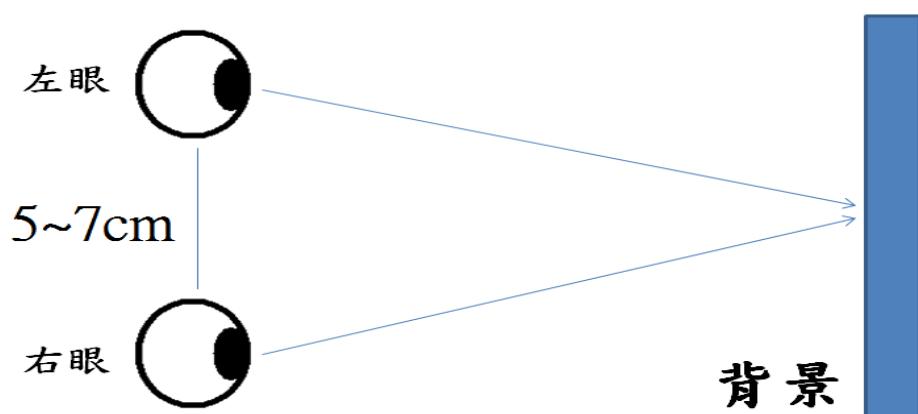
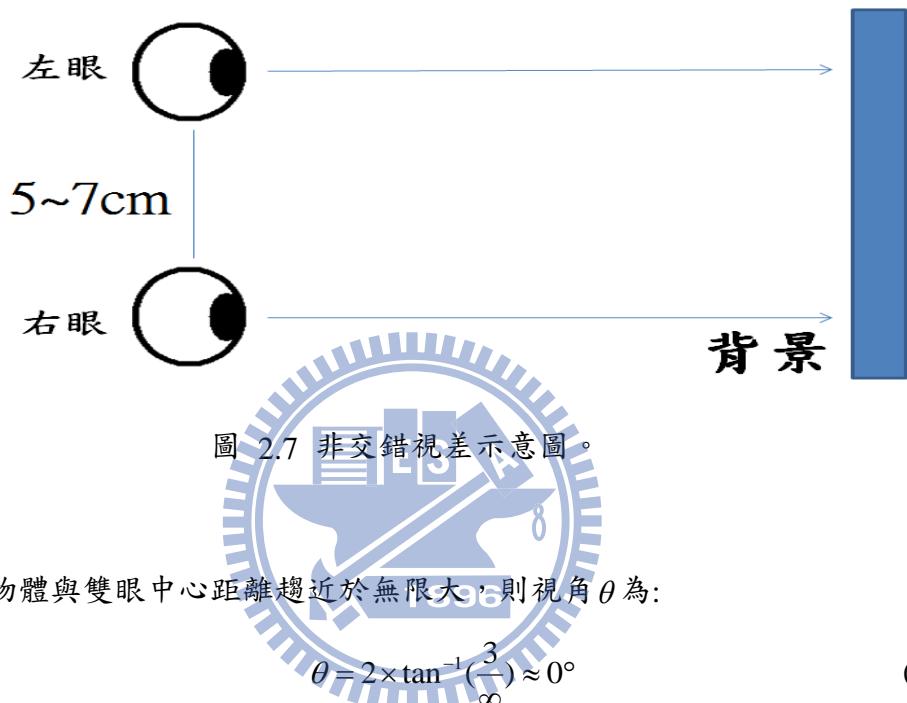


圖 2.6 零視差示意圖。

若是觀看物體與雙眼中心距離 10 公尺，則視角 θ 為：

$$\theta = 2 \times \tan^{-1}\left(\frac{3}{1000}\right) = 2 \times 0.17^\circ = 0.34^\circ \quad (2.2)$$

3. 非交錯視差：兩眼焦點視線在背景前沒有任何交叉情況(亦即兩眼觀看遠方的物體)，其影像將會呈現在背景後，如圖2.7所示。



若是觀看物體與雙眼中心距離趨近於無限大時，則視角 θ 為：

$$\theta = 2 \times \tan^{-1}\left(\frac{3}{\infty}\right) \approx 0^\circ \quad (2.3)$$

上述的這三種產生視差的方式，將會使影像產生不同的立體效果，也會使我們產生不同的遠近感。由公式 2.1~2.3 我們可知，觀看越近的物體，雙眼的視角就越大，視差也越大，我們就越能分辨出物體的大小與距離，甚至是物體詳細的形狀外觀；但是當觀看物體與雙眼中心距離趨近於無限大時，雙眼視角趨近於零，就是非交錯視差，雙眼視差消失，人類大腦無法感知此資訊，我們人類就無法產生立體感與遠近感，所以會判斷不出來物體離我們的遠近。例如當夜晚我們同時觀賞月亮與台北 101 大樓時，會覺得月亮好像一個扁平的圓而且就掛在台北 101 大樓的旁邊，這是因為月球距離地球的平均距離為三十八萬公里，非常的遙遠，我們雙眼的視角在觀看月球時趨近於零度，才會覺得離我們很遠的月球不是一個球體只是一個平面圓，且與離我們不遠的台北 101 大樓距離感覺相同。

2.1.3 雙眼畫面的深度資訊

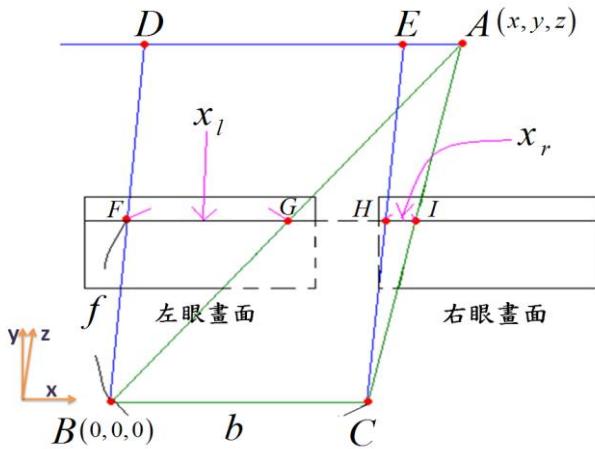


圖 2.8 極線平面示意圖。

根據文獻[13][14]所述，我們將雙眼注目在物體上的相交點與雙眼眼球的焦點連線可以構成一個三角平面，稱為極線平面(epipolar)，如圖 2.8 所表示。左右眼畫面的平面資訊以 x 軸和 y 軸表示；視覺深度資訊以 z 軸表示。座標系統的原點設在 B 點，A 點的座標為 (x, y, z) 。假設物體位於雙眼的右前方，點 A 為雙目注視在物體上的交點；點 B 與點 C 為眼球內部的焦點；平面 ABC 即為極線平面。現在我們從 A 點開始向左畫一條平行於雙眼焦點連線的平行線，當雙眼直視時會與此條線交於點 D 及點 E，所以 \overline{DE} 平行於 \overline{BC} ，而點 F 和點 H 分別為左眼畫面與 \overline{BD} 的交點以及右眼畫面與 \overline{CE} 的交點，於是：

$$\Delta BFG \approx \Delta BDA \quad (2.4)$$

$$\Delta CHI \approx \Delta CEA \quad (2.5)$$

可以得到：

$$\frac{x}{z} = \frac{x_l}{f} \quad (2.6)$$

我們並且假設兩眼球焦點連線 \overline{BC} 的距離為 b ；還有 $\overline{BF} = f$ ，同公式 2.6 可推出：

$$\frac{x-b}{z} = \frac{x_r}{f} \quad (2.7)$$

將公式 2.6 與 2.7 解連立方程式可得到視覺深度 z 為：

$$z = \frac{bf}{x_l - x_r} \quad (2.8)$$

當然，我們人體對 z 值只是一個距離的感覺，不可能清楚知道 z 值大小，但是在設計 3D 顯示器使用規格上，畫面輸出後的最佳觀看距離是一個重要的參考值。

2.2 左右眼畫面差異輸出

從 3D 顯示技術開始發展自今，發明出了許多觀看 3D 的方式與產品，有許多產品 3D 效果不甚理想，或是製作困難，只適合實驗中使用，很快的就不再被世人所沿用，但是也有很多技術流傳下來了，不外乎是因為材料取得與製作方式容易，3D 效果優良。本章節主要是介紹立體成像原理為左右眼畫面差異輸出的各種產品。左右眼畫面差異輸出的意思就是讓兩眼在同一張影像上看到兩眼各自的差異影像，也就是讓我們在一張影像上看到擁有視差的畫面，造成立體感。而這方法又分成兩種，第一種方式是視差畫面同時顯現在一張影像上，並讓兩眼同時看到，然後靠著 3D 輔助器(意即 3D 眼鏡)來過濾左右眼畫面，讓兩眼能看到各自的影像；第二種方式是在極短的時間(小於人眼視覺暫留時間)內輪流輸出左右眼畫面，也是配合 3D 眼鏡讓左右眼輪流看到各自對應的影像，靠左右眼畫面差異達成 3D 立體成像。產品主要有下列這幾種，並且分別以各小節來介紹。依據第一種方式成像的有：2.2.1 節：明暗眼鏡(pulfrich 3D glasses)；2.2.2 節：紅藍(綠)

眼鏡(red-blue/red-green 3D glasses)；2.2.3 節：色碼眼鏡(color-code 3D glasses)；
2.2.4 節：偏光眼鏡(polarized 3D glasses)。依據第二種方式成像的有：2.2.5 節：快門
式眼鏡(shutter 3D glasses)。

2.2.1 明暗眼鏡

眼鏡實物如下圖2.9所示，其原理在西元1922年德國天文學家C. Pulfrich觀察直線來回運動與雙眼聚焦的關係時發現。明暗眼鏡是由一片深色鏡片及一片透明鏡片組成的，是因為人眼在亮度不同(明亮與黑暗)的情況下，對於動態的判斷時間會有差異。經由透過明暗眼鏡讓左右眼接收的亮度不同，就能產生視差，進一步產生3D的效果。此種方式最大的好處當然就是不需要眼鏡之外任何特別的器材跟影片，不過明暗眼鏡效果要在動態的東西上才能完全顯現出來，例如電影或是遊戲之類據有動態的畫面。當觀賞動態影像時，能讓任何2D畫面變成3D影片。但對停止不動的圖片是沒有任何效用的，且3D效果還是沒有真正的3D影片來的好。



圖 2.9 明暗眼鏡。

2.2.2 紅藍(綠)眼鏡

眼鏡實物分別如下圖2.10和圖2.11所示。最早問世的紅藍(綠)眼鏡是採用紅色與藍色(或紅色與綠色)濾色片構成的3D眼鏡，眼鏡本身的成本很低，其觀賞影像製作的方式可利用兩台攝相機，在平面上拍攝影像，拍出一模一樣，但位置略有差異的紅色以及藍(綠)色物體。利用一眼為紅，另一眼為藍(綠)的眼鏡觀看。紅色濾片會濾掉紅色，因此會看到藍(綠)色物體的影像；而藍(綠)色濾片會濾掉藍(綠)色的影像，因而看到紅色物體的影像。模擬出左眼的視線以及右眼的視線，創造出雙眼視差，因此產生立體影像。最早期的3D電影多採用此方式[16]，然後再讓觀看者配戴紅藍3D眼鏡來觀看。畫面影像如圖2.12所示[40]。

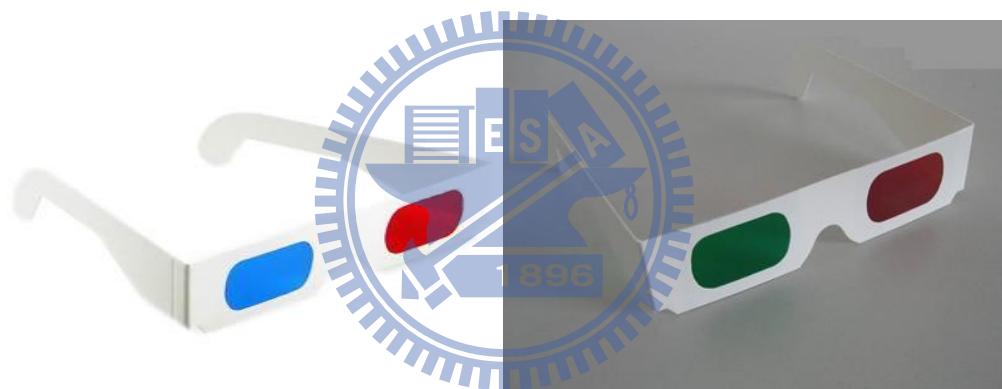


圖 2.10 紅藍眼鏡。

圖 2.11 紅綠眼鏡。



圖 2.12 紅藍眼鏡影像畫面[40]。

2.2.3 色碼眼鏡

眼鏡實物如圖 2.13 所示，眼鏡畫面如圖 2.14 所示。色碼眼鏡是由紅藍眼鏡改良而來的[15]，由於紅藍濾色片式 3D 眼鏡有著無法正確重現原本畫面色彩的缺點，因此後續有廠商推出了改良式紅藍眼鏡，就叫做色碼眼鏡(color-code 3D glasses)。這種 3D 眼鏡是以琥珀色和藍色做為濾色片，琥珀色用於觀看彩色訊息；藍色用於觀看深度資訊，經由人類大腦自動的合成與分析後，我們就可以立體畫面。使用色碼眼鏡觀看影片時的優點為畫面色彩繪失真較小，視覺上面比較自然舒適，但是也帶來了立體效果不明顯的缺點。不過即使觀賞者不戴上眼鏡直接觀看，也可以看到清晰悅目的 2D 影像，失真非常小，這也是此系統在技術上可與其它 3D 系統競爭的優勢之一。

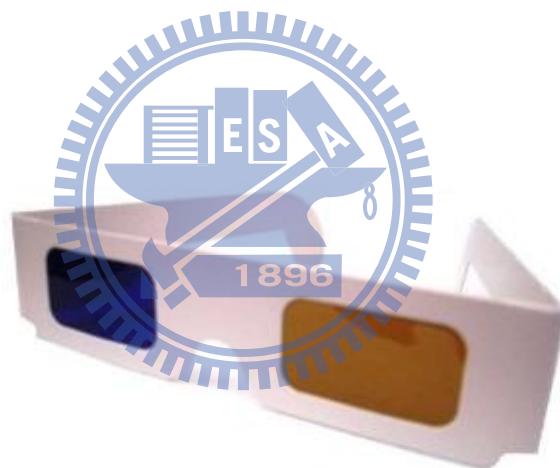


圖 2.13 色碼眼鏡。



圖 2.14 色碼眼鏡影像畫面。

2.2.4 偏光眼鏡

偏光眼鏡[1][3]又可以分成雙投影法(double projection)[17]、線型偏光法(linearly polarized)與環型偏光法(circularly polarized glasses)。近年的3D電影多半採用此種偏光方式來呈現。不過此種方式必須使用特殊的投影機或是螢幕等顯示設備才能呈現，無法適用於平面印刷媒體或是一般顯示設備。

1. 雙投影法：

雙投影法是偏光眼鏡早期的技術，原理為使用兩台投影機，一台放映左眼的影像，一台放映右眼的影像，投射在同一片螢幕上，投影時，兩台投影機的鏡頭上都加上不同極性的偏光鏡片(垂直、水平)，觀賞者也必需戴上對應的偏光眼鏡，此種方法需要兩套投影設備，成本實在過於高昂，因此一直無法普及。

2. 線型偏光法：

線型偏光法是從雙投影法延伸而來，經過改良後給液晶顯示器用的。因為液晶顯示器無法像雙投影的螢幕般，同時在同一位置上發出不同偏振方向的光，但是科技始終來至人性，因此的聰明的工程師就將腦筋動到了液晶顯視器的偏光膜上。光波通過垂直偏光膜如圖2.15所示。

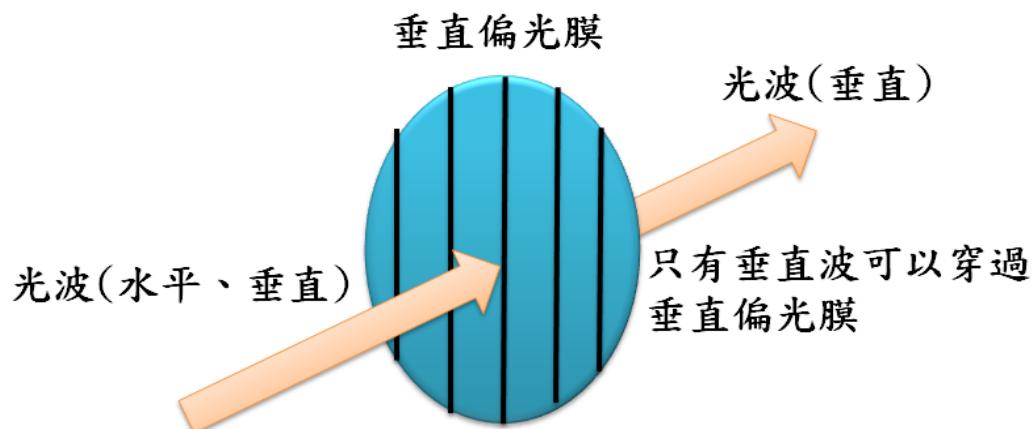


圖 2.15 光波通過垂直偏光膜示意圖。

工程師將液晶顯示器的奇數行掃描線和偶數行掃描線設計成擁有不同的偏光方向，並且巧妙地設計液晶顯示器上偏光膜前後兩片偏光片的極性，來改變顯示器發光的偏極性，再搭配上偏光眼鏡，使偏光眼鏡上的偏光片極性正確的配合顯示器，就可以讓左右眼各自只看得到一半的掃描線，而另一半的掃描線看起來則是黑的。在這樣的設計下，把左眼的影像放在奇數的掃描線上顯示；而把右眼的影像放在偶數的掃描線上顯示，就可以觀賞到立體影像了。而這種偏光眼鏡我們稱它為被動式眼鏡(passive 3D glasses)。圖2.16為線型偏光原理示意圖；圖2.17為線型偏光眼鏡實物。

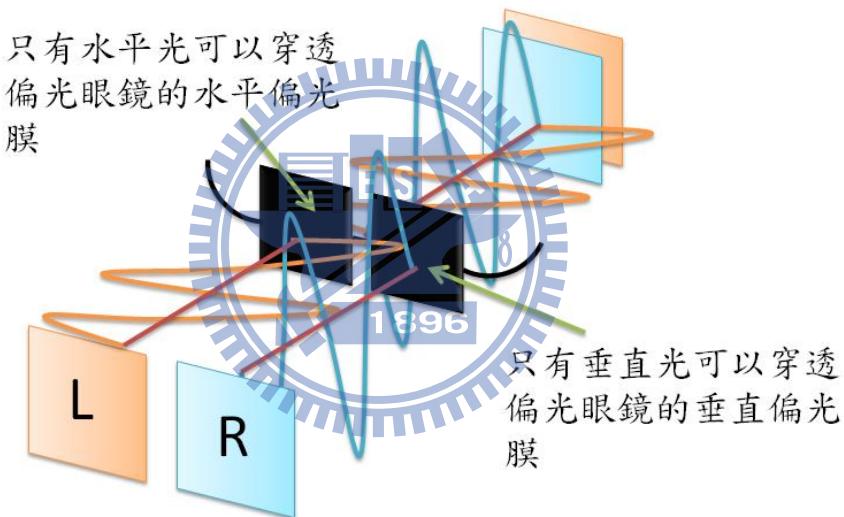


圖 2.16 光波通過線型偏光眼鏡示意圖。



圖 2.17 線型偏光眼鏡。

如圖2.18所示，在液晶顯示器上，可使用兩片重疊的液晶面板各自顯示垂直與水平偏光畫面，此方式的成本較高；或者是在顯視器螢幕表面配置奇偶交錯排列的垂直與水平偏光片，各利用一半像素顯示垂直與水平偏光畫面，此方式的成本較低，不過垂直或水平解析度會減半。此外線型偏光片只會過濾光線的方向，而不會像濾色片那樣過濾光線的顏色，因此我們可以完整保留畫面的色彩。

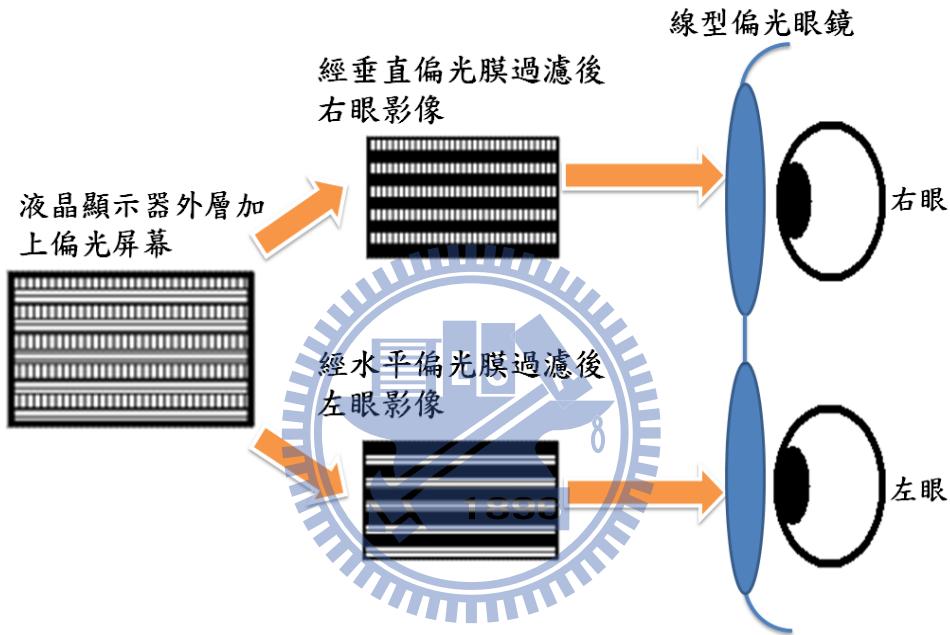


圖 2.18 液晶顯示器影像通過線型偏光眼鏡示意圖。

3. 環型偏光法：

環型偏光法也稱圓型偏光法，原理與線型偏光法一樣，差別在於影像畫面投射出來的線型偏光經環型偏光濾鏡板改變了偏振方向而已。如圖 2.19 所示，一開始液晶顯示器底層的 LCD panel 分別投射出左右眼畫面的線型偏振光，然後經過一層延遲偏振片(3D retardation filter)過濾後將線型偏振光分別濾成左圓偏光(逆時針)與右圓偏光(順時針)，再透過配合的環型偏光 3D 眼鏡接收左右眼不同旋轉方向的偏光後就可以看到 3D 影像了。

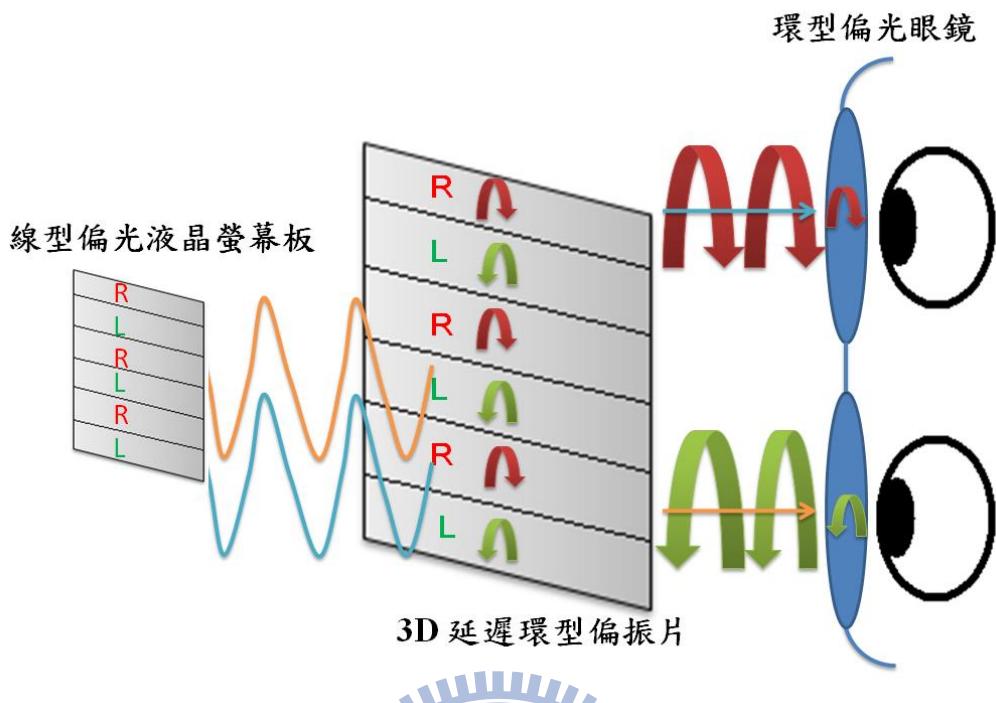


圖 2.19 液晶顯示器影像通過環型偏光眼鏡示意圖。

線型偏光 3D 眼鏡的立體視覺效果比環型偏光 3D 眼鏡明顯，但觀看過程中線型偏光 3D 眼鏡限制在一定角度內觀賞，且不宜進行轉頭晃頭等頭部運動；環型偏光 3D 眼鏡對頭部晃動限制就比較小，觀看角度比線型偏光法還要廣，此外環形偏光片跟線型偏光片一樣也只會過濾光線的方向，而不會像濾色片那樣過濾光線的顏色，我們也能夠完整保留畫面的彩度與明亮度。環型偏光眼鏡實物如圖 2.20 所示。



圖 2.20 環型偏光眼鏡。

2.2.5 快門眼鏡

快門眼鏡實物如圖 2.21 所示。快門式眼鏡的立體成效需要搭配畫面切換法才能顯現出效果，原理是將影像畫面分割成奇數畫面和偶數畫面配合左眼和右眼，交替顯示左右眼所需要的影像，並透過遠方主機端的無線發射器來控制眼鏡本身的液晶開關，同時讓觀賞者所佩戴的眼鏡配合所顯示的影像做開關的動作，來達到和畫面同步的目的，如圖 2.22 所示。當顯示左眼的影像時，眼鏡左開右關；當顯示右眼的影像時，眼鏡右開左關，只要切換的速度夠快，因為視覺暫留的關係，左右眼都可以看到各自的影像而不會有閃爍的感覺產生。而要達到讓人感覺不到閃爍，3D 眼鏡刷新的頻率必須保證在 60Hz 以上，同時顯示器畫面的切換速度也必須和 3D 眼鏡的切換速度相同，對於顯示器來說，刷新率最少則要達到 120Hz。當影像分別傳遞到大腦後，經過大腦的判別，就會形成具有深度感的立體影像。畫面切換法所使用的眼鏡必需要能接受遠方主機端的即時控制，因此所用的快門式眼鏡又稱為主動式眼鏡(active 3D glasses)。



圖 2.21 快門眼鏡。

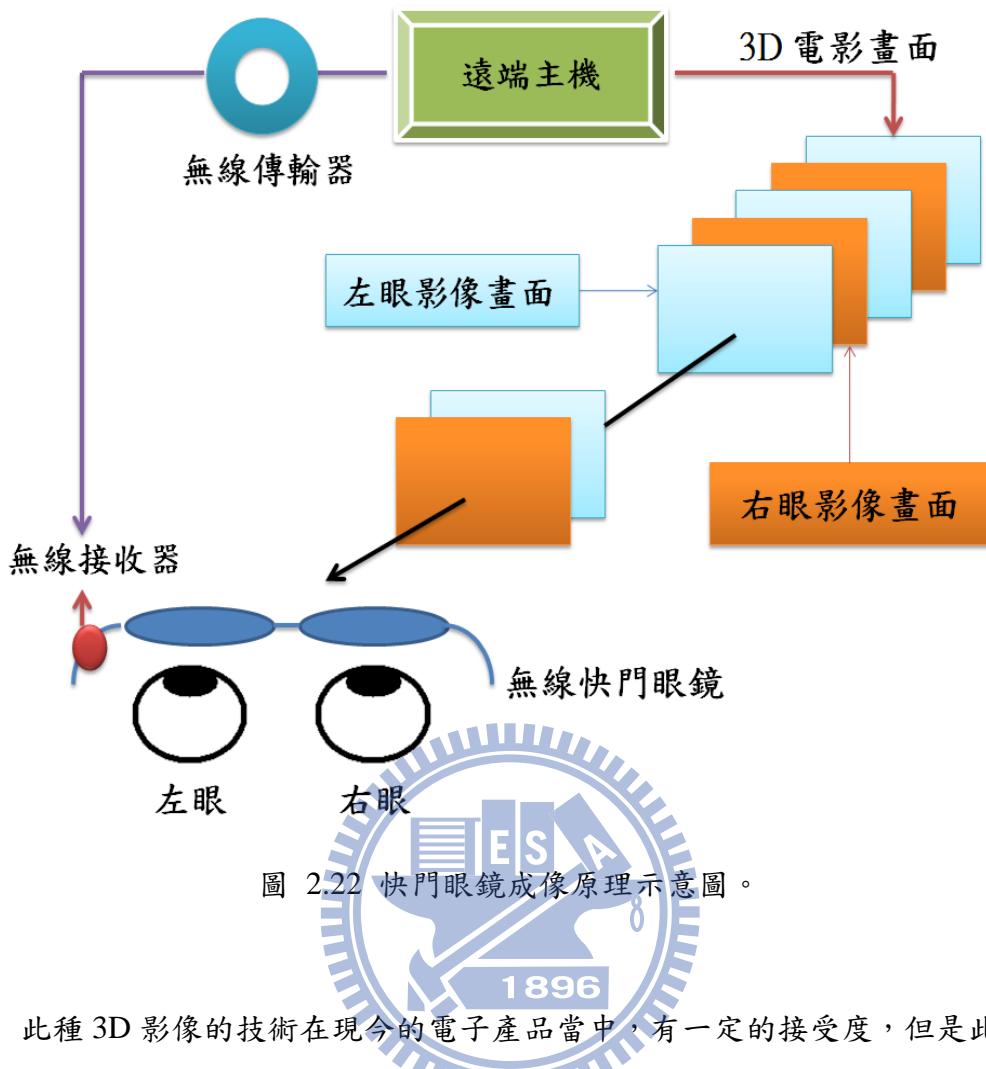


圖 2.22 快門眼鏡成像原理示意圖。

此種 3D 影像的技術在現今的電子產品當中，有一定的接受度，但是此種系統也有許多缺點，例如觀賞畫面觀看時亮度損失太多，因為主動式眼鏡本身的透光率就不夠好，再加上左右眼切換時各自只有全部顯示時間的一半能看到有效的畫面，所以畫面看起來會遠比不戴眼鏡時要暗上許多，長時間容易造成眼睛疲勞或頭暈現象。還有主動式眼鏡造價昂貴且需要提供而外電源也都是使用者需考量的地方。

2.3 多視角(視點)影像輸出

所謂的裸視 3D 顯示技術，是指在不配戴任何輔助器過濾畫面的狀態下以裸眼視覺就能直接觀看到 3D 顯示的效果。基本原理仍舊是讓左右眼觀看不同畫面產生視差來營造立體感，因此必須透過特殊設計的螢幕來達成目標。達成方法需

透過精密的光學計算，並同時控制左右兩眼影像的每個畫素所發出的光線，讓光線只射向空間中計算好的特定位置，進而讓觀賞者在特定的區域範圍時，左眼看到的都是左眼影像、右眼看到的都是右眼的影像。雖然今日發展出來的技術其光學原理或操控方法稍有不同，但是它們都是使用多視角(或多視點)影像來呈現 3D 效果，也就是上面所解釋的。

多視角(或多視點)影像根據光線控制的運作模式，又有許多種不同的方法，目前主要的方法有空間多功式(spatial multiplexed)與分時多功式(time multiplexed)兩大類。空間多功式立體顯示技術是指在同一個螢幕上，以分割顯示區域(空間)同時顯示左右兩眼畫面(多功)來達成3D顯示效果的方式，其主要有兩種主流的技術分別在2.3.1節:視差屏障式(parallax barriers)與2.3.2節：柱狀透鏡式(lenticular lenses)裡探討；而分時多功式立體顯示技術是指在同一個螢幕上，各切割一半時間來交替顯示(分時)左右兩眼畫面(多功)以達成3D顯示效果的方式，因此被稱為分時多功，主要的技術會在2.3.3節：指向光源式(directional backlight)裡做說明。由於裸視3D顯示在技術上仍有許多限制，因此主要用於個人化小型化的顯示用途，如行動電話、數位相機等。

2.3.1 視差屏障式

視差屏障式的原理為運用光的繞射(diffraction)。方式為在原本顯示器螢幕前一小段距離上設置許多細微的縱向直條光柵，亦稱為光柵屏障，阻擋螢幕多視角畫面的光線通過，並控制光線進行的方向，並遮蔽了部分的畫面，且將左眼看到的畫素為設計成只給左眼看的畫面；右眼則只能設計成只讓右眼接收的畫面，由於光柵的存在，左右眼各自被遮蔽到不同的部分，經過光線的繞射後看到不同的畫面，因此讓左右眼有視差產生，造成立體感。原理示意如下頁圖2.23所示。

但是此種技術的缺點是須將畫面分成左眼的畫面與右眼的畫面，因此解析度與畫面亮度都會降低成為原本的一半。此外，能夠觀看的範圍較小，有著觀看距

離、角度與方向的限制，必須在規劃的距離與角度內觀看才能看到完整畫面，而且畫面轉九十度時就會無法呈現立體感。為了改善上述的情形，有廠商研發另外的技術來改善視差屏障式3D顯示螢幕的先天限制，像是採用可開關的液晶薄膜來充當視差屏障，如圖2.24所示，就能透過視差屏障的光柵開關來切換2D與3D顯示模式，視差屏障排列方式也可以製作成水平與垂直兩種方向，配合橫拿與直拿的需求切換[18][19]。

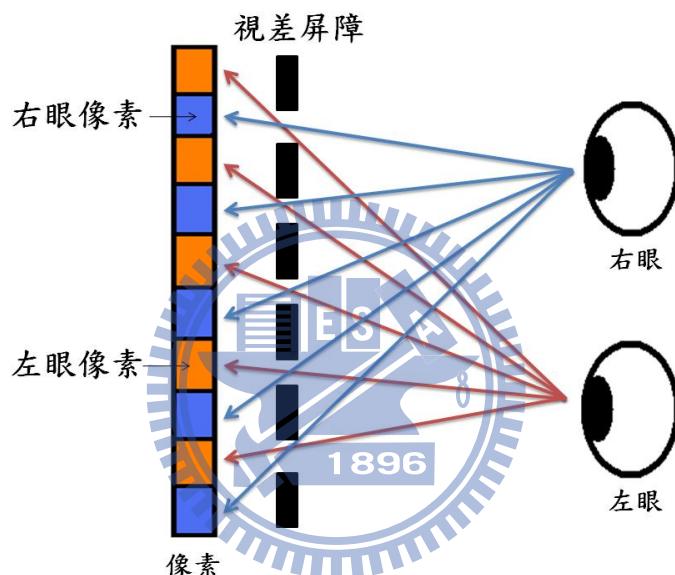


圖 2.23 視差屏障式成像原理示意圖。

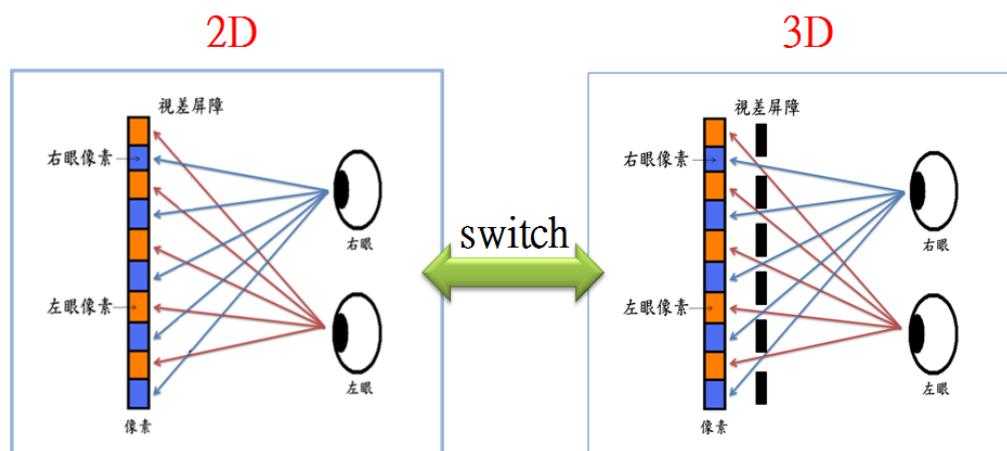


圖 2.24 視差屏障式2D和3D互相轉換示意圖。

2.3.2 柱狀透鏡式

柱狀透鏡式的原理為在螢幕上設置半圓柱狀的凸透鏡薄膜，將它旋轉一個角度後，再緊密貼合在液晶面板上，如圖2.25所示。旋轉一個角度的目的是在消除RGB sub-pixel之間的黑色間隙(black matrix)所產生之干擾紋，再透過透鏡折射角度不同分別讓左眼和右眼看到不同的影像。因光線折射的關係，使得左眼只能夠看到折射至左眼的畫面；右眼只能夠看到折射至右眼的畫面，雙眼看到不同的畫面，造成立體感[20]。此種作法視和視差屏障式最大的差異就在於，柱狀透鏡式的做法因為沒有光柵的阻擋，光穿過透鏡的效率相對高，這也讓此種系統的熱耗能與電耗能可以有效的控制，不至於過高。

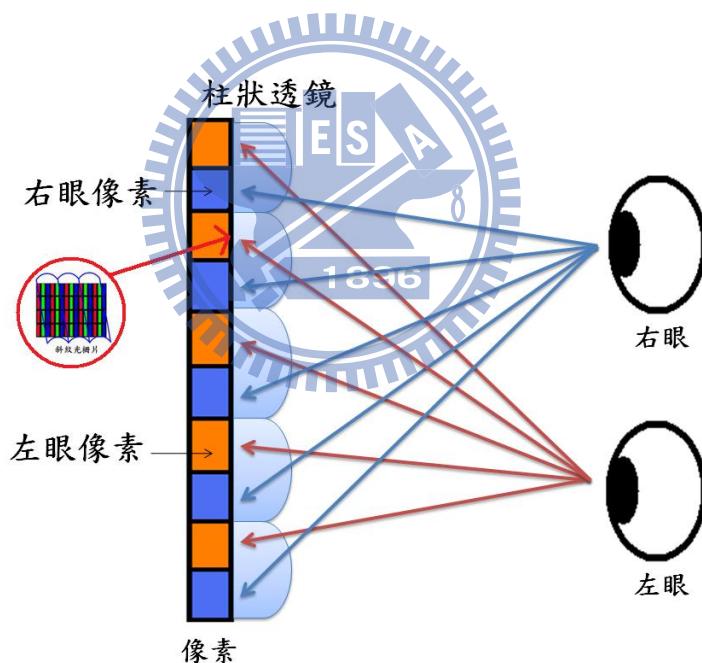


圖 2.25 柱狀透鏡式成像原理示意圖。

此種方式和視差屏障式同樣也會導致畫質的降低。由於透鏡折射角度的關係，從多個角度觀看都能夠產生立體的效果，可視範圍較視差屏障式螢幕大，但若觀看角度太偏則會造成影像重疊的狀況，所以與視差屏障式一樣，觀賞者的方向與距離必須在一定範圍內才能有較好的3D成像。

2.3.3 指向光源式

指向光源式3D顯示[21][22]，是藉由指向性背光膜搭配左右配置的兩組LED背光光源，以高速交替方式分別朝左右眼顯示不同畫面，當螢幕右側的背光光源亮起時，就會透過指向性背光膜發射出朝左眼方向的光線，用來顯示左眼畫面；當左側的背光光源亮起時，就會透過指向性背光膜射出朝右眼方向的光線，用來顯示右眼畫面，經過兩側的光源快速交替投射，就能夠讓雙眼分別接收到動態的畫面，藉此產生雙眼視差並產生立體感，如圖2.26所示。

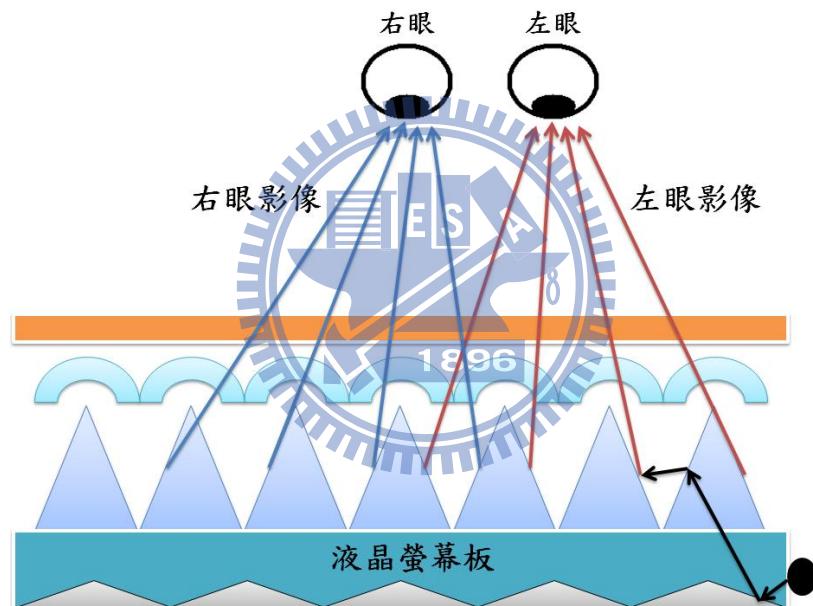


圖 2.26 指向光源式成像原理示意圖。

由於指向光源式3D採用分時多功系統，因此每次都能以顯示器面板的完整解析度來顯示畫面，而且只要左右兩側的背光光源同時亮起，就能切換為2D顯示模式。不過由於左右眼畫面是以指向性的方式顯示，因此只有從螢幕正面觀看時才能看到立體影像，當螢幕旋轉九十度時和視差屏障式一樣亦無法顯示立體影像。

2.4 其它 3D 成像技術

在本章節會介紹其它各門各類的 3D 顯示技術，而它們都有各自的成像原理和特別的技術，其中需靠 3D 輔助器成像的為頭盔顯示器(head mounted display，HMD)會在 2.4.1 節中介紹；裸視 3D 的分別在 2.4.2 節:全息攝影(holographic projection)；2.4.3 節:體積式(volumetric type)；2.4.4 節:多平面式(multi-plane type)中做說明與介紹。

2.4.1 頭盔 3D 顯示器

頭盔顯示器如圖2.27所示[41]，是一種相當精巧的視覺感知器，它利用頭盔將人的對外界的視覺、聽覺封閉起來，讓使用者產生一種身在虛擬環境中的感覺。其原理是將小型的傳統二維顯示器所產生的影像藉用光學系統放大，其所發射的光線在經過凸狀透鏡使影像因折射產生類似遠方效果，利用此效果將近處物體放大至遠處觀賞而使人體產生全像視覺(hologram)的感知[23]。早期的頭配顯示器體積較為龐大且笨重，主要做為飛行員模擬空中軍事作戰或是駕駛飛行器的用途，後來發展至娛樂與商業領域，近十年來，頭配顯示器發展與改良得更為輕巧，漸漸被應用在醫學手術、專業修護所需的輔助影像接收工具方面。



圖 2.27 頭盔顯示器[41]。

2.4.2 全息攝影

全息攝影又稱為3D浮空技術，這項技術是源自於一種魔術：Pepper's ghost光學技術，Pepper's ghost光學技術起源於西元1836年，倫敦Royal Polytechnic Institution的教授J. H. Pepper教授應用了一位英國工程師H. Dircks先生對於一種光學鏡面的特性所提出的概念與想法，結合了類似魔術的劇場效果與當時的投影技術，並在表演舞台上展示了一場驚奇的魔術，內容為一個虛幻像幽靈的鬼影出現在實體的空間中，如圖2.28 (a) (b) (c)所示[42]。

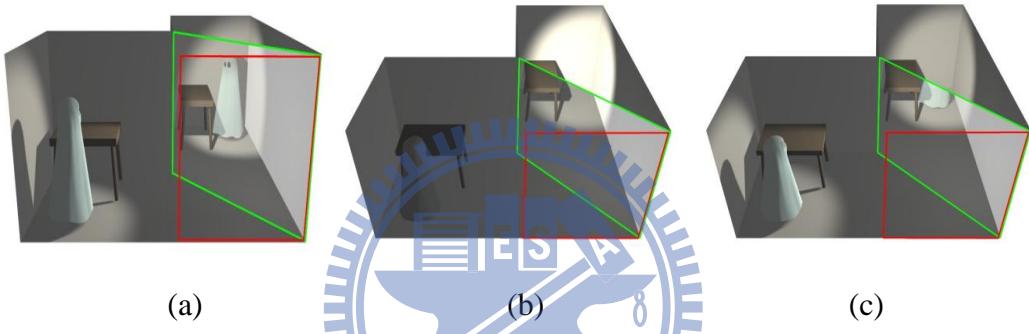


圖 2.28 魔術Pepper's ghost效果示意圖[42]。(a) 左方房間開燈；(b) 左方房間關燈；(c) 左方房間燈由亮變暗。

達到此效果的原理是藉由一種反射率與穿透率各百分之五十的半銀面鏡(half-silvered mirror)或是單面鏡(one-way mirror)，意即正反兩面都是類似鏡面效果的玻璃，並且再加上燈光的控制，能夠在空間中投影出立體的、可穿透式的虛擬影像。如圖2.28(a)所示，右下方平行的框線可讓觀賞者看到右方房間裡面的情形，中間斜向框線放置了半銀面鏡，而左方的房間裡放置真實的人像物體與桌子。當左方房間開啟燈光時，左方房間裡的人像物體與桌子經由半銀面鏡的光學物理效果作用後在右方房間產生了虛擬的人像物體與桌子，而觀賞者就可以在右方房間看到此虛幻的影像。如圖2.28(b)所示，當左方房間關閉燈光時，左方房間裡的人像物體與桌子也就隨之消失不見，因此觀賞者在右方房間裡就看不到任何虛幻

的影像。如圖2.28(c)所示，當左方房間的燈光由亮變暗漸漸調整時，觀賞者可以在右方房間裡看見人像物體與桌子從明顯變成模糊漸漸的消失不見。

而全息攝影經由上述的Pepper's ghost光學原理並經過需多的改良與改進發展而來。發明者為1947年，英國匈牙利裔物理學家G. Dennis[24]，他提出了全息攝影的兩個初步想法，第一是如何得到包含了物體波的振幅和相位的干涉圖，也就是全息圖；第二是如何用參考光源照射全息圖，使物體虛擬成像。由於兩個波是沿同軸傳播的，也稱為同軸全息攝影。但因為此技術需要高干涉性和高強度的參考光源，所以發展程度有限。到了西元1960年，第一台激光器發明，替全息攝影領域解決了長久以來干涉光源太弱的問題，西元1962年美國密西根大學的利E. Leith和J. Upatnieks發明了離軸全息攝影，其中提出的激光全息攝影和光學訊息處理方法，使得全息攝影領域快速進入到實用的階段，並且成為了近年來全息攝影的基礎。全息攝影的本質是一種利用干涉原理的照相技術，當把被攝物體的振幅和相位保留下來做成紀錄膠片，再經過和紀錄膠片擁有相同振幅和相位得雷射激光照射，就可以將紀錄膠片的內容虛擬重建，彷彿物體就在那裡一樣。由於紀錄膠片上任何一部分均紀錄了物體的全部訊息，所以通過不同的方位和角度觀察照片，均可以看到被拍攝的物體的不同的角度影像，因此記錄得到的影像可以使人產生3D視覺。

全息攝影替紀錄影像或訊息帶來了革命性的發展，自西元1962年開始，經過近半世紀的迅速發展，在干涉測量、照相技術、大容量訊息儲存和顯式處理等許多方面得到了廣泛的應用。西元1990年，美國麻省理工學院多媒體實驗室的空間成像小組以全息攝影的視頻技術，並在許多世界知名企業和公司的資助下，有巨大的突破[25]，研發出 $30\text{mm} \times 30\text{mm} \times 30\text{mm}$ 的即時和具有水平視差的3D全息攝影圖，西元1992年又研發出 $150\text{mm} \times 75\text{mm} \times 160\text{mm}$ 且擁有真實色彩的3D全息攝影圖[26]，之後在西元1999年美國底特律的汽車展覽會上，Zebra公司替Ford汽車公司製做了一個體積 $4.9\text{m} \times 1.2\text{m}$ 的真實色彩、大視角(可以任意角度觀賞)和全視差(彎腰看可到圖像的底部，高處可看到頂部)的世界最大全息攝

影圖。全息攝影影像的影視及資訊效果遠超過了傳統的照片和影片，近十年來在電影藝術、藝術表演、廣告宣傳和國防科技上都有大量的運用與發展，有著無窮盡的發展前景，成為當今了一項熱門的技術。

2.4.3 體積式 3D 技術

此技術最先由美國德州儀器公司於西元 2000 左右提出了一種利用鐳射掃描立體影像的顯示技術[27]。主要是利用一個快速旋轉的圓盤，配合由底下投影的鐳射光源，通過鐳射光源投射到快速旋轉的旋轉面時，會產生散射效應，以掃描空間中的每一點。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。構造如圖 2.29 所示[43]。

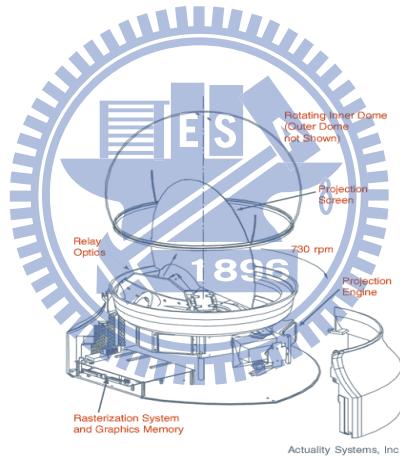


圖 2.29 體積式 3D 顯示技術構造圖[43]。

2.4.4 多平面式 3D 技術

多平面式 3D 顯示技術[28]主要原理為利用一種兩面重疊的液晶面板，在兩個面板顯示大小相同的影響，利用物體和觀賞者之間遠近不同的距離，會有明度及顏色上的差別，進而重疊前後物體影像，使觀賞者在視覺上產生立體感。但是其缺點是前面板的對位困難，且因為此形態的立體 3D 顯示是將兩個 2D 影像重疊，因此只有在特定範圍及方向內觀賞，才會有較佳的立體 3D 效果，其餘的觀賞角度效果均不好。

2.5 柱狀透鏡式裸視 3D 技術與原理

根據 2.3 節的內容，以多視角(或多視點)影像來呈現 3D 效果，根據光線控制的運作模式，有許多種不同的方法，目前主要的方法有空間多功式(spatial multiplexed)與分時多功式(time multiplexed)兩大類。其中空間多功式中包含視差屏障式(2.3.1 節)與柱狀透鏡式(2.3.2)兩種成像類型。本論文主要用到的就是柱狀透鏡式 3D 顯示技術，因此接下來在本章節中，會詳細講解此技術的技術與原理。

柱狀透鏡式 3D 顯像的方法，主要是靠產生出多視角影像畫面再加上柱狀透鏡螢幕的搭配來達成。首先，多視角(multi-view)畫面是從兩個視角(two-view)畫面發展而來，人類利用兩個視角畫面來做出立體效果已經有超過一百年左右的歷史了[29][30]，其中也有視差屏障式和柱狀透鏡式這兩種，這邊我們就只說明柱狀透鏡式，而柱狀透鏡式的兩個視角視覺區域如下圖 2.30 表示。

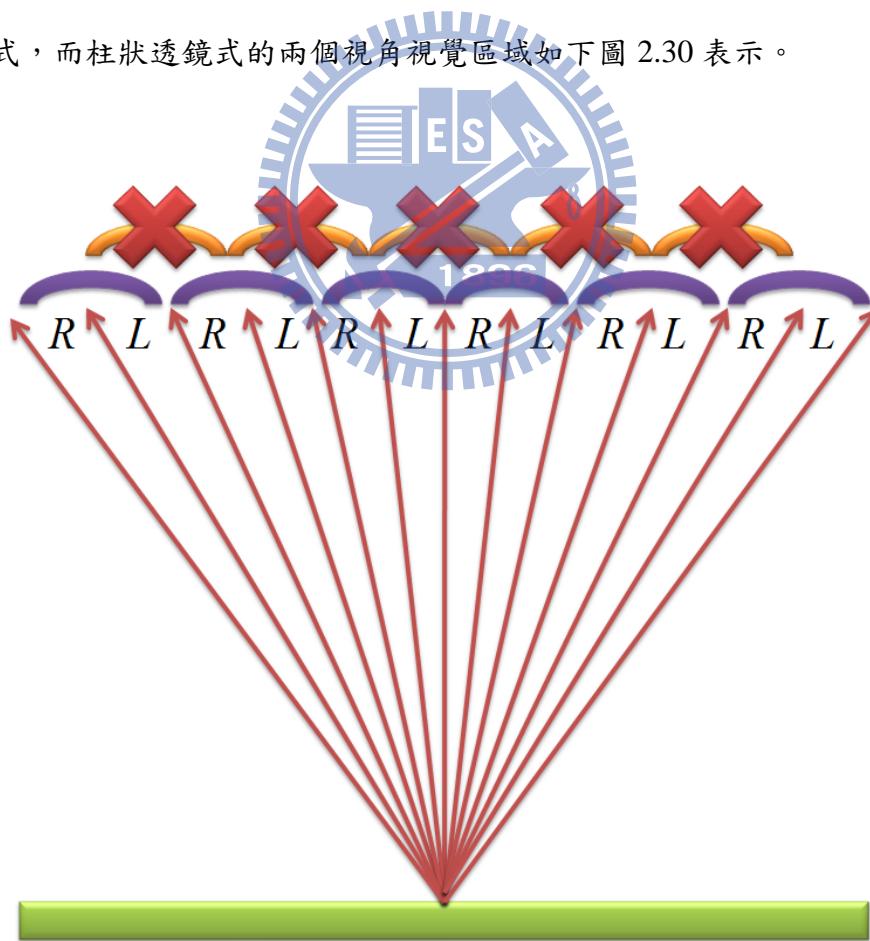


圖 2.30 兩個視角(two-view)視覺區域圖。

圖 2.30 下方的長條代表螢幕，上方則是代表螢幕的正前方，螢幕上其中一個像素發出來的光線，會發射往空間不同的位置，圖 2.30 中 R 和 L 是表示觀察者在此區域看到的分別是右眼(R)和左眼(L)畫面，而的發射狀箭頭，代表 R 和 L 區域中間的間隔。在這樣的情況中如果人眼的右眼位置在 R 區域裡頭；左眼位置在 L 區域裡頭，這樣雙眼剛好各自接收到不同的畫面(如括弧所示)，這樣就可以正常的產生了 3D 視覺效果[31]，而要能達到這樣的狀況，除了和螢幕的距離要在設計的觀賞距離的範圍內以外，和螢幕的相對位置，也是需要調整的。但是如果此時人眼的右眼位置在 L 區域裡頭；左眼位置在 R 區域裡頭，這樣一來右眼看到了左眼畫面；左眼看到了右眼畫面(如打叉的括弧所示)，雙眼接收到相反的畫面，就無法正確的產生立體效果了，並且稱為反立體視點區域(pseudoscopic image viewing position)[2]。此外，我們從圖中也可清楚的知道，在兩個視角系統中，我們只有二分之一的機會看到正確的立體效果，另有二分之一的機會看到不正確的立體效果(反立體視點區域)。

由此可知，我們若要製造出同時具有左右兩眼的畫面，勢必要將螢幕解析度調降成二分之一，間格穿插左右眼的影像，才能製成如此視覺區域的畫面。這也就是為何多視角畫面輸出的方式，畫面解析度都會降低的原因。不過實際上由於螢幕的光源不只一個點，所以左右眼各自的視區實際上不會是像圖 2.30 一樣的扇形，而是根據視角、位置的不同，有更複雜的形狀；同時，在實際狀況中，這些視區也會更小。

如果要解決這種可視範圍區域過少的情形，目前市場上比較普遍的方法，就是在原來只有左右眼的兩個視角，加入更多不同角度的視角，這樣的話，可以正確看到立體效果的區域就會增加。下頁圖 2.31 即表示一個多視角畫面的系統(五個視角系統)，圖中的數字 1 到 5 就是代表由右到左的五個不同視角的影像、數字不同就是代表不同的視角，其攝影機拍攝示意如圖 2.32 所示，若是上面所述之兩個視角(two-view)系統，其攝影機拍攝位置可能只有數字 2 和 4。

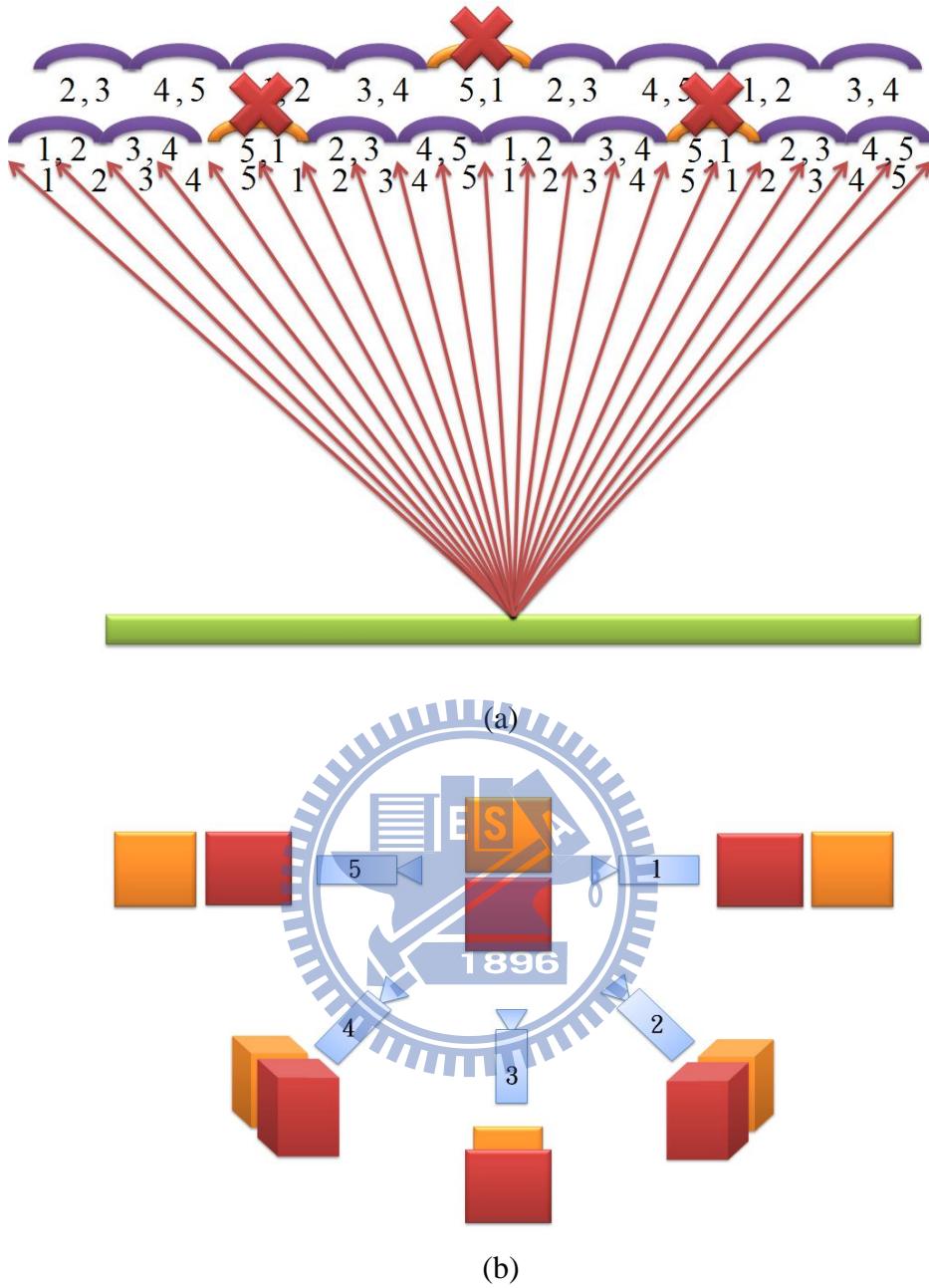


圖 2.31 五個視角(five-view)。 (a) 視覺區域圖；(b) 拍攝示意圖。

由於變成了五個視角，所以只要是順序正確的，例如右眼看到 1 區域左眼看到 2 區域、右眼看到 2 區域左眼看到 3 區域或是右眼看到 3 區域左眼看到 4 區域等，都可以得到正確的立體視覺效果；但是如果右眼看到 5 區域左眼看到 1 區域的話，這樣左右眼看到的視覺區域正好相反，因此無法得到立體視覺效果，是為反立體視點區域。由此可知，我們增加了拍攝時的視角，立體視覺的可視區

域就變大了，但是還是會有幾個少數的角度無法得到正確的立體影像(如圖 2.31 中三個打叉的區域)。同樣的，如同兩個視角系統，當我們將螢幕上其中一個發光源區塊做成五個視角的畫面時，為了在此區塊中放入五個視角的影像，畫面的解析度就會下降成五分之一了，這樣的問題雖然我們可以透過增加面板製造時的解析度來改善，但是效果仍然有限，這也就是多視角畫面輸出技術未來需要改良的地方。

至於多少視角數目(view count)才能滿足需要，兩個、四個、九個或是十六個視角數目？這是要根據所使用 3D 平台(如裸眼 3D 顯示器、光柵影像列印、全像顯示器等)的硬體書出規格要求而定。基本上，視角數目愈多，則在該 3D 平台的有效 3D 觀賞視角(viewing angle)內，我們可以觀賞到愈平順的 3D 立體影像視角變化(頭擺動的時候)，而不會有跳動(jerky motion)、不連續的不舒服感。而視角數目愈多，並不代表立體效果就會愈佳，這兩者之間沒有一定的關連。

另外，多視角畫面與觀賞者雙眼的距離和位置，也會影響到 3D 顯像的效果，下圖 2.32 是一個六個視角的柱狀透鏡光柵片用來呈現 3D 顯像的例子。

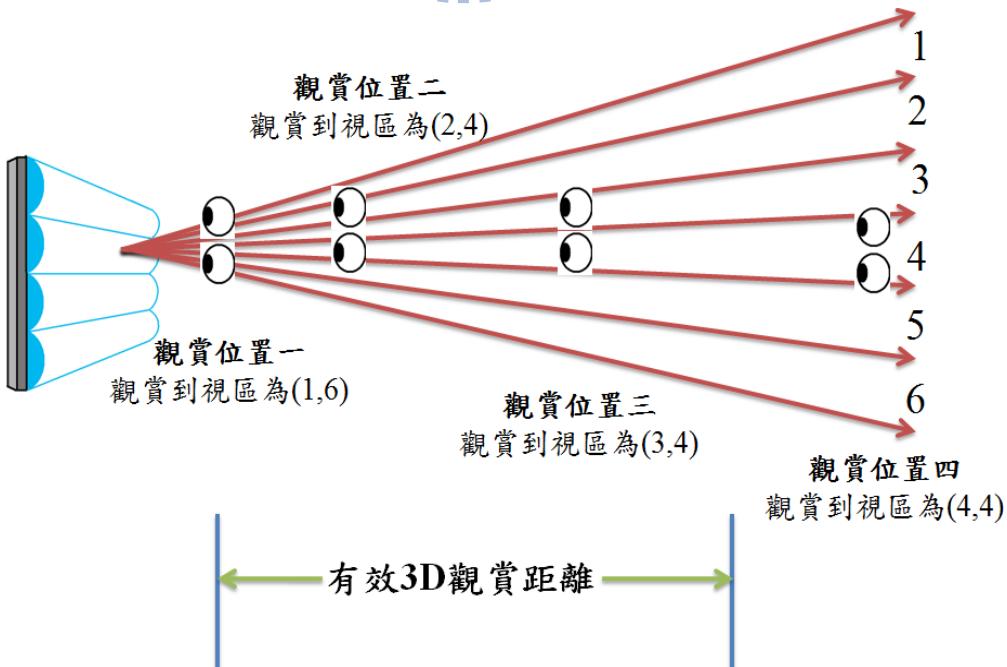


圖 2.32 觀賞者距離位置與 3D 顯像效果關係示意圖。

首先，我們知道柱狀透鏡螢幕實際上發光源不會只有一點，圖 2.32 只是一個示意情形，旨為用來說明。此螢幕在有效 3D 觀賞視角內它可以呈現六個視角的 3D 影像。當觀賞者處於觀賞位置一時，可以觀賞到第 1(最右)與第 6(最左)的影像，此時所觀賞到的是最大視差的 3D 效果；當觀賞者往後移動至觀賞位置二時，則觀賞到的是間隔兩個的視角(如第 2 與第 4)的影像；如果觀賞者在觀賞位置三時，則僅能觀賞到相鄰兩個視角(如第 3 與第 4)的影像。以上各位置點，若觀賞者往左右移動，仍會看到 3D 效果，因為不管如何左右移動，觀察者的雙眼都不可能落在同一個視區內(此時要想像圖 2.32 發光源旁邊仍有許許多多發光源)。但如果觀賞者在觀賞位置四時，則僅能觀賞到相同視角(如第 4 與第 4)的影像，所觀賞到的畫面並無 3D 效果；而此時觀賞者往左右移動，也有一定的機會雙眼會分別落在不同的相鄰兩視角內，感覺到 3D 效果。然而，從觀賞位置三到觀賞位置四我們可以發現，看到正確 3D 效果的機率降低了，這也造成我們若在有效的 3D 觀賞距離之外觀看螢幕，常常會感覺畫面晃動和無立體感。如果再更進一步往後退並且左右移動，我們可以明確發現，看到正確 3D 效果的機率更低了，雙眼會有很大的機率落在同一視區內，即使找到正確位置看到 3D 效果也可能一晃即過。從這個例子可以解釋為何多視角 3D 立體影像可以提供多人在不同位置同時觀賞到 3D 立體影像；也可以知道如何觀賞多視角 3D 立體影像。當我們觀賞 3D 效果不舒服(或視差太大)時，只要在有效 3D 觀賞距離內，則我們可以往後退或左右移動到感覺舒服的觀賞位置，但是觀賞距離也不能夠太遠。

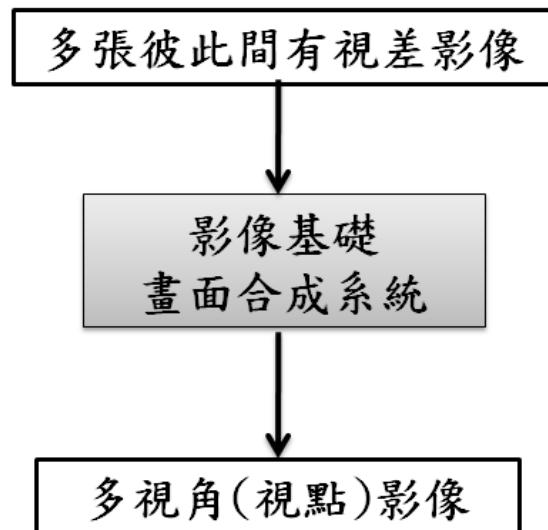
第三章

柱狀透鏡之即時裸視立體顯像操 控程式

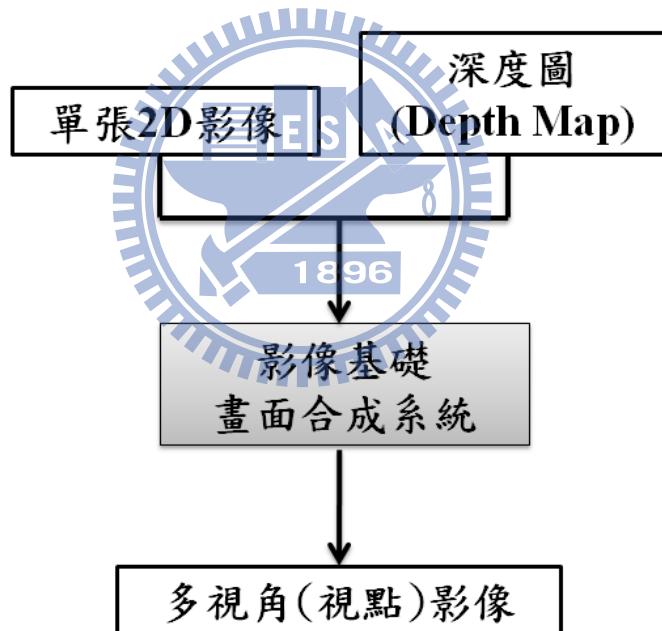
在第二章中，我們依影像輸出方式替市面上主流的3D顯示器做好分類，並詳細的介紹了各種3D顯示器的原理與特性。然而，於本章將仔細介紹本論文使用的柱狀透鏡之即時裸視立體顯像操控程式，其所需要的輸出內容為多視角(視點)影像，要做出一個多視角3D的畫面再呈現出來可分成兩種做法，分別為影像基礎(image-based)與幾何基礎(geometric-based)。

1. 影像基礎：

所謂影像基礎的3D影像，就是這種3D影像必須是事先要準備好的；就像是要看電影，其電影片必須是事先製作好的一樣。而要製作3D影像之前，我們必須先準備好構成該3D影像之多視差影像組，意即是多張影像但彼此間據有些微的視差；若我們本身只有一張2D的影像，那麼要做出3D影像則還需要配合一張深度圖(depth map)，以上兩種方式的圖都準備好之後，再經過影像基礎的3D多視角影像合成系統將圖彩現(rendering)與排列(interlacing)，也就是合成的意思，就可以做出能讓3D顯示器讀取或播放的影像了。製作多視角(或多視點)影像的流程圖，請見下頁圖3.1。



(a)



(b)

圖 3.1 影像基礎 3D 畫面製作流程。 (a) 多張視差影像合成法；(b) DIBR 法。

在我們製作多視角畫面的第二種方法，是需要輸入2D影像與輔助深度資訊，這種合成方法稱為depth based image rendering，DIBR[32]。而在目前全球3D顯示技術發展上，就以DIBR方式比較受到大家的注目與討論。

2. 幾何基礎：

所謂幾何基礎的3D影像，顧名思義它就是要透過幾何運算後才能顯現的3D影像，這種3D影像它無法事先準備好的，只有在使用的當下才即時(real-time)運算產生出來的。最典型的例子就是一般3D遊戲，所有的3D影像都是等到我們在操作遊戲當下，根據我們所處的場景與條件，電腦再依需要的觀賞角度、大小、遠近等變數，將3D影像即時運算並彩現(rendering)出來[33]，如圖3.2所示。很明顯地，目前這種幾何基礎的3D影像幾乎是完全靠電腦的運算與顯示卡的3D圖形處理器(graphic processing unit, GPU)密切合作的成果，當然這中間需要有應用軟體(如3D遊戲程式)將它們串接起來。如果這時候我們要將此3D影像顯示到裸視3D顯示器時，則我們必須要先要求電腦與顯示卡的3D圖形處理器將此3D影像的多視角影像彩現出來，然後再合成一個3D影像顯示到裸視3D顯示器。

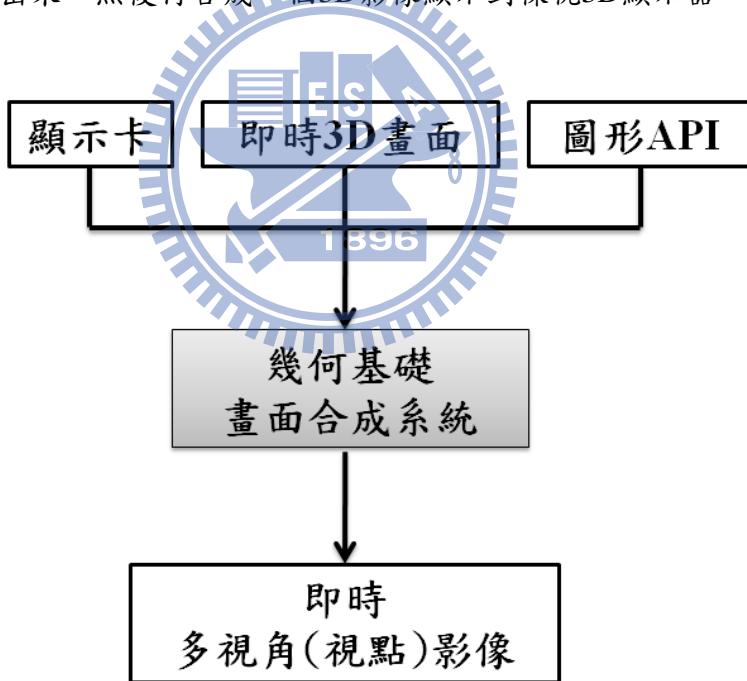


圖 3.2 幾何基礎 3D 畫面製作流程。

本論文實驗做的操控程式，就是以幾何基礎做出即時互動式的3D畫面，並在電腦液晶螢幕前放置一片可拆卸式柱狀透鏡光柵片，將裸視3D畫面呈現出來。首先本論文先在3.1節概述本論文程式的系統架構；3.2節闡述以MATLAB軟體

所寫能操控虛擬 3D 模型的測試平台；在 3.3 節將會闡述以 C 語言軟體所寫的虛擬 3D 模型操控平台；3.4 節則是介紹幾何基礎的影像彩現(rendering)與合成系統；最後 3.5 節說明裸視 3D 的硬體輸出端。

3.1 系統架構與設計

首先會再 3.1.1 節為本論文的整個實驗系統做一個統整性的敘述；接下來在 3.1.2 節會為操控介面用到的 OpenGL 與 Microsoft DirectX 做一個介紹。

3.1.1 系統設計概述

圖 3.3 為系統的架構流程圖，整個系統的流程可以分成四個部份。第一個部份為 MATLAB 端虛擬模型操控測試平台，是以 MATLAB 圖形使用者介面(graphical user interface, GUI)寫成的一個互動式操控平台，呼叫 OpenGL(open graphics library)函式庫的 3D 繪圖功能，並繪製出虛擬 3D 模型做為測試之用，最後把函式庫裡面用到的函數(function)與偵測到的空間點座標，匯出成 DLL 檔，然後給第二部份使用。第二部份為 C 語言端虛擬 3D 模型操控平台，在本論文的介面中，是以 Microsoft Visual Studio 2010(VS2010)做為 C 語言軟體平台，此端先是把第一部份匯出的 DLL 檔連結至 VS2010 中，使 VS2010 讀取到我們在 MATLAB 端測試平台中找到的空間點座標與使用到的 3D 繪圖函數，並且同時呼叫 OpenGL 函式庫與 DirectX 圖形函式庫來繪出虛擬 3D 模型，做為產生裸視 3D 多視角畫面的基底平台。第三部份是幾何基礎多視角畫面彩現(rendering)與合成系統，此系統我們將採用愛爾得(i-Art)3D 資訊公司提供的即時多視角影像合成驅動程式將我們的虛擬 3D 模型轉換成裸視 3D 多視角畫面。第四部份則是裸視 3D 硬體輸出端，我們將以 BenQ FP751 型號 17 吋液晶顯示器為畫面輸出螢幕，並再螢幕前端加上一層愛爾得(i-Art)3D 資訊公司生產的可拆卸式柱狀透鏡裸視 3D 套件，將原本在 2D 畫面中虛擬模型，以裸視 3D 方式呈現出來。

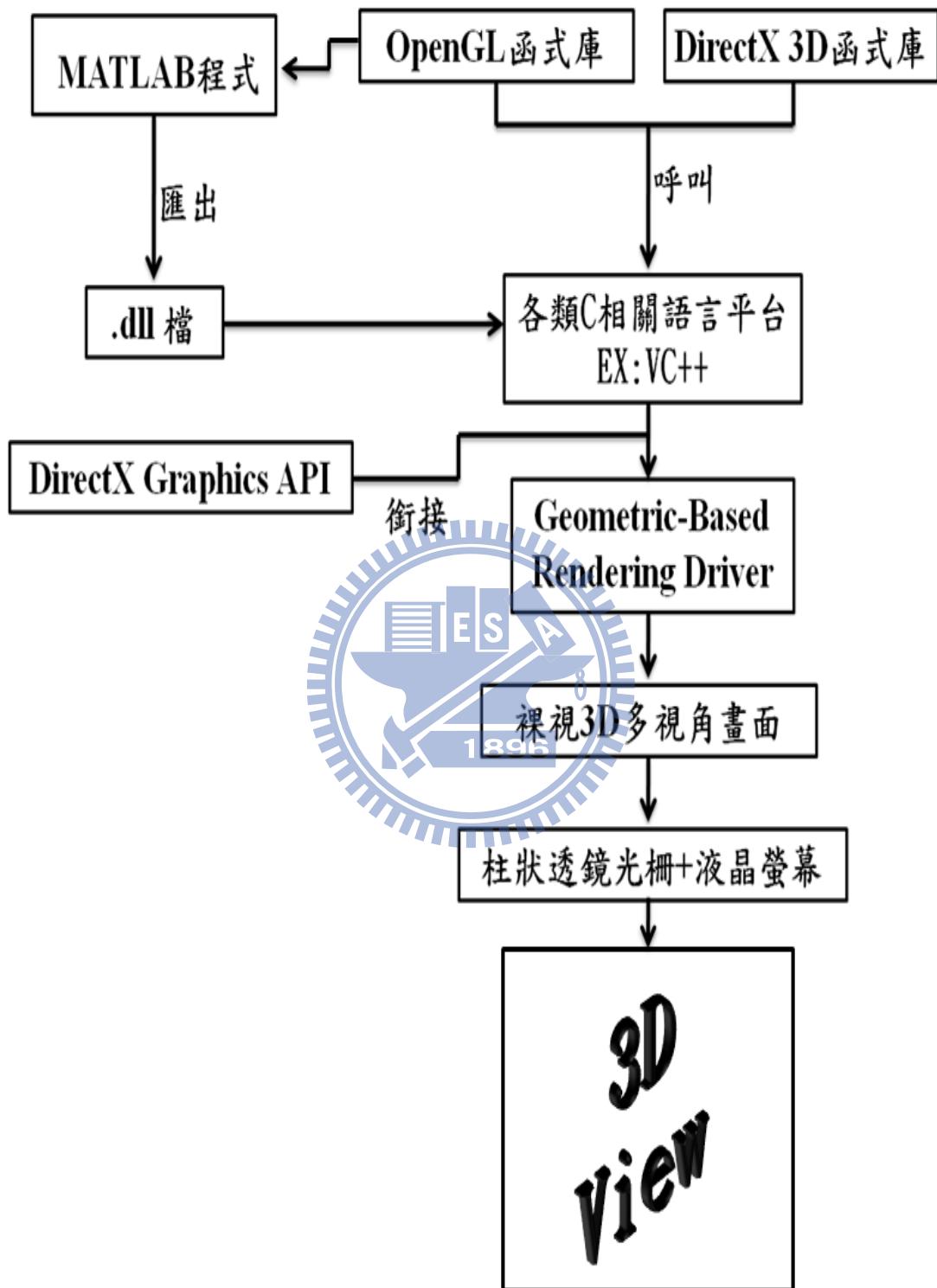


圖 3.3 系統架構與流程圖。

3.1.2 OpenGL 與 DirectX

OpenGL(open graphics library)，意思是開放的圖形程式函式庫，是圖形領域中最為廣受大家推崇的 2D 和 3D 圖形 API(application programming interface，應用編程介面)。從推出以來至今日已經被應用在各種電腦平台及設備上，也開發出了很多優秀的圖形類應用程式。OpenGL 是獨立於視窗操作系統或其它操作系統的，亦是跨平台的，在包含 CAD、內容創作、娛樂、遊戲開發、製造業及 3D 虛擬實境等領域中時，OpenGL 幫助程式開發者實現在電腦、工作站或是超級電腦等硬件設備上開發高性能和高視覺效果的圖形處理軟體。

Microsoft DirectX(direct extension)是由微軟公司建立的多媒體應用編程介面，包括圖形、聲音、網路等不同的 API。由 C++ 程式語言實作，其 API 包含 DirectX Graphics、DirectPlay、DirectSound、DirectInput、DirectSetup 和 DirectMusic 等部分。被廣泛使用於 Microsoft Windows、Microsoft Xbox 等電子遊戲開發，並且只能支援這些平台。雖然 DirectX 在一般大眾家用市場裡面受到較多人的使用並領先，但在專業高級繪圖領域，OpenGL 亦是不能被取代的主角。有關 OpenGL 與 DirectX 的分類示意圖，如圖 3.4 所示。

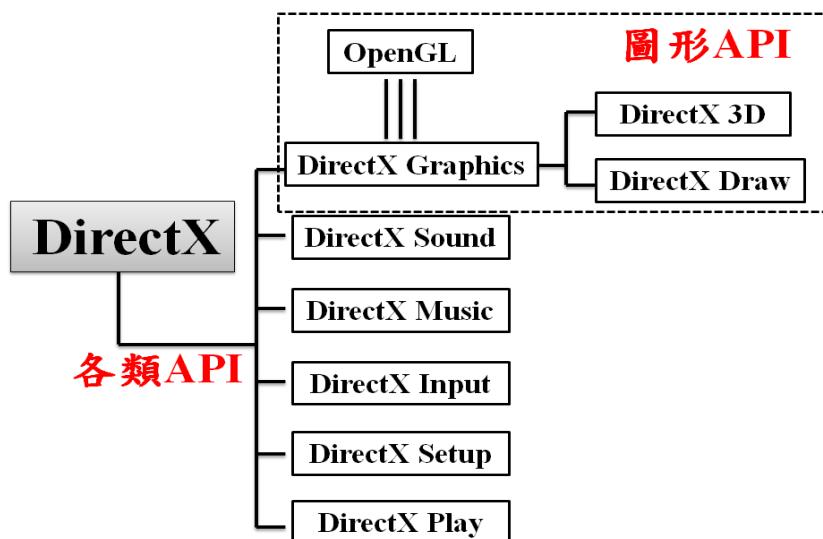


圖 3.4 OpenGL 與 DirectX 分類示意圖。

3.2 基於 MATLAB 之即時裸視立體顯像操控程式

本章節將仔細說明並解釋本實驗系統第一部分，圖 3.5 為本論文實驗系統第一部分的詳細架構圖。本論文實驗之所以選擇 MATLAB 軟體做為測試平台，主要是基於 MATLAB 具有簡單的程式語法結構、高性能的數值分析能力、強大的繪圖功能和系統建模與模擬技術，非常適合影像處理者用以完成實驗數據分析、圖形與影像處理和實時控制等等工作，並且也經過國際各大學術單位及公司機構之工程領域工作者肯定與推崇。雖然本論文沒有使用到 2D 影像來做各種處理，是直接建構出虛擬 3D 模型來操控，但是本實驗基礎系統架構在 MATLAB 上能提供未來使用本系統的研究人員一個好的平台，研究者可使用 MATLAB 軟體功能來做各種影像或數據的前處理，讓後輕易的套用進入本系統，而不必再做更換。讓研究者不需碰觸其它艱深難懂的影像處理或數據分析軟體。

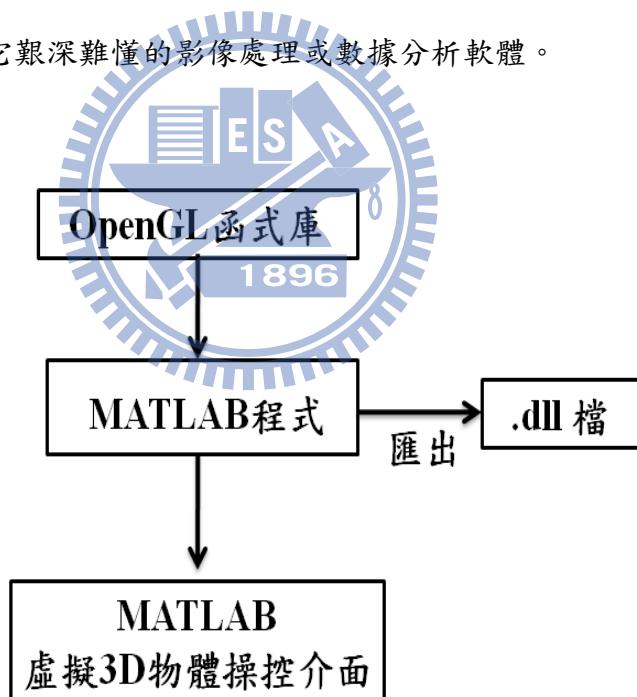


圖 3.5 第一部分系統流程圖。

接下來 3.2.1 節會先介紹介面的設計；3.2.2 節會說明此介面設計的想法與功能。3.2.3 節會說明如何做出 DLL 檔和如何連結至 C 語言軟體 Visual Studio。

3.2.1 程式設計

MATLAB 端虛擬物體操控程式，是以 MATLAB 圖形使用者介面設計並寫成的操控程式，並且將此程式分成三種視窗(視窗 a、視窗 b 和視窗 c)；四種程式按鍵(程式按鍵 a、程式按鍵 b、程式按鍵 c 和程式按鍵 d)；三種功能鍵(功能鍵 a、功能鍵 b 和功能鍵 c)，接下來會將介面做詳細的介紹，如下圖 3.6 所示。

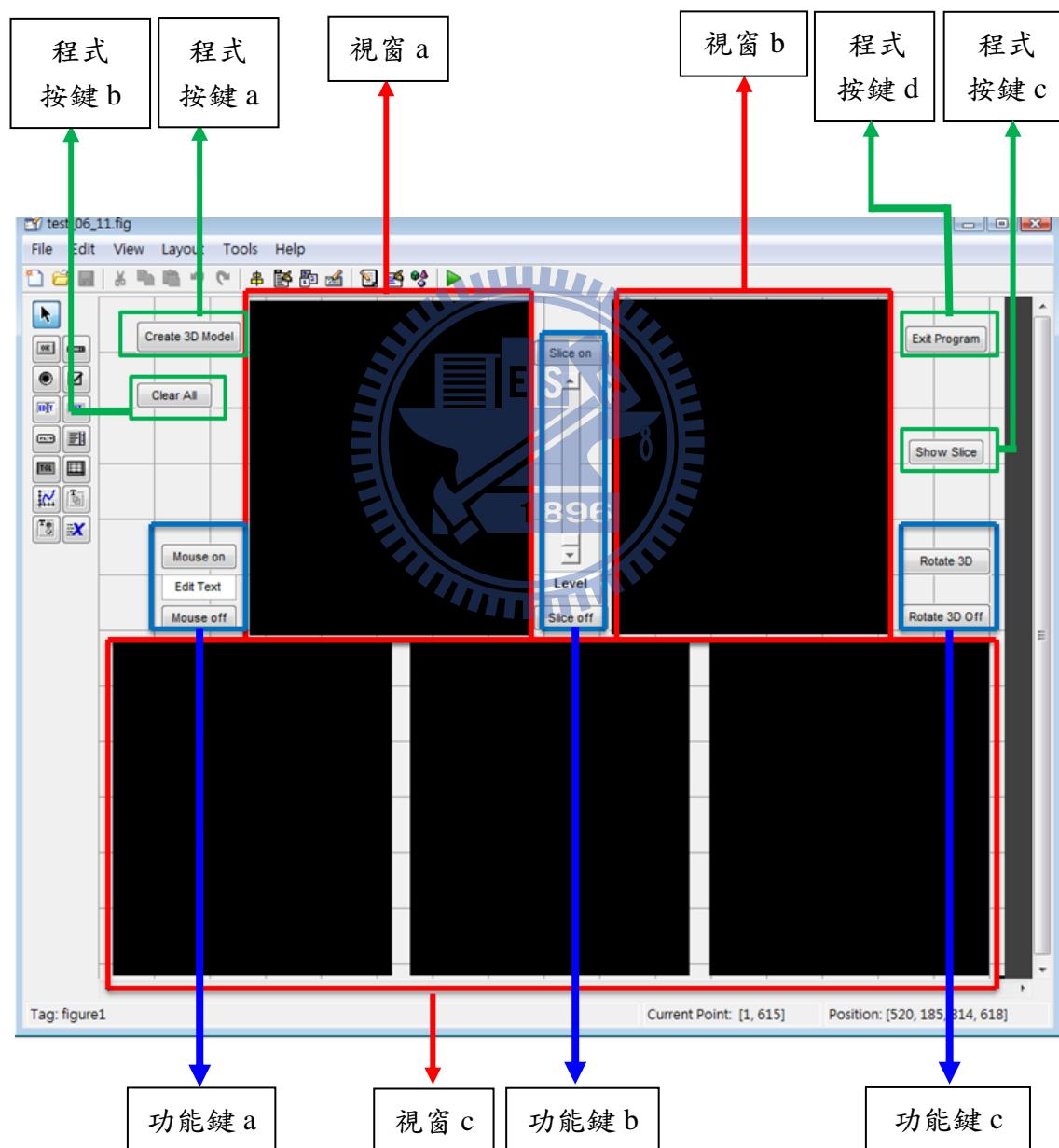


圖 3.6 基於 MATLAB 之即時裸視立體顯像操控程式設計圖。

首先，本論文操控程式會建立兩組虛擬 3D 模型和一組人體頸部的虛擬模型，兩組虛擬物體為自己任意繪出，其中每組 3D 模型都由三個虛擬 3D 物件組成。最外圍為一個大的虛擬 3D 物件，並且將之顏色設置為可透視色彩，讓我們可以看到內部物件的情形；而大的 3D 物件內部共有兩個小的 3D 物件，這兩個小的物件顏色為一般顏色，並無設置可透視色彩，如圖 3.7(a)所示；而人體頸部的虛擬模型是仿造真實人體頸部構造去建立的，外圍大物件為皮膚，內部兩個小物件為咽喉管和脊椎，分別以相近的紅色與白色虛擬模型去模擬，如圖 3.7(b)所示。接下來依圖 3.6 開始介紹各個按鍵其功能與效果。

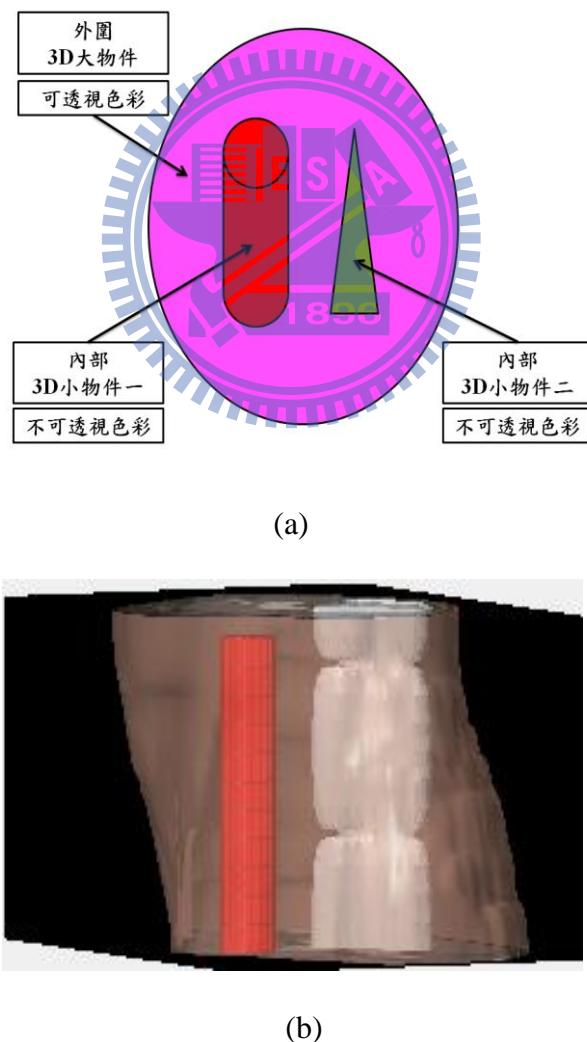


圖 3.7 虛擬 3D 模型圖。 (a) 兩組虛擬 3D 模型；(b) 一組頸部虛擬模型。

1. 視窗共三種：

視窗 a：位於程式左上方。程式中建立的虛擬 3D 模型會在此視窗中顯示出來(包含的東西如圖 3.7 所示)。

視窗 b：位於程式右上方。虛擬 3D 模型的橫切面輪廓線會在此視窗中顯示。

視窗 c：位於程式正下方。由左而右共有三個畫面，做為顯示三個物件之用，當我們欲個別觀看建立的一個虛擬 3D 大物件和兩個虛擬 3D 小物件時，這三個物件會將之分別顯示在此視窗裡的三個畫面。

2. 程式按鍵共四種：

程式按鍵 a：位於程式最左上方。此按鍵的名稱為 create 3D model，當我們按下此按鍵時，程式中繪製的虛擬 3D 模型會顯示在視窗 a 中，內容包含 1 個虛擬 3D 大物件和 2 個虛擬 3D 小物件；並且將功能鍵 a 中間的 edit text 值設為預設值 mouse off；將功能鍵 b 最下方的 level 值設為預設值 60。

程式按鍵 b：位於程式左上方(程式按鍵 a 下方)。此按鍵的名稱為 clear all，當我們按下此按鍵時，程式中所有視窗裡顯示的圖皆會清空剩下黑色背景；並且將功能鍵 a 中間的 edit text 值也清空；然後將功能鍵 b 最下方的 level 值回復為預設值 60。

程式按鍵 c：位於程式右上方(程式按鍵 d 下方)。此按鍵的名稱為 show slice，為搭配功能鍵 b 使用，當功能鍵 b 作用後，按下程式按鍵 c 會將擷取所選取到的平面的輪廓線，並且將此平面輪廓線顯示在視窗 b 上。

程式按鍵 d：位於程式最右上方。此按鍵的名稱為 exit program，當我們按下此按鍵時，會關閉整個虛擬物體操控程式，並釋放記憶體，程式執行需重新載入。

3. 功能鍵共三種：

功能鍵 a：位於程式左邊中間。為兩個按鍵和一個 edit text 組成，兩個按鍵名稱分別為 mouse on 與 mouse off。當我們按下 mouse on 按鍵時，會啟動點選物件的功能，我們任意點選視窗 a 中虛擬 3D 模型的任意一個物件時，此物件就會消失，並且出現在視窗 c 中的任意一個位置；當我們按下 mouse off 按鍵時，就會關閉點選物件的功能，我們此時再點擊視窗 a 中的物件，將無任何反應。

功能鍵 b：位於程式正中間偏上方。為兩個按鍵和一個 level text 組成，兩個按鍵名稱分別為 slice on 與 slice off 是操控橫切面功能的開關鍵。本實驗橫切面數目依構圖而定，且將 slider bar 的初始值預設為中間值，並且顯示在 level text 中。當我們按下 slice on 按鍵時，會啟動橫切面功能，橫切面一開始會出現在視窗 a 的正中間，可由點擊中間的 slider bar 做上下的移動至我們想要的平面，往上方可選取至不同的橫切面層(60~120)，往下方也可選取至不同的橫切面層(60~1)，當我們選取至我們要的某層平面後，再配合點擊程式按鍵 c 會把選取到的平面的輪廓線截取出來並顯示在視窗 b 中以便我們觀看。當我們按下 slice off 按鍵時，就會關閉選取橫切面的功能，我們此時再點擊中間的 slider bar，將無任何反應。

功能鍵 c：位於程式右邊中間。為兩個按鍵組成，兩個按鍵名稱分別為 rotate 3D on 與 rotate 3D off。當我們按下 rotate 3D on 按鍵時，會啟動三維空間任意視角旋轉的功能，此時我們可以拉選所有視窗 a 中虛擬 3D 模型，可使物體內所有的物件同時做多視角旋轉，依照我們的喜好，可旋轉至任意視角觀看；同樣的，若是視窗 c 中有虛擬 3D 物件被個別點擊出來(請參照功能鍵 a)，我們一樣可做三維空間任意視角旋轉至想觀看的視角。當我們按下 rotate 3D off 按鍵時，就會關閉此功能。

3.2.2 動態連結程式庫

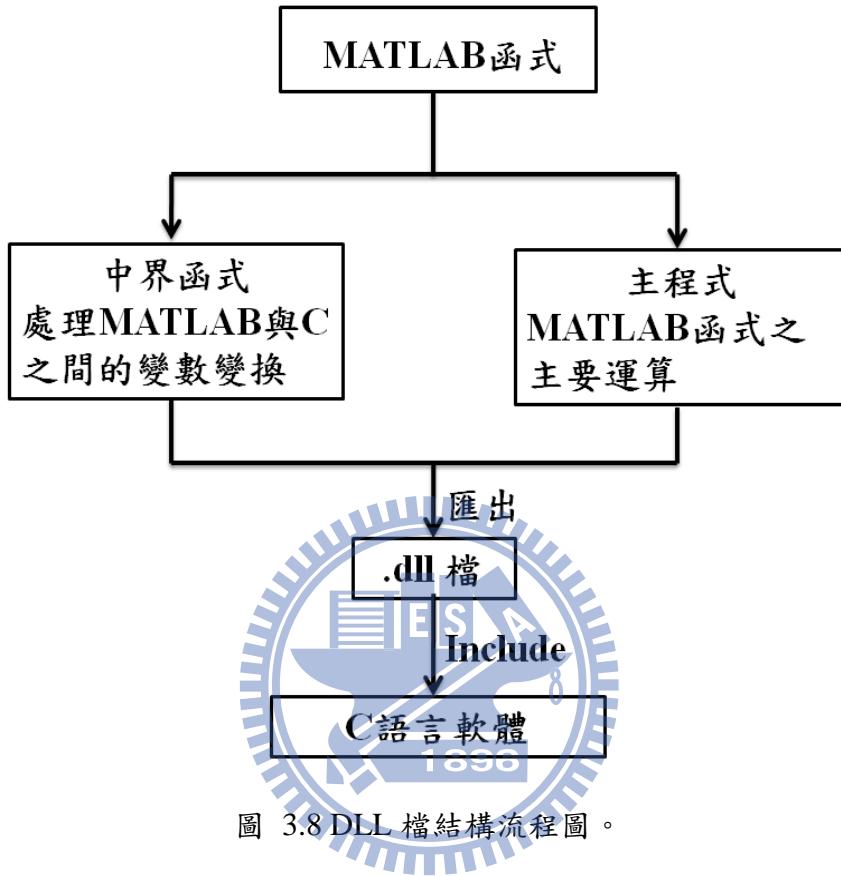
DLL (dynamic link library)稱動態連結程式庫。在 Windows 中，許多應用程式並不是一個完整的可執行檔，它們被切分成許多獨立的 DLL 檔，放置於系統中。DLL 檔對於程式執行是相當重要的一部份，因為程式在執行的時候，必須連結到 DLL 檔案，才能夠正確的運作。一個應用程式可有多個 DLL 檔；一個 DLL 檔也可能被幾個應用程式所共用。DLL 檔一般被存放在 Windows 作業系統中的 System32 下，裡面含有一大堆各式各樣的 DLL 檔，它們所執掌的功能，大多屬於各種程式所常見的功能。例如當我們在任何程式中開啟視窗時，都會看到視窗的右上角都有三個分別代表縮小、放大和關閉的按鈕，操作方式也都相同，這就是 Windows 內建的標準 DLL 元件之一，任何程式想要執行視窗的開啟功能時，只要呼叫這個元件來執行即可。同樣，例如對話框、按鈕等常見的必備功能，都是由相關的 DLL 檔案來負責。

另外，動態連結與靜態連結程式庫的不同處在於，前者允許可執行模組 (DLL 或 EXE 檔) 只包含在執行階段時用來找出 DLL 函式可執行程式碼的所需資訊。在靜態連結中，連結器 (Linker) 會從靜態連結程式庫取得所有參考函式，並且將它與程式碼一起放入可執行檔。

DLL 不僅負責許多基本功能，它還負責一些特定應用的常見功能，例如在網路系統中，就有一個 winsock.dll 檔來負責網路系統裡兩台電腦之間的底層溝通。而我們在本論文實驗中所要匯出 MATLAB 軟體的 DLL 檔，其目的就是在於想把 MATLAB 軟體裡的強大繪圖和影像處理函式(function)讓 C 語言軟體呼叫 (call function)來用，但是 C 語言軟體本身看不懂 MATLAB 軟體的語法，因此我們需要將原本 MATLAB 設式介面裡用到的函式匯出成 DLL 做為溝通 C 語言和 MATLAB 軟體的橋梁，再嵌入 C 語言軟體後使之看得懂 MATLAB 的函式語法。

至於 MATLAB 中的函式要匯成 DLL 檔，整個 DLL 程式碼都必須遵循固定的架構(mexfunction)撰寫，亦需提供輸入和輸出變數的適當轉換，其中特別特要

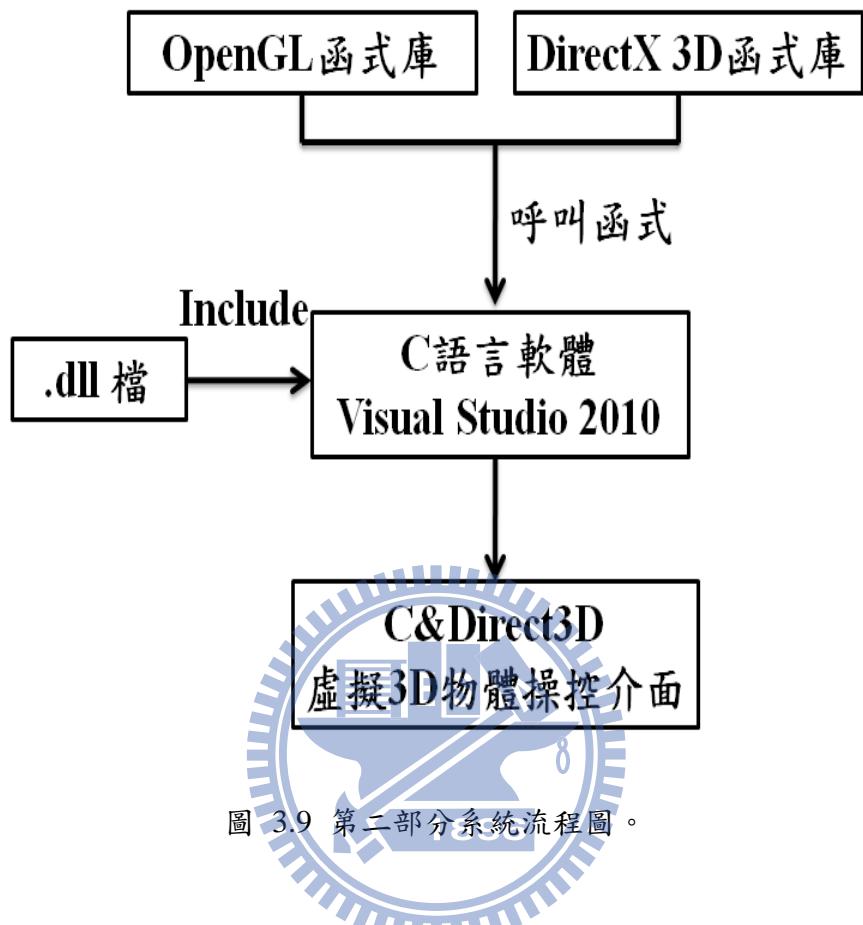
注意的是，再 MATLAB 裡讀取影像是將影像看成一個矩陣，而 C 語言軟體中是將影像看成陣列形式，這部分是比較複雜的地方。其餘撰寫語法皆屬於程式層面，僅以下圖 3.8 表示之，本論文就不再此章節裡多加說明。



3.3 基於 C 語言之即時裸視立體顯像操控程式

下頁圖 3.9 為第二部份系統架構圖，此部分為 C 語言端虛擬 3D 模型操控程式。根據我們在第三章一開始所提到的幾何基礎(geometric-based)3D 影像，是靠電腦的運算與顯示卡的 3D 圖形處理器(GPU)密切合作的成果，而此方式就是需要 DirectX 中的 Direct3D 應用編程介面來銜接 GPU 與電腦程式，經由此應用編程介面我們可以再透過一個 3D 驅動程式(本論文選用愛爾得(i-Art)公司的即時多視角影像合成驅動程式，auto 3D driver)，將一個 3D 影像的多視角影像即時彩現(rendering)出來，然後再合成一個柱狀透鏡式裸視 3D 立體顯示器所能顯示的 3D 立體影像。所以本論文將 MATLAB 測試平台與 C 語言軟體連結，其主要意義在

於 Direct3D 應用編程介面的開發環境上只能 C 語言平台搭配，所以我們才必須將 MATLAB 與 C 語言軟體連結。



C 語言端虛擬 3D 模型操控程式，是以 C 語言軟體(Visual Studio 2010)配合 Direct3D(主要)與 OpenGL(較少)函式庫，並嵌入 MATLAB 奏出的 DLL 檔寫成的操控程式，並將此程式分成三種視窗(視窗 a、視窗 b 和視窗 c)、兩種鍵盤操作以及兩種滑鼠操作。因為本論文希望主要畫面影像處理、3D 繪圖與立體建模都是在 MATLAB 端程式中做測試並完成的，所以 C 語言端虛擬 3D 模型操控程式可看成做為 MATLAB 端的操控程式與即時多視角影像合成驅動程式連接的平台，因此視窗設計上力求簡易但又不能夠喪失 MATLAB 端測試程式的各種功能，所以在本論文實驗將此部分程式設計全由滑鼠來做互動式操控，省去了許多按鍵。程式視窗為下頁圖 3.10，接下來將以圖 3.10 做程式說明和介紹。

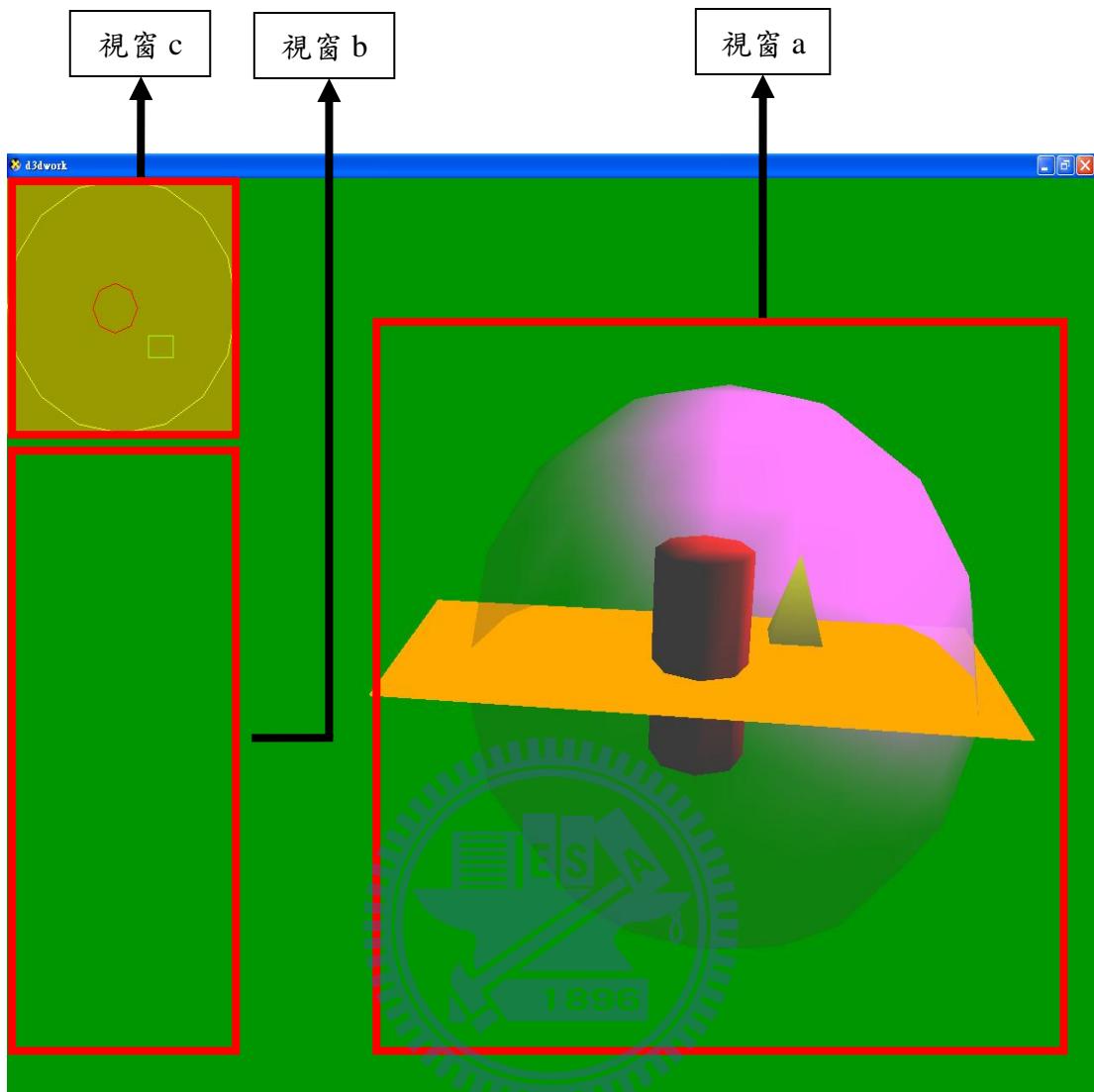


圖 3.10 基於 C 語言之即時裸立體顯像操控程式設計圖。

1. 視窗共三種：

視窗 a：位於程式右方。程式中建立的虛擬 3D 模型完整模型會在此視窗中顯示出來(包含的東西如圖 3.10 所示)，其中直接執行程式時，橫切面層也會直接顯示在此視窗，藉由鍵盤上下鍵操作。

視窗 b：位於程式左下方。為長方形的視窗，功能做為顯示三個物件之用，但是程式中並不會特別框出來，當我們欲個別觀看建立的一個虛擬 3D 大物件和兩個虛擬 3D 小物件時，這三個物件會由上而下將之分別顯示在此視窗裡，可做個別觀看。

視窗 c：位於程式左上方。為顯示所選擇的橫切面層與虛擬 3D 模型的交點連線，意即為顯式輪廓線。

2. 鍵盤操作共兩種：

上鍵：當我們按下鍵盤中上下左右鍵的上鍵時，橫切面層會往上做移動，並且將切到平面的輪廓線顯示在視窗 c 中

下鍵：當我們按下鍵盤中上下左右鍵的下鍵時，橫切面層會往下做移動，並且將切到平面的輪廓線顯示在視窗 c 中

3. 滑鼠操作共兩種：

滑鼠左鍵：當我們移動滑鼠至視窗 a 中三個虛擬 3D 物件的任何一個我們想觀看的物件時，按下滑鼠的左鍵，就可以觸發點選物鍵功能，點擊到的物件會在視窗 a 中消失，並且出現在視窗 b，以方便我們做個別觀看。

滑鼠右鍵：當我們將滑鼠指標移動至視窗 a 或視窗 b 上的任何物件上，按住滑鼠右鍵，並且拉擊，就能夠啟動視角 360° 旋轉功能，提供使用者選擇想觀看的視角。

3.4 幾何基礎多視角影像合成系統

本論文實驗的第三部份為幾何基礎多視角畫面彩現(rendering)與合成系統，詳細架構圖如下頁圖 3.11 所示。此系統我們採用愛爾德(i-Art)3D 資訊公司提供的即時多視角影像合成驅動程式將我們的虛擬 3D 模型彩現並合成裸視 3D 多視角畫面，其詳細流程如下頁圖 3.12 所示。

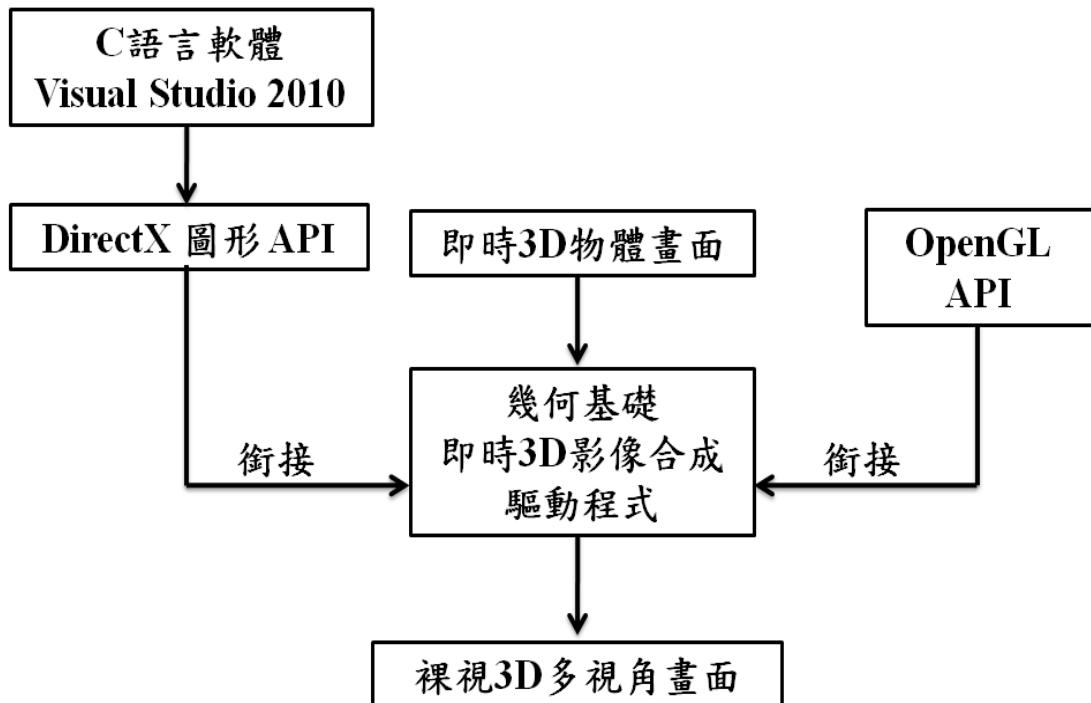


圖 3.11 第三部分系統流程圖。

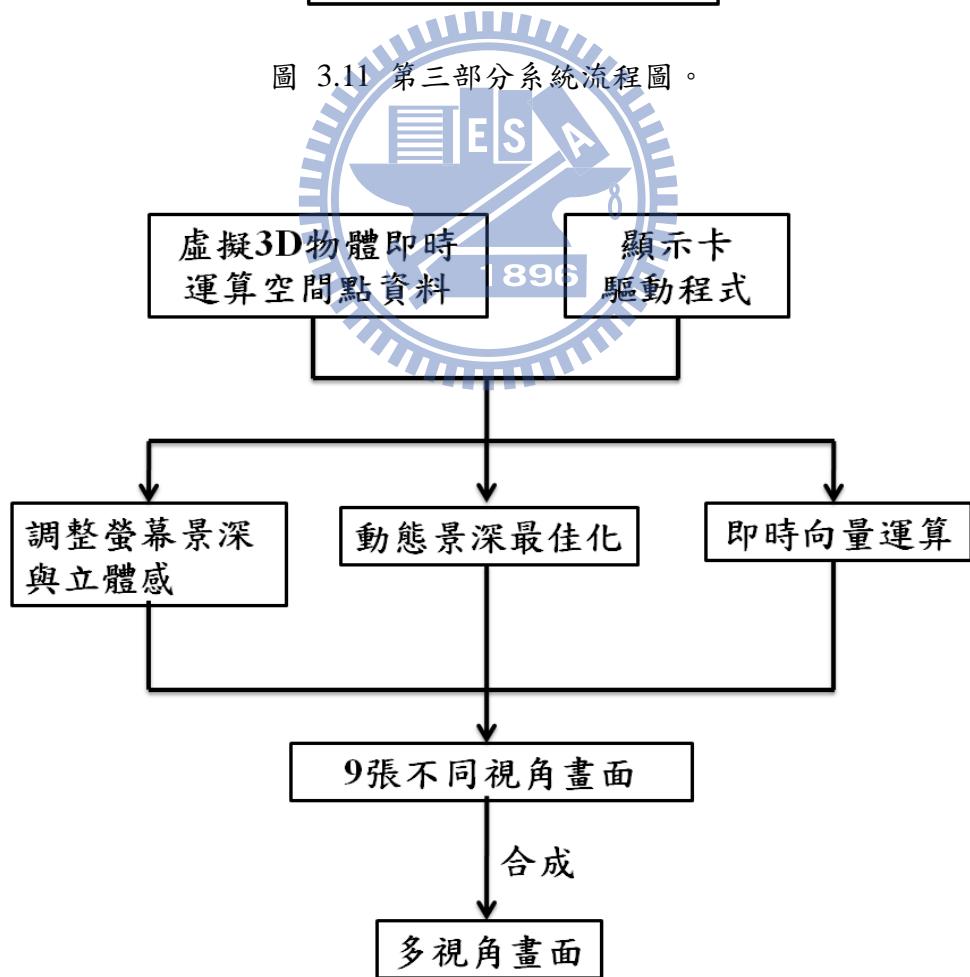


圖 3.12 幾何基礎多視角影像彩現流程圖。

首先本論文實驗第三部份的基於 C 語言平台之互動式虛擬 3D 模型操控程式在我們的操作下，電腦會算出許多空間點資料，經由即時多視角影像合成驅動程式的讀取以及顯示卡的支援下，會將這些空間點資料分別經過空間向量運算、動態景深最佳化以及螢幕畫面與立體景深調控的計算，分別製做出九張不同視角的畫面，即每張畫面都有些微不同的視差，然後再依配合柱狀透鏡式裸視 3D 螢幕套件的柱狀曲率與角度設計數據，合成一張多視角畫面輸出。

3.5 裸視 3D 硬體輸出端

第四部份系統流程圖如圖 3.13 所示。裸視 3D 的硬體輸出端為液晶螢幕和可拆卸柱狀透鏡式裸視 3D 螢幕套件的組合。液晶螢幕我們選用 BenQ FP751 型號的液晶螢幕，尺寸為 17 吋大小；點距為 0.264mm；最大解析度為 1280×1024 ；畫面大小為 337.9×270.4 mm；支持色彩 16.7 百萬顏色(全彩)；對比率 400:1。

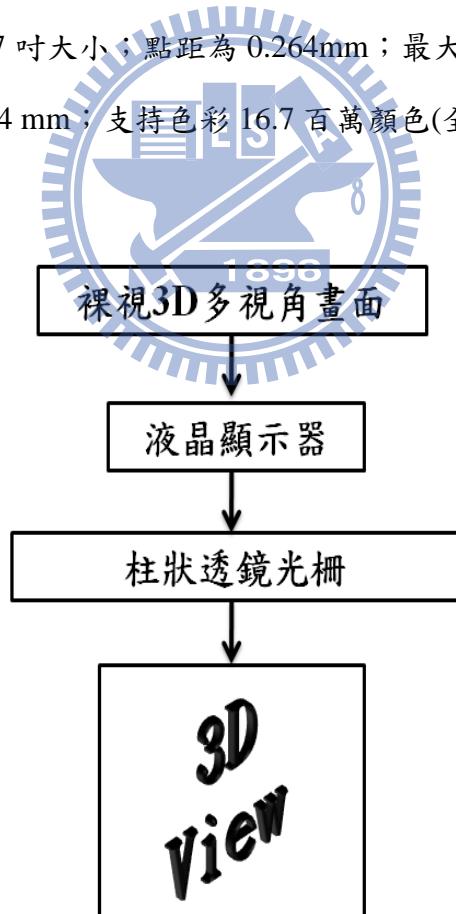


圖 3.13 第四部分系統流程圖。

第四章

裸視立體顯像操控之實現與討論

在此章節中要討論本論文所提出的柱狀透鏡之即時裸視立體顯像的視覺效果與操作情形，在 4.1 節中會說明系統實現的效果，在 4.2 節中會對裸視 3D 視角與距離和空間做一個測試評估，在 4.3 節中會說明此應用例的操作與討論。

4.1 系統實現結果

本節章將依第三章實驗流程分成四個部份，前兩部份分別在前兩小節說明，
1896

4.1.1 節說明第一部份：基於 MATLAB 之即時裸視立體顯像操控實現與運作情形；
4.1.2 節將說明第二部份：基於 C 語言之即時裸視立體顯像操控實現與運作情形；
而 4.1.3 節將會說明第三與第四部份：幾何基礎多視角影像彩現系統與裸視 3D 硬體輸出端實現結果。

4.1.1 基於 MATLAB 之即時裸視立體顯像操控程式

首先，圖 4.1 為 MATLAB 端測試平台執行時的初始畫面。按下介面按鍵 a(create 3D model)後，本介面分別建立了兩組虛擬 3D 模型與一組頸部模型，前兩組圖形為自己任意繪出，每組 3D 模型都由三個虛擬 3D(一個外圍，兩個內部)物件組成，如圖 4.2 所示。圖 4.2 (a)為第一組虛擬 3D 模型，其最外圍為一個大的原球體，將其色彩設置為紫色，並再設置為透視度百分之五十，讓我們可以看

到內部物件的情形；中間分別為一個圓柱體與一個四角錐體，圓柱體設置紅色；而四角錐體設置為綠色。圖 4.2 (b)為第兩組虛擬 3D 模型，其最外圍為一個大的橢圓球體，將其色彩設置為橘黃色，並再設置為透視度百分之五十，讓我們一樣可以看到內部物件的情形；中間為兩個不規則狀的物件，一個類似兩個圓錐倒過來接合的形狀，色彩是綠色；另一個是類似啞鈴形狀物體，色彩為白色。圖 4.2 (c)為人體頸部模型，其最外圍為皮膚，將其色彩設置為皮膚色，並再設置為透視度百分之五十，讓我們一樣可以看到內部物件的情形；中間分別為模擬的脊椎和咽喉管，色彩分別為白色和紅色。

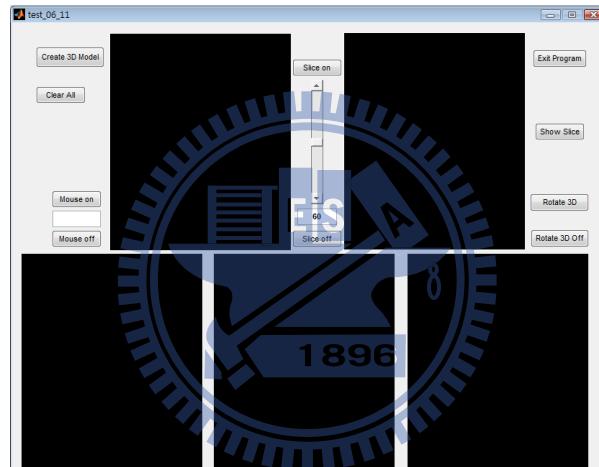


圖 4.1 基於 MATLAB 測試平台執行後初始畫面。

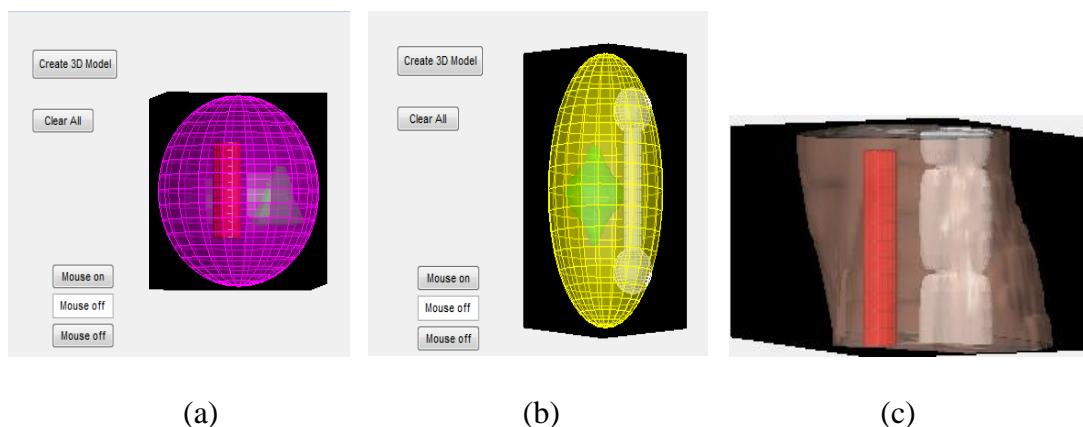


圖 4.2 基於 MATLAB 創建的模型。 (a) 第一組；(b) 第二組；(c) 頸部。

接下來我們按下功能鍵 b 的 slice on 按鍵，會在視窗 a 中出現橫切面層，初始位置是設在中間(level 值為 60)，用 slider bar 上下選擇想要的橫切面層後再按下介面按鍵 c(show slice)後，橫切面的輪廓線將會出現在視窗 b，如圖 4.3 與圖 4.4 所示。圖 4.3 的 level 值為 60；圖 4.4 的 level 值為 90。

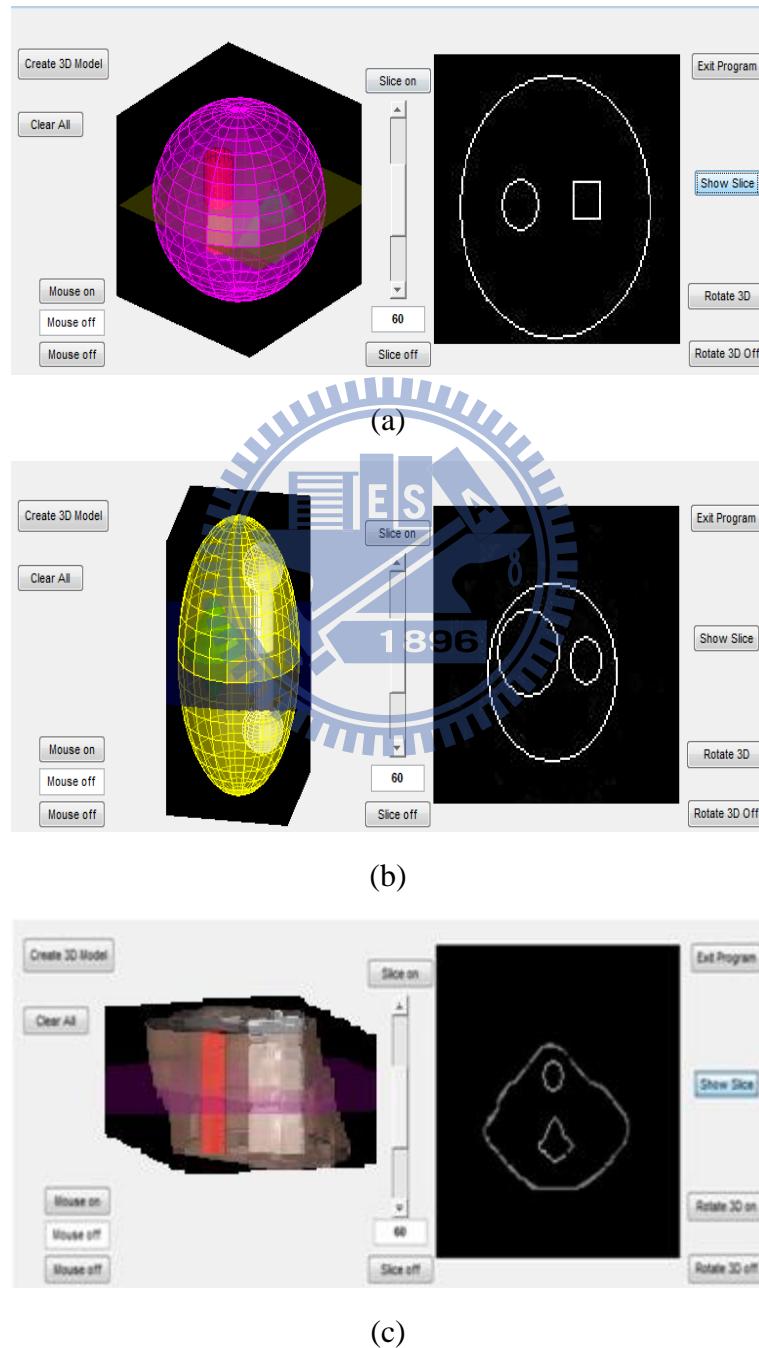
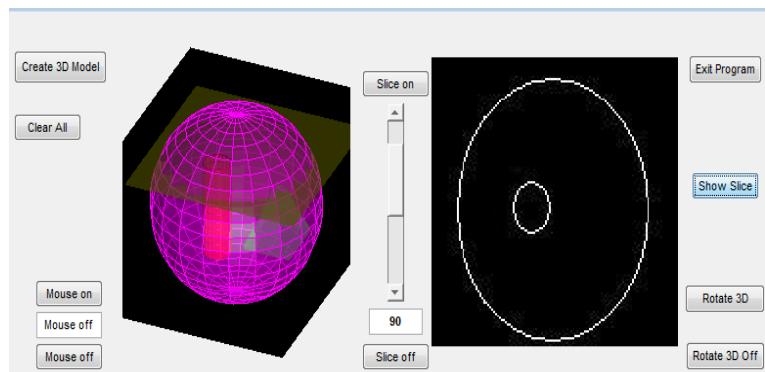
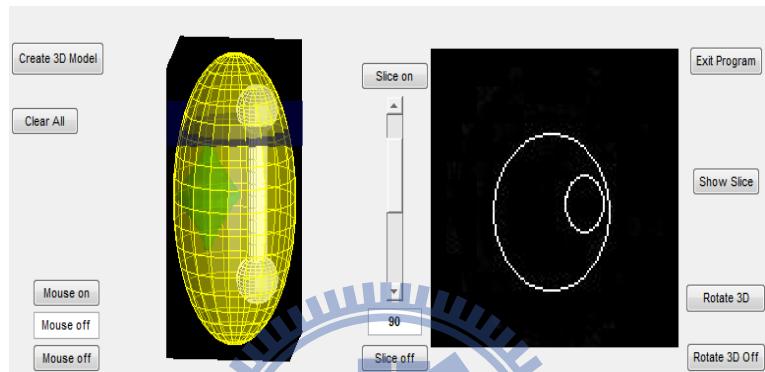


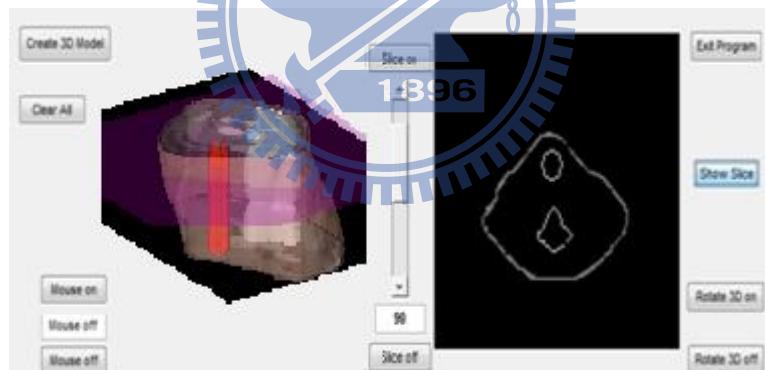
圖 4.3 橫切面輪廓圖(level 值為 60)。 (a) 第一組；(b) 第二組；(c) 頸部。



(a)



(b)



(c)

圖 4.4 橫切面輪廓圖(level 值為 90)。 (a) 第一組；(b) 第二組；(c) 頸部。

橫切面層的色彩為任意設置但是透視度依然為百分之五十，主要是能看的出切到的平面，並且也看的到切到的三個物件其相交輪廓情形。再來我們按下功能鍵 a 的 mouse on 按鍵，開起點選並分離物件的功能，物件分離後會在視窗 c 中顯示，單一分離與全部分離圖，分別如下頁圖 4.5 與圖 4.6 所示。

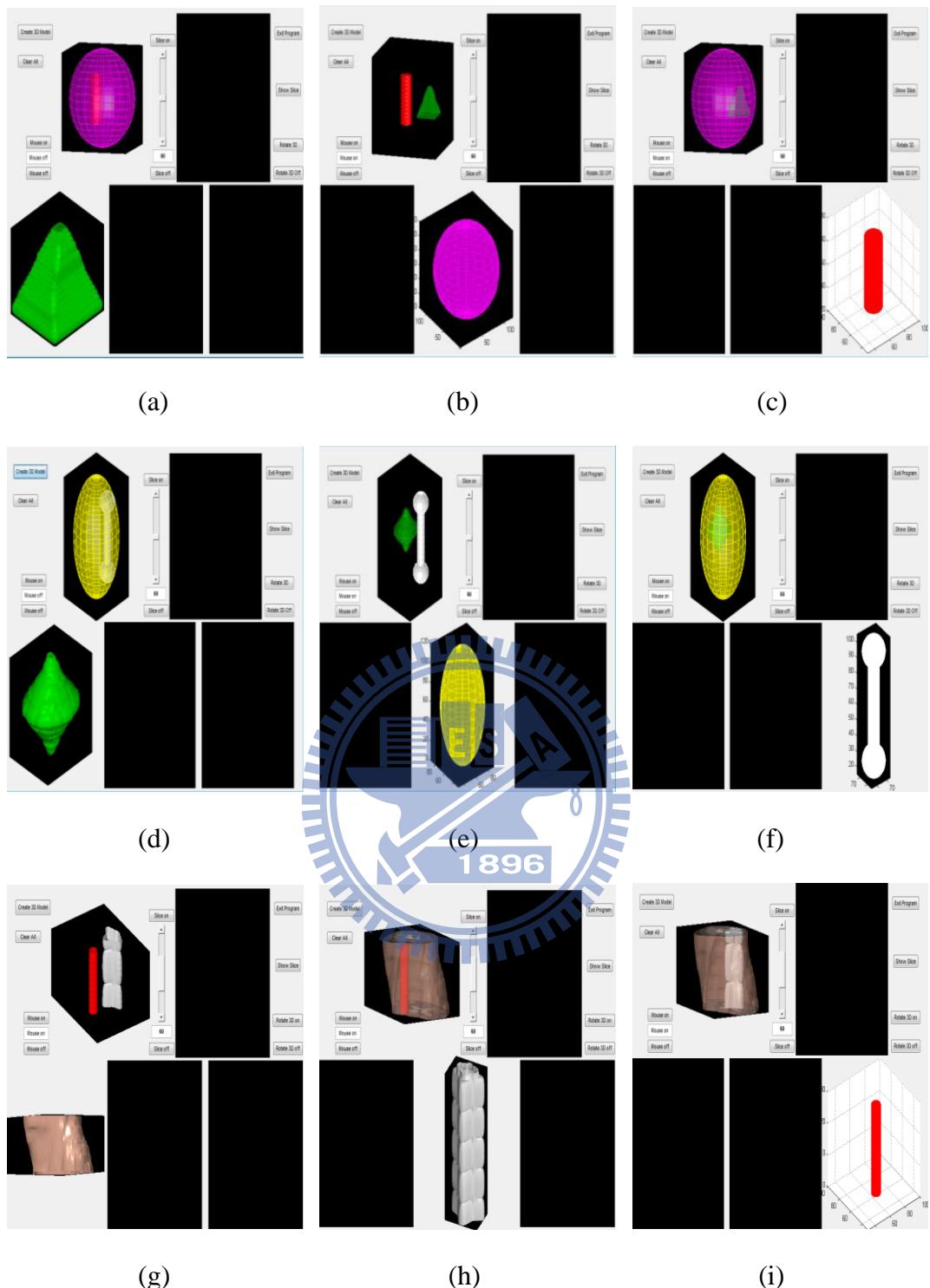


圖 4.5 三個物件個別單一分離圖。 (a) (b) (c) 第一組；(d) (e) (f) 第二組；(g) (h) (i) 頸部。

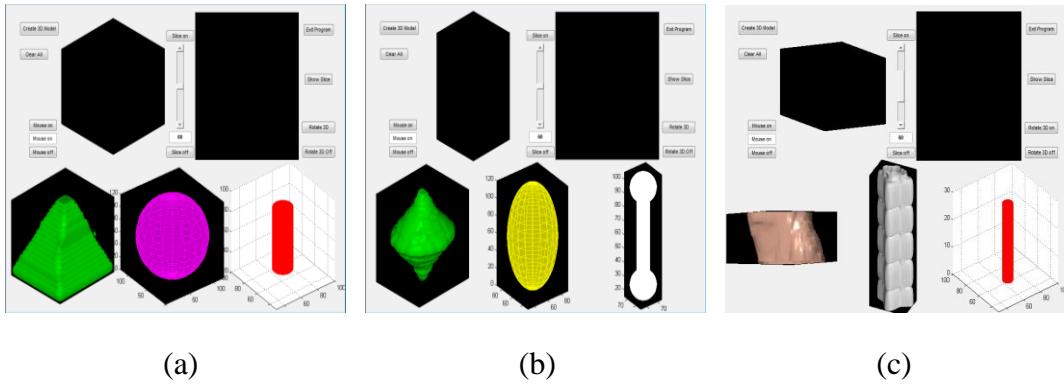


圖 4.6 三個物件全部分離圖。 (a) 第一組；(b) 第二組；(c) 頸部。

接著展示虛擬物體三維空間中任意視角觀看的效果，此時我們按下功能鍵 c 的 rotate 3D on 按鍵，接著拉擊視窗中的虛擬物體至任意角度，單一旋轉與全體同時旋轉圖，分別如圖 4.7 與圖 4.8 所示，可與圖 4.6 和圖 4.3 比較。

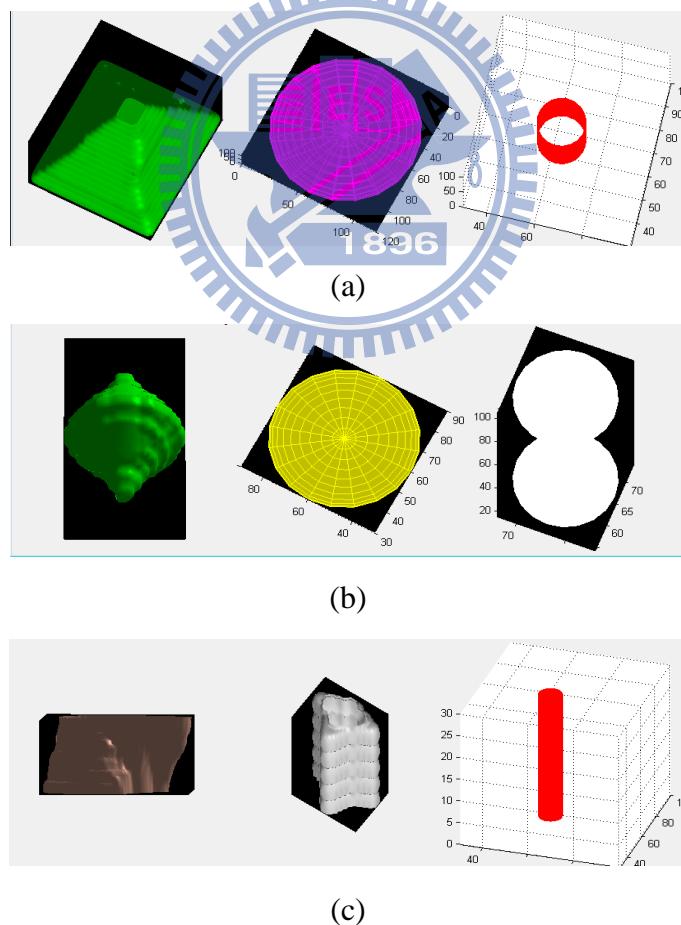


圖 4.7 三個物件個別單一旋轉圖。 (a) 第一組；(b) 第二組；(c) 頸部。

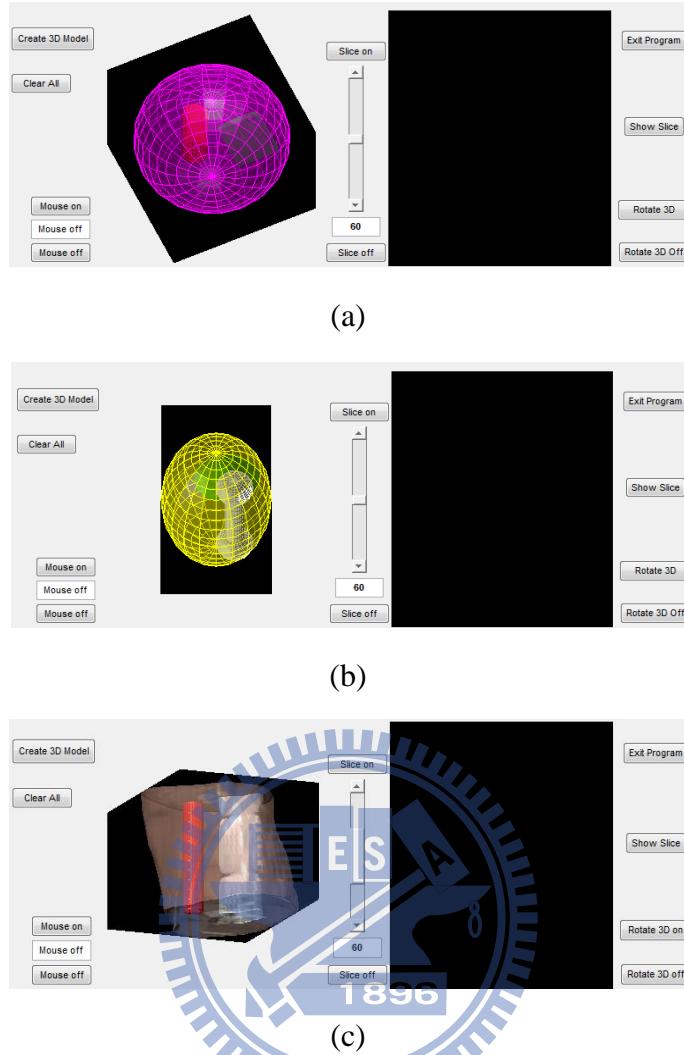


圖 4.8 三個物件同時旋轉圖。(a) 第一組；(b) 第二組；(c) 頸部。

以上即為 MATLAB 端測試平台執行的功能及其對應圖。MATLAB 端測試平台功能設計如此，其優點分別如下。
 1. 虛擬物體三維空間中任意視角觀看功能：能夠讓使用者任意觀看想觀看的視角，不會因為想觀看物體受到前方遮蔽物影響而無法觀察，旋轉時只需用滑鼠拉動視窗內的物體即可旋轉，操作方便且快速。
 2. 橫切面輪廓功能：能夠將某切面的輪廓線完整描繪出來，讓使用者能做為與立體物體互相對應的一個參考依據。
 3. 分離物件功能：分離物件功提供使用者整體由外圍向內部層次移動的視感，並可以個別觀察欲觀看的物件，不會受到物體重疊而無法看清楚物件被擋住或遮蔽的部位。

4.1.2 基於 C 語言之即時裸視立體顯像操控程式

在本論文第三章有提到，C 語言端互動式虛擬 3D 模型操控平台為求操作直觀且簡易，因此省去了所有按鍵，並將之設定成滑鼠操作與幾個鍵盤操作。如下圖 4.9 所示，程式執行時，虛擬 3D 模型就會直接產生出來在視窗 a 中。C 語言端和 MATLAB 端創建的兩組虛擬 3D 模型和一組頸部模型看起來不盡相同是因為 MATLAB 內部繪圖效果與 DirectX 3D 的圖形繪圖效果不一致所導致的，它們程式中內建色彩設定值和光源設定實現結果都不太一樣，因而讓兩端介面建出來的虛擬 3D 物體感覺不是很相同。如何讓兩端介面建置的模型一致，這部分是未來需要改進的地方。

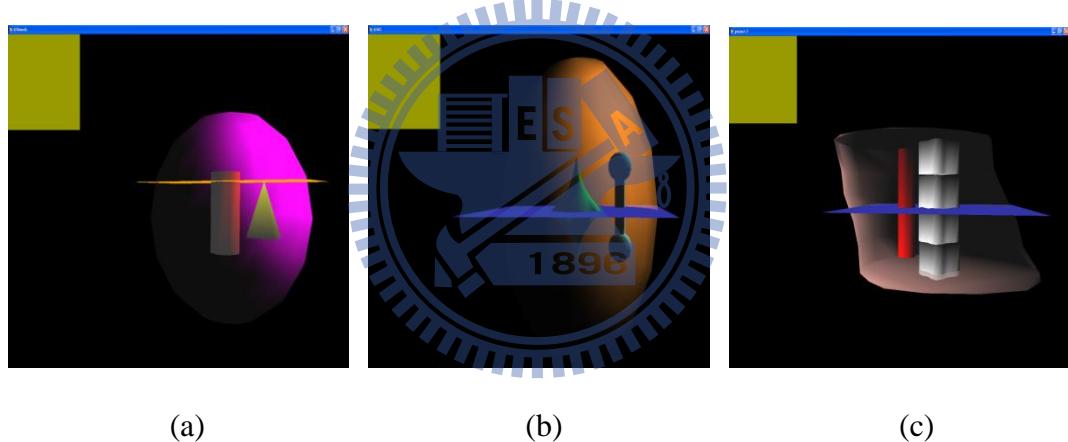
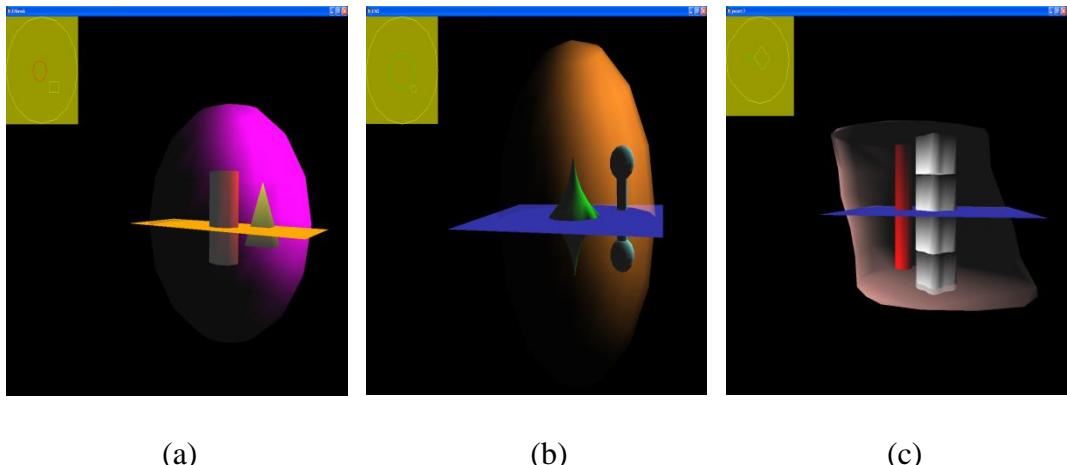


圖 4.9 基於 C 語言創建的模型。(a) 第一組；(b) 第二組；(c) 頸部。

接著我們直接操控鍵盤上下左右鍵中的上和下鍵，按下上鍵時，橫切面層會往上移動並顯示橫切面層與物體的交點連線成的輪廓情形；按下下鍵時橫切面層則會往下移動，且都會在視窗 c 中出現橫切面層，如圖 4.10 所示。在本視窗將橫切面的層數設為 180 層。



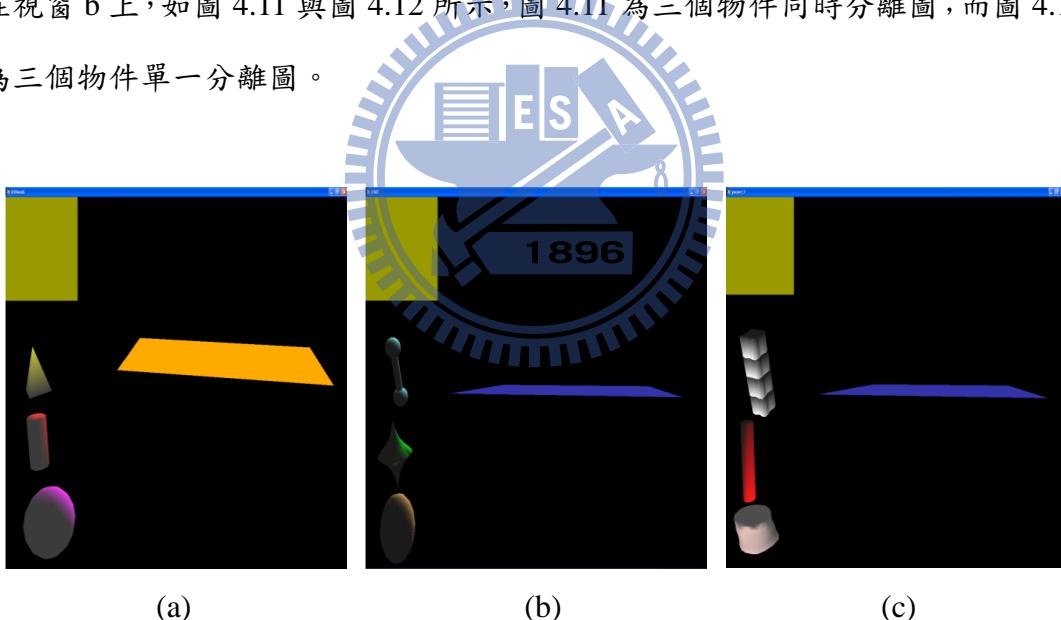
(a)

(b)

(c)

圖 4.10 橫切面輪廓圖。 (a) 第一組；(b) 第二組；(c) 頸部。

再來我們直接使用滑鼠左鍵點選物件即可使之分離出來個別觀看，並會顯示在視窗 b 上，如圖 4.11 與圖 4.12 所示，圖 4.11 為三個物件同時分離圖；而圖 4.12 為三個物件單一分離圖。



(a)

(b)

(c)

圖 4.11 三個物件全部分離圖。 (a) 第一組；(b) 第二組；(c) 頸部。

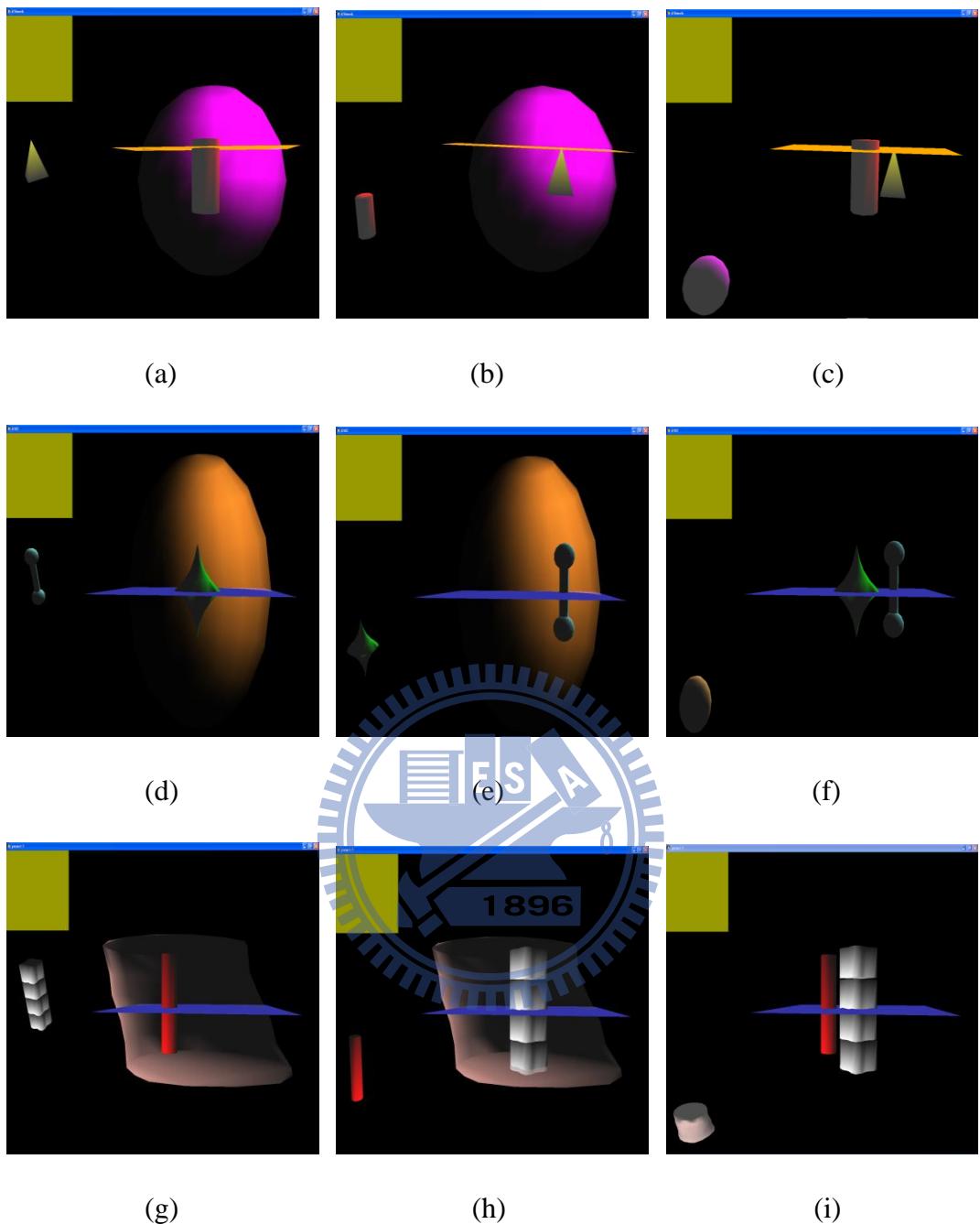


圖 4.12 三個物件個別單一分離圖。 (a) (b) (c) 第一組；(d) (e) (f) 第二組；(g) (h) (i) 頸部。

接著展示虛擬物體三維空間中任意視角觀看效果，此時我們直接按住滑鼠右鍵，接著拉擊視窗中的虛擬模型至任意角度。全體同時旋轉與單一旋轉圖，分別如圖 4.13 與圖 4.14 所示，可與圖 4.11 與圖 4.12 比較。

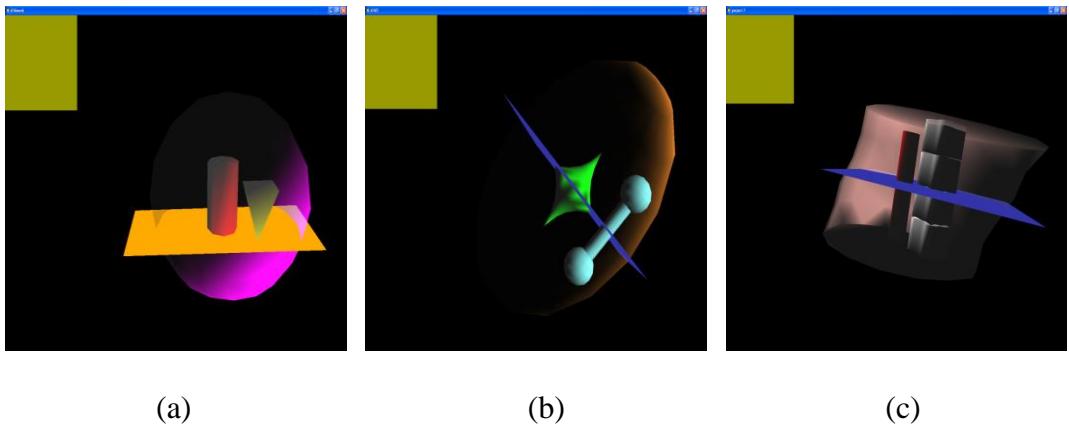


圖 4.13 三個物件同時轉圖。(a) 第一組；(b) 第二組；(c) 頸部。

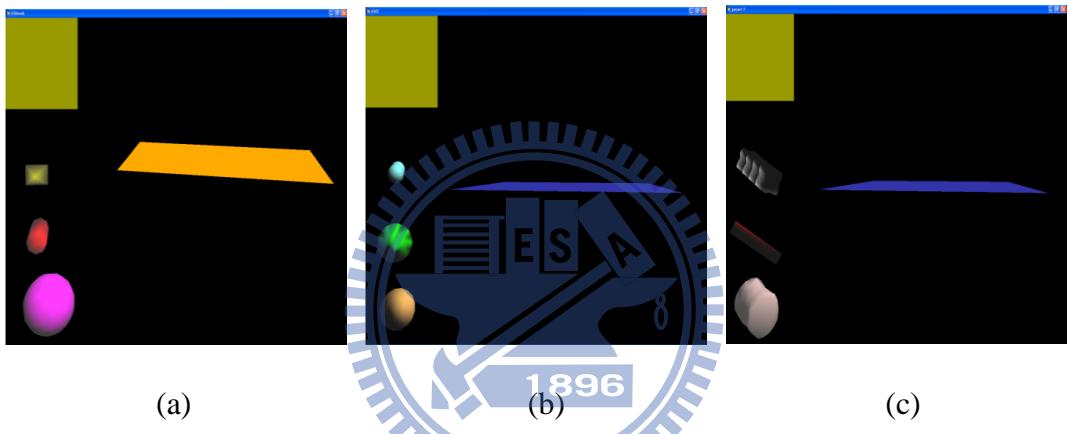


圖 4.14 三個物件個別單一旋轉圖。(a) 第一組；(b) 第二組；(c) 頸部。

4.1.3 幾何基礎多視角影像合成系統與硬體輸出端

我們採用的愛爾德(i-Art)3D 資訊公司提供的即時多視角影像合成驅動程式將我們的虛擬 3D 模型彩現並合成裸視 3D 多視角畫面，首先我們先安裝好驅動程式，並且開啟程式，先設定好使用顯示器的尺寸大小，本論文使用 BenQ 廠牌型號 FP751 的 17 吋液晶螢幕，最佳支援螢幕解析度為 1280×1024 ，如圖 4.15 (a) 所示。然後再設定多視角畫面轉換速度與品質，考量轉換速度與品質兼顧，因此將之設定在中間值。接下來在設定好欲轉換的程式執行檔，如圖 4.15 (b) 所示，設定好第一組(emptyproject.exe)和第二組(project.exe)的程式檔執行檔。

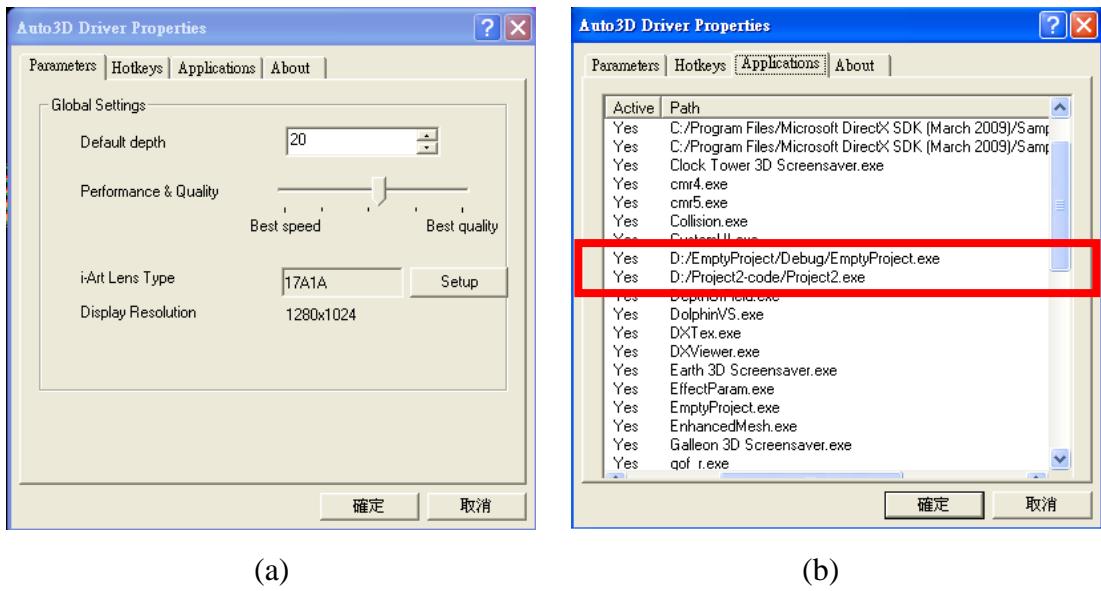


圖 4.15 駕動程式設定圖。 (a) 效能設定；(b) 路徑設定。

驅動程式設定好後，分別開啟第一組和第二組的執行程式，可以發現驅動程式將原本介面中的畫面以幾何基礎將即時計算並轉換成九個不同視角的畫面，如下圖 4.16 所示。

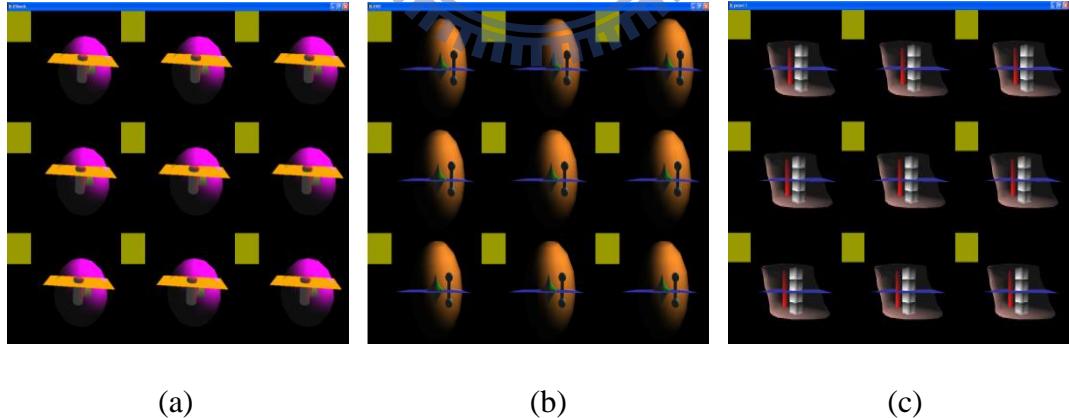


圖 4.16 即時轉換九個不同視角圖。 (a) 第一組；(b) 第二組；(c) 頸部。

我們可以仔細觀察出圖 4.16 中這九個影像彼此間都有些微的不同，即是視差，也就是多視角畫面，是做成裸視 3D 影像的重要輸出前置影像。接著我們再將這九張影像合成一張多視角畫面，為了在一個畫面中同時顯示九個不同視角的

影像，程式會將九張影像同一水平位置的像素(pixel)切成條狀(stripe)，再依程式內建相關設定照順序排列與組合在一起，最後合成一張多視角畫面，如圖 4.17 與圖 4.18 所示。

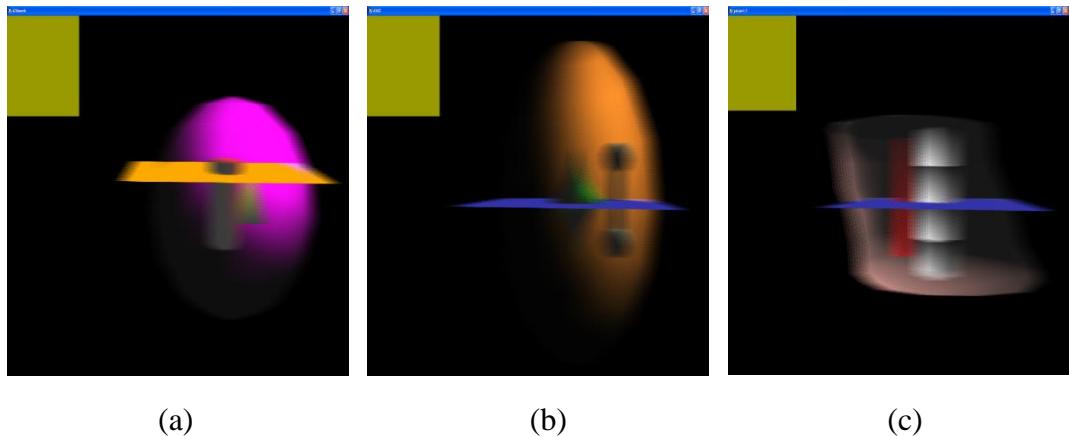


圖 4.17 合成後的多視角畫面圖(整體)。(a) 第一組;(b) 第二組;(c) 頸部。

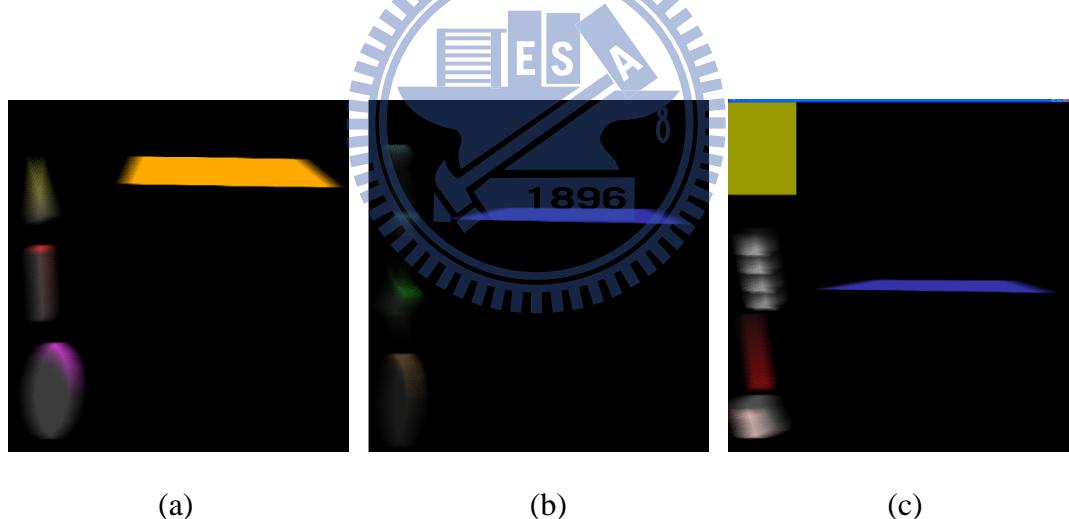


圖 4.18 合成後的多視角畫面圖(物件分離後)。(a) 第一組；(b) 第二組；(c) 頸部。

硬體輸出端方面，首先將可拆卸式柱狀透鏡光柵固定架黏至於螢幕的四周，並且將柱狀透鏡光柵取出，仔細觀察出斜向光柵面和平滑面，並將斜向光柵面面向螢幕表面接合放置，放置好後再將固定架扣上，如下頁圖 4.19 所示。可拆卸柱狀透鏡光柵的 LCD 點距為 0.264mm，LCD 支援解析度為 1280×1024 與即時多

視角影像合成驅動程式的設定值相同。如此設定與擺放後，內定預估的最佳觀賞距離為 30cm 至 200cm；最佳觀賞視角為往左往右各 22° 的角度範圍。

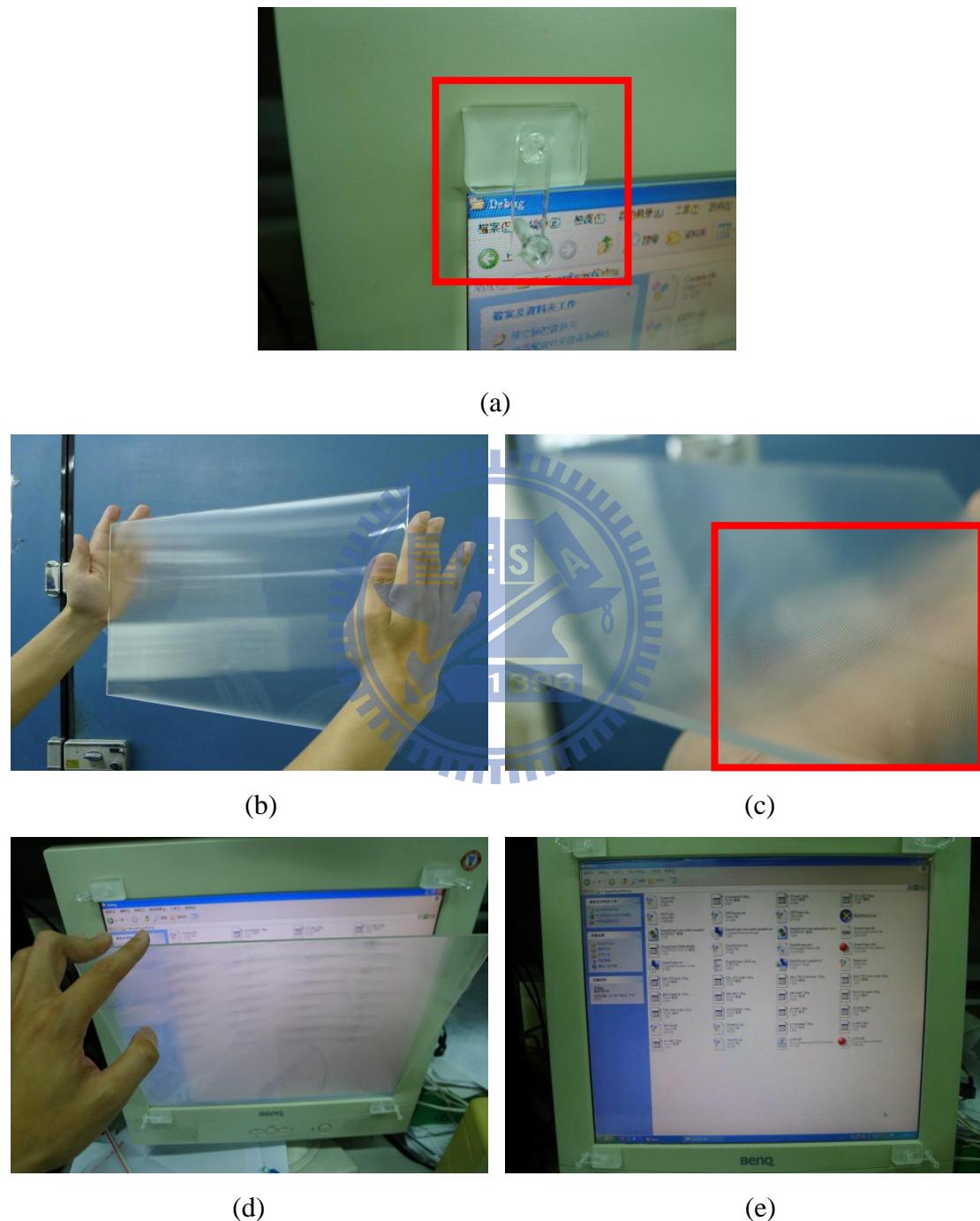


圖 4.19 可拆卸式柱狀透鏡光柵組裝圖。 (a) 光柵固定架；(b) 可拆卸柱狀透鏡光柵；(c) 光柵上的柱狀條紋；(d) 光柵與螢幕接合；(e) 整體完成圖。

4.2 視角測試設計與討論

本論文將根據 4.1 節與 4.2 節所述，將系統設置好後，輸出最終的裸視 3D 影像，並且對輸出影像的空間距離和角度做了一系列的測試，為了測試本論文系統裸視 3D 影像的效果，測試設計如下。首先以 17 吋液晶螢幕幾何中心點為空間球體中心點，並分成水平與垂直的角度，再依距離分成 50cm、100cm、150cm 和 200cm 這四個不同的定點距離，以液晶螢幕面向方向為正向，分成左、右、上和下四個方向，左右方依序選取 30° 、 45° 、 60° 和 90° 這幾個角度做為觀察 3D 畫面的視角；上下方也依序選取 30° 、 45° 、 60° 和 90° 這幾個角度做為觀察 3D 畫面的視角，總共有 148 個不同的定點，來詳細觀察裸視 3D 影像在這些地點成像的效果與品質，如圖 4.20 所示。

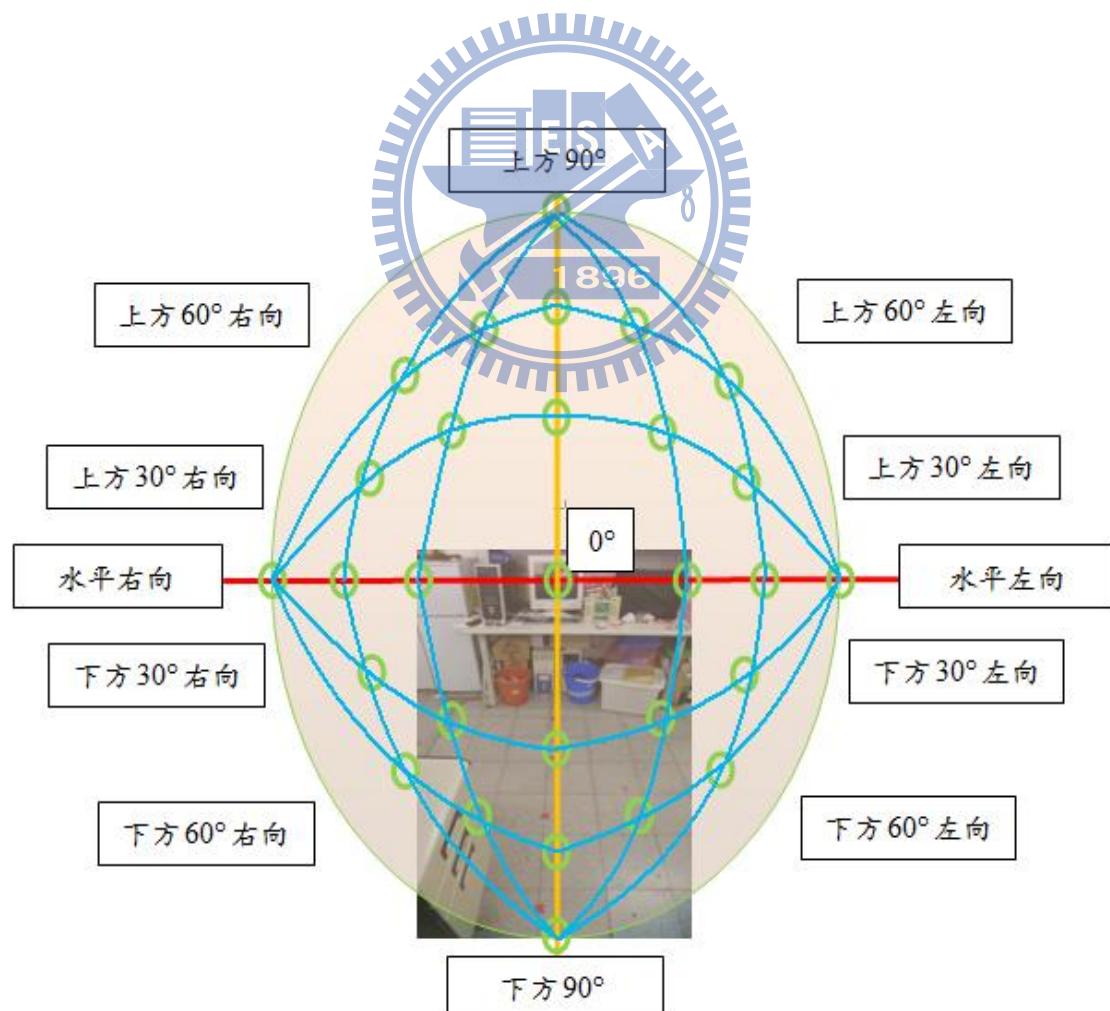


圖 4.20 視角測試觀察點三維空間定點位置設置圖。

根據 2.1 節所述，由於每個人對 3D 效果的感覺都不同，因此用一個觀察者的主觀評估來衡量影響品質往往較為適合。根據主觀保真度準則(subjective fidelity criteria)[34]為基礎，這裡做法為先選擇適當的觀察者代表，然後訂出一套 3D 影像品質的基準，再讓他們在此套標準裡做評分。因此本論文在此任意選取八位同學來做一系列的測試。首先，在這 148 個位置測試時，先制訂好 3D 效果的好壞，制訂情況如下：

表 4.1 3D 影像的尺度。

分數	等級	描述
6	優秀	畫面中物體有浮現出螢幕表面且有 3D 感覺，且物體沒有重疊或晃動的情形產生，有極高品質的立體影像。
5	好的	畫面中物體有浮現出螢幕表面且有 3D 感覺，且物體稍有重疊或晃動的情形產生，干擾不令人討厭。
4	通過	畫面中物體有浮現出螢幕表面且有 3D 感覺，且物體有重疊或晃動的情形產生，干擾可令人接受。
3	勉強	畫面中物體有浮現出螢幕表面且有 3D 感覺，且物體有中等重疊或晃動的情形產生，干擾有一些討厭。
2	劣等	畫面中物體有浮現出螢幕表面且有 3D 感覺，且物體有嚴重重疊或晃動的情形產生，干擾讓人討厭。
1	無	畫面中物體沒有浮現出螢幕表面，沒有 3D 的效果。

制訂好標準後，八位同學分別以肉眼觀察，並且統計八位同學對 3D 效果的感覺，並給予對應的分數，最後再將八位同學的分數加總後取平均(四捨五入)，來決定此位置最終的影像尺度等級為何。例如，八位同學給的分數加總取平均後為 5.5 分，經過四捨五入後為 6 分，則此位置的 3D 立體效果就為「優秀」。

定點做完觀察後，捨去 0cm~50cm 的距離範圍，因為離螢幕過於接近，由 2.5 節的圖 2.32 可知已經小於有效 3D 管賞距離了，並無正確的 3D 成像。接著，再請八位同學依距離螢幕 50cm~100cm、100cm~150cm、150cm ~200cm 和 200cm 以外這四個不同的距離，先從水平面開始，然後擴展到垂直面，然後往螢幕畫面的左、右、上和下方以畫球體的方式移動(維持與螢幕的距離)，並且在 30° 、 45° 、 60° 和 90° 這幾個角度稍作停頓，仔細觀察 0° 至 15° 、 15° 至 30° 、 30° 至 45° 、 45° 至 60° 和 60° 至 90° 這幾個區域範圍內部的 3D 效果，並且仍然依照表 4.1 種分類情況為觀察結果。最後，本測試將最終統計的結果紀錄在下頁表 4.2~表 4.7，其中表 4.2 與表 4.3 是紀錄水平面定點位置與區域範圍觀察的結果；表 4.4 與表 4.5 是紀錄上方 30° 定點位置與區域範圍觀察的結果；表 4.6 與表 4.7 是紀錄上方 45° 定點位置與區域範圍觀察的結果；表 4.8 與表 4.9 是紀錄上方 60° 定點位置與區域範圍觀察的結果，而上方 90° 已經觀察不到螢幕畫面，因此不做記錄。另外下方各角度因為與上方各角度對稱，視覺效果非常相似，因此本論文的下方各角度紀錄就不再列出來，僅列出上方各角度的視覺尺度紀錄情形。

其中螢幕左向 30° 、 45° 和 60° 定點觀察的結果，以及螢幕上方的 30° 、 45° 和 60° 定點觀察的結果(僅展示螢幕左方與上方是因為左右和上下皆對稱，兩邊拍出來的情形非常相似，因此僅選左方與上方展示)，以相機拍下畫面，所選用的相機型號為 Panasonic LX5，焦距定為 135mm 拍攝。如圖 4.21 至圖 4.27 所示。

表 4.2 垂直 0° 各位置點(定點)裸視 3D 觀察效果

位置	螢幕右向				中間	螢幕左向			
角度	90°	60°	45°	30°	0°	30°	45°	60°	90°
距離	無	無	劣等	勉強	通過	勉強	劣等	無	無
50(cm)	無	劣等	勉強	通過	好的	通過	勉強	劣等	無
100(cm)	無	劣等	通過	好的	優秀	好的	通過	劣等	無
150(cm)	無	劣等	通過	好的	優秀	好的	通過	劣等	無
200(cm)	無	勉強	通過	好的	優秀	好的	通過	勉強	無

表 4.3 垂直上下 0° 至 30° 各位置(區域範圍)裸視 3D 觀察效果

位置	螢幕右向						螢幕左向			
角度	60° 至 90°	45° 至 60°	30° 至 45°	15° 至 30°	180° 至 15°	0° 至 15°	15° 至 30°	30° 至 45°	45° 至 60°	60° 至 90°
距離	無	無	劣等	通過	通過	通過	勉強	劣等	無	無
50~ 100(cm)	無	劣等	勉強	通過	好的	好的	通過	勉強	劣等	無
100~ 150(cm)	無	劣等	通過	好的	優秀	優秀	好的	通過	劣等	無
150~ 200(cm)	無	劣等	通過	好的	優秀	優秀	好的	通過	劣等	無
200(cm) 以外	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無

表 4.4 垂直上下 30° 各位置點(定點)裸視 3D 觀察效果

位置	螢幕右向				中間	螢幕左向			
角度 距離	90°	60°	45°	30°	0°	30°	45°	60°	90°
50(cm)	無	無	劣等	劣等	通過	劣等	劣等	無	無
100(cm)	無	無	勉強	劣等	通過	勉強	劣等	無	無
150(cm)	無	無	勉強	劣等	好的	勉強	劣等	無	無
200(cm)	無	無	通過	劣等	好的	通過	劣等	無	無

表 4.5 垂直上下 30° 至 45° 各位置(區域範圍)裸視 3D 觀察效果

位置	螢幕右向						螢幕左向			
角度 距離	60° 至 90°	45° 至 60°	30° 至 45°	15° 至 30°	180° 至 15°	0° 至 15°	15° 至 30°	30° 至 45°	45° 至 60°	60° 至 90°
50~ 100(cm)	無	無	無	劣等	通過	通過	劣等	無	無	無
100~ 150(cm)	無	無	劣等	勉強	通過	通過	勉強	劣等	無	無
150~ 200(cm)	無	無	劣等	通過	好的	好的	通過	劣等	無	無
200(cm) 以外	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無

表 4.6 垂直 45° 各位置點(定點)裸視 3D 觀察效果

位置	螢幕右向				中間	螢幕左向			
角度	90°	60°	45°	30°	0°	30°	45°	60°	90°
距離	無	無	無	無	無	無	無	無	無
50(cm)	無	無	無	無	劣等	無	無	無	無
100(cm)	無	無	無	無	劣等	無	無	無	無
150(cm)	無	無	無	無	劣等	無	無	無	無
200(cm)	無	無	無	無	劣等	無	無	無	無

表 4.7 垂直上下 45° 至 60° 各位置(區域範圍)裸視 3D 觀察效果

位置	螢幕右向						螢幕左向			
角度	60° 至 90°	45° 至 60°	30° 至 45°	15° 至 30°	180° 至 15°	0° 至 15°	15° 至 30°	30° 至 45°	45° 至 60°	60° 至 90°
距離	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無
50~ 100(cm)	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無
100~ 150(cm)	無	無	無	無	劣等	劣等	無	無	無	無
150~ 200(cm)	無	無	無	無	劣等	劣等	無	無	無	無
200(cm) 以外	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無

表 4.8 垂直 60° 各位置點(定點)裸視 3D 觀察效果

位置	螢幕右向				中間	螢幕左向			
角度	90°	60°	45°	30°	0°	30°	45°	60°	90°
距離	無	無	無	無	無	無	無	無	無
50(cm)	無	無	無	無	無	無	無	無	無
100(cm)	無	無	無	無	無	無	無	無	無
150(cm)	無	無	無	無	無	無	無	無	無
200(cm)	無	無	無	無	無	無	無	無	無

表 4.9 垂直上下 60° 至 90° 各位置(區域範圍)裸視 3D 觀察效果

位置	螢幕右向						螢幕左向			
角度	60° 至 90°	45° 至 60°	30° 至 45°	15° 至 30°	180° 至 15°	0° 至 15°	15° 至 30°	30° 至 45°	45° 至 60°	60° 至 90°
距離	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無
50~ 100(cm)	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無
100~ 150(cm)	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無
150~ 200(cm)	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無
200(cm) 以外	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無

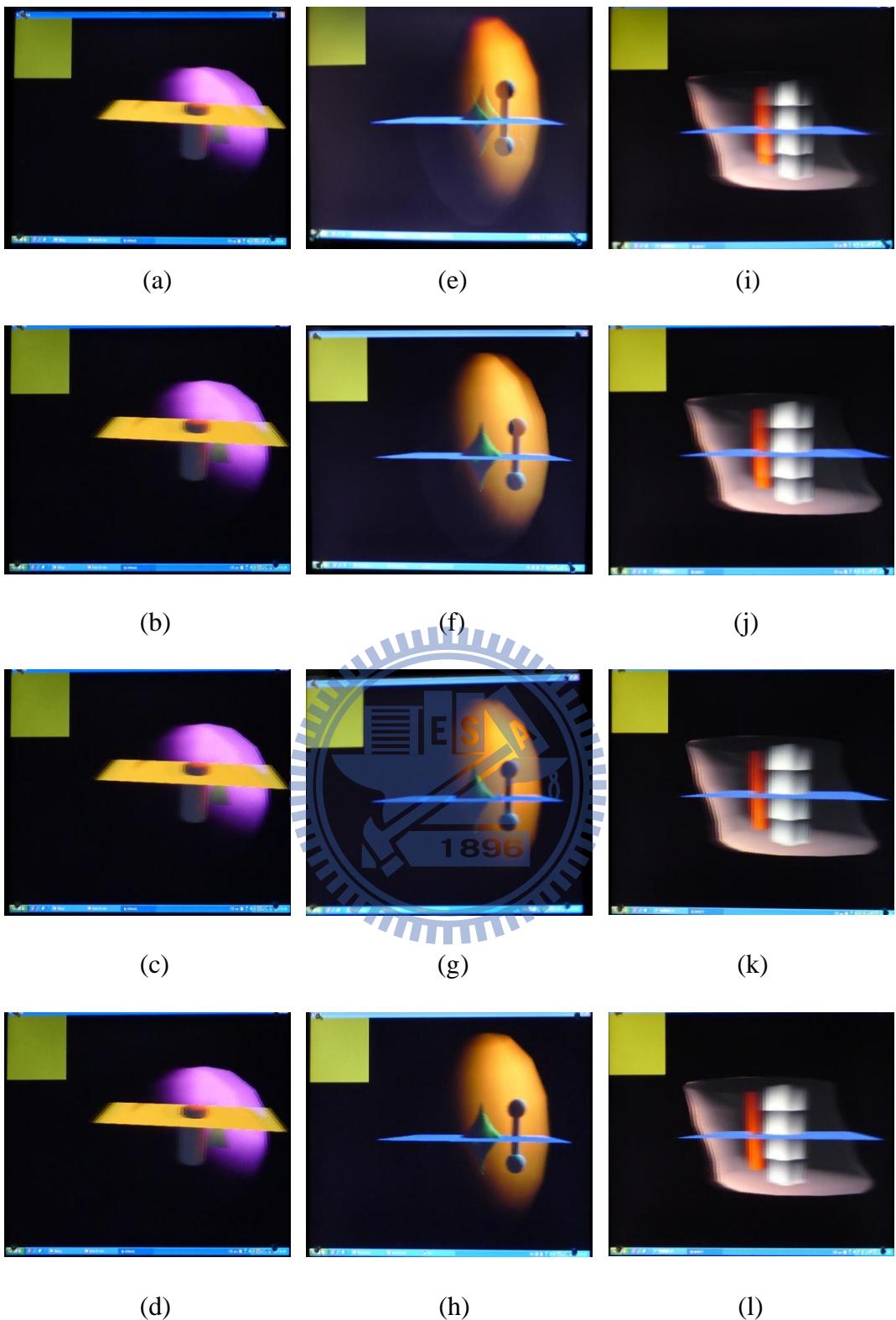


圖 4.21 實驗測試水平面各定點位置圖。(a) 第一組 50cm；(b) 第一組 100cm；
 (c) 第一組 150cm；(d) 第一組 200cm；(e) 第二組 50cm；(f) 第二組 100cm；(g)
 第二組 150cm；(h) 第二組 200cm；(i) 頸部 50cm；(j) 頸部 100cm；(k) 頸部 150cm；
 (l) 頸部 200cm。

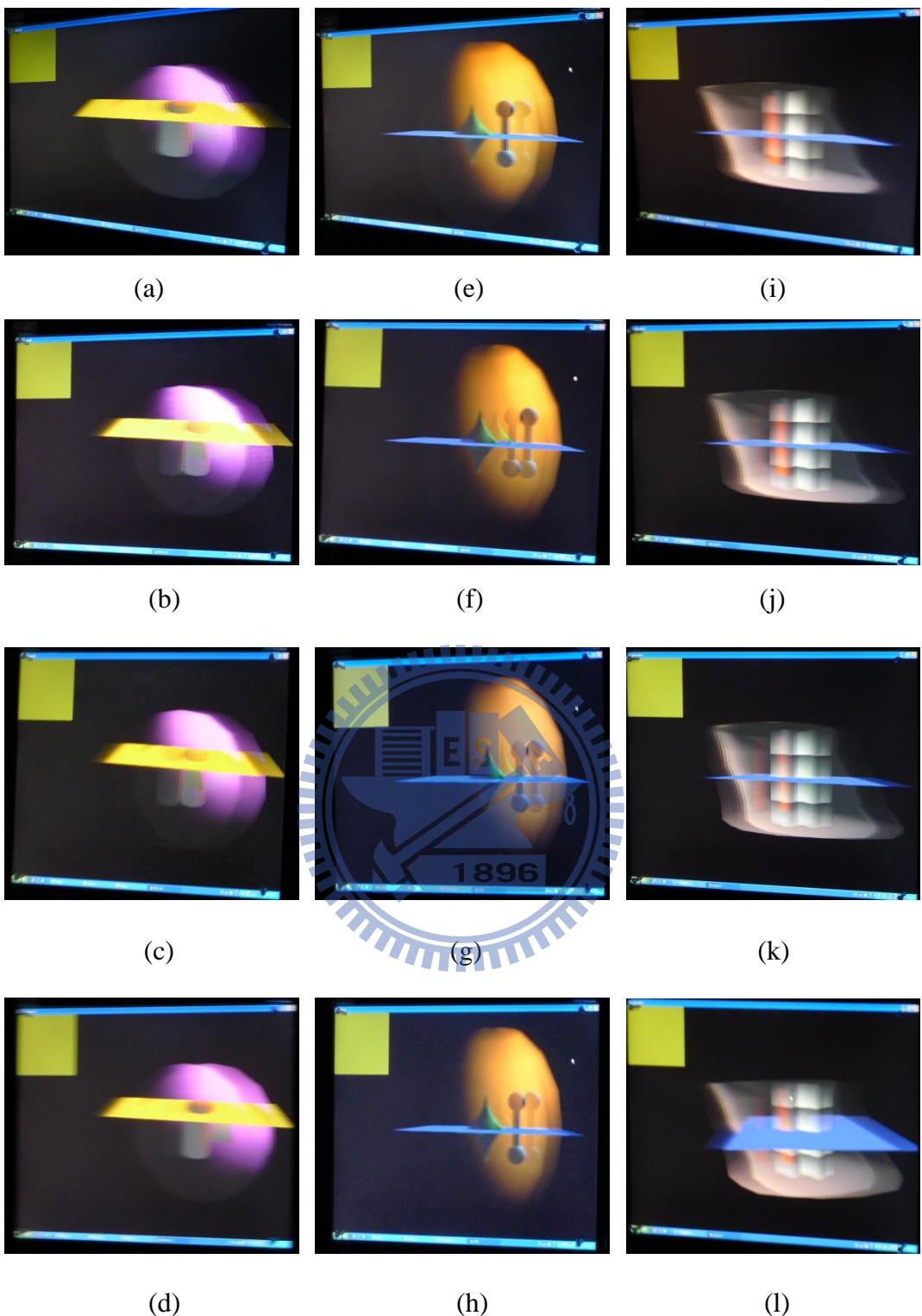


圖 4.22 實驗測試螢幕左向角度 30° 各定點位置圖。 (a) 第一組 50cm；(b) 第一組 100cm；(c) 第一組 150cm；(d) 第一組 200cm；(e) 第二組 50cm；(f) 第二組 100cm；(g) 第二組 150cm；(h) 第二組 200cm；(i) 頸部 50cm；(j) 頸部 100cm；(k) 頸部 150cm；(l) 頸部 200cm。

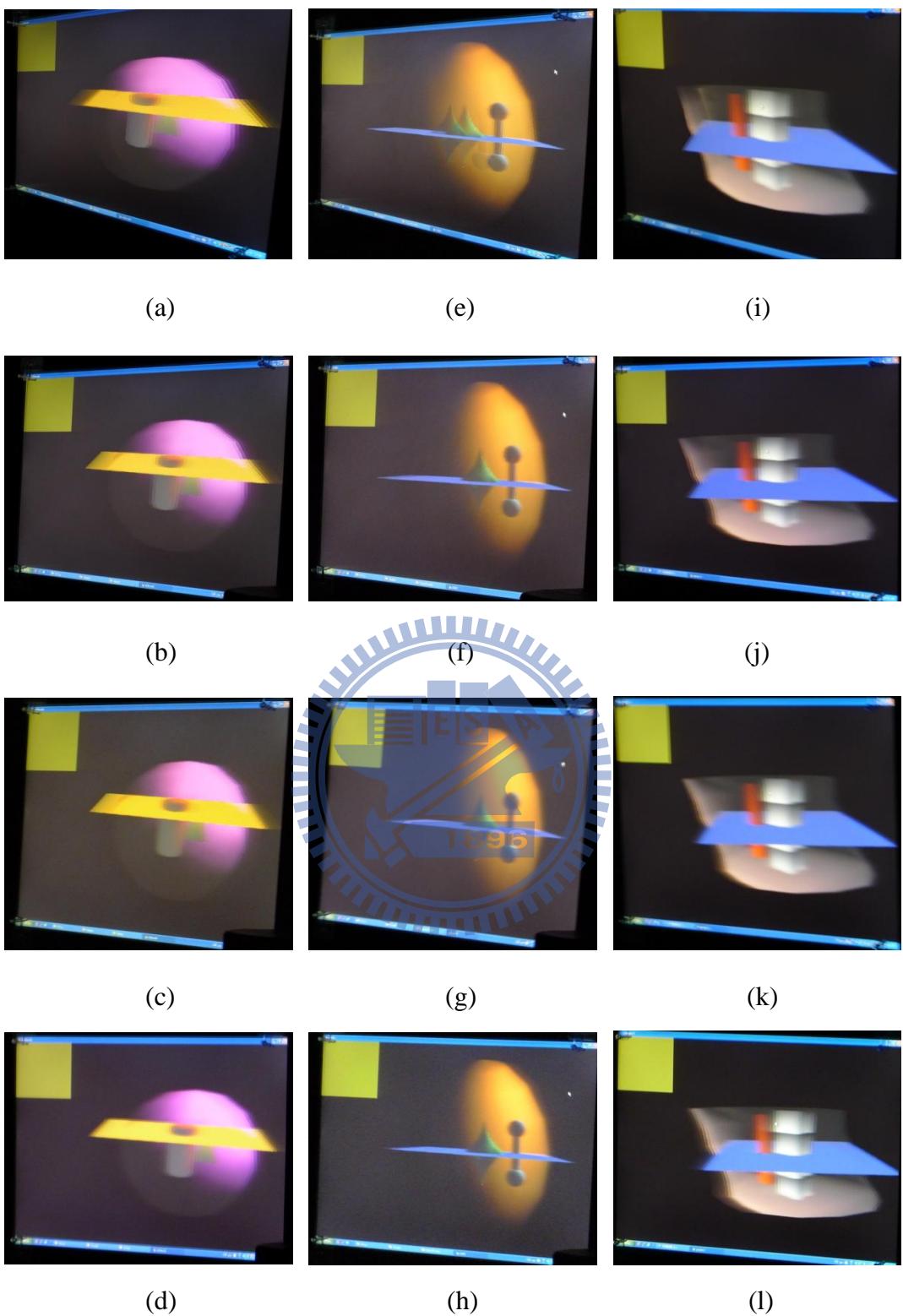


圖 4.23 實驗測試螢幕左向角度 45° 各定點位置圖。 (a) 第一組 50cm；(b) 第一組 100cm；(c) 第一組 150cm；(d) 第一組 200cm；(e) 第二組 50cm；(f) 第二組 100cm；(g) 第二組 150cm；(h) 第二組 200cm；(i) 頸部 50cm；(j) 頸部 100cm；(k) 頸部 150cm；(l) 頸部 200cm。

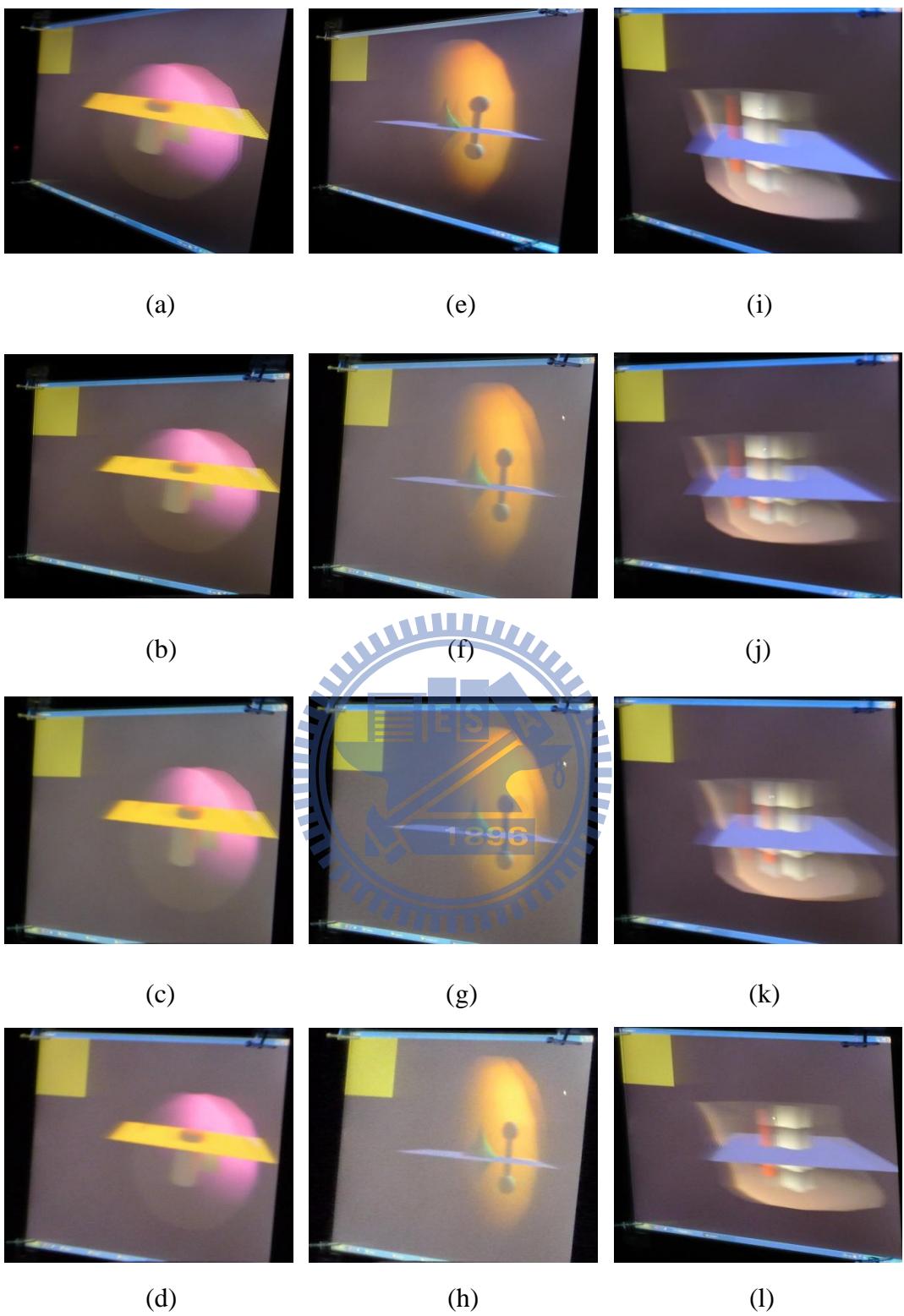


圖 4.24 實驗測試螢幕左向角度 60° 各定點位置圖。 (a) 第一組 50cm；(b) 第一組 100cm；(c) 第一組 150cm；(d) 第一組 200cm；(e) 第二組 50cm；(f) 第二組 100cm；(g) 第二組 150cm；(h) 第二組 200cm；(i) 頸部 50cm；(j) 頸部 100cm；(k) 頸部 150cm；(l) 頸部 200cm。

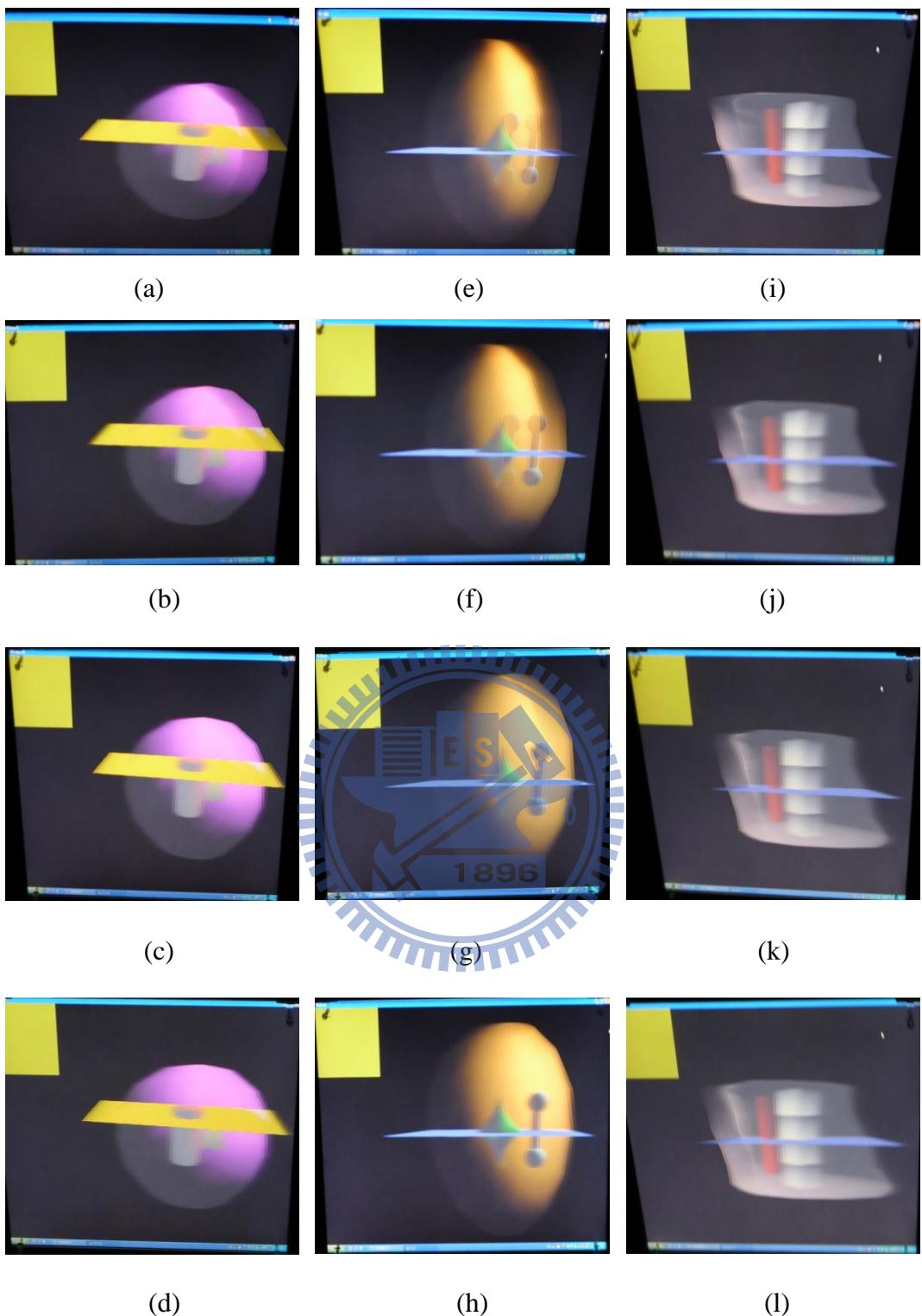


圖 4.25 實驗測試螢幕上方角度 30° 各定點位置圖。 (a) 第一組 50cm；(b) 第一組 100cm；(c) 第一組 150cm；(d) 第一組 200cm；(e) 第二組 50cm；(f) 第二組 100cm；(g) 第二組 150cm；(h) 第二組 200cm；(i) 頸部 50cm；(j) 頸部 100cm；(k) 頸部 150cm；(l) 頸部 200cm。

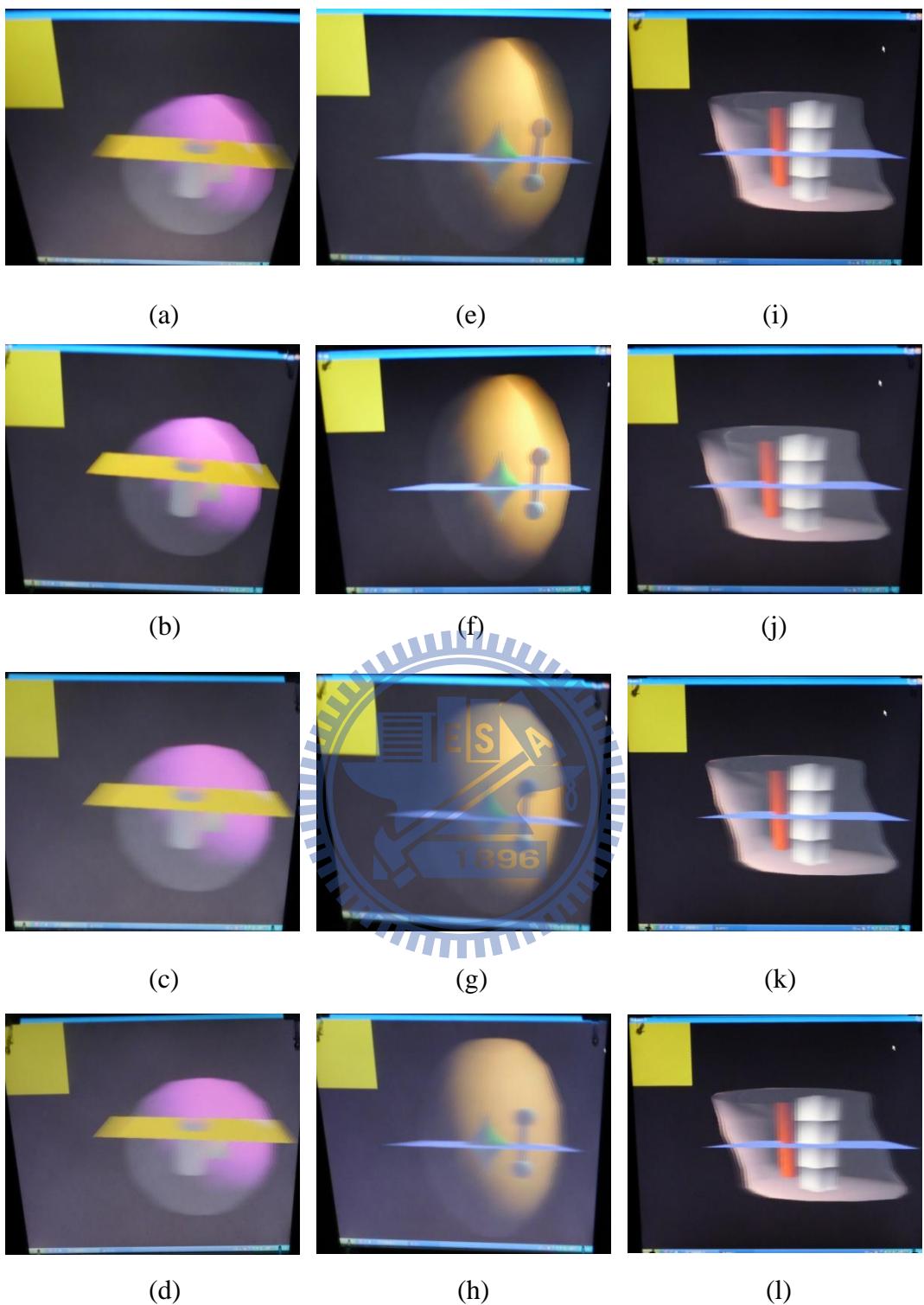


圖 4.26 實驗測試螢幕上方角度 45° 各定點位置圖。 (a) 第一組 50cm；(b) 第一組 100cm；(c) 第一組 150cm；(d) 第一組 200cm；(e) 第二組 50cm；(f) 第二組 100cm；(g) 第二組 150cm；(h) 第二組 200cm；(i) 頸部 50cm；(j) 頸部 100cm；(k) 頸部 150cm；(l) 頸部 200cm。

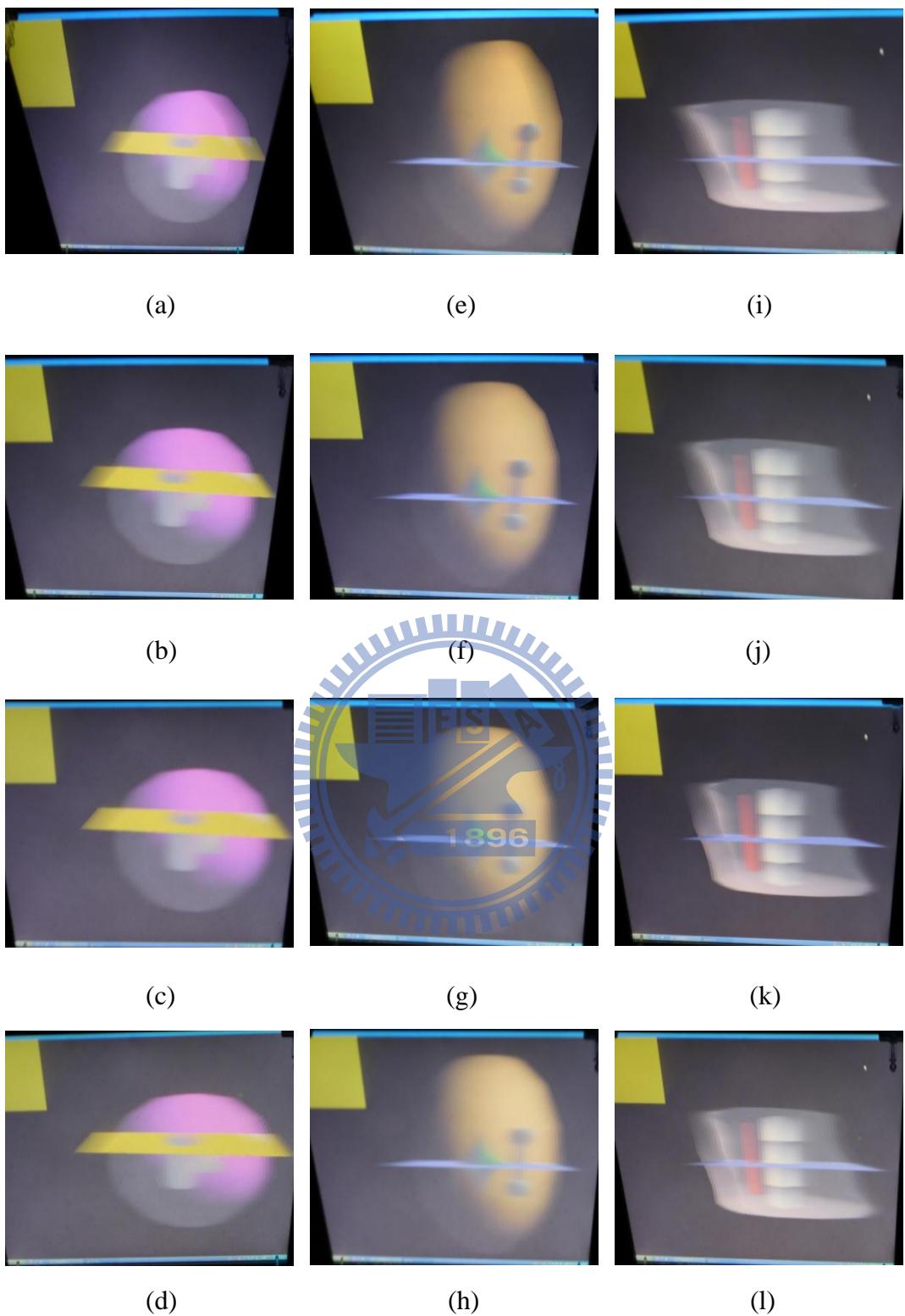


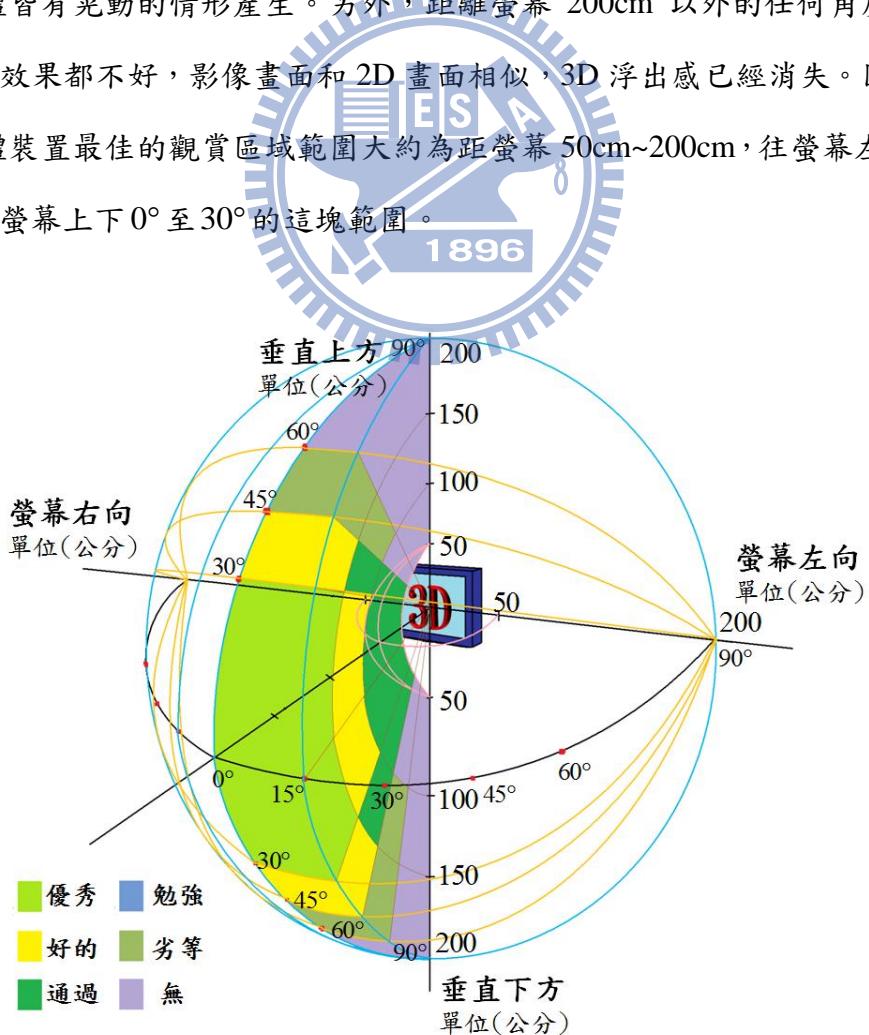
圖 4.27 實驗測試螢幕上方角度 60° 各定點位置圖。 (a) 第一組 50cm；(b) 第一組 100cm；(c) 第一組 150cm；(d) 第一組 200cm；(e) 第二組 50cm；(f) 第二組 100cm；(g) 第二組 150cm；(h) 第二組 200cm；(i) 頸部 50cm；(j) 頸部 100cm；(k) 頸部 150cm；(l) 頸部 200cm。

圖 4.21 至圖 4.24 分別將螢幕水平左向 30° 、 45° 和 60° 的 50cm、100cm、150cm 和 200cm 的裸視 3D 效果都展示出來；其中水平左向 90° 因為 3D 效果已經非常不清楚了，所以並不展示裸視 3D 效果圖。根據表 4.2 和表 4.3 的視角測試結果紀錄，可以發現垂直螢幕 0° 至 30° ，銀幕水平方向 0° 至 15° ，在螢幕左方和螢幕右方各從 50cm 至 200cm 的角度區域範圍內，都是有效的觀看點，在這範圍內觀看都可以得到「優秀」的 3D 效果，有極高品質的 3D 影像；而螢幕左向和螢幕右向從 15° 至 30° 角度，距離螢幕 50cm 至 200cm 區域範圍內，畫面的 3D 效果屬於「好的」，畫面中物體有浮現出螢幕表面且有 3D 感覺，且物體稍有重疊或晃動的情形產生，干擾不令人討厭；另外，螢幕左向和螢幕右向從 30° 至 45° 角度，距離螢幕 50cm 至 200cm 區域範圍內，畫面的 3D 效果都屬於「通過」，畫面中物體有浮現出螢幕表面且有 3D 感覺，且物體有重疊或晃動的情形產生，干擾可令人接受；螢幕左向和螢幕右向從 45° 至 60° 角度，距離螢幕 50cm 至 200cm 區域範圍內畫面的 3D 效果都屬於「勉強」，畫面中物體有浮現出螢幕表面且有 3D 感覺，且物體有中等重疊或晃動的情形產生，干擾有一些討厭。最後，剩下的區域範圍 3D 效果都為「無」，觀看時已經沒有立體的影像了。

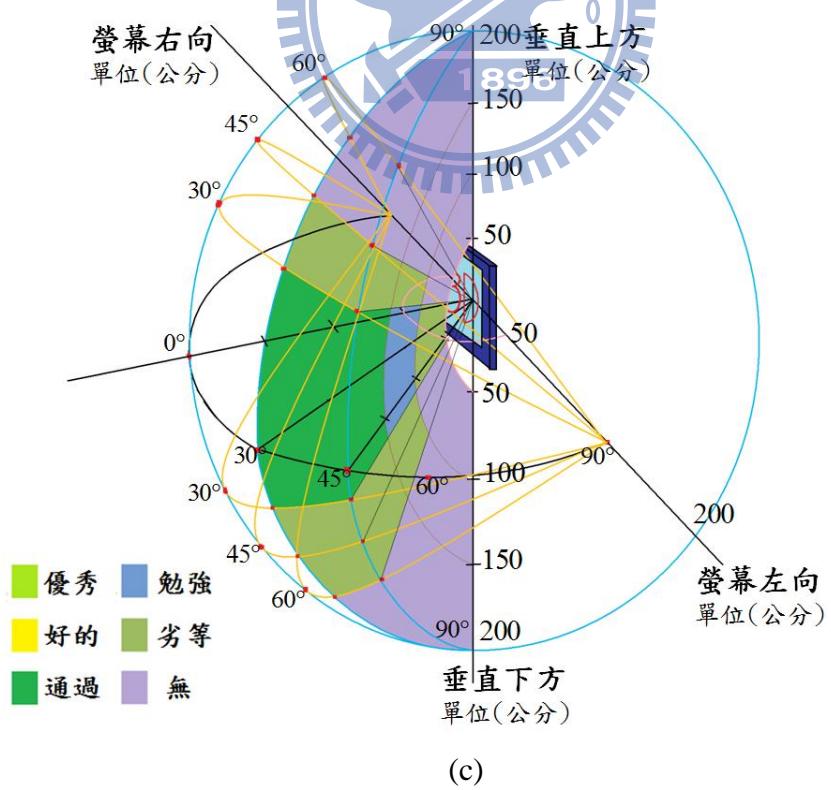
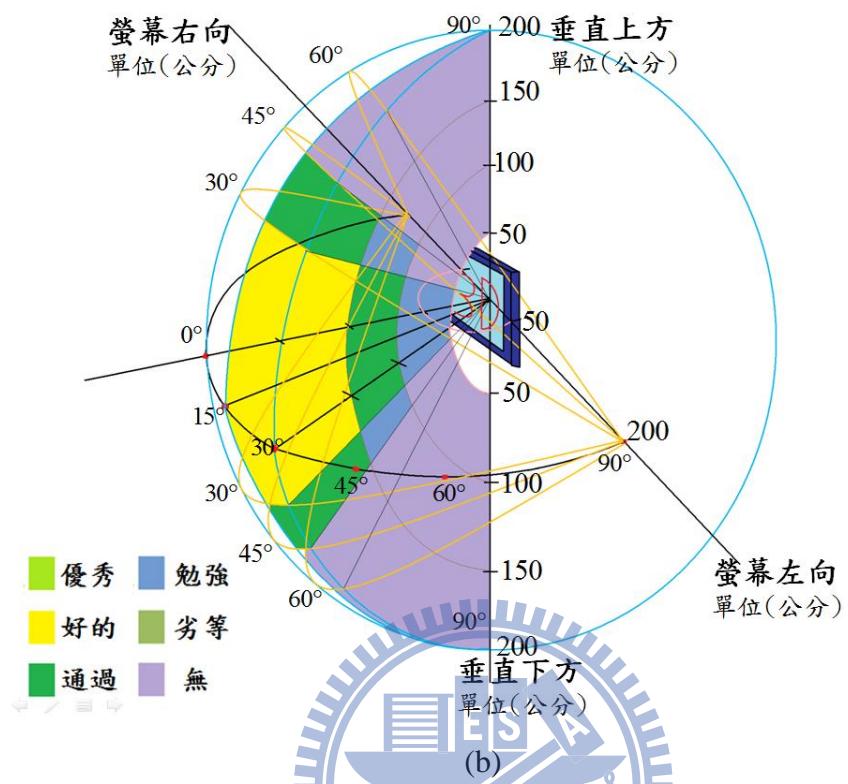
而圖 4.25 至圖 4.27 則是分別將螢幕正上方 30° 、 45° 和 60° 的 50cm、100cm、150cm 和 200cm 的裸視 3D 效果都展示出來，其中正上方 90° 因為 3D 效果已經非常不清楚了，所以並不展示裸視 3D 效果圖。根據表 4.4 和表 4.5 的視角測試結果紀錄，可以發現螢幕往上下方角度移動從 30° 至 45° 時，並往螢幕左右移動 0° 至 30° ，這段區域範圍內的裸視 3D 效果為「通過」，畫面中物體有浮現出螢幕表面且有 3D 感覺，且物體有重疊或晃動的情形產生，干擾可令人接受；而從螢幕左右 30° 移動至 45° 的範圍內，裸視 3D 效果已經降為「劣等」；從螢幕左右 60° 移動至 90° 的範圍皆已無裸視 3D 效果了。另外，根據表 4.6 和表 4.7 的視角測試結果紀錄，可以知道螢幕往上下方角度 45° 移動至 60° ，且往螢幕左右移動 0° 至 15° ，僅這段區域範圍有「劣等」的裸視 3D 效果，在這些區域範圍以外的區域裸視 3D 效果皆已經消失。以上所述的 3D 視覺效果區域範圍，在圖 4.28 中清楚

的以螢幕左向從 0° 至 15° 、 15° 至 30° 、 45° 至 60° 和 60° 至 90° 分別表示出來，且每次表示的區域範圍都包含垂直上下 0° 至 90° ，而由螢幕右向因為與螢幕左向的效果對稱，為了圖的方便觀察，並不在圖中繪出，但我們必須知道圖 4.28 中螢幕右向的區域範圍也是有 3D 視覺效果的。

其中，比較值得注意的一點是，不管在任何距離範圍(50cm~200cm)，於螢幕左方和螢幕右方角度正好 30° 的直線上，觀賞的 3D 效果都有物體重疊與成像效果不好的情形產生，此現象是因為螢幕左右向 30° 的直線剛好是本論文裸視 3D 系統的反立體視點區域(pseudoscopic image viewing position)，就如同 2.5 節討論的多視角畫面輸出的不可視點。請見圖 4.22 實驗測試螢幕左向角度 30° 各定點位置圖，可以發現在這個角度不管距離螢幕任何空間距離下，看到的 3D 效果都不好，物體皆有晃動的情形產生。另外，距離螢幕 200cm 以外的任何角度區域，裸視 3D 效果都不好，影像畫面和 2D 畫面相似，3D 浮出感已經消失。因此本論文的硬體裝置最佳的觀賞區域範圍大約為距螢幕 50cm~200cm，往螢幕左右 0° 至 45° ，往螢幕上下 0° 至 30° 的這塊範圍。



(a)



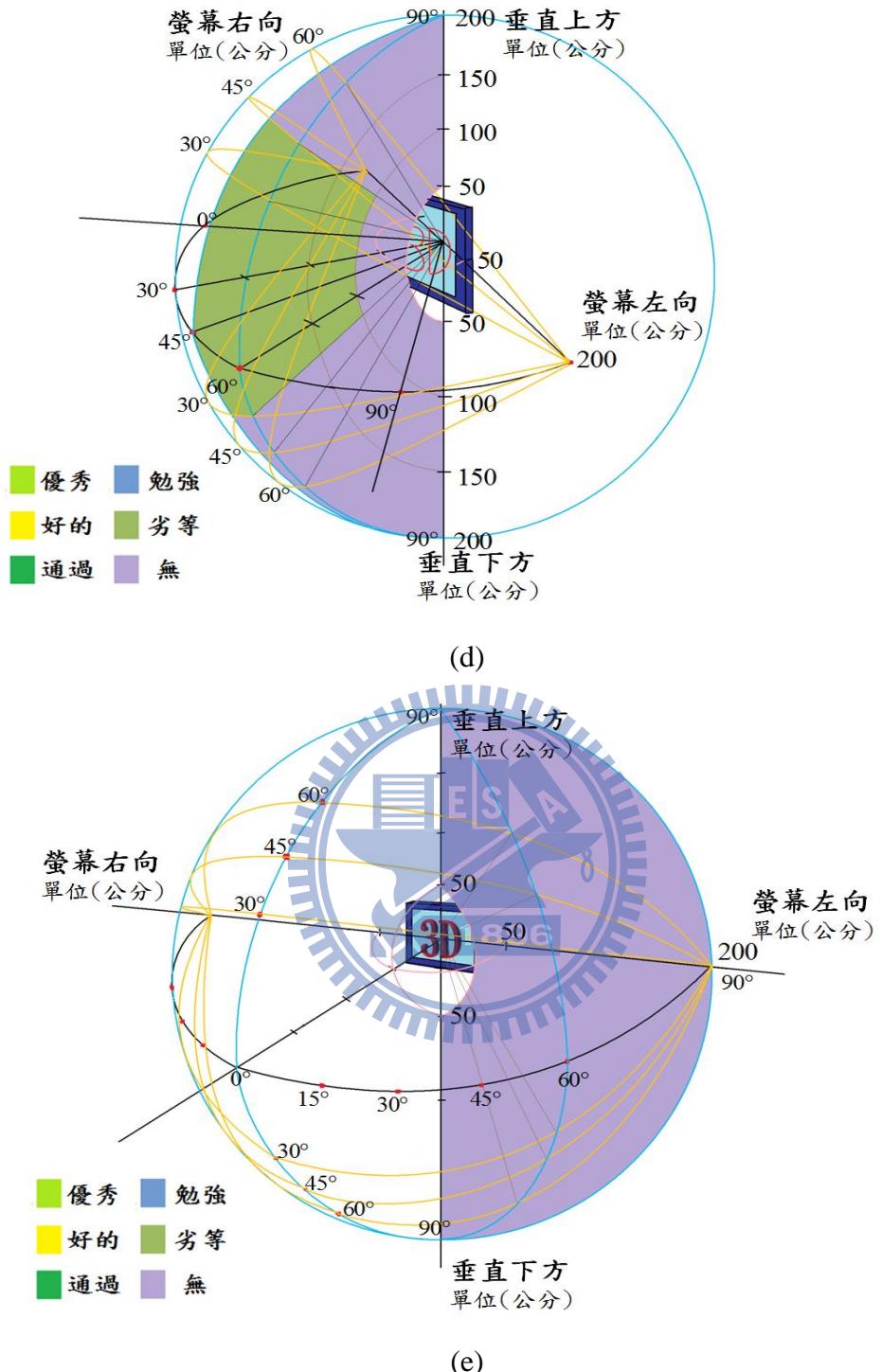


圖 4.28 本論文系統裸視 3D 顯像效果圖(與螢幕距離皆為 50cm~200cm 且垂直上下 0° 至 90°)。 (a) 螢幕左向 0° 至 15° ; (b) 螢幕左向 15° 至 30° (圖以(a)為基準順時針轉動 30° 以方便觀看) ; (c) 螢幕左向 30° 至 45° (圖以(a)為基準順時針轉動 30° 以方便觀看) ; (d) 螢幕左向 45° 至 60° (圖以(a)為基準順時針轉動 60° 以方便觀看) ; (e) 螢幕左向 60° 至 90° 。

4.3 立體顯像操控實現討論

我們將此顯像操控程式設計如此，主要是未來可以將本實驗系統供給醫學機構的醫生或是相關醫學影像的研究人員使用，研究人員將病患的人體某部位(頸部)欲偵測的幾個器官(皮膚、頸椎、咽喉管或是其它想要診斷的器官和組織，這裡先以皮膚、頸椎和咽喉管做為舉例)的空間資料點或是相關數據輸入本實驗的系統中，接著把這些資訊點建成真正的虛擬 3D 模型而不是自己任意建構出來的，整組 3D 模型包括皮膚、頸椎和咽喉管，外圍大物件就是頸部的皮膚，並且是可透視的皮膚色(透明度可以調控)；內部的小物件分別為頸椎和咽喉管，顏色將為不可透視色彩，並可依研究者需求仿真上色，也可上強烈的對比色彩，讓研究者容易分辨即可。如此由三個物件組成的虛擬 3D 頸部，研究者可以在主視窗中看到完整的樣子，並且能夠提供研究者對此部位有一個整體的概念，以利研究者後續進行各種診斷或評估。

接下來研究者可以操控各種功能鍵，當研究者按下 mouse on 按鍵時，再由滑鼠直接在主視窗中點選，就能夠將各個物件分離出來。若是研究者想看頸部內器官是否有疾病或是發生了病變(如腫瘤)，他可以直接點選主視窗裡的皮膚(外圍大物件)，那麼皮膚就會消失在主視窗，並且出現在另外的視窗中，此時研究者可以清楚的看到內部的頸椎和咽喉管情形；若是研究者想進一步個別診視頸椎和咽喉管，可以繼續點選主視窗中剩下的頸椎和咽喉管，它們也都會從主視窗中分離出來，並且出現在其它視窗裡面，讓研究者在其它視窗中能對每個器官做個別的診察與觀看。功能鍵 mouse on 設計如此主要的優點在於，我們對於主視窗中的虛擬 3D 模型操控，由頸部外圍皮膚至內部器官，能夠提供一種層層剝開的視覺效果，讓研究者對於病患頸部的組織架構更加一步的清楚明瞭。

若是研究者想看整體部位或是某器官不同視角的樣子和情形，按下 rotate 3D on 即可達成此效果，按下 rotate 3D on 後研究者可以用滑鼠拉擊且即時操控主視窗和其它視窗中任何虛擬 3D 物件，使之在三維空間中可以做任意角度的旋轉，

研究者可以將器官視角轉動至想診視的病變發生點，此病變點原本在 2D 影像中可能藏於正常器官的後方不容易觀看出全貌，但是利用此功能研究者可以輕易的拉擊至適合診視或觀察的角度。

假如研究者想要觀看頸部的某層的輪廓線，再詳細診療，那麼研究者可以先從功能鍵裡的 slice on 選擇想要的橫切面層，橫切面層亦會顯示在主視窗中。本論文介面將橫切面層設計為可透視的色彩，目的在於當研究者在選擇橫切面的某層時，依舊能夠觀看到虛擬 3D 模型外圍和內部的情形，不會因此遮蔽住；此外，本論文因為是自己建立的虛擬 3D 模型，所以橫切面在此平台上先以手動方式圈選。當研究者選擇好想要的橫切面層後，再按下介面按鍵的 show slice，就會顯示所選橫切面層的輪廓線(即為橫切面層與虛擬 3D 模型的交點)，以利於研究者做後續的醫學評估或是紀錄資訊。

本論文在裸視 3D 顯示畫面上與 MATLAB 平台上，同時建構出一個多功能的裸視 3D 顯像操控程式與三組虛擬 3D 模型，讓使用者能夠同時在 2D 平面與裸視 3D 畫面上做相關比對與檢視。程式中並且提供多種實用的功能，未來相關醫學影像或是醫學研究人員在使用此程式時，簡單明瞭的操作方式讓操作者在使用上直觀且方便容易上手，裸視 3D 的輸出影像也讓使用者在物體建模的空間結構與概念上更加明瞭和清楚。

接著將本論文的貢獻以條列方式列舉出來。本論文貢獻一：本論文將此套裸視立體顯像操控架構實現出來，為往後的研究者提供了一個應用例可供參考或套用。本論文貢獻二：本論文將此操控程式的輸出畫面結合裸視 3D，提供使用者一個嶄新的立體視覺效果，跳脫出傳統的 2D 畫面。本論文貢獻三：除了據有深度資訊的裸視 3D 模型外，此應用例程式還有另外建立對應的平面虛擬 3D 模型，使用者能夠依據上述的操作功能，將兩種影像同時做仔細的檢查與比對，增加使用者對建立模型的三維空間結構和排列情形更加了解。

第五章

結論與未來發展

現代的電子商品一直在追求隨身方便攜帶、易操控使用、觸控式螢幕、集多
功能於一機等，還有畫面要畫質越來越高、更加逼真、更加自然且能夠符合人類
雙眼所見真實且實際的影像，因此近來智慧型手機，高畫質電視和個人隨身平板
電腦開起了一陣電子瘋潮，而 3D 顯示技術也隨之迅速蓬勃發展，各大廠商無不
推陳出新各種新一代的 3D 電視、3D 筆記型電腦或是 3D 手機等，但是目前市場
主流的產品仍是以戴眼鏡 3D 為主，乃因戴眼鏡 3D 技術較為成熟和成像效果比
較好，不過我們在觀看畫面影像時，在眼前帶上一副 3D 眼鏡實在很不方便，雖
然現在新一代的 3D 立體眼鏡越做越輕薄，但長時間戴著一副眼鏡，仍然會對人
體頭部帶來不小負擔、造成諸多不適感、甚至是頭暈目眩等，所以這些戴眼鏡
3D 產品使用說明書上常常有附註一條長時間使用時須定時休息的建議。為了解
決這個困擾，近年來裸視 3D 的產品開始陸續被研究和推出，打著無須戴上 3D
眼鏡為號召做為宣傳。此外，在論文與學術方面，各類虛擬 3D 建模也風行了好
長的一段時間，例如建築物、2D 照片轉 3D 或是醫學影像立體三維重建等，許
多相關文獻中都在討論如何用更有效、準確和快速的方法來做出虛擬 3D 模型，
但是至今為止，討論的範圍大多仍屬於 2D 畫面中的虛擬 3D 建模，而不是屬於
真正的實體 3D 建模。在醫學方面，現今醫生在替病患做腫瘤的檢查時，常常是
以雙手去按壓並且配合電腦斷層掃描圖去分析病情，但是如此做法並無法很清楚
的明瞭病患腫瘤發生處實際內部的情況，若是我們可以將病患發生腫瘤部位內部

的情形與空間結構以 3D 方式建構出來，再以裸視 3D 影像呈現出，並配合醫生的專業，如此一來將會對醫生的醫療診斷正確率有大大的幫助，提升了醫療的品質。

有鑑於以上幾點，本論文提出了一個柱狀透鏡之即時裸視立體顯像操控程式做為應用例，設置了多功能物體操控模式，擁有橫切面輪廓線、物件個別分離觀看和三維空間中任意視角觀看功能，並且本論文將此操控程式的輸出畫面結合裸視 3D，提供使用者一個嶄新的立體視覺效果，跳脫出傳統的 2D 畫面，為往後的研究者提供了一個應用例可供參考或套用。另外，此程式屬於一個基礎開發平臺，因此最底層的測式軟體使用 MATLAB 軟體，MATLAB 軟體具有簡單的程式語法結構、高性能的數值分析能力、強大的繪圖功能和系統建模與模擬技術，非常適合影像或非影像處理者使用，能夠輕易上手。最後，除了據有深度資訊的裸視 3D 模型外，此程式還有另外建立對應的平面虛擬 3D 模型，使用者能夠依據上述程式的操作功能，將兩種影像同時做仔細的檢查與比對，增加使用者對建立模型的三維空間結構和排列情形更加了解。

在未來的發展上，可以將此裸視 3D 顯像操控程式結合機械式手臂，來輔助醫生進行腫瘤切除、傷口處理或是組織縫合等艱困的手術，裸視 3D 顯像可以幫助醫生判別手術進行時病患傷患部位的情形。另外，將裸視 3D 顯像操控程式用於內視鏡微創手術上，藉由 3D 實體虛擬，就可以先為病患身體做最精密的治療規畫與手術的模擬，將可以降低手術的風險，並獲得更好的手術效果，不僅可以使手術的時間縮短，同時還能提升醫療品質。

參考文獻

- [1] S. Pastoor and M. Wöpking, “3-D Displays: A Review of Current Technologies,” *Displays*, vol. 17, no. 2, pp. 100-110, Apr. 1997.
- [2] N. A. Dodgson, “Autostereoscopic 3D Displays,” *Computer*, vol. 38, no. 8, pp. 31-36, Aug. 2005.
- [3] I. Sexton and P. Surman, “Stereoscopic and Autostereoscopic Display Systems - An In-Depth Review of Past, Present and Future Technologies,” *IEEE Signal Processing Magazine*, vol. 16, no. 3, May 1999, pp. 85–99.
- [4] J. A. Norling, “The Stereoscopic Art - A Reprint,” *Journal of the SMPTE*, vol. 60, no. 3, pp. 268-308, Mar. 1953.
- [5] H. H. Lin, J. S. Y. Lai, A. L. Chin, Y. C. Chen, and A. S. Chiang, “A Map of Olfactory Representation in the *Drosophila* Mushroom Body,” *Cell*, vol. 128, no. 6, pp. 1205-1218, Mar. 2007.
- [6] F. Steinicke, G. Bruder, S. Kuhl, P. Willemse, M. Lappe, and K. H. Hinrichs, “Natural Perspective Projections for Head-Mounted Displays,” *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, vol. 17, no. 7, pp. 888-899, July 2011.
- [7] P. J. Bos, “Liquid-Crystal Shutter Systems for Time Multiplexed Stereoscopic Displays,” *Princeton University Press*, New Jersey, USA, 1993, pp. 90–118.
- [8] Foley and M. John, “Binocular Distance Perception - Egocentric Distance Tasks,” *Journal of Experimental Psychology*, vol. 11, no. 2, pp. 133-149, Apr. 1985.

- [9] G. Sperling, "Binocular Vision - A Physical and A Neural Theory," *Journal of Psychology*, vol. 83, no. 4, pp. 461-534, Dec. 1970.
- [10] M. F. Bradshaw and B. J. Rogers, "The Interaction of Binocular Disparity and Motion Parallax in the Computation of Depth," *Vision Research*, vol. 36, no. 21, pp. 3457–3468, Nov. 1996.
- [11] M. F. Bradshaw, A. D. Parton, and A. Glennerster, "The Task-Dependent Use of Binocular Disparity and Motion Parallax Information," *Vision Research*, vol. 40, no. 27, pp. 3725–3734, Dec. 2000.
- [12] J. J. Koenderink and A. J. Vandoorn, "Invariant Properties of the Motion Parallax Field due to the Movement of Rigid Bodies Relative to An Observer," *Optica Acta*, vol. 22, no. 9, pp. 773-791, Sep. 1975.
- [13] R. Jain, R. Kasturi, and B. G. Schunck, *Machine Vision*, 1st edition, McGraw-Hill Science, New York, USA, 1995.
- [14] R. C. Bolles, H. H. Baker, and D. H. David, "Epipolar-Plane Image Analysis - An Approach to Determining Structure From Motion," *Journal of Computer Vision*, vol. 1, No. 1, pp. 7-55, Mar. 1987.
- [15] Sorensen, S. E. Borre, Hansen, P. Skafte, and N. Lykke, "Method for Recording and Viewing Stereoscopic Images in Color Using Multichrome Filters," U.S. Pat. 6,687,003, filed Mar. 2001, issued Feb. 2004.
- [16] R. J. Littlefield, "Stereo and Motion in the Display of 3-D Scattergrams," in *Proceedings of Engineering Society Conference on Computer Graphics*, Detroit, Michigan, USA, Apr. 1982, pp. 13-17.
- [17] D. B. Thomson, M. P. Mephan, and R. R. Steeves, "The Stereographic Double Projection," Technical Report, no. 46, July 1977.
- [18] Lo and A. K. Wah, "Dual-Mode 2D/3D Display System," U.S. Pat. 6,108,029, filed Aug. 1997, issue Aug. 2000.

- [19] L. Byoungcho, C. Heejin, and C. S. Woo “3-D to 2-D Convertible Displays Using Liquid Crystal Devices,” *Three-Dimensional Imaging, Visualization, and Display*, vol. 1, 2009, pp. 1-23.
- [20] H. J. Lee, H. Nam, J. D. Lee, H. W. Jang, M. S. Song, B. S. Kim, J. S. Gu, C. Y. Park, and K. H. Choi, “A High Resolution Autostereoscopic Display Employing A Time Division Parallax Barrier,” in *Proceedings of the SID Symposium on Digest Technology*, San Francisco, California, USA, June 2006, vol. 37, no. 1, pp. 81–84.
- [21] Mather, Jonathan, Winlow, Robert, Nakagawa, Akira, Kean, U. Diana, Bourhill, and Grant, “Multiple View Directional Display,” U.S. Pat. 7,580,186, filed Aug. 2004, issued Aug. 2009.
- [22] L. F. Hodges, “Time Multiplexed Stereoscopic Display,” *IEEE Computer Graphics and Applications Magazine*, vol. 12, no. 2, 1992, pp. 2-30.
- [23] J. W. Williams, M. D. Jenkins, and P. A. Ronzani, “Head Mounted Display,” U.S. Pat. 5,757,339, filed Jan. 1997, issue May 1998.
- [24] G. Dennis, “Microscopy by Record Wavefronts, ” in *Proceedings of the Royal Society*, London, British, vol. 197, no. 1051, July 1949, pp. 454-487.
- [25] J. S. Kollin, S. A. Benton, and M. L. Jepsen, “Real-Time Display of 3-D Computed Holograms by Scanning the Image of An Acoustic Optic Modulator,” in *Proceedings of SPIE Conference on Practical Holography IV*, Los Angeles, California, USA, vol. 1212, Jan. 1990, pp. 174-182.
- [26] M. Luente, P. S. Hilaire, S. A. Benton, D. Arias, and J. A. Watlington, “New Approaches to Holographic Video,” in *Proceedings of SPIE Conference on Holography*, Bellingham, Washington, USA , vol. 1732, July 1992, pp. 377–386.
- [27] P. Soltan, J. A. Trias, W. J. Dahlke, R. V. Belfatto, and F. Sanzone, “Laser Based 3D Volumetric Display System,” U.S. Pat. 5,854,613, filed May 1996, issued

Dec. 1998.

- [28] A. Sullivan, "Multi-Planar Volumetric Display System and Method of Operation," U.S. Pat. 6,100,862, filed Nov. 1998, issued Aug. 2000.
- [29] S. A. Benton, *Selected Papers on Three Dimensional Displays*, 1st edition, SPIE Press, Bellingham, Washington, USA, May 2001.
- [30] D. F. McAllister, "Stereo Computer Graphics and Other True 3D Technologies," *Princeton University Press*, New Jersey, USA, Oct. 1993, pp. 230-246.
- [31] N. A. Dodgson, "Analysis of the Viewing Zone of the Cambridge Autostereoscopic Display," *Applied Optics*, vol. 35, no. 10, pp. 1705-1710, Apr. 1996.
- [32] R. P.M. Berretty, F. J. Peters, and G. T. G. Volleberg, "Real Time Rendering for Multiview Autostereoscopic Displays," in *Proceedings of SPIE Conference on Stereoscopic Displays and Applications*, San Jose, California, USA, vol. 6055, Jan. 2006, pp. 208-219.
- [33] L. F. Hodges and E. T. Davis, "Geometric Considerations for Stereoscopic Virtual Environments," GVU Technical Report, vol. 2, no. 1, Jan. 1993, pp. 34-43.
- [34] R. C. Rafel, C. Gonzalez, and R. E. Woods, 廖紹綱編譯, 數位影像處理, 2nd edition, 台灣培生教育出版股份有限公司, 台北市重慶南路一段 147 號 5 樓, Dec. 2006.
- [35] 資料來源: P. Hohenstatt, "Leonardo da Vinci," Konemann Verlag, 1998, pp. 1452-1519.
- [36] 資料來源: <http://www.3d-historisch.de/>
- [37] 資料來源: <http://users.telenet.be/thomasweynants/stereoscope.html>
- [38] 資料來源: <http://users.telenet.be/thomasweynants/stereoscope.html>
- [39] 資料來源: <http://www.stereoviews.com/fotosfs.html>

- [40] 資料來源: Google map 提供的 3D 街景，地點為台北車站前忠孝東路。
- [41] 資料來源: this is a file from the Wikimedia Commons by A. H. Hornig。
- [42] 資料來源: these three file are from the Wikimedia Commons. original author was Wapcaplet at en.wikipedia。
- [43] 資料來源: interaction research group dynamic graphics project department of computer science - volumetric user interfaces。

