

國立雲林科技大學
光電工程研究所碩士班

碩士論文

車用抬頭顯示系統之研發

Research and Development of Head-up Display

研究生：陳正宏

指導教授：陳建宇 博士

共同指導教授：蘇威佳 博士

中華民國 98 年 6 月

車用抬頭顯示系統之研發

Research and Development of Head-up Display

研究生：陳正宏
指導教授：陳建宇 博士
共同指導教授：蘇威佳 博士

國立雲林科技大學
光電工程研究所碩士班
碩士論文

A Thesis
Submitted to
Graduate School of Optoelectronics
National Yunlin University of Science & Technology
in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of
Master of Science
in
Optoelectronics

June 2009
Douliou, Yunlin, Taiwan, Republic of China

中華民國 98 年 6 月

車用抬頭顯示系統之研發

學生：陳正宏

指導教授：陳建宇 博士

共同指導教授：蘇威佳 博士

國立雲林科技大學光電工程碩士班

摘 要

本論文設計兩種不同的車用抬頭顯示器，達到投影距離遠、成像面積大且兼具高成像品質的目標。本產品研發針對大眾車款與 BMW 車款之售後安裝市場為設計原則，以提升車用抬頭顯示器之市場發展與價值。系統設計以現有商業化光電元件進行整合與組裝，其架構內之透鏡成像系統則利用 ZEMAX 軟體進行模擬分析。我們從透鏡成像系統之 MTF 圖、放大率、成像距離，決定透鏡的選擇，以達成產品需求。

為解決車用抬頭顯示器成像系統之畸變像差(Distortion aberration)的問題，本論文另一重點是提出一新技術，可用少量市售單一球面鏡，搭配光學擴散片(Diffuser)或微透鏡陣列(Microlens array)，設計出一套成像系統，即可達成精密成像鏡組所呈現之品質。本技術於該成像系統的中繼成像 (Intermediate image)位置處放置一片光學擴散片或微透鏡陣列，以改善原系統之像差問題。經過軟體模擬與實驗分析後，證實此設計對於成像系統的畸變率有明顯的改善。

關鍵字：車用抬頭顯示器，光學擴散片，微透鏡陣列，中繼成像，畸變像差

Research and Development of Head-up Display

Student : Cheng-Hung Chen

Advisors : Dr. Chien-Yue Chen

Dr. Wei-Chia Su

Institute of Graduate School of Optoelectronics

National Yunlin University of Science & Technology

ABSTRACT

In the thesis, we designed two kinds of head-up display (HUD) system in vehicles. The purposes of this research aim at extending the projection distance of virtual image, enlarging image area and achieving good image quality. These two systems were designed for after-market productions. The first system was designed for popular automobiles, and the second system was designed for BMW vehicles. These systems should be manufactured with commercial electro-optical elements. The imaging quality was analyzed by ZEMAX software in this research. Consequently, we meet the requirements of the product by analyzing MTF chart, magnification and image distance.

The other emphasis of this thesis is to develop a novel technology to reduce the distortion aberration in this imaging system. The aberration is eliminated by putting an optical diffuser or a microlens array on the location of intermediate image in the original system. The simulation and analysis result proved that distortions of the image systems can be obviously reduced.

Keywords : vehicle's head up display, optical diffuser, microlens array, intermediate image, distortion aberration

誌謝

在這兩年研究所的日子裡，經由無數人的指導與幫忙，使學生正宏能夠順利完成學業。首先，感謝指導教授陳建宇博士與蘇威佳博士在研究方向及觀念上的啟發與引導，給予無數的指點與協助，使得學生在為學、研究態度、待人處事方面皆受益良多。另外，感謝中央大學光電科學與工程學系的孫文信老師與雲林科技大學光電工程研究所的林慶煌老師，在口試時對於本論文不足的地方提出建議及指正，使本論文的內容可以更加完善及充實。

研究所求學期間得到許多人的幫助，也獲得到不少寶貴的經驗，要感謝的人真的非常多，讓我克服了不少難關，包括了不厭其煩常常為實驗室學弟們耐心地解憂博士班的明達學長，以及已畢業的信衡、漢強、婷婷及宗諺學長姐們和司玉的協助翻譯。在這兩年研究所中，同窗一起奮鬥的忠欣、溫振、彥慶、旻穎、安益、致豪、嘉豪、御維及偉程，彼此互相協助與鼓勵。在此也特別感謝彰師光資訊處理實驗室的閻璋、振宇、昆芳、國瑞、蕙娟同學學弟妹們，無私地協助與指導實驗室之技術與提供設備器材，讓我克服不少難關。而實驗室的清龍、一帆、志勝和錦榮，辛苦你們這一年來，為了實驗室的事務及研究上給與我很大的幫助，你們的努力與團結讓我印象深刻。

最後，謹將此論文獻給我摯愛的雙親及家人，在我求學時因為有您們的辛勤付出，從旁給與我的鼓勵及支援，讓我可以努力的將此碩士學業生涯完成。

目錄

| | |
|---------------------------------|-----|
| 中文摘要----- | i |
| ABSTRACT----- | ii |
| 誌謝----- | iii |
| 目錄----- | iv |
| 表目錄----- | vi |
| 圖目錄----- | vii |
| 一、 緒論----- | 1 |
| 1.1 研究動機與目的----- | 1 |
| 1.2 抬頭顯示器之歷史與發展----- | 4 |
| 1.3 論文架構----- | 5 |
| 二、 車用抬頭顯示器文獻回顧----- | 6 |
| 2.1 車用抬頭顯示器對駕駛者的影響----- | 6 |
| 2.2 車用抬頭顯示器先前技術----- | 8 |
| 2.3 車用抬頭顯示器 Aftermarket 分析----- | 14 |
| 三、 光學設計原理----- | 16 |
| 3.1 成像原理----- | 16 |
| 3-1-1 符號定義----- | 16 |
| 3-1-2 球折射面高斯成像公式----- | 17 |
| 3-1-3 薄透鏡造鏡者成像公式----- | 18 |
| 3.2 光度計算----- | 19 |
| 3.3 像差計算----- | 21 |
| 3.4 人眼特性----- | 23 |
| 四、 車用抬頭顯示器系統設計----- | 27 |
| 4.1 大眾車款車用抬頭顯示器透鏡設計----- | 27 |
| 4-1-1 透鏡設計概要----- | 27 |
| 4-1-2 透鏡之選取----- | 27 |
| 4-1-3 現成透鏡模擬與分析----- | 28 |
| 4-1-4 初階透鏡模擬與分析----- | 30 |
| 4-1-5 成像品質分析----- | 31 |

| | | |
|-----------|-------------------------|-----------|
| 4.2 | BMW 車款車用抬頭顯示器透鏡設計----- | 36 |
| 4-2-1 | 透鏡設計原則----- | 36 |
| 4-2-2 | 模擬結果----- | 36 |
| 4.3 | 兩片透鏡之成像系統優化----- | 38 |
| 4.4 | 車用抬頭顯示器之設計結果----- | 41 |
| 4-4-1 | 大眾車款之車用抬頭顯示器----- | 41 |
| 4-4-2 | BMW 車款之車用抬頭顯示器----- | 43 |
| 4-4-3 | 光機構元件成果----- | 44 |
| 4.5 | 大眾車款之車用抬頭顯示器成像結果----- | 51 |
| 4.6 | BMW 車款之車用抬頭顯示器成像結果----- | 54 |
| 五、 | 結果與討論----- | 57 |
| 5.1 | 車用抬頭顯示器之畸變探討----- | 57 |
| 5.2 | 光學擴散片之改善成像系統之畸變----- | 58 |
| 5.3 | 光學擴散片模組建構----- | 59 |
| 5.4 | 光學擴散片改善成像投影品質實驗架構----- | 62 |
| 5.5 | 光學擴散片之模擬與實驗----- | 66 |
| 5.6 | 微透鏡陣列之模擬與實驗----- | 71 |
| 六、 | 結論與未來展望----- | 76 |
| 6.1 | 結論----- | 76 |
| 6.2 | 未來展望----- | 77 |
| | 參考文獻----- | 78 |

表目錄

| | | |
|--------|--|----|
| 表 1-1 | 歷年道路交通事故統計----- | 2 |
| 表 1-2 | 民國 97 年 1-10 月 A1 類道路交通事故肇事原因----- | 2 |
| 表 1-3 | 民國 97 年 1-10 月 A1 類道路交通事故肇事車種----- | 3 |
| 表 1-4 | Critical Reasons for Critical Pre-Crash Event Attributed to Drivers--- | 3 |
| 表 2-1 | BMW 5 系列車款 HUD 之規格表----- | 11 |
| 表 2-2 | 嵌入式與外加式之車用抬頭顯示器之比較----- | 14 |
| 表 3-1 | 人眼與相機之類比----- | 24 |
| 表 3-2 | 錐狀細胞與桿狀細胞之特性----- | 25 |
| 表 4-1 | 放大率皆為 4 倍(投影成像面積 200mmx160mm) ----- | 27 |
| 表 4-2 | 物距皆為 250mm----- | 28 |
| 表 4-3 | 符合系統規格之最佳設計----- | 28 |
| 表 4-4 | 現成透鏡焦距為 303mm 之透鏡資料----- | 29 |
| 表 4-5 | 現成透鏡焦距為 401mm 之透鏡資料----- | 29 |
| 表 4-6 | 現成透鏡焦距為 503mm 之透鏡資料----- | 30 |
| 表 4-7 | 現成複合透鏡之透鏡資料----- | 37 |
| 表 4-8 | Merit Function 優化指令----- | 39 |
| 表 4-9 | BMW 車款之 HUD 規格描述----- | 44 |
| 表 4-10 | HUD 顯示元件規格描述----- | 45 |
| 表 4-11 | HUD 背光源系統之 LED 規格描述----- | 46 |
| 表 4-12 | HUD 背光源系統之散熱座規格描述----- | 47 |
| 表 4-13 | HUD 背光源系統之 Fresnel Lens 規格描述----- | 48 |
| 表 4-14 | HUD 投影透鏡組之凸透鏡規格描述----- | 49 |
| 表 4-15 | HUD 投影透鏡組之凹透鏡規格描述----- | 49 |
| 表 4-16 | HUD 投影透鏡組之透鏡開模製作之規格描述----- | 50 |
| 表 5-1 | 成像面在虛像不同成像距離之數值結果----- | 64 |
| 表 5-2 | 未加光學擴散片之成像系統模擬結果----- | 66 |
| 表 5-3 | 加上光學擴散片之成像系統模擬結果----- | 67 |
| 表 5-4 | 加上微透鏡陣列之成像系統模擬結果----- | 72 |
| 表 5-5 | 不同透鏡陣列尺寸之場曲與畸變值----- | 74 |

圖 目 錄

| | | |
|----------|---|----|
| 圖 1-1 | F/A-18 戰鬥機之 CRT 抬頭顯示器----- | 4 |
| 圖 1-2 | 頭盔顯示器----- | 4 |
| 圖 2-1 | 車內 LCD 顯示器架設位置示意圖----- | 7 |
| 圖 2-2 | 車內 HUD 顯示器投影位置示意圖----- | 7 |
| 圖 2-3 | BMW 5 系列車款 HUD 成像結果----- | 9 |
| 圖 2-4 | BMW 5 系列車款 HUD 虛像成像結果----- | 9 |
| 圖 2-5 | BMW 5 系列車款 HUD 光機構爆炸圖----- | 10 |
| 圖 2-6 | BMW 5 系列車款 HUD 投影成像光路圖----- | 10 |
| 圖 2-7 | Automotive Displays Microvision 公司 HUD----- | 11 |
| 圖 2-8 | 德國 Siemens VDO HUD system----- | 12 |
| 圖 2-9 | AUDI AG 之 HUD 位置校正之系統模擬----- | 12 |
| 圖 2-10 | 抬頭顯示器之雙重影像圖----- | 13 |
| 圖 2-11 | 抬頭顯示器之雙重影像(Double image)的影響----- | 14 |
| 圖 2-12 | 解決抬頭顯示器之雙重影像之方法----- | 14 |
| 圖 3-1 | 球面折射面成像系統示意圖----- | 17 |
| 圖 3-2 | 薄透鏡近軸光線追跡圖----- | 19 |
| 圖 3-3 | 場曲示意圖----- | 22 |
| 圖 3-4 | 畸變示意圖----- | 23 |
| 圖 3-5 | 人眼與相機之類比----- | 24 |
| 圖 3-6 | 人眼相對頻響應----- | 26 |
| 圖 4-1 | 現成透鏡焦距為 303mm 之光追跡圖----- | 29 |
| 圖 4-2 | 現成透鏡焦距為 401mm 之光追跡圖----- | 29 |
| 圖 4-3 | 現成透鏡焦距為 503mm 之光追跡圖----- | 30 |
| 圖 4-4 | 初階透鏡設計 Infinite to finite 之 FreeBASIC 撰寫程式----- | 31 |
| 圖 4-5 | 初階透鏡設計 Infinite to finite 之 FreeBASIC 程式計算結果----- | 31 |
| 圖 4-6 | CCD 之一維的畫素分佈----- | 32 |
| 圖 4-7(a) | 現成透鏡焦距為 303mm 之 MTF----- | 33 |
| 圖 4-7(b) | 初階設計透鏡焦距為 300mm 之 MTF----- | 33 |
| 圖 4-8(a) | 現成透鏡焦距為 401mm 之 MTF----- | 33 |

| | | |
|-----------|----------------------------------|----|
| 圖 4-8(a) | 初階設計透鏡焦距為 400mm 之 MTF----- | 33 |
| 圖 4-9(a) | 現成透鏡焦距為 503mm 之 MTF----- | 33 |
| 圖 4-9(b) | 初階設計透鏡焦距為 500mm 之 MTF----- | 33 |
| 圖 4-10 | 原始輸入圖像----- | 34 |
| 圖 4-11(a) | 現成透鏡焦距為 303mm 之影像輸出模擬----- | 34 |
| 圖 4-11(b) | 初階設計透鏡焦距為 300mm 之影像輸出模擬----- | 34 |
| 圖 4-12(a) | 現成透鏡焦距為 401mm 之影像輸出模擬----- | 34 |
| 圖 4-12(b) | 初階設計透鏡焦距為 400mm 之影像輸出模擬----- | 34 |
| 圖 4-13(a) | 現成透鏡焦距為 503mm 之影像輸出模擬----- | 35 |
| 圖 4-13(b) | 初階設計透鏡焦距為 500mm 之影像輸出模擬----- | 35 |
| 圖 4-14 | BMW 3 系列 HUD 光機構擺放示意圖----- | 36 |
| 圖 4-15 | 現成複合透鏡之光追跡圖----- | 37 |
| 圖 4-16 | 現成複合透鏡之 MTF 圖----- | 37 |
| 圖 4-17 | 現成複合透鏡之場曲畸變圖----- | 37 |
| 圖 4-18(a) | 現成複合透鏡之原始圖----- | 38 |
| 圖 4-18(b) | 現成複合透鏡之影像模擬圖----- | 38 |
| 圖 4-19 | 二片式現成透鏡之 Lens Data----- | 39 |
| 圖 4-20 | 二片式透鏡優化後之 Lens Data----- | 39 |
| 圖 4-21 | 二片式透鏡優化後之光追跡圖----- | 39 |
| 圖 4-22(a) | 二片式現成透鏡之 MTF 圖----- | 40 |
| 圖 4-22(b) | 二片式透鏡優化後之 MTF 圖----- | 40 |
| 圖 4-23(a) | 二片式現成透鏡之場曲畸變圖----- | 40 |
| 圖 4-23(b) | 二片式透鏡優化後之場曲畸變圖----- | 40 |
| 圖 4-24(a) | 二片式現成透鏡之影像模擬圖----- | 40 |
| 圖 4-24(b) | 二片式透鏡優化後之影像模擬圖----- | 41 |
| 圖 4-25 | 大眾車款之 HUD 架構上視圖----- | 42 |
| 圖 4-26 | 大眾車款之 HUD 架構側視圖----- | 42 |
| 圖 4-27 | 未加上 Fresnel Lens 之 LCD 成像結果----- | 43 |
| 圖 4-28 | 加上 Fresnel Lens 之 LCD 成像結果----- | 43 |
| 圖 4-29 | BMW 車款之 HUD 架構側視示意圖----- | 44 |

| | | |
|----------|--|----|
| 圖 4-30 | BMW 車款之 HUD 架構上視示意圖----- | 44 |
| 圖 4-31 | HUD 顯示元件架構上視示意圖----- | 45 |
| 圖 4-32 | HUD 顯示元件架構正視示意圖----- | 45 |
| 圖 4-33 | Philips Lumileds LED 規格圖----- | 46 |
| 圖 4-34 | Philips Lumileds LED 外觀圖----- | 46 |
| 圖 4-35 | HUD 背光源系統散熱座正視示意圖----- | 47 |
| 圖 4-36 | HUD 背光源系統散熱座側視示意圖----- | 47 |
| 圖 4-37 | FUTURE ELECTRONICS Fresnel Lens 規格圖----- | 48 |
| 圖 4-38 | 凸透鏡規格標示圖----- | 49 |
| 圖 4-39 | 凹透鏡規格標示圖----- | 49 |
| 圖 4-40 | 公仔距離增亮反射片 30 公分處之成像結果----- | 51 |
| 圖 4-41 | 公仔距離增亮反射片 100 公分處之成像結果----- | 52 |
| 圖 4-42 | 公仔距離增亮反射片 200 公分處之成像結果----- | 52 |
| 圖 4-43 | 大眾車款 HUD 之虛像成像面積結果----- | 53 |
| 圖 4-44 | 大眾車款 HUD 之設計與面紙盒比較圖----- | 53 |
| 圖 4-45 | 公仔距離增亮反射片 100 公分處之成像結果----- | 55 |
| 圖 4-46 | 公仔距離增亮反射片 210 公分處之成像結果----- | 55 |
| 圖 4-47 | 公仔距離增亮反射片 400 公分處之成像結果----- | 55 |
| 圖 4-48 | BMW 車款 HUD 之虛像成像面積結果----- | 56 |
| 圖 5-1 | 大眾車款車用抬頭顯示器之系統架構----- | 57 |
| 圖 5-2 | LCOS 型車用抬頭顯示器之系統架構----- | 57 |
| 圖 5-3 | 透鏡陣列之中繼成像光追跡圖----- | 58 |
| 圖 5-4 | 擴散片之光線追跡----- | 61 |
| 圖 5-5(a) | 未加 Diffuser Mode 之照度分佈----- | 61 |
| 圖 5-5(b) | 加上 Diffuser Mode 之照度分佈----- | 61 |
| 圖 5-6(a) | 使用光學擴散片校正成像畸變----- | 61 |
| 圖 5-6(b) | 未使用光學擴散片之虛像放大成像----- | 61 |
| 圖 5-7 | 光學擴散片改善成像投影品質實驗架構圖----- | 63 |
| 圖 5-8 | 成像面在虛像成像距離 600 公分處之影像模擬----- | 64 |
| 圖 5-9 | 成像面在虛像成像距離 690 公分處之影像模擬----- | 64 |

| | | |
|-----------|--------------------------------------|----|
| 圖 5-10 | 成像面在虛像成像距離 900 公分處之影像模擬----- | 65 |
| 圖 5-11 | 成像面在虛像成像距離 600、690、900 公分處之影像模擬----- | 65 |
| 圖 5-12 | 成像面在虛像不同成像距離之影像模擬----- | 65 |
| 圖 5-13(a) | 加光學擴散片之畸變網格----- | 69 |
| 圖 5-13(b) | 未加上光學擴散片之畸變網格----- | 69 |
| 圖 5-14(a) | 加光學擴散片之畸變與場曲----- | 69 |
| 圖 5-14(b) | 未加光學擴散片之畸變與場----- | 69 |
| 圖 5-15 | 原始輸入圖像----- | 70 |
| 圖 5-16 | 未加上光學擴散片之影像模擬----- | 70 |
| 圖 5-17 | 加上光學擴散片之影像模擬----- | 70 |
| 圖 5-18 | 未加光學擴散片之實驗拍攝----- | 71 |
| 圖 5-19 | 加上光學擴散片之實驗拍攝----- | 71 |
| 圖 5-20(a) | 輸入原始圖形----- | 73 |
| 圖 5-20(b) | 未加上微透鏡陣列之影像模擬----- | 73 |
| 圖 5-20(c) | 加上微透鏡陣列之影像模擬----- | 73 |
| 圖 5-21(a) | 加未上微透鏡陣列之畸變網格----- | 74 |
| 圖 5-21(b) | 加上微透鏡陣列之畸變網格----- | 74 |
| 圖 5-22 | 微透鏡陣列之改善畸變之實驗拍攝----- | 74 |

第一章、緒論

目前社會大眾對車輛的需求已逐漸地從車輛的性能轉至對車輛內安全裝備的要求，這些高科技產品的車輛配備已經不再是高級車款擁有的專利。例如，車內的資訊顯示介面也漸漸地成為普及車款的基本配備。而人性化科技，其實就是探討如何將還在研發階段的產品，以人性需求與使用習慣為主要的設計考量因素，其主要概念在於以人為主、產品為輔。也就是說，產品的功能或形狀必須遷就使用者在使用時的情境，而不是讓使用者去習慣產品的外形及使用方式。人性化科技所探討的範圍其實是非常廣泛的。而一個設計良好的資訊介面系統，不但能夠將正確、完整且即時的資訊傳達給使用者，而且還要讓使用者能更正確且快速的完成他的工作。

1.1 研究動機與目的

根據行政院內政部統計處通報資料[1]顯示，民國 97 年國內因交通事故所造成的人員傷亡總計 13 萬 5,199 件，如表 1.1 所示。再更進一步的深入探討後發現交通事故之肇事原因分析肇事主要原因以汽(機、慢)車駕駛人過失 1,713 件占總計之 96.62%最高。其中，駕駛人過失中，又以酒醉(後)駕駛失控發生事故達 399 件最多，而未注意車前狀況以致發生事故為 326 件其次，如表 1.2 所示。此外，交通事故肇事車種別，以機踏車占 43.7%最多，自用小客車占 27.2%次之，大小貨車占 19.3%居第三，如表 1.3 所示。另一項交通安全報告[2]，美國高速公路交通安全局(National Highway Traffic Safety Administration, NHTSA)2008 年的調查報告指出，交通意外事故統計共 2,045,577 件，而其中因駕駛者個人疏失所造成的意外，如：駕駛者未注意車前路況或駕駛者分心導致交通事故的發生，高達 843,804 件，佔總事故百分之 41.3%，如表 1.4 所示。無論在國內外的統計都指出，駕駛者在行駛的過程中，因未注意路況或分心而造成意外發生的比例非常高。

表 1.1、歷年道路交通事故統計

| 年別 | 道路交通事故(A1+A2) | | | | | | 肇事率 (件/萬輛) |
|-------------------|---------------|-------|---------|---------|-------|---------|---------------|
| | 發生件數(件) | A1 類 | A2 類 | 死傷人數(人) | 死亡 | 受傷 | |
| 民國 90 年 | 64,264 | 3,142 | 61,122 | 83,956 | 3,344 | 80,612 | 37.27 |
| 民國 91 年 | 86,259 | 2,725 | 83,534 | 112,455 | 2,861 | 109,594 | 48.77 |
| 民國 92 年 | 120,223 | 2,572 | 177,651 | 159,021 | 2,718 | 156,303 | 66.04 |
| 民國 93 年 | 137,221 | 2,502 | 134,719 | 181,742 | 2,634 | 179,108 | 72.83 |
| 民國 94 年 | 155,814 | 2,767 | 153,047 | 205,981 | 2,849 | 203,087 | 79.81 |
| 民國 95 年 | 160,897 | 2,999 | 157,898 | 214,316 | 3,140 | 211,167 | 80.11 |
| 民國 96 年 | 163,971 | 2,463 | 161,508 | 219,500 | 2,573 | 216,927 | 79.95 |
| 民國 97 年 1-10 月 | 135,199 | 1,773 | 133,426 | 180,985 | 1,827 | 179,158 | 64.75 |

資料來源:內政部統計處

表 1.2、民國 97 年 1-10 月 A1 類道路交通事故肇事原因

| 肇事原因 | 民國 97 年 1-10 月 (件) | 結構比 % | 民國 96 年 1-10 月 (件) | 結構比 % |
|--------------|-----------------------|---------------|-----------------------|---------------|
| 汽(機、慢)車駕駛人過失 | 1,713 | 96.62 | 1,960 | 96.31 |
| 酒醉(後)駕駛失控 | 399 | 22.50 | 443 | 21.77 |
| 未注意車前狀態 | 326 | 18.39 | 386 | 18.97 |
| 未依規定讓車 | 191 | 10.77 | 223 | 10.96 |
| 違反號制管制或指揮 | 107 | 6.03 | 105 | 5.16 |
| 超速失控 | 85 | 4.79 | 59 | 2.90 |
| 違反特定標誌標線禁制 | 65 | 3.67 | 66 | 3.24 |
| 未保持行車安全間距 | 48 | 2.71 | 54 | 2.56 |
| 逆向行駛 | 44 | 2.48 | 49 | 2.41 |
| 左轉彎未依規定 | 35 | 1.97 | 32 | 1.57 |
| 搶越行人穿越道 | 34 | 1.92 | 32 | 1.57 |
| 其他駕駛人過失 | 379 | 21.38 | 501 | 25.11 |
| 機件故障 | 12 | 0.68 | 10 | 0.49 |
| 行人過乘客過失 | 46 | 2.59 | 62 | 3.05 |
| 交通管制(設施)缺陷 | 1 | 0.06 | 3 | 0.15 |
| 其他 | 1 | 0.06 | - | - |
| 總計 | 1,773 | 100.00 | 2,035 | 100.00 |

資料來源:內政部統計處

說明:A1 類是指造成人員當場或 24 小時內死亡之交通事故:A2 類是指造成人員受傷或超過 24 小時死亡之交通事故

表 1.3、民國 97 年 1-10 月 A1 類道路交通事故肇事車種

| 肇事原因 | 民國 97 年 1-10 月(件) | 結構比% | 民國 96 年 1-10 月(件) | 結構比% |
|-------|-------------------|-------|-------------------|-------|
| 機踏車 | 774 | 43.65 | 841 | 41.33 |
| 自用小客車 | 483 | 27.24 | 549 | 26.98 |
| 小貨車 | 172 | 9.70 | 224 | 11.01 |
| 大貨車 | 171 | 9.64 | 195 | 9.58 |
| 大客車 | 31 | 1.75 | 39 | 1.92 |
| 營業小客車 | 13 | 0.73 | 15 | 0.74 |
| 特種車 | 3 | 0.17 | 4 | 0.20 |
| 其他 | 126 | 7.11 | 168 | 8.26 |

資料來源:內政部統計處

表 1.4、Critical Reasons for Critical Pre-Crash Event Attributed to Drivers

| Movement Prior to Critical Crash Envelope | Estimate | Percentage |
|--|-----------|------------|
| Recognition Errors | 843,804 | 41.3% |
| Inadequate surveillance | 427,507 | 20.9 |
| Internal distraction | 215,917 | 10.6% |
| External distraction | 75,607 | 3.7% |
| Inattention (i.e., daydreaming, etc.) | 73,059 | 3.6% |
| Other | 51,717 | 2.5% |
| Decision Errors | 684,133 | 33.4% |
| Performance Errors | 210,197 | 10.3% |
| Non-Performance Errors | 145,844 | 7.1% |
| Other/Unknown | 162,132 | 7.9% |
| Total | 2,045,577 | 100% |

資料來源: National Highway Traffic Safety Administration

有鑑於此，現今民眾對車輛的要求除了原本的車輛性能外，亦開始著重車輛內裝安全配備的要求。現今這些科技產品的輔助(如車內語音導航系統、語音碰撞警示系統、多媒體系統等)確實改善了駕駛在長時間疲勞駕駛、注意力不集中等情況下所引起的意外事故發生率。而車用抬頭顯示器，將駕駛者所需資訊呈現於駕駛者前方，駕駛者不用分心低頭、轉頭或作眼睛聚焦的調節，確實可以有助行車安全，因此本論文，將針對車用抬頭顯示器進行研發。

1.2 抬頭顯示器之歷史與發展

抬頭顯示器(Head-up display)最重要關鍵是類比電腦開始運用在飛機上。因為顯示在抬頭顯示器上的文字或者是圖形需要經過處理之後產生，傳統儀表產生的訊號無法直接使用在抬頭顯示器的顯示需求上，必須透過電腦處理轉換之後，將需要的資料傳遞給抬頭顯示器的顯示單元，再將影像投射到前方的玻璃上。第一架使用HUD的飛機是美國海軍的 1968 年的A-5艦載機。圖 1-1 為美國Michael H. Kalmanash在 2006 年所發表之F/A-18 戰鬥機抬頭顯示器[3]。



圖 1-1 F/A-18 戰鬥機之 CRT 抬頭顯示器



圖 1-2 頭盔顯示器

抬頭顯示器後來所衍生產品，無論是在顯示的資料量以及功能上都必須與抬頭顯示器密切配合，更進一步的功能強化版被稱為頭盔顯示器 (Helmet Display)，他將抬頭顯示器與其他相關功能整合之後，直接投射在飛行員頭盔前方，可以取代抬頭顯示器的顯示功能，並且能夠協助行員投射各種對空與對地武器。圖 1-2 為Ricardo Martins在 2006 年發表之頭盔顯示器[4]，他是利用 0.6 吋 OLED做為微投影裝置，再利用透鏡組與分光鏡達到虛像成像效果。抬頭顯示器

延伸到賽車手全罩式安全帽之投影顯示，美國Bromi公司研發摩托車專用抬頭顯示器SportVue MC2[5]，市價約新台幣 13,000 元。其系統設計使用一無線裝置接收摩托車訊號發射器發出的資訊，可顯示速度、轉速和檔位，其整體裝置加掛在安全帽視野的邊緣。

1.3 論文架構

論文首章介紹設計車用抬頭顯示器的動機與目的，及抬頭顯示器從早期到近期的相關研究與應用，由於本論文其研究主題是針對車用抬頭顯示器進行系統設計，針對業界之抬頭顯示器產品也有其文獻回顧。第二章主要介紹抬頭顯示器影像產生的原理，以它作為本論文的理論基礎。第三章是針對本論文所設計的光學系統其及相關原理作說明。第四章是說明本論文針對大眾車款與 BMW 車款之車用抬頭顯示器系統設計，並圖示產品之規格圖與成像結果。第五章為本論文探討車用抬頭顯示器之影像畸變問題，利用光學擴散片與微透鏡陣列之實驗設計，針對模擬與實作系統結果進行討論。第六章為本論文之結論與未來展望，針對所設計完成的結果進行歸納，綜整整體架構的優缺點以及未來展望。

第二章、車用抬頭顯示器文獻回顧

2.1 車用抬頭顯示器對駕駛者的影響

在第一章節提到，國內外交通事故肇事原因中，未注意車前路況為駕駛者過失中的第二高，僅次於酒駕。因此，國內外已有部份學者針對駕駛者的分心、行車時之反應時間還有抬頭顯示器對駕駛行為的影響進行研究。

黃慶旭君[6]，自行設計簡單型駕駛模擬器實驗與討論其車用警告裝置對駕駛者是否會有影響。而實驗內容包括抬頭顯示器的影像、語音、影像與語音同步警告和無警告進行比較與測試。最後的研究發現，抬頭顯示器影像與語音同時的警告，對駕駛者在行車的過程中、對路況的判斷與反應時間表現較佳。

曾建基君[7]，針對駕駛者在輕度與中等程度分心的情況下，面對路口左右兩側闖紅燈危險車輛駕駛的感知反應時間影響因素進行探討。此研究在比較三種不同介面類型的顯示方式(LCD、HUD 和語音)後，發現在單一訊息提供的情況下，語音訊息所造成的駕駛分心的情形較不嚴重，但若碰撞警示語音訊息和一般語音訊息兩者呈現時間過於接近的情況時則可能會對駕駛會造成聽覺上的混淆，進而影響駕駛對危險事件之感知反應時間。

莊忠益君[8]，利用駕駛模擬器配合駕駛者行車過程中視覺偏移、工作完成的時間及操作錯誤的次數來評估駕駛績效的高低，進一步界定顯示介面之位置設計的優劣。針對 LCD 與 HUD 的部份實驗結果如下：

1. 在 LCD 顯示介面位置設計方面提到，擺在圖 2-1 中 A 處的位置是對駕駛安全影響最小的，其次為 B 處和 D 處。對駕駛安全威脅最為嚴重為 C 處位置。該研究並引述其文獻內容指出當駕駛者行車過程中，視覺偏移低於 1.2 秒時，仍在安全範圍內，若超過 1.2 秒則可能會造成不安全的駕駛。
2. 在 HUD 的實驗中指出，顯示位置在右邊和中間的水平位置如圖 2-2 所示，

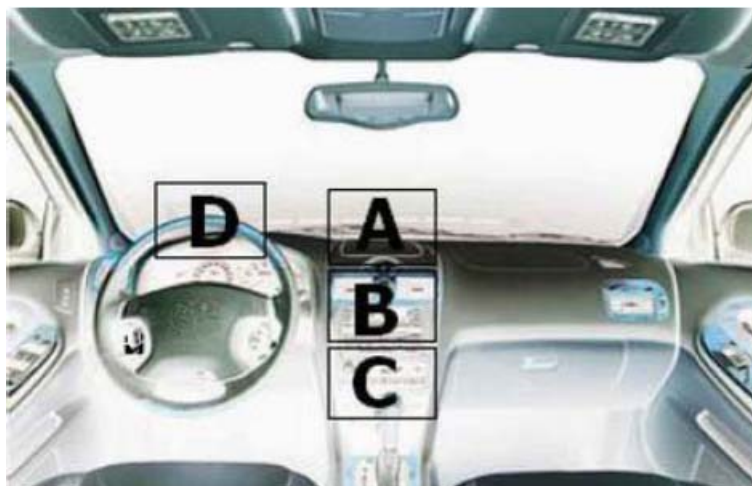


圖 2-1 車內 LCD 顯示器架設位置示意圖



圖 2-2 車內 HUD 顯示器投影位置示意圖

顯示在中央區域，其顯示位置約為眼睛水平視線向下 17.5 度。在實驗結果中指出性別、駕駛狀況及 HUD 顯示位置等三個變數。其中，HUD 之顯示位置從實驗結果對駕駛者之反應時間是沒有明顯影響。

Jovanis[9]等人提到利用 In-Vehicle 導航模擬系統作為駕駛者的行車輔助配備。目的在幫助駕駛者規劃行駛路線，包括目的地之路線導行，避開塞車區等等。並探討不同的 In-Vehicle 導航系統設備對駕駛注意力需求的影響。在路線引導資訊的呈現方式有影像顯示、聲音訊息及前兩種混合三種方式。雖然大部份的駕駛資訊需要以影像呈現，但實驗結果證實聲音路線導航系統對駕駛而言較不容易造成分心，其結果指出聲音與影像的混合方式駕駛較不需要分心去注意導航系統，

效果最好。

在國內外駕駛分心研究的方面，許多研究利用駕駛在行駛車輛時，透過各種顯示介面詢問不同程度的數學問題來模擬車內資訊介面的使用，進而研究感知、視覺、聽覺、手動操作與說話要求等五個項目上的負荷程度對駕駛所造成的影響，幾乎所有的研究結果都指向車內資訊設備的使用對駕駛安全皆存在著一定的影響程度。[10][11]

目前在研究探討車內資訊介面造成駕駛分心的部份，都只針對同類型車內資訊介面單獨作用的情況下作研究探討，並無更深入的研究同一類型的資訊顯示介面間的交互影響關係，如語音碰撞警示的訊息和語音分心的訊息兩者同時作用時對駕駛的影響，因此在實驗設計的部份將以語音資訊顯示介面間的交互影響關係作為研究的重點之一。[12][13]

歸納以上的文獻結果，包括車訊顯示位置、駕駛者的分心程度以及視覺偏移等人因分析，HUD 的成像距離、位置就顯得特別重要。因此本論文之設計在於成像距離在駕駛者前方約 1.5 公尺處，若 HUD 的成像距離若過近，與車前路況之位置不一致，則駕駛者需要作眼睛調節，在長時間的行車過程，造成眼睛的疲勞。而成像位置需可同時觀看車前路況與顯示行車資訊，駕駛者不用低頭觀看儀表板之車訊。

2.2 車用抬頭顯示器先前技術

現今市面上車用顯示器所顯示內容量過少，且聚焦距離過近，造成駕駛者行車時視線阻擾。此外，若是高級顯示器之產品則大部份隨車配備，且價格昂貴，如下圖 2-3 為 BMW 5[14]系列的抬頭顯示器，為此車款的專用設計，此系統將抬頭顯示器內嵌至車內。有鑑於此，本論文的主要目的除了在於降低行車風險，以達到充分顯示投影資訊外。此外，系統的設計與安裝將著重於以 Aftermarket 導向，讓一般無車用抬頭顯示器系統車款之駕駛者能享有低價格、高安全的加裝產

品。因此，將此研發過程將分為四個階段，從產品規格訂定、設計、雛型驗證到最後完成產品之模型與驗收。產品規格定為以開發 320×240 之影像解析度，適用溫度為-20°C~80°C 和投影聚焦距離約在 2 公尺，置放在方向盤前以不影響駕駛者車用抬頭顯示器之基座為設計目標。



圖 2-3 BMW 5 系列車款 HUD 成像結果

抬頭顯示器呈現給駕駛者的車訊，必須兼顧多元性，包括顯示車速、時間到警示燈提醒、耗油量到衛星導行資訊，而成像投影鏡組提供良好的成像品質、消除像差、增加可視角度等功能。下圖 2-4 為 BMW5 系列車款之隨車配備 E-70 抬頭顯示器投影成像示意圖。圖中表示將 HUD 嵌入(To lodge)於車體內，因此儘適用於單一系列車款。駕駛者至前方車頭車燈處約 2.2 公尺，駕駛者會在(3)處看見 HUD 所投影虛像成像，此虛像為 HUD 內部之 TFT-LCD 所呈現的車訊，而成像面積約為 180mm×90mm。



圖 2-4 BMW 5 系列車款 HUD 虛像成像結果

下圖 2-5 為 BMW 5 系列車款 HUD 光機構爆炸圖，背光源部份採用 128 顆白光 LED 以增加影像之亮度，光強度為 500kcd/m^2 到 700kcd/m^2 。而 Licht conditioner 功能則是讓 LED 陣列的光經過此片調節器後，讓光均勻地分佈在穿透式 TFT-LCD Panel 上，光強度為 5000 cd/m^2 到 7000 cd/m^2 。表 2-1 為 BMW 5 系例之 HUD 規格。

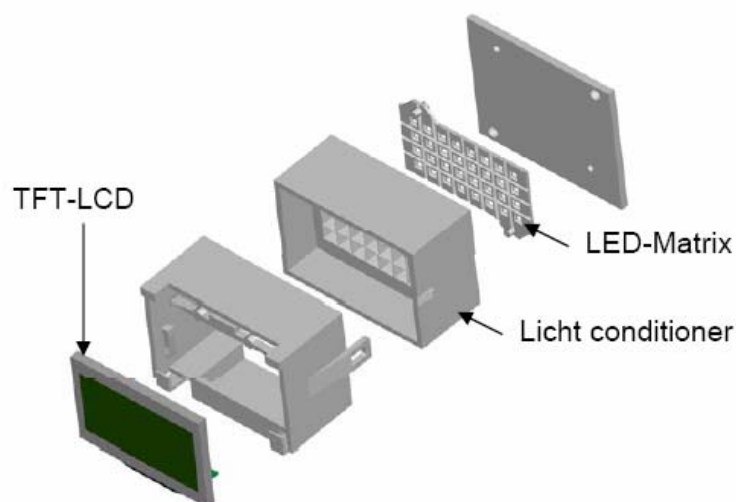


圖 2-5 BMW 5 系列車款 HUD 光機構爆炸圖

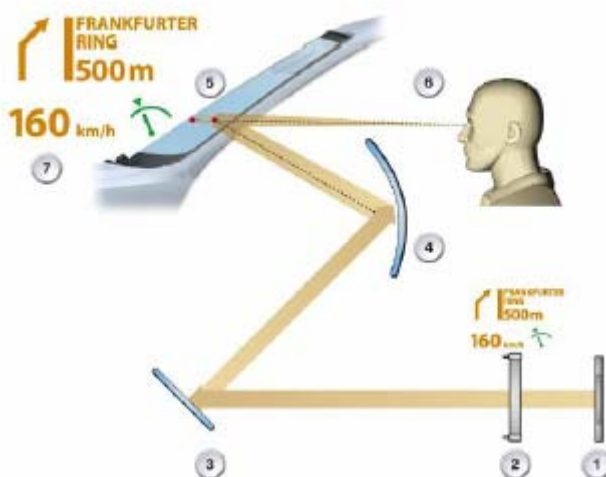


圖 2-6 BMW 5 系列車款 HUD 投影成像光路圖

圖 2-6 為 BMW 5 系列車款 HUD 投影成像光路圖，圖中(1)為 128 顆 LED 陣列，做為(2)穿透式 TFT-LCD 之背光。而(3)(4)為反射鏡，將影像反射至(5)擋風玻璃上，而(4)設計為有弧度之反射鏡，以補償擋風玻璃上之曲率。最後，駕駛者(6)會在擋風玻璃外看見一虛像成像(7)。

表 2-1 BMW 5 系列車款 HUD 之規格表

| Typical | Description |
|------------------------------|---|
| Construction Volume [liters] | ≈ 4 |
| Display Type | Transmissive color TFT LCD |
| LCD Resolution [Pixels] | 360×180 |
| Backlight module | 128 LED-Matrix ($500\text{-}700 \text{ kcd/m}^2$) |
| Image Luminance | $5000\text{-}7000 \text{ cd/m}^2$ |
| Colors | yellow, orange, red and green |
| Number of mirrors | 4 |
| Projection distance [m] | $\approx 2,20$ |
| Size of the eye-box [mm] | 180×90 |
| Price for customers [€] | 1,300 |

上述 BMW 抬頭顯示器只適用於單一車款，屬於嵌入式之抬頭顯示器，不適用於其他車款。有鑑於此，美國 Automotive Displays Microvision[15]公司，目前研發將抬頭顯示器放在任何車款之抬頭顯示器，但目前仍舊未量產。下圖為 Automotive Displays Microvision 嵌入式之抬頭顯示器，此家公司之抬頭顯示器不單只是車速、溫度、轉度等基本功能，更具有結合衛星導行、來電大頭貼顯示的功能。其產品之虛像投影距離為 2~4 公尺，影像亮度為 $10,000\text{cd/m}^2$ ，在白天也能清楚地觀看虛像的成像。



圖 2-7 Automotive Displays Microvision 公司 HUD

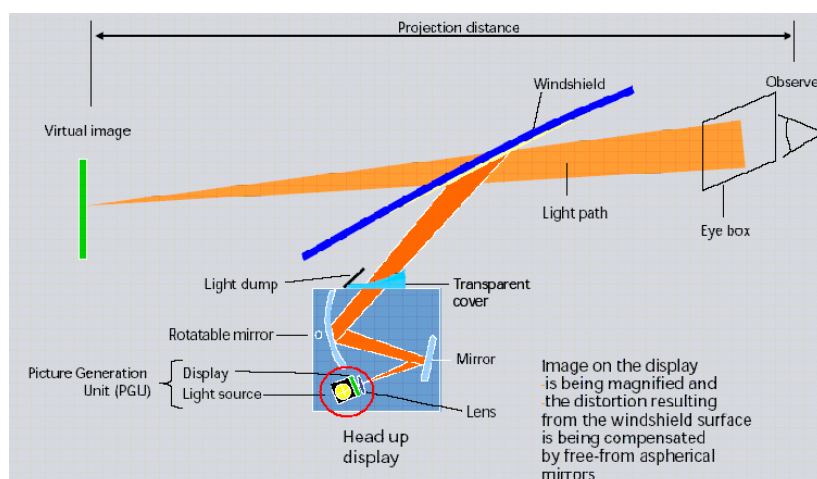


圖 2-8 德國 Siemens VDO HUD system

上圖 2-8 為德國 Siemens VDO[16]公司之抬頭顯示器系統，也是屬於嵌入式適用於單一車款之系統。此抬頭顯示器之架構與 BMW 系統車款相似，其影像單元(Picture Generation Unit)包括顯示光源(Display Light source)及單一透鏡，透鏡以達成虛像之成像。而反射鏡部份將影像反射至擋風玻璃，而其中一片反射鏡為可調整之反射鏡，以補償擋風玻璃上之曲率。

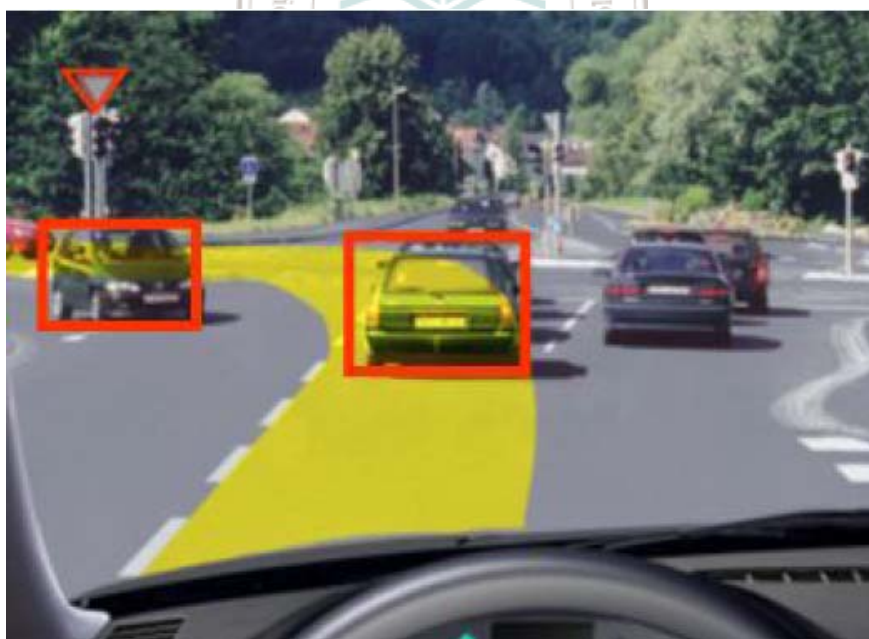


圖 2-9 AUDI AG 之 HUD 位置校正之系統模擬

隨著抬頭顯示器的功能發展愈來愈多樣化，從早期車用抬頭顯示器以七段顯示器顯示簡單顯示車速、時間、溫度等訊息。到現在發展至結合衛星導行、來電照片顯示，未來抬頭顯示器所扮演的角色將更加重要，抬頭顯示器將不再只是

不需低頭看儀表板的功能，更是輔助駕駛者對行車判斷，以及行車安全的重要產品。AUDI 目前研發抬頭顯示器對路況訊息的資訊提供給駕駛者。圖 2-9 為 AUDI 公司的抬頭顯示器的系統模擬。將路況如與前車安全距離、行車方向、路標、對向車輛，抬頭顯示器直接顯示在擋風玻璃，提醒駕駛者注意車況。目前仍在研發階段，尚未商品化。



圖 2-10 抬頭顯示器之雙重影像圖

一般而言，抬頭顯示器最需解決的為雙重影像(Double image) [17]的問題，如上圖 2-10 所示。若抬頭顯示器有雙重影像，則會讓駕駛者無法清楚觀看投影資訊，長期觀看甚至會讓駕駛者感到暈眩。會有雙重影像的原因為圖 2-11，投影資訊在第一層玻璃介面反射至人眼同時光束也會折射至第二層玻璃介面，再經反射後再折射至人眼，因而造成雙重影像之產生。一般汽車擋風玻璃中間會膠合玻璃(PVB, Butyrol-Polyvinyl)，加入此片的目的是在於因中間夾著強韌而附黏著力的中間膜，所以不易在受衝擊力下被貫穿，且破損後其玻璃片不易飛散，因此比其他種類玻璃具耐震性、防盜性、防爆性、防彈性高。中間 PVB 膜有減輕太陽光中的紅外線機能，可節省冷氣設備及電量，增進舒適的生活環境。圖 2-12 為 GEPVP AUTOMOTIVE GLASS[18]公司將中間 PVB 層設計為楔形，讓第一層玻璃和第二層玻璃的反射至人眼重疊，以消除雙重影像。

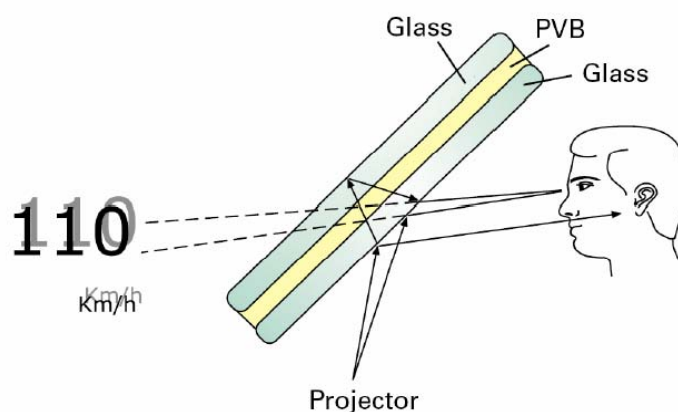


圖 2-11 抬頭顯示器之雙重影像(Double image)的影響

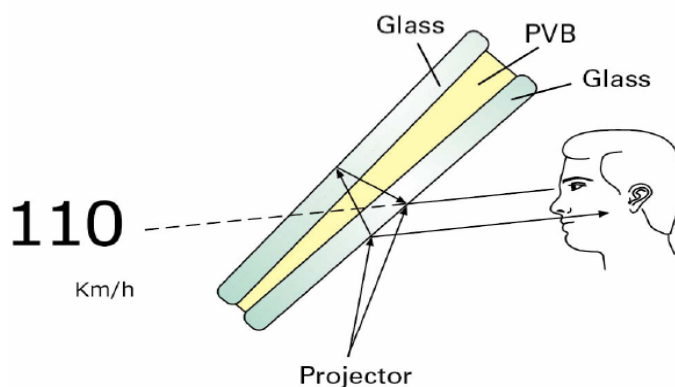


圖 2-12 解決抬頭顯示器之雙重影像之方法

2.3 車用抬頭顯示器售後市場(Aftermarket)分析

表 2-2 嵌入式與外加式之車用抬頭顯示器之比較

| 嵌入式(To lodge) | 外加式(Box-Design) |
|---|---|
| Particular solution | 1 solution to all problems |
| Not possible to use the test station while mounting a new HUD | Use of the test station independent from the HUD set up |
| More time and effort needed | Fast installation |
| 1 solution for 1 problem | Only adjusted once |
| The same problems need to be addressed in every installation | More materials needed |

以上歸納與整理目前車用抬頭顯示器不同加裝方式的好壞，目前 BMW、AUDI、Siemens 等車款之抬頭顯示器為隨車配備之功能，抬頭顯示器只適合安

裝置單一車款或單一系列車款，因此這系列之最大缺點為無法加裝於其他車款。因此，外加式之車用抬頭顯示器為本論文之設計目標。本文所設計出的精簡化小體積的抬頭顯示器系統之 BMW 車款為因應合作廠商要求，希望將此系統中的面板元件等輸出介面置放於前座乘客副座 A 柱位置，因此本論文研究另行開發出第二階段的系統產品，因此階段的研發主要是要將系統外加於 BMW 車系，故此論文中以大眾車款抬頭顯示器與 BMW 車款抬頭顯示器的名稱區分此二階段的光機構設計。



第三章、光學設計原理

3.1 成像原理

理想光學系統的理論是在1841年由高斯建立的，所以這種光學理論稱為”高斯光學”。但是在實際光學系統成像時，發現某一物點發出的許多光線，在每一折射面利用Snell's law去計算其位置和光程後，這些光線並不能盡如人意地匯聚成一個像點，這是因為如果將Snell's law裡的 $\sin \theta$ 做傅利葉展開的話，會有無限多個解，所以如果要詳盡去計算出確實的問題，在數學計算上是相當複雜的。

在幾何光學中，為了簡化計算難度，經常要利用理想情況下光學系統之成像概念：一物點經光學系統後只形成一個像點，而且任一直線成的像也可以是一直線，所以對 $\sin \theta$ 的傅利葉展開只取它第一階的值，也就是 θ 。不過這個條件要成立，必須建立在 θ 角很小的時候，於是Snell's law就簡化成 n 乘以 θ 等於 n' 乘以 θ' ，小角度的條件限制了光線距軸的高度必須在光軸附近，所以又稱為近軸光學 (Paraxial theory of geometrical optics)。這種作法不僅大大的省卻許多繁雜的計算，而且計算結果也具有相當程度的準確性，可說是實際光學系統的基礎。[19]

3-1-1 符號定義

- 1.在所畫的光路圖中，光線皆由左向右傳播。
- 2.在參考點右邊的距離為正值，在參考點左邊的距離為負值。而一般指的參考點是折射面與光軸的交點，通常也就是折射球面的頂點。
- 3.在光軸上面的距離為正值，在光軸下面的距離為負值。
- 4.球面的曲率半徑定義為球心到頂點的距離。當球心在頂點的右邊，曲率半徑為正值；當球心在頂點左邊，曲率半徑為負值。
- 5.如果光線是在光軸的逆時針方向，則定此光線與光軸的夾角為正值。相反的，如果光線在光軸的順時針方向，它們之間的夾角就定為負值。

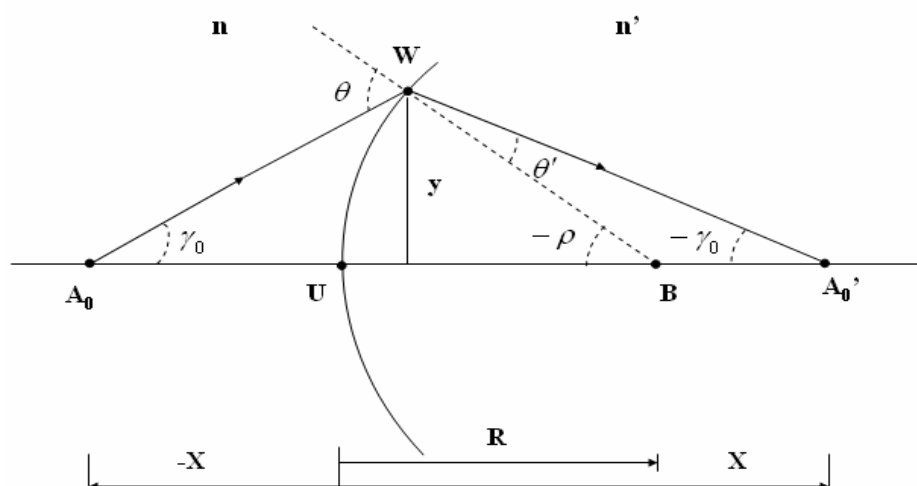


圖3-1 球面折射面成像系統示意圖

3-1-2 球折射面高斯成像公式

利用球折射面成像系統，來導出高斯成像公式。如上圖3-1所示，在高斯光學的條件下，Snell's law可以寫成：

$$n\theta = n'\theta' \quad (3-1)$$

從三角形 A_0BW 、 $A_0'BW$ 中可以分別導出：

$$\theta = \gamma_0 - \rho \quad (3-2)$$

$$-\rho = \theta' - \gamma_0' \quad (3-3)$$

從直角三角形 $P_0V'Q$ 、 $P_0'V'Q$ 中可以分別導出：

$$\gamma_0 \approx \tan \gamma_0 = -\frac{y}{X} \quad (3-4)$$

$$\gamma_0' \approx \tan \gamma_0' = -\frac{y}{X'} \quad (3-5)$$

把以上五個式子結合在一起，便可導出高斯成像公式。

$$\frac{n'}{X'} - \frac{n}{X} = \frac{n' - n}{R} \quad (3-6)$$

3-1-3 薄透鏡造鏡者成像公式

利用高斯成像公式，推導出薄透鏡的造鏡者公式[20]。透鏡兩面頂點間光軸的長度為透鏡的厚度，當厚度與其他尺寸相較之下可以忽略不計的透鏡，稱它為薄透鏡。雖然薄透鏡的厚度忽略不計，但基本上它仍是由兩個單一球面，中間夾著透明材料組成，所以對這樣的系統成像就相當於做了兩次的單一球面成像：物對第一個球面成像的像距長度就等於為第二個球面的物距長度，經過第二個球面的再次成像，就完成了薄透鏡的成像過程，如圖3-2所示。假設透鏡內介質的折射率為 n ，透鏡外的環境折射率為 n' 。假設物距為 S_1 ，第一個球面的曲率半徑是 R_1 ，物體對它成像的像距為 S_1' ，那麼根據高斯成像公式可以導出：

$$\frac{n}{S_1'} - \frac{n'}{S_1} = \frac{n - n'}{R_1} \quad (3-7)$$

接著把這個像當作是第二個球折射面的物，那麼對第二個球折射面來說物距就是 S_1' ，假設最後的成像位置距離薄透鏡為 S_2' ，第一個球面的曲率半徑是 R_2 ，一樣那麼根據高斯成像公式可以導出：

$$\frac{n'}{S_2'} - \frac{n}{S_1'} = \frac{n' - n}{R_2} \quad (3-8)$$

把(3-7)、(3-8)兩式高斯成像公式聯立在一起，可以改寫成一條式子，最後再把 S_1 、 S_2 改寫成對整片薄透鏡而言的物距 S 和像距 S' ，便可導出薄透鏡造鏡者公式 (Lens maker's formula)。

$$\frac{1}{S'} - \frac{1}{S} = \frac{n - n'}{n'} \left[\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right] \quad (3-9)$$

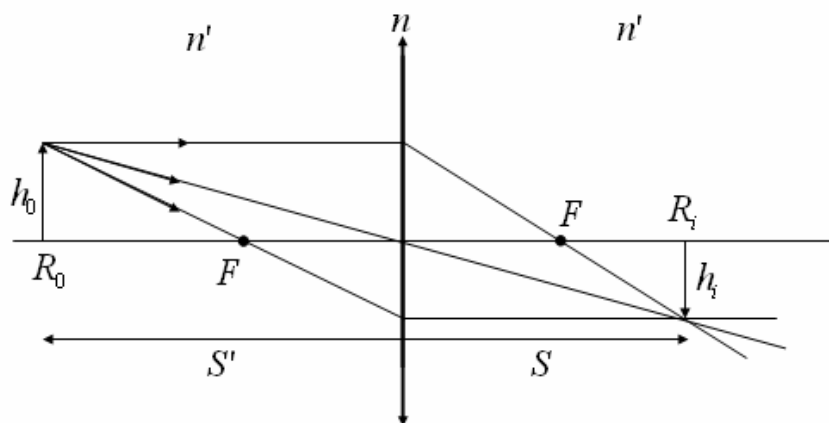


圖3-2 薄透鏡近軸光線追跡圖

3.2 光度計算

光度學與幾何光學在光學設計之初與儀器應用中，皆有十分密切之關係，如照相機感光或望遠鏡光瞳等例子，尤其著重於成像的品質。而光度學強調的卻是照度的問題，兩者所使用的數學基礎是不同的，好似不相干的兩個學門，實際上卻又不盡然如此。因為若是照度不夠，則根本談不上成像品質，只要求提高品質卻忽略亮度分配亦不可行。為了瞭解光度計算，這邊先介紹光度學的相關定義。

(1)光度通量(Photometric flux)：以字母 F 表示，是指光能傳遞的功率，單位為流明(Lumen)，相當於幅射計量學的瓦特 (Watt)，因為人類眼睛在白晝視覺(Photopic)和夜晚視覺(Scotopic)，所使用的感覺細胞不同，其對於不同的波長刺激而有不同的效率轉換值。

(2)光強度(intensity)：以字母 I 表示，指點光源在一定方向的單位立體角所發出的光度通量，單位是流明/立體角(Lumen/steradian)，於是可以定義出光度通量與光強度的關係為：

$$dF = I \times d\Omega \quad (3-10)$$

(3)耀度(luminance)：以字母 L 表示，意指光源垂直正射至觀察方向的單位面積內之強度，單位是流明/單位面積-立體角(Lumen/m²-steradian)，與視覺上的亮度(Brightness)相似，數學定義為：

$$L = \frac{dI}{dS \times \cos \theta} \quad (3-11)$$

(4)照度(Illumination)：以字母E 表示，是指落在單位面積上的通量，單位為流明/單位面積(Lumen/m²)，數學式為：

$$E = \frac{dF}{dS} \quad (3-12)$$

(5)理想散射面(Lambertian)：光源的強度與表面成 θ 角時，能維持關係式

$I(\theta) = I_0 \times \cos \theta$ ，其中 I_0 為正射光強度，由式(2-2-2)即知，理想散射面在任何角度之亮度皆一樣。以上是光度學的一些基本定義，而在鏡頭設計中，sensor的感光和成像問題一樣重要，影像的照度過亮或過暗，都會引起不良的效應，因此有了基本定義後，再來將探討如何讓影像照度可以達到適中狀態。而用來表示影像照度的方式為F-number，F-number又稱為相對孔徑(Relative aperture)，是指透鏡系統的有效焦距與入瞳直徑(Entrance pupil)或孔徑亮區(Clear aperture)直徑的比值，數學式為：

$$F/\# = \frac{f}{D_{en}} \quad (3-13)$$

其中 f 為有效焦距， D_{en} 為入瞳直徑。另一種表示影像照度關係的方法是數值孔徑(Numerical aperture ;N.A.)，它是指像區介質的折射率乘以照明半角的正弦值，數學式為：

$$N.A. = n' \sin \bar{u}' \quad (3-14)$$

F-number和數值孔徑，定義了系統的同一個特性，但前者多用於有限共軛成像，如顯微鏡物鏡；後者則是多用於無限共軛的情況，如照像機和望遠鏡的物鏡，這兩個量在無限共軛成像時有以下的關係式：

$$F/\# = \frac{1}{2N.A.} \quad (3-15)$$

由上可知，F-number的目的為利用光欄的大小來控制光源亮度在一定立體角中有適當的成像照度，因為照像感光的速度和影像的亮度有關，根據光度學原理，影像的照度可導出以下的數學式：

$$E = \left(\frac{L^2}{f^2}\right) S_{en} = \frac{L^2}{f^2} \times \pi \left(\frac{D_{en}}{2}\right)^2 = \frac{\pi}{4} L^2 \times \left(\frac{1}{F/\#}\right)^2 \quad (3-16)$$

由(3-16)知，照相時，如果要拍攝較昏暗或較快速的景物，則要使用焦數值較小的鏡頭。

3.3 像差理論

像差的成因主要分為兩類[21]，若入射光為多種波長，則透鏡材質的折射率會隨波長變化，造成物點不同波長的光線通過光學系統後，其成像位置不會聚在一點，而成為有色的光斑，稱為色差。當入射光為單一波長時，則會產生五種單色像差，其中三種(球面像差、慧星像差、像散)會影響到影像的清晰度，另外兩種(場曲、畸變)則會造成影像位置和形狀的改變。

在一個實際的光學系統之中，為了亮度、視場等的要求，光線並非都是近軸的軌跡，在此狀況下所造成的像和理想點會略有出入，這差異的現象或成像的缺陷就稱為像差。一個成像系統像差的產生有三種原因，一為繞射的影響，再者為元件製造生產時的公差(Tolerance)要求，三為真實光線的幾何光學結果。之所以會產生像差，可從正弦函數的展開式來說明

$$\sin \theta = \theta - \frac{\theta^3}{3!} + \frac{\theta^5}{5!} - \frac{\theta^7}{7!} + \dots \quad (3-17)$$

當 θ 是小角度時，(3-17)式是一個快速收斂的級數，它的每一項都比前一項小很多，所以sine函數值就可以忽略第一項以後的所有值，即

$$\sin \theta \cong \theta \quad (3-18)$$

滿足(3-18)式的光線就是高斯光學的近軸光線，又稱為第一階光學理論(First order theory)。對一條真實光線的計算來說，它的角度往往不屬於小角度的範圍，所以sine函數的高階部份不能忽略。若取展開式的前三項，則稱為三階光學理論，取前面五項，則稱為五階光學理論。品質要求愈高的成像系統，所討論的階數也就愈多。

Van Seidel在1856年首先求得像差理論。他用 $S_1 \sim S_5$ 來表示單色光的5種像

差。 S_1 :球差(Spherical aberration)，軸上所發出光線，在透鏡不同的高度，其成像點的位置不同，此成像點的偏移量即為球面像差。 S_2 :慧差(Coma aberration)，軸外物點發出的光線，通過出射光瞳不同環帶，會在理想像平面上形成半徑變化的且沿外方偏移的像圈，這一連串的像圈組合成的形狀類似彗星，稱為彗星像差。 S_3 :像散(Astigmatism)，軸外物點發出的光線，通過光學系統後，聚焦成兩條互相正交的焦線(子午焦線、弧矢焦線)，稱為像散，此兩條焦線的中點，光束形成最小光斑。 S_4 :場曲(Curvature of field)，由於物高增長，其物距比在軸上物距增長，造成成像點的位置不同，此不同位置的成像點連接起來，會形成一曲面，即為場曲。一個有像散像差的系統中，由離軸物點所發出的光線中，其子午光線成像位置(St)與弧矢光線的成像位置(Ss)不同，就是因為 St 和 Ss 不重合，所以對一物點來說，成像便不再會是一點，成像的形狀，在 St 位置上是一水平線， Ss 位置上則是一垂直線，其他位置的形狀則是橢圓或圓形，如下圖所示。

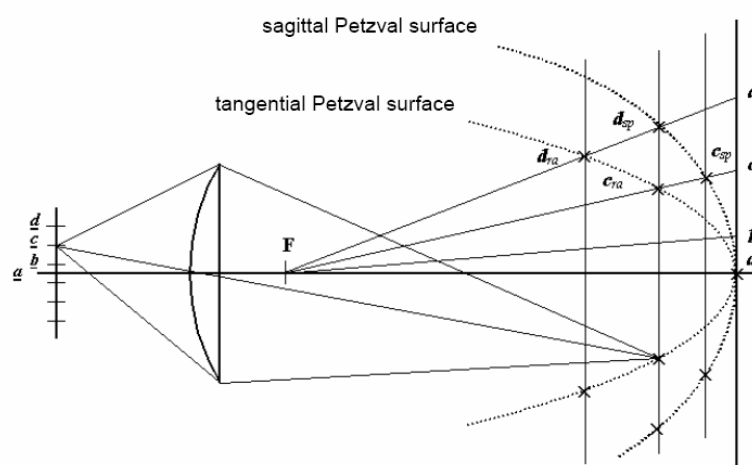


圖3-3 場曲示意圖

S_5 :畸變(Distortion)，由於像面上每一點成像高度，其放大率不同所造成，如果像點位置較其理想位置遠離光軸，則畸變為正，又稱為針插畸變(Pincushion distortion)，若像點位置較其理想位置接近光軸，則畸變為負，又稱為桶形畸變(barrel distortion)。而畸變又分為光學畸變(Optical distortion)以及視訊畸變(TV distortion)兩種。光學畸變即是因為物高不同而有不同的放大率，使得影像扭曲。如果視訊畸變嚴重，使用者很容易發現的是影像中的直線有彎曲的現象。而視訊

畸變是像面上不同視場的光學畸變變化量的差異。理想成像代表的是像與物的幾何形狀必須為完全相似的。光學系統成像位置是與物高相關，而畸變就是由主光線在理想成像面位置的偏移所引起的像差，由公式(3-19)可求得畸變率。[22]

$$Distortion\% = \left(\frac{\overline{y_R} - \overline{y_I}}{\overline{y_I}} \right) \cdot 100\% \quad (3-19)$$

其中， $\overline{y_I}$ 表示物體經由成像系統後，落在理想成像面的位置，而 $\overline{y_R}$ 表示物體經由成像系統後實際成像位置。如圖3-4所示。

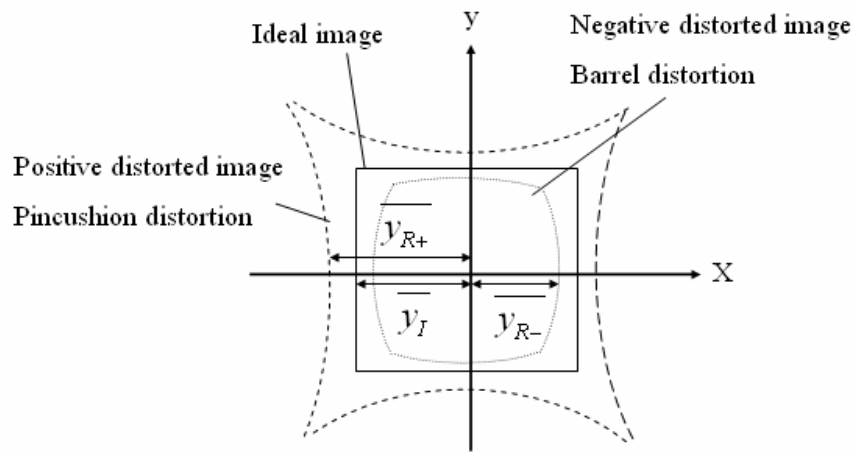


圖3-4 畸變示意圖

此外，又用 S_6 和 S_7 分別表示二個色像差(Chromatic aberration):軸向色像差(Axial chromatic aberration)和橫向色像差(Lateral chromatic aberration)。軸向色像差即軸上發出光線，由於波長不同，經過透鏡之後，因折射率差異而改變成像點，則紅光與藍光之成像點位置差值即為縱向色差。而軸外發出光線，由於波長不同，經過透鏡之後，其成像面位置不同，造成其放大率相異，所以紅光之像高與藍光之像高之差值即為橫向像差。要求一個成像系統和像差都不出現是不可能的，通常根據系統的要求，只考慮幾個主要像差，而忽略其他的像差。

3.4 人眼特性

車用抬頭顯示器的設計主要目的即在提供駕駛者適當的光以觀看虛像之視覺性活動，整個視覺體系最重要的部份即為眼睛，眼睛如何對光作出反應，其間

的互動關係常為成像設計最基本的考慮。

物體表面反射或透射某些特定光波，成為視覺刺激的來源；眼睛是這些刺激的接收器，能對反射光波產生反應並做成視覺訊號；這些訊號傳遞至大腦經過分析，以影響觀者的意識與行為表現。此三階段構成整個視覺感知體系。人類視覺系統主要的感覺器官是眼睛。眼睛接收光，其構造與照相機非常類似，包括控制進入光量、使光折射對焦及呈現外部影像等功能。[23]

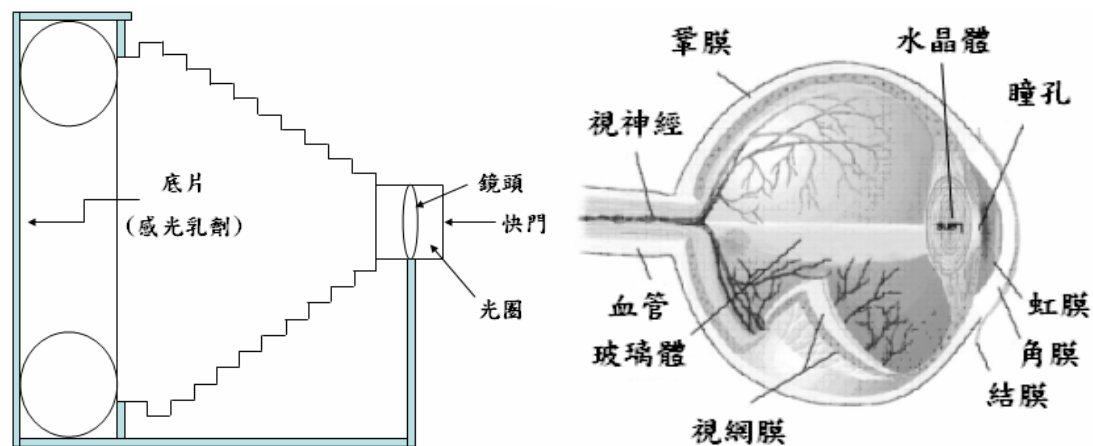


圖3-5 人眼與相機之類比

表3-1 人眼與相機之類比

| 眼睛構造 | 功能 | 相機構造 |
|------|---------|------|
| 眼皮 | 保護眼睛 | 鏡頭蓋 |
| 鞏膜 | 眼白、支撐眼珠 | 機身 |
| 角膜 | 保護、滋潤眼珠 | 護鏡 |
| 水晶體 | 對焦 | 鏡頭 |
| 虹膜 | 收縮、擴張瞳孔 | 光圈 |
| 瞳孔 | 控制進入光量 | 快門 |
| 視網膜 | 呈像 | 底片 |

眼睛視覺功能綜整如下：

錐狀細胞與明視覺：人眼的錐狀細胞約有八百萬個，且半數集中於視網膜的中央稱作小窩(Fovea)的區域，為眼睛對物體細部對焦成像的部份，負責細部與色彩視覺。錐狀細胞依光色素的不同分為三種受器，分別接收光譜中的紅、綠、藍三主色。人眼所見的物體顏色即依此三受器細胞所接收光能量的相對強度，組

合成人眼所能經驗的色彩範圍。色彩視覺出現在明亮的狀況下，故稱明視覺。

桿狀細胞與暗視覺：桿狀細胞主要負責夜晚及周邊視覺。相較於錐狀細胞，桿狀細胞對光更為敏感，較容易看到微弱的亮光，因此在極低的照度下，人眼僅依賴桿狀細胞，稱為暗視覺，其無法分辨顏色，故所有表面看起來僅有灰階明暗的差異；人眼約有一億二千萬個桿狀細胞，僅存在於視網膜的周邊，因該處缺乏錐狀細胞，以致人眼對視野的周邊部份有辨色上的困難。

中介視覺發生於桿狀與錐狀細胞以相同的敏感度運作，特別是照度較低的微光 (Twilight) 情況的約為 $0.01\sim 1\text{ cd/m}^2$ ，此時眼睛正處於辨色能力將喪失的邊緣，通常為明、暗視覺間的短暫過渡期。例如傍晚駕車，初期桿狀細胞較不敏感，人眼依賴錐狀與桿狀細胞共同作用來觀看，一旦桿狀細胞適應足夠，則取而代之成為主要的視覺。

表3-2 錐狀細胞與桿狀細胞之特性

| 錐狀細胞 | 桿狀細胞 | 錐/桿狀細胞並行 |
|------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|
| 白晝視覺 | 夜晚視覺 | 微光視覺 |
| 明視覺 | 暗視覺 | 中介視覺 |
| $3.4\sim 10^6\text{ cd/m}^2$ | $0.034\sim 10^{-6}\text{ cd/m}^2$ | $0.034\sim 3.4\text{ cd/m}^2$ |
| 對555nm光波最靈敏 | 對510nm光波最靈敏 | |
| 視覺敏銳度佳 | 視覺敏銳度差 | 視覺敏銳度減弱 |
| 彩色視覺 | 明暗視覺、無彩色 | 辨色力減弱 |
| 明適應 | 暗適應 | 過渡期 |
| 半數集中於視網膜小窩，周邊數量減少 | 主要集中在視網膜周邊，不存在於小窩 | |

將人眼對各別波長的敏感度以圖形表示，可說明對不同波長相關亮度的反應，稱為光譜光效曲線(Spectral luminous efficiency curve)如圖3-3所示。在明亮環境中，人眼對中波長黃綠色光(550nm最靈敏，感覺最明亮，相對敏感度往可見光譜兩側遞減至近乎零，此圖形稱為明視曲線；在暗視覺下，人眼尖峰敏感度轉向較低波長的藍綠色光507 nm，敏感曲線在暗視覺下往光譜藍端位移的現象稱為Purkinje Shift。此結果值得注意的是：在明視覺下看起來較亮的一表面，可能在暗視覺下反而會顯得較暗，反之亦然。

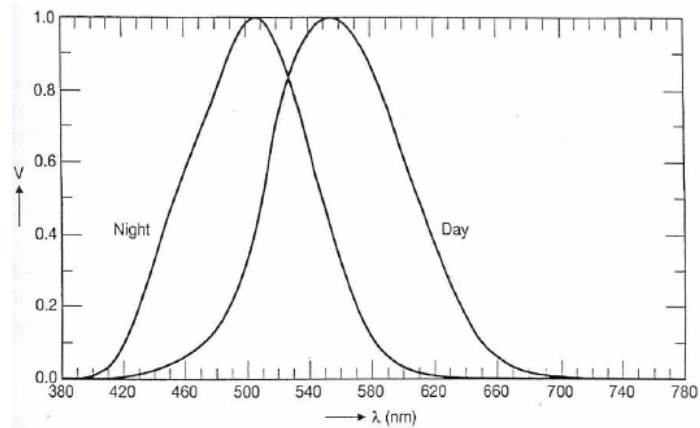


圖3-6 人眼相對頻響應

明視曲線用於決定所有光源光譜能量分佈曲線所代表的光通量。若以人眼對同瓦數的555 nm與450 nm的光所感受的光通量做比較，前者高於後者幾乎25倍，是因人眼較不敏感於450nm的波長而看起來較暗。對應於明視曲線，光源無法有效產生光譜紅及藍色區域的光，而此二區卻為優良演色性所必備，這也就是為什麼大多數光源的效率與演色性無法兼顧的緣故。

視野(Visual field)眼睛所能看到的區域稱為視野。視網膜中央的小窩是感光細胞高度集中的區域，提供細部視覺及辨色力，一般對物體對焦僅在小窩成像，稱為小窩視覺(Foveal vision)，僅佔視野中央約2°的極小區域，故眼睛須不停移動以便對焦於不同細部。整個視野範圍涵蓋左右共180°(雙眼重疊的區域為120°)，中央視線往上60°、往下70°。最有效的視力範圍在中央30°視角內，可提供清楚的視覺影像與色彩資訊，愈往視野周邊愈不精確，主要藉對明暗強度的反應辨識視覺線索，周邊視覺僅供視者維持一般方向感與空間動態活動的察覺。

眼睛能夠因應視覺目標物及環境的變化從事各種不同程度的調整，以提供工作或觀看最佳的視覺功效(Visual performance)。眼睛除了能上下左右移動外，尚包括對遠、近距離物體對焦及適應明、暗環境的功能。

調節(Accommodation)：調節為眼睛對遠、近物體對焦的過程，藉水晶體形狀上的改變以調整對焦的距離。所觀看的物體愈近，水晶體愈鼓脹；物體愈遠，水晶體愈扁平。一般近視或遠視的矯正，即利用凸透鏡或凹透鏡補足水晶體無法達成的變形程度，以提供清楚的視覺。

第四章、車用抬頭顯示器系統設計

4.1 大眾車款車用抬頭顯示器設計

4-1-1 透鏡設計概要

設計透鏡的首要重點，就是抓住系統的初階架構。較好的初階設計作優化 (Optimization) 時，比較容易達到要求的目標，因此，在系統初階設計時，就必須考慮得周詳一點[24]。

通常起始值求取有兩個方法，其中一個是由近軸初階設計開始建立鏡組結構，由理論著手計算出鏡組的像差，然後將曲率、厚度及透鏡材質一步一步調校，然後完成設計。但是這個方法通常會花費很多的時間，並且也較為複雜。本論文利用FreeBASIC撰寫程式，分別設計Infinite to finite之單透鏡，以計算出透鏡之曲率半徑、厚度及後焦距之參數值。將程式所算出透鏡系統之參數的值輸入ZEMAX，以求出初步透鏡之架構，並輸入透鏡基本參數。另一個方法是由書籍中的參考資料或者是專利上尋找適合的鏡組，然後修改其初階資料以符合所設計之鏡頭要求。當起始值完成以後，再以軟體進行優化的動作。本論文模擬皆是使用軟體ZEMAX 作模擬而完成。

最後，為配合業界所需之透鏡大量生產開模，本論文設計首先針對現成的透鏡進行ZEMAX之模擬與分析。針對業界所需之成像要求，改變現有透鏡之規格。最後從透鏡之MTF圖、放大率、成像距離，決定透鏡的選擇，達成產品需求。

4-1-2 透鏡之選取

大眾車款之車用抬頭顯示器之規格，本論文研究預定設計尺寸約為面紙盒的體積(220mm×120mm×90mm)，在這尺寸範圍內，因為成像面積的要求，放大率必須為4倍，因此由3-9式計算出焦距為300mm、400mm、500mm時，必須的物距與像距。

表4-1 放大率皆為4倍(投影成像面積200mm×160mm)

| 透鏡焦距 | 300mm | 400mm | 500mm |
|------|-------|-------|-------|
| 放大率 | 4 | 4 | 4 |

| | | | |
|----|-------|-------|-------|
| 物距 | 225mm | 300mm | 400mm |
| 像距 | 900mm | 120mm | 150mm |

從表4-1可知，當不同之透鏡焦距，放大率皆為4倍時，其車用抬頭顯示器之投影成像面積為200mm×160mm，此時300mm與400mm之透鏡焦距，其物距在抬頭顯示器之規格，尺寸約為面紙盒的體積範圍，因此符合要求。而透鏡焦距為500mm時，其物距為400mm，面積超出範圍之內，不符合要求。

表4-2 物距皆為250mm

| 透鏡焦距 | 300mm | 400mm | 500mm |
|------|--------|-------|-------|
| 放大率 | 6 | 2.67 | 2 |
| 物距 | 250mm | 250mm | 250mm |
| 像距 | 1500mm | 666mm | 500mm |

表4-2在探討當不同焦距透鏡之物距皆為250mm，符合物距在抬頭顯示器之規格。此時投影成像距離，透鏡焦距為300mm時，其像距約在1.5公尺，符合規格要求，而400mm與500mm之透鏡焦距，像距太近，不符合系統規格要求。

表4-3 符合系統規格之最佳設計

| 透鏡焦距 | 300mm | 400mm | 500mm |
|------|-------|--------|--------|
| 放大率 | 4 | 4 | 3 |
| 物距 | 225mm | 300mm | 333mm |
| 像距 | 900mm | 1200mm | 1000mm |

表4-3在討論當不同焦距之透鏡其放大率、物距、像距皆符合其抬頭顯示器之規格時，其物像關係之相對位置。這些最佳設計參數，進一步由ZEMAX之成像品質，決定所需要之透鏡焦距。

4-1-3 現成透鏡模擬與分析

經由表4-3的結果，本論文採用鼎昕科技公司OPTOSIGMA[25]之現有的透鏡規格，將它載入ZEMAX後進行模擬分析。選擇焦距為303mm、401mm與503mm之透鏡，從MTF分析、影像模擬等計算，來決定透鏡之選取。

表4-4 現成透鏡焦距為303mm之透鏡資料

| Surface | Type | Radius(mm) | Thickness(mm) | Glass | Semi-Diameter(mm) |
|---------|----------|------------|---------------|-------|-------------------|
| OBJ | Standard | Infinity | 255 | | 30.303 |
| 1 | Standard | 311.4 | 11.1 | BK7 | 50 |
| 2 | Standard | -311.4 | 650 | | 50 |
| STO | Standard | Infinity | -1584.911274 | | 2 |
| IMA | Standard | Infinity | - | | 131.105574 |

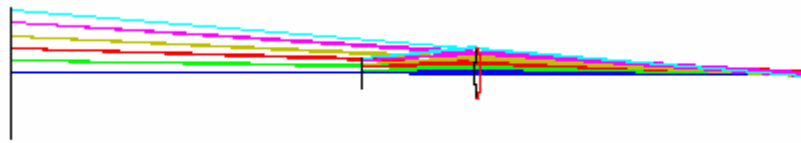


圖4-1 現成透鏡焦距為303mm之光追跡圖

從表4-4可得到幾個重要數據，物距從表4-3符合系統規格之最佳設計，當物距為225mm時，可得到放大率約為4倍，虛像之成像距離為900mm處，物高取30.303mm則是因為 TFT-LCD Panel之對角線長度為60.606mm，故半徑取30.303mm。而駕駛人離擋風玻璃之距離約600mm到700mm，取平均值為650mm。人眼的瞳孔直徑約2mm到8mm，會隨亮度而改變。本論文取4mm，半徑為2mm。

表4-5 現成透鏡焦距為401mm之透鏡資料

| Surface | Type | Radius(mm) | Thickness(mm) | Glass | Semi-Diameter(mm) |
|---------|----------|------------|---------------|-------|-------------------|
| OBJ | Standard | Infinity | 300 | | 30.303 |
| 1 | Standard | 207.6 | 9.1 | BK7 | 50 |
| 2 | Standard | Infinity | 650 | | 50 |
| STO | Standard | Infinity | -1840.931213 | | 2 |
| IMA | Standard | Infinity | - | | 125.916474 |

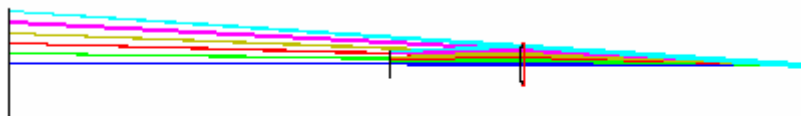


圖4-2 現成透鏡焦距為401mm之光追跡圖

表4-6 現成透鏡焦距為503mm之透鏡資料

| Surface | Type | Radius(mm) | Thickness(mm) | Glass | Semi-Diameter(mm) |
|---------|----------|------------|---------------|-------|-------------------|
| OBJ | Standard | Infinity | 333 | | 30.303 |
| 1 | Standard | 519 | 7.8 | BK7 | 50 |
| 2 | Standard | -519 | 650 | | 50 |
| STO | Standard | Infinity | -1659.108683 | | 2 |
| IMA | Standard | Infinity | - | | 92.202132 |

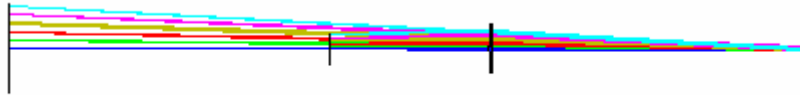


圖4-3 現成透鏡焦距為503mm之光追跡圖

4-1-4 初階透鏡模擬與分析

初階透鏡之模擬與分析，是利用FreeBASIC撰寫程式，分別設計Finite to finite之單透鏡，以計算出透鏡之曲率半徑、厚度及後焦距之參數值。將程式所算出透鏡系統之參數的值輸入ZEMAX，以求出初步透鏡之架構，並輸入透鏡基本參數。令物距為 l ，像距為 l' ，利用公式計算曲率 R_1 與 R_2 ，使用高斯公式計算其焦距：

$$f = \frac{l \times l'}{l - l'} \quad (4-1)$$

放大率
$$M = \frac{l'}{l} \quad (4-2)$$

$$Y = \frac{1 + M}{1 - M} \quad (4-3)$$

形狀因子
$$X = \frac{2(n^2 - 1)}{n + 2} Y \quad (4-4)$$

$$R_1 = \frac{2(n - 1)}{X + 1} f \quad (4-5)$$

使用厚透鏡公式計算
$$R_2 = \frac{\frac{T_1}{R_1} \frac{(n - 1)^2}{n} - (n - 1)}{\frac{1}{f} - \frac{n - 1}{R_1}} \quad (4-6)$$

一般來說，透鏡厚度是一個經驗值，且與透鏡的直徑有關。當直徑大於一英寸時，透鏡厚度 T_1 約為 $\frac{Dim}{6}$ 。當直徑小於一英寸時，透鏡厚度 T_1 約為 $\frac{Dim}{3}$ 。此時再使

用光學計算之矩陣方法來求得透鏡之後焦距。詳細光學矩陣程式計算請參見附錄

一。

```

InfiniteToFinite.bas
1 Dim As single M,Y,X,n,EFL,EPD,Fnumber,T1,R1,R2
2 Dim As single v1111,v1112,v1121,v1122,v2111,v2112,v2121,v2122,v2211,v2212,v2221
3 Dim As single v2222,A11,A12,A21,A22,B11,B12,B21,B22,u1,y1,u2,y2,u3,y3,u4,y4
4 Dim As single T2,v3211,v3212,v3221,v3222,C11,C12,C21,C22,u5,y5
5
6 input "EFL=",EFL
7 input "fnumber=",fnumber
8
9 n=1.5168
10 M=0
11 Y=(1+M)/(1-M)
12 X=((2*((n*n)-1))/(n+2))/Y
13 EPD=EFL/Fnumber
14 T1=EPD/6
15 R1=((2*(n-1))/(X+1))*EFL
16 R2=((T1/R1)*(((n-1)*(n-1))/n)-(n-1))/((1/EFL)-((n-1)/R1))
17
18 v1111=1
19 v1112=(n-1)/R1
20 v1121=0
21 v1122=1
22
23 v2111=1
24 v2112=0
25 v2121=-(T1/n)
26 v2122=1
27
28 v2211=1
29 v2212=(1-n)/R2
30 v2221=0
31 v2222=1
32

```

圖4-4 初階透鏡設計Infinite to finite之FreeBASIC撰寫程式

```

D:\97二上\FreeBASIC\FBIDETEMP.exe
輸入材質折射率n=1.5168
輸入物距L=225
輸入像距L'=-900

f= 300
T0=-226.4728
TF= 226.0001
u1=-0.1666667
y1= 0
u2=-0.1666667
y2= 37.66667
u3=-0.1520503
y3= 37.66667
u4=-0.1520503
y4= 37.86716
u5=-0.2930405
y5= 37.86716
u6= 0
y6= 0
R1= 1331.801
R2= 138.8022
第一頂點至第一主點之距離為TF 226.0001
第二頂點至第二主點之距離為TB-1.31852

```

圖4-5 初階透鏡設計Infinite to finite之FreeBASIC程式計算結果

4-1-5 成像品質分析

MTF(Modulation Transfer Function)是現代光學上常用的綜合性評價標準。一個鏡頭的好壞最主要是對比度(Contrast)和解析度(Resolution)兩方面是否有好的表現，而鏡頭的MTF就相當於是這兩方面的綜合性描述，其用來評估一特定空間頻率(Spatial Frequency)，即每毫米裡面有多少線對(Line Pair)，單位是lp/mm分佈時，在經過鏡頭成像後的解析度百分比。而考慮CCD上的畫素分佈在一維上的分

佈如圖4-6所示。黑色表示沒訊號，白色表示接收到訊號，一對表示一個線對。而通常在考慮全彩畫面的情況時，看兩個線對所對應的空間頻率下，利用公式4-7計算出MTF值的大小。

有效鑑別的最大空間頻率是以人眼所能鑑別出的最細黑白(亮暗)線對來估算，超出此空間頻率的影像是無法被人眼所判別。人眼能鑑別出的最細線條為一個像素寬(單位 mm)。對於可見光而言，人眼只能分辨一分，即 $1/60$ 度，轉為弧度，再乘上像距，即為人眼觀測影像之距離 l ，即可得到有效鑑別的最大空間頻率[26]，如公式 4-7 所示：

$$\text{有效鑑別的最大空間頻率} = \frac{1}{60} \times \frac{1}{2} \times \frac{\pi}{180} \times l \quad (4-7)$$

當透鏡焦距為 303mm，有效鑑別的最大空間頻率為 1.84 lp/mm;當透鏡焦距為 401mm，有效鑑別的最大空間頻率為 5.78 lp/mm;當透鏡焦距為 503mm，有效鑑別的最大空間頻率為 6.81 lp/mm。下圖 4-7 至 4-9 不同焦距之 MTF 為方便比較，最大空間頻率皆設定為 6.81 lp/mm。

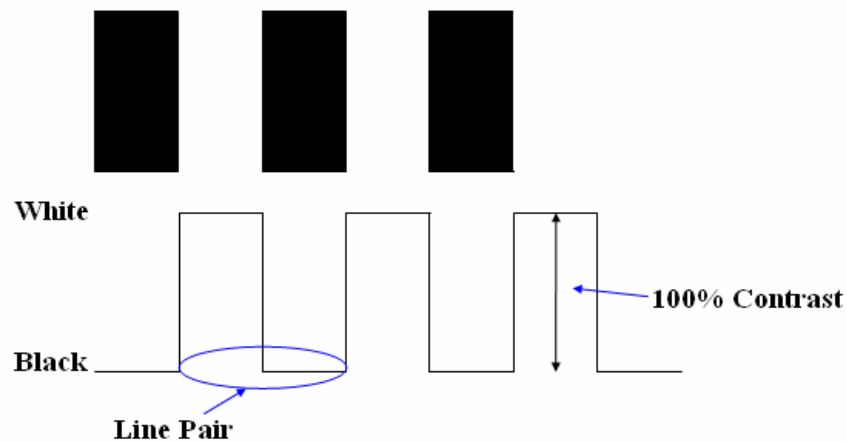


圖4-6 CCD之一維的畫素分佈

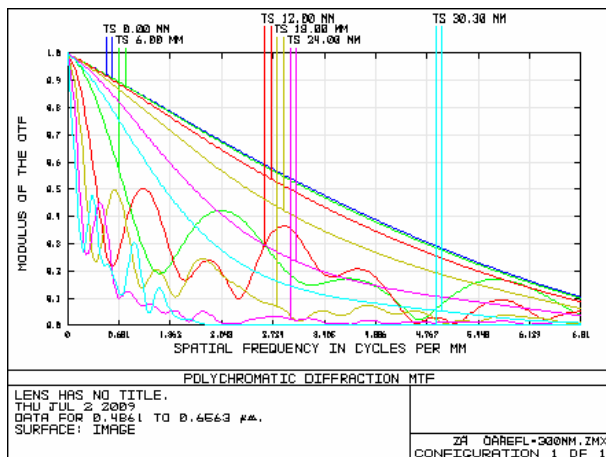


圖4-7(a) 現成透鏡焦距為303mm之MTF

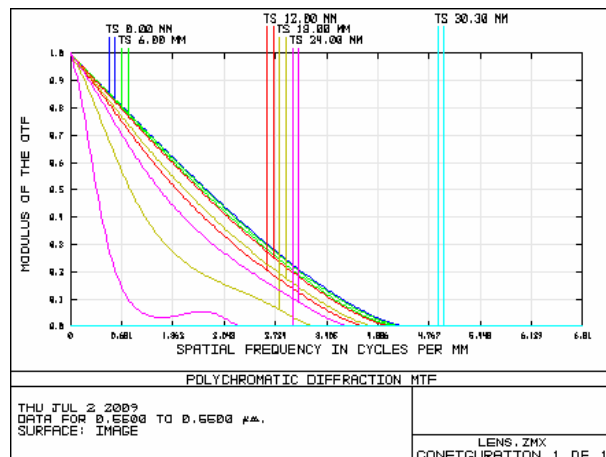


圖4-7(b) 初階設計透鏡焦距為300mm之MTF

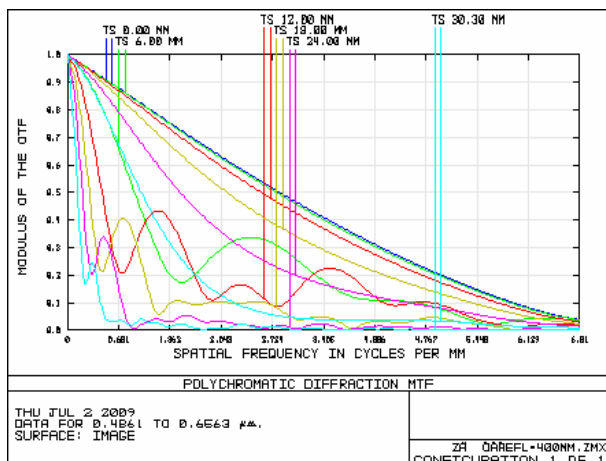


圖4-8(a) 現成透鏡焦距為401mm之MTF

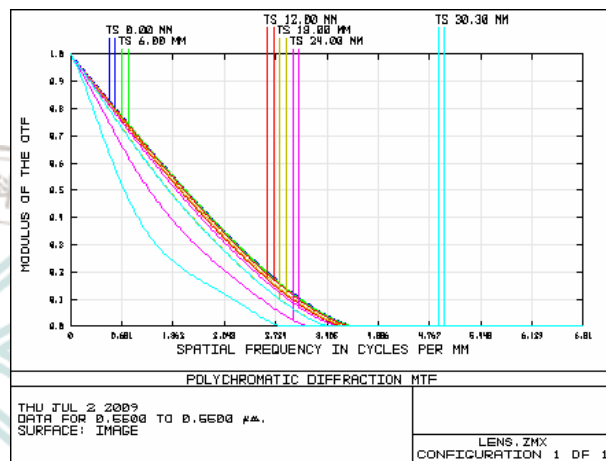


圖4-8(b) 初階設計透鏡焦距為400mm之MTF

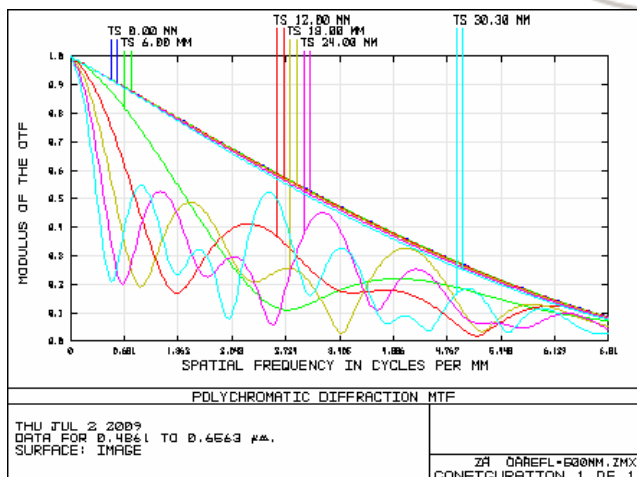


圖4-9(a) 現成透鏡焦距為503mm之MTF

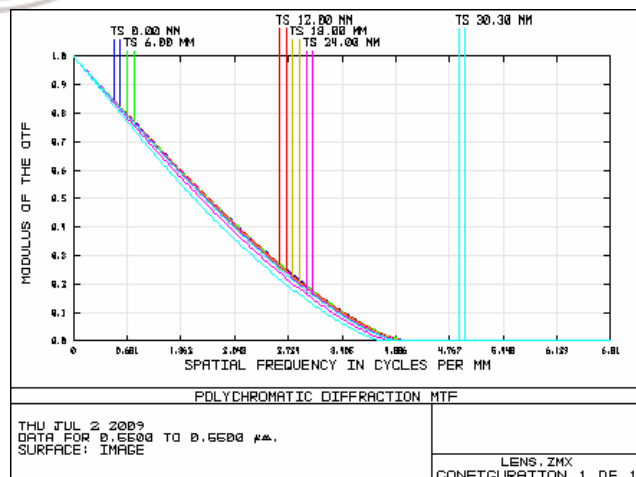


圖4-9(b) 初階設計透鏡焦距為500mm之MTF

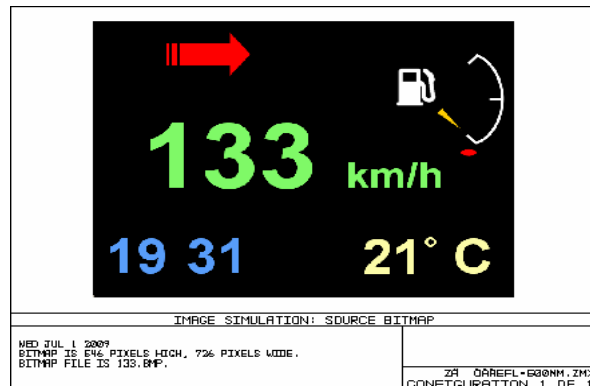


圖 4-10 原始輸入圖像

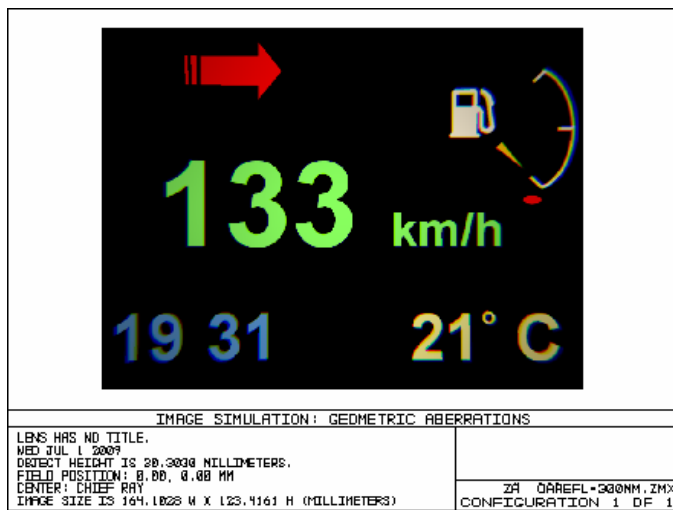


圖 4-11(a) 現成透鏡焦距為 303mm 之影像輸出模擬

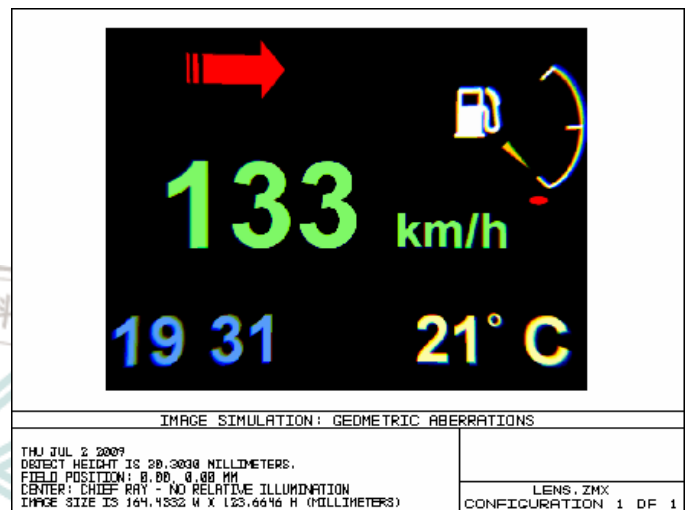


圖 4-11(b) 初階設計透鏡焦距為 300mm 之影像輸出模擬

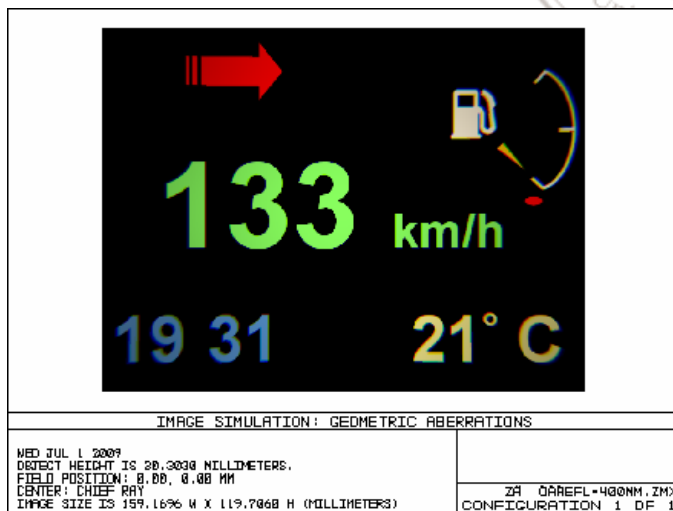


圖 4-12(a) 現成透鏡焦距為 401mm 之影像輸出模擬

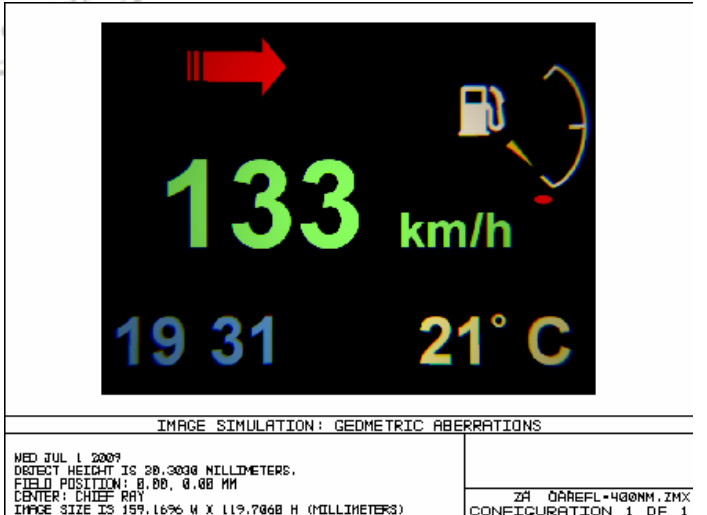


圖 4-12(b) 初階設計透鏡焦距為 400mm 之影像輸出模擬

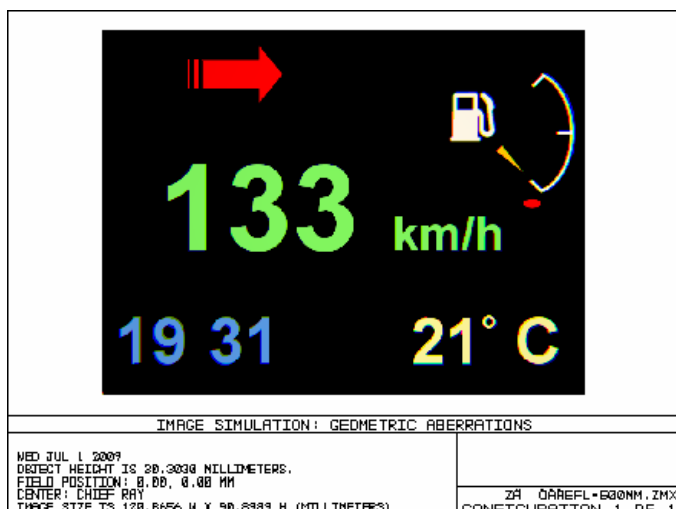


圖 4-13(a) 現成透鏡焦距為 503mm 之影像輸出模擬

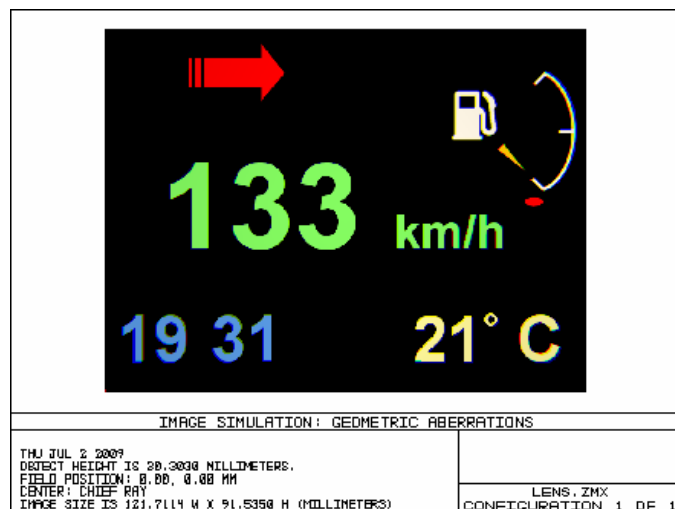


圖 4-13(b) 初階設計透鏡焦距為 500mm 之影像輸出模擬

圖4-7(a)~圖4-9(a)為現成透鏡焦距 303mm、401mm、503mm之MTF圖比較發現，當三者之空間頻率皆取6.81 lp/mm時，其透鏡焦距為503mm之子午成像面與弧矢成像面之線條重合較多，因此在MTF圖表現出成像品質較佳，焦距為303mm之透鏡之MTF圖之成像品質較差。而在影像模擬部份，圖4-10為原始影像，輸入物高為60.606mm，影像解析度726×546。當現成透鏡焦距為303mm與401mm時，如圖4-11(a)與4-12(a)所示，影像模擬結果，四周有些許像差存在，圖4-13(a)為現成透鏡焦距為503mm，影像模擬結果最接近原始圖。由於303mm焦距之透鏡放大率佳、焦距短、MTF成像品質雖不如透鏡焦距為503mm，但在影像模擬的圖可看出，只在四周有些許像差，整體影像仍可清楚地辨識與觀看，故主要考量本系統之機構尺寸大小，採用303mm焦距做為投影成像之透鏡，而且所設計的HUD系統之尺寸、投影面積、投影距離皆符合最終要求。

圖4-7(b)~圖4-9(b)則的採用初階設計透鏡焦距 300mm、400mm、500mm，設計結果發現，與圖4-7(a)~圖4-9(a)做比較可得知，三者初階設計透鏡其子午成像面與弧矢成像面重合線條較密，成像品質皆品現成透鏡之MTF圖更好，由圖4-11(b)與4-13(b)與圖4-11(a)與4-13(a)影像模擬做比較，可驗證其初階設計透鏡之影像模擬較佳。

4.2 BMW車款車用抬頭顯示器透鏡設計

4-2-1 透鏡設計原則

本節所設計出的精簡化小體積的抬頭顯示器系統，為因應合作廠商之要求需符合BMW車款之規格，因此希望將此系統中的面板元件等輸出介面置放於前座乘客副座A柱(如下圖4-14之Zone I所示)位置。本論文設計之抬頭顯示器的內部光機架構可分為顯示元件組(TFT-LCD Panel)以及投影透鏡組兩大部份。此架構之光學投影透鏡組放置在BMW車款方向盤前與儀表板之上的區域如下圖4-14 Zone II所示；而顯示元件組則是放置在副駕駛座前方平台上，如下圖4-14之Zone I所示。將抬頭顯示器設計為分離式的投影機構，適用在任何BMW的車款上，達成虛像的成像結果，以作為車用市場After Market之產品設計。



圖4-14 BMW 3系列HUD光機構擺放示意圖

4-2-2 模擬結果

從表4-6可得到幾個重要數據，當物距為860mm時，即為乘客副座A柱之顯示元件至投影透鏡之距離。虛像之成像距離為1984mm處，物高取30.303mm則是因為TFT-LCD Panel之對角線長度為60.606mm，故半徑取30.303mm。而駕駛人離擋風玻璃之距離約600mm到700mm，取平均值為650mm。人眼的瞳孔直徑約2mm到8mm，會隨亮度而改變，因此在取直徑4mm，半徑為2mm。模擬之光追跡圖如圖4-15所示。模擬結果可得，像高為46.233mm，可得到放大率約為1.527倍。

表4-7 現成複合透鏡之透鏡資料

| Surface | Type | Radius(mm) | Thickness(mm) | Glass | Semi-Diameter(mm) |
|---------|----------|--------------|---------------|-------|-------------------|
| OBJ | Standard | Infinity | 860 | | 30.303 |
| 1 | Standard | 1038 | 5.4 | BK7 | 50 |
| 2 | Standard | -1038 | 50 | | 50 |
| 3 | Standard | -769.789657 | 10.785767 | SF2 | 63.223162 |
| 4 | Standard | -2670.771176 | 650 | | 63.223162 |
| STO | Standard | Infinity | -1984.741157 | | 2 |
| IMA | Standard | Infinity | - | | 46.233135 |

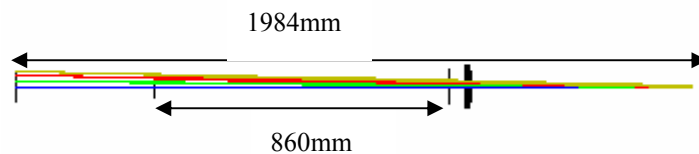


圖4-15 現成複合透鏡之光追跡圖

下圖4-16為現成複合透鏡之MTF圖，當有效鑑別之最大空間頻率為0.819lp/mm時，其成像解析率高達0.7，比現成單透鏡之MTF高，且在場曲與畸變百分率來，其最大場曲為藍光波長486nm時，其值為4.012mm，最大畸變值為-0.001%。在圖4-18(a)之影像原始圖，原始影像畫素726x546物高取60.606mm，4-18(b)之影像模擬結果圖，與圖4-11(a)現成透鏡焦距為303mm之影像輸出模擬做比較，其複合透鏡比現成單透鏡之影像模擬結果成像品質更好。

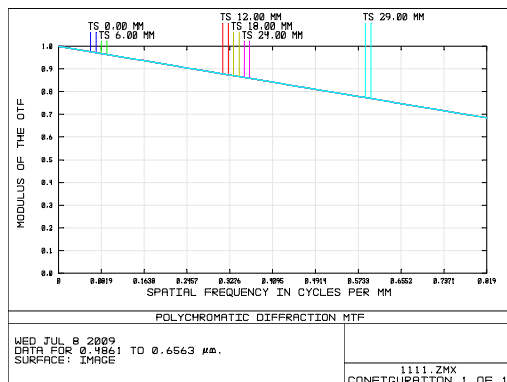


圖4-16 現成複合透鏡之MTF圖

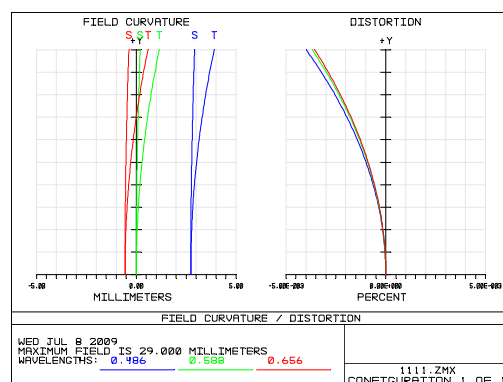


圖4-17 現成複合透鏡之場曲畸變圖

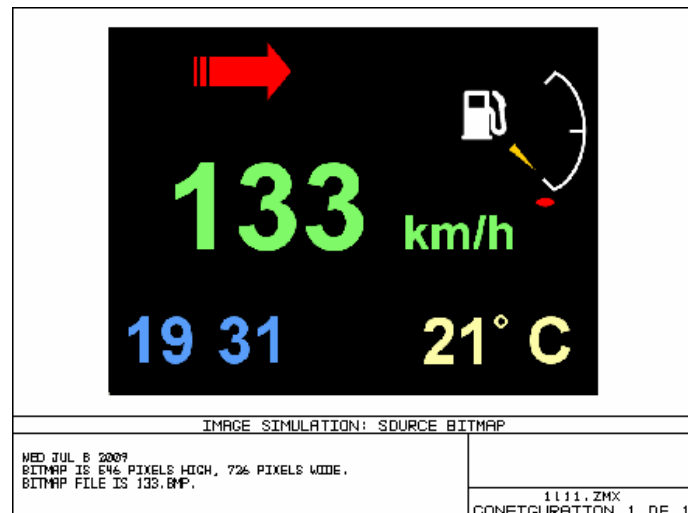


圖4-18(a) 現成複合透鏡之原始圖

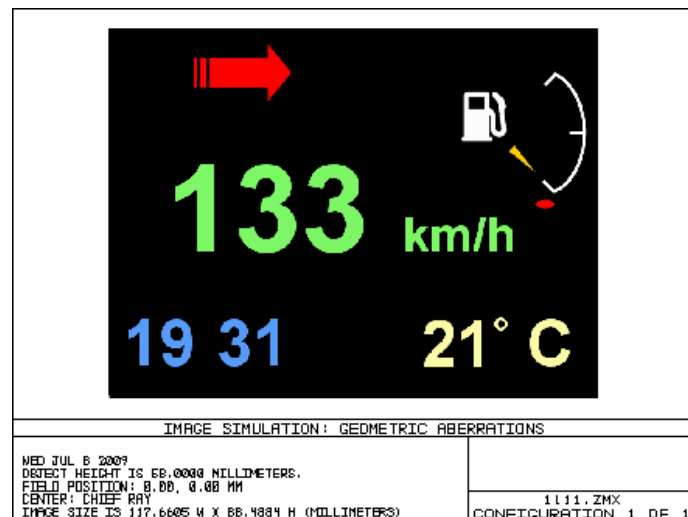


圖4-18(b) 現成複合透鏡之影像模擬圖

4.3 兩片透鏡之成像系統優化

經由上節可以得到最後所選擇需架設出來的透鏡為303mm，而由基於理論的角度來看，其像差值都並非理想，但成像結果皆為人眼所能接受的，所以本節利用上述所選的透鏡架構的形式，去做二片透鏡的優化處理，以達到接近於設計的要求，而本小節為優化成像距離約160公分的系統，最後將有無優化兩參數作比較，表4-8為雙片透鏡之Merit Function 優化指令。從圖4-22(a)現成透鏡與圖4-22(b)優化透鏡可得，經過透鏡優化之後，MTF圖之成像解析度有明顯提升的效果。已完成最佳化之透鏡開模設計的需求。

表4-8 Merit Function 優化指令

| Operand | Meaning | Target |
|---------|-------------|--------|
| TTHI | 兩面的總厚度 | -1600 |
| EFFL | 系統有效焦距 | 310 |
| DISG | 用百分比的歸一化畸變值 | 0 |
| DIFF | 兩運算元之差 | 0 |
| MTFT | 子午調製傳遞函數 | 0.4 |
| MTFS | 子午調製傳遞函數 | 0.4 |

| Surf:Type | Comment | Radius | Thickness | Glass | Semi-Diameter |
|-----------|----------|--------------|----------------|-------|---------------|
| OBJ | Standard | Infinity | 225.000000 | | 30.303000 |
| 1* | Standard | 1032.000000 | 7.400000 | BK7 | 50.000000 U |
| 2* | Standard | -1032.000000 | 0.000000 | | 50.000000 U |
| 3* | Standard | 519.000000 | 7.800000 | BK7 | 50.000000 U |
| 4* | Standard | -519.000000 | 650.000000 | | 50.000000 U |
| ST0 | Standard | Infinity | -1391.659841 M | | 4.000000 U |
| IMA | Standard | Infinity | - | | 98.995309 |

圖4-19 二片式現成透鏡之Lens Data

| Surf:Type | Comment | Radius | Thickness | Glass | Semi-Diameter |
|-----------|----------|---------------|----------------|-------|---------------|
| OBJ | Standard | Infinity | 225.000000 | | 30.000000 |
| 1* | Standard | 3558.453534 V | 6.870513 V | BK7 | 50.000000 U |
| 2* | Standard | -266.872443 V | 0.000000 | | 50.000000 U |
| 3* | Standard | 2601.536200 V | 3.832404 V | BK7 | 50.000000 U |
| 4* | Standard | -574.209728 V | 650.000000 | | 50.000000 U |
| ST0 | Standard | Infinity | -1529.239349 M | | 4.000000 U |
| IMA | Standard | Infinity | - | | 115.342471 |

圖4-20 二片式透鏡優化後之Lens Data

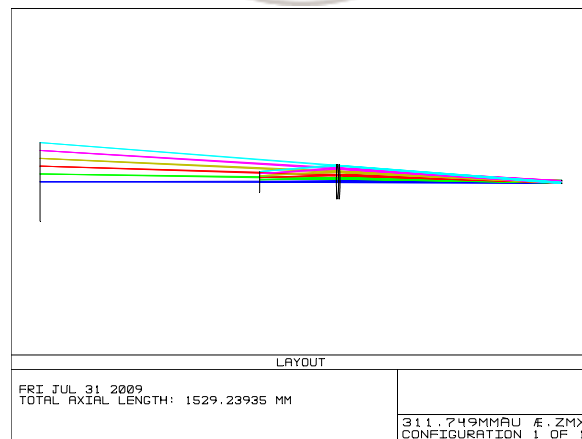


圖4-21 二片式透鏡優化後之光追跡圖

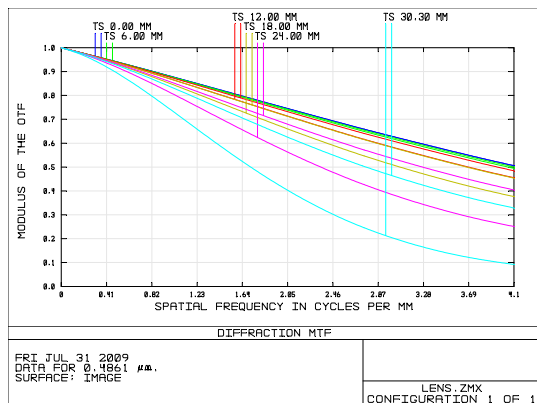


圖4-22(a) 二片式現成透鏡之MTF圖

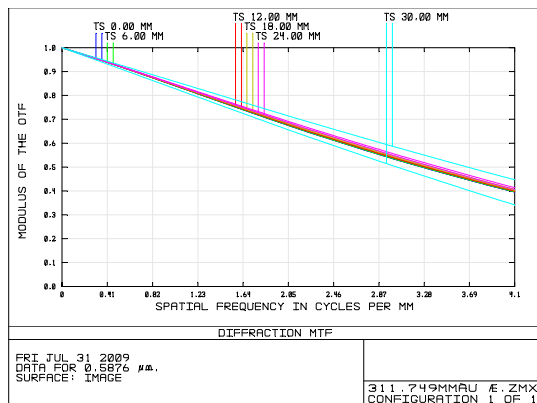


圖4-22(b) 二片式透鏡優化後之MTF圖

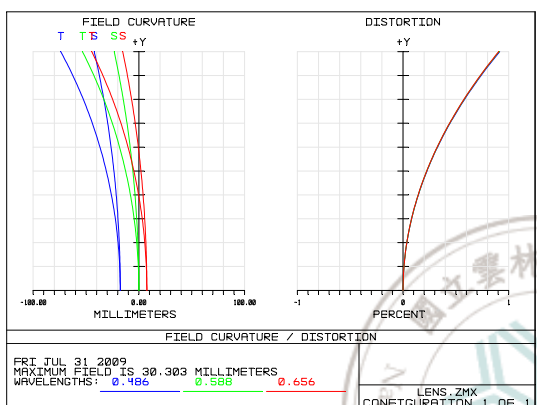


圖4-23(a) 二片式現成透鏡之場曲畸變圖

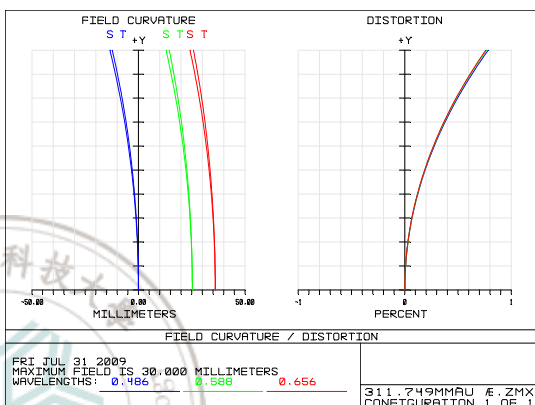


圖4-23(b) 二片式透鏡優化後之場曲畸變圖

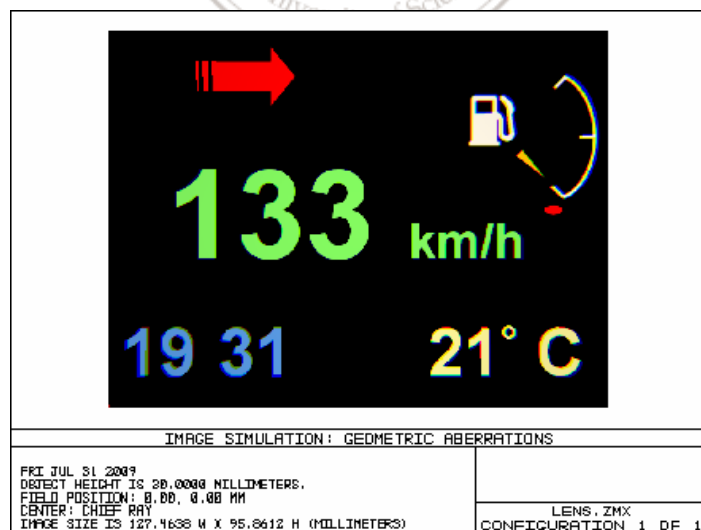


圖4-24(a) 二片式現成透鏡之影像模擬圖

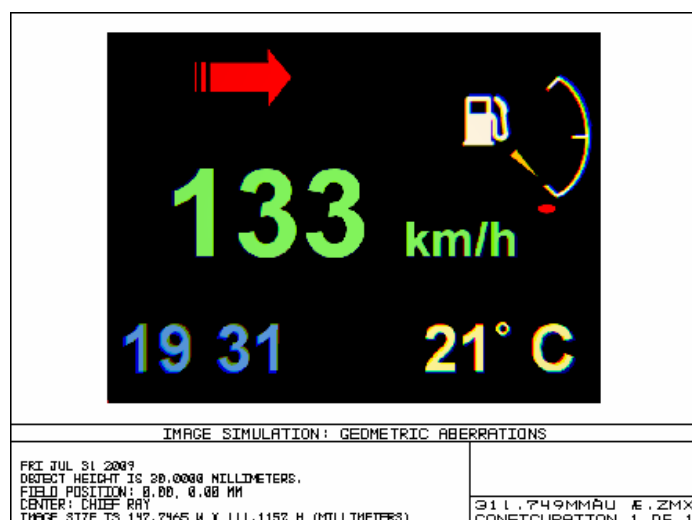


圖4-24(b) 二片式透鏡優化後之影像模擬圖

4.4 車用抬頭顯示器之設計結果

4-4-1 大眾車款之車用抬頭顯示器

| 抬頭顯示器設計結果 |
|--------------------------------|
| ❖ HUD 尺寸 320mm×80mm×60mm |
| ❖ 影像解析度 穿透式 TFT-LCD 320×240 全彩 |
| ❖ 顯示元件至成像透鏡距離 1000mm~1050mm |
| ❖ 影像輝度約 5000 cd/m ² |
| ❖ 像距 1m(駕駛者至成像位置之距離) |
| ❖ 成像面積約 200mm×160mm |
| ❖ 操作電壓 12V(符合車用供應電源) |
| ❖ 基座大小不阻礙駕駛視線 |

本節所設計之大眾車款抬頭顯示器之內部光機架構可分為三大部份：顯示單元 (LCD Panel)、投影透鏡及反射鏡。首先背光源設計主要是以高功率白光 LED 為優先，最重要的考量是因 LED 壽命長、成本低、消耗功率低，故光源採用現成之 LED。而成像輸出則是利用 2.4" TFT-LCD Panel 之影像，藉由高亮度 LED 做背光源，以增加 LCD 影像的背光亮度。反射鏡之目的在於為了讓 LCD 影像光路能反射至擋風玻璃。在擋風玻璃貼上汽車隔熱紙或鏡面反光膜，以增加影像反射至駕駛者的光亮度。最後一部份是凸透鏡之選取，凸透鏡之分析可利用光學模擬軟體 ZEMAX 進行透鏡之解析成像品質結果判斷。光機構系統內部所發出之訊

息傳送至擋風玻璃，再由擋風玻璃反射到駕駛者的視線範圍，則可在擋風玻璃前看到由 LCD Panel 所發出之影像成像。這種方式將若縮小整個 HUD 光機架構的大小且成本低廉。利用 SolidWorks 繪製出光機構與元件之相對位置，來訂定出產品的規格圖，如圖 4-25 與 4-26 所示。

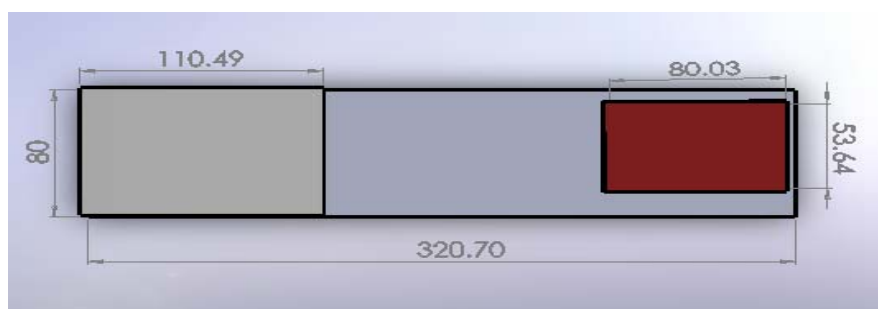


圖 4-25 大眾車款之 HUD 架構上視圖



圖 4-26 大眾車款之 HUD 架構側視圖

本光機架構之投影顯示是採用 2.4 吋 LCD Panel，為加強投影強度，再加上 4 顆白光 LED 燈模組為背光源，因其體積小、重量輕、發光度強、壽命強、省電、價格便宜，所以為首要選擇。LED 模組規格：輸入電壓 DC12V，消耗功率 1.1W，發光亮度 100 lux 至 180 lux，照明角度為 20° 。在架設背光源時，發現 LED 之亮度過於集中，造成投影到 LCD Panel 出現四個亮點，如圖 4-27。為解決這問題，本實驗設計在 LED 模組前加上 Fresnel 透鏡，增加光源之發散角度 18° ，讓 LED 光強度能平均分散至 LCD Panel 處，以解決亮度分佈不均問題，如圖 4-28 所示。



圖 4-27 未加上 Fresnel Lens 之 LCD 成像結果



圖 4-28 加上 Fresnel Lens 之 LCD 成像結果

4-4-2 BMW 車款之車用抬頭顯示器

| 抬頭顯示器設計結果 | |
|---------------|------------------------|
| ❖ 影像解析度 | 穿透式 TFT-LCD 320×240 全彩 |
| ❖ 顯示元件至成像透鏡距離 | 1000mm~ 1050mm |
| ❖ 影像輝度約 | 5000 cd/m ² |
| ❖ 像距 | 2m (駕駛者至成像位置之距離) |
| ❖ 成像面積約 | 130mm×100mm |
| ❖ 操作電壓 | 12V(符合車用供應電源) |
| ❖ 基座大小 | 不阻礙駕駛視線 |

圖 4-29 與圖 4-30 為 BMW 車款之 HUD 架構示意圖，圖中所標示 5、6、7 為投影透鏡組，其高度約為 72mm，是安裝放置在車體操控平台上(即儀表板上 方處)。投影透鏡組中標示 6 與標示 7 為採購現成之複合式透鏡組(詳細規格請參 見第 47 頁與第 48 頁)，標示 5 為反射鏡，影像經由反射鏡進行反射後，最後再 經由標示 7 之透鏡進行虛像成像放大。另外，圖中所標示 4 為顯示元件組(詳細 規格請參見第 44 頁)，顯示元件組安裝放置於副駕駛座前方 A 柱平台上，目的在 於接收 BMW 車款之電子輸入訊號源。顯示元件與投影透鏡組標示 6 之透鏡相距 約 860mm(A 柱平台至操控平台上之距離)，即為物距。此構架成像距離約為 1984mm，放大率為 1.52 倍。整體 BMW 車款之 HUD 之顯示元件與投影透鏡組 為分離式，實際安裝至車體後需各別進行微調，以達成最佳之成像位置。此機構 之寬度為 45mm，是針對 BMW 之車體操控台尺寸所設計。

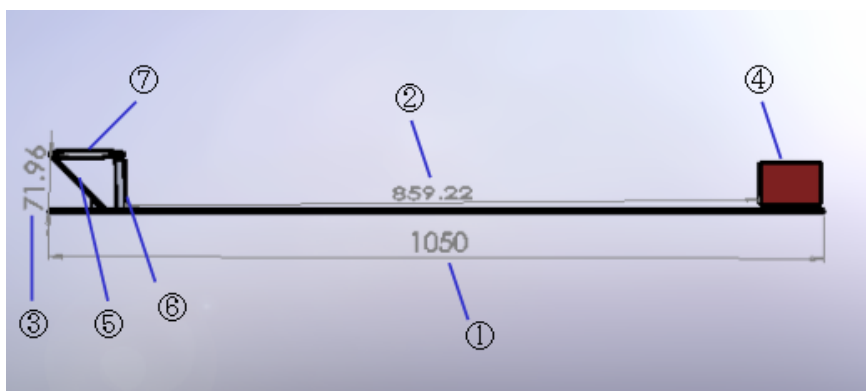


圖 4-29 BMW 車款之 HUD 架構側視示意圖

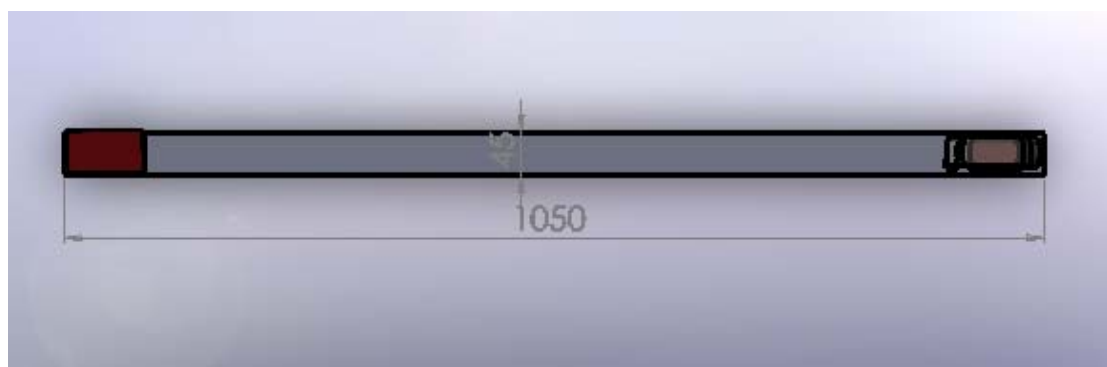


圖 4-30 BMW 車款之 HUD 架構上視示意圖

表 4-9 BMW 車款之 HUD 規格描述

| Index | Description |
|-------|----------------------|
| 1 | 顯示元件與成像透鏡之總長度 1050mm |
| 2 | 顯示元件至成像透鏡距離 859mm |
| 3 | 光機構高度 72mm |
| 4 | 顯示元件組 |
| 5 | 反射鏡 30mm×100mm |
| 6 | 凹透鏡 70mm×30mm×12mm |
| 7 | 凸透鏡 100mm×30mm×5.4mm |

4-4-3 光機構元件成果

圖 4-31 和圖 4-32 為 HUD 之顯示元件架構示意圖，所安裝於大眾車款與 BMW 車款的顯示元件的機構尺寸皆一致。其顯示元件之零組件為 TFT-LCD、4 片反射鏡、4 顆白光 LED、4 顆 Fresnel lens 以及散熱座。其中，LED、Fresnel lens 和散熱座組成背光源系統。TFT-LCD 為 2.4 吋穿透式面板，將車體電子輸入訊號經由訊號轉換介面板傳輸至 TFT-LCD 進行投影顯示。為了提高背光源之光利用

率，在 TFT-LCD 四周圍和 4 片反射鏡，使得光線在 4 片反射鏡內反射，再穿透 TFT-LCD，提升影像亮度。

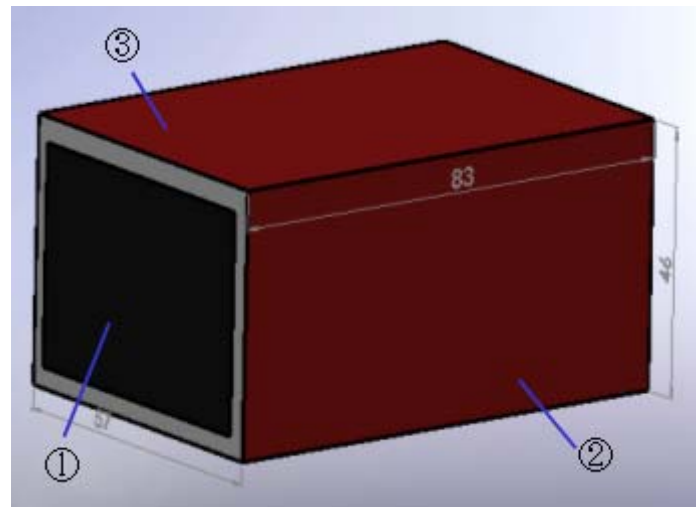


圖 4-31 HUD 顯示元件架構上視示意圖

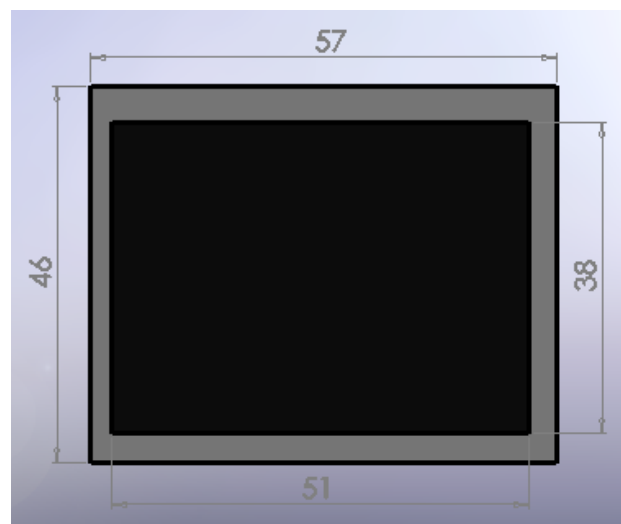


圖 4-32 HUD 顯示元件架構正視示意圖

表 4-10 HUD 顯示元件規格描述

| Index | Description |
|-------|-------------------------|
| 1 | 2.4 寸 穿透式 TFT-LCD Panel |
| 2 | 反射鏡 83mm×46mm 兩片 |
| 3 | 反射鏡 83mm×57mm 兩片 |

圖 4-33 為背光源系統之 LED 規格圖，LED 是採用 Philips Lumileds 公司[27]所製造，型號為 LXMLPWN1 0100。由於車用輸入電壓為 12V，因此將四顆規格相同之白光 LED 做串聯，每顆 LED 之工作電壓為 3V，其單顆 LED 詳細規格請

參見表 4-11。將四顆 LED 分成兩組並列兩排，焊接與黏貼至散熱座上，如圖 4-35 和圖 4-36 所示，加上散熱座之目的在於四顆 LED 在長時間使用的情况下，仍可維持影像之背光強度，不會衰減、甚至燒毀。在固定輸入電壓的的情况下，利用照度計進行四顆 LED 六小時之光強度量測，在這期間光照度皆維持穩定的結果，驗證背光源系統可在長時間使用。此外，在每顆 LED 皆加上 Fresnel lens，使每顆 LED 之光源能均勻分佈在 TFT-LCD 上，詳細結果已在 4-4-1 節描述。而 Fresnel lens 也是以現有商品進行採購，採購公司為 FUTURE ELECTRONICS[28]，規格圖為圖 4-37 所示。單顆 Fresnel lens 詳細規格請參見表 4-13。

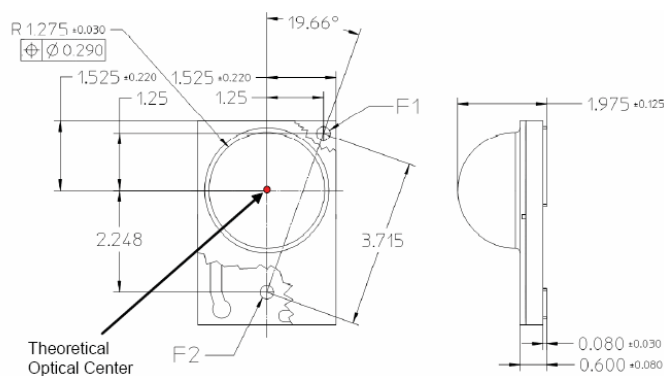


圖 4-33 Philips Lumileds LED 規格圖



圖 4-34 Philips Lumileds LED 外觀圖

表 4-11 HUD 背光源系統之 LED 規格描述

| Typical | Description |
|-------------------------|----------------|
| Part No. | LXMLPWN1 0100 |
| Color | Neutral-White |
| Forward Voltage | 2.55V to 3.99V |
| Typical Forward Voltage | 3.40V |
| D.C. Forward Current | 350mA to 700mA |

| | |
|------------------------------------|--------------------|
| Operating Temperature Range | -40°C to +135°C |
| Luminous Flux | 100 lux to 180 lux |

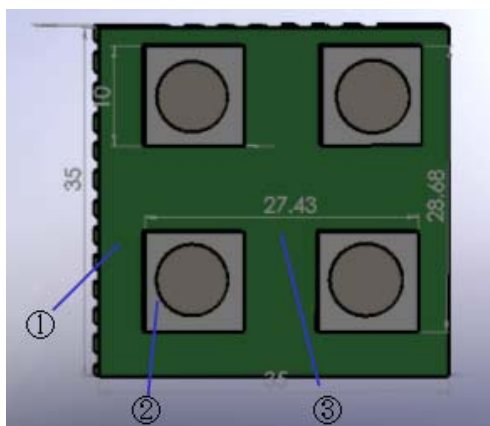


圖 4-35 HUD 背光源系統散熱座正視示意圖

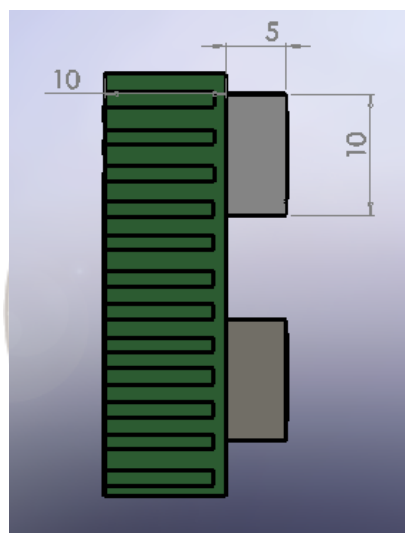


圖 4-36 HUD 背光源系統散熱座側視示意圖

表 4-12 HUD 背光源系統之散熱座規格描述

| Index | Description |
|-------|----------------------------|
| 1 | 散熱座尺寸 35mm×35mm×10mm |
| 2 | Fresnel Lens |
| 3 | 兩顆 Fresnel Lens 之間距，約 27mm |

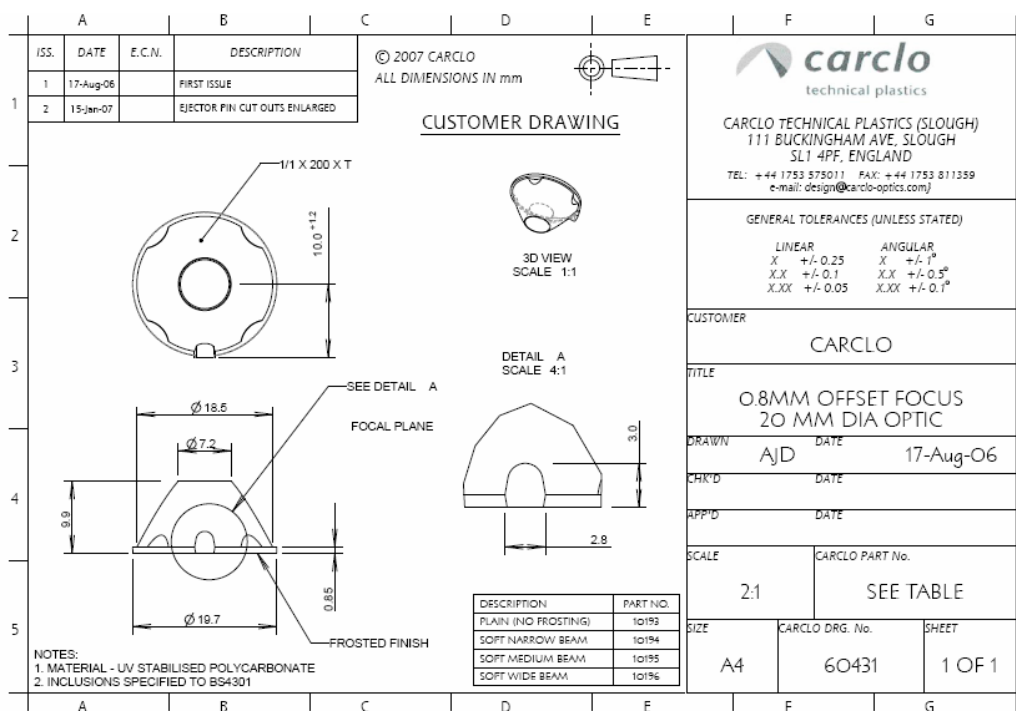


圖 4-37 FUTURE ELECTRONICS Fresnel Lens 規格圖

表 4-13 HUD 背光源系統之 Fresnel Lens 規格描述

| Typical | Description |
|---------------------|---------------|
| Product | CARCLO OPTICS |
| Manufacture Part# | 10195 |
| Radiation Pattern | Lambertian |
| Beam Angle | 17.9 ° |
| Shape | Circular |
| Diameter | 20mm |
| Price for customers | \$1.05 USD |

在投影透鏡組中，複合透鏡皆為現成商品透鏡進行採購，在凸透鏡部份，採購公司為 SIGMA KOKI 泰華科技有限公司[29]，透鏡之規格標示與描述如圖 4-38 與表 4-14 所示；凹透鏡部份，採購公司為亞諾光電[30]，透鏡之規格標示與描述如圖 4-39 與表 4-15 所示。利這複合透鏡之設計，即可達成 BMW 車款之成像面積、成像距離之目標。

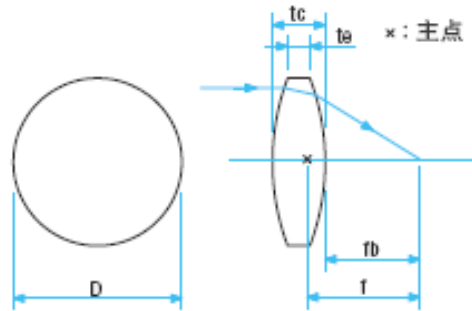


圖 4-38 凸透鏡規格標示圖

表 4-14 HUD 投影透鏡組之凸透鏡規格描述

| Description |
|--|
| 直徑(D)100mm 寬度 30mm 有效焦距 1001mm |
| R1 1038mm R2 -1038mm |
| 材質 BK7 |
| 中心厚度 5.4mm 邊緣厚度 3mm |
| 有效焦距 Effective Focal length (f) 1001mm |
| 後焦距 Back Focal length (fb) 999.1mm |

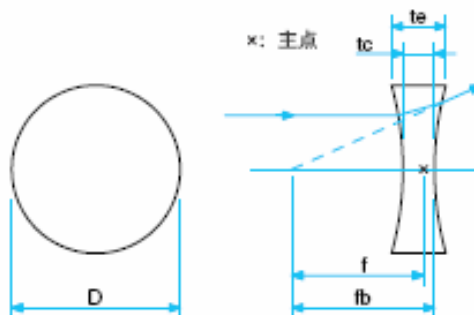


圖 4-39 凹透鏡規格標示圖

表 4-15 HUD 投影透鏡組之凹透鏡規格描述

| Description |
|---|
| 直徑(D)128.02mm 寬度 30mm 長度 70mm 有效焦距-1683.838mm |
| R1 -779.37mm R2 -2704.01mm |
| 材質 SF2 |
| 中心厚度 10.92mm 邊緣厚度 12.7953mm |
| 有效焦距 Effective Focal length (f) -1683.838mm |
| 後焦距 Back Focal length (fb) -1693.147mm |

本論文 BMW 車款採用廠商現有之透鏡規格，達到成像要求。透過光學模擬

軟體 ZEMAX 的計算與模擬，計算出以單一透鏡可取代上述之凹透鏡與凸透鏡，即用一片單透鏡取代兩片透鏡，且符合成像要求。但此單一透鏡未有現成之透鏡產品，故需經光學透鏡設計製造的公司進行透鏡設計與開模製作。表 4-16 即為 ZEMAX 的計算與模擬透鏡開模製作之規格。

表 4-16 HUD 投影透鏡組之透鏡開模製作之規格描述

| Description |
|--|
| 直徑(D)80mm 有效焦距 2000mm |
| R1 2066.52560mm R2 -2066.52560mm |
| 材質 BK7 |
| 中心厚度 3.800072mm 邊緣厚度 3.026119 mm |
| 有效焦距 Effective Focal length (f) 2000mm |
| 後焦距 Back Focal length (fb) 1998.671mm |



4.5 大眾車款之車用抬頭顯示器成像結果

為驗證本論文所設計之 HUD 產品結果，將公仔放置在虛像成像前處，把公仔分別放置在 30 公分、100 公分與 200 公分。而拍攝方式是將相機聚焦在公仔上，從圖 4-40 至圖 4-42 可知，當公仔聚焦在 30 公分處，公仔實體成像清晰，而虛像成像模糊。當公仔聚焦在 100 公分處，公仔實體成像清晰，而虛像成像也清晰。驗證了虛像成像位置在 100 公分處。當公仔聚焦在 200 公分處，公仔實體成像仍然清晰，而虛像成像模糊。



圖 4-40 公仔距離增亮反射片 30 公分處之成像結果



圖 4-41 公仔距離增亮反射片 100 公分處之成像結果



圖 4-42 公仔距離增亮反射片 200 公分處之成像結果

下圖 4-43 為大眾車款 HUD 之虛像成像面積，從橫軸與縱軸的座標可看出，虛像成像面積為 $20\text{cm} \times 16\text{cm}$ ，符合廠商提出之規格要求。圖 4-44 為大眾車款之 HUD 設計成果與面紙盒比較圖，圖中左邊為市上面紙盒(尺寸為 $22\text{cm} \times 12\text{cm} \times 9\text{cm}$)，以面紙盒做為 HUD 設計時之參考尺寸。圖中右邊即為 HUD 的成品(尺寸為 $32\text{cm} \times 8\text{cm} \times 8\text{cm}$)，長度因物距的考量，故整體光機構長度為 32cm ，而寬度與高度為 $8\text{cm} \times 8\text{cm}$ ，皆適合放置在大眾車款之操控平台上。



圖 4-43 大眾車款 HUD 之虛像成像面積結果



圖 4-44 大眾車款 HUD 之設計與面紙盒比較圖

4.6 BMW 車款之車用抬頭顯示器成像結果

BMW 車款所設計之 HUD 產品，驗證方式與大眾車款相同。把公仔分別放置在 100 公分、210 公分與 400 公分。而拍攝方式是將相機聚焦在公仔上，從圖 4-45 至圖 4-47 可知，當公仔聚焦在 100 公分處，公仔實體成像清晰，而虛像成像模糊。當公仔聚焦在 210 公分處，公仔實體成像清晰，而虛像成像也相當清晰。當公仔聚焦在 400 公分處，公仔實體成像仍然清晰，然而虛像成像卻相當模糊。





圖 4-45 公仔距離增亮反射片 100 公分處之成像結果



圖 4-46 公仔距離增亮反射片 210 公分處之成像結果



圖 4-47 公仔距離增亮反射片 400 公分處之成像結果

下圖 4-43 為大眾車款 HUD 之虛像成像面積，從橫軸與縱軸的座標可看出，
虛像成像面積為 13cm×11cm，符合廠商提出之規格要求。



圖 4-48 BMW 車款 HUD 之虛像成像面積結果



第五章、結果與討論

5.1 車用抬頭顯示器之畸變探討

目前車用抬頭顯示器的市場不斷地成長，將擴及適用於每輛車之車用顯示裝置，以提高商品價值。而目前車用抬頭顯示技術在投影至擋風玻璃前方約 1 公尺成一虛像成像，成像面積約為 $200\text{mm} \times 160\text{mm}$ 。而在顯示元件方面，使用小尺寸影像顯示資訊，如 LCOS (Liquid Crystal on Silicon)。因此，本系統之模擬物高設 10mm ，經成像鏡組將影像放大成像至 $200\text{mm} \times 160\text{mm}$ ，如圖 5-2。經由本論文之模擬與實驗，發現顯示元件經由此鏡組，影像有嚴重的畸變問題產生。因此，提出以擴散片或微透鏡陣列放置在中繼成像處，在中繼成像處加擴散片和微透鏡陣列使影像的畸變大幅地改善，並且經由第二片透鏡使影像成放大虛像的產生。從模擬與實驗結果發現，利用擴散片或微透鏡陣列有效地解決影像畸變的問題。

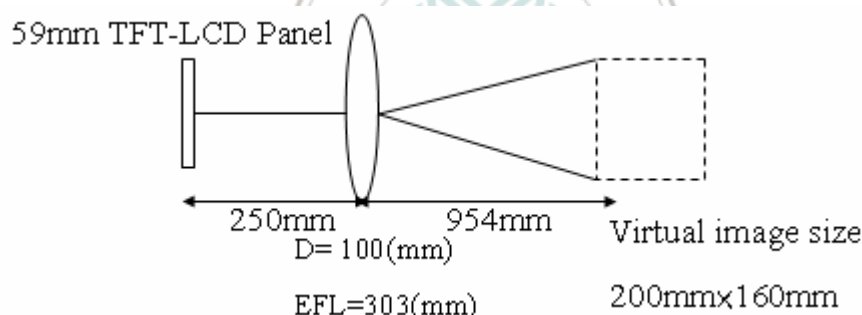


圖 5-1 大眾車款車用抬頭顯示器之系統架構

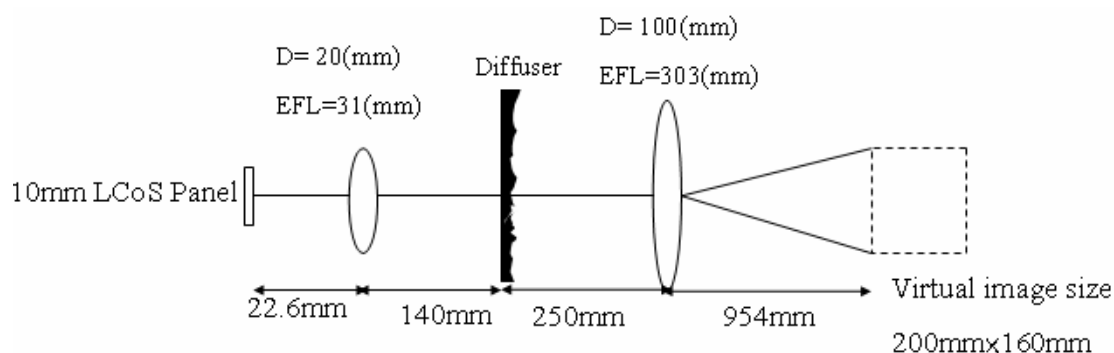


圖 5-2 LCOS 型車用抬頭顯示器之系統架構示意圖

對一個以上的薄透鏡所組成的薄透鏡系統成像，本實驗設計的方式是先對第一個薄透鏡成像，把所成的像當做是最後一個薄透鏡的物，然後再做一次成像，

這個像又可再看成是下一個薄透鏡的物，以此類推，直到對系統的最後一個薄透鏡成像為止。最後所成的像就是物對整個薄透鏡組合系統所成的像。

Vesselin Shaoulov et al.[31]提出利用微透鏡陣模擬成像系統的影像放大，利用兩片不同焦距之微透鏡陣列，將原始物高放大兩倍，且成像系統更加微型化。而本論文利用微透鏡陣列與擴散片，放置成像系統之中繼成像(Intermediate image)處，有效地解決影像畸變的問題。

本實驗架設採用的透鏡皆為雙凸透鏡，其中，Lens1 之直徑為 50.8mm、焦距為 52.8mm，而 Lens2 之直徑為 100mm、焦距為 303mm。物體經由 Lens1 後，成像為放大 2 倍之實像。在實像成像處放置微透鏡陣列或擴散片，使得實像成像至此處，而此處在 Lens2 之焦距內，實像成像處放置微透鏡陣列或擴散片視為 Lens2 的物，因此，再做一次成像，最後得到一放大虛像。如圖 5-3 所示。

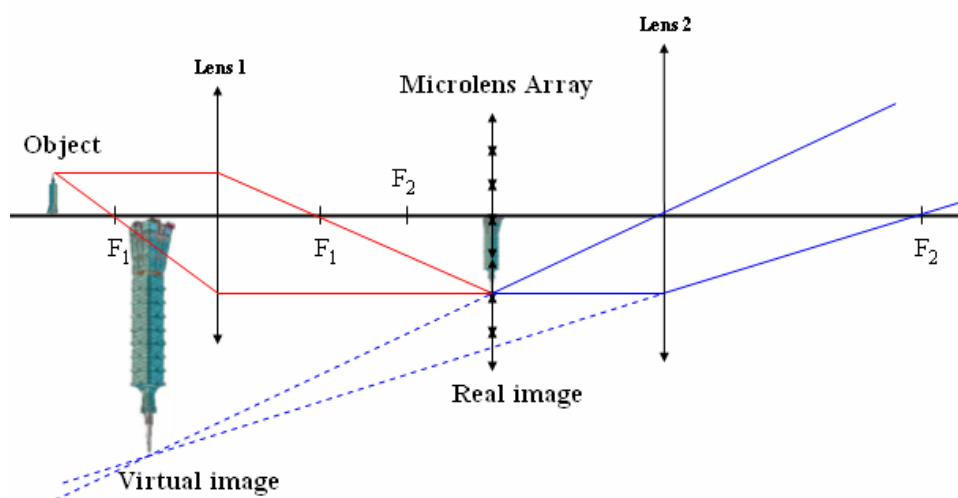


圖 5-3 透鏡陣列之中繼成像光追跡圖

5.2 光學擴散片之改善成像系統之畸變

在本章節中將提出一新技術，可用少量市售單一球面鏡，搭配光學擴散片，設計出一套成像系統，即可達成先前成像鏡組所呈現之品質。提供應用於各種成像系統中，於該成像系統的中繼成像處置有一片光學擴散片，以改善原系統之像

差、視角等問題。經過模擬後，證實物體經過設計之光學擴散片上，畸變率有明顯的改善。

一般業界設計之「光學系統成像鏡組」，其目的在於提供良好成像品質，消除像差，增加可視角度特定功能。應用範圍包括：CCD 鏡頭，醫療器材光學系統[32]，數位相機鏡頭[33][34]，投影機投影鏡頭[35]，雙筒望遠鏡,天文望遠鏡...等等。成像鏡組之設計必須針對不同成像系統之需求來定訂規格，規範光學系統之成像品質，以及各鏡片的製造參數，公差分析等[36]。為改善成像品質，不同光學系統必須進行個別鏡組之設計與優化，其缺點在於設計過程過於煩雜，且設計出的鏡組無法適用在不同之光學系統架構，只能針對單一系統進行整體成像解析度之改善，應用範圍不廣泛且設計成本昂貴。為達成良好成像品質，設計出之鏡頭通常是多片鏡組或是非球面鏡[37][38]。以投影機鏡頭為例，必須將顯示系統，如 OLED[39]、LED、LCD、DMD[40]呈現之資訊，經由投影鏡組，放大成一實像。其成像品質，如像差、視角、解析度等，完全取決投影鏡組設計規格之優劣。

各式鏡頭之成像系統之所以產生像差有三種原因：一為繞射的影響，再者為元件製造生產時的公差要求，三為真實光線的幾何結果[41]。本論文之目的在於解決畸變像差。畸變是要較完整的視場範圍才能觀察的現象，若特別針對在某一點上來看，就看不出是否屬於畸變之像。因此，畸變是一種全真映像系統，如果其他的像差都不存在的話。在一般的成像結果中，畸變是給人怪異的感覺，影像本身卻還是非常清晰，故解像力仍然很高。

5.3 光學擴散片模組建構

在模擬設計中，利用 ZEMAX 的非序列模式下進行模擬之光學擴散片之結構，採用微透鏡陣列結構成像系統之模擬。設計時每一微透鏡尺寸皆為 $100\mu\text{m} \times 100\mu\text{m}$ ，其透鏡陣列數目為 400×400 ，故此擴散片之尺寸為 $40\text{mm} \times 40\text{mm}$ ，其材質採用 PMMA。在 ZEMAX 中，PMMA 的折射率為 1.492。

因為考量光通過擴散片後產生散射，所以在模擬設計每一個微透鏡之焦距取 1mm~20mm。從幾何光學可知，微透鏡基本光學特性如下：

$$EFL = \frac{R_c}{n_1 - 1} \quad (5-1)$$

$$NA = \frac{a}{EFL} \quad (5-2)$$

EFL: 每一個微透鏡之焦距

R_c : 每一個微透鏡之曲率

NA: 數值孔徑

n_1 : 材質折射率

a : 每一個微透鏡之半徑

因此，從 (5-1)(5-2) 式中得，當焦距取 1mm~20mm 時，其曲率為 -0.492mm~-9.835mm，而數值孔徑 NA 為 0.0025~0.05。設計擴散片模組光線追跡，如下圖 5-4 所示，一束矩型光經過擴散片，光束經過擴散片後，在擴散片之 30 公分處有一偵測面，可偵測該處之光強度分佈。光束為一矩型的平行光入射，其光束面積為 40mm×40mm，與擴散片的尺寸一致，而偵測面的面積設為 60mm×60mm。圖 5-5(a)為未加擴散片之光強度分佈，一束矩型光離偵測面 35 公分處，光束直接在偵測面上進行光強度偵測。圖 5-5 (b)為加上擴散片後之光強度分佈，光束經擴散片後，在擴散片後 30 公分處設有一偵測面。從圖 5-5 (a)與圖 5-5 (b)的比較中，發現圖 5-5 (b)光束經由擴散片後，光強度分佈有明顯擴散的現象產生。因此模擬結果顯示本論文之擴散板模組之設計有達到光束擴散之效果。

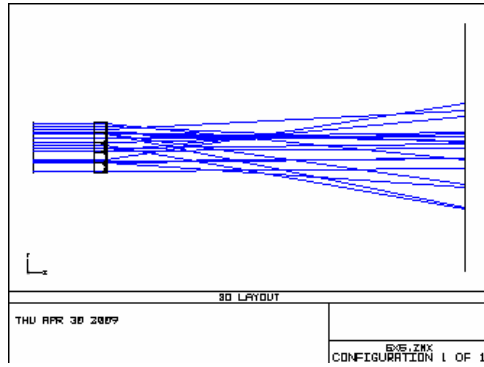


圖 5-4 擴散片之光線追跡

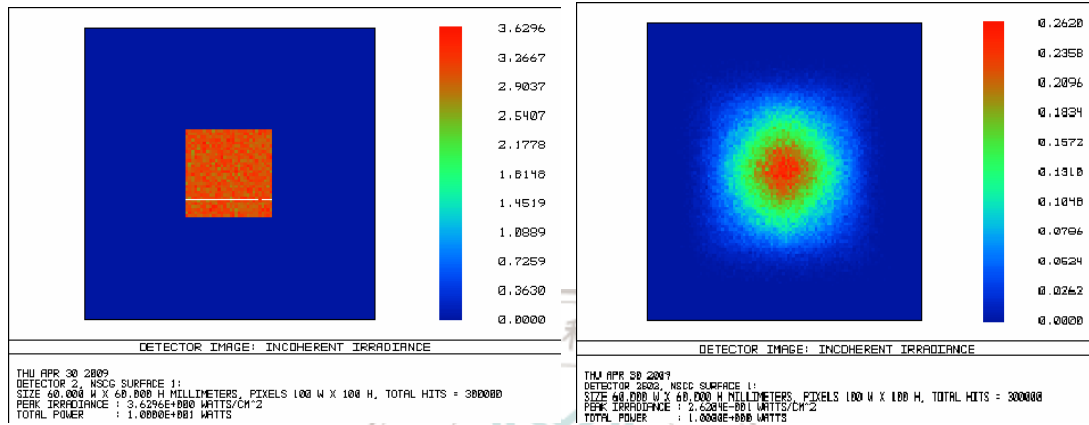


圖 5-5(a) 未加 Diffuser Mode 之照度分佈

圖 5-5(b) 加上 Diffuser Mode 之照度分佈

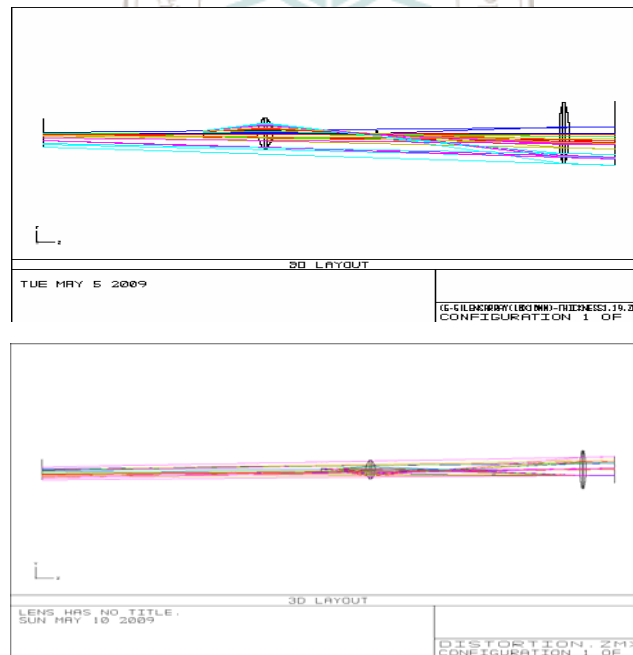


圖 5-6 光線追圖: (a)使用光學擴散片校正成像畸變 (b) 未使用光學擴散片之虛像放大成像

圖 5-6(a)與圖 5-6(a)是本實驗之光學擴散片改善成像成像像差模擬架構圖。本實驗之光學投影成像系統如架構，其內部包含顯示元件、背光元件、光學擴散片以及兩片凸透鏡。此兩片透鏡構成一投影鏡組，第一片透鏡焦距為 52mm、曲率

為 51.9mm、中心厚度 16.3mm、直徑 50.8mm 以及材質使用 BK7。光學擴散片經由此片透鏡後，像距在 2 倍焦距處放置一光學擴散片，使得放大 2 倍的實像成像在光學擴散片上。而第二片透鏡焦距為 300mm、曲率 311.4mm、中心厚度 11.1mm、直徑 100mm 和材質使用 BK7。當實像成像在光學擴散片上且為第二片透鏡之焦距內的位置，最後即可獲得虛像放大的結果。而此投影鏡組只需利用一般球面透鏡或商業前面透鏡即可，無須特別規格設計。本論文是在兩片凸透鏡間構成之成像系統的中繼成像處置放一光學擴散片，顯示元件之影像資訊會經過凸透鏡將影像放大或縮小實像先顯示至光學擴散片上，在光學擴散片上中繼成像，最後再經由第二片凸透鏡調制後即形成最終以供觀測所用的投影成像。經由本論文所提出之方法，此成像即可達到抑制像差影響的效果，例如畸變像差等等，因此本論文可消除成像系統中影像畸變像差。若此系統不使用光學擴散片元件，但整體系統之其餘元件、規格與位置維持不變，所觀測到的最終投影成像結果其像差顯著。若在其中繼成像處置放光學擴散片，所觀測到的最終投影成像結果其像差獲得抑制，模擬結果將在 5.4 節詳細討論。

5.4 光學擴散片改善成像投影品質實驗架構

本論文所提出之利用光學擴散板之改善成像系統中畸變像差的方法，可應用在一投影成像系統上為一實例成果。與傳統成像系統不同之處在於此研究可用少量一般市售球面鏡搭配光學擴散片即可達到消除成像系統像差、增加可視角的目的，而且不需要用到複雜的透鏡組合，甚至使用非球面鏡組。

本實驗之光學投影成像系統，內部包含顯示元件、光學擴散片以及兩片凸透鏡。兩片凸透鏡構成一投影鏡組，而此投影鏡組可利用一般球面透鏡或商業前面透鏡即可，無須特別規格設計。顯示元件之影像傳輸至兩片凸透鏡後即為最終成像結果。本實驗在兩片凸透鏡構成之成像系統的中繼成像處置放光學擴散片，顯示元件之影像資訊會經過凸透鏡將影像放大或縮小於光學擴散片，在光學擴散片

上中繼成像最後經由第二片凸透鏡調制後，即形成最終的供觀測所用的投影成像。經由本文提出之方法，此成像即可達到抑制像差影響的效果。因此本論文可改善影像觀測的可視角與消除成像系統中影像畸變像差。若此系統不使用光學擴散片，但整體系統其餘元件、規格與位置維持不變，所觀測到的最終投影成像結果其像差顯著且視角較小。若在其中繼成像處放置光學擴散片，所觀測到的最終投影成像結果其像差獲得抑制且視角增加。圖 5-7 所示為本實驗之光學擴散板改善成像投影視角與成像像差實驗架構圖。本實驗之光學投影成像系統如架構圖所示，內部包含顯示元件光學擴散片，以及一般凹或凸之球面鏡組，組裝對光路即成一投影系統。

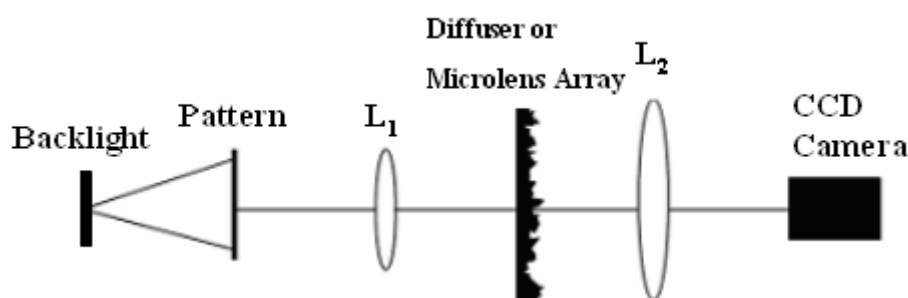


圖 5-7 光學擴散片改善成像投影品質實驗架構圖

首先針對原本尚未加上 Diffuser 或 Microlens array 之成像系統，對不同成像面之模擬分析進行驗證。模擬未加擴散片時的不同成像面，探討究竟是場曲像差或者是畸變像差所造成的效應。圖 5-8 至圖 5-10 所示之成像面在虛像成像距離 600cm 至 900cm 處之影像模擬，圖像中心最清楚為虛像成像距離在 690cm 處，無論中心或邊緣皆比虛像成像距離在 600cm 處為佳。而當虛像成像距離在 900cm 處，圖像中心之影像最差，但是邊緣影像之解析度比虛像成像距離在 690cm 處來得佳。從表 5-1 與圖 5-12 可得，無論改變成像距離，皆有非常嚴重的畸變率。因此，本實驗成像系統所架設 HUD 系統有非常嚴重有影像畸變。而場曲則是因不同之成像距離有所改變。

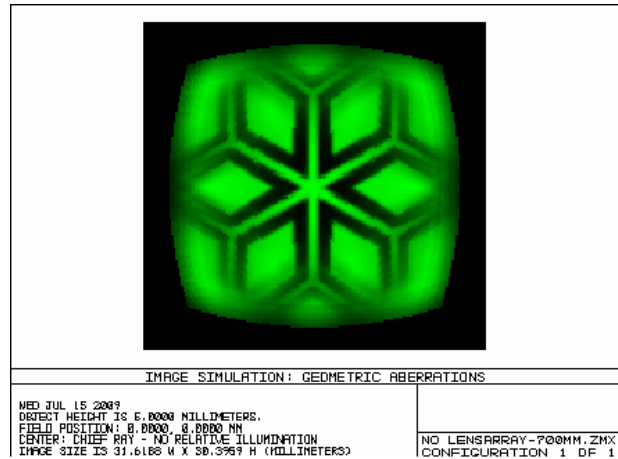


圖 5-8 成像面在虛像成像距離 600cm 處之影像模擬

表 5-1 成像面在虛像不同成像距離之數值結果

| 成像距離 | 子午面中心 場曲 | 弧矢面中心 場曲 | 子午面邊緣 場曲 | 弧矢面邊緣 場曲 | Distortion % |
|------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|
| 600 | -92.781 | -92.781 | -2004.334 | -480.260 | 39.894 |
| 690 | 0 | 0 | -1911.553 | -387.484 | 35.927 |
| 900 | 207.218 | 207.218 | -1704.333 | -180.265 | 30.021 |

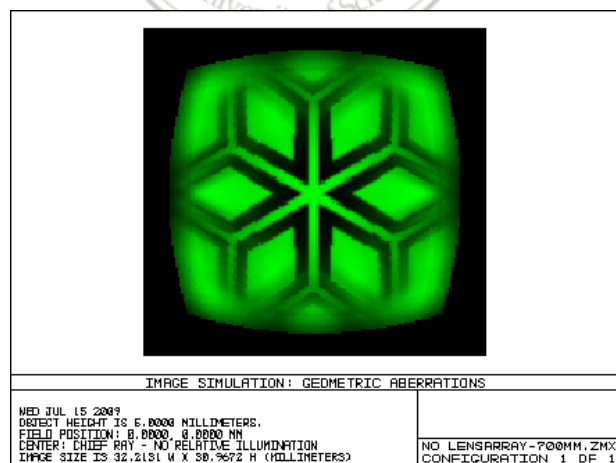


圖 5-9 成像面在虛像成像距離 690cm 處之影像模擬

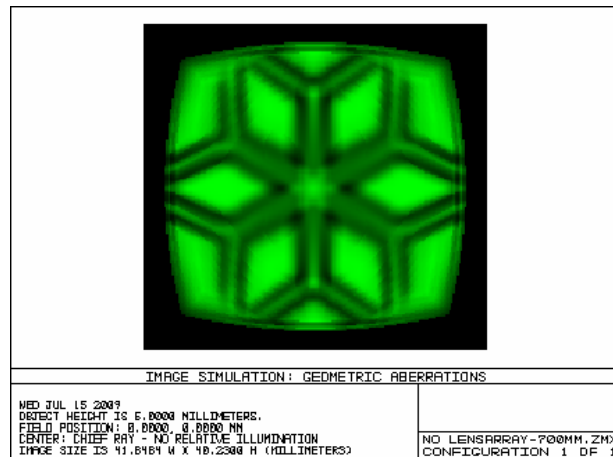


圖 5-10 成像面在虛像成像距離 900cm 處之影像模擬

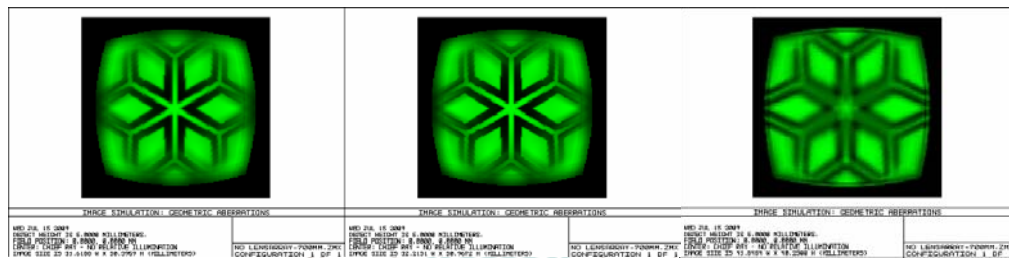


圖 5-11 成像面在虛像成像距離 600、690、900cm 處之影像模擬

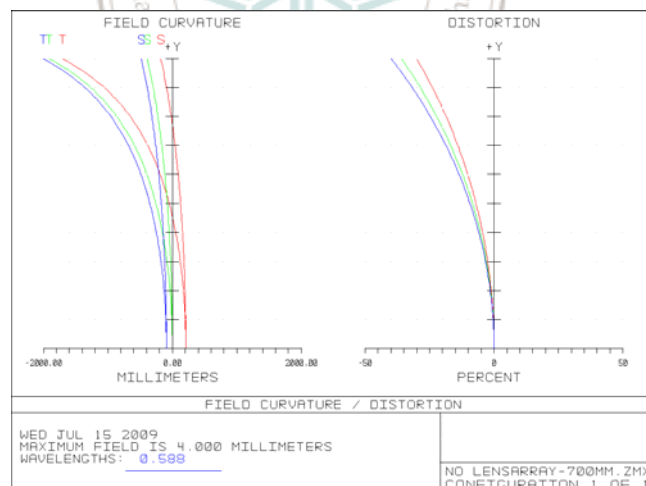


圖 5-12 成像面在虛像不同成像距離之影像模擬

- 成像距離為 600cm
- 成像距離為 690cm
- 成像距離為 900cm

5.5 光學擴散片之模擬與實驗

無論在影像模擬與畸變網格的結果中顯示，都驗證加上光學擴散片有明顯改善成像系統中畸變的現象。以下將更進一步探討 ZEMAX 模擬結果中，畸變百分率畸變量通常是以實際像高與理想像高之差佔理想像高的百分比來表示，如公式 5-1 所示。

$$Distortion\% = \left(\frac{\overline{y_R} - \overline{y_I}}{\overline{y_I}} \right) \cdot 100\% \quad (5-1)$$

ZEMAX 在分析畸變量時，會以矩形的方格作為理想成像，而交叉的符號是實際主光線的成像位置，由公式可得知畸變值。由於人眼在畸變值小於 5% 就難以辨認，因此，本論文在成像系統中，分別針對未加上光學擴散片之畸變百分率的數據，以及加上光學擴散片之畸變百分率的數據進行比較。從畸變百分率的比較，整理歸納出光學擴散片的功效與結果。[42]

表 5-2 未加光學擴散片之成像系統模擬結果(單位: mm)

| Y Height | Tan Shift | Sag Shift | Real Height | Ref. Height | Distortion % |
|----------|-----------|-----------|-------------|-------------|--------------|
| 0.0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0.4 | -11.553 | -3.875 | 2.572 | 2.697 | -0.439 |
| 0.8 | -47.205 | -15.630 | 5.076 | 5.395 | -1.762 |
| 1.2 | -110.036 | -35.655 | 7.442 | 8.093 | -3.983 |
| 1.6 | -205.997 | -64.649 | 9.597 | 10.791 | -7.129 |
| 2.0 | -345.548 | -103.691 | 11.466 | 13.489 | -11.236 |
| 2.4 | -547.219 | -154.372 | 12.966 | 16.187 | -16.358 |
| 2.8 | -845.792 | -219.017 | 14.004 | 18.885 | -22.566 |
| 3.2 | -1314.228 | -301.070 | 14.477 | 21.583 | -29.957 |
| 3.6 | -2134.956 | -405.791 | 14.262 | 24.281 | -38.661 |
| 4.0 | -3931.206 | -541.610 | 13.213 | 26.979 | -48.856 |

表 5-2 中，波長取 587nm 之模擬結果。本論文的成像系統所模擬物高為

8mm，且在 ZEMAX 的模擬計算中取其半，故 Y Height 範圍為 0 到 4mm。此外，Tan Shift 與 Sag Shift 分別代表子午成像面與弧矢成像面之位置上的差異，此面是因為離軸物點的高度使像點的成像位置有所不同而造成，這種差異稱為場曲像差。因此，在未加光學擴散片的模擬結果中發現，離軸物體高度愈高，所造成之場曲現象也愈明顯，且兩者比較中可明顯地發現，當物體離光軸愈遠，子午成像面所造成的場曲像差，遠比弧矢成像面所造成的場曲像差，來得更加嚴重。在表格中 Ref. Height 所代表的是理想像高來表示，若物體經過成像系統後，將此成像系統視為理想的情形之下，成像位置與像高會以方格表示。反之，Real Height 則是實際經過成像系統所造成的畸變現象產生，會以交叉作為與實際的成像位置與像高。理想的成像系統，則是當方格與交叉相交於同一位置上，若方格與交叉相差太大，則表示成像系統之畸變量愈大。最後一排為畸變百分率，此百分率即採用公式 3-19 作為計算的結果，代入公式計算結果可發現，此畸變率為負，是桶型畸變，從圖 5-13 之畸變網格與影像模擬的結果可驗證，確實為桶型畸變。此外，畸變百分率來看，物高愈大時，此成像系統的畸變百分率愈大，在這成像系統最大畸變量落在物高為 4mm，高達-48.856%的畸變百分率。因此，在這個模擬的系統中，畸變現象非常嚴重。

表 5-3 加上光學擴散片之成像系統模擬結果(單位: mm)

| Y Height | Tan Shift | Sag Shift | Real Height | Ref. Height | Distortion % |
|----------|-----------|-----------|-------------|-------------|--------------|
| 0.0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0.4 | -6.952 | -2.369 | 2.693 | 2.697 | -0.154 |
| 0.8 | -28.219 | -9.517 | 5.362 | 5.395 | -0.618 |
| 1.2 | -64.717 | -21.564 | 7.980 | 8.093 | -1.395 |
| 1.6 | -118.091 | -38.717 | 10.523 | 10.791 | -2.488 |
| 2.0 | -190.917 | -61.281 | 12.963 | 13.489 | -3.902 |
| 2.4 | -287.061 | -89.677 | 15.273 | 16.187 | -5.647 |
| 2.8 | -412.273 | -124.465 | 17.465 | 18.885 | -7.731 |
| 3.2 | -575.252 | -166.378 | 19.389 | 21.583 | -10.168 |
| 3.6 | -789.581 | -216.283 | 21.131 | 24.281 | -12.973 |
| 4.0 | -1077.511 | -275.744 | 22.618 | 26.979 | -16.164 |

在表 5-3 中，物高同表 5-2 一般取 8mm，差別只在於表 5-3 之成像系統中的中繼成像處插入光學擴散片，在成像系統中先產生中繼成像實像，再經由第二面透鏡將中繼成像的實像放大為虛像，以改善畸變與視角。首先，在表 5-3 的 Tan Shift 與 Sag Shift 方面，與表 5-2 之 Tan Shift 與 Sag Shift 相互比較中發現，當物高愈高時，無論是否有加光學擴散片，其子午成像面與弧矢成像面之位置皆明顯提升，因此，物距與子午、弧矢成像面的關係從表 5-2 與表 5-3 中可得出正比關係。子午成像面表示與高斯成像面之縱向差量，弧矢成像面表示與高斯成像面之橫向位置的差值。故由表 5-2 可知，當物高愈高時，無論在子午成像面或弧矢成像面與高斯成像面之差值也會愈大。而表 5-3 的數據顯示出，當物體愈高，其子午成像面與弧矢成像面愈大，但和表 5-2 相比較可得，相同物高，加上光學擴散片之場曲比未加光學擴散片的場曲來得小。例如當物高為 8mm 時，未加上光學擴散片之子午與弧矢的距離分別為-3931.207mm 與-541.61mm，但加上光學擴散片之子午與弧矢的距離縮小為-1077.511mm 與-275.744mm。因此從模擬數據可得到光學擴散片有改善場曲的現象。在畸變方面，從表 5-2 與表 5-3 的結果整理可得，物高愈高，畸變百分率愈高；理想像高與實際像高的差值愈大，畸變百分率也愈大。在物高皆相同時，則加上光學擴散片之畸變率較未加光學擴散片的畸變率較佳。從模擬中驗證了加入光學擴散片確實可以改善成像之畸變像差問題。

另一方面，從光學模擬的結果中整理出一個現象，在成像系統中，離光軸愈遠，則畸變率愈大。從影像模擬與網格畸變中驗證了這個結果，物距離光軸愈近，則畸變值愈小，無論是否有加上光學擴散片，皆符合這個結論。圖 5-13(b)與圖 5-13(a)之畸變網格，其中心位置愈接近光軸，則幾乎沒有畸變的現象產生；反之，離光軸愈遠，則畸變的現象愈大。因此如圖 5-13(b)所示，在未加光學擴散片時，離光軸愈遠的實際成像位置與理想成像位置相比，四個角落的畸變現象最嚴重，即使加上光學擴散片後，如圖 5-19 所示，畸變結果比圖 5-18 有明顯的改善，但四個角落的畸變仍是相當嚴重。

這次的模擬結果發現，加上光學擴散片明顯改善畸變率，例如當物高皆為

8mm 時，則未加光學擴散片之畸變率為-48.856%，加上光學擴散片後之畸變率為-16.164%，改善超過 32%。但整體而言，畸變率 16%時，從 5-13(a)加上光學擴散片後的畸變網格來看，仍有非常明顯的畸變像差。故從模擬的結果可得到，使用光學擴散片可改善部份的畸變情況，但並非能完全地解決畸變的現象。

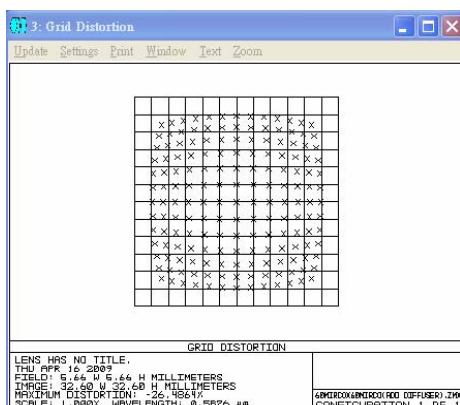


圖 5-13(a)加光學擴散片之畸變網格

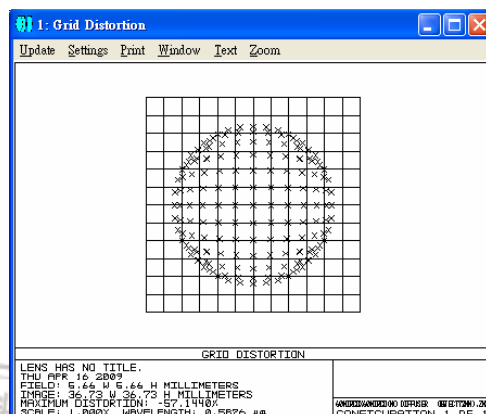


圖 5-13(b) 未加上光學擴散片之畸變網格

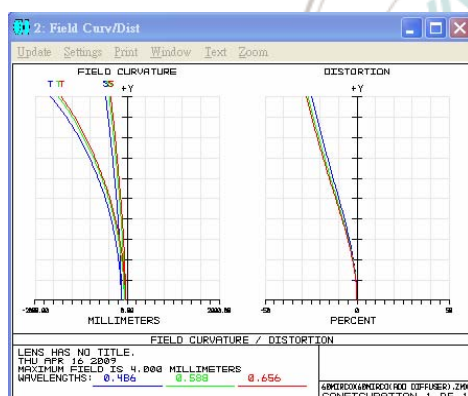


圖 5-14(a)加光學擴散片之畸變與場曲

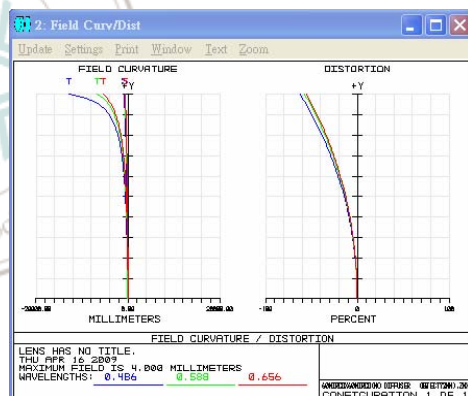


圖 5-14(b)未加上光學擴散片之畸變與場曲



圖 5-15 原始輸入圖像

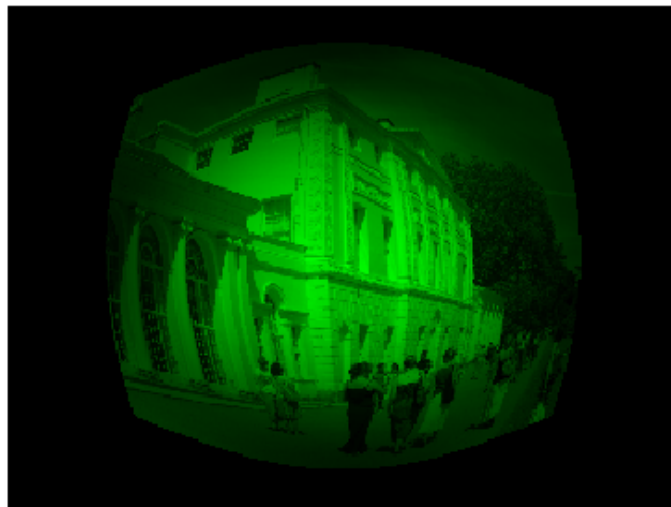


圖 5-16 未加上光學擴散片之影像模擬



圖 5-17 加上光學擴散片之影像模擬



圖 5-18 未加光學擴散片之實驗拍攝



圖 5-19 加上光學擴散片之實驗拍攝

5.6 微透鏡陣列之模擬與實驗

在本節中，將探討在 ZEMAX 的非序列模式下進行微透鏡陣列結構放置在成像系統的中繼成像處之情況。陣列中每一微透鏡尺寸皆為 $250\mu\text{m}\times 250\mu\text{m}$ ，其透鏡陣列為 80×80 ，故此擴散片之尺寸為 $20\text{mm}\times 20\text{mm}$ ，且每一微透鏡之厚度皆設定為 1.2mm ，為平凸型之微透鏡陣列，其材質採用石英(Quartz)，而石英的折射率 n 為 1.517 ，每一個微透鏡之焦距 f 為 0.895mm ，曲率為 -0.487mm 。

圖5-20(a)為原始圖形，解析度 211×211 ，圖片尺寸為 $10\text{mm}\times 10\text{mm}$ 。圖5-20 (b)(c)為ZEMAX內建影像模擬的結果，其中圖5-20 (b)是在成像系統中，未加光學擴散片的影像模擬結果；而圖5-20(c)則是加上光學擴散片的影像模擬結果，波長皆取

單一波長587nm。從圖5-21(a)與圖5-21(b)的畸變網格結果可驗證，本論文所提出之光學擴散片模組在成像模擬中，也可以有效地改善其畸變的現象。圖5-22則是微透鏡陣列放置於中繼成像處之後實際拍攝的結果。影像經由Lens1後，在成像放大2倍之實像處置一片微透鏡陣列後，再做一次成像，得到一放大虛像之結果。因此在Lens2後50mm處，放置一CCD，拍攝有加微透鏡陣列片與未加微透鏡陣列之結果比較圖，如圖5-22所示。紅色實線所描繪之輪廓所代表的為物經過兩次放大虛像之後影像邊框，可看出其影像邊框產生嚴重之畸變；藍色實線勾出之輪廓代表的為在約遮住1/4面積的中繼成像處放置一微透鏡陣列片，再經由Lens2產生虛像大結果。從實際的照片中可明顯地看出有被微稜鏡片遮住的角落其影像邊框畸變情形被修正許多。

在表5-4的模擬中，物高仍取8mm，與加上光學擴散片之成像系統一致，差別只在於表5-3之成像系統中置入光學擴散片的模組，而表5-4則是加上微透鏡陣列。在畸變方面，從表5-2、5-3、5-4的結果整理可得，物高愈高，畸變百分率愈高，理想像高與實際像高的差值愈大，畸變百分率也愈大。在物高皆相同時，加上微透鏡陣列之畸變率-9.015%較加上光學擴散片的畸變率-16.164%較小。從模擬中驗證了無論加入光學擴散片或微透鏡陣列，都確實有改善成像之畸變像差問題。

表 5-4 加上微透鏡陣列之成像系統模擬結果(單位: mm)

| Y Height | Tan Shift | Sag Shift | Real Height | Ref. Height | Distortion % |
|----------|-----------|-----------|-------------|-------------|--------------|
| 0.0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0.4 | -9.641 | -3.530 | 2.693 | 2.697 | 0.019 |
| 0.8 | -40.563 | -14.807 | 5.362 | 5.395 | 0.074 |
| 1.2 | -102.957 | -37.155 | 8.107 | 8.093 | 0.158 |
| 1.6 | -118.091 | -38.717 | 10.820 | 10.791 | 0.256 |
| 2.0 | -190.917 | -61.281 | 13.535 | 13.489 | 0.333 |
| 2.4 | -1017.506 | -340.830 | 16.238 | 16.187 | 0.308 |
| 2.8 | -2164.952 | -692.826 | 18.886 | 18.885 | -0.007 |
| 3.2 | -4713.310 | -1391.551 | 21.136 | 21.583 | -0.986 |

| | | | | | |
|-----|------------|-----------|--------|--------|--------|
| 3.6 | -11177.395 | -2784.906 | 23.443 | 24.281 | -3.453 |
| 4.0 | -36882.108 | -5707.439 | 24.548 | 26.979 | -9.015 |

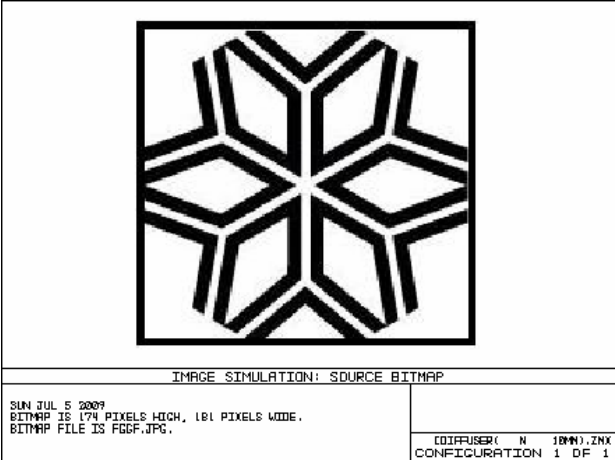


圖 5-20 (a) 輸入原始圖形

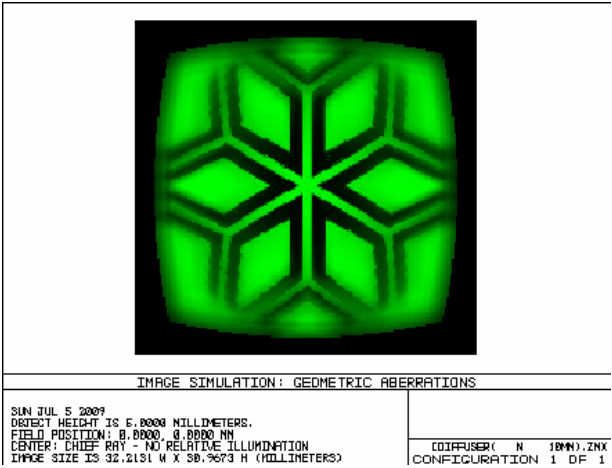


圖 5-20 (b) 未加上微透鏡陣列之影像模擬

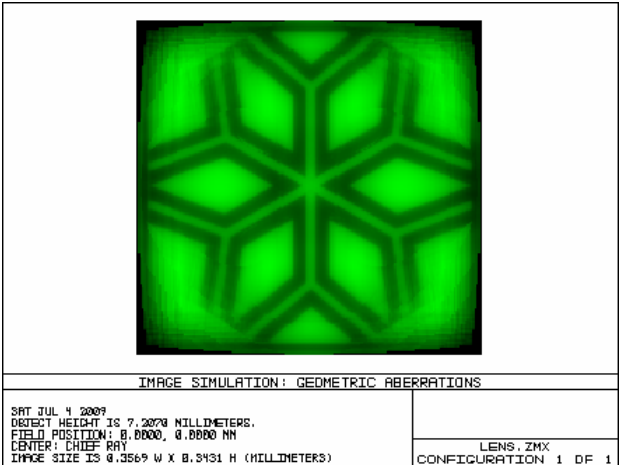


圖 5-20 (c) 加上微透鏡陣列之影像模擬

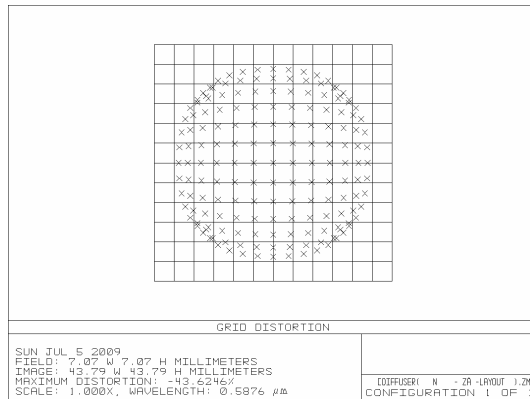


圖 5-21(a) 加未上微透鏡陣列之畸變網格

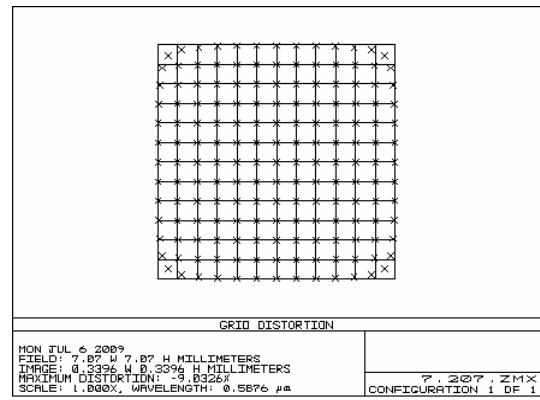


圖 5-21(b)加上微透鏡陣列之畸變網格

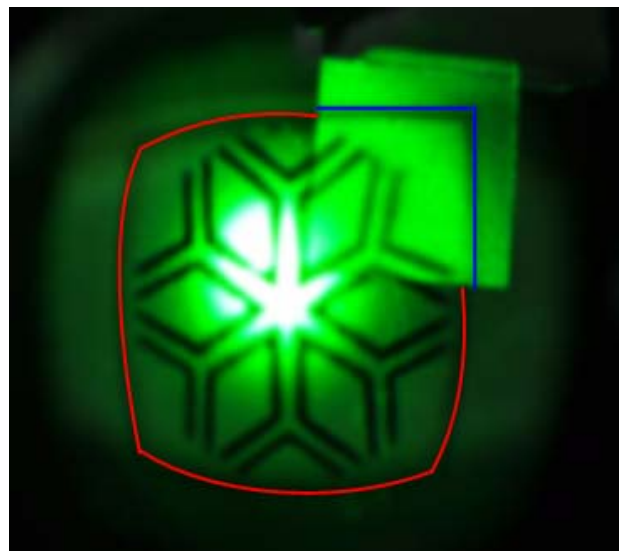


圖 5-22 微透鏡陣列之改善畸變之實驗拍攝

表 5-5 不同透鏡陣列尺寸之畸變值

| Pitch | Rc (mm) | NA | F (mm) | Array Size (mm) | Distortion% (Max) |
|------------------|------------|--------|-----------|--------------------|----------------------|
| 未加 Lens Array | | | | | -18.366 |
| 50 μ m | 0.435 | 0.031 | 0.8 | 10×10×1.2 | -2.24 |
| 50 μ m | 0.544 | 0.025 | 1 | 10×10×1.2 | -3.76 |
| 50 μ m | 1.633 | 0.008 | 3 | 10×10×1.2 | -8.877 |
| 50 μ m | 2.721 | 0.005 | 5 | 10×10×1.2 | -11.140 |
| 100 μ m | 0.435 | 0.0625 | 0.8 | 10×10×1.2 | -1.95 |
| 100 μ m | 0.544 | 0.05 | 1 | 10×10×1.2 | -1.83 |
| 100 μ m | 1.633 | 0.0167 | 3 | 10×10×1.2 | -6.376 |

| | | | | | |
|-------------------------------------|--------------|--------------|--------------|------------------|---------------|
| 100 μm | 2.721 | 0.01 | 5 | 10×10×1.2 | -10.583 |
| 250 μm | 0.487 | 0.127 | 0.895 | 10×10×1.2 | -0.308 |
| 250 μm | 0.544 | 0.125 | 1 | 10×10×1.2 | -1.82 |
| 250 μm | 1.633 | 0.042 | 3 | 10×10×1.2 | -4.714 |
| 250 μm | 2.721 | 0.025 | 5 | 10×10×1.2 | -8.641 |

表 5-5 則是針對不同微透鏡陣列尺寸進行模擬，探討不同焦距之微透鏡陣列，對畸變百分率的改善是否有明顯地關係存在。表中之物高皆為 5mm 的情況下，不同尺寸之微透鏡陣列，當焦距愈短，畸變百分率改善的效果愈佳，以微透鏡陣列為 100 μm 為例，當焦距 f 為 5mm 時，最大畸變率為-10.583%，當焦距 f 為 0.8mm 時，最大畸變率下降至-1.95%；反之，當焦距皆相同時，探討不同微透鏡陣列尺寸，並沒有明顯地關係存在，以焦距 f 皆為 3mm 為例，當微透鏡陣列為 250 μm 時，最大畸變率為-4.714%，當微透鏡陣列為 100 μm 時，最大畸變率為-6.376%，而微透鏡陣列為 50 μm 時，-8.877%。因此，表中可得知，改善畸變率的最大因素為微透鏡陣列之焦距，焦距愈短，畸變百分率愈小。微透鏡陣列尺寸並未是改善畸變百分率之最主要因素。表中粗體字代表本實驗中所用的微透鏡陣列規格。

第六章、結論與未來展望

6.1 結論

車用抬頭顯示器的要求，主要是為了提供駕駛者一套更安全衍生的行車配備。然而現今市面上可見的抬頭顯示器的設計卻未臻理想。高級房車所用的車用抬頭顯示器大部份為原廠隨車配件，只適用於單一車款，有鑑於此，本論文設計法兩種不同的車用抬頭顯示器，以達到成像距離遠、投影面積大、高成像品質的目標。結論如下：

一：一般車款之車用抬頭顯示器

此設計針對一般大眾車款之車體操控台尺寸而進行設計，抬頭顯示器外觀為一長條體積之黑盒，僅需放置在方向盤前與儀表板之上的區域，進行微調，即可看到虛像成像結果。成像距離從駕駛者到虛像處為 1.5m，成像面積為 200mm×160mm。

二：針對 BMW 車款之車用抬頭顯示器設計

本論文另外設計了一光學投影系統，可放置在 BMW 系統車款的方向盤前與儀表板之上的區域。而顯示元件則是放置在副駕駛座前方平台上。將抬頭顯示器設計為分離式的投影機構，適用在任何 BMW 的車款上，達成虛像的成像結果。成像距離從駕駛者到虛像處為 2.1m，成像面積為 130mm×110mm。

三：利用 Diffuser 與 Mircolens array 改善投影系統之畸變像差

在各式成像系統之中繼成像處放置一片光學擴散片或微透鏡陣列，經過模擬，在物高相同情況下，未加光學擴散片時，其最大畸變百分率為-48.933%；加上光學擴散片時，最大畸變百分率為-16.164%；加上微透鏡陣列時，最大畸變百分率為-9.015%。且藉由 CCD 拍攝，證實影像經過設計之光學擴散片或微透鏡陣列上，畸變有明顯的改善。

6.2 未來展望

本論文所提出之車用抬頭顯示器的設計，仍有許多方面有待加強並且需深入去研究，以下列出幾項未來的研究方向。

1. 本論文在設計過程中考慮的限制因素仍嫌不足，例如：透鏡材質之影響成像品質分析、公差分析、工業加工生產...等皆未被納入考量。當以上這些設計加入以上這些限制時，必定會提高設計的難度，所以未來在設計時能夠一併考量所有限制因子，讓本設計能夠實際廣範被應用於商業買賣中。
2. Compact HUD 的設計：目前本論文所設計的大眾車款抬頭顯示器的機構為 $320\text{mm} \times 80\text{mm} \times 80\text{mm}$ ，未來可開模設計成像投影透鏡組，縮短物距、元件尺寸，達成相同或更佳的成像效果。
3. 立體抬頭顯示器：透過立體顯示，如全像立體顯示，活潑呈現來電大頭照，生動有趣的立體播放可提高行車樂趣，降低駕駛人因疲勞駕駛造成的行車安全問題。



參考文獻

1. 行政院內政部統計處<http://www.moi.gov.tw/stat/>，民國九十七年。
2. National Highway Traffic Safety Administration, “The National Motor Vehicle Crash Causation Survey”, NHTSA’s National Center for Statistics and Analysis, Traffic Safety Facts Research Report, 2008.
3. Michael H. Kalmanash, “Digital HUDs for tactical aircraft”, Defense, Security, Cockpit and Future Displays II, Proc. of SPIE Vol.6225, 2006.
4. Ricardo Martins, Vesselin Shaoulov, Yonggang Ha and Jannick Rolland, “A mobile head-worn projection display”, Optics Express, Vol.15 No.22, 2007.
5. Bromi International Co., Ltd. All Rights Reserved, 2006, SportVue MC2.
6. 黃慶旭,「利用簡易型駕駛模擬器探討警告系統對駕駛者的影響」,國立清華大學工業工程與工程管理研究所碩士論文,民國九十一年。
7. 曾建基,「應用駕駛模擬系統探討車內資訊介面對行車安全的影響」,國立中央大學機械工程研究所碩士論文,民國九十三年。
8. 莊忠益,「車用電腦中央控制介面之階層式選單對駕駛者績效之影響」,清華大學工業工程與工程管理研究所,民國九十二年。
9. Jovanis P. P., “Driver preference for visual and auditory collision warning alerts.” Proceedings of the Fourth ITS international Congress, 1997
10. Yung-Ching Liu, Ming-Hui Wen, “Comparison of head-up display(HUD) vs. head-down display(HDD): driving performance of commercial vehicle operators in Taiwan.”, International Journal of Human-Computer Studies, vol.61, 2004.
11. Yung-Ching Liu, “Effect of advanced traveler information system displays on younger and older drivers’ performance” ,Displays, vol. 21, 2000.
12. 汪孝慈,「先進車輛系統之介面設計與人因考量」,清華大學工業工程與工程管理研究所博士論文,民國九十年。

13. 賴明昌,「行車時使用行動電話對駕駛行為的影響」,台灣科技大學工程管理系碩士論文,民國九十年。
14. M. Wanninger, "LED light source for head-up displays", Photonics in the Automobile, Proc. of SPIE Vol.5663, 2005.
15. Jacques Linciln,. "Driver safety enhancing automotive head-up display", Automotive Displays Mircovision Inc.
16. Siemens VDO Automotive AG, 2007
17. Gleen E. Freeman, U.S. Patent 7,060,343, 2006
18. GEPVP AUTOMOTIVE GLASS NEWS," New Head-Up-Display functions on Windshields",2004.
19. E. Hecht, "Optics," 3rded., Chap. 5 in *Geometrical Optics*, p.159, Addison Wesley, 2002.
20. F.L. Pedrotti, S.J., L.M. Pedrotti, L. S. Pedrotti, "Introduction to Optics," 3thed., Pearson International Edition, 2002.
21. N. Mahajan, "Optical imaging and aberrations PartI. ray geometrical optics," SPIE PRESS, 1998.
22. Masahiro Kawakita, Hisayuki Sasaki, Jun Arai, Fumio Okano, Koya Suehiro, Yasuyuki Haino, Makoto Yoshimura, and Masahito Sato, "Geometric analysis of spatial distortion in projection-type integral imaging," Optics Letters, Vol.33, 684-686, 2008.
23. W. W. Boles, and B. Boashash, "A Human Identification Technique Using Image of the Iris and Wavelet Transform," IEEE Trans. on Signal Processing, vol. 46, No. 4, pp. 1185-1188, 1998.
24. 楊婷婷,「利用微稜鏡陣列製作單眼立體攝影鏡頭之光學系統設計」,雲林科技大學光電工程研究所碩士論文,民國九十七年。
25. 鼎昕科技公司, <http://www.toptical.com.tw/>。

26. F. W. Weymouth, "Visual sensory units and the minimal angle of resolution", American Journal of Ophthalmology, vol. 46, pp. 102-113, 1958.
27. Philips Lumileds Lighting Company, <http://www.philipslumileds.com/> .
28. Future Electronics Company,
<http://www.futureelectronics.com/en/Pages/index.aspx> .
29. 泰華科技有限公司 , <http://www.tayhwa.com.tw/> 。
30. 亞諾光電科技有限公司 , <http://www.arno-eo.com.tw/> 。
31. Vesselin Shaoulov, Ricardo Martins, and Jannick P. Rolland, "Compact microlenslet-array-based magnifier," Optics Letters, Vol.29, 709-711, 2004.
32. Ou-Yang Mang, Shih-Wei Huang, Yung-Lin Chen, Hsin-Hung Lee, "Design of wide-angle lenses for wireless capsule endoscopes," Optical Engineering, Vol.46, pp. 103002 1-11, 2007.
33. Hong Hua, Yonggang Ha, and Jannick P. Rolland, "Design of an ultralight and compact projection lens," Applied Optics, Vol.42, pp. 97-107, 2003.
34. Tomoyuki Matsuyama, Toshiro Ishiyama, Yasuhiro Ohmura, "Nikon Projection Lens Update," Optical Microlithography XVII, Proceedings of SPIE, Vol. 5377, pp. 730-741, 2004.
35. Ricardo Martins, Vesselin Shaoulov, Yonggang Ha, and Jannick Rolland, "A mobile head-worn projection display," Optics Express, Vol.15, pp. 14530-14538 ,2007.
36. Peter Bizenberger, Mark McCaughrean, Christoph Birk, Dave Thompson, Clemens Storz, "Omega Prime: The Wide-Field Near-Infrared Camera for the 3.5 m telescope of the Calar Alto Observatory," Infrared Astronomical Instrumentation, Proceedings of SPIE, Vol. 3354, pp. 825-832, 1998.
37. J. C. Wilson, S. S. Eikenberry, C. P. Henderson, T. L. Hayward, J. C. Carson, B. Pirger, D. J. Barry, B. Brandl, J. R. Houck, G. J. Fitzgerald, and T. M. Stolberg,

- "A Wide-Field Infrared Camera for the Palomar 200-inch Telescope," Instrument Design and Performance for Optical/Infrared Ground-based Telescopes, Proceedings of SPIE, Vol. 4841 ,pp. 451-458, 2003.
38. Yasuhiro Aono, Mitsumasa Negishi, Jun Takano, "Development of large aperture aspherical lens with glass molding," Advanced Optical Manufacturing and Testing Technology, Proceedings of SPIE, Vol. 4321, pp. 16-23, 2003.
39. O. Prache, "Active matrix molecular OLED microdisplays," Display, Vol.22, pp. 49-56, 2001.
40. M.L. Jepsen, M.J. Ammer, M. Bolotski, J.J. Drolet, A. Gupta, Y. Lai, D. Huffman, H. Shi, C. Vieri, "High resolution LCOS microdisplay for single-,double-or triple-panel projection systems," Display, Vol.23, pp. 109-114, 2002.
41. N. Mahajan, "Optical imaging and aberrations PartI. ray geometrical optics," SPIE PRESS, 1998.
42. Wei-Chia Su,Chien-Yue Chen,Cheng-Hung Chen, Ming-Chang Chang,Yu-Wu Wang, Jhen-Yu Jiang, Kun-Fang Liu, and Kuo-Jui Wu, "Improvement of aberration and observation angle in a display system by using a micro-optical diffuser“, Manufacturing of Optical Components, 2009

附錄一

```

Dim AS Single n,R1,R2,T1,phi,f,M,Y,X,fn
Dim AS Single v1111,v1112,v1121,v1122
Dim AS Single v2111,v2112,v2121,v2122
Dim As Single v2211,v2212,v2221,v2222
Dim As Single A11,A12,A21,A22,B11,B12,B21,B22,C11,C12,C21,C22
Dim As Single u1,y1,u2,y2,u3,y3,u4,y4
Dim As Single TF,TB
Dim As Single BFL                                     % 變數宣告

Input "Enter the n=",n                                % 條件輸入
Input "Enter the EFL=",f
Input "Enter the Fn=",fn
Input "Enter the Thickness=",T1

M=0
Y=(1+M)/(1-M)
X=((2*((n*n)-1))/(n+2))*Y
u1=0
y1=f/(2*fn)

R1=((2*(n-1))/(X+1))*f
R2=((T1/R1)*(((n-1)*(n-1))/n)-(n-1))/((1/f)-((n-1)/R1))

v1111=1
v1112=(n-1)/R1
v1121=0
v1122=1

v2111=1
v2112=0
v2121=-(T1/n)
v2122=1

v2211=1
v2212=(1-n)/R2

```



v2221=0

v2222=1

A11=v2111*v1111+v2112*v1121

A12=v2111*v1112+v2112*v1122

A21=v2121*v1111+v2122*v1121

A22=v2121*v1112+v2122*v1122

B11=v2211*A11+v2212*A21

B12=v2211*A12+v2212*A22

B21=v2221*A11+v2222*A21

B22=v2221*A12+v2222*A22

u2=v1111*u1+v1112*y1

y2=v1121*u1+v1122*y1

u3=A11*u1+A12*y1

y3=A21*u1+A22*y1

u4=B11*u1+B12*y1

y4=B21*u1+B22*y1

BFL=y4/u4

v3211=1

v3212=0

v3221=-(y4/u4)

v3222=1

C11=v3211*B11+v3212*B21

C12=v3211*B12+v3212*B22

C21=v3221*B11+v3222*B21

C22=v3221*B12+v3222*B22

TF=(1-B11)/B12

TB=(B22-1)/B12

print " "



% 透鏡之後焦距

%顯示計算結果

```
print "u1=";u1
print "y1=";y1
print "u2=";u2
print "y2=";y2
print "u3=";u3
print "y3=";y3
print "u4=";u4
print "y4=";y4
```

```
print "R1=";R1
print "R2=";R2
print "T1=";T1
print "BFL=";BFL
print "第一頂點至第一主點之距離為 TF";TF
print "第二頂點至第二主點之距離為 TB";TB
```

```
sleep 100000
```

%輸出畫面於 100 秒後關閉

