

教育部 100 年度「學海築夢」獎助大專校院
海外專業實習計畫心得報告

原就讀學校科系：國立臺北科技大學電腦與通訊研究所

姓名：黃品綱同學

實習國家：德國

實習機構：德國明斯特大學與德國科技中心

獲獎年度：100 學年度

一.緣起

德國是個大家所熟知的工業強國，擁有長久的歷史，經歷過多次的工業革命，因此有著許多豐厚的人文風貌與科技資產值得我們前往觀摩與學習。

本實驗長久以來，一直專注影像與視訊處理以及多媒體相關領域，尤其是在三維立體視訊系統的研究上著墨甚深，因此這次海外實習計劃我們以「德國三維立體視訊系統實習計劃」為主題，至德國明斯特大學學習三維立體視訊系統演算法與技術，並做進一步的學術交流，希望雙方可以交流彼此在學術領域研究的心得與研究思維。此外，為了能夠從事實務上操作與演練，我們同時搭配三維立體視訊系統的核心技術做為實習的重點，包含「三維相機攝影機的光學系統前端設計(DeutschesTechnikmuseum)」、「三維立體視訊系統成像端設計」、「三維立體視訊系統整合設計」與「三維立體視訊系統趨勢探討」，在這一連串的實習訓練之後，接著進入實習的重點項目「實習實作」，源於德國務實嚴謹的工業設計精神，我們必須於實習期間，依據所見所學，完成實習實作，我的實習題目訂為「立體電視結構光法近物深度量測重建演算法」，需設計完整的演算法實現立體電視結構光法近物深度量測重建。

除了技術上的實習之外，為了涵養德國工藝精神，我們安排了一天的工業參訪，至德國工業發展時期的 Ruhr 工業區，學習德國嚴謹的工藝精神與技術。最後，在實習結束前，我們參加了一個三維立體視訊系統的相關會議(*IEEE International Conference on Consumer Electronics - Berlin*)，與來自德國和世界各地從事三維立體視訊技術的研發人員，進行面對面的討論與意見交流，進一步了解現在三維立體視訊的技術與趨勢，為這一次學海築夢計劃畫下完美的句點。

二.行前計畫

為了讓實習計劃更加的順利，我們於出國之前，就先規劃整體計劃的行程，不管是食衣住行，需於出國前規劃完整，如此在國外的實習生活才會更加的順利，我們先在網路上預約了相關的住宿，在 Münster 我們住在 Ibis Hotel Münster，Ibis 是海外學生住宿的首選，提供完善的生活機能與網路服務，讓我們在海外實習的過程中十分方便，此外，在工業實習階段，我們則住在 EastSeven Berlin Hostel，這個點離我們做實務實習的位置十分近，同時亦有完善的生活機能與網路服務，因此對於我們整個實習的過程有很大的幫助。

三.出發

2011 年 8 月 12 號，一個尚未出過國的我抱著既期待又不安的心情，從桃園中正國際機場搭乘中華航空的直航班機出發前往德國法蘭克福機場，接著搭乘德國 ICE (InterCityExpress) 列車前往 Münster。



圖 1 出發前往德國

四. Westfälische Wilhelms-Universität Münster

Münster 號稱是德國的單車首府，那裏的人大多都以單車當作交通工具，城市內興建了很多的自行車道，只允許自行車和行人，禁止汽車行駛，因此是個十分人性化的城市。而本次實習主要拜訪的學校—Westfälische Wilhelms-Universität Münster，是德國最著名的大學之一。學校的歷史十分的悠久，創建於 1780 年，目前擁有 7 所學院，15 個系。



圖 2 明斯特大學(Westfälische Wilhelms-Universität Münster)環景照

我們主要參訪數學和計算機科學系的蔣曉毅教授(Dr. Xiaoyi Jiang)，實驗室主要的研究在於 Computer Vision and Pattern Recognition，發表過許多影像處理與辨識以及 3D 視訊方面的論文，與本實驗室所做之研究十分相近，因此我們彼此在相關影像處理的技術上，有了一番的交流。例如：該如何有效的利用微軟的 Kinect 進行 3D 影像的重建、醫學影像的處理技術，也很榮幸的與他們舉辦了一場小型的會議，向他們介紹實驗室目前的研究方向以及以下線之各式晶片，當然

也不忘介紹我們美麗的台灣台北，希望他們有機會可以來台灣旅遊。

另外，在實習過程中，蔣教授也帶我們參觀他們上課所用到的百人大教室，這個教室算是他們學校的大型教室，可以容納上百人同時上課，而且其黑板由多塊大黑板組成一陣列式的排列，再加上可以自動的上升下降，在板書的書寫上可

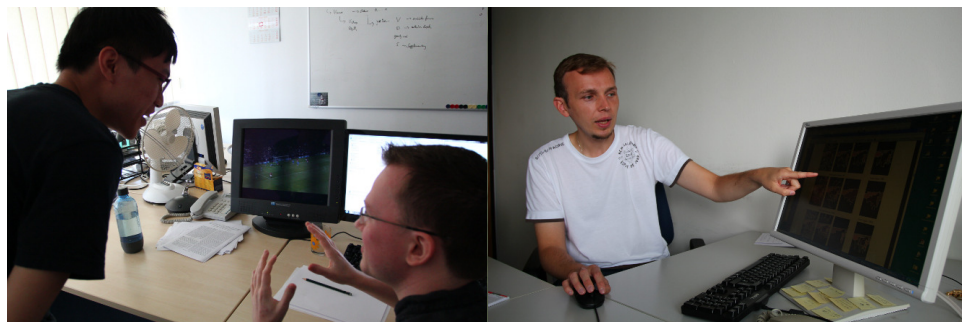


圖 3 實習過程

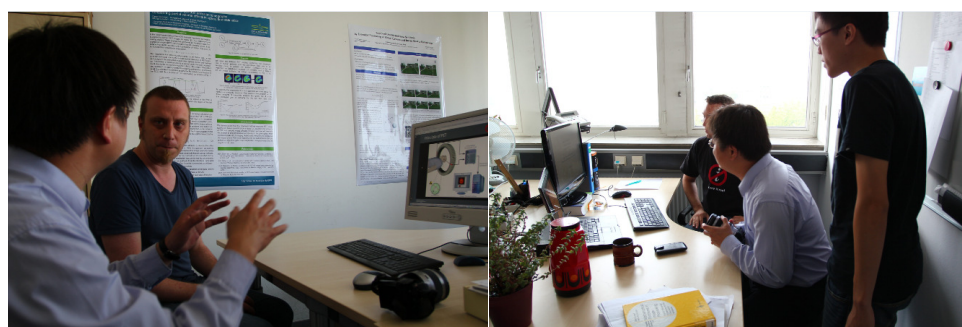


圖 4 經驗交流

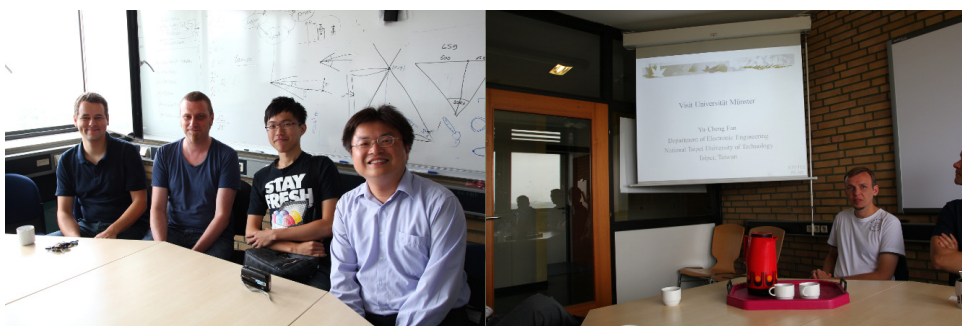


圖 5 會議交流

以不用擔心因為字體大小造成版書時版面不夠的問題及並且可以增加推導公式時的流暢度，這部分是台灣沒有看過的，令我真的是大開了眼界。

我們在德國明斯特大學學習了一系列三維立體視訊系統演算法與技術，並做進一步的學術交流，收獲十分豐富。接著，為了能夠從事實務上的操作與演練，我們另外搭配三維立體視訊系統的核心技術做為實習的重點，包含「三維相機攝影機的光學系統前端設計(DeutschesTechnikmuseum)」、「三維立體視訊系統成像

端設計(3D Exploramuseum, Potsom 的 Film Museum 及 Filmpark)」、「三維立體視訊系統整合設計(Sony Center)」與「三維立體視訊系統趨勢探討」。



圖 6 校園參觀

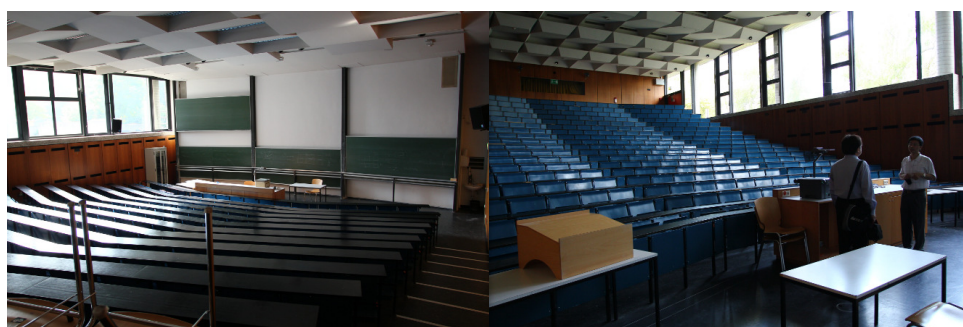


圖 7 Münster 的階梯教室



圖 8 學校餐廳共進午餐

五. 三維相機攝影機的光學系統前端設計

為了能夠從事實務上操作與演練，我們同時搭配三維立體視訊系統的核心技術做為實習的重點，我們首先以三維相機攝影機的光學系統前端設計為核心，實際了解三維相機攝影機光學系統前端的操作與原理。

我們得到 DeutschesTechnikmuseum 的協助，讓我們可以親眼目睹許多三維相機與一般相機的操作。以往人們透過一些雙眼觀看的器具，搭配上左右兩張影片獨立放置，讓人們也可以觀看立體影像。另外，德國在鏡頭與鏡片的工藝上，也是數一數二優越的國家。Carl Zeiss Jena 以及 Carl Zeiss Oberkochen 以往可是鏡頭的代表，其也有許多鏡頭的命名與鏡片架構，依然出現於現在相機鏡頭的設計上，如 Tessar、Sonnar、Biotar、Planar 等等，影像現在相機鏡頭產業十分深遠。

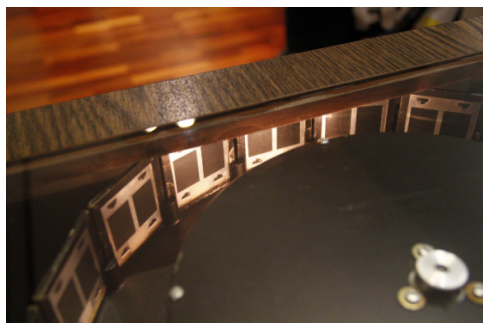


圖 9 立體影像拍攝



圖 10 立體影像觀看器材



圖 11 蛇腹相機及以前的錄影器材



圖 12 手工研磨鏡頭

六. 三維立體視訊系統成像端設計

完成三維相機攝影機的光學系統前端設計的實習之後，接著主要的課題是三維立體視訊系統成像端設計，這一部份的實習包含了三維立體顯示技術與三維立體拍攝技術。

在三維立體顯示技術方面，德國的 3D Exploramuseum 協助我們，讓我們得以接觸到多樣式的三維立體顯示技術，在 3D Exploramuseum 一進門時，就有許多關於立體圖像的簡介，連門口的雕像都戴上了紅綠的立體眼鏡，這是一個充滿幻想和驚喜的地方！



圖 13 3D Exploramuseum

裡面擺放了許多不同種類的立體圖像，像是有紅綠形式的立體圖像、雷射的全像圖像、視覺錯覺的圖像等等，我們在這裡接觸到以往 3D 圖像的相關應用產品，如產品封面包裝、相關書籍的包裝、雷射貼紙等，代表著 3D 產業從以前就是個大賣點，對產品的銷售有良好的幫助。



圖 14 雷射立體影像



圖 15 觀看立體圖像



圖 16 以往相關產品應用

另外在 Film museum 提供許多以前的器材，如下圖則是以前觀看立體景深圖的一個觀看器，其內部切割成許多層分別用透明板畫上圖層，一層一層的堆疊，使觀看者可以有層次感，這是我第一次看到的東西。



圖 17 立體圖像觀看器與其內部構造

此外，這裡面也可以看到許多關於電影產業的產物，館內也撥放著許多老片，不管是動態互動式的撥放，還是靜態文物的陳列，皆十分的有趣，因此在實習過程中一點都不會覺得無趣！



圖 18 電影相關文物

完成了三維立體顯示技術的實習，接著我們進一步從事三維立體拍攝技術的實習。由於德國的電影工業是世界影視工業的起源地，因此，在德國實習可以接觸到三維立體視訊與影視的拍攝技術。這部份的實習我們得到 PotsdamFilmpark 與 PotsdamFilm museum 的協助，實際體驗三維立體拍攝技術的過程與成品。

PotsdamFilmpark 位於號稱有柏林後花園的波茲坦 (Potsdam)，這裡曾經是普魯士王國時代的皇宮所在地，也是著名的波茲坦合約簽約地點。從柏林我們搭上 RE 區間快車 (Region Express)，約一個小時到一個半小時即可到達。來到波茲坦這裡有個著名的 PotsdamFilmpark 以及 PotsdamFilm museum。

PotsdamFilmpark 裡面擺放了許多以前電影拍攝的場景以及器材，在這，有著著名的 4D 體感電影，除了我們常見的晃動感、音感、視覺以外，還加入了觸感！例如現在的影片是有著微風的吹拂，觀看現場就真的有風吹過來的感受，真的是十分的擬真！



圖 19 PotsdamFilmpark

PotsdamFilm museum 內部擁有完整的攝影器材，一進門，在門口的左右兩側擺放著以往電影拍攝用到的一些攝影器材，如錄影機、補光燈、腳架等，這些器材都表示以前德國的電影工業的進步。二樓則為固定的展期的展示區，展出的他們德國當地著名的黏土動畫，做工十分細膩，也十分的漂亮，做為三維立體拍攝的模型。



圖 20 PotsdamFilm museum



圖 21 展出黏土動畫展品，做為三維立體拍攝的模型



圖 22 三維立體電影拍攝器材

七. 三維立體視訊系統展示

為了目睹三維立體系統的整合設計，我們到位於柏林波茨坦廣場 (Potsdamer Platz) 旁的 Sony Center 以及德國電影博物館 (Deutsche Kinemathek Museum für Film und Fernsehen)，這裡的展場展示了世界上最先進的三維立體系統。Sony Center 的建立主要是由日本新力公司投資興建的複合式展場，裡面有商店、餐廳、會議中心、飯店、還有一整棟 Sony 的旗艦店以及一家豪華的 IMAX 電影院，它的規模與設計也是令我大吃了一驚！其最著名的則是它的建築設計，這棟複合建築最吸引人的，莫過於連結幾棟大樓中庭所構建的，以玻璃纖維組合的全天候頂棚。此頂棚從遠處望去，形狀則是日本富士山。

一旁的德國電影博物館內展示了這一二十世紀電影藝術形式的最初狀態。早期電影主要是人類的視覺錯覺和動作幻想，裡面我們可以看到以前的幻燈片播放機、活動式膠捲撥放器、電影拍攝的一些器材，如腳架、攝影機、8 釐米膠捲、滑軌等等。也呈現了以前的 20 世紀夢工廠的後台吧、複製的攝影棚和舞台背景、電影技術、特效展示了電影產品的多樣化和發展歷程等等。內容十分的豐富，讓我對以前的德國的電影工業各時期的發展了解許多。現在的德國電影工業自然不能和美國好萊塢式的商業大製作相比，不過早在第一次世界大戰的時候，德國即已意識到電影對軍民士氣的重要性，在魯登道夫將軍的建議下，聯合銀行、化學、

電氣和軍需工業成立了一個強大的 U·F·A 電影公司，博物館中專門有一個章節展廳介紹這段歷史和該公司出品的電影。



圖 23 Sony Center 內部



圖 24 Deutsche Kinemathek Museum für Film und Fernsehen

看完了 Deutsche Kinemathek Museum für Film und Fernsehen，我們就到隔壁的 Sony 旗艦店來參觀參觀。Sony Center 裡的旗艦店規模十分的大，在這我們可以到以前 Sony 所推出過的一些產品，如錄影與攝影的拍攝器材、通訊相關產品、儲存媒介等等。



圖 25 以前的攝影與播放器材

我們都知道 Sony 在多媒體與影音產業中，是個舉足輕重的廠商，在現在 3D 多媒體的領域，推出了許多的產品，也是少數在 3D 多媒體可以從拍攝截取端(原生 3D 拍攝器材)到成像顯示端(相關顯示器)可以有整套的解決方案。



圖 26 3D 立體電視與筆記型電腦



圖 27 3D 體驗區

在這我們可以感受到 Sony 對於 3D 產業是多麼的看好，從消費市場的電視、筆記型電腦、遊戲機台...等都將其跨進這塊市場：專業市場也推出許多可以拍攝出原生 3D 影片的攝影機、以及業務用的 3D 顯示器。



圖 28 專業市場 3D 相關產品

八. 三維立體視訊系統趨勢探討

在實習的期間，我們正巧遇到歐洲最大的消費性電子展 IFA 的展期，由於今年的展示有許多與我們實習的主題「三維立體視訊技術」有關，IFA 的其中一個主軸以三維立體視訊系統為主，並且探討三維立體視訊的未來趨勢，在此的同時，

今年的 *IEEE International Conference on Consumer Electronics(ICCE-Berlin)*也與此展覽共同舉行。IFA 是目前世界上規模和影響力最大的國際視聽及消費類電子產品展覽會，是世界各國消費類電子產品生產商和貿易商聚集和展示新產品、新技術最主要的場地，也是全球電子消費產品行業的頭號訂貨會。今年的展出的類別大致上可分成七大區 Home Entertainment (電視、藍光、家庭劇院...等)、Audio Entertainment (HiFi 高音質設備)、Home Appliances (生活家電、小家電...)、My Media (相機相關、遊戲、記憶卡...)、Public Media (電視台、廣播、影片內容)、Communication (通訊、mobile、導航、網路...)、Technology & Components (零組件、半導體...)。



圖 29 IFA Logo 合照

相關 3D 產業產品，從展場所呈現的展品，我們可以看到越來越多廠商都有推出支援 3D 功能的顯示器。目前主流市場仍是屬於主動式 3D 眼鏡，以往主動式 3D 眼鏡因為其有同步電路設置於眼鏡之中，所以其體積與重量比起被動式(偏光)眼鏡是個最大的致命傷，但是在這次的展覽中，我看到了許多新改革的主動式 3D 眼鏡，它的輕薄真的是令我十分吃驚！沒想到主動式 3D 眼鏡也有辦法做到這麼薄啊！



圖 30 超輕薄主動式 3D 眼鏡

在其他 3D 產業環節中，也看到有公司在裸視型顯示器上，增加了眼球追蹤的效果，如此藉由追蹤使用者觀看的角度，可以自我改變立體顯示圖形的排列組合，藉此可以達到最好的觀看品質；也有看到即時平行式相機拍攝轉換系統，可以即時的把兩台攝影機的影像，經由演算法的處理，呈現於 3D 立體顯示器上，

並呈現出良好的觀看效果。



圖 31 裸視型顯示器



圖 32 眼球追蹤

互動多媒體以及 Internet TV(Smart TV)也是近幾年漸漸受到重視的一塊市場，電視結合網路的趨勢就已經形成。多家廠商如三星及 SONY 都發表了結合網路使用的 Internet TV 產品，除了一般的收看節目外，透過網路，我們還可以藉由不同廠商，放進的不同 Internet App，在電視螢幕上瀏覽網頁、看 YouTube、講 Skype、上 Facebook、看 online 的相簿...等。Internet TV 的出現，不只代表技術的趨勢，也可以看出廠商體會到這類商品的 Business models，必須跟以往有很不同的想法，這類產品能否成功，除了硬體功能好不好之外，也要看能不能結合多方面的 content 軟體，這需要跨業者跟跨部門的合作才行，最好的例子就是蘋果 Apple 產品的思維。



圖 33 互動與 Internet TV 的興起

逛 IFA 最特別的就是，所有產品銷售人員都會十分樂意的邀請你試用體驗，其中不乏許多在市場上的高單價商品或是尚未上市的商品。像是我們以前只耳聞但曾未使用過的 HMD (Head-mounted display)也都讓我們體驗到了！真的是值回票價！



圖 34 HMD (Head-mounted display)



圖 35 Sony 新推出的立體望遠鏡

其中最令我驚豔的是，我居然在現場能夠親眼看到 8K4K 的顯示面板！其細膩度好比現實世界一般，就算我們距離螢幕只有 10~20 公分，甚至貼上螢幕都看不太到螢幕的點距，連小沙子、髮絲都清楚可見，希望這種面板能夠儘快在台灣出現！



圖 36 Sharp 展示的 8K4K 面板

九. 實習實作：立體電視結構光法近物深度量測重建演算法

經過一連串的實習訓練之後，接著進入實習的重點項目「實習實作」，源於德國務實嚴謹的工業設計精神，我們必須於實習期間，依據所見所學，完成實習實作，我的實習題目訂為「**立體電視結構光法近物深度量測重建演算法**」，下列為我所完成的實習實作內容。

最近幾年，相關 3D 的產業發展越來越蓬勃，3D 深度量測的技術也廣泛應用於各產業。在醫學上，可以用來進行人體輪廓的檢測與建模、醫學齒膜的建立等等；相關科技產業中，可以用來進行自動化的元件檢測，經由機台掃描量測，確認元件的完整性。亦或是進行元件的翻膜製造，經由 3D 的量測，可以快速又有效率的產生我們需要的結果。在醫學與工業領域上，3D 量測的器材，所需的價格往往十分昂貴，不符合大眾市場的要求。在消費型市場，由微軟推出的 Kinect 可以進行 3D 深度量測並將其應用於娛樂上，所需的費用遠小於醫學工業領域所需。但是其解析刻度較大，精確度較低，無法進行細微的 3D 深度量測是其缺點。

本實習實作採用結構光法進行 3D 深度的量測，我們使用了一台一般消費型投影機，採用結構光法來投射出我們所設計之樣本圖形，並且利用數位相機來拍攝物體以及投影機投影出的樣本編碼圖形，接著經由我們所提出的前置處理、物件切割、邊緣萃取及深度量化等演算法進行 3D 的重建與量測。有別於其他方式，本實習實作除了在相關演算法上進行優化，降低複雜度並提高硬體晶片的可實現性，也搭配梯度資料庫的建立，讓我們深度量測的準確率可以提高。本實習實作採用的演算法不論是以硬體電路或是以軟體的方式實現皆可以得到不錯的結果

系統架構

本實習實作整體架構圖如圖 37 所示，本實習實作的系統架構主要可以分成四大部分，第一部份為前置影像的處理，針對所拍攝的掃描物體影像進行彩色轉灰階的轉換，如此後端的資料運算量就可以大幅的減少，接著在進行高斯濾波器(Gaussian Filter)，將物體的反光衰減，可以減少在後端邊緣萃取時產生的錯誤。第二部份為物件切割，藉由擷取未投影樣本編碼的影像，分離出物件與背景，進一步產生物件遮罩，這邊採用的方法是藉由紅(Red)、綠(Green)、藍(Blue)三個數值，設一鄰界閾值來進行切割。第三部份我們會進行邊緣的萃取，主要是要萃取出投影樣本的邊緣。我們採用的是雙向 Sobel 水平邊緣偵測來做初步的邊緣偵測，偵測出影像中的邊緣資訊，有別於傳統 Sobel 邊緣偵測，我們可以更有效的偵測出樣本圖形的邊緣。接著，利用型態濾波器(Morphological Filter)將偵測出的邊緣，做進一步濾除雜點並保留正確的邊緣資訊，再來經由邊緣細線演算法將邊緣資訊，細線化成為單一像素邊緣，如此可以最精確的得知邊緣變化走勢。最後，再利用邊緣修補演算法，將不連貫的

邊緣資訊進行修補，找到分斷點並將其做修補連結。第四部份為深度圖的量化，我們會先做物體以及樣本圖形的標籤化與配對，找出彼此配對的點，再搭配所建立的梯度資料庫做查詢，我們可以得到實際距離，並可搭配量化演算法，根據人眼對於深度的非線性對應，將其結果輸出成深度圖。如此，我們可以搭配裸視型立體顯示器，經由 DIBR 之技術，將拍攝物體圖片以及其深度圖，合成成立體顯示規格的圖片。

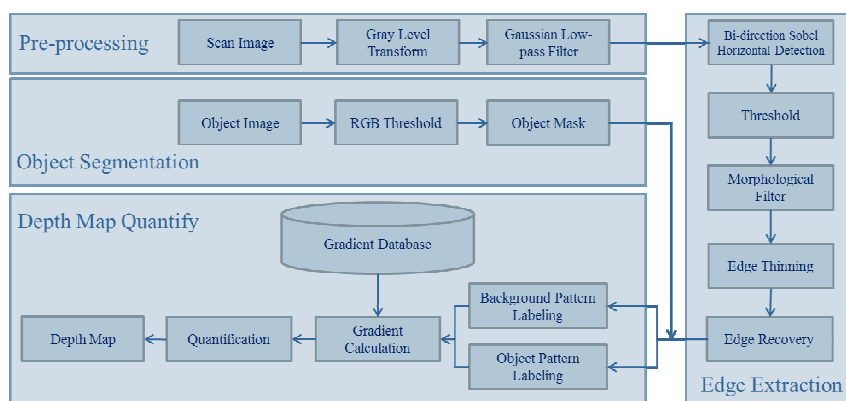


圖 37 系統架構圖

表 1 投影器之規格

Specification	
Device	Optoma HW536
Display Technology	Single 0.65" DMD DLP Technology by Texas Instruments
Resolution	1280×800 (WXGA)
Brightness	2800 ANSI Lumens
Contrast Ratio	3000: 1
Displayable Colors	1.07 Billion
Projection Lens	f = 21.86 ~24.0 mm
Horizontal Scan Rate	15.3 ~ 91.1 KHz
Vertical Refresh Rate	24 ~ 85 Hz
Computer Compatibility	UXGA, WXGA, SXGA+, SXGA, XGA, SVGA, VGA Resized, VESA, PC and Macintosh Compatible
Video File Compatibility	NTSC, PAL, SECAM, SDTV (480i), EDTV(480p), HDTV (720p, 1080i/p)

實驗環境

首先，我們針對實驗的環境以及器材先做一個介紹，利用結構光投影來進行三維量測必須要有一個樣本圖形的發射端以及接收端，才能達到完整的系統。在發射端我們採用的是奧圖碼(Optoma)推出的 HW536 投影機，其顯示技術採用的是德州儀器 DLP 之技術，輸出的真實解析度可以到達 1280×800 WXGA 規格，如採用的是電腦輸入，則最高可以輸入達 1600×1200 UXGA 規格之影像，另外其輸出亮度有 2800 流明，對比度是 3000：1，可以顯示的色彩有 10 億 7 千萬色，其售價也不會特別的昂貴，常出現於一般家用娛樂市場或是小型商業市場，因此我們採用此作為投影器材。相關硬體規格如表 1 所示。

擷取端，我們採用 Canon 550D 數位單眼來進行拍攝。Canon 550D 使用的是 1800 萬畫素，APSC 大小的感光元件。在 ISO 方面，其 ISO 範圍可以從 ISO100-ISO6400。採用的鏡頭為 Canon EF 50mm f/1.8 鏡頭，其最大光圈在於 f/1.8，最小光圈 f/22，最近對焦距離為 0.45m。採用定焦鏡頭的拍攝比起變焦鏡頭可以有更好的解像力，也可以保持實驗時鏡頭焦距的一致性，如此實驗才能夠更加的準確。相關硬體規格整理如下表 2 所示。

表 2 攝影器之規格

Specification	
Device	Canon 550D
Sensor	18.0 Million Total Pixels 22.3 x 14.9 mm CMOS Sensor RGB Color Filter Array Built-in Low Pass Filter
Lenses Mount	Canon EF / EF-S Lens Mount
Metering	TTL 63-Zone
Sensitivity	ISO 100、ISO 200、ISO 400、ISO 800、 ISO 1600、ISO 3200、ISO 6400
Lens	Canon EF 50mm f/1.8
Lens Type	Prime Lens
Focal Length	50mm
Maximum Aperture	f1.8
Minimum Aperture	f22.0
Minimum Focus	0.45m

投影器材以及攝影器材的相關位置，呈一三角幾何方式拍攝，相機之光軸與投影機的投影中心點成同一平面，投影機與物體擺放於同一平台上，投影機與投影平面距離為 40cm，相機與投影平面距離為 56cm，如圖 38。相機拍

攝時，設定相關參數值：光圈為 $f/8$ 、ISO 為 100、快門則為 $1/20$ 秒。設定此數值，主要是考量到 ISO 的增加，會使得感光元件所產生的雜訊影響到結果，因此設為相機最低的 ISO 值，而光圈則是因為根據鏡頭的 MTF(Modulation Transfer Function)圖中得知(依據 ISO 12233 的標準)，光圈在 $f/8$ 的時候此鏡頭擁有良好的影像品質且景深不會過淺(如圖 39)。

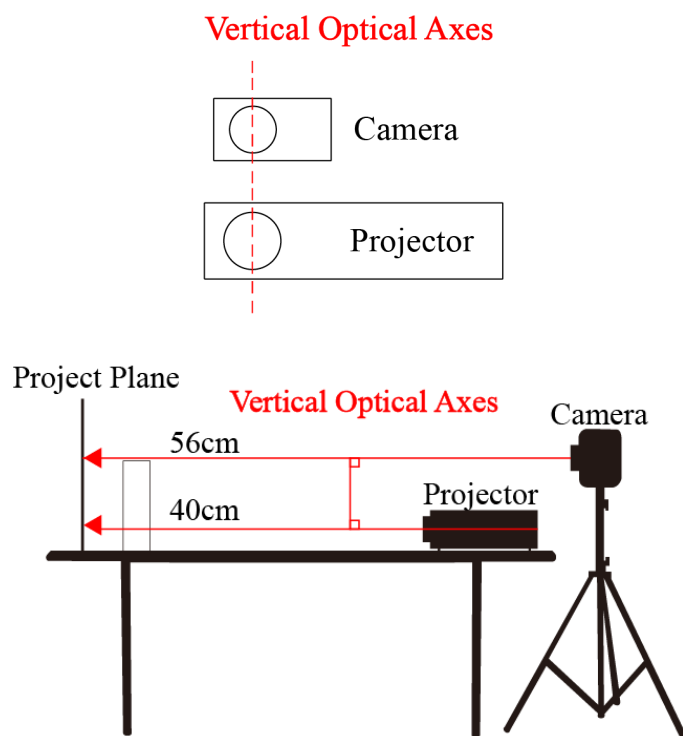


圖 38 器材擺放示意圖

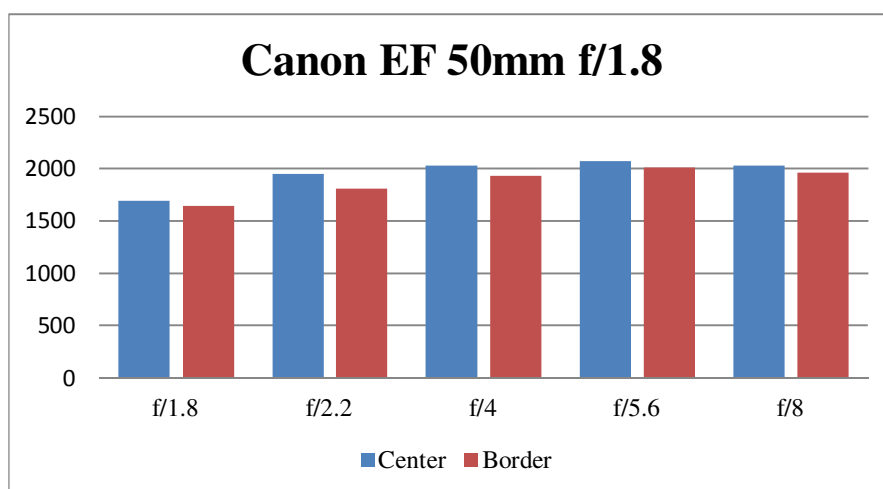


圖 39 Canon EF 50mm $f/1.8$ MTF 圖

樣本編碼圖形的建立

實驗環境確立以後，還需建立樣本編碼圖形才可開始投影。在樣本編碼圖形的部分，我們採用的是黑白條紋式的樣本圖形，並且僅投射單一樣本，採用 Spatial Neighborhood 的方式。樣本編碼圖形的產生攸關著後端解碼的品質，能夠越緊密的利用就能有良好的結果，但過度的緊密也不行，因為在拍攝成像時會有線條干涉情況產生。因此我們將根據下式 1，產生黑白交錯之樣本圖形，如圖 40 所式。

$$Z(x,y)=255\times\text{Mod}(y\div\text{width}) \quad (1)$$

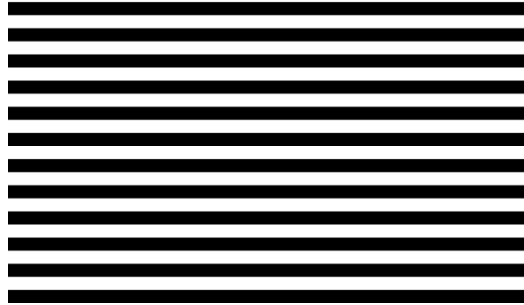


圖 40 投影之樣本編碼圖形

其中 x 、 y 分別為投影的 x 軸像素值以及 y 軸像素值， width 為所需產生之樣本編碼圖形線條的像素寬度， $Z(x,y)$ 為產生之樣本圖形 x 、 y 像素點的像素值，在這僅有兩種可能的值，0 或是 255。採用黑白交錯樣本編碼圖形對於後端所需之運算量可以大幅的減少，因此我們採取此圖形作為我們的樣本編碼圖形。

前置影像處理

完成樣本編碼圖形的設定以後，我們就可以把此圖形經由投影機投射在物體表面上。由於我們設計的樣本圖案是採用灰階圖形來進行物體深度的重建，因此我們會先將拍攝取得的彩色圖片進行灰階化的轉換，將其由原本彩色 24Bits 資料縮減為灰階 8Bits。所採用的公式如下式 2。

$$\text{Gray level}=0.299\times R+0.587\times G+0.114\times B \quad (2)$$

其中 R 代表的是圖像的紅像素點像素值， G 代表的是圖像的綠像素點像素值， B 代表的是圖像的藍像素點像素值，經過轉換後即可得到此像素點的灰階值。接著，為了減少物體因為投影機投影光線的反光，進而提升後端邊緣萃取的準確度，我們將使用高斯低通濾波器來消除物體的反光，高斯濾波器之公式如下所表示，其中 $g(x,y)$ 為經過高斯低通濾波器後得到的函數值、 x 與 y 為高斯低通濾波器的 x 軸與 y 軸寬度、 σ 是常態分佈的標準偏差。

$$g(x,y)=\frac{1}{2\pi\sigma^2}e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}} \quad (3)$$

在這我們採用遮罩方式的方法實現高斯低通濾波器，原因在於增加其硬體實現的可能性。原本高斯函數中有自然指數的運算，在硬體實現上會增加其複雜度以及降低準確度，因此我們將其以遮罩方式實現，可以大幅降低運算複雜度。我們採用的是 3×3 遮罩大小的高斯低通濾波器，將鄰近八個像素點與原位置像素點根據下式 4 即可得到結果。其遮罩如下圖 41 所示。

$$g(P_0)=\frac{P_1}{16}+\frac{P_2}{8}+\frac{P_3}{16}+\frac{P_4}{8}+\frac{P_0}{4}+\frac{P_5}{8}+\frac{P_6}{16}+\frac{P_7}{8}+\frac{P_8}{16} \quad (4)$$

P ₁	P ₂	P ₃	$\frac{1}{16}$	$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{16}$
P ₄	P ₀	P ₅	$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{8}$
P ₆	P ₇	P ₈	$\frac{1}{16}$	$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{16}$

圖 41 高斯低通濾波器遮罩與對照圖

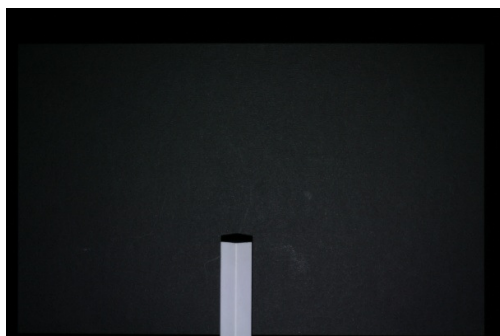
物件切割

在樣本投影投射之前我們會先拍攝一張物體擺放的圖片來進行物件切割，利用可見光頻段的樣本編碼圖形在物體材質的選用上，會有基本的限制，那就是物體表面的顏色不能太深色，因為深色的物體對於光的反射較差，會把投射的光吸收，如此即使投影了樣本圖形在上面，擷取端也無法有效的接收到正確的圖形。針對此特性，我們可以利用物體本身的顏色特性，對此做一個判斷，即可以有效的把物件割切出來，其判斷條件如下：

- (1) P(x,y)的紅色像素值大於臨界值。
- (2) P(x,y)的綠色像素值大於臨界值。
- (3) P(x,y)的藍色像素值大於臨界值。

當符合上述三個條件之像素點，則將此點設為 255，否則為 0。其中 P(x,y) 為執行像素點，臨界值根據實驗的統計，這邊所採用的數值為 75，可以得到一較好的物件切割之遮罩，其結果如圖 42 所示。圖片 42(a)與 42(c)為物體未

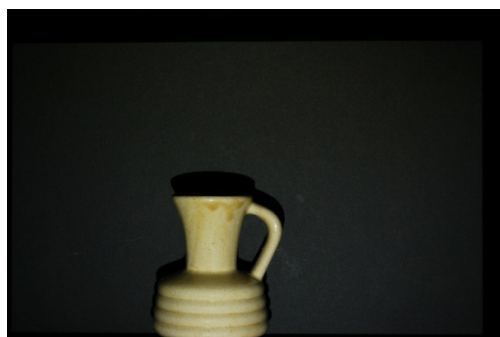
投影樣本編碼圖形的影像，經過紅色、綠色、藍色像素值的判斷以後，我們可以將其與黑色背景分離出來成一二值化圖片，如圖 42(b)與 42(d)。42(b)與 42(d)中白色的地方則為我們所切割出物件遮罩，其他黑色則表示為背景。



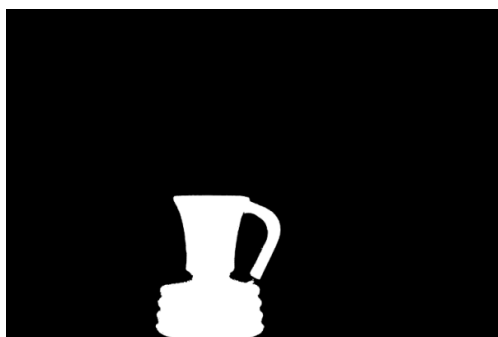
(a) 物體擺放圖 I



(b) 物體遮罩圖 I



(c) 物體擺放圖 II



(d) 物體遮罩圖 II

圖 42 物件切割圖

邊緣萃取演算法

確立相關前置處理、樣本編碼圖形後，我們將對相機拍攝得到的圖片進行邊緣萃取，希望藉以得到樣本的資訊，才能藉由分析樣本編碼圖形的變化，得到物件的深度量測資訊，在此我們將對我們所使用的邊緣萃取過程一一介紹。

雙向 Sobel 水平邊緣偵測

傳統的 Sobel 邊緣偵測法，針對二維平面影像進行圖像梯度的偵測，找出圖像中垂直方向以及水平方向的邊緣，接著再合而為一。因此其有著兩個不同方向之運算子，水平 Sobel 運算子及垂直 Sobel 運算子(如圖 43)。

-1	-2	-1
0	0	0
1	2	1

-1	0	1
-2	0	2
-1	0	1

(a) 水平 Sobel 運算子 (b) 垂直 Sobel 運算子

圖 43 Sobel 運算子

Sobel 的計算方式，可以分成水平梯度分量與垂直梯度分量。在這我們設定 Sobel 矩陣的大小為 3×3 的區塊，相關參數對照如圖 44。 G_x 表示水平方向的邊緣，其係數主要是參照水平 Sobel 運算子相關位置的係數，如式 5 所示； G_y 表示垂直方向的邊緣，其係數主要是參照垂直 Sobel 運算子相關位置的係數，如式 6 所示。

P_1	P_2	P_3
P_4	P_0	P_5
P_6	P_7	P_8

圖 44 Sobel 運算 3×3 矩陣對照圖

$$G_x = (P_6 + 2P_7 + P_8) - (P_1 + 2P_2 + P_3) \quad (5)$$

$$G_y = (P_3 + 2P_5 + P_8) - (P_1 + 2P_4 + P_6) \quad (6)$$

針對我們所投射的樣本圖形，我只需針對水平方向進行邊緣偵測即可得到邊緣像素，因此我採用水平 Sobel 運算子來做偵測。邊緣偵測的準確度以及多寡將會影響到後端深度量化的精確度。因此我們將傳統的水平 Sobel 運算子做一個修正，傳統水平 Sobel 運算子僅能偵測到由黑轉白的邊緣，會損失掉由白轉黑的邊緣，我們將其以 G_{xbw} 表示，運算方式與式 5 雷同，其如式 7 所示。

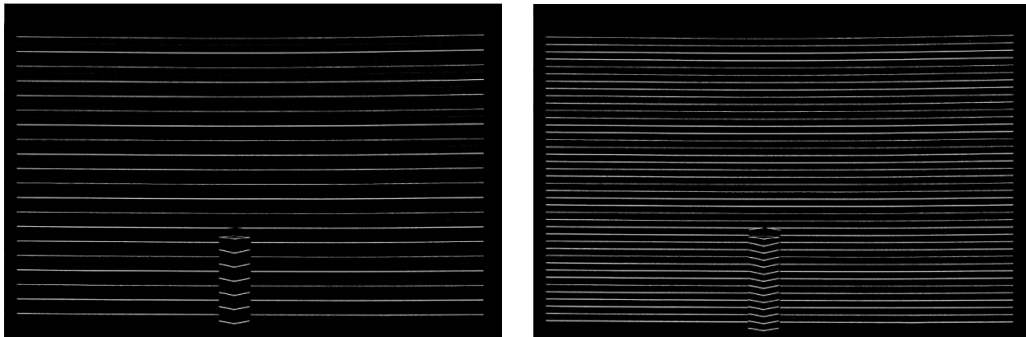
藉由水平 Sobel 運算子的正負反轉，我們就可以得到由白轉黑的邊緣，在運算上則為正負號的反轉，將式 7 取一負號即可得到式 8，我們以 G_{xwb} 表示此結果。最後再將 G_{xbw} 與 G_{xwb} 相加，取得黑轉白的邊緣以及白轉黑的邊緣交集，即為雙向 Sobel 水平邊緣偵測演算法。其運算方式如式 9 所示。

$$G_{xbw} = (P_6 + 2P_7 + P_8) - (P_1 + 2P_2 + P_3) \quad (7)$$

$$G_{xwb} = (P_1 + 2P_2 + P_3) - (P_6 + 2P_7 + P_8) \quad (8)$$

$$Edge = G_{xbw} + G_{xwb} \quad (9)$$

Sobel 偵測的結果圖如圖 45 所示，圖 45(a)為傳統水平 Sobel 偵測的結果圖，圖 45(b)為雙向水平 Sobel 偵測的結果圖。由圖 45(b)我們可以看到雙向水平 Sobel 可以偵測出較多的邊緣，其主要在於傳統水平 Sobel 偵測僅能偵測出黑轉白的邊緣，我們藉由式 8 計算出白轉黑之邊緣後，在與其相加(式 9)，可以增加後端運算的取樣點數量，增加其解析度。



(a) 傳統水平 Sobel 偵測

(b) 雙向水平 Sobel 偵測

圖 45 Sobel 偵測圖

形態濾波器

形態濾波器的應用在影像處理領域十分常見，其對於雜訊的消除，或是斷點的連結等都十分的有效。在做完雙向 Sobel 水平邊緣偵測後，我們可以獲得一邊緣資訊圖，但是其中除了邊緣資訊外，也包含了許多雜訊點，為了使我們可以有更佳品質的邊緣資訊圖，我們必須把這些雜訊消除。由於雜訊點的大小，會遠小於邊緣資訊，因此我們採用形態濾波器中的斷開(Opening)來進行雜訊的消除。

比起其他濾波器式的雜訊濾除方法，運用形態濾波器的閉合方式可以避免破壞過多的邊緣資訊且可以有效的消除雜訊點。斷開的運算是先將圖形做一侵蝕的運算，如式 10，其運算方式為將結構元素在整個輸入影像內平移，如果其結構元素大小符合則保留其值，否則設為 0。經由侵蝕的運算可以將小於遮罩大小的像素移除，但是相對的也會將邊緣資訊消除掉一些，因此在做完侵蝕之後，需再做一次膨脹運算，將消除掉的邊緣資訊給填補回去，且也能夠將邊緣偵測時所產生的一些細小破洞進行修補，其如式 11 所示，與侵蝕運算不同之處，其結構元素在影像內平移，如果有一非 0 像素點，則將此結構元素大小之區塊填入。完成上述兩動作即為形態濾波器斷開的運算，如式 12。其中 $f(x)$ 為輸入的影像資訊， S 為結構元素大小， x 與 y 表示像素點之座標、 ε_n 為侵蝕運算子、 δ_n 為膨脹運算子、 γ_n 為斷開運算子。

$$\varepsilon_n(f(x)) = \min\{f(x+y), y \in S\} \quad (10)$$

$$\delta_n(f(x)) = \max\{f(x-y), y \in S\} \quad (11)$$

$$\gamma_n(f(x)) = \delta_n\{\varepsilon_n(f(x))\} \quad (12)$$

由於雜訊點在侵蝕的時候已經移除了，所以在做膨脹運算的時候也不會把雜訊點給放大。本系統所使用的結構元素 S 為 5×5 大小的正方形結構元素(如圖 46)，而其結果如圖 47 所示。圖 47(a)為未經過型態濾波器的邊緣資訊圖，而(b)為圖(a)的局部放大圖，(c)為經過型態濾波器的邊緣資訊圖，而(d)為圖(c)的局部放大圖。經過型態濾波器的斷開運算後，我們可以發現其非邊緣的雜訊點，因為有經過侵蝕的運算，所以都消除了，邊緣資訊中的空洞則因為侵蝕後的膨脹，也填補成平滑的邊緣，因此我們可以得到一個較佳品質的邊緣資訊圖。

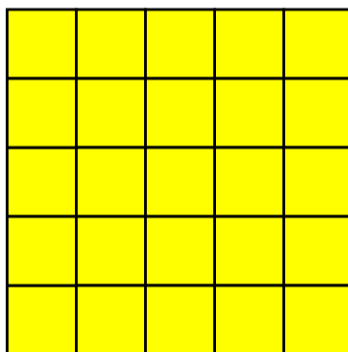
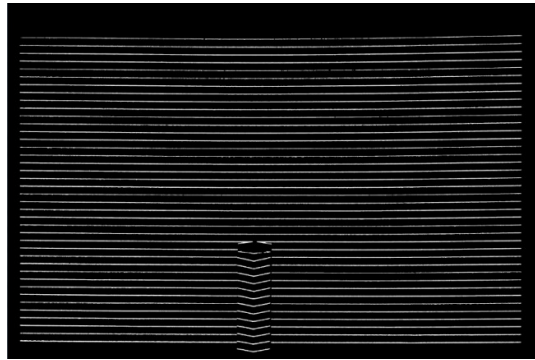
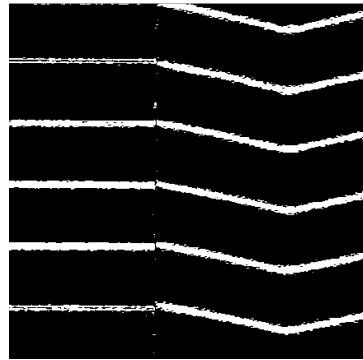


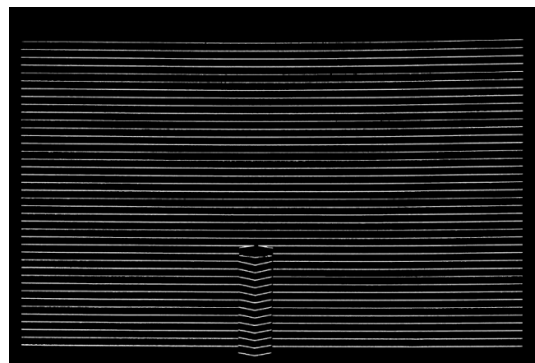
圖 46 5×5 正方形結構元素



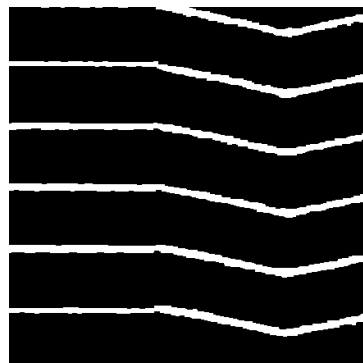
(a) 原始邊緣邊緣資訊圖



(b) 圖 a 局部放大圖



(c) 形態濾波後邊緣資訊圖

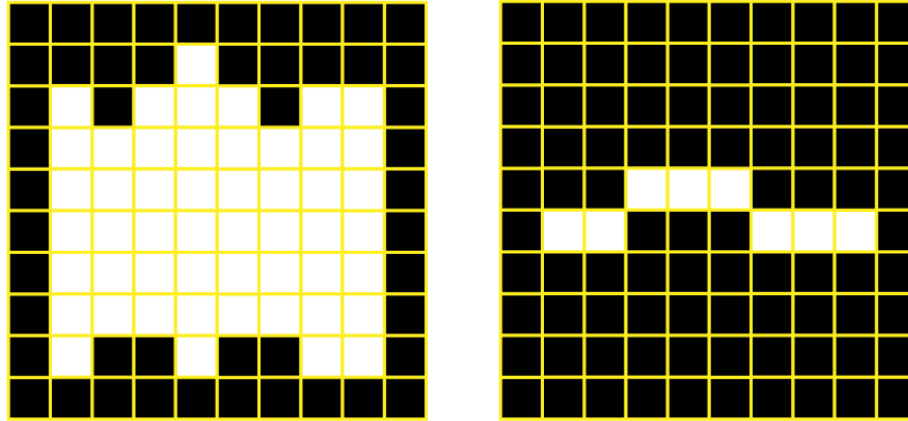


(d) 圖 c 局部放大圖

圖 47 形態濾波器之結果圖

邊緣細線化

經由形態濾波器的處理後，我們可以得到一個良好的邊緣資訊圖，由於樣本投影時，因為投影機擺放平台，會有些微小的誤差，再加上鏡頭所造成的失真，我們可以觀察到實際上相機接收回來處理過的樣本圖形並非完全的水平，會有輕微像素的偏移量。為了能夠有效的得知邊緣資訊的方向走勢，我們將其經過細線化的處理，將邊緣資訊細線化成單一像素點，萃取出其骨架資訊，在後端處理上可以更加精確的判斷樣本之變形以及減少的運算量，其邊緣細線化示意圖如圖 48 所示。



(a) 輸入影像圖

(b) 細線化結果圖

圖 48 邊緣細線化

有別於其他細線化演算法的高複雜度、高運算量，本實習實作所採用的細線化演算法，可以有效且快速的針對本樣本編碼圖形做一細線化之演算，其細線化步驟可分成下列三步驟處理：

步驟一：由圖片之最上方像素點依序往下做一垂直掃描，紀錄起始像素點像素值作為初始值，判斷其下一掃描像素點像素值，如果其為反差點則記錄下一掃描點座標值為起始點 A，否則繼續向下垂直掃描，直到條件成立。其掃描路徑如圖 49。在這反差點所指的是此像素點的值與前一個像素點的值互為補數，如像素值 0 的反差點則為 255；像素值 255 的反差點則為 0。

Scan path

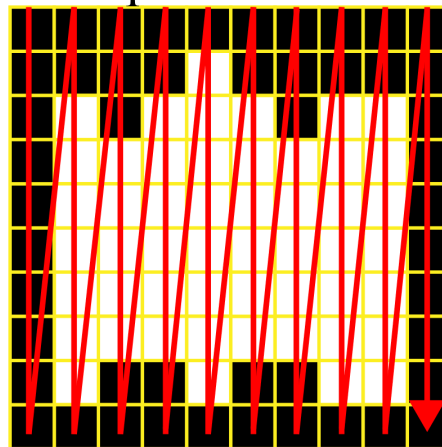


圖 49 細線化演算法掃描路徑圖

步驟二：延續上一步驟的位置 A 繼續下向做垂直掃描，判斷其下一掃描像素點像素值，如果其為起始點 A 像素值的反差點，則紀錄下一掃描點座標值為終點 B，並將初始值設為終點 B 點之像素值，否則繼續向下垂直掃描，直到條件成立或達到圖形邊界。

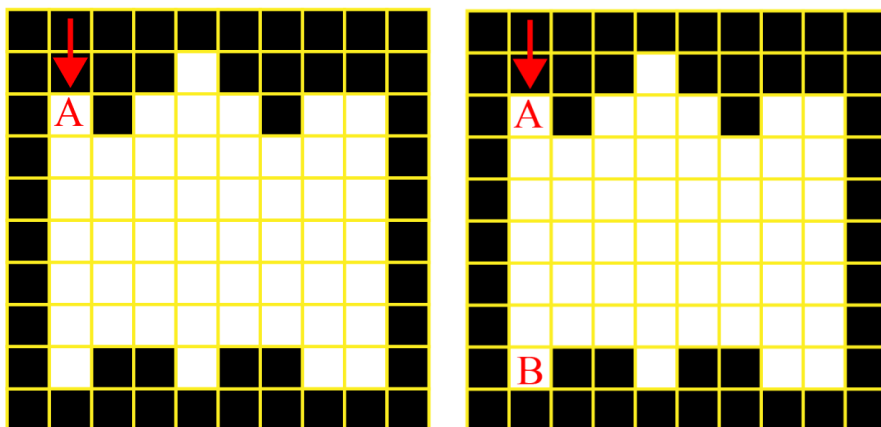


圖 50 細線化演算法 A 點與 B 點的判定

步驟三：找到起始點 A 以及終點值 B 之後，我們可以計算出中點座標 C(式 13)，並將 C 點像素值設為 255，起始點 A 到終點 B 之間其他像素點像素值皆設為 0，即完成一線段的細線化。接著回到步驟一反覆執行細線化，直到圖形到達下邊界完成一行像素之垂直掃描，並切換到下一行且回到步驟一。

$$C = \left\lceil \frac{A+B}{2} \right\rceil \quad (13)$$

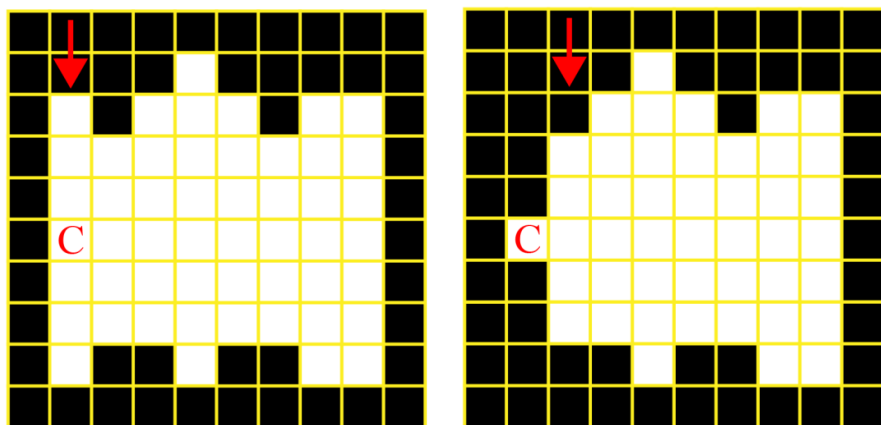
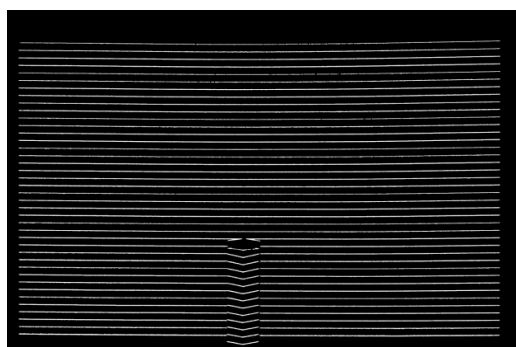


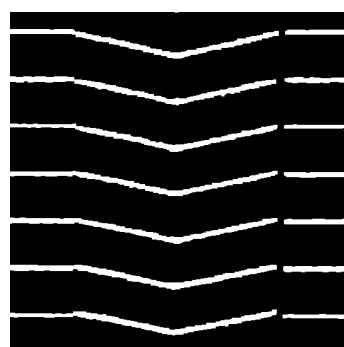
圖 51 細線化演算法 C 點

此細線化演算法對於本實習實作所採用之樣本編碼圖形，可以有效的進行細線化，由於圖片中的雜訊點以及邊緣資訊中的破洞，皆以經由前端相關

演算法進行優化，加上採用的方法對於投影端、擷取端所產生的誤差，因此用平均值的方式來計算可以將誤差值縮小，所以在細線化演算法可以得到不錯的結果。如圖 52 為細線化演算之結果圖，圖 53 為細線化前後之比較圖。圖 52(a)為型態濾波器後未使用細線化的邊緣資訊圖，而圖(b)為圖(a)的局部放大圖，圖(c)為將圖(a)輸入經過細線化的邊緣資訊圖，而圖(d)為圖(c)的局部放大圖。由圖(b)與圖(d)兩者比較，我們可以發現經過細線化的結果可以將原本的邊緣資訊萃取成單一像素之骨架資訊，我們可以從單一像素點的變化，得知線段整體變化的走勢，且圖(d)線段比起圖(b)線段，也較為平滑，圖(b)的邊緣起伏變化較為明顯，在判斷樣本編碼圖形的變化上容易產生誤判。圖 53 則是將圖 52(b)與圖 52(d)重疊在同一張圖片上，淺色底為未經細線化的結果，亮白色為細線化的結果，可以看到我們可以有效的將線段細線化並萃取其骨架資訊。



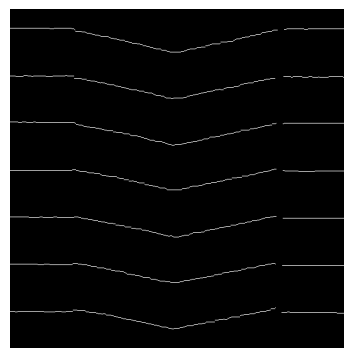
(a) 型態濾波器後影像



(b) 圖 a 局部放大圖



(c) 細線化演算法結果圖



(d) 圖 c 局部放大圖

圖 52 細線化演算之結果圖

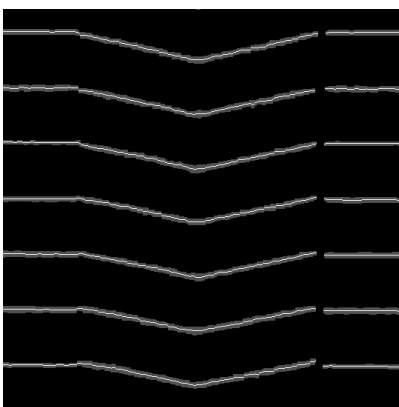
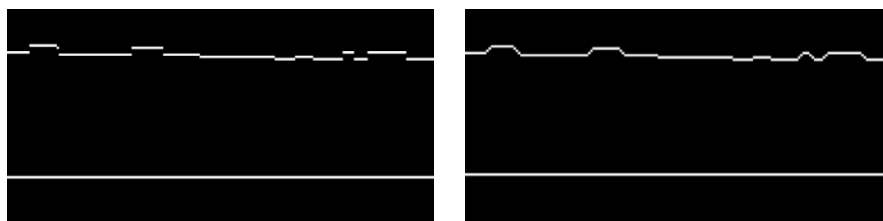


圖 53 兩者比較圖

邊緣修復

從細線化後的結果圖中，我們發現有些像素點與鄰近像素點因位移量過大，會造成像素點的不連貫，這會造成後端深度圖輸出時有錯誤的產生，因此我們必須進行修補演算法將這些斷點連接，其修復示意圖如圖 54，我們將對不連貫、斷開的線段進行修復。



(a) 邊緣不連貫

(b) 邊緣修復後

圖 54 邊緣修復示意圖

修復演算法將進行圖片的掃描，其掃描方向由圖片的左上角為起始點，進行水平掃描，依序直到圖片的右下角結束。其主要可分成六步驟來進行：

步驟一：當 P_0 像素值為 255 時，則對 P_0 進行條件的判斷，判斷 P_0 像素點是否為一斷點像素點，其判斷方式為以 P_0 像素點為中心取一 3×3 矩陣，偵測 P_0 像素點的右上角像素點 P_3 是否為像素值為 0 的像素點、偵測 P_0 像素點的右側像素點 P_5 是否為像素點、偵測 P_0 像素點的右下角像素點 P_8 是否為像素值為 0 的像素點，如果上述三個條件皆成立，則表示 P_0 為一斷點像素點，則會進行修補，如圖 55 所示。由於圖片掃描時是由左至右，所以步驟一僅需對右側進行條件的判斷。

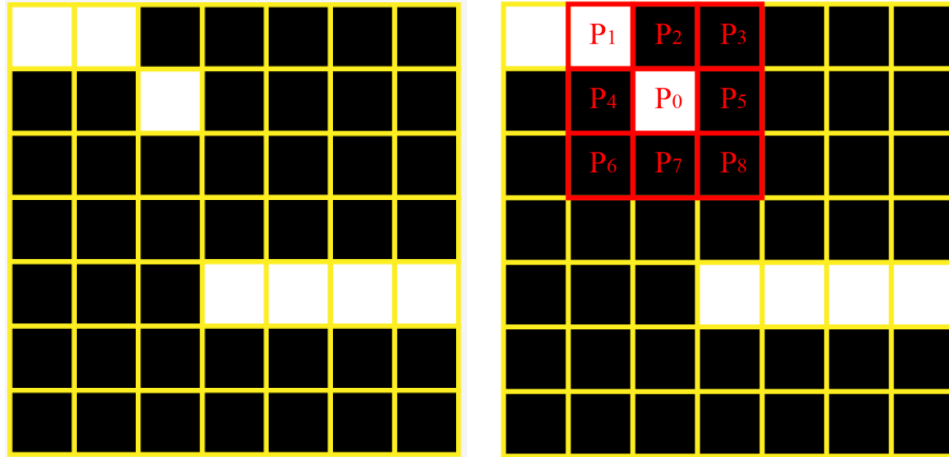


圖 55 邊緣修復步驟一示意圖

步驟二：當偵測出 P_0 為一斷點像素點之後，我們將會以 P_0 像素點右側當作找尋連接點的操作軸。其會依序由 P_3 像素點以一個像素點為單位向上找尋是否有非 0 的像素點；由 P_8 像素點以一個像素點為單位向下找尋是否有非 0 的像素點，如果找到有非 0 的像素點我們則會進行步驟三斷點連接。反之，如果在限定的搜尋範圍內向上、向下搜尋都沒有找到非 0 的像素點，則我們會判定 P_0 像素點為線段的端點，如圖 56 所示。

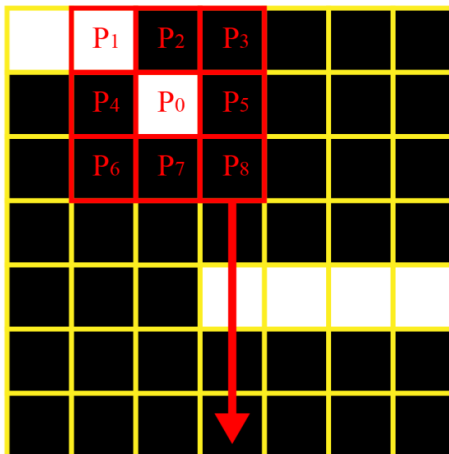


圖 56 邊緣修復步驟二示意圖

步驟三：找到需連接的像素點位置之後，我們將根據斷點以及連接點兩者的位置進行連結。如果連結點的位置是在 P_8 下方，我們將會把 P_0 像素點向下移動，並將連接點向上移動，將兩者連接。反之如果連結點的位置是在 P_3 上方，我們將會把 P_0 像素點向上移動，並將連接點向下移動，將兩者連接。之後我們

還須進行另一方向的檢查，確保 P_0 像素點不會因為此步驟的移動產生新的斷點，如圖 57 所示。

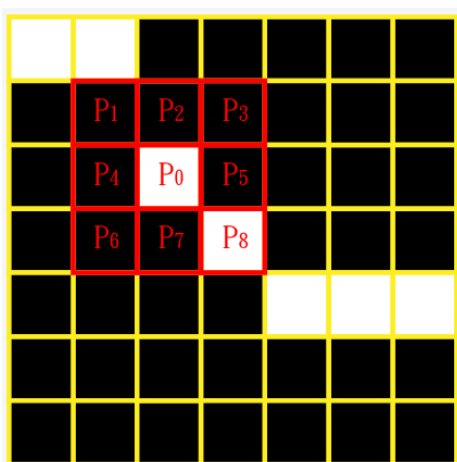


圖 57 邊緣修復步驟三示意圖

步驟四：在這步驟我們偵測移動後 P_0 像素點的左側，其判斷方式一樣以 P_0 像素點為中心取一 3×3 矩陣，偵測 P_0 像素點的左上角像素點 P_1 是否為像素值為 0 的像素點、偵測 P_0 像素點的左側像素點 P_4 是否為像素值為 0 的像素點、偵測 P_0 像素點的左下角像素點 P_6 是否為像素值為 0 的像素點，如果上述三個條件皆成立，則表示 P_0 左側也必須修補，則必須進行步驟五左側之修補。如果 P_1 或是 P_4 或是 P_6 為非 0 像素點，則 P_0 將往右移動到下一點，並回到步驟一。

步驟五：當偵測出 P_0 左側為一斷點像素點之後，我們將會以 P_0 像素點左側當作找尋連接點的操作軸。其會依序由 P_1 像素點以一個像素點為單位向上找尋是否有非 0 的像素點；由 P_6 像素點以一個像素點為單位向下找尋是否有非 0 的像素點，如果找到有非 0 的像素點我們將會進行步驟六斷點的連接，其如圖 58 所示。

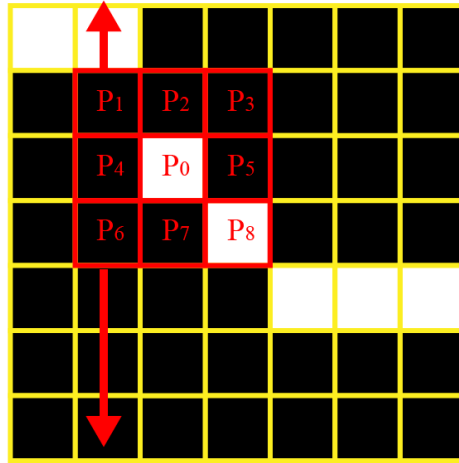


圖 58 邊緣修復步驟五示意圖

步驟六：找出需連接的像素點位置之後，我們將根據斷點以及連接點兩者的位置進行連結。如果連結點的位置是在 P_6 下方，我們將會把連接點向上移動，將兩者連接。反之如果連結點的位置是在 P_1 上方，我們將會把連接點向下移動，將兩者連接，如圖 59 所示。

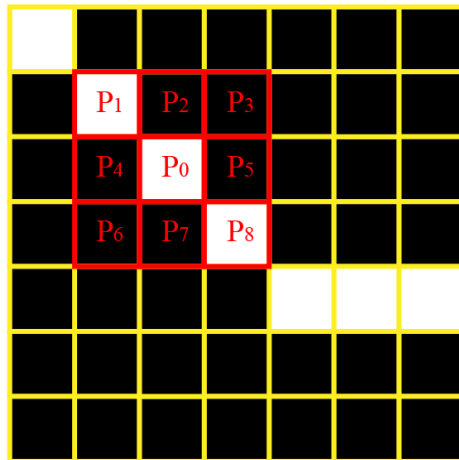


圖 59 邊緣修復步驟六示意圖

深度量化

接著，我們將接收到物體上的樣本編碼圖形，萃取出其邊緣資訊，接著我們將經由背景與物件上樣本編碼的標籤化以及配對，找出相對應之樣本，並經由我們建立的實際深度量測的梯度資料庫，可以快速的得知其實際深度距離，並將其產生實際深度圖。此外也可經由量化演算法的量化，將其量化成符合人眼視覺感官系統中的非線性深度變化。

背景與物件樣本標籤化

在這步驟，我們將先前已經處理過的物件遮罩與邊緣資訊圖做一交集運算，將物體上的樣本編碼圖形與背景的樣本編碼圖形分離，接著才能夠分別進行背景樣本編碼圖形(如圖 60)的標籤化以及物件樣本編碼圖形(如圖 61)的標籤化。

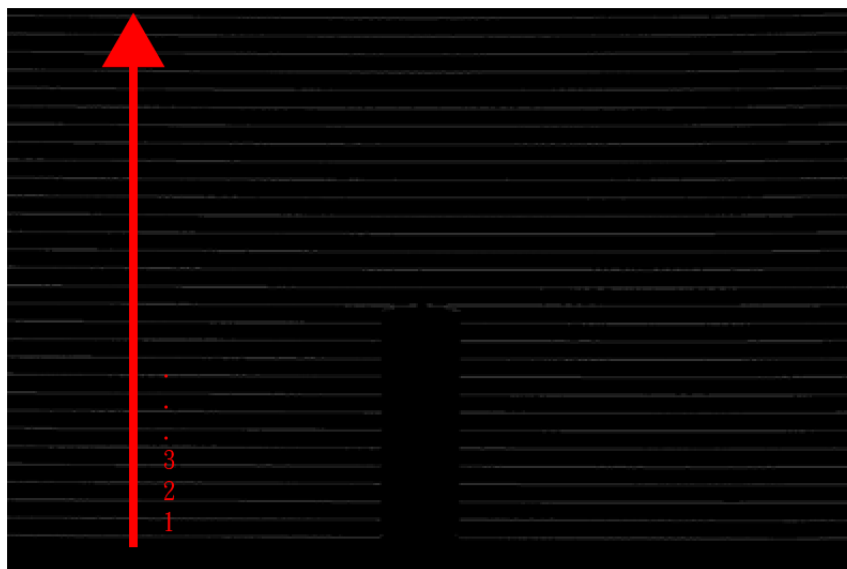


圖 60 分離背景編碼圖形

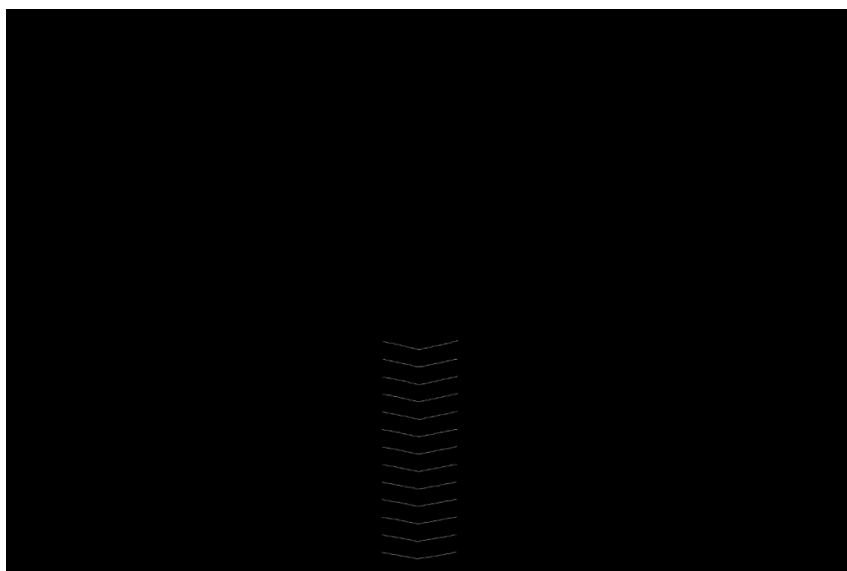


圖 61 分離物件的樣本編碼圖形

背景樣本編碼圖形的標籤化，將會由背景圖的下底部，依序進行由下至上的標籤動作，判斷其像素點是否為樣本編碼，如果是則將其標上標籤，並記錄下其點座標值，將會用在往後的梯度計算，如上圖 60 所示。在物件樣本

編碼圖形(如圖 61)的標籤化上，我們會先對其做虛擬配對線(Virtual Matching Line)，再進行標籤化動作，其用意在於避免配對時候產生錯誤，且可以使物件深度重建的範圍與物件遮罩一致，因此我們需先產生虛擬配對線。虛擬配對線的產生，必須先要定義一 ROI(Region of Interest)範圍為執行區域，ROI 的產生是根據前端所產生的物件遮罩，計算出其最左端點以及最右端點當作 ROI 的寬、最上端點以及最下端點當作 ROI 的高，有了寬跟高產生對應的長方形區域，則為虛擬配對線的 ROI。ROI 產生以後，我們將對區域內之物體樣本編碼圖形進行條件的判斷與虛擬配對線的產生，其演算法之步驟將於下列詳述。

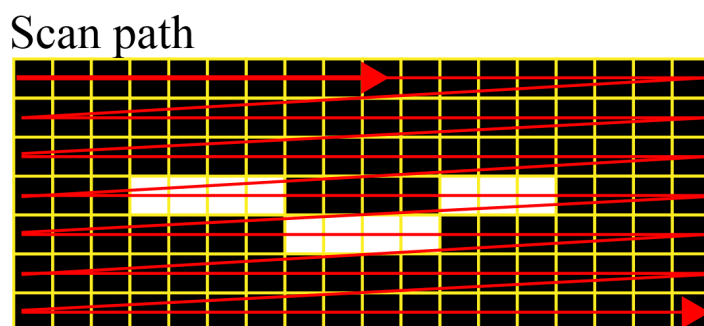


圖 62 虛擬配對線掃描路線圖

步驟一：虛擬配對線需對圖形依序掃描進行端點的判斷，其掃描範圍在 ROI 範圍之中，依序由左向右掃描。根據 ROI 範圍內的像素點進行判斷，採用 3×3 遮罩來進行，如果一像素點其左上、左、左下三個像素點皆無像素值，我們則把它歸類於線段起始點；如果一像素點其右上、右、右下皆無像素值，我們把它歸類於線段的終點，接著分別對起始點及終點進行各自虛擬配對線的產生。下式為歸類條件的判斷。

步驟二：歸類出端點為起始點或是終點後，我們將分別進行起始點與終點虛擬配對線的產生。如果像素點為起始點像素，將對其向左進行水平端點的延伸，並且會對所產生的虛擬點進行垂直掃描，上下掃描判斷是否有與其他虛擬配對線或是原本 ROI 範圍內實際物件上的樣本編碼圖形重疊，如果偵測出有重疊，則會結束虛擬配對線的延伸，回到步驟一找尋下一個端點。此用意在於避免重疊造成配對上的錯誤。如果像素點為終點像素，將對其向右進行水平端點的延伸，一樣會對所產生的虛擬點進行垂直掃描，判斷是否有與其他虛擬配對線或是原本 ROI 範圍內實際物件上的樣本編碼圖形重疊。

步驟三：依照步驟二之規則延伸直到 ROI 邊界停止，即返回步驟一掃描找尋下一個端點的位置。

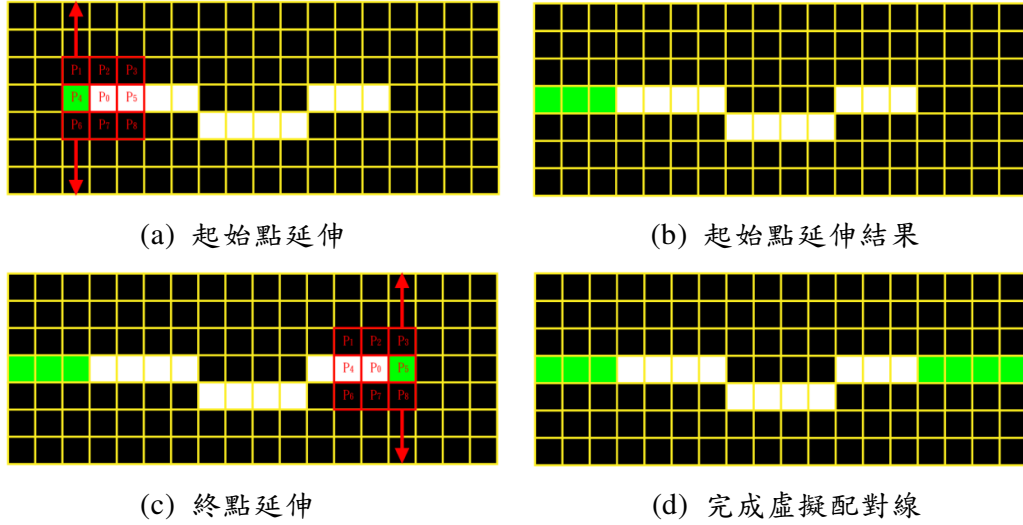


圖 63 虛擬配對線演算法過程

上圖 63 為虛擬配對線演算過程與執行結果之範例，綠色點為產生的虛擬點，白色為原物件上的樣本編碼， P_0 為操作點位置。完成虛擬配對線的產生後，我們就可以進行標籤化的動作，其標籤化方式與背景樣本編碼圖形標籤化動作是一樣的，將會由 ROI 範圍的下底部，依序進行由下至上的標籤動作，判斷其像素點是否為樣本編碼圖形或虛擬配對線上的點，如果是則將其標上標籤，並記錄下其點座標值。背景與物件樣本皆標籤化完成之後，我們就可以進行梯度的計算。

梯度之計算與梯度資料庫的建立

完成了背景與物件樣本的標籤化之後，我們就可以進行梯度值的計算，計算如下式 14。梯度值需要找到背景與物件上同一標籤之樣本圖形，接著再計算出其 x 軸座標差值與 y 軸座標差值，則為梯度值，其值代表的意思是物件距離背景的遠近關係，因為物件在背景的前面，所以原本投射在背景上的樣本圖形會跑到物件上，梯度值也就越大，在這我們的 x 軸座標差值(Δx)將採取固定大小，如此梯度值的大小才能表現出 y 軸座標的變化量(Δy)。

$$\text{Gradient} = \frac{\Delta y}{\Delta x} \quad (14)$$

實際上深度距離的量測，最常見的是利用三角幾何關係來進行量測。如圖 64 所示之三角關係，我們根據事先得知相機之光軸與物體的夾角 θ_c 以及投影機之光軸與物體的夾角 θ_p ，經過式 15 以及 16 的推導，可以得到 17 的式子，最後再經由式 18 求出 Z 值，即可得到欲量測之距離。其缺點在於必須是先量測出相關角度度數，才能經由三角函數的推導，得到深度距離。這種做法在硬體電路的實現上，耗費運算量，三角函數硬體的實現與複雜度，都是我們必須考量的點。因此我們採用將建立梯度資料庫的方式，達成硬體實現量測的功能，並且在精確度上也有不錯的結果。

$$\tan \theta_c = \frac{\Delta}{Z} \quad (15)$$

$$\tan \theta_p = \frac{E-\Delta}{Z} \quad (16)$$

$$\Delta = \frac{E}{\frac{\tan \theta_p}{\tan \theta_c} + 1} \quad (17)$$

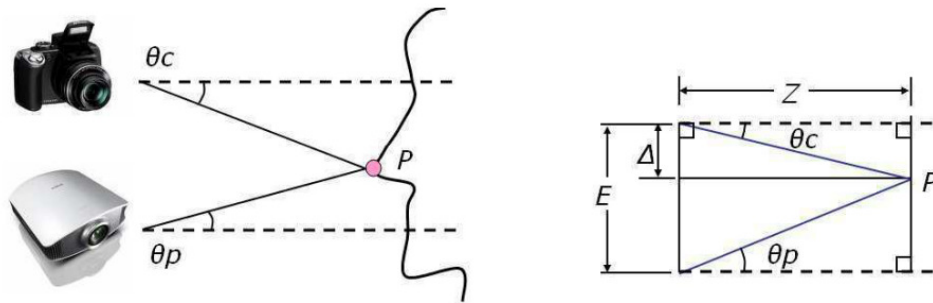


圖 64 三角量測示意圖

梯度資料庫的建立主要是經由單張白色平面物體的拍攝，我們依序從距離背景 5mm 處，每 5mm 的距離拍攝一次，拍攝 17 次取樣點，直到 85mm 處為止。由於投影機無法在過近的物體上投影，所以我們僅取樣到 85mm 處。接著對於所擷取的影像進行前面所描述過的各個演算法，包含邊緣的偵測、細線化等等演算法後，我們可以計算出其梯度值，每個取樣距離平面我們都輸入 20 筆梯度值並計算出其平均值，最後將其存入資料庫中，其量測取樣距離點以及其梯度值我們皆列於表 3 中，並繪出變化走勢，如圖 65 所示。

Distance	Gradient	Distance	Gradient
5mm	16.5	50mm	183.18
10mm	39.7	55mm	209.09
15mm	61	60mm	226.9
20mm	75.72	65mm	251.6
25mm	96.45	70mm	277.72
30mm	110.54	75mm	302.4
35mm	127.45	80mm	329.8
40mm	145.54	85mm	349.4
45mm	164.27		

表 3 實際梯度量測點與對照表

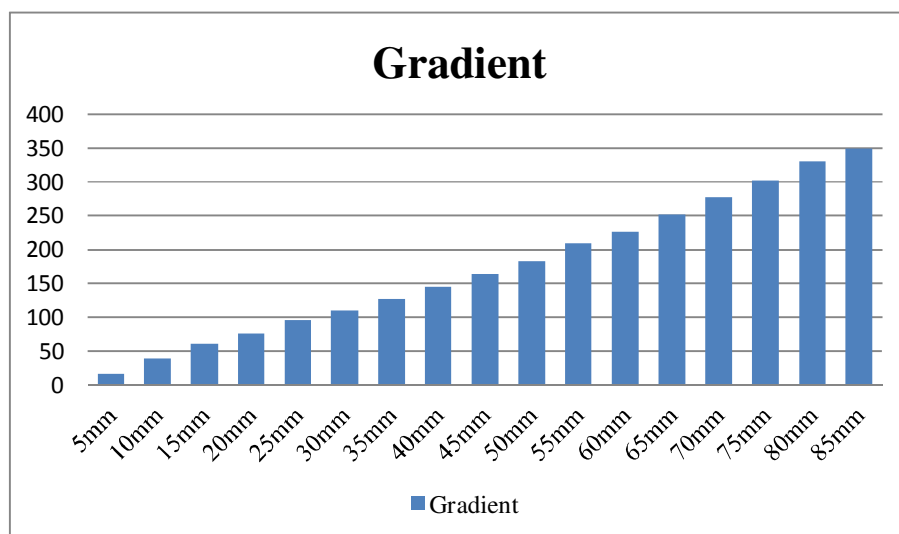


圖 65 量測梯度值走勢圖

由於實驗出的結果發現其對應曲線為非線性，因此我們將採取分段線性內插的方式，來計算出取樣點與取樣點之間的值，可以減少誤差量，如式 18。

$$F(x)=F(x_0)+(x-x_0)\frac{F(x_1)-F(x_0)}{x_1-x_0} \quad (18)$$

其中 () 為內插之結果數值， x 為內插點， x_1 與 x_0 為資料庫已建立梯度取樣點 ($x_1 > x_0$)， $F(x_1)$ 與 $F(x_0)$ 為內差點 x 的鄰近兩取樣點數值。

量化

計算出梯度值後，我們還考慮到人類視覺感官的效應，所以我們會將梯度值進行一次量化。由於人類視覺上對於物體的遠近距離感是呈現一非線性的深度視覺感，對於較近的深度變化會較為靈敏，因此會分配到較多的深度變化，其呈現出來的深度圖變化較多。較遠的深度變化則較為遲緩，其深度變化較少。如圖 29 所示，其中 D_{max} 為定義之深度最遠距離， D_{min} 為定義之深度最近距離， D 則為欲量化之深度值，其公式表示如式 19 所示。經由公式的運算，即可量化成人類視覺感官之深度變化。

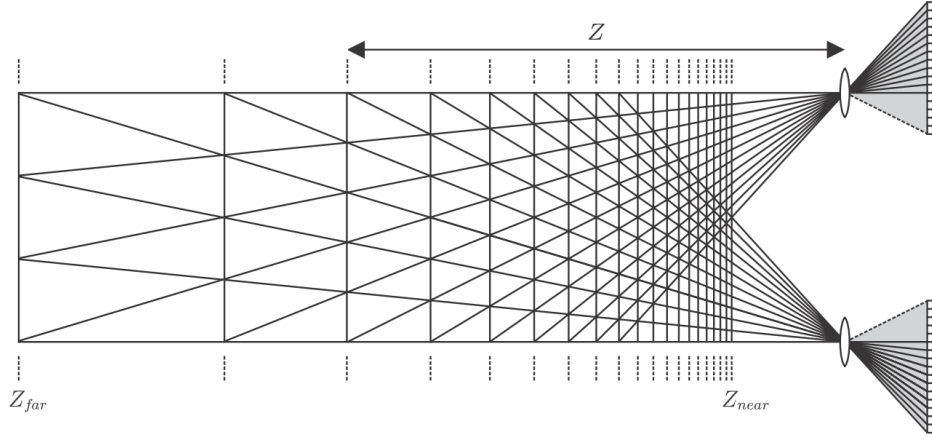


圖 66 非線性深度感官空間

$$\text{Depth Value} = \left(\frac{1}{Z} - \frac{1}{Z_{\text{far}}} \right) \times \left(\frac{Z_{\text{near}} \times Z_{\text{far}} \times 255}{Z_{\text{far}} - Z_{\text{near}}} \right) \quad (19)$$

深度圖輸出

最後，深度圖的輸出我們可以分成兩個部分，一是輸出經由梯度資料庫查表後之量測深度圖，其深度值所代表的意思為實際距離值；二是經由量化過後的深度圖，其對於人類深度視覺進行量化計算所產生之結果。此外由於我們在前端計算的時候僅以像素點為單位去做深度的重建，我們必須把它建構成多面體才能還原回原物件的模樣，因此我們將針對我們重建出的像素點進行填補的動作。其填補規則可區分為上、中、下三個區塊，對於樣本編碼圖形最上方的區間，由於這個區間沒有任何可重建的深度像素值，我們僅能向下找尋最近的深度像素點，並將其值複製填入上區間的像素點；中區間的像素點我們可以根據上方的像素點值，將其填補於這個區塊，直到遇到下一個深度像素點，則填入新的深度像素點值；最下方的區塊我們則會向上找尋最近的深度像素點，並將其值複製填入下區間的像素點中。最後我們就可以得到一張深度分布圖，在與物件遮罩進行一個交集的運算，就可以得到物件的深度圖了！

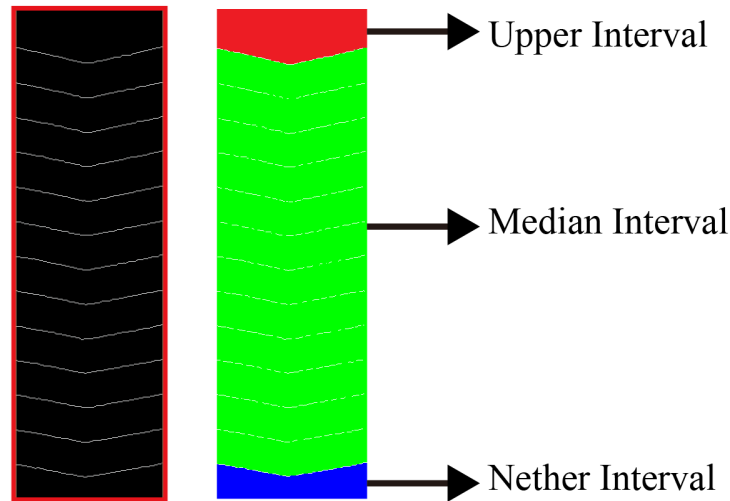


圖 67 填補區間示意圖

結論

本實習實作主要描述了「應用於立體電視之結構光法近物深度量測重建演算法」的整體研究架構以及演算法。我們實現了應用一般消費型投影機投影樣本編碼圖形以及經由數位相機的擷取，藉由我們提出的演算法包含前置處理、物件切割、邊緣萃取、深度量化四大部分，即可將樣本編碼圖形因為物件的遠近距離關係所產生的變形，將以分析、解碼，進而經由梯度資料庫的對應可以快速得到實際距離值，並可以在最後輸出實際距離的深度圖以及根據人眼深度感官所量化的深度圖，最後我們可以經由 3DTV(Digital Television)的 DIBR(Depth Image based Rendering)演算法將所產生的深度圖及原始彩圖進行合成，將可以呈現出物件產品的立體影像。

十. 德國工藝精神涵養-Ruhr 工業區參訪

為了涵養德國工藝精神，我們安排了一天的工業參訪，至德國工業發展時期的 Ruhr 工業區，學習德國嚴謹的工藝精神與技術。

魯爾(Ruhr)工業區位於 Essen，在科隆的西北方。魯爾工業區是德國，也是世界重要的工業區。位於德國西部、萊茵河下遊支流魯爾河與利珀河之間的地區。魯爾區的工業是德國發動兩次世界大戰的物質基礎。戰後又在西德經濟恢復和經濟起飛中發揮過重大作用，工業產值曾佔全國的 40%。

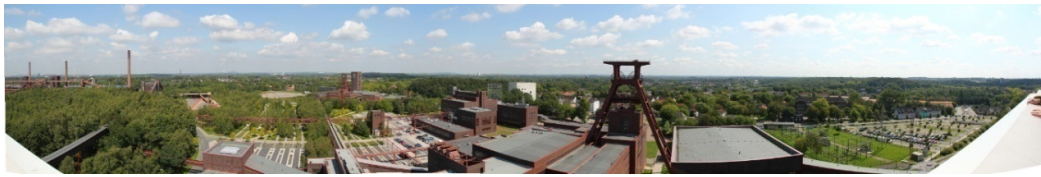


圖 68 魯爾工業區環景圖

魯爾工業區突出的特點是，以採煤、鋼鐵、化學、機械製造等重工業為核心，形成部門結構複雜、內部聯繫密切、高度集中的地區工業綜合體。魯爾區是以採煤工業起家的工業區，隨著煤炭的綜合利用，發展了煉焦、電力、煤化學等工業，進而促進了鋼鐵、化學工業的發展，並在大量鋼鐵、化學產品和充足電力供應的基礎上，建立發展了機械製造業，特別是重型機械製造、氮肥工業、建材工業等。同時，為大量產業工人服務的輕工業，如服裝、紡織、啤酒工業等也有了很大發展。50 年代以後，由於石油消費量逐漸增加，魯爾區的煉油業和石油化工工業也迅速發展起來。70 年代以後，電氣、電子工業有了很大發展。現在，魯爾區生產全國 80% 的硬煤，90% 的焦炭，集中了全國鋼鐵生產能力的 2/3，電力、硫酸、合成橡膠、煉油能力、軍事工業等均在全國居重要地位。戰後在世界一些以採煤工業起家的老工業區嚴重衰退的時候，魯爾區仍具有較強的生命力，隨著科學技術的進步，不斷調整區內的經濟結構與部門結構分不開的。

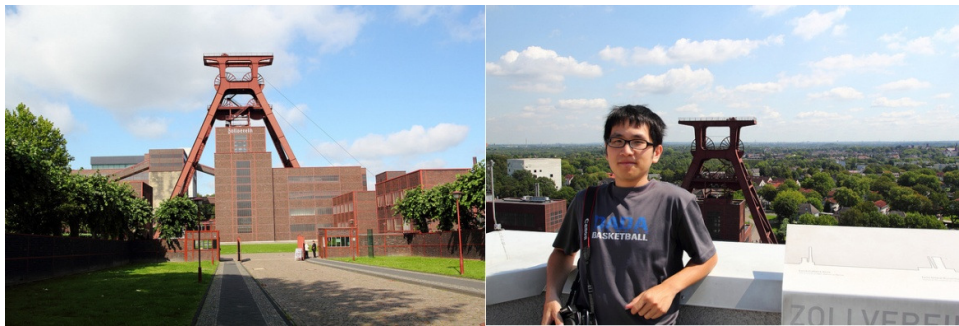


圖 69 魯爾工業區著名地標與合照



圖 70 魯爾礦場的內部

除此之外，魯爾工業區內有一個專區，裡頭擺放了許多因為採煤礦所挖掘出來的一些化石等物品，以及擺放以前所使用的一些物品，如傳統的蛇腹式相機、礦場用的通訊系統、監視監看器材等等，十分的有趣！



圖 71 礦場內使用過的器材

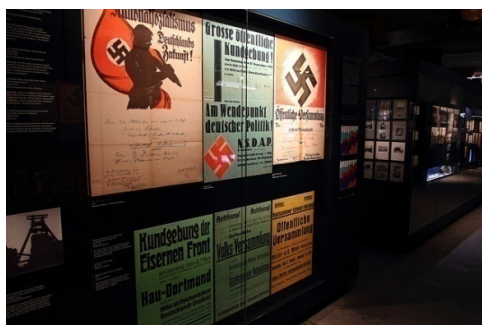


圖 72 陳列相關二次大戰文物

在這我深深體會到德國工業與工藝技術的強大，由礦場的盛大，不難想像當時德國相關產業的是多麼的興盛，也造就了他們現在強大的重工業基礎。

十一. 三維立體視訊系統的相關會議

最後，在實習結束前，我們參加了一個三維立體視訊系統的相關會議(*IEEE International Conference on Consumer Electronics - Berlin*)，與來自德國和世界各地從事三維立體視訊技術的研發人員，進行面對面的討論與意見交流，進一步了解現在三維立體視訊的技術與趨勢，為這一次學海築夢計劃畫下完美的句點。

第一屆的 *IEEE International Conference on Consumer Electronics - Berlin* 於 2011 年 9 月 6 日到 8 日舉行。ICCE Berlin 是今年剛成立的會議，並以 ICCE Berlin 為名在德國柏林舉辦，再加上其有兩天與 IFA 展覽同時舉辦，希望藉由 IFA 與 ICCE，使其能夠有進一步良好的發展。

這個會議行程中，穿插了不少的 Keynote 及 Oral Presentation，不同與大多數學術的研討會，是由各投稿作者發表各自的論文演講，而是闡述每個人各自多年來所累積研究的一些學術成果，這大概是消費性電子與一般領域不同的地方吧！本次會議的開場 Keynote 為「The Future of Digital Media: Interactive and Immersive」，點出了未來消費性電子產品的發展方向，勢必與 Interactive 脫離不了關係，將會是與人為主題、個人化的服務，使產品更貼近人類。



圖 73 ICCE-Berlin 會議狀況

特別的是，在研討會中還穿插了兩個特別的活動，一是 IFA 展覽的導覽；一是參觀 3D 實驗室。由於我們在前幾天的時候，已經深入詳細的把 IFA 展覽的參觀完了，所以我們並沒有在參與這次的導覽。參觀 3D 實驗室，我們則有報名參加，大會利用接駁車把大家帶到德國柏林國家級的學術單位參觀他們的實驗室，一個能夠在這麼重要的一個研討會中，邀請眾多老們參觀的實驗室，想必一定有其可觀之處！果不其然，一進去我們就被其環狀排列的螢幕以及多台陣列投影機的擺設給震驚了！另外他們使用的 3D 眼鏡採用的技術也很特別，是屬於分頻帶式技術的眼鏡，算是我第一次親眼見識到，其使用效果是目前我看過效果最棒的一種！

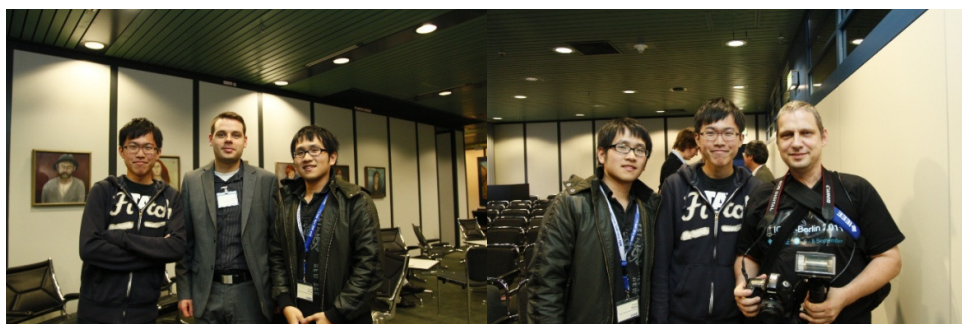


圖 74 與相關演講者、Fellow 合影照

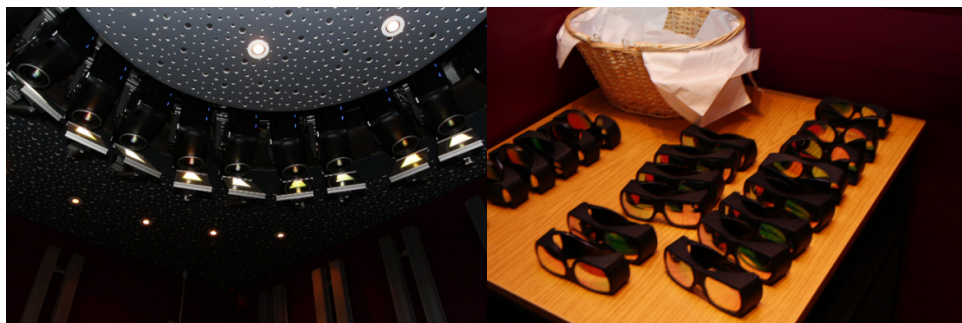


圖 75 環型排列 3D 視訊拍攝



圖 76 3D 螢幕的呈現與講解

十二. 感想

這次能夠來到德國這個國家進行學海築夢計畫的實現，真的是十分榮幸。在實習的過程中讓我對於三維立體視訊系統有更深入的了解，回國後對於課業以及研究工作有很大的助益，我將實習過程之中的成果寫成國際研討會論文- *Three Dimensional Interactive Video System Based on the DTHI Technology*，投稿至 **2012 IEEE International Symposium on Computer, Consumer and Control, IEEE IS3C 2012**，論文被大會所皆受，並將於 **June 4-6, 2012 至 IEEE IS3C 會議發表**，由此看出這次的實習對我而言有著深遠的影響。

實習雖然只有一個月左右的時間，但卻給了我們許多寶貴的經驗，在此非常感謝 范育成老師，能給我這個機會參與這次的計畫，且在國外的這段期間猶如父母般的照顧我們，由衷的感謝老師！也十分感謝明斯特大學的 蔣教授為我們安排如此精彩的學術交流的機會，對彼此都有進一步的認識，也見識到國外碩博士生研究的認真與努力，我們必須更加努力，並自我充實。最後，我將感謝過程

中曾經幫助過我的每個人，有你們的幫助才使的過程如此的圓滿，也很高興有這個機會能在求學期間，到國外體驗不同的文化與生活！當然，還要感謝我的父母親與弟弟給予我金錢與精神上的支持！



圖 77 德國柏林的博物館島