



國立交通大學
National Chiao Tung University

出國報告（出國類別：出國短期研究）

利用人眼追跡系統改善立體影像品質之演算法與顯示系統開發

服務機關：交通大學光電所

姓名職稱：張育誠 博士生

前往國家：荷蘭 Eindhoven

出國期間：2012/09/26~2012/12/31

報告日期：2013/02/26

一、摘要

近年來，由於二維顯示器方面技術的成熟，及一般大眾對於影像娛樂需求的不斷提升，立體顯示器已成為目前各大廠商和研究的主流，期望能藉此提供更真實的視覺感觀效果。為了使得人眼能夠感知到三維立體效果，目前有許多方法被相繼提出，包含了需要戴眼鏡的顯示器，以及不需要戴眼鏡的三維顯示器。然而，不論是哪一種方法，這些顯示器都有著無可避免的漏光，將會使得人眼在觀賞這些影像時，造成極度的不舒服，甚至使得觀賞者無法感知到立體效果。而各家廠商也都致力於解決這個問題，然而，在硬體上的結構總有它的極限，漏光仍然是無可避免的。

因此本計畫將克服這項缺點，利用這種必然會漏光的機制，透過影像處理並搭配人眼追跡，得知觀察者所在位置去改變輸出的影像，使得顯示出的圖像與漏光補償，讓觀賞者能夠看到與原本相同的影像。其中包括不同的影像演算法，並搭配了模擬平台去模擬不同狀況下的影像處理結果。最後透過相機拍下實際經過影像處理前後的圖像，比較之後，可以發現使用影像處理後，影像品質可以大幅提升，突破硬體上的極限。而最重要的是，此類的影像處理方法，可以運用在幾乎所有的三維顯示器上，並使得影像品質獲得良好的改善。

二、目次

一、摘要.....	2
二、目次.....	3
三、本文.....	4
(一) 目的.....	4
(二) 過程.....	4
研究概念.....	4
顯示器.....	5
人眼追跡系統.....	5
立體影像編譯.....	6
影像處理.....	8
人機互動介面.....	8
(三) 心得及建議.....	10

三、本文

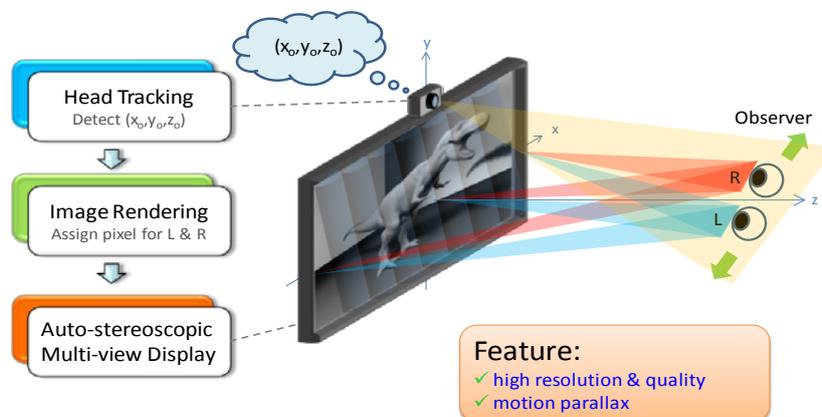
(一) 目的

主要以改善裸眼立體顯示器之影像品質為主要目的。但由於硬體本身有其精度限制，往往會有公差出現導致整體光學品質較設計上差，因此本研究是以影像處理為出發點來改善硬體先天上之缺點。由於裸眼立體顯示器對於使用者的所在位置相當敏感，固本研究亦加上人眼追跡系統，以獲取使用者所在之空間資訊，並利用此資訊給予使用者較佳的立體影像品質。

(二) 過程

研究概念

使用人眼追跡或人臉追跡獲取使用者的相對空間坐標，搭配立體影像編譯演算法，於裸眼式多視點柱狀透鏡立體顯示器投射出立體影像，以達高解析度與高品質立體影像，並且根據圖像來源可同時擁有動態視差(Motion Parallax)的表現，使影像更加逼真。其中立體影像編譯包含消除漏光(crosstalk)與畫素排列等演算法。



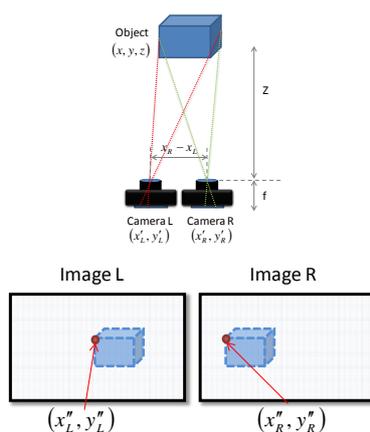
圖一：研究概念

顯示器

本研究採用裸眼式多視點柱狀透鏡立體顯示器(Multi-view Lenticular Auto-stereoscopic 3D Display)作為研究平台。由於一般多視點裸眼立體顯示器的影像品質取決於視點多寡與其透鏡設計，視點越多整體影像之解析度會跟著下降，導致影像品質下降。固本研究所採用之多視點裸眼立體顯示器有別於一般多視點裸眼立體顯示器的設計，其透鏡之周期排列並非像一般多視點裸眼立體顯示器一樣，與面板畫素周期成簡單之整數比，而是非簡單整數比。這樣的設計會使立體影像編譯難度提升，且其影像編譯有其最佳觀賞距離的範圍，超過此範圍影像將會破碎不堪，但在最佳觀賞距離內，可以獲得接近於帶眼鏡式立體顯示器(Stereoscopic 3D Display)。雖說一般多視點裸眼立體顯示器也有其最佳觀賞距離，但其範圍相較於此設計為廣，不過影像品質較差。

人眼追跡系統

目前採雙鏡頭與單鏡頭並行研究，並於計畫結束前探討此兩系統之精度差異。雙鏡頭設計為模擬人之雙眼觀看物體，如下圖二，可藉由以下公式將兩影像轉換成物體相對於雙鏡頭系統中心的座標。



圖二：雙鏡頭人眼追跡系統

$$\text{Camera Disparity} : x_R - x_L$$

$$\text{Image Disparity} : x''_L - x''_R$$

$$(x_R - x_L) = \frac{Z}{f} \times (x'_R - x'_L)$$

$$(x'_R - x'_L) = (x''_R - x''_L) \times P_{CCD}$$

$$\Rightarrow Z = \frac{(x_R - x_L)}{(x''_R - x''_L)} \times \frac{f}{P_{CCD}}$$

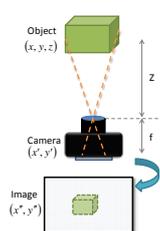
由於此系統著重在人眼追跡與辨識，故其演算法會先辨識人臉位置，並排除非人臉影像，借以縮短運算時間，實現即時運算。

而單鏡頭人眼追跡系統（如下圖三）相較於雙鏡頭有實行上困難，若無任何起始數據，其資料錯誤率將會大幅上升，故在系統運行前會有一個初始化的互動介面來引導獲取使用者之初始資訊，而目前以人的頭部大小作為其初始化準則，其運算公式如下。

$$\Delta x = \frac{Z}{f} \times \Delta x'$$

$$\Delta x' = \Delta x'' \times P_{CCD}$$

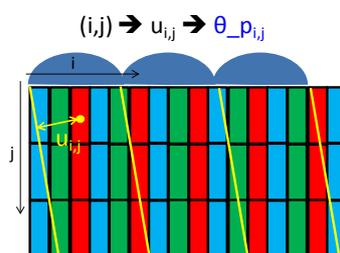
$$\Rightarrow Z = \frac{\Delta x}{\Delta x''} \times \frac{f}{P_{CCD}}$$



圖三：單鏡頭人眼追跡系統

立體影像編譯

首先必須知道畫素經過柱狀透鏡之後於空間之投射角度，這樣才可以在立體空間中得知哪些畫素是必須開啟並選擇其適當的影像，故先將畫素和柱狀透鏡的相對位置計算出來，並根據其相對位置將其歸一化，如下圖四所式， (i,j) 為畫素坐標， u 為畫素與透鏡之相對距離， θ 為其投射角度。

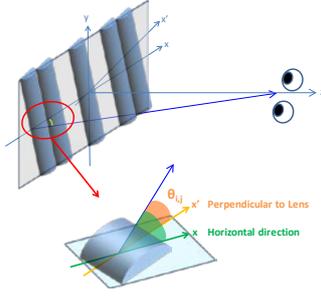


圖四：畫素與透鏡相對位置

當畫素之投射角度計算完成後，在已知人眼位置後可計算人眼觀看每個畫素之視角，如下圖五所示，之後便可以開始進行影像編譯。其編譯規則為將人眼觀看畫素之角度和畫素投射角度做比較，若在一定範圍內則進行輸入影像畫素值，若超出範圍則可選擇不輸入影像畫素，或將其作為緩衝空間，以增加對人眼

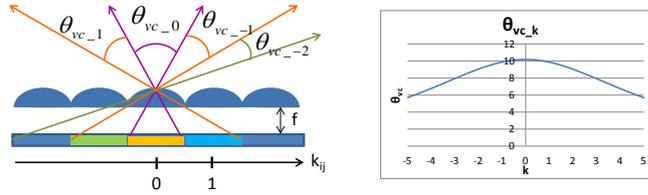
追蹤系統之誤差容忍度，如下公式所示。

$$\text{If } |\theta_{-p_{i,j}} - \theta_{-h_eye_{i,j}}| \leq \frac{\theta_e}{2} \Rightarrow \text{Turn on the pixel}$$



圖五：畫素投射角度示意圖

但是由於畫素投射角度於透鏡系統中並非為固定周期且非線性，如下圖六所示，Viewing Zone 於中央視角往大視角漸漸縮小，為非周期性，且其變化亦非呈線性變化，故必須稍做修正，如下公式。



圖六：非線性與非周期性之畫素投射角度

$$f = \frac{\tan(\theta_{vc_0}/2)}{P_{lens}}$$

$$k_{i,j} = \frac{f * \tan(90 - \theta_{i,j})}{P_{lens}}$$

$$\theta_{vc_ki,j} = \tan^{-1}\left(\frac{(k_{i,j} + 0.5) * P_{lens}}{f}\right) - \tan^{-1}\left(\frac{(k_{i,j} - 0.5) * P_{lens}}{f}\right)$$

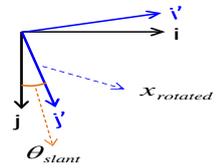
最後根據觀看畫素之角度和畫素投射角度之比較後，即可輸出影像，其完整公式如下：

$$x_{rotated} = \cos \theta_{slant} * (i - 0.5) * \frac{P_{pix}}{3} - \sin \theta_{slant} * (j * 3 - 1.5) * \frac{P_{pix}}{3}$$

$$u_{i,j} = \text{mod}[x_{rotated}, P_{lens}]$$

$$\theta_{-p_{i,j}} = \theta_{vc} - u_{i,j} * \frac{\theta_{vc}}{P_{lens}}$$

$$x'_o - L = \cos \theta_{slant} * (x_o - \frac{d_{eye}}{2}) - \sin \theta_{slant} * y_o ; x'_o - R = \cos \theta_{slant} * (x_o + \frac{d_{eye}}{2}) - \sin \theta_{slant} * y_o$$



In left eye case :

$$\theta_{-L_{i,j}} = \text{mod}[(\tan^{-1}(\frac{z_o}{x'_o - L - x_{rotated}}) + 360), 180]$$

$$\theta_{-h_{-L_{i,j}}} = \text{mod}[(90 + \frac{\theta_{vc}}{2} - \theta_{i,j} - L), \theta_{vc_ki,j}]$$

If $|\theta_{-p_{i,j}} - \theta_{-h_{-L_{i,j}}}| \leq \frac{\theta_e}{2} \Rightarrow \text{Turn on the pixel}$

In right eye case :

$$\theta_{-R_{i,j}} = \text{mod}[(\tan^{-1}(\frac{z_o}{x'_o - R - x_{rotated}}) + 360), 180]$$

$$\theta_{-h_{-R_{i,j}}} = \text{mod}[(90 + \frac{\theta_{vc}}{2} - \theta_{i,j} - R), \theta_{vc_ki,j}]$$

If $|\theta_{-p_{i,j}} - \theta_{-h_{-R_{i,j}}}| \leq \frac{\theta_e}{2} \Rightarrow \text{Turn on the pixel}$

P_{pix} = pixel size
 P_{lens} = lens pitch (perpendicular to slant angle)
 θ_{slant} = slant angle
 θ_{vc} = viewing cone
 θ_e = extended angle
 d_{eye} = eye distance
 (x_o, y_o, z_o) = position of observer

影像處理

這邊的影像處理著重於消除立體顯示器的漏光(Crosstalk)，使用的方法是實驗所研究發展的 Digital Crosstalk Reduction(DCR) Method。於裸眼式多視點立體顯示器(Multi-view Auto-stereoscopic 3D Display)中，漏光現象較戴眼鏡式複雜，每個視點皆會互相影響，如下公式所示：

$$X_{3Di}(\theta) = \frac{\sum_{j=1}^{\# \text{ of views}} (Y_{3Dj}(\theta) - Y_{3DK}(\theta)) - (Y_{3Di}(\theta) - Y_{3DK}(\theta))}{Y_{3Di}(\theta) - Y_{3DK}(\theta)}$$

$$X_{3D} = \frac{1}{\# \text{ of views}} \left(\sum_{j=1}^{\# \text{ of views}} X_{3Dj} \right)$$

故我們使用矩陣的方法以簡化上述之表示式：

Crosstalk Matrix:

$$\begin{bmatrix} 1 & e\% & i\% & m\% & r\% \\ a\% & 1 & j\% & n\% & s\% \\ \color{red}{b\%} & \color{red}{f\%} & 1 & \color{red}{p\%} & \color{red}{t\%} \\ c\% & g\% & k\% & 1 & u\% \\ d\% & h\% & l\% & q\% & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \\ I_4 \\ I_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} O_1 \\ O_2 \\ \color{red}{O_3} \\ O_4 \\ O_5 \end{bmatrix}$$

Where
 I: input image
 O: output image
 a.b...u: crosstalk influence

Crosstalk Matrix [X] Input Matrix [I] Output Matrix [O]

這個方法的主要精神是將最後輸出設定為使用者該看到的影像，並計算輸入影像的值。根據上述公式，使用反矩陣之運算可將其結果計算出來：

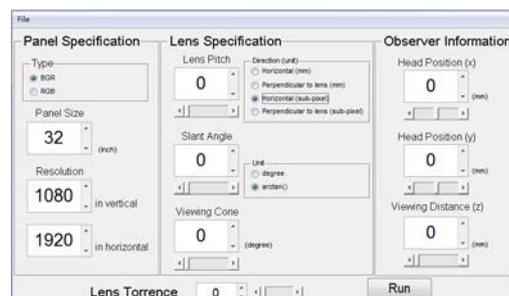
$$[X] \times [I] = [O]$$

$$\Rightarrow [X^{-1}] [X] \times [I] = [X^{-1}] [O]$$

$$\Rightarrow [I] = [X^{-1}] [O]$$

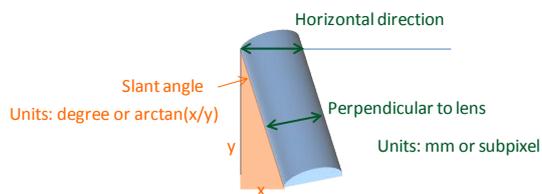
人機互動介面

除了以上的硬體系統與演算法外，本研究亦設置人機互動介面，此介面之目的是讓本研究之演算法可用於所有的裸眼式多視點立體顯示器。為了達此目的，需要有計算通式與欲使用之面板規格和透鏡規格，如下圖七所示：

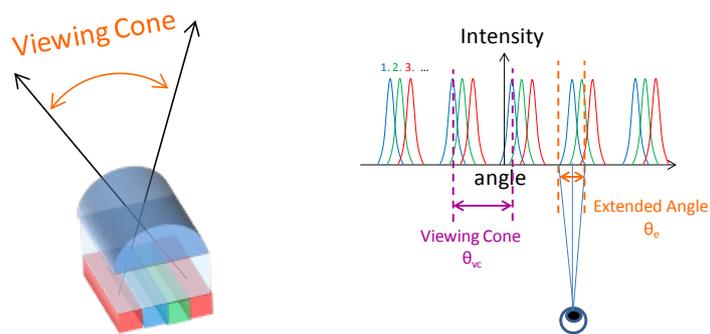


圖七：人機互動介面

其中 **Type** 是指面板畫素之排列，其他為面板尺寸與解析度。而透鏡規格需包含透鏡周期、貼合傾斜角(Slant Angle)以及 **Viewing Cone**，其各自是意圖如下圖八、九。



圖八：透鏡周期與貼合傾斜角



圖九：Viewing Cone 示意圖

而最右邊的使用者資訊會自動從人眼追蹤系統產生，當按下運行按鈕後，便會於顯示器上觀看到立體影像。

（三）心得及建議

這次很榮幸能夠申請到荷蘭飛利浦的 3D 顯示部門實習，雖然飛利浦已經宣布將旗下所有顯示部門移出母公司，但 3D 顯示部門在國際上仍占有重要一席之地，主要的原因還是在於專利，該部門掌握了裸眼立體顯示最基礎的專利，間接導致各面板廠雖然已有足夠量產裸眼立體顯示器的技術，卻只能等待專利期限的到來。

由於我實習的地方是公司的研發單位，而非學術單位，而碰巧本實驗室鼓勵學生於暑假期間至國內公司參與實習，故對國內公司的研發單位亦有過短期接觸，所以就將國內外公司做個比較。國外公司與國內公司的研發單位本質上有很大的不同，國內已研發單位以現階段可生產為產品為其主要方向，鮮有兩年以上的產品開發與研究，不過這也是逼不得已的辦法，國內產業發展時間相較於國外公司短，所以在起步較晚的情形下，基礎專利通常已在其他公司，故在現階段皆以產品走向，以維持公司營運。在國外由於他們起步較早，享有不少優勢，故研發單位就不以近年內的產品作為發展方向，而是挑戰較為前瞻之技術，也由於非產品導向，整體研發單位皆較專心於研究，而非像國內研發單位需到處疏通於各部門，常因人為因素花去不少時間，所以國外研發單位研究時間較為充足也較有效率，這是我們必須去好好思考。國內擁有的人才為數不少，但卻花費大部分精力在疏通人為因素所造成的問題，使得國內產業近年來進步趨緩，這點是我實習這段期間最大的感觸。

再來是人方面，在與該公司研發單位相處其間，最常聽到的是「Why Not？」這個詞，他們對於新事物、新方法或是沒見過的提案總是抱好奇心與期待，不管其他人有沒有做過，只要視他們沒試過的，一定會先試試看，而非先行否決。我們常常被既有的規則所束縛住，總想說這個方法不行、那件事情應該有人做過等等，所以常常略過不少好點子。

最後感謝教育部之「邁向頂尖大學計畫」的補助，以及交通大學研發處的

幫忙，讓我順利申請到這筆經費。期望在這段期間所做之研究能對國內學術單位與相關產業有所幫助，畢竟其使用的方法是國內相關產業前所未見的，也未見於學術著作上。

關於建議方面，我想教育部補助學生出國研究，最主要是希望能從國外的學術單位與業界學習新的知識與技術回來，而對相關科系與產業有所幫助，所以最後會需要有個報告書。但是報告書所能表達的或許稍嫌不足，一方面是語言不同，另一方面新的技術也許不是兩三頁的報告書就能表達清楚，這樣最後受益的也只有受補助的個人而已。或許需要提供一個討論平台給相關的科系與產業，這樣比較能將從國外獲得的成果做最大的利用，進而提升相關科系與產業的知識，有些東西或許不是最新的，但作法與切入點不同，會給予作相關研究的人有些不一樣的啟發。另外由於目前的研究很多開始趨向整合型，像這次我的研究整合了立體顯示與人眼追蹤等技術，也就是需具備各領域之專長才能進行，故希望能多多舉辦相關研討會與演講，讓學生能得到更多領域的概念與知識。