

基於視差分佈的特性改善立體影像視覺舒適度

胡尚仁

林宗翰

國立台灣科技大學 色彩與照明科技研究所

e-mail: {M10025010, thl}@mail.ntust.edu.tw

摘要

現今 3D 顯示技術已發展的非常迅速，然而僅有少數 3D 軟體提供立體影像的方式觀看，再者觀看自製的立體模型時往往產生出視覺舒適度不甚理想等情況，讓人無法長期凝視，因此 3D 立體影像模型的呈現變成了一門重要的課題。由於 3D 模型在立體影像模式中，往往由使用者自行調整相機參數而無法確保觀看時的視覺舒適，故本研究首先探討立體相機的調變對於舒適度所造成不同的變化，並分析 3D 影像的立體視差分佈，進而改善視覺舒適度。我們採用虛擬相機模擬立體影像，以 OpenGL 實作立體瀏覽環境，並且探討不同的 3D 虛擬相機擺設方式、相機夾角、視差分佈等變數所產生的立體影像，在未來將發展自動調變機制，以確保大部份的視差都落在舒適範圍內，讓使用者瀏覽 3D 畫面時，全程皆可融合立體影像，以減少不舒適的問題。

關鍵詞：視覺舒適度，視差分佈，立體顯示。

Abstract

Recently, the development of the stereo display technology progresses fast. However, less three-dimensional software provides quality stereoscopic render. In using this kind of software, users sometimes have discomfort experience when viewing stereoscopic models. So, producing quality stereoscopic 3D technology becomes an important issue. Under improper camera parameters, users will provoke eye fatigue and feel uncomfortable. We propose a stereoscopic camera adjustment algorithm for improving visual comfort and preference of stereoscopic images. In this paper, we test different visual camera's positions, convergence angles, and parallax distributions in OpenGL. When users use this system, the vast majority of the parallax will be constrained in the safe range. It is helpful

to improve 3D visual comfort and make 3D display popular.

Keywords: visual comfort, parallax distribution, stereoscopic render.

1. 前言

3D 立體影像(stereoscopic image)是利用人眼的立體顯示視覺，將左右眼影像融合在大腦中，使觀眾對平面影像產生立體深度，然而隨著科技日新月異的進步，3D 立體影像已成為娛樂工業的一大版圖[1][2]。近期已有許多 3D 電影從好萊塢上映，無不結合 3D 立體影像，創造了令人驚奇的感官，3D 電影也逐漸被人們接受，應用層面更是廣，舉凡醫療影像、建築設計、數位多媒體、工業設計、機械設計、遊戲產業、電影工業等都依賴 3D 圖學技術呈現擬真的 3D 模型。雖然立體影像技術不斷提升，但仍有許多視覺舒適度以及使用者介面等問題需要去解決。近年已有許多文獻針對舒適度做研究，而影響舒適問題主要為鬼影(crosstalk)、閃爍(flicker)、剪切變形(shear distortion)、楔型變形(keystone distortion)、模糊(blur)現象等[3]，然而這些問題都可藉由軟體呈現技術去做改善[4][5]，使得觀賞 3D 模型時可保有 3D 深度效果而不至於無法融合而導致不舒適的感官。

由文獻的探討可得知，過大的視差容易產生觀看的不適感[6]，傳統的改善方法是將左右影像對依照特徵點匹配運算，求出拍攝時左右兩相機的世界座標，再依據相機位置求取相關深度資訊並將左右兩影像依照深度資訊重建立體影像對[7]，但這不僅需要龐大的運算更有可能造成影像變形與影像品質降低。因此我們採用視差分佈圖(parallax distribution)做為量化的統計數據，透過成像前的 3D 影像演算技術，不僅可以省去成像後再做校正的龐大計算及誤差，更可自動調整雙眼視覺的視差，進而達到較佳的 3D 立體影像呈現效果。

2. 技術文獻回顧

2.1 立體影像投影方式與計算

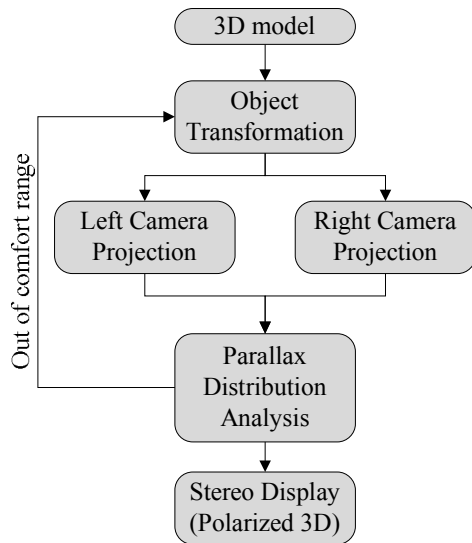


圖 1 三維立體影像轉換的處理流程

電腦圖學中投影方式分為平行投影及透視投影，平行投影常見於工程製圖領域的側視圖，輔助使用者更直覺地調整三維圖形；透視投影常見於多媒體與電影產業，為了表達誇張的 3D 特效，透視投影採用單點投射的方式與觀看物體角度、觀看距離、相機視角有關。本研究即採用兩個透視投影成像，並合成立體影像，整體流程包含五大步驟(見圖 1)，分別為步驟一：模型定義座標值，步驟二：模型座標轉換至世界座標原點以利透視投影成像，步驟三：由左右相機拍攝所觀看到的影像，步驟四：視差分佈分析處理，若不符合人眼舒適範圍則重新調整影像，使視差分佈最終落於理想範圍內，步驟五：於 3D 螢幕中呈現立體影像。為了便於計算，我們採用水平並排模式，並以偏光式顯示器進行人因實驗。

2.2 平行式立體相機拍攝

對於立體影像顯示效果，理想上是應有立體深度感，且無不舒適感覺，基本上可區分為兩個層面問題：一為拍照相機的配置，包含左右相機距離、夾角、視野與拍攝距離等，另一個問題則是使用者在什麼設備上觀看，包含觀賞距離、螢幕尺寸等外在環境因素。平行式立體成像的推導是由 Pockett 所提出，而在文獻[8]中提到平行拍攝等設備，大多應用於手機、相機等多媒體設備，因此針對平行相機應如何放

置，拍攝距離應從何處拍，做些許貢獻。他的研究限制觀看距離為 40~70cm，屬於手持設備或小型螢幕觀測距離，而架設立體相機距離約 10~80mm 擺置，經由測試結果得知，相機距離差越大則拍攝距離須放置更遠處拍，才会有立體感且易觀賞。

2.3 匯聚式視差與像差計算

人眼在觀看物體時可藉由多個深度線索(depth cues)來判斷空間中物體的相對位置，單憑一眼即可獲得深度資訊。深度線索包括雙眼視差(binocular parallax)、移動視差(motion parallax)、透視(perspective)、遮蔽(occlusion)、相對大小(relative size)、材質與陰影(shading and shadows)[9]。最常被引用的深度線索為雙眼視差(binocular parallax)，如圖 2 所標示，我們定義視差為觀看立體物件時的視線方向夾角 α 與一般觀看螢幕狀態下夾角 β 的差值。

舒適評估範圍是藉由視差角的大小做為評判依據，一般而言，畫面中各區塊所產生的立體視差很可能不相同，我們無法主動猜測使用者會觀看畫面中的那個區塊，因此採用視差分佈圖來分析。視差計算如方程式(1)與(2)，由左右投影視圖及螢幕大小得知，且此方程式適用於並排且影像寬縮半的影像，(1)式中像差 D_p (單位 pixel)藉由左右影像的像素水平位置差值而推導出；(2)式中則將像差根據螢幕比率 W (影像寬度單位 pixel)、 S (螢幕寬度單位 cm)轉換為 D_s 。根據三角幾何關係可進一步的得出視差值 P ，如方程式(3)。此方程式是由人眼瞳距 IPD 以及人眼觀看螢幕距離 L 所推導而成的大多考慮螢幕正中心的視差推導模型，而不考慮梯形變形的垂直像差因素，主要乃是模型多為單體無背景，故背景梯形變形影響不大。

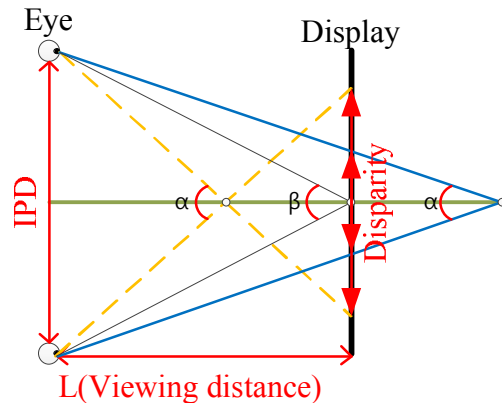


圖 2 立體影像於雙眼視差示意圖

$$D_p = 2(x_R - x_L - \frac{W}{2}) \quad (1)$$

$$D_s = \frac{D_p \times S}{W} \quad (2)$$

$$P = 2[\tan^{-1}(\frac{IPD}{2L}) - \tan^{-1}(\frac{IPD - D_s}{2L})] \quad (3)$$

3. 研究方法與結果

一般而言，呈現三維模型的軟體(例如 Meshlab 軟體)通常都假設只有觀看單一三維模型，並進行編輯或瀏覽。而我們的實驗即採用這種觀看方式，進一步統計與調整視差分佈，使得所有的視差皆可落在安全範圍。

3.1 視差分佈分析處理

當三維模型資料匯入後，一般程式即把模型中心移至原點，並設定相機觀看。在預設立體瀏覽的狀態下，我們假設虛擬相機擺設位置以及虛擬相機視野(FOV)是在理想範圍，換句話說即是將影像視差範圍控制在零視差左右。

2010 年，Lang 等學者於 SIGGRAPH 發表了 non-linear disparity remapping 技術[10]，其技術可將 3D 效果不良的影片重新分配 disparity，使得 3D 強度大小可以限制在特定範圍內，讓人觀看起 3D 立體影片的不舒服感降低，其技術可以應用於後製處理，可大幅降低影片重新製作或重新拍攝的成本，然而這種作法需要有很穩定且快速的特徵匹配演算法才能達到。而傳統作法是採用立體模型網格在左右畫面的像差估算，為了簡化計算，大多採用網格重心的像差，並且以網格面積為權重加速計算[11]。然而當網格數量多，則勢必影響演算效率，故我們直接擷取顯示卡的深度資料(depth buffer)，根據不同的相機參數配置，以相似性特性將深度圖轉換為進似的視差分佈圖，藉以達到即時運算(採用十種不同模型，總面數約一萬至八萬個，所測每個模型的執行時間約 50 毫秒內即可算出視差分佈)。然而影響視覺舒適度的視差分佈主要由視差範圍(parallax range)、以及視差平均值(mean parallax)所影響(圖 3)，故本研究中，我們為了取得近似的極凸與極凹值，採用 20-80 評估法則，換句話說根據視差分佈圖的累計統計達 20 與 80 百分比位置所對應的視差值(圖 4)，即是我們所認定畫面具有多凸與多凹的量化數據，最後根據這個數據調整並評估舒適區間範圍。

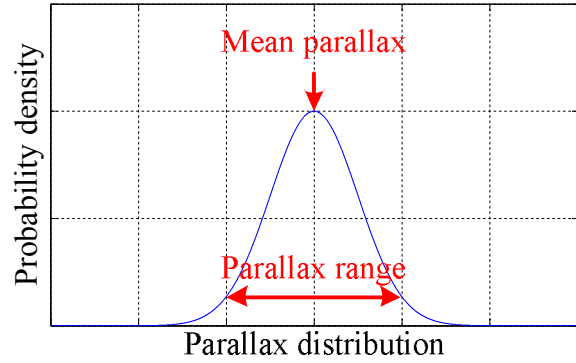


圖 3 調變視差依據平均視差以及視差範圍

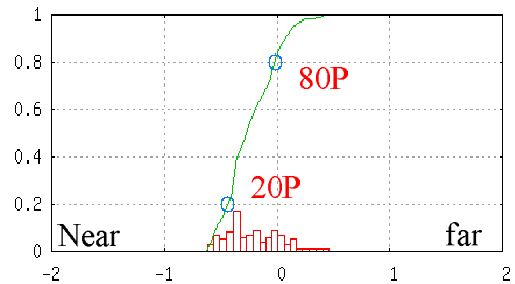


圖 4 視差分佈依照 20-80 法則定義觀看比例

3.2 雙眼視差容忍度

本次研究選用 27 吋偏光型 3D 螢幕，並針對視差極限進行人因實測，主要測試在此款螢幕下的舒適融合區間，當雙眼虛擬相機觀看著模型中心點時，近似高斯曲線的視差分佈有著分析容易以及觀看自然的優點也就是說此模型視差大多居於零視差，並且負視差和正視差呈現對稱遞減。從文獻[12]可得知視差分佈與人因的觀看舒適度有著相關的影響，在 90 英寸大小的顯示器上舒適區間範圍約在 -30 至 65 個像素區間內，也就是說 -0.54 至 1.16 的視差。

實驗測試流程首先讓使用者先觀看近乎零視差的立體模型(圖 5 a)並填寫評價問卷，之後隨意更改模型位置，並且調整相機參數，使得視差達臨界值，也就是 20-80 百分比視差，並填寫當前影像之問卷；受測者調整的影像可能會產生兩種臨界值(圖 5 c 與 d)，分別為影像靠近與影像遠離的兩種影像，藉由此方法可去評估舒適區間範圍；基於上述提出的界定方法(高斯分佈的立體模型測定)，並由 15 位平均年齡 22 歲，立體視覺正常的受測者測試了舒適區間的界定實驗在暗室中進行，觀測距離約 100 公分，並以五尺度量表評估「舒適度的範圍」以及「立體感的強弱」。

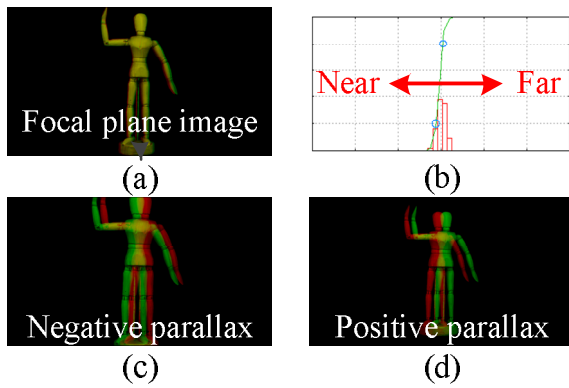


圖 5 視差變動示意圖

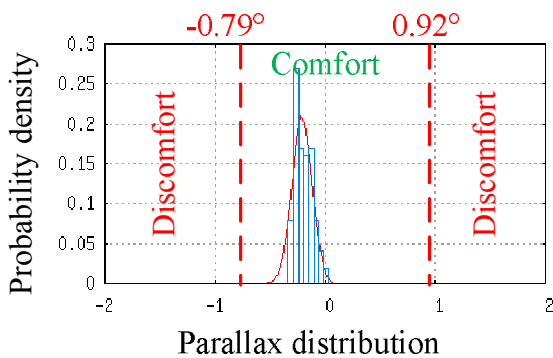


圖 6 立體影像的視差與舒適感臨界值

然而我們所測得的視差容忍範圍如(圖 6)，舒適區間界定於 0.92 至 -0.79 度的視差，假使初始設定模型落於此區間內，則觀測者將不會對立體螢幕內的模型產生不舒適感官，反之若視差直方圖落於此區間外則產生圖形無法融合或不舒適等問題，而此款螢幕所量測到的數據與大尺寸的立體螢幕略有不同，可能原因是由於本實驗採單一立體模型，調變位置並去評分所變動的立體影像，與文獻[12]上提到的 48 組拍攝照片不同，文獻拍攝的照片主要為大場景，背景與主體分離清楚，而本研究採用單一模型故在顯示上感官會有些許不同。而在此款螢幕下 0.92 至 1.15、-0.79 至 -0.98 的視差是可融合但卻不舒適，最可能原因為鬼影，鬼影現象是指左右眼影像互相干擾，目前的立體顯示器幾乎都是採用雙眼視差產生立體效果，換句話說即是左右眼各自看到不同位置的影像，而若觀測者左眼看到右眼或者是右眼看到左眼的影像，會產生立體影像融合衝突，所以才會導致舒適度明顯的降低。

3.3 虛擬立體相機間距調變

虛擬立體相機間距(baseline)調變主要針對立體相機的左右相機間距做改變，比方說一物體距離立體相機過近，造成視差過大則依照比例原則將虛擬相機的間距減少(圖 7)，如此一來即可將平均視差降低，以減少視覺舒適度不適等問題。對於間距改變後的視差分佈的變化如圖 8，可看出相機間距改變並不會影響視差直方圖的形狀，而會影響的是平均視差值，因此若假設視差平均值約在(圖 8A)處，則減少相機間距會由(圖 8A)移至(圖 8C)處，反之則由(圖 8C)移至(圖 8A)處，如此一來儘管使用者如何調整模型都可使立體影像立體且舒適。

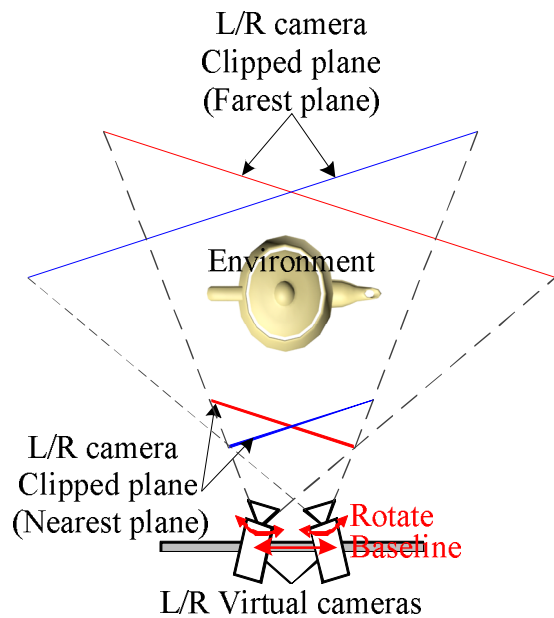


圖 7 虛擬立體相機調變示意圖

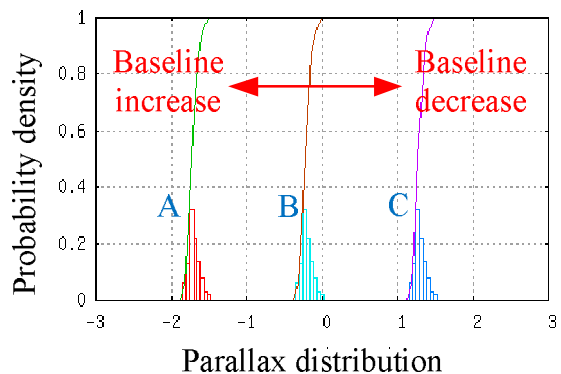


圖 8 相機間距調變的視差分佈圖

3.4 基於觀看方向壓縮改善視差分佈

一般在 3D 立體螢幕所觀看到的立體影像，大多都由一組雙相機去仿照人眼機制所拍攝的影像[13]。然而觀看 3D 立體影像時，眼球的調適機制(accommodation)使得對焦位置落於螢幕上，而這個原因導致 3D 螢幕具有一定限度的舒適區間。由於模型可能因為太長而導致視差涵蓋範圍廣，為了使這類物件落在舒適觀看範圍，我們將物體在深度方向做等比例壓縮，使得 3D 數位內容在畫面中是舒適的，伴隨而來的問題則是 3D 物件不真實，比原始物體還來的扁[14]。然而正常人眼觀看到的影像時，對焦點後面的景物會模糊，但由於 3D 顯示對焦永遠在螢幕上，卻未落於舒適區間內，因此往往會成現背景清楚但又無法融合的不舒適影像。

基於觀看方向壓縮所調變的結果如下(圖 9)，圖 9(a)為一種超出範圍的視差直方圖分佈而模型依著觀看方向壓縮可使視差值方圖呈現圖 9(b)，反之延伸模型則由圖 9(b)移至圖 9(a)。假使模型初始視差分佈不盡理想，藉由觀看方向壓縮減少視差水平間距，使立體模型落於舒適區間，如此一來模型既有較廣的深度感以及良好的舒適程度。

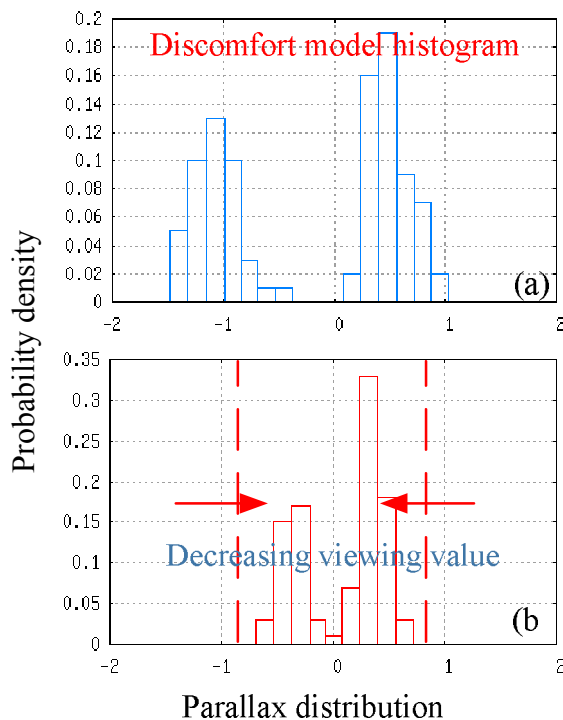


圖 9 模型深度調變的視差直方圖分佈

3.5 心理視覺驗證實驗

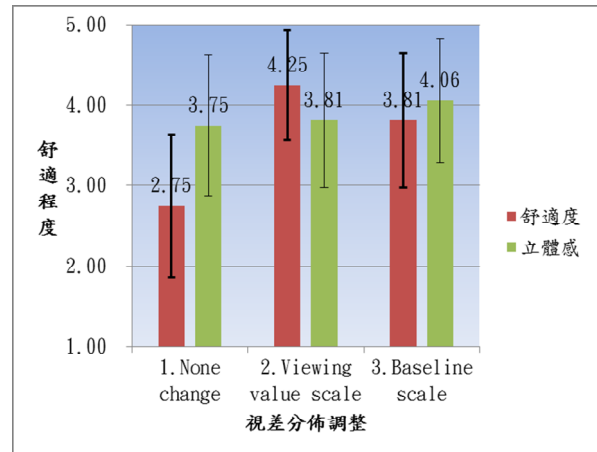


圖 10 實驗結果(視覺舒適度)

本心理視覺實驗是基於界定的視差安全區間範圍(約-0.79 至 0.92 度)，並且藉由雙眼視差容忍度所安排的實驗設置做以下視差分佈改善，步驟一：先使模型視差分佈落在視差安全區間範圍外，如此一來將可能造成視覺不舒適的感官。步驟二：利用觀看方向壓縮模型使視差分佈集中於視差安全區間內。以及改動立體相機的水平間距，使用模型視差分佈落於舒適區間內，使用模型清單如附件。步驟三：分析基於觀看方向壓縮與更改立體相機間距等資料。實驗結果如圖 10，可看出圖 10(1.None)所造成的結果使影像舒適度略差，而經由視線方向壓縮的結果，使舒適程度大幅提升，但伴隨而來的則是立體感沒有明顯的增加如圖 10(2.Viewing value scale)。而基於相機方位做調變，可看出舒適度與立體感有些許提升，但由於視差分佈很廣的結果，造成正視差超出範圍，因而降低了些許舒適度如圖 10(3.Baseline)。

4. 結論

本研究探討了視差分佈與舒適度的相關分析。具體做法是依照視差分佈圖變動虛擬相機的調變參數，此種技術可以有效的改善視覺不適的問題。在觀測 3D 物體時，透過視差分析可以即時修正參數，避免產生因 3D 立體所產生的不良缺陷，在未來可以搭配當前觀測者的感官反應做即時的內部參數更動。而由心理視覺實驗得知，將舒適程度不高的影像作觀看方向的壓縮或相機參數調變，確實可以提高 3D 視覺舒適度。未來應用研究將再進一步的探討

多年齡層的視差分佈與舒適程度的關係，求出舒適程度的集中趨勢，並將這份趨勢資料編寫成可以即時修改的觀看介面。對於未來的 3D 立體醫療、3D 遊戲娛樂工業應用等，都將有幫助。

致謝

本研究內容由行政院國家科學委員補助專題計畫 NSC100-2218-E-011-028-補助。

參考文獻

- [1] M. F. Bradshaw, A. Glennerster, and B. J. Rogers, "The effect of display size on disparity scaling from differential perspective and vergence cues.," *Vision research*, vol. 36, no. 9, pp. 1255-64, May. 1996.
- [2] E. Criado, "Original and creative stereoscopic film making.," in *Proceedings of SPIE*, 2008, vol. 6803, pp. 1-10.
- [3] A. Boev, D. Hollosi, and A. Gotchev, "Classification of stereoscopic artefacts," in *Technical Report Mobile 3DTV*, 2008, pp. 1-52.
- [4] J. Choi, D. Min, B. Ham, and K. Sohn, "Spatial and temporal up-conversion technique for depth video," in *IEEE International Conference on ICIP.*, 2009, pp. 3525-3528.
- [5] S. Miyauchi and Y. Ohta, "Image conversion method and image conversion apparatus.," *US Patent App.* 12/777,371
- [6] W. Tam, F. Speranza, and S. Yano, "Stereoscopic 3D-TV: Visual Comfort," *IEEE Transactions on broadcasting*, vol. 57, no. 2, pp. 335-346, 2011.
- [7] E. Angel, *Interactive computer graphics : A top-down approach using OpenGL*, 5th ed., pp. 244-280.
- [8] L. D. Pockett and M. P. Salmimaa, "Methods for improving the quality of user created stereoscopic content," in *Proceedings of SPIE*, 2008, vol. 6803, pp. 1-11.
- [9] A. Boev, D. Hollosi, and A. Gotchev, "Classification of stereoscopic artifacts," in *Technical Report Mobile 3DTV*, 2008, pp.1-52.
- [10] M. Lang, A. Hornung, O. Wang, S. Poulakos, A. Smolic, and M. Gross, "Nonlinear disparity mapping for stereoscopic 3D," in *ACM SIGGRAPH 2010*, 2010, vol. 1, no. 212, pp. 1-10.

- [11] S. Martull, M. Peris "Realistic CG Stereo Image Dataset with Ground Truth Disparity Maps," in *ICPR*, 2012, pp. 2-4.
- [12] Y. Nojiri, "Measurement of parallax distribution and its application to the analysis of visual comfort for stereoscopic HDTV," in *Proceedings of SPIE*, 2003, vol. 5006, pp. 195-205.
- [13] G. Sun and N. Holliman, "Evaluating methods for controlling depth perception in stereoscopic cinematography," in *Proceedings of SPIE*, 2009, vol. 7237, pp. 1-12.
- [14] G. R. Jones, "Controlling perceived depth in stereoscopic images," *Proceedings of SPIE*, vol. 4297, pp. 42-53, 2001.

附件測試模型

