

基於3D顯示器格式之即時3D內容合成技術

劉楷哲*、吳其霖、黃偉豪、陳信榮、李錕、羅豐祥

工業技術研究院 電子與光電研究所

*E-mail: lkckjack@itri.org.tw

一、簡介

在宏基、華碩等廠商相繼推出3D筆記型電腦的同時，許多的3D電影也正上映著，從天外奇蹟、阿凡達、魔鏡夢遊、史瑞克4到玩具總動員3等，許多電影相繼推出3D版本；而另外在3D顯示器的市場上，例如奇美、華映、友達、SONY、Panasonic、Samsung、LG、Newsight等廠商，也都宣布或推出3D顯示器，例如Samsung最新推出的55" 3D LED顯示器，更是支援藍光3D儲存格式。由此可見，3D的市場正快速的發展中，不論是從3D Content的來源、建立與拍攝，3D的訊號處理、儲存與編碼，到3D顯示器、立體投影等相關的技術開發上，都已有大量的研發能量的投入。例如在DisplaySearch [1]所顯示的資料上即預測，2018年Stereoscopic 3D Display的數目將有196 million units，遠比2008年時的0.7 million units高出許多，讓3D的趨勢更加的明朗與樂觀。

顯示器早期由CRT進入平面顯示器時，由於影像訊號不需改變，且價格愈來愈便宜，因此CRT漸漸地被淘汰，平面顯示器快速地打入消費者的家庭中。而隨著平面顯示器應用愈來愈普及，消費者開始要求更高解析度、色域更廣、反應速度更快的顯示器，由於高畫質的內容與顯示器能相互配合，高畫質電視因此成功的打入消費者的市場。然而隨著平面顯示器的顯示品質愈來愈好，面板廠紛紛開發下一世代的顯示器技術，由於人類最終希望能夠呈現出最自然、最真實、具有立體感受的影像，因此3D影像顯示技術受到相當大的重視。2009年底阿凡達(Avatar)成功地打入消費者的市場後，許多支援3D的電子顯示產品陸續地問世，例如Samsung、LG、Sony等國際面板大廠皆推出了3D電視，並與各國電視業者合作播放3D節目。在NB產業中，華碩、宏碁等廠商已於2009年相繼推出可3D顯示的筆記型電腦，HP、Dell、聯想等國外廠商預計2010下半年推出3D顯示的筆記型電腦。此外隨著阿凡達效應，在2010年有更多的3D電影上映，連帶著3D投影機設

備也受到消費者的注目，目前宏碁與ViewSonic皆開發了3D投影機，期待3D能由電影院走入家庭劇院，讓消費者能在家中享受3D電影的真實感。除此之外，許多產品，如富士通開發的AIO(All in one)電腦、i-STATION的可攜式多媒體播放器、手機、數位相框也都支援3D顯示的功能。因此本文的第一個重點將為大家詳細說明現有3D顯示器的成像原理與格式需求，更進一步的探討將來主流市場3D顯示器的要求，包括我們在這方面努力的成果。

具備3D顯示功能的電子產品愈來愈多，但各家廠商所採用的立體顯示技術並不相同，所需要的3D內容格式亦會隨著顯示器的需求而有所不同。由上述可發現，當一種顯示器要推出市場時，一定要有相當足夠的播放內容做為支援，因此當3D顯示器要走入一般消費大眾家庭的市場時，3D內容的相互配合是非常重要的議題。特別是3D內容的即時播放，更是比播放2D內容具有挑戰性，由於需要配合不同3D顯示器格式的需求，3D內容在播放時需要經過合成與視角排列的兩個步驟，演算原理與即時處理設計是本研究的另一個重點。本文的第二章將主要說明現有的3D顯示方式與顯示器格式，包括現在研發的主要趨勢，而第三章將說明如何配合3D顯示器的格式來即時產生3D內容之合成方法，最後第四章為結論。

二、3D顯示器格式

在了解3D顯示器是如何呈現立體影像之前，我們有必要先了解人類在生活中是透過什麼資訊來獲得物體的深度感與如何判斷出觀測物體的遠近這兩個議題。一般而言是由多個深度線索(depth cues)組合來正確的判斷出空間中的物體相對位置，深度線索包含了雙眼視差(binocular parallax)、人眼的調適性(accommodation)、移動視差(motion parallax)、透視(perspective)、觀測物體間大小關係、物體材質等。其中以雙眼視差較能正確的判斷出深度資訊，雙眼視差原的理是由於兩眼間隔約65mm，因此兩眼所看到的影像會稍微不同，此兩眼所接收到的影像經由腦部融合而產生3D深度資訊。因此目前大部份的3D顯示器重建立體影像的原理皆為雙眼視差為主要的設計，將不同視角的影像利用特殊光學設計分別投射到左右眼，再經過大腦融合此兩張影像，即可以重建出立體影像。根據此原理，各廠商開發出各式各樣的技術來將左右眼影像分離開，圖 2.1 是立體顯示技術的分類，主要分成戴眼鏡式與裸眼式技術。若以家庭用的3DTV而言，目前都是採用戴眼鏡技術，

最常看到的為快門眼鏡(Shutter glasses)與偏光眼鏡(Polarization glasses)兩種。而裸眼式3D顯示器是採用空間多工(Spatial-multiplexed)或時間多工(Time-multiplexed)技術為主軸，目前較常用於廣告看板或是教學應用的場合。底下將針對這幾種常見的技術作詳細說明。



圖 2.1 3D顯示技術分類

2.1 全區域化3D立體顯示技術

戴眼鏡式之快門式眼鏡3D顯示器是以更新頻率120Hz以上播放左、右眼視角畫面，且快門眼鏡透過與顯示器的同步訊號來確定遮蔽的時間，如圖 2.2所示。當顯示器顯示左眼畫面時，快門眼鏡將左眼打開，右眼遮蔽；當顯示器顯示右眼畫面時，快門眼鏡將右眼打開，左眼遮蔽。藉由快速切換左右眼資訊，使得左右眼分別看到正確的左眼與右眼畫面，經過視覺暫留與大腦融合後，即可呈現出具深度感的立體影像。此技術所顯示的3D畫面解析度不會下降，且立體效果非常的好。然而由於要提升3D影像品質，因此左眼與右眼觀看螢幕的時間非常短，使得整體亮度會下降許多，亦是目前研發上需克服的重點。目前Samsung 3D TV、Asus G51J等商品皆是使用此快門式眼鏡技術。

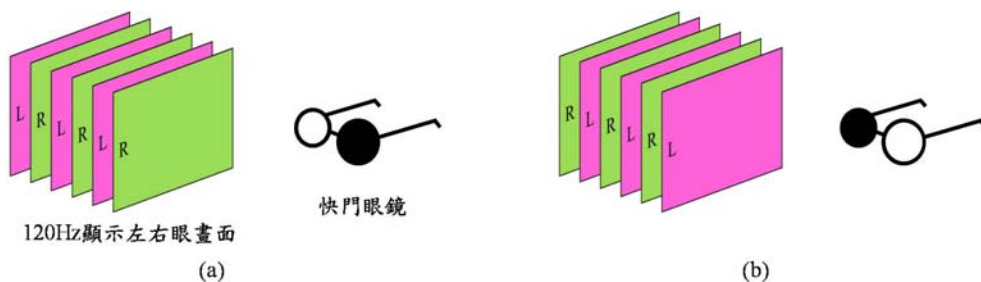


圖 2.2 快門眼鏡技術原理：(a) 顯示右畫面時、(b) 顯示左畫面時。

而另一種戴眼鏡式的3D顯示器是以戴偏光眼鏡的方式來呈現3D，此技術的原理是在一般LCD TV前面貼上一層微相位差膜(Micro-retarder)，利用光的偏振方向來將左眼與右眼的影像分離，如圖 2.3所示。微相位差膜是由0和 $\lambda/2$ 兩種相位延遲依特定光學圖案排列而成的薄膜，左右眼影像在列方向上重新交錯排列而成，當觀賞者戴上左眼與右眼互相垂直的偏光眼鏡，即可正確地讓左、右眼分別看到左眼與右眼畫面來產生3D的效果。偏光式眼鏡3D顯示器的畫面解析度在垂直方向上只有2D解析度的一半，且整體亮度也會降一半。目前Hyundai W240S與Acer Aspire 5738DG皆採用偏光式眼鏡技術。

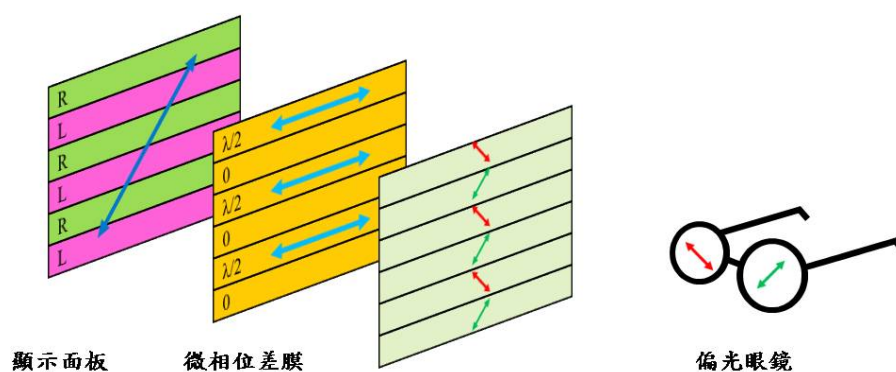


圖 2.3 偏光眼鏡技術原理

至於裸眼式的3D顯示方式則可分成時間多工與空間多工兩種。時間多工是以一組指向性背光搭配一快速反應面板，快速顯示左、右眼影像，讓觀賞者的左、右眼分別看到左、右眼影像，此種技術的3D解析度與2D解析度一樣。目前3M有開發特殊光學膜來實現時間多工的立體顯示器。空間多工是犧牲畫面解析度來同時顯示左、右眼影像，主要分成視差光柵(Parallax barrier)和柱狀透鏡(Lenticular lenses)兩種，視差光柵是利用光柵來控制光前進的方向，而柱狀透鏡是利用折射率的不同來控制光的方向。目前飛利浦、LG、友達等均採用柱狀透鏡式技術，優點是亮度較高，但成本偏高、透鏡精密度要求較高，因此許多廠商仍以視差光柵為主。工研院電光所研發的微相位差膜(Micro-retarder)，是以視差光柵技術為基礎，但主要缺點與視差光柵一樣，亮度損失較為嚴重，會隨著立體顯示器的視域變多，而使得整體亮度變暗，但隨著3D TV視角的增加(Multi-view)，亮度與解析度均會隨之下降。如果要在3D顯示器上顯示文字資料時，就會呈現破碎的畫面。

2.2 可區域化2D/3D切換之裸眼顯示技術

目前廠商在開發3D顯示器技術上，以2.1節敘述的全螢幕2D/3D切換的商品為主，可以全螢幕3D或2D畫面作切換，然而另一種比較實用的顯示器是同一螢幕上能同時播放2D和3D影像。在這一節中主要探討可區域化2D/3D切換的裸眼顯示相關發展技術。一般的區域化2D/3D切換原理主要是以視差光柵與柱狀透鏡為主，視差光柵與柱狀透鏡結構可置於顯示面板前面或置於顯示面板與背光模組之間，當某區域影像內容為3D影像時，就在相對應的區域產生視差光柵(如圖 2.4 (a))；當要顯示文字或2D影像資訊時，就讓對應位置的視差光柵的效果消失(如圖 2.4 (b))，則左眼與右眼皆看到相同的畫素，如一般2D顯示器一樣，目前Sanyo、Sharp、工研院電光所等主要是開發此種可切換2D/3D視差光柵元件，但缺點是3D亮度較暗。而另一模式則如圖 2.5所示之2D/3D可切換柱狀透鏡，其與可切換的視差光柵的功能類似，主要研發廠商包含友達、Philips、LG等，此技術亮度損失不多，但成本較高，製程難度較高。接下來將分別針對這兩種技術如何實現作進一步的探討。

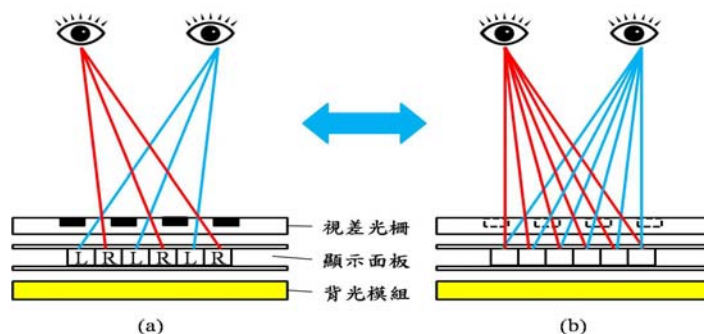


圖 2.4 可切換2D/3D視差光柵顯示器：(a) 3D模式、(b) 2D模式

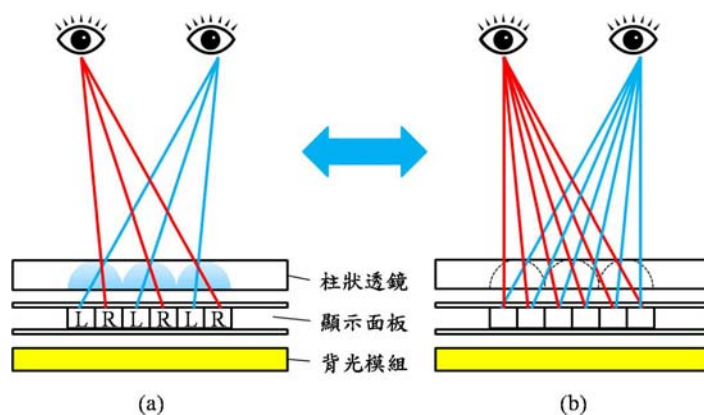


圖 2.5 可切換2D/3D柱狀透鏡顯示器：(a) 3D模式、(b) 2D模式

可區域化2D/3D切換視差光柵模式下，又可分成(a)以液晶面板當視差光柵、(b) 視差光柵/散射/透明元件與(c) 微相位差膜(Microretarder)/切換液晶面板，以下將分別說明其原理與特性。

(a) 以液晶面板當視差光柵

如圖 2.4 所示，2D/3D可切換視差光柵顯示器是由背光模組、顯示面板與可切換視差光柵層所構成。可切換視差光柵層最簡單的實現方式是使用一層液晶面板，整體架構的架構如圖 2.6 所示。前面板當作視差光柵使用，當顯示面板要顯示3D內容時，則前面板對應區域顯示黑白相間的條紋；當顯示面板的影像畫面為2D內容，則前面板於該區域顯示白畫面。如此以來，可以藉由控制前面板的顯示內容來達到區域化2D/3D的功能。

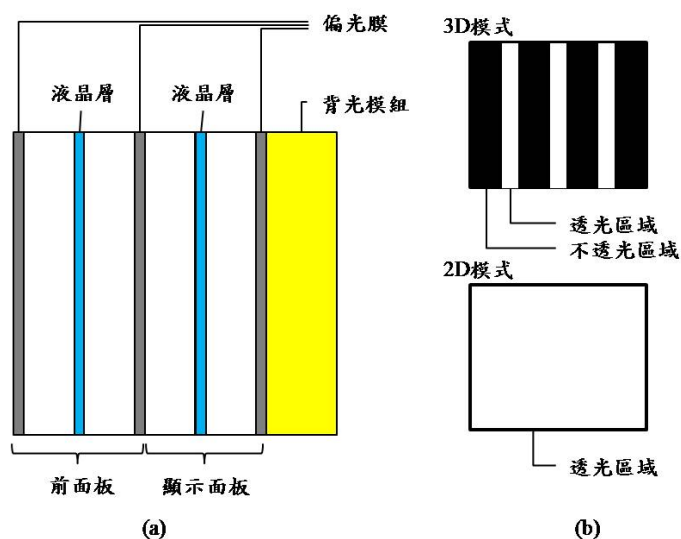


圖 2.6 (a) 使用兩層液晶面板 (b)在前面板顯示的影像內容

(b)視差光柵/散射/透明元件

2D/3D切換的元件是由一固定視差光柵搭配一散射/透明元件所組成，如圖 2.7 所示[2]。散射/透明元件的工作原理如圖 2.8，當不加電壓時，具方向性的入射光經過此液晶材料後，會被液晶分子擾亂，使得原本具方向性的光被散射而不具方向性，而當施加電壓於ITO時，液晶分子則不會干擾入射光的前進方向，即透明狀態。圖 2.7 架構中，當光從背光模組經過視差光柵後，會產生具有特定方向的光線，透過散射/透明元件加電壓與否，達到區域化2D/3D切換。當某區域需顯示3D模式時，則對此區的散射/透明元件加電壓，並在相對應的顯示面板區域顯示3D影像；當某區需為2D模式時，則不對此區的散射/透明元件加電壓，此時原

本經過視差光柵後具有方向性的光線，在經過未加電壓的散射/透明元件後被散射而不具方向性，如一般2D顯示器的背光源所發出來的光源。圖 2.7 中的散射/透明元件有作區域化切割才可區域化顯示2D和3D影像，若不對散射/透明元件做區域化分割，效果就如同是全螢幕切換的技術。

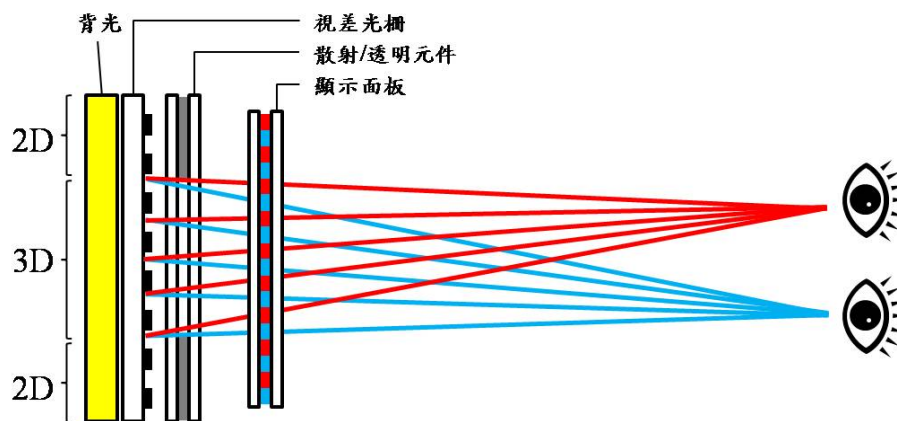


圖 2.7 利用視差光柵 + 散射/透明元件形成2D/3D切換功能。[2]

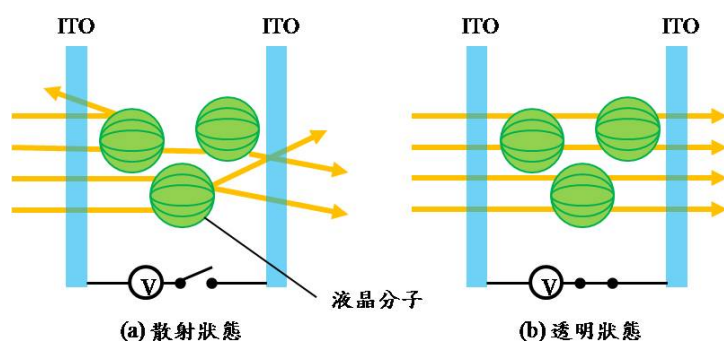


圖 2.8 散射/透明元件 (a)散射狀態(不加電壓) (b)透明狀態(加電壓)。[2]

(c) 微相位差膜(Microretarder)/切換液晶面板

2D和3D模式之間切換是使用了兩層液晶面板，而在兩面板間夾著一層微相位差膜，圖 2.9為整體模組的構造[3]，顯示面板的作用在顯示影像，微相位差膜是由0和 $\lambda/2$ 兩種相位延遲依特定光學圖案排列而成的薄膜。切換面板的功能是讓經過切換面板後的光能在0度偏極與45度偏極之間轉換，當0度偏極光經過微相位差膜的0相位延遲區域時，仍保持0度偏極態；當經過微相位差膜的 $\lambda/2$ 相位延遲區域時，0度偏極態的入射光會被轉成90度偏極態。此時，若經過0度偏極方向的偏光膜，就會呈現出透明和黑色兩種圖案，此圖案與微相位差膜上的圖安排列一樣，即產生視差光柵的效果。當切換面板出來的光為45度偏極光，經過微相位差膜的0

相位延遲區域仍保持45度偏極態；若經過微相位差膜的 $\lambda/2$ 的區域，因45度偏極光與 $\lambda/2$ 相位延遲區域的光軸平行，所以偏極光經微相位差膜後，仍然保持45度的偏極方向。此時，經過0度偏極的偏光膜，就不會產生透明和黑色兩種圖案，即無視差光柵形成。藉由微相位差膜與切換面板適當的配合上，就可以形成2D/3D切換的效果。在2D/3D切換的過程中，除了切換面板在對應的區域需要做偏極態轉換之外，相對應的影像面板顯示的內容也需要跟著切換。

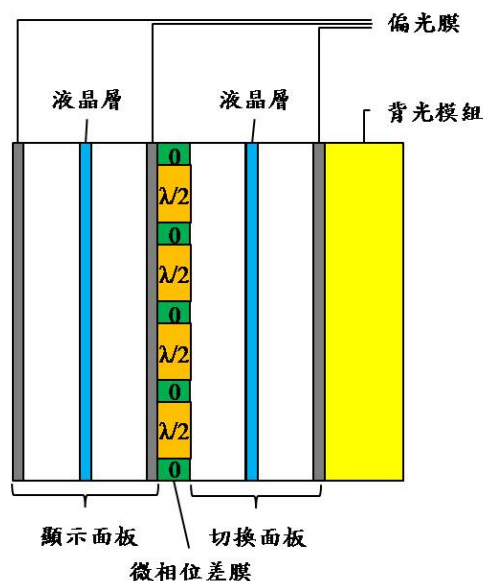


圖 2.9 以Microretarder為基礎的2D/3D切換架構。[3]

另一種模式為可區域化2D/3D切換柱狀透鏡模式，亦可分成三種類型，分別是(a)主動式2D/3D切換柱狀透鏡，(b)雙折射柱狀透鏡/切換液晶層與(c)以液晶層當柱狀透鏡，以下分別描述其原理。

(a)主動式2D/3D切換柱狀透鏡

此技術是由Philips所開發[4]，將柱狀透鏡內部灌入液晶，由於液晶是一個雙折射材料(n_e 、 n_o)，可藉由施加電壓來改變折射率。選用適當的折射率的液晶材料搭配透鏡的折射率，當不加電壓時(圖 2.10 (a))，液晶層的折射率為 n_e ，與透鏡折射率 n_o 不同，因此產生一個折射率差，此時光線經過此主動式切換柱狀透鏡，由於有折射率差，就會改變光的前進方向。當施加電壓於主動式2D/3D切換柱狀透鏡時，液晶會改變排列方式，此時液晶層的折射率為 n_o ，與透鏡折射率 n_o 一樣，所以就像透明玻璃沒有折射率變化產生，光線就會沿著原入射光的前進方向(圖 2.10 (b))。

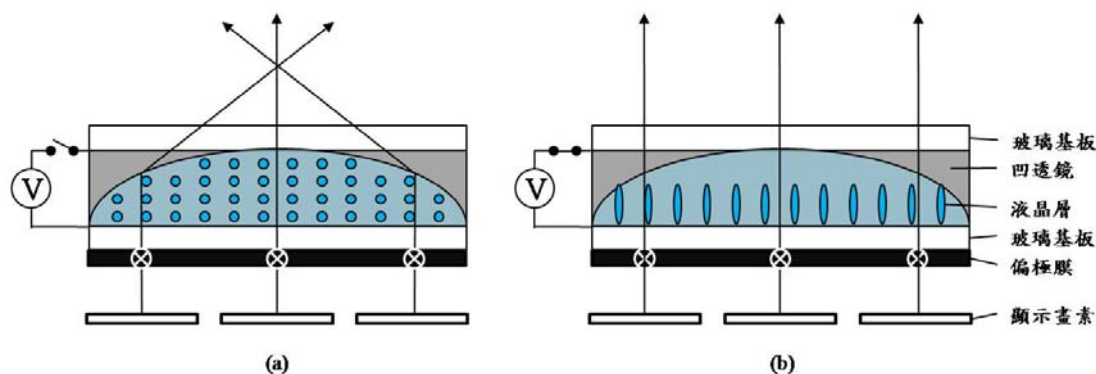


圖 2.10 主動式2D/3D切換柱狀透鏡 (a) 3D模式 (b)2D模式。[4]

(b)雙折射柱狀透鏡/切換液晶層

此切換架構是由一固定式雙折射柱狀透鏡與一切換液晶層來控制光前進的方向，此技術是由切換液晶層決定柱狀透鏡是否作用[5]。當不加電壓於切換液晶層時(圖 2.11 (a))，以TN為例，假設0度偏極方向的入射光經切換液晶層後，偏極方向變成90度，此時柱狀透鏡中的液晶層折射率為 n_e ，與透鏡折射率 n_o 不同，因而產生光程差，所以會改變光的前進方向，具有柱狀透鏡的效果，即3D模式。當切換液晶層加電壓時，TN液晶分子會改變排列的方向，而使得經過切換液晶層後的偏極方向仍為0度，此時，柱狀透鏡中的液晶層折射率為 n_e ，與透鏡折射率 n_o 相同，因此不改變光的前進方向(圖 2.11 (b))，為2D模式。此技術藉由局部的控制切換液晶層的電壓，達到區域化2D/3D的效果。

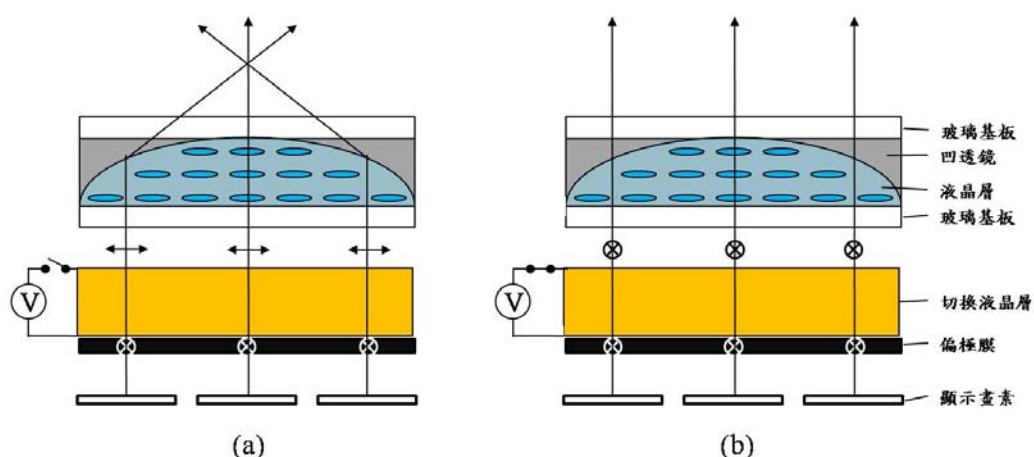


圖 2.11 雙折射柱狀透鏡 + 切換液晶層 (a) 3D模式 (b)2D模式。[5]

(c)以液晶層當柱狀透鏡

此技術是採用液晶層取代實體透鏡，藉由上下玻璃基板的ITO特殊圖案設計，來造成液晶層空間中電位線分佈不均，使液晶分子的排列改變。由於液晶分子的排列會影響到折射率的不同，經適當的設計後，整體的折射率變化像柱狀透鏡一樣，控制入射光折射方向[6]。

圖 2.12 (a)是施加電壓於ITO後，靠近兩側的光所看到的折射率是 n_o ，而中央位置的光所看到的折射率為 n_e ($n_e > n_o$)，因此產生光程差的變化，如實體柱狀透鏡相同效果。當無電壓時，空間中的電位線均勻分佈，所有液晶分子有著相同的排列，因此兩側與中央的光線並沒有光程差的效果，相當於無柱狀透鏡(圖 2.12 (b))。

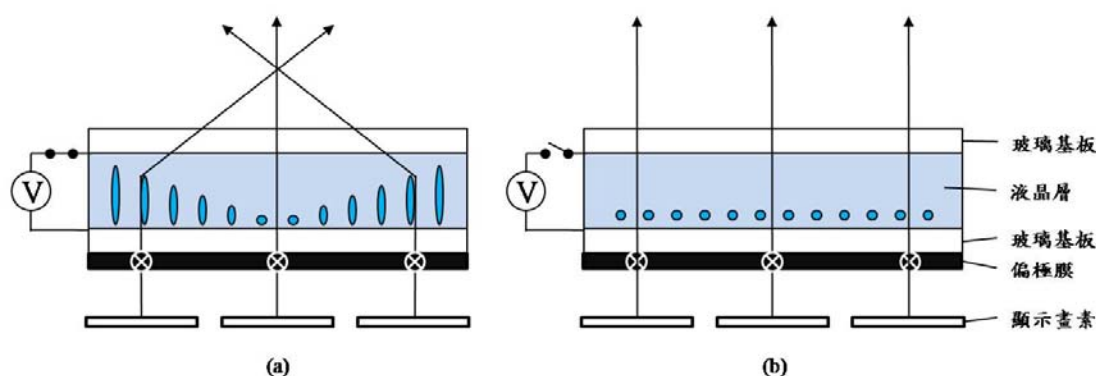


圖 2.12 以液晶層當柱狀透鏡 (a) 3D模式 (b) 2D模式。[6]

三、即時3D內容合成技術

在第二章中，我們已經詳細的介紹了3D顯示器的原理與特性，可分成戴眼鏡式與裸眼式兩大類。然而，不論是哪一類型的顯示器，其所需要的內容皆需要至少左右兩眼的影像，甚至於需要多視角影像，且每種顯示器所需要的資料排列方式亦有所不同。因此不論3D內容是如何獲得或製作，在與3D顯示器配合的部份至少需要合成(Rendering)或排列(Interlacing)。如圖 3.1所示為一個針對戴眼鏡式3D顯示器的3D內容產生流程，若使用者已取得符合顯示需求的左右眼影像，則只需要針對是使用快門式(Time-multiplexed)或偏光式(Spatial-multiplexed)的戴眼鏡式顯示器進行內容的排列(2 views stereo system)，例如在[7]中提出的快速排列方法 Fast Interlacing based on OpenGL Stencil Buffer或是Page-flipping with Preferable Window Size兩種。然而，若是使用者在輸入端並沒有符合顯示器所需的左右眼影

鏡時，例如只有2D影像與輔助的深度資訊圖，或是多鏡頭取像之多視角影像(包含雙鏡頭取像，但視差效果不佳)，此時這些內容必需先經過合成這個步驟來產生符合顯示器需求的雙眼影像。在此我們將合成分成兩類，第一種其輸入端是2D影像與輔助深度資訊，對應的合成方法稱為Depth Based Image Rendering (DIBR)；而另一種則是多視角影像輸入，其對應的多視角合成方法稱為Multi-view Synthesis。此兩種合成方法能產生戴眼鏡式顯示器所需的雙眼影像，且更進一步的亦能產生裸眼式顯示器所需的多視角影像。然而目前全球技術發展上，以DIBR較受到大家的注目，因此以下我們將特別針對DIBR說明我們在這類型輸入下的3D內容合成技術，並說明以高速繪圖處理器(GPU)或可編程邏輯閘陣列(FPGA)加速來達到即時運算需求之方法及平行架構的設計。

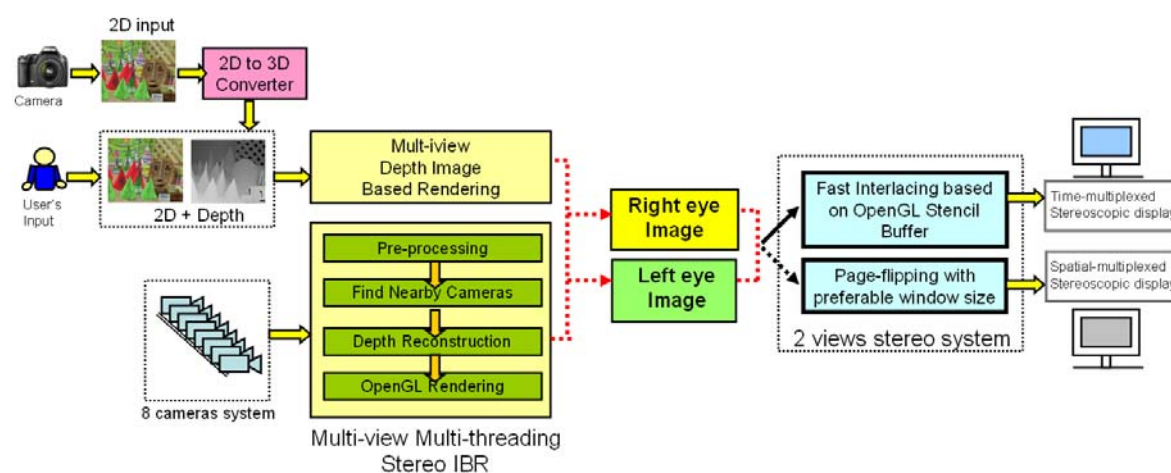


圖 3.1 戴眼鏡式3D顯示器所需之3D內容合成技術。[7]

Depth Image Based Rendering (DIBR)在影像合成中具有高效率傳送和儲存的優點，最早在Philip公司的應用中被提出[8]，因為在DIBR中只需要2D影像與深度圖(depth map)，而深度圖只是實際上是用來產生深度值(depth value)的一個2D函數，因此較原始2D資料並不會增加太多的儲存容量。在給予原始2D影像和相對應的深度值之後，我們就可以在虛擬影像平面上根據深度資訊將影像像素重新投影(re-projecting)以產生出相鄰視角的影像。根據所重新投影的視角影像數目的不同，DIBR可以用在戴眼鏡式的顯示器或是多視角裸眼顯示器上。但由於遮蔽效應的關係會因為視角的不同而產生出影像的缺口(holes)，這些影像的缺口是由物體因不同視角所延伸出來的部份和新的視角的背景所造成的，特別是在大角度的情況下如何填補缺口(hole filling)的方法更是需要特別設計[9]。最後對於不同的3D

顯示器，我們必需將所產生出來的多視角影像資料做多視角交錯排列(multi-view interlacing)，才能正確的將影像輸出到顯示器上，整體3D內容合成流程如圖 3.2 所示。因為在實際應用上需要符合即時(real-time)運算以及商品化後系統的複雜度以及計算量之考慮下，我們提出新的平行架構來完成上述需求。以下將會說明 DIBR產生多視角影像的演算法，DIBR的平行架構與針對系統架構模擬出來的實驗數據。

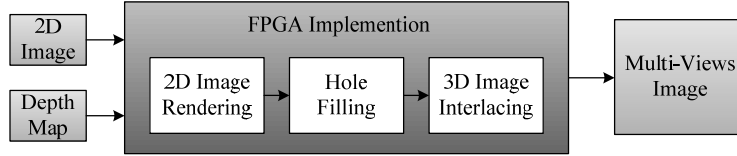


圖 3.2 FPGA Based DIBR and Interlacing

3.1 DIBR演算法

由於深度的不同，如圖 3.3所示中，2D影像中的各個像素在每個視角的位移(disparity)也不同，利用視角間對應的幾何關係，我們可以根據2D影像中各像素對應的深度資訊(depth)及像素位置，找出其對應於各視角的正確位置，參數說明如表 3.1所列，其關係式如下：

$$s_i = s_0 + k \frac{b}{2} \frac{p_z}{d + p_z} \rho \quad (1)$$

$$\frac{Z_F - Z_N}{Z_F - p_z} = \frac{255}{g} \quad (2)$$

圖 3.2中的P點對應的灰階深度值，透過公式(2)可以算得其實際成像的距離，

接著簡化其方程式，令 $\alpha = \frac{255}{g}$ ，可得：

$$p_z = Z_F(1 - \alpha) + \alpha Z_N \quad (3)$$

接著將公式(3)帶回公式(1)，可得：

$$s_i = s_0 + k \frac{b}{2} \frac{Z_F(1 - \alpha) + \alpha Z_N}{d + Z_F(1 - \alpha) + \alpha Z_N} \rho \quad (4)$$

$$\Delta s = k \frac{b}{2} \frac{Z_F(1 - \alpha) + \alpha Z_N}{d + Z_F(1 - \alpha) + \alpha Z_N} \rho \quad (5)$$

接著由公式(5)，我們可以估算出原始影像中的每個像素其對應到合成新視角的正確位置。

表 3.1 參數說明

參數	說 明
s_0	一般以輸入的2D影像為中心視角， s_0 則為中心視角的像素位置。
k	代表著視角的位置，以9 views來說明，中心視角的 $k=0$ ，左邊的視角為 $k=-1\sim-4$ ，右邊的視角則為 $k=1\sim 4$ 。
b	兩眼間的距離，單位：cm。
Z_F	立體成像實際離螢幕最遠的距離，單位:cm
Z_N	立體成像實際離螢幕最近的距離，單位:cm
p_z	根據P點實際的灰階深度值，透過公式(2)，可算得立體成像的實際距離
ρ	表示每公分存在多少個像素，我們根據顯示器實際的規格得到 ρ 值。
d	眼睛與螢幕的距離，單位:cm。

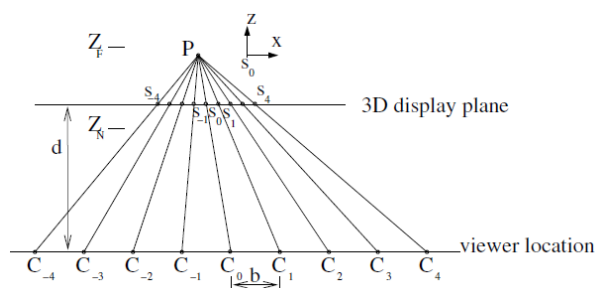


圖 3.3 多視角影像合成幾何關係。

以WXGA 3D顯示器為例，水平像素為1360，螢幕實際寬度為96cm，
 $\rho = \frac{1360}{96} \approx 14.1$ ，兩眼間距離 $b = 6.5\text{cm}$ ，眼睛離螢幕的距離為 $d = 160\text{cm}$ ，選擇最右邊的視角($k=4$)，套入公式(5)可得數據如表 3.2所示。

表 3.2. 在WXGA規格裡 $k=4$ 時之像素位移計算

Z_N	0	-12	-6
-------	---	-----	----

Z_F	12		0		6	
g	255(near)	0(far)	255(near)	0(far)	255(near)	0(far)
Δs	0	12	-14.7	0	-7.0	6.5

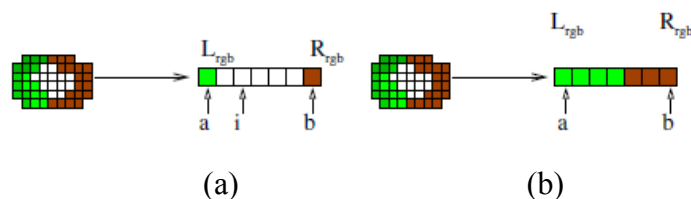


圖 3.4 視角不同所產生出來影像的缺口。

然而在上述re-projecting的過程下，新視角的影像中將會有些像素並沒有被填滿而造成影像的缺口，針對補滿這些缺口的程序有兩種方法，主要考量為計算快速及容易平行化的設計，第一種為Linear Interpolation，如圖 3.4(a)所示，其關係式如下：

$$N_c = \begin{cases} L_c + \frac{i-a}{b-a}(R_c - L_c) & \text{if } k < 0 \\ R_c + \frac{b-i}{b-a}(L_c - R_c) & \text{if } k > 0 \end{cases} \quad (6)$$

其中 R_c 及 L_c 分別為空缺左邊和右邊的像素顏色值。另一個方法與Linear Interpolation相比也有不錯的成果且有更快的計算效率，以遮蔽效應的方向性來填補缺口，選擇缺口旁邊的像素值來填補，如圖 3.4(b)所示，至於遮蔽效應的方向性將在下節平行設計中說明。

3.2 DIBR的平行架構設計

在說明平行架構的設計前，我們需要先了解DIBR中由於景物深度不同所造成的遮蔽效應。運用表 3.2中在 $Z_N = -6$ 及 $Z_F = 6$ 的結果($k=4$ 時, $\Delta s=-7$)來進一步討論前景與後景之間在不同的視角下所面臨的遮蔽效應。我們設計了兩種極端的例子如圖 3.5所示，view 0表示在原始影像中的兩個物件分別位在深度值為0(最遠端)與深度為255的位置(最近端)，接著實際計算在view -4與

view 4的情況下兩個物體相對位移與遮蔽的關係。

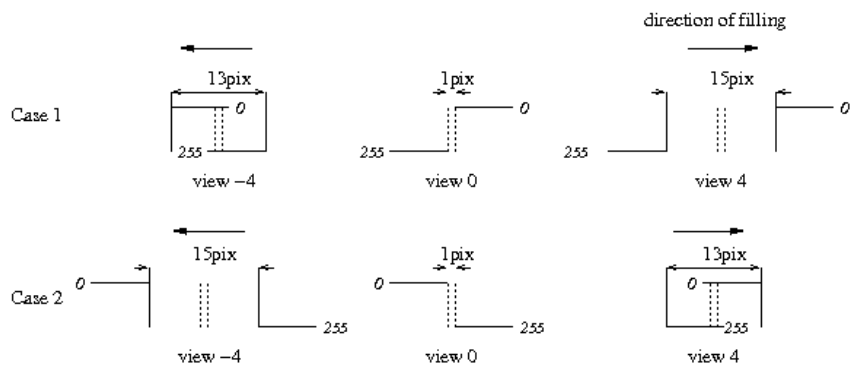


圖 3.5 遮蔽效應的計算。

以Case 1來說，view 0中的前景物在左方，後景物在右方，經過幾何的運算，在view -4的前景會往右移，後景會往左移，產生了遮蔽效應，因此為了避免後景的影像遮住前景的現象發生，若需要簡化運算考量下不在每次運算都判斷深度值的話，原始影像中每個像素的re-projecting需要依循一定的水平方向來處理各列(row)，因此在view -4各列像素處理的水平順序應為「由右往左」將每個pixel依序做re-projecting，即可保證前景物件在位移後不會被遮蔽，而在view 4時則無需考量遮蔽效應。然而同樣發生遮蔽效應的問題是在Case 2中的view 4，由於前景在右，後景在左，所以處理的水平方向為「由左往右」將每個像素做re-projecting，即可完成快速的re-projecting設計。

另一方面，在考量hole filling的遮蔽效應時，同樣的以圖 3.5為例，以Case 1來說，view 0中的前景物在左方，後景物在右方，經過re-projecting的運算，在view 4的前景往左移，後景則往右移，兩物件分開造成中間的像素尚未填補而有影像的缺口，此時就要透過hole filling來填補像素，由於空缺的內容大多為背景，且此時背景處在畫面的右方，因此hole filling的像素順序方向將會「由右往左」；同樣的情況發生在Case 2 的view -4，則「由左往右」進行hole filling。

在完成上述re-projecting與hole filling情況下的遮蔽效應分析如表 3.3所

示，假若在運用如高速繪圖處理器(GPU)進行平行運算設計時，每個運算單元為一個執行緒(thread)的情況下，最基本的平行處理安排將以表 3.3為依據，我們以原始影像的width及欲合成的視角數目number(欲合成的視角數目 = 顯示器總視角數目-1，扣除原始影像)，決定建立width x number個執行緒(threads)進行平行化運算，每個執行緒處理新合成影像的每一行像素，分兩次執行re-projecting (generate view)與hole filling如圖 3.6 (a)與(b)所示。

表 3.3 考量遮蔽效應下的像素計算方向

Method	view	Direction
Re-projecting	$k > 0$	Left -> Right
	$k < 0$	Right -> Left
Hole filling	$k > 0$	Right -> Left
	$k < 0$	Left -> Right

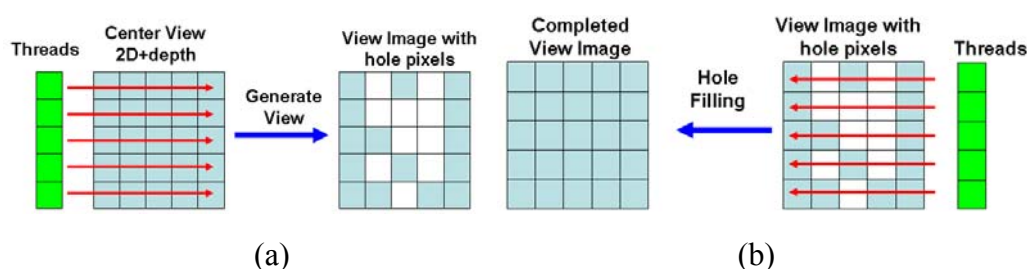


圖 3.6 以執行緒(thread)為單元計算(a) re-projecting與(b)hole filling。

雖然GPU的編輯器能自動安排所有的threads以最有效率的方式來完成運算，但若是以FPGA或IC設計的角度來考量下，我們需要更進一步的安排平行設計流程，特別是針對不同的新視角影像來做平行設計，例如由數個運算單元(threads)共同組成一個運算群組(group)，而每個group則負責計算每個新視角影像的re-projecting與hole filling，如圖 3.7所示即為高度平行化的FPGA架構設計，所有新視角影像將可同步被計算出來，包括完成re-projecting與hole filling兩個步驟產生合成後的影像，例如view 1~9 [10]。

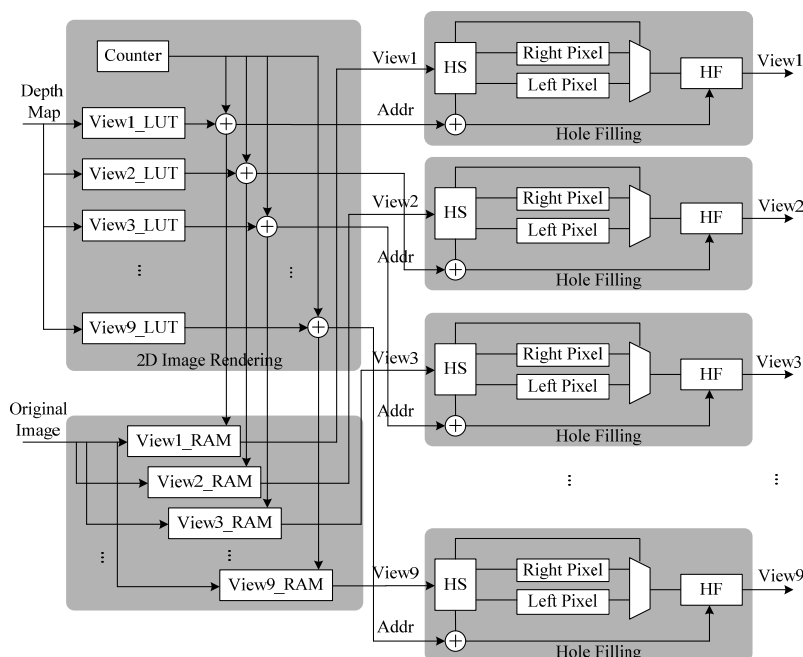


圖 3.7 以運算群組(groups)平行計算(a) re-projecting與(b)hole filling。

3.3 FPGA與GPU模擬結果

在3.2節中描述的平行架構我們分別實際在FPGA與GPU上進行驗證。FPGA是用Verilog硬體描述語言所完成的，並且用ModelSim ALTERA完成RTL(Register Transfer Level)驗證，合成(synthesis)的環境為ALTERA Quartus，所使用的FPGA為EP3C120F780C7 ALTERA Cyclone III，在Quartus 9.0的版本中，合成出的Fmax(最大頻率)為153.85MHz，實際在該硬體在FPGA所使用的資源，其中邏輯單元(logic elements, LEs)使用量僅為3079(約佔總LE的3%)。模擬FPGA硬體架構在解析度為Full HD(1920x1080)，且更新頻率為每秒六十張(60fps, pixel clock為148.5MHz)的輸入下，如表 3.4所示可以達到即時的60fps合成與排列9組視角影像的需求。

另一方面，我們亦同步以軟體模式在GPU上進行平行設計的驗證，以visual C++ 2008為驗證的軟體平台。硬體配備使用CPU為Intel Core2 Duo 3.0GHz，記憶體DDR2 2GB。此外，平行架構使用NVIDIA公司所提出的CUDA語言撰寫，使用的顯示晶片為NVIDIA GeForce GTX280，配備1GB記憶體。在合成的部分使用15個執行緒區塊(thread blocks)，每塊包含了192

個執行緒，多重視角交錯排列則是用24.3K的執行緒區塊，每塊包含了256的執行緒，在與上述FPGA相同的測試情況下，影像合成速度達47fps。若不使用平行設計與GPU做運算下，CPU原始效能僅7fps，因此本平行設計不論是以軟體在GPU上運算，或是以FPGA做硬體規劃設計下，皆能有非常高的效率提升，達到即時運算的需求。圖 3.8所示為使用2D影像與深度圖為輸入下，產生合成與排列好之多視角影像，若輸出至裸眼顯示器上即可觀看3D內容。

表 3.4 FPGA模擬結果

Altera Cyclone III EP3C120F780C7	
Logic Utilization	
Number of Logic Elements	3079
Number of 4 input LUTs	1397
Number of Registers	1284
Logic Distribution	
Number of occupied Logic elements	
Hybrid parallel DIBR	1301
Rendering	240
Hole-Filling	1061
Pipeline Interlacing	547
Number of occupied BRAM	
Memory bits	470,016
Number of multi-views:	9
Maximum frequency:	157.85 MHz
Processing capability:	60 Full HD(1920x1080) frames/s

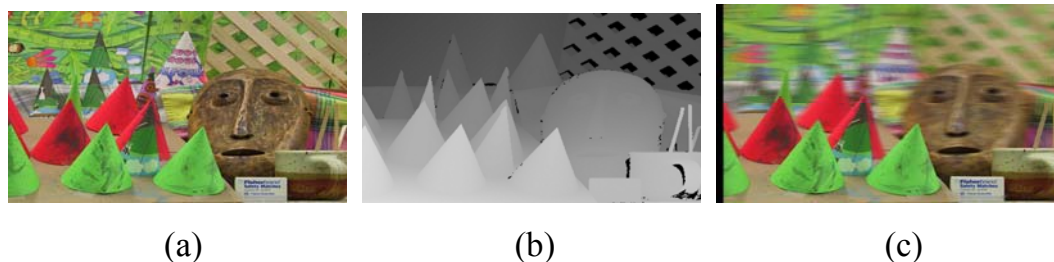


圖 3.8 DIBR模擬結果，(a)輸入之2D影像、(b)輸入之深度影像與(c)合成與排列後的多視角3D內容

四、結論

2010年為3D元年，國際大廠皆積極的推動3D相關產業並開發新的技術，許多消費性產品皆支援3D的顯示與處理技術，更例如上海世博會中許多展場也都運用了3D的技術來呈現令人印象深刻畫面。雖然目前3D顯示器發展仍是以眼鏡式3D顯示器為市場大宗，但不需戴眼鏡的便利性畢竟較符合一般觀賞者的使用習慣，

因此許多學者預估未來3D產業將會逐漸朝向裸眼式3D顯示器發展，像是日本面板大廠等都已積極搶佔這塊市場。以傳統裸眼式3D顯示器而言，一般都是全螢幕顯示3D的畫面，但若以一般消費者使用習慣，並非所有的應用都需要套用到立體資訊，況且長期觀看3D內容有可能造成生理反應不適，因此能夠在2D/3D之間切換便成為相當重要的技術。目前市面上已可買到2D/3D全螢幕切換手機甚至相機，未來將會有愈來愈多產品支援2D/3D切換功能。但若消費者想同時觀看2D內容與3D影片時，2D/3D全螢幕切換顯示器並無法達成，因此更實用的技術是區域化2D/3D切換顯示器系統，此技術可解決文字破碎的問題，並可同時裸眼觀看3D影像。目前國內面板產業成熟，相關產業鏈也是相當發達，但是對於先進3D技術之開發還落後於國外大廠，而工研院電光所近年來已投入大量研發3D顯示技術，在全區域化3D立體顯示技術開發部份，我們目前的研發成果已完成56吋2D/3D視差光柵式4K2K解析度之超高分辨率顯示屏的技術開發，而在可區域化2D/3D立體顯示技術上，我們亦已成功開發出22吋2D/3D區域可切換調動視差光柵式顯示屏技術，在3D顯示器上有完成的技術基礎與佈局。因此若是能結合國內面板廠固有資源，必能加速國內3D顯示器產業之競爭力。

而另一方面，當3D顯示器要走入一般消費大眾家庭的市場時，即時3D內容的播放是非常重要的關鍵。為了能讓相同的3D內容能適合在各式各樣的3D顯示器播放，目前以DIBR的合成方法為主要的架構，其輸入端為2D影像加上深度資訊，而輸出端則可根據3D顯示器的格式需求而產生多視角影像並接著進行多視角交錯排列，除了在資料量的傳輸與儲存上有很大的優勢外，3D內容合成的方便性也是其重要的優勢。然而當實際在使用者端進行播放時，即時3D內容合成便成是最基本的要求，在本文中提出了我們所開發的平行架構概念與軟硬體驗證結果，除了有很好的3D效果外，不論是軟體端加上GPU的平行架構或是以硬體模擬的FPGA設計皆能達到即時運算的需求，更說明了DIBR在即時3D內容合成技術上的可行性。在產品設計的概念下，以一般軟體播放器設計或是以3DTV嵌入式晶片設計都是符合目前的2D/3D使用情境，不論是結合本文中的哪一種3D顯示器做為輸出端皆能成為一個完整的3D使用者系統，應用範圍包含了3DTV與3D Home Theater兩項家庭消費性主要產品，是3D走入家庭的重要技術。

參考文獻

- [1] DISPLAYSEARCH, “3D Display Technology and Market Forecast Report,” 2010.
- [2] G. Hamagishi, M. Sakata, K. Mashitani, M. Inoue, K. Taima, K. Oyamada, and S. Kishimoto, “A Display System with 2-D/3-D Compatibility,” *SID98 Digest*, pp. 915-918, 1998.
- [3] C. L. Wu, C. H. Tsai, and K. Lee, “2D/3D Switchable Mobile Display,” *Proc. of IDMC*, pp. 880-883, 2007.
- [4] W. L. IJzerman, S. T. de Zwart, and T. Dekker, “Design of 2D/3D Switchable Displays,” *SID05 Digest*, pp. 98-101, 2005.
- [5] G. J. Woodgate, and J. Harrold, “High Efficiency Reconfigurable 2D/3D Autostereoscopic Display,” *SID03 Digest*, pp. 394-397, 2003.
- [6] H. K. Hong, S. M. Jung, B. J. Lee, H. J. Im, and H. H. Shin, “Autostereoscopic 2D/3D Switching Display Using Electric-Field-Driven LC Lens (ELC Lens),” *SID08 Digest*, pp. 348-351, 2008.
- [7] W. H. Huang, W. J. Huang and K. C. Liu, “Real-time Rendering Architecture for Stereoscopic Display based on GPU,” *Proc. of 3DSA*, Japan, 2010.
- [8] R.-P.M. Berretty, F. J. Peters and G. T. G. Volleberg, “Real Time Rendering for Multiview Autostereoscopic Displays”, *Procs. Stereoscopic Displays and Applications Conference, SPIE*, vol. 6055, p. 208-219, 2006.
- [9] C.M. Cheng, S.J. Lin, S.H. Lai, J.C. Yang, “Improved Novel View Synthesis from Depth Image with Large Baseline,” *International Conference on Pattern Recognition*, 2008.
- [10] H. J. Chen, F. H. Lo, F. C. Jan, and S. D. Wu, “Real-time Multi-view Rendering Architecture for Autostereoscopic Displays,” *Proc. of ISCAS*, 2010.