

行政院國家科學委員會補助專題研究計畫 成果報告
 期中進度報告

題目：具高畫質、低功率與人因優化之 LCD 面板及光源系統研究

-子計畫二：LCD 面板與光源之整合式驅動架構研發

計畫類別： 個別型計畫 整合型計畫

計畫編號：NSC 96-2221-E-009-113-MY3

執行期間：96 年 08 月 01 日至 99 年 07 月 31 日

計畫主持人：黃乙白 副教授

共同主持人：

計畫參與人員：陳均合、林芳正、廖凌堯、王國振、魏景明、蔡期竹

成果報告類型(依經費核定清單規定繳交)： 精簡報告 完整報告

本成果報告包括以下應繳交之附件：

- 赴國外出差或研習心得報告一份
- 赴大陸地區出差或研習心得報告一份
- 出席國際學術會議心得報告及發表之論文各一份
- 國際合作研究計畫國外研究報告書一份

處理方式：除產學合作研究計畫、提升產業技術及人才培育研究計畫、列管計畫及下列情形者外，得立即公開查詢

涉及專利或其他智慧財產權， 一年 二年後可公開查詢

執行單位：國立交通大學 顯示科技研究所

國立交通大學 光電工程研究所

中 華 民 國 99 年 09 月 30 日

摘要

一個高動態液晶顯示器可以藉由區域可控式背光提昇影像對比度。本計畫第一年度已完成背光訊號灰階控制及調整，在此先將背光訊號做分區決定後，依據每一背光區域所對應之畫面區域決定該區背光灰階值。在取得背光訊號後以 Inverse of Mapping Function, IMF 的方法再將背光訊號做調整，以獲取更合適的背光灰階值。其次，依據背光訊號的變化補償出相對應的液晶補償訊號可維持影像亮度並使影像細節清楚呈現。另外，由於液晶補償採用的捲積法(Convolution Method)計算量龐大，在硬體實現上為一大困難，故我們提出另一種用於模擬背光分布的方法- 模糊遮罩法(Blur Mask Approach, BMA)，其演算法可以簡化運算的複雜度，並可提供優於捲積法的影像表現。

然而，灰階控制的背光調變對於畫面偏於某個色彩(例如純紅、綠、藍等畫面)的畫面來說，其節省的能源相當有限，若能夠分別調控紅、綠、藍 LED 亮度，則能夠更加節省消耗功率。本計畫第二年度已完成彩色背光調變的演算法 Delta-Color-Adjustment, DCA 法以及 Segment-Color-Control, SCC 法。依照影像資訊可分別控制紅、綠、藍三色的背光訊號以得到彩色的背光訊號。其次，依據背光訊號的變化可補償出相對應的液晶補償訊號。彩色背光調變不僅可維持影像亮度並可使色彩飽和度提升，最重要的是能夠大幅降低功率消耗。

本計畫第三年度結合了高亮度動態範圍(High Dynamic Range, HDR)與場色序型(Stencil-FSC)顯示技術，有效抑制色序型液晶顯示器 (field-sequential color LCD, FSC-LCD) 的色分離現象(color breakup)。考慮色分離現象的抑制及硬體運算的複雜度，最佳化的 Stencil-FSC 硬體參數被實現於32吋色序型液晶顯示器上。利用這樣的技術，畫面的影像對比度不僅比傳統冷陰極燈管式的液晶顯示器提高10倍以上，而且平均功率消耗也大幅降低至40瓦以下，約僅有現行液晶顯示器的35%能量消耗。

關鍵字：高動態液晶顯示器、區域可控式背光、彩色背光調變、液晶補償、模糊遮罩法、捲積法、場色序型、色分離

Abstract

A high dynamic range liquid crystal display (HDR-LCD) can enhance the image contrast ratio using a locally controlled dynamic backlight. The controlled and adjusted methods of backlight signals have been finished in the first year. After dividing the backlight into the appropriate regions, the gray level of each backlight region is determined by its corresponding image area. Then we use the Inverse of Mapping Function (IMF) method to get the appropriate gray level of backlight signals. According to the corresponding backlight signals, we get the LC compensation signals for keeping the brightness and the details of image. Besides, because of the complex calculation of convolution method, we propose another method, which is the Blur Mask Method to simulate the backlight distribution. The algorithm can simplify the computation and provide the better image than the convolution method.

However, the power reduction of intensity controlled backlight for some pure color images like red, green, or blue image was limited. Therefore, we proposed the Delta-Color-Adjustment (DCA) method and Segment-Color-Control (SCC) method to appropriately adjust the backlight intensity of three primary-color LEDs independently. The determination algorithm of the three primary-color backlight signals has been completed in the second year. The red, green, and blue backlight signals can be controlled independently according to the image. Therefore, a color backlight signal can be determined. According to the corresponding backlight signals, the LC signals were compensated to maintain the brightness and image details. Consequently, the color-controlled backlight can not only maintain the image brightness, but also enlarge the NTSC gamut. The most important thing is the power consumption can be further reduced.

In the third year, by combining the High Dynamic Range (HDR) and Stencil-FSC display technology, it can suppress color breakup efficiently in field sequential color LCD (FSC-LCD). Considering color breakup suppressing and hardware computing complexity, the optimal parameter of Stencil-FSC was applied in the 32" FSC-LCD. By using this technology, the image contrast can be increased time times than conventional CCFL display, and the average power consumption can be decreased lower than 40W, which is about the 35% power consumption of current LCD.

Keywords: *high dynamic range liquid crystal display, area-adaptive backlight, color-controlled backlight, liquid crystal compensation,, blur-mask method, convolution method, Stencil-FSC, color breakup*

一. 前言及研究目的

高動態範圍液晶顯示器(HDR-LCD) 概念的提出一種具有雙調變器的顯示器(dual-panel display)，除了傳統的高解析度液晶顯示面板外，另一個可分區調變的背光技術可將背光模組視為一個用來調整顯示器對比度的低解析度顯示器[1-4]；而原本液晶面板之高解析度的特性則可用來維持畫面細節，透過此種雙面板調變的方式可以有效地提高顯示器的影像品質及降低功率消耗。

隨著顯示技術的日益提升，顯示品質正逐漸被消費者關注著。本計劃第一年目標乃為建立一高動態對比影像之顯示器，預期使高對比影像達 20,000：1 的對比度。在考量量產的可能性下，將 37 吋 HDR-LCD TV (High Dynamic Range Liquid Crystal Display Television)背光分成 8×8 個區域，各區由 3×6 個發光二極體(LED)組成，分區調變背光使達高動態對比影像，並進一步降低電源消耗功率，以達環保節能的目的。

為了使顯示器功率消耗能夠進一步降低，本計畫第二年提出可分別調控紅、綠、藍三色LED背光訊號的演算法，如圖1所示。除進一步降低消耗功率外，更同時保有灰階調變時高對比度的好處。為了評估彩色背光調變所能節省之功率消耗，我們量測RGB三色LED在不同灰階值下的功率消耗(如圖2)，初步估計能更進一步節省20~40%背光全亮狀態下的功率消耗。

本計畫第三年度提出結合高亮度動態範圍與場色序型顯示技術來有效抑制色序型液晶顯示器的色分離現象。考慮色分離現象的抑制及硬體運算的複雜度，最佳化的 Stencil-FSC 硬體參數被實現於32吋色序型液晶顯示器上。利用這樣的技術，畫面的影像對比度不僅比傳統冷陰極燈管式的液晶顯示器提高10倍以上，而且平均功率消耗也大幅降低至40瓦以下，約僅有現行液晶顯示器的35%能量消耗。

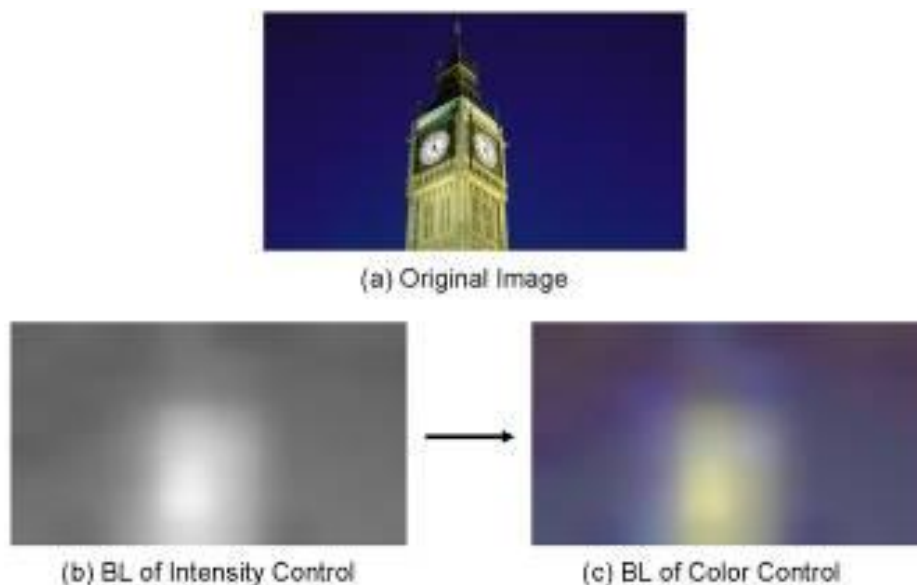


圖 1、原圖(a)分別採用灰階背光調變(b)以及彩色背光調變(c)

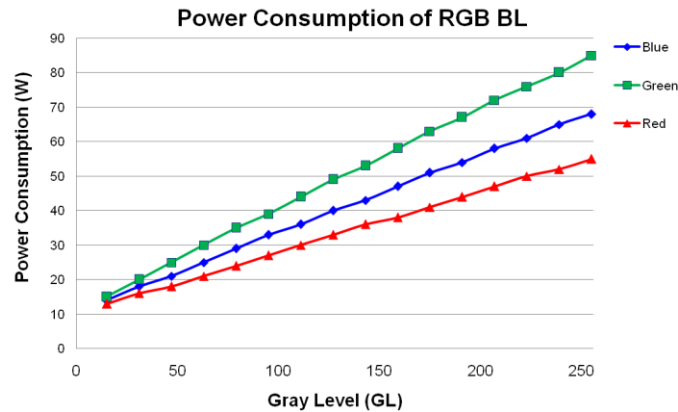


圖 2、三原色不同背光灰階值所對應的電功率(傳統全點亮的背光功率：190W)。單位：Watt

二. 文獻探討

圖 3 的 Backlight module 即為 LED 背光源陣列，此背光源陣列可依照畫面資訊作局部的背光調變，由於背光源陣列本身為一低解析度顯示器，其所產生之光強度分布尚需搭配液晶面板之高解析度訊號，才可展現細緻而具有高對比度的影像。

BrightSide 公司所提出之完整演算流程如圖 4 所示，一開始由一輸入影像(步驟 1)，進行影像增強動作(步驟 2)，根據背光決定演算法決定出背光訊號(步驟 2a)並將之送至 LED 驅動(步驟 3)，把背光訊號 I_L 與光分布函數 p_1 進行捲積運算模擬光分布情形(步驟 4)，以此做為液晶補償依據算出液晶補償訊號(步驟 5)，在將之送至 LCD(步驟 6)。透過此完整的演算過程，我們可由一原輸入影像推得相對應之背光訊號及液晶補償訊號。

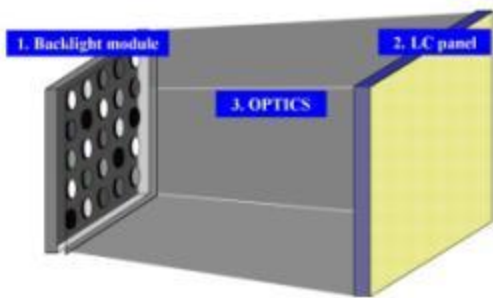


圖 3、LED 背光 HDR-LCD 系統

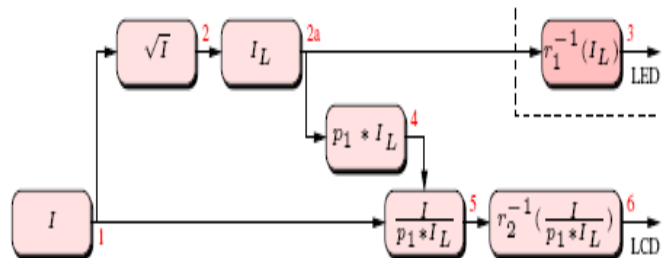


圖 4、BrightSide 公司所提出之演算流程

圖 5 為 Samsung 公司所提出彩色背光調變的演算法流程圖[5]。首先，計算出每一區背光所需要的目標亮度，第二，計算每一區背光紅、綠、藍三色背光的理想亮度與目標亮度之差稱為調變因子(dimming factor) $\Delta_R(n)$ 、 $\Delta_G(n)$ 與 $\Delta_B(n)$ 。第三，根據光分佈函數對於每一區的背光亮度做補償並計算補償完之背光亮度與目標背光亮度之差 $\Delta Y_R(n)$ 、 $\Delta Y_G(n)$ 及 $\Delta Y_B(n)$ 。若 $\Delta Y_R(n)$ 、 $\Delta Y_G(n)$ 、 $\Delta Y_B(n)$ 滿足一個標準值，則背光的調變則由第二步的調變因子所決定，若不滿足則必

須另作補償。此演算法能夠得到一彩色的背光訊號，依照此演算法所得之影像能維持影像品質並且降低顯示器功率消耗。然而，此演算法較為複雜。實際應用於硬體上會是一困難之處。

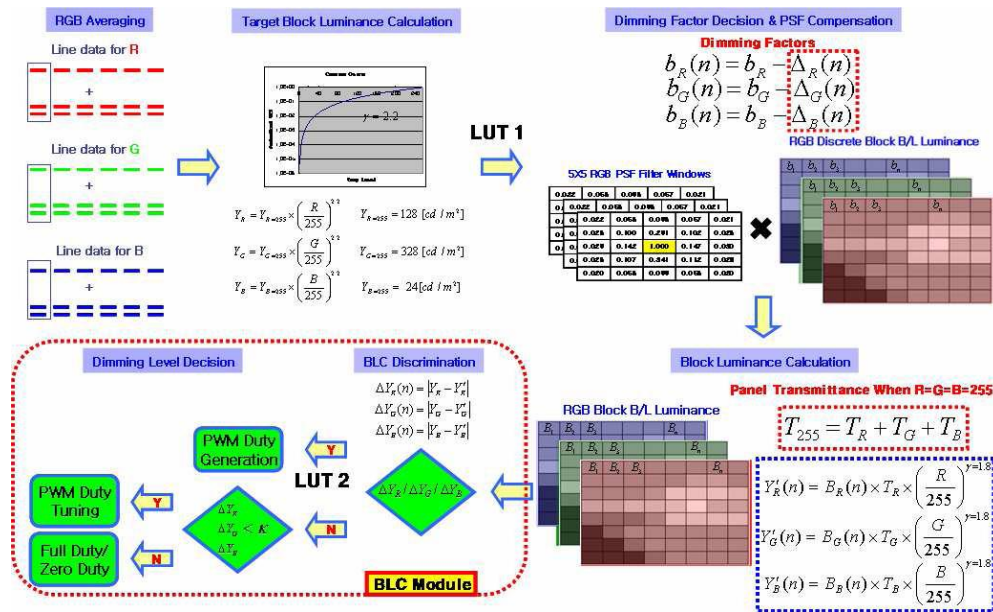


圖 5、Samsung 公司所提出彩色背光調變之演算法流程圖

色序型液晶顯示器為一種不需彩色濾光片(Color Filter)的高光效率液晶顯示器[6]。不同於傳統利用彩色濾光片的空間色彩混合，色序型液晶顯示器利用時序且快速地顯示紅、綠、藍三種色場。透過時間混色的方法(視覺暫留)，人眼可以看到全彩的影像。由於移除了彩色濾光片，色序型液晶顯示器有著更高的光效率、廣色域、低材料成本及三倍可能的螢幕解析度等特點。

然而，色序型液晶顯示器有著潛在的色分離現象，導致影像品質大幅降低(如圖6)[7]。其主要發生於顯示的目標畫面與眼睛有相對速度(如眼球的跳視及平滑追跡等運動)，三原色場的資訊無法完全重疊在視網膜的同一位置，致使物體邊緣的組成色錯開，色分離現象隨之而生。此現象常使得觀察者感到不舒服，甚至有暈眩的情形。

早期為了解決在數位光學處理技術 (digital light processing, DLP) 投影機上的色分離現象，直接且有效的辦法是加入多個單色場[8]或增加場速率至 540Hz 以上。因此，色序型液晶顯示器的傳統解決方法亦加入單色場或直接增加色場速率來抑制[9-11]。然而，即使 LED 背光可以非常快速的開關，但是液晶的反應時間卻阻礙了上述方法在大尺寸色序型液晶顯示器的使用。



圖 6、(a) 目標影像 Lily, (b) 色序型顯示器上的色分離影像。

三. 研究方法

本計畫第一年度提出背光訊號灰階控制及調整、液晶補償方法與模糊遮罩法來簡化運算的複雜度。第二年度提出兩種彩色背光演算法，Delta-Color-Adjustment (DCA)[12,13]演算法以及 Segment-Color-Control (SCC) [14]演算法。第三年提出 Stencil-FSC 方法以及背光分區最佳化來有效抑制色分離現象，以下將分別進行說明。

A. 背光訊號的決定：

在大多數的文獻中，其在低解析度的背光顯示器部分，多不考慮輸入影像為何，僅使用單一的背光調整曲線，如 BrightSide 公司所提的開根號法僅對初步決定的背光值做一加強的動作，如此雖能保留住畫面的最大亮度，但有時卻也會過度提升而造成背光過度的消耗，同時也可能使得暗處的背光過強，造成對比度的提升不足。考慮到這點，我們提出一種背光決定方法：Inverse of Mapping Function (IMF)，其能在不同畫面輸入時，依其影像訊息而調整背光的映象函數(Mapping Function)，使得在高對比影像輸入時，背光便能拉開其對比度，並藉由液晶的補償使影像細節清楚呈現。

背光信號的調變分為兩個步驟，第一步驟是由畫面資訊初步決定一組背光值，第二步驟是利用背光調整曲線，進一步調整此背光值。以下將就一輸入影像分成8x8區塊後，個別求其對應之背光訊號的方法做比較探討。以下列出的方式皆為在各背光分區取得每個畫素中單一子畫素的 Max 值，之後再取下列幾種方式作為背光值：

1. $\text{Max} \rightarrow \text{Avg}$ ：(簡稱 Avg)

取一區之中每個畫素 Max 值後，再取其平均值，此取決法雖可擁有較高之對比度及較少的功耗，但會造成影像失真嚴重。

2. $\text{Max} \rightarrow \text{Avg} \rightarrow \text{Normalization} \rightarrow \text{Root}$ ：(簡稱 Root)

取一區之中每個畫素 Max 值的平均值後，做歸一化再開根號之訊號增強，可避免取平均之後背光較暗的問題，但仍避免不了影像細節的失真情形。(目前 Brightside 提出之方法)

3. $\text{Max} \rightarrow \text{Max}$ ：(簡稱 Max)

取一區之中每個畫素 Max 值的 Max 值，可避免背光不夠亮，雖可保持大部分影像細節，但卻有對比度不高及高功耗的問題。

4. $\text{Max} \rightarrow \text{Max} \rightarrow \text{IMF}$ ：(簡稱 IMF)

取一區之中每個畫素中子畫素 Max 值後，用 IMF 曲線調整背光，此作法根據每一畫面灰階分布資訊對 Max 法進一步調整背光訊號，已證實可以獲的較高的對比度及較低的功耗表現，並可維持大部分的影像細節。

B. IMF 背光決定法：

由於雙調變顯示器的概念是利用背光當作另一個調變器，使顯示器對畫面的控制性更好。我們提出一種叫做 Inverse of Mapping Function(以下簡稱 IMF)的方式當作第二步驟的背光調整曲線，有別於傳統背光決定方式只用單一曲線來調整背光信號，更能針對不同畫面特性改善影像品質，此曲線的獲得方式如圖 7 所示：

首先統計整張畫面的長條圖(Histogram)，將長條圖由低灰階累積至高灰階後，對 $y=x$ 直線

作鏡射得 IMF 曲線。

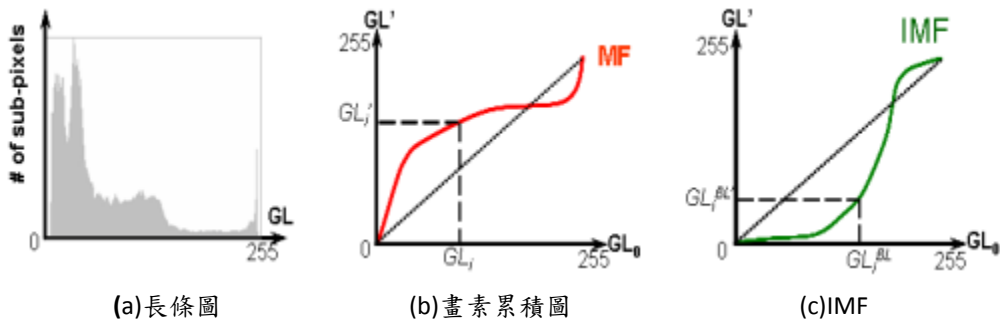


圖 7、IMF 曲線獲得過程

IMF 法將可適用於不同的影像資訊，來調整出更適合的背光訊號，例如對於高對比畫面資訊而言，如圖 8(a)所示，由於高低灰階偏多，根據此一 IMF 曲線調整背光訊號，可將背光亮暗更進一步拉開而使整體對比度提高；對一低對比畫面資訊來說，如圖 8(b)所示，由於畫面中間灰階偏多，對其 IMF 做調整可以使背光亮度分佈均勻，不會有背光亮暗差距過大的情形。

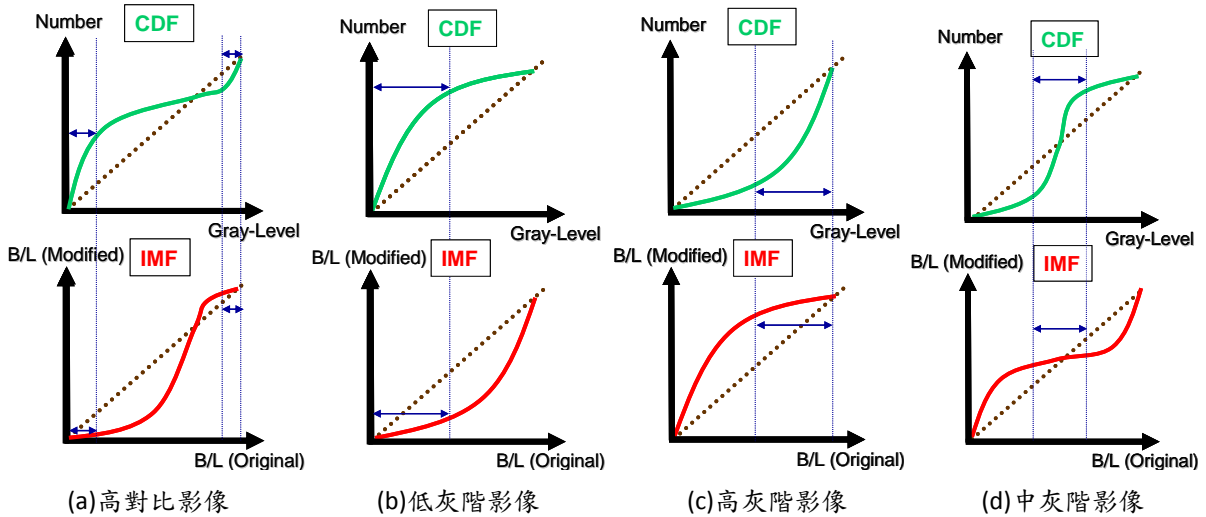


圖 8、IMF 優點說明圖

使用 IMF 決定背光信號的流程圖如圖 9 所示，IMF 之優點如下：

1. 能依不同畫面資訊決定出不同的背光調整方式。
2. 改善畫面品質，提高高對比影像的對比度或提高低對比影像的畫面均勻度。
3. 未來可依影像處理端對液晶訊號的映射函數做鏡射的動作，即可決定出不同的 IMF 曲線，以達更好的背光調整效果，且不需要太多額外的運算量。

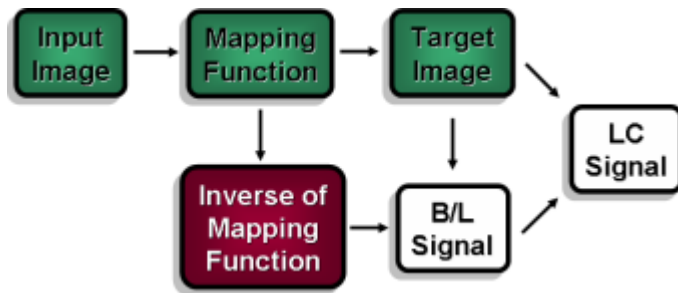


圖 9、IMF 流程圖

C. 液晶補償：

單純的背光源陣列調變並無法展現目標影像之內容，如果液晶訊號沒有做相對應的調整補償，會造成影像細節及畫面亮度的失真，如圖 10 所示。

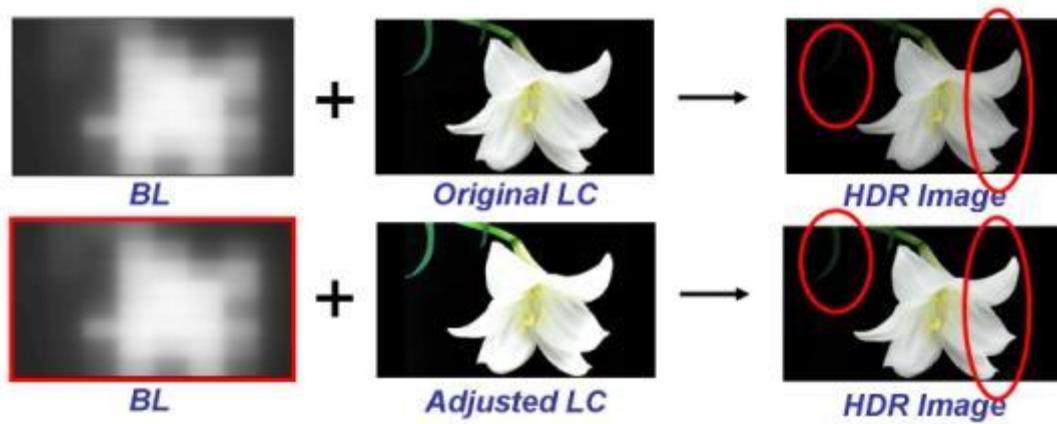


圖 10、(上)無液晶補償及(下)有液晶補償之效果

由圖 10 可發現，單純只作背光調變之系統所產生之 HDR 影像會有明顯偏暗之現象。而考慮液晶訊號補償之系統不但可保有高對比度之效果，並可保持大部分的影像細節，所以液晶訊號補償在 HDR 顯示系統中有其執行的必要性。

在液晶訊號補償中，背光源陣列之光強度分布是作為液晶訊號的補償依據，首先，在背光訊號決定後，將單一區背光訊號與光分布函數(Light Spread Function, LSF)，進行捲積運算(Convolution)，如圖 11，以模擬真實背光強度分布情形，以此作為進入液晶層前之光強度分佈，接著根據錯誤! 找不到參照來源。推算液晶之補償訊號。

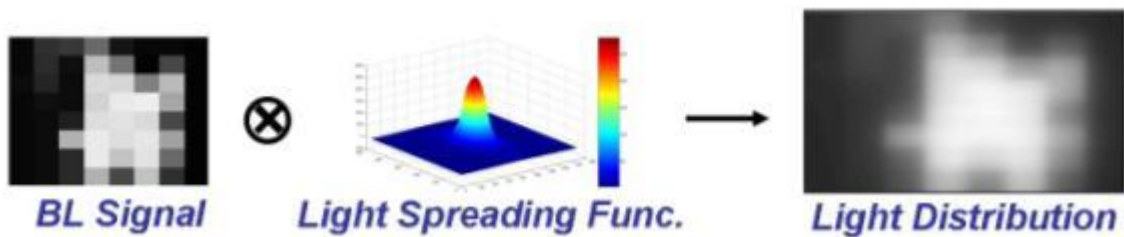


圖 11、捲積運算過程

$$GL_{HDR} = \left(\frac{BL_{full}}{BL_{HDR}} \right)^{\frac{1}{r}} \times GL_{Target} \quad (1)$$

在考慮顯示器 γ 調整的條件下，將目標影像除以背光分布，其中 BL_{full} 及 BL_{HDR} 分別表示傳統全亮以及HDR 顯示器動態調整背光的背光強度，根據此公式可由原本的液晶訊號 GL_{Target} 推得補償後的液晶訊號 GL_{HDR} 。完整的演算流程如圖12所示：

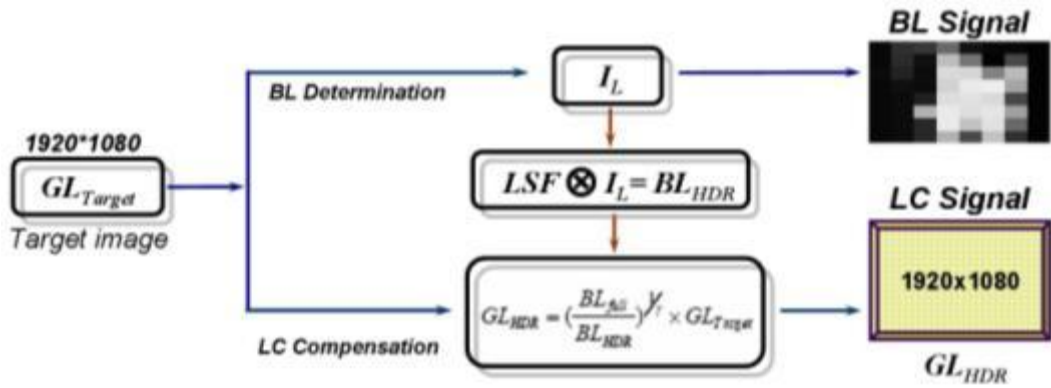


圖 12、HDR 顯示器系統獲得背光訊號及液晶訊號之演算流程

雖然液晶補償可進一步的利用液晶訊號來補償畫面亮度不足的部份，但並非所有情況皆可靠液晶訊號將亮度補足，若背光本身強度過低，縱使液晶轉至 255 灰階值(8bit)的全亮狀態，仍無法將其亮度補足，所以液晶訊號補償的優劣與否，實決定於最初背光訊號之決定。

D. 模糊遮罩法：

雖然採用捲積方式的液晶補償可以模擬出接近真實的背光分布，然而捲積法計算量龐大，在硬體實現上是一大困難，另外一項窒礙難行的因素在於 LSF，由於單一區背光發光時，其影響範圍擴及整張影像，這意味著 LSF 的考慮範圍必須等於或甚至大於一張影像之大小(1920×1080)，因此我們無法提供如此的記憶體容量來存取此大小之 LSF。事實上，在我們的實驗中，2430×1215 大小的 LSF 亦無法解決邊界效應的問題，所以捲積法的演算過程必須被簡化。

我們提出另一種用於模擬背光分布的方法—模糊遮罩法(Blur Mask Method)，其演算的過程可以省去儲存 LSF 的麻煩並簡化捲積的運算，我們也在硬體上證實了模糊遮罩法的可行性以及可提供優於捲積法的影像表現。

模糊遮罩法是使用一模糊遮罩對原始的背光灰階值影像(如圖 13(a)所示)進行模糊，接著反覆執行擴張及模糊的動作，其結果可以模擬出近似真實背光的光分布，最後液晶補償訊號的決定與捲積法相同，其中模糊遮罩的權重如圖 13(b)所示，為求便於硬體計算，因此將其權重值設為 2 的次冪。

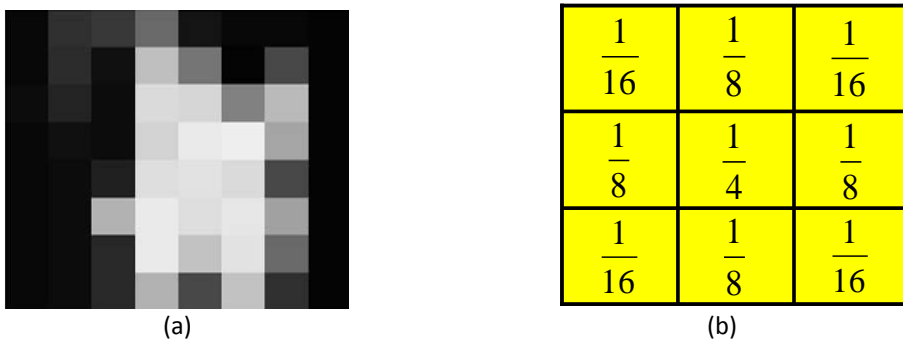


圖 13、(a) 8×8 區的背光灰階值影像及 (b)模糊遮罩

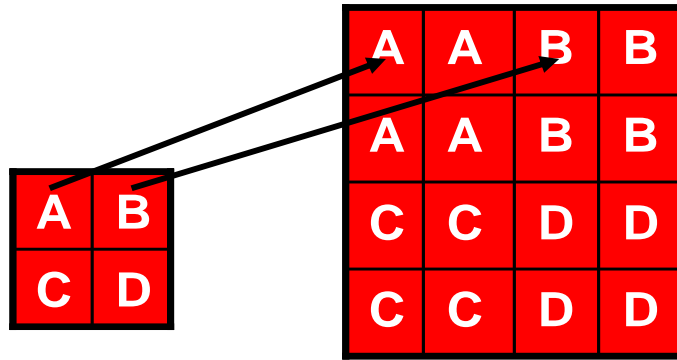


圖 14、影像擴大方式圖，其中的 A、B、C 和 D 表示該畫素之灰階值

模糊遮罩法的主要步驟如下，首先，將原始 8×8 區的背光灰階值影像之長寬各放大兩倍成為一 16×16 之影像，其放大的方式示於圖 4，接著將此 16×16 之影像與模糊遮罩進行捲積以達到模糊的目的，之後再進行同樣放大及模糊的動作，直到模糊影像被放大模糊至 256×256 後，為求運算簡化，直接將此 256×256 之模糊影像放大到 1920×1080，此 1920×1080 所表現之灰階值即做為背光分佈之模擬結果，演算過程及模擬結果如圖 15(a)所示；圖 15(b)為原始影像及捲積法所模擬之背光分布，比較可發現，模糊遮罩法的模擬結果與捲積法之結果有相似的分佈。

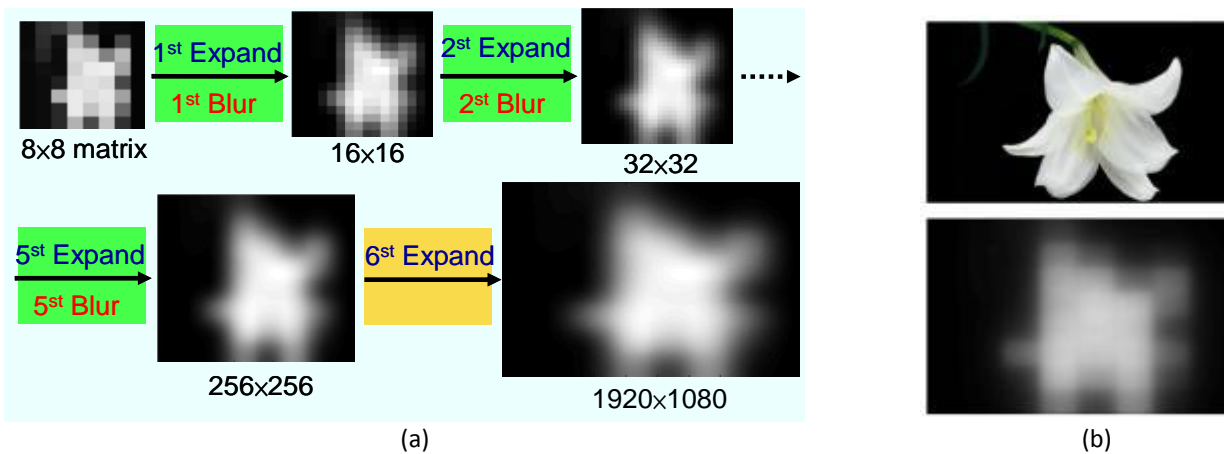


圖 15、(a)模糊遮罩法之演算過程及(b)原始影像(上)、捲積法之背光模擬結果(下)

綜合以上結論，模糊遮罩法擁有以下優缺點：

優點：

1. 減低硬體負荷，不需額外的 frame buffer 儲存 LSF。
2. 簡化運算量。
3. 提供較高的影像細節。
4. 解決捲積法 LSF 邊界效應的問題。

缺點：

1. 不如捲積法來得接近真實的模擬，但實驗結果與捲積法十分接近。
2. 最大亮度不及捲積法，但改善方式已被提出且證實可行。

E. Delta-Color-Adjustment (DCA)演算法：

Delta-Color-Adjustment (DCA)可針對不同影像對 RGB 三色背光在原始灰階調變的基礎下獨立進行調變，不僅能保有灰階調變時高對比的好處，並且能進一步降低顯示器功率消耗。

此彩色背光演算法概念如圖 16 所示。依據 Brightside Co.發表之灰階背光演算法的流程架構[1-2]，可得 Phase1 的背光(Phase1: BL)。將此背光分成三個維度：紅色背光 BL(R)、藍色背光 BL(B)並使(Phase1:BL) = BL(R) = BL(G) = BL(B)，再分別對 R、G、B 的每一區做細部調變(ΔBL_r 、 ΔBL_g 、 ΔBL_b)，即可獲得一個新的彩色背光值(Phase2: Color BL)。此彩色背光演算法具有下列優點：

1. 低硬體運算量
2. 節省功率消耗
3. 提高對比度

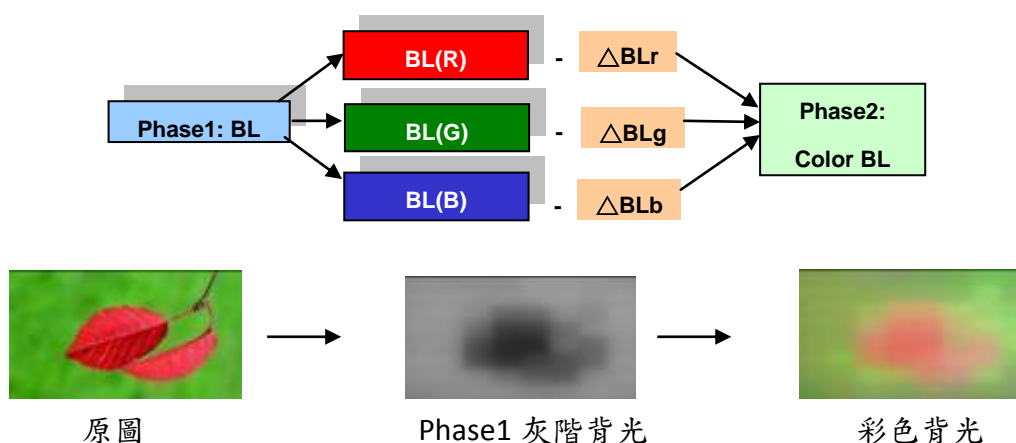


圖 16、彩色背光演算法概念：彩色背光可由 Phase1 灰階背光分別再就 RGB 三色 LED 調整而得

DCA 演算法的關鍵在於適當的決定三色背光微調量，即 ΔBL_r 、 ΔBL_g 、 ΔBL_b 。此演算法的流程圖如圖 17 所示：

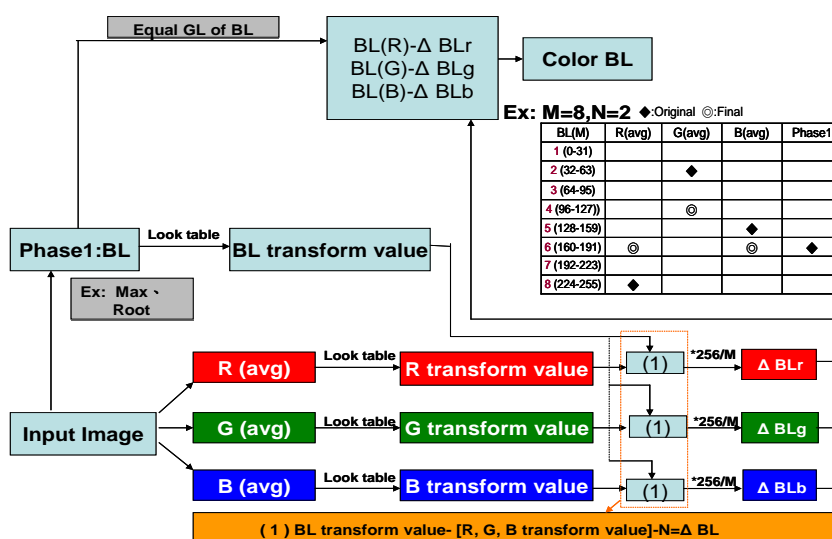


圖 17、演算法流程圖

(1) 首先把 0~255 的背光值等比例($\Delta=32$)分割成 M 區，再依所屬的區域轉換其所代表的值域

(1~8)，參照錯誤! 找不到參照來源。例如：當背光值落在 0~31，則對應到 1；當背光值落在 32~63，則對應到 2...若背光值落在 224~255，則對應到 8。

- (2) 比較 Phase I 的每一區背光轉換值和影像每一區背光平均值。
- (3) 帶入 Phase I(BL)- [R, G, B(avg)]-N=ΔBL (若 $\Delta BL \leq 0$ ，則 ΔBL 視為 0 → 不做調整)。
- (4) 只做減少的動作，不做增加的動作。

舉例而言，在表一中(M=8、N=2)，灰階背光演算法決定好的某區背光落在 160~191 之間，則此背光轉換值記為 6。再分別算出影像各區中 R、G、B 的平均值，分別置換成所對應到的數值，R=8、G=2、B=5。接著再帶入公式： $\Delta BL_r = 6 - 8 - 2 = -4 \leq 0 \rightarrow 0$ ， $\Delta BL_g = 6 - 2 - 2 = 2$ ， $\Delta BL_b = 6 - 5 - 2 = -1 \leq 0 \rightarrow 0$ 。因此，最後此區背光值僅調變 G，減少兩個 Δ (即減少 64 個灰階)；而 R、B 則維持原來灰階背光演算法的值，不予變動。因此 DCA 背光演算法中會有兩個重要的參數(M 和 N)。以下將進行實際量測以找尋最恰當的 M、N 值以優化 DCA 彩色背光決定法。

表一、Delta-Color 背光演算法對應表

◆:Original ◎:Final

BL(M)	R(avg)	G(avg)	B(avg)	Phase1
1 (0-31)				
2 (32-63)		◆		
3 (64-95)				
4 (96-127)		◎		
5 (128-159)			◆	
6 (160-191)	◎		◎	◆
7 (192-223)				
8 (224-255)	◆			

F. Delta-Color-Adjustment (DCA) 優化實驗：

實驗圖片：

本實驗預計要量測各種不同類型的圖片來驗證此彩色背光演算法的優缺點。圖 18 為測試圖片，其中包含單一原色偏多，可觀察能否節省較多的功率；多細節圖片，可觀察是否能維持原影像細節；中對比圖片，可觀察是否能提高對比並節省功率；高對比的圖片，可觀察是否能維持 Phase1 演算法高對比之優點並且達到更節省功率之目的。

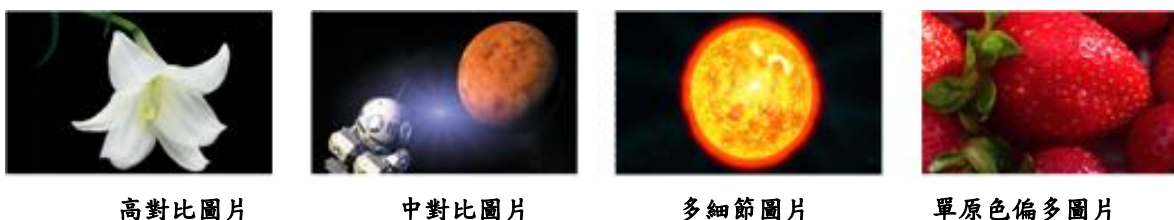


圖 18、實驗圖片

實驗流程：

本實驗流程如圖 19 所示，選擇了四張不同測試圖片，接下來利用 IMF[15]結合 DCA 並搭配不同的 M 與 N，可得到不同的背光值，下一步再分別使用 convolution 的液晶補償方式分別去補償影像的細節，最後再利用影像品質與功率損耗當做評估的指標，進而找到理想的 M,N 值。

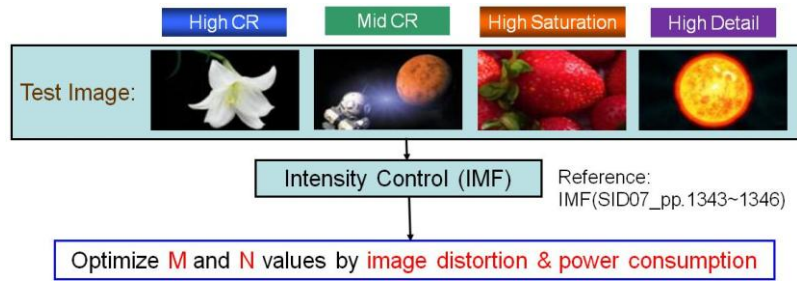


圖 19、DCA 實驗流程

經由上面的實驗可得到許多組M與N的結果。首先為了維持影像的細節度，我們找了七個人做主觀的人因實驗並給予影像評分。而為了能達到高畫質的影像，我們定義了十分為門檻(分數越高表示畫面品質越好)。從圖20(a)可以發現有六組的M與N滿足此門檻，因此我們再使用功率消耗當作第二個評斷的指標，從上面六組找尋到最低功率消耗的組合，從圖20(b)可知，此DCA方法的M與N優化值為M=16與N=6。

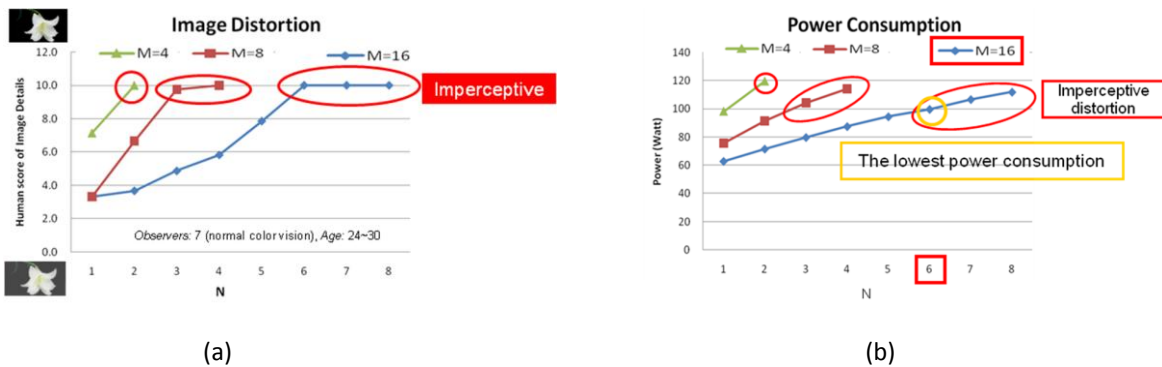


圖 20、DCA 實驗結果

G. Segment-Color-Control (SCC)演算法：

第二年度計畫中新提出的第二個彩色背光演算法為 Segment-Color-Control (SCC)演算法。此方法可結合 Average, Root 與 Max 三種黑白背光的優點，如圖 21 所示。Average 在暗態可以有效的降低漏光，使暗處能達到更暗；Root 在中灰階處可以使背光值平滑，使亮暗處不致於產生明顯的落差；Max 在亮態可以有效的維持住細節。除此之外，此法運算簡單易於硬體實現。

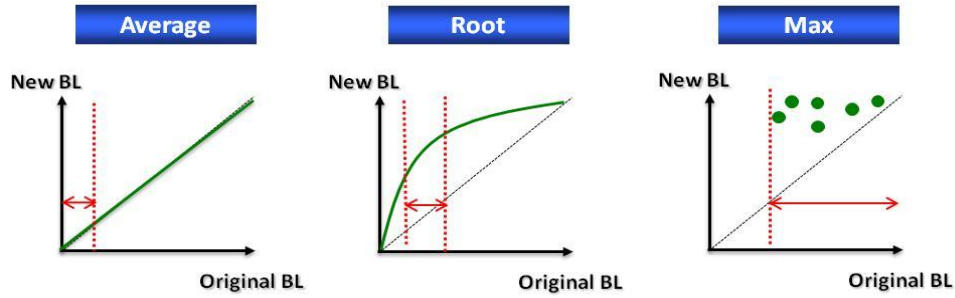


圖 21、各種黑白背光演算法的優點

此彩色背光演算法概念如圖 22 所示，依據 Brightside Co.發表之灰階背光演算法的流程架構可得到黑白背光，將此背光分為三個區域，再分別對 R、G、B 所落到的每一區做對應，如果對應到 A 區則使用 Average 演算法；如果對應到 R 區則使用 Root 演算法；如果對應到 M 區，則使用 Max 演算法，最後即可獲得一個新的彩色背光值。

此彩色背光演算法具有下列優點：

1. 硬體運算量低(不需要藉由黑白背光去調變)
2. 節省功率消耗
3. 提高對比

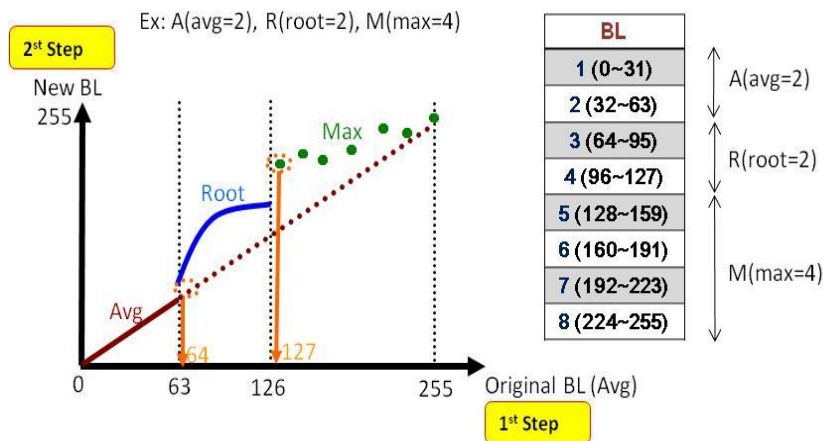


圖 22、SCC 演算法流程圖

H. Segment-Color-Control (SCC)優化實驗：

SCC演算法中有三個重要的參數(A,R與M)，分別代表三個演算法所佔的區域，而SCC的實驗流程與DCA幾乎完全一樣，如圖23。同樣是用影像的細節與功率損耗當作評斷指標，最後從實驗結果(圖24)可以發現A=1,R=2,M=5擁有最好的影像畫質與最低功率。

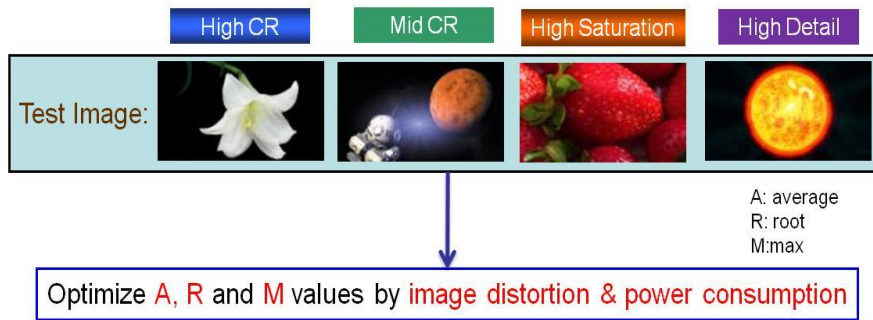


圖 23、2SCC 演算法流程圖

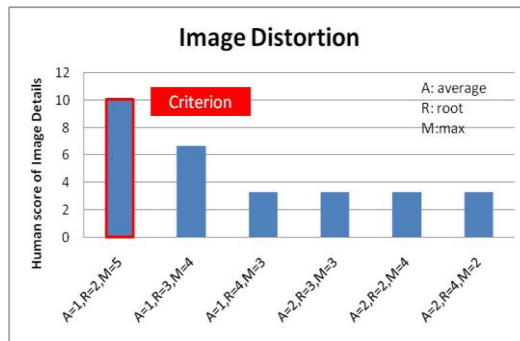


圖 24、3SCC 演算法流程圖

I. Stencil-FSC演算法與模擬

普通的色序型液晶顯示器在相同的畫素上時序顯示三個高強度的單色 (紅、綠、藍) 色場形成一個彩色畫面。當人眼因為相對運動而個別地看到這三個高亮度影像時，色分離即被觀察到而降低影像清晰度。而 Stencil-FSC 法，在第一個色場顯現大部分亮度及色彩內容，加上其餘三個較暗的三原色色場組成一個鮮明的彩色畫面。因此，即使有著相當快的相對速度，三個原色場所拉出的色彩也不意被察覺，而能有效地降低色分離現象。

為了在無彩色濾光片的色序型液晶顯示器中產生一個彩色的畫面，我們採用區域的背光控制技術或稱為高動態範圍 (high dynamic range, HDR)(圖25)[15-17]。首先，根據目標影像的資訊 (例: Girl © Microsoft)，計算出背光(BL)訊號— BL_r 、 BL_g 及 BL_b 。根據 BL_r 、 BL_g 及 BL_b 的強度分佈，紅、綠、藍三個場的液晶穿透率 T_r 、 T_g 、 T_b ，隨即被補償以維持原影像的亮度及彩度，如圖25(b)所示。接著我們取每個畫素的液晶穿透度最小值 T_{min} 做為第一個場的液晶訊號後，從(2)式可得另外三原色場的新訊號— T_r' 、 T_g' 及 T_b' ，如圖25(c)。

$$\begin{bmatrix} T_r' \\ T_g' \\ T_b' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} T_r \\ T_g \\ T_b \end{bmatrix} - T_{min} \quad \text{where } T_{min} = \min(T_r, T_g, T_b) \quad (2)$$

決定背光及液晶訊號後，結合三原色的背光訊號(BL_r 、 BL_g 及 BL_b)及最小液晶訊號(T_{min})成為顯示高亮度及色彩的第一個色場。同樣的，藉由 BL_r 跟 T_r 、 BL_g 跟 T_g 、 BL_b 跟 T_b 的搭配，形成三個其他的原色色場，如圖 25(d)所示。最後，在 1/60 秒時序顯示這四個色場，一個全彩且察覺不出的色分離影像可被產生。除此之外，由於高動態範圍技術的利用，Stencil-FSC 不僅可以提高動態對比度也能大幅降低功率消耗。

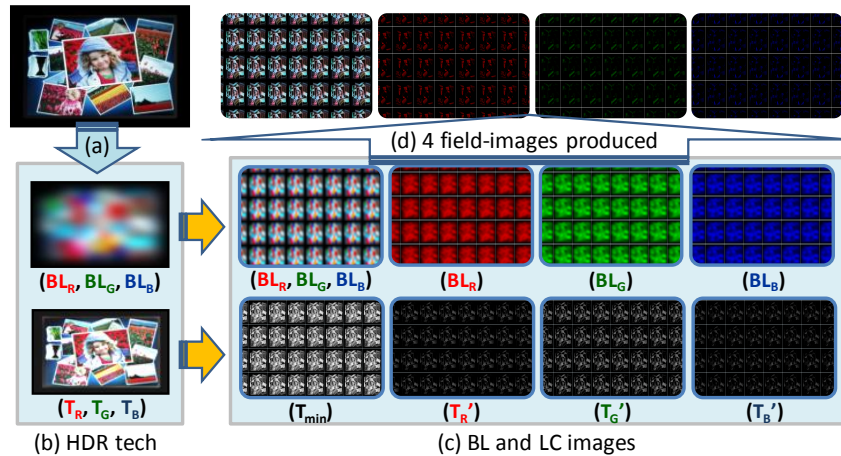


圖 25、Stencil-FSC 方法的演算過程

J. 背光分區最佳化

為了更有效的抑制色分離，利用 MATLAB 軟體去最佳化在 Stencil-FSC 方法下的背光分區數。直覺上，越多的背光分區數，可以越接近目標影像進而越有效地抑制色分離，如圖 26 所示。相對的，越高的背光分區數所需的驅動 IC 也越多，同時增加硬體運算的複雜度。模擬時，根據 LED 背光的總數 1152(48×12)將背光的分區分成九種(圖 26)。此外，我們選了九張不同影像細節及顏色複雜度的圖片作為測試影像，如表二所示。

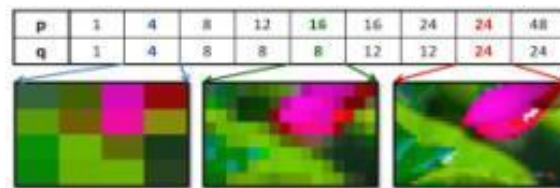


圖 26、目標影像_Lotus 在不同分區數的背光影像

表二、九張不同影像細節及顏色複雜程度的測試影像 (*: 取自於 <http://jac3158.com/blog>)

Color Detail	High	Mid	Low
High	Aborigine	Basketball	Mountain
Mid	Bird	Butterfly*	Church
Low	Lotus*	Azalea*	Coast

為了作為最佳化模擬時的評斷指標，我們引入 CIELAB 的色差公式(ΔE^*_{ab})，累加目標影像及色分離影像畫素間的色差($\sum \Delta E^*_{ab}$)以評斷色分離的嚴重性。在不同背光分區數使用 Stencil-FSC 法的狀況下， $relative\ CBU_{max}$ 被定義為任一 $p \times q$ 的背光分區比上九種分區下最嚴重中的色差總

值(p 為行數, q 列數), 如(3)式。愈小的 $relative\ CBU_{max}$ 值表示在這樣的背光分區中, 有較輕微的色分離影像。

$$relative\ CBU_{max} \equiv \frac{\sum \Delta E_{ab}^*(Target, Stencil)_{p \times q}}{\max[\sum \Delta E_{ab}^*(Target, Stencil)_{p \times q}]} \times 100\% \quad (3)$$

從模擬的結果可知(圖27), 當背光分區數越高, 則 $relative\ CBU_{max}$ 越小。超過24×12區後, 減少的趨勢減緩。若同時考慮色分離的抑制以及硬體的複雜性, 24×12~24×24 是最佳的背光分區數。

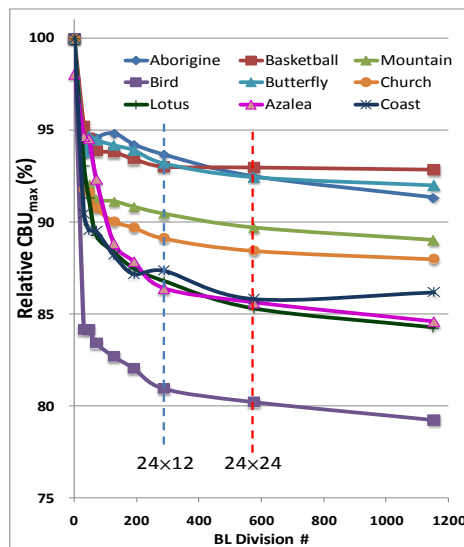


圖 27、九張測試圖片的 $relative\ CBU_{max}$ 對於不同背光分區數的模擬結果

將 Stencil-FSC 抑制色分離的效果與兩倍 (360Hz) 及三倍 (540Hz) 場速率兩種方法比較。將三種方法下所計算出的 $\sum \Delta E_{ab}^*$, 除以傳統用 180Hz RGB 驅動的 $\sum (E_{ab}^*)$ (標示為 $relative\ CBU_{RGB}$) 以做為相互比較的依據。在九張目標影像下, 360Hz, 540Hz 及 240Hz Stencil-FSC 方法的 $relative\ CBU_{RGB}$ 值分別為 76.6%, 59.8%, 及 47.2%(圖 28)。很明顯的, 若同時考慮色分離的抑制及硬體的實行, Stencil-FSC 方法比增加色場速率的方法來的有效許多。

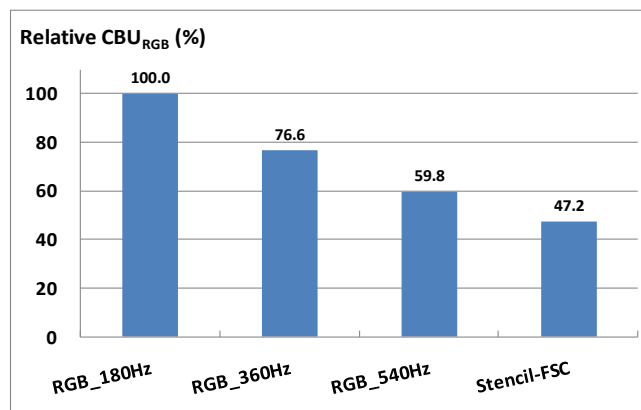


圖 28、九張測試圖片於 180Hz, 360Hz, 540Hz 的 RGB 驅動及 240Hz Stencil-FSC 的 $relative\ CBU_{RGB}$ 平均值

四. 實驗結果

a. IMF 與模糊遮罩法

IMF (Inverse Mapping Function)動態調整背光方式有別於傳統背光決定方式只用單一曲線來調整背光信號，可以依照輸入影像不同做適當的調整。例如對於高對比畫面資訊而言，由於高低灰階偏多，根據此一 IMF 曲線調整背光訊號可將背光亮暗更進一步拉開而使整體對比度提高；對一低對比畫面資訊來說，由於畫面中間灰階偏多，對其 IMF 做調整可以使背光亮度分佈均勻，不會有背光亮暗差距過大的情形。可參考下圖 9~圖 31 之結果。

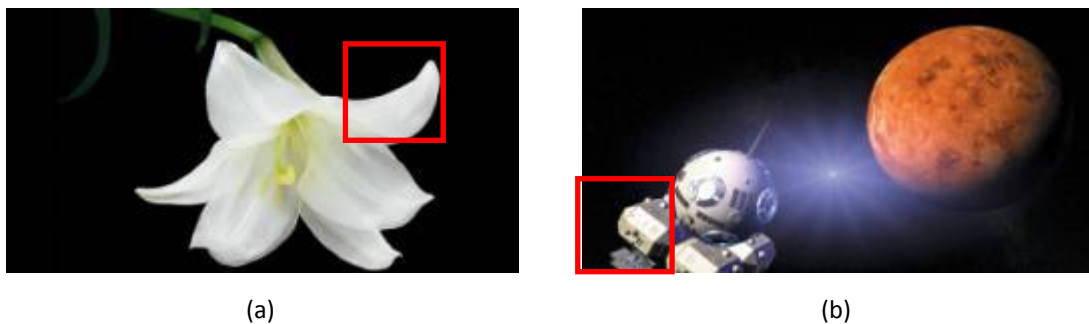


圖 29、(a)Lily (b)Space Robot 圖

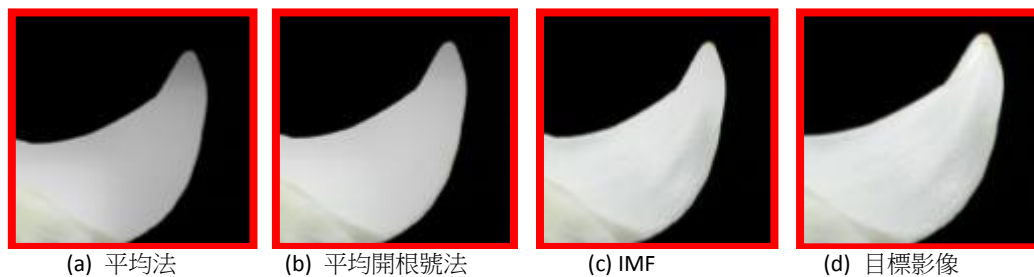


圖 30、局部放大目標影像 Lily 的模擬結果，(a)~(c)分別為平均法、平均開根號法及 IMF 之背光決定方式，液晶則使用捲積法補償；(d)為目標影像

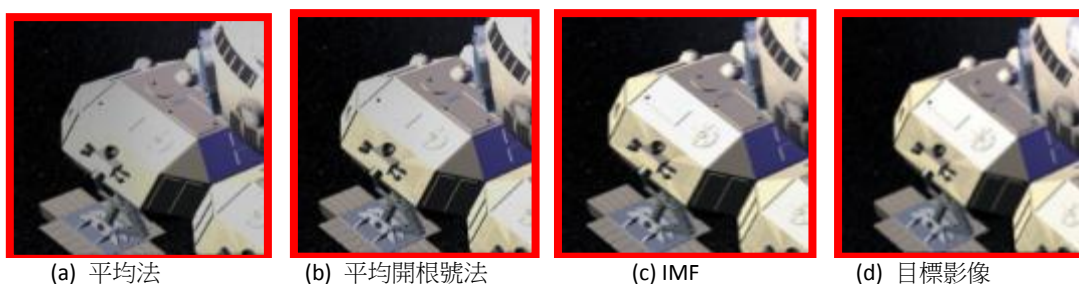


圖 31、局部放大目標影像 Space Robot 的模擬結果，(a)~(c)分別為平均法、平均開根號法及 IMF 之背光決定方式，液晶則使用捲積法補償；(d)為目標影像

綜合以上結果證實，IMF 的確適用於背光訊號的決定，在對比度的表現上，不但將原本的 CR 值提升突破 20,000:1，畫面最大亮度也直逼傳統液晶顯示器，比較各方法，IMF 皆提供了雙

贏的結果。在畫面細節的表現上，IMF 更有驚人的表現，不但維持了原本的亮度，畫面細節更直逼目標影像。所以 IMF 之優點如下：

1. 能依不同畫面資訊決定出不同的背光調整方式。
2. 改善畫面品質，提高高對比影像的對比度或提高低對比影像的畫面均勻度。
(~20000:1)。
3. 未來可依影像處理端對液晶訊號的映射函數做鏡射的動作，即可決定出不同的 IMF 曲線，以達更好的背光調整效果，且不需要太多額外的運算量。

而單純只做背光調變之系統所產生之 HDR 影像會有明顯偏暗之現象。考慮液晶訊號補償之系統不但可保有高對比度之效果，並可保持大部分的影像細節，所以液晶訊號補償在 HDR 顯示系統中有其執行的必要性。

在硬體運算量方面，由於捲積法的運算量龐大，其演算法的簡化有其必要性，而模糊遮罩法的提出簡化了背光模擬的複雜度，不必像捲積法需以龐大的記憶體空間來儲存 LSF，模糊遮罩法需要的僅僅是原始的背光灰階影像以及一 3×3 大小的模糊遮罩，如此大大地簡化了模擬背光分布的需求。在影像表現上，雖然捲積法提供了最正確的補償方式，但由於此法容易遭遇液晶補償失敗的情況，造成影像失真。相較於模糊遮罩法，其本身背光模擬是由原本 8×8 的背光灰階影像模糊而來，可以保留原始影像的亮度特性，在相對於影像之亮處，背光模擬會提供相對高亮度的背光值，這在液晶補償上可以降低補償失敗的情況，所以在圖 32 及圖 33 中可以發現，模糊遮罩法比捲積法能展現更多的畫面細節。



圖 32、目標影像 Lily 分別採 (1) 模糊遮罩法及(2) 捲積法之 HDR 影像模擬結果

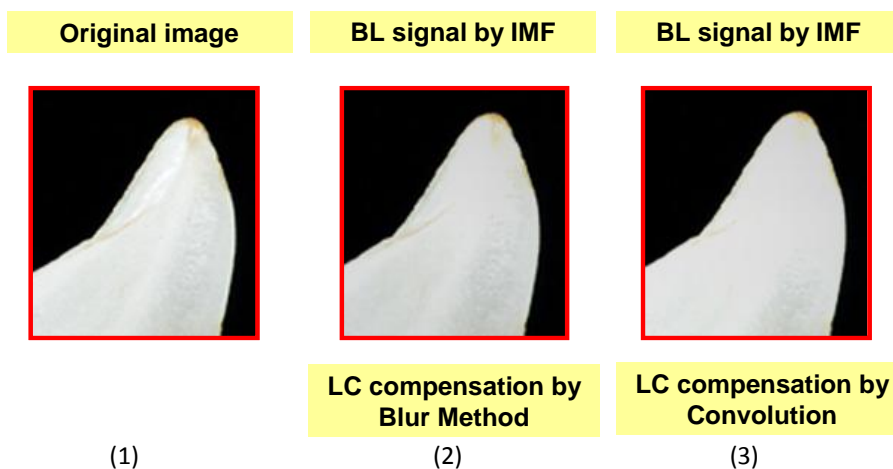


圖 33、(1)為原目標影像之局部放大，(2)~(3)分別為模糊遮罩法及捲積法之局部放大，由圖可發現，模糊遮罩法所能表現之影像細節超越捲積法

b. DCA 與 SCC 演算法

最後將兩個新提出的彩色背光演算法(DCA 和 SCC)，實際應用在 37 吋 HDR-LCD 面板上做驗證，實驗流程如圖 34 所示。

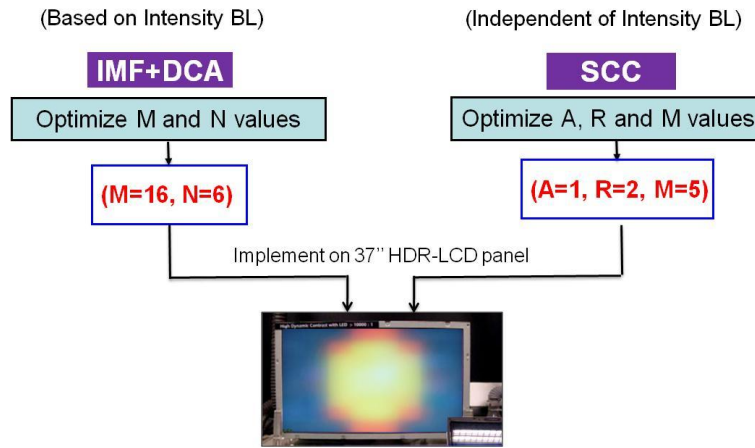


圖 34、實驗流程圖

在高對比影像的實驗結果(圖35)中，兩個彩色背光演算法皆可以達到高對比度(~40000:1)與節省更多的功率。在中對比影像的實驗結果(圖36)中，兩個彩色背光演算法皆可以提昇高對比度與節省功率。在單一原色偏多的影像實驗結果(圖37)中，兩個彩色背光演算法皆可以有效的提昇色彩飽和度從108% NTSC到125% NTSC與節省更多的功率。在高細節的影像結果(圖38)中，兩種彩色背光演算法皆可以維持影像的細節，幾乎與原本背光全亮的一模一樣。

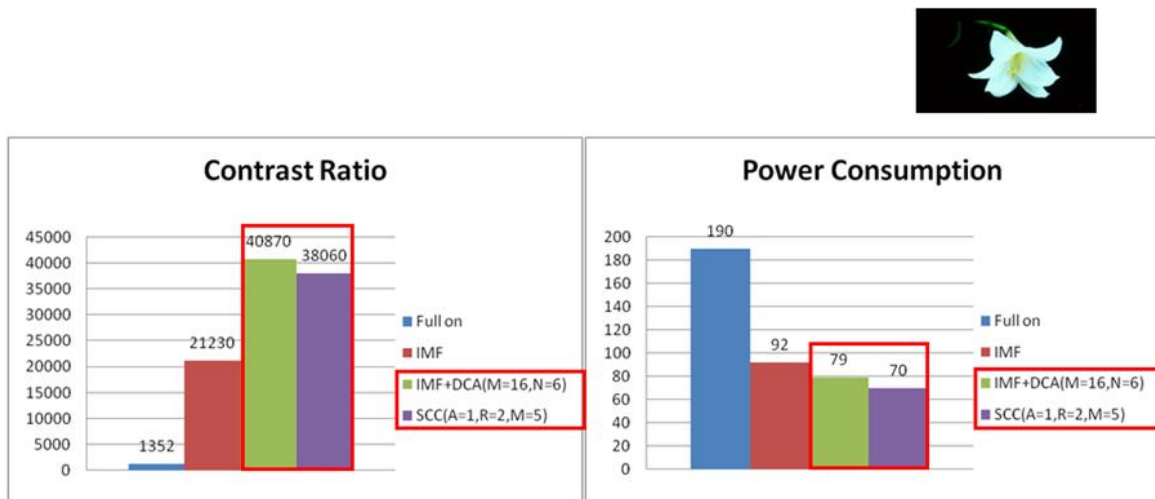


圖 35、高對比影像實驗結果

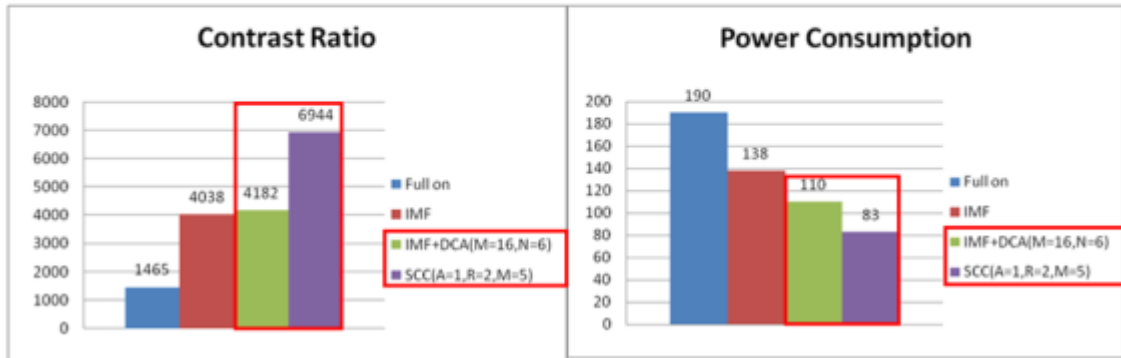


圖 36、中對比影像實驗結果

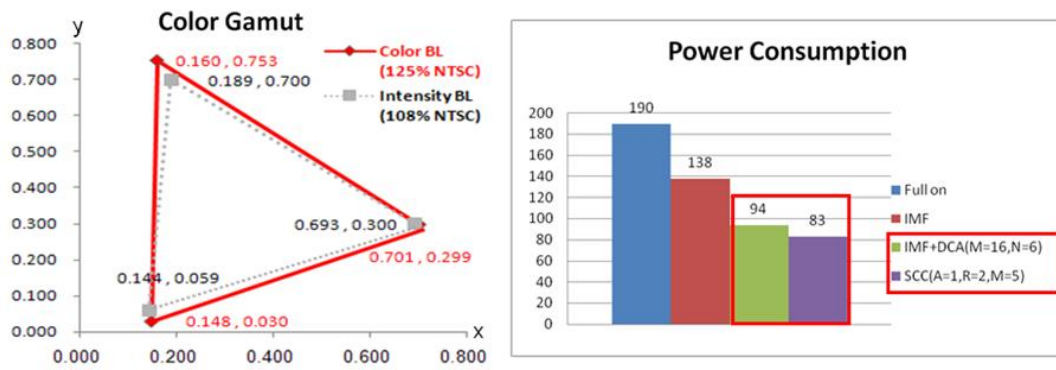


圖 37、單一原色偏多影像實驗結果

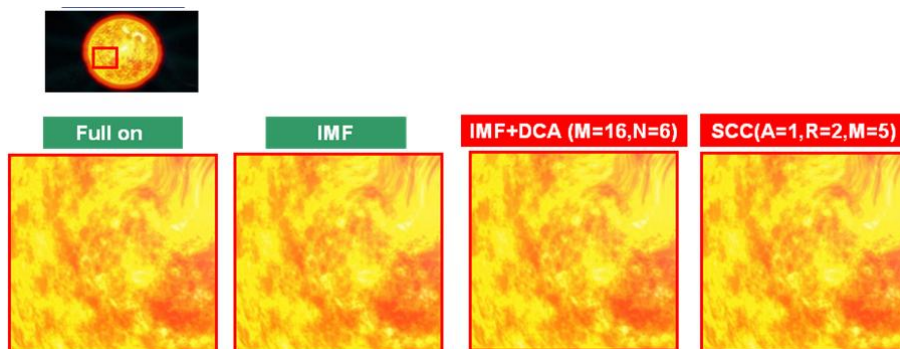
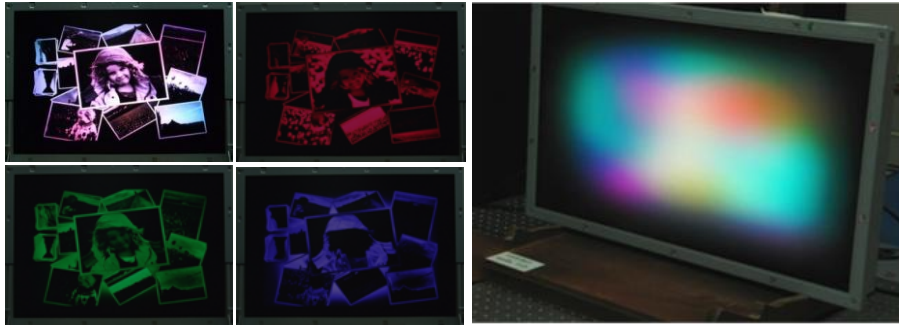


圖 38、高細節影像實驗結果

c. Stencil-FSC 法

將 Stencil-FSC 硬體實現於 32 吋 OCB 液晶態的色序型液晶顯示器上，並以 Girl 及 Lily 這兩張圖片作為測試影像。在圖 39(a)中第一個色場呈現一個大部分亮度及色彩內容的彩色影像，在接下來的紅、綠、藍三色場中表現剩餘的顏色細節而形成一個全彩的影像。這讓影像的能量能夠集中在第一個色場，減少紅、綠、藍三原色場的強度，達到抑制色分離的效果。



(a)四色場的畫面 (b) Stencil-FSC 液晶顯示器

圖 39、(a) Girl 在 Stencil-FSC 的 32 吋色序型液晶顯示器的四色場圖(b) Stencil-FSC 液晶顯示器的背光

為了捕捉色分離影像，我們將數位相機架在移動的平台上來模擬人眼運動。圖 40 的實驗照片顯示 Stencil-FSC 的確可有效地抑制色分離現象。此外，由於加上區域控制的 LED 背光，Girl 的對比度可以在功率消耗為 44 瓦的情況下被大幅提升至 5973:1。對於高對比度的 Lily 圖片，對比更能在功率消耗只有 35 瓦的情況下被提升至 27050:1。表三列出了三台 32 吋液晶顯示器 (IPS-冷陰極燈管式的液晶顯示器、傳統 RGB 驅動的色序型液晶顯示器及 Stencil-FSC 液晶顯示器) 在 Girl 及 Lily 兩張測試圖片的對比度、功率消耗、色分離現象及色彩飽和度。從實驗的結果可歸納 Stencil-FSC 法用在 32 吋色序型液晶電視上不僅可以抑制色分離現象，也在低功率消耗下達成高對比度的效果。

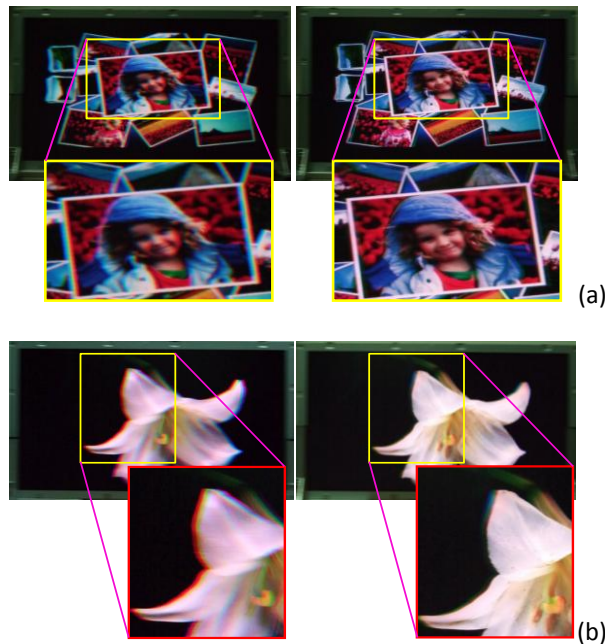


圖 40、用傳統色序型液晶顯示器(左)及 Stencil-FSC(右)所實驗出來的色分離圖片(a) Girl 及(b) Lily

表三、三種 32 吋 LCD-TV 對 Girl 及 Lily 的對比度、功率消耗及最大顯色色域表現比較 (*: LCD 的最大色域 NTSC)

		IPS-CCFL	OCB-mode FSC (Conventional RGB-driving)	Stencil-FSC
Girl	CR	692 : 1	442:1	6,544:1
	P (W)	105	68	35
	CBU	-----	圖 40(a) left	圖 40(a) right
Lily	CR	766 : 1	512 : 1	26,335 : 1
	P (W)	105	68	28
	CBU	-----	圖 40(b) left	圖 40(b) right
Color Gamut* (% of NTSC)		72 %	114 %	114 %
> Power consumption of a 32" conventional LED-based TV: ~190W (*: The maximum NTSC ability of the LCD)				

五. 結論與建議

高動態範圍液晶顯示器為液晶顯示器帶來了許多好處，不僅能夠降低液晶顯示器暗態漏光的現象，其產生的畫面能夠更接近現實環境的影像。然而，若背光的決定不恰當時，則影像會遭遇很嚴重的失真問題。

本計畫第一年提出 Inverse of Mapping Function (IMF)法及模糊遮罩法(Blur Mask Method)。在取得背光訊號後以 IMF 的方法再將背光訊號做調整，以獲取更合適的背光灰階值。其次，依據背光訊號的變化補償出相對應的液晶補償訊號可維持影像亮度並使影像細節清楚呈現。另外，由於液晶補償採用的捲積法(Convolution Method)計算量龐大，在硬體實現上為一大困難，故提出另一種用於模擬背光分布的方法-模糊遮罩法(Blur Mask Method)，其演算法可以簡化運算的複雜度。由實驗結果可知，IMF 法適用於背光訊號的決定，在對比度的表現上，不但將原本的 CR 值提升突破 20,000:1，畫面最大亮度也直逼傳統液晶顯示器，而模糊遮罩法其本身背光模擬是由原本 8×8 的背光灰階影像模糊而來，可以保留原始影像的亮度特性，在相對於影像之亮處，背光模擬會提供相對高亮度的背光值，這在液晶補償上可以降低由捲積法之背光模擬的液晶補償失敗的情況，因此模糊遮罩法比捲積法能展現更多的畫面細節。

本計畫第二年提出兩種新的彩色背光調變演算法 Delta-Color Control (DCA)法及 Segment-Color Control (SCC)法。DCA 法能夠套用在不同灰階控制的背光演算法中，因為 DCA 是以灰階控制為基礎去調變 LED。而 SCC 法相對 DCA 法演算更為簡單，因為 SCC 法是直接計算畫面的彩色背光。由實驗的結果可知，此兩種演算法在高對比度的畫面時，不僅能達到高對比度 (~40000:1) 也能夠將影像細節維持得很清晰。而且，此兩種演算法能夠提升顯示器的色彩飽和度至 125% NTSC。此外，其功率消耗也比傳統 CCFL 型液晶顯示器及灰階背光控制液晶顯示器來的低。因此，DCA 法與 SCC 法可以是未來彩色背光調變液晶顯示器應用的一種選擇。

本計畫第三年提出了 Stencil-FSC 法，在有限的驅動頻率下(240Hz)，能夠有效抑制傳統色序行液晶顯示器的色分離

現象。藉由第一個色場呈現大部分的亮度及色彩內容，其他三個色場的亮度可以被大幅降低，使得幾乎察覺不到色分離。在背光分區數的最佳化後，色分離的抑制相對於傳統 RGB 驅動來說，平均可以改善 50%以上。此外，Stencil-FSC 亦被實現在 32 吋的色序型液晶電視上，不僅得到 27050:1 的高影像對比度、低於 40 瓦的平均消耗功率、114%NTSC 的寬廣色域表現。最重要的是 Stencil-FSC 在液晶反應時間的限制下成功地抑制了色分離。因此，Stencil-FSC 液晶顯示技術將成為新世代高畫質綠色節能顯示器的重要技術之一。

六. 計畫成果自評

本計畫第一年已完成 Inverse of Mapping Function (IMF)的方法將背光訊號再做調整，以獲取更合適的背光灰階，搭配液晶訊號之補償，依據背光訊號之變化，補償出相應之液晶訊號，完成目標影像的展現。再加上模糊遮罩法，不僅可以大幅減少運算量及硬體負荷，同時也可以解決捲積法之 LSF 邊界效應問題。

本計畫第二年已完成彩色背光調變 Delta-Color-Adjustment (DCA) 演算法及 Segment-Color-Control (SCC)演算法的開發。此兩種背光演算法都相當簡單，搭配液晶訊號之補償，此兩演算法在高對比的圖片皆可以達到高對比(~40000:1)；在色彩偏向性高的圖片可以達到高色彩飽和度(125% NTSC)。除此之外，幾乎都可以更有效的節省功率損耗(40~50%)。DCA 可以對各種不同的黑白背光做優化而 SCC 可以直接查表獲得彩色背光。在本計劃的實驗中，DCA 中重要的參數為 M=16 與 N=6; SCC 中重要的參數為 A=1, R=2, M=5。

本計畫第三年已完成 Stencil-FSC 演算法的開發，有效抑制色序型液晶顯示器的色分離現象。考慮色分離現象的抑制及硬體運算的複雜度，最佳化的 Stencil-FSC 硬體參數被實現於 32 吋色序型液晶顯示器上。利用這樣的技術，畫面的影像對比度不僅比傳統冷陰極燈管式的液晶顯示器提高 10 倍以上，而且平均功率消耗也大幅降低至 40 瓦以下，約僅有現行液晶顯示器的 35% 能量消耗。

● 已發表之國際期刊及研討會論文

- [1] Guo-Zhen Wang, Yi-Pai Huang, Fang-Cheng Lin, Han-Ping D. Shieh, and Szu-Che Yeh, "Delta-Color Adjustment (DCA) Method for Color Controlled Backlight of High Dynamic Range LCD TVs," *SID Symposium Digest Tech Papers*, vol. **39**, pp. 768-771, (2008)
- [2] Guo-Zhen Wang, Yi-Pai Huang, Szu-Che Yeh, *SID Symposium Digest Tech Papers*, vol. **15**, pp. 757-759, (2009)
- [3] Guo-Zhen Wang, Fang-Cheng Lin, Yi-Pai Huang, and Han Pin D. Shieh, "Delta-Color Adjustment (DCA) for Spatial Modulated Color Backlight Algorithm on High Dynamic Range LCD TVs," *submitted to J. Display Technol.*
- [4] Fang-Cheng Lin, et al., "Dynamic Backlight Gamma on High Dynamic Range LCD TVs," accepted by *IEEE/OSA JDT*, 2008/01.
- [5] Fang-Cheng Lin ,et al., "Inverse of mapping Function (IMF) Method for Image Quality Enhancement of High Dynamic Range LCD TVs", *SID07 Digest*, pp. 1343-1346, 2007.

- [6] Lin-Yao Liao ,et al., "A Real-Time Liquid Crystal Signal Compensation Method for High Dynamic Range LCD," *2007IDW*, pp. 1433-1434
- [7] Cheng-Yu Liao ,et al., "Inverse of Mapping Function Method for Image Quality Enhancement of Dual-Panel Displays," *IDMC 2007*, pp.431-434
- [8] F. C. Lin, Y. P. Huang, C. M. Wei, and H. P. D. Shieh, "Color Breakup Suppression and Low Power Consumption by Stencil-FSC Method in Field-Sequential LCDs," *J. Soc. Info. Display*, vol. **17**(3), pp. 221-228 (2009).
- [9] F. C. Lin, Y. P. Huang, C. M. Wei, and H. P. D. Shieh, "Color Filter-Less LCDs in Achieving High Contrast and Low Power Consumption by Stencil Field-Sequential- Color Method," *J. Display Technol.*, vol. **6**(3), pp. 98-106 (2010).
- [10] F. C. Lin, Y. P. Huang, and H. P. D. Shieh, "Color Breakup Reduction by 180Hz Stencil-FSC Method in Large-Sized Color Filter-Less LCDs," *J. Display Technol.*, vol. **6**(3), pp. 107-112 (2010).
- [11] Y. P. Huang, F. C. Lin, C. C. Tsai, and H. P. D. Shieh, "Stencil Field-Sequential Color Method for Color Breakup Suppression on 180Hz LCD-TV," *Eurodisplay Symp. Digest Tech Papers*, vol. **29**, (2009).

● **專利**

- [1] 王國振,林芳正,黃乙白,汪德美,葉斯哲,謝漢萍“高動態範圍液晶顯示器彩色背光演算”
台灣申請號(TW)：[96141050@2007/10/31](#) 公告證書號：[I328212@20100801](#)
大陸申請號(CN)：[200710187301 @2007/11/19](#) 公開號：[101162565 @ 2008/04/16](#)
- [2] 王國振, 黃乙白,簡民峰, 葉斯哲, 謝漢萍, "高動態範圍液晶顯示器分段控制彩色背光演算"
台灣申請號(TW)：[97723575 @20080624](#)
- [3] 林芳正,黃乙白,魏景明,謝漢萍, “降低液晶顯示器色分離之顯示方法.”
台灣申請號(TW)：096141627 @2007/11/05 公開號：200921609 @20090516
美國申請號(US)：12/003,995 @2008/01/04 公開號：US 20090115719 A1 @2009/05/07
“Display method for LCD device with reduced color break-up”
- [4] 林芳正,黃乙白,魏景明,謝漢萍, “壓縮反應時間之畫面控制訊號產生方法.”
台灣申請號(TW)：096146958 @2007/12/10 公開號：200926120 @2009/06/16
美國申請號(US)：12/007,323 @2008/01/09 公開號：US 20090146990 A1 @2009/6/11
“Method of generating frame control signal for reducing reaction time”
- [5] 魏景明,黃乙白,林芳正,謝漢萍,“色序法顯示器之顯示方法.”
台灣申請號(TW)：[97131042 @2008/08/14](#) 公開號：[201007680@ 2010/02/16](#)

參考文獻

- [1] H. Seetzen, Lorne A. Whitehead, and Greg Ward, "A High Dynamic Range Display Using Low and High Resolution Modulators", *SID Symposium Digest Tech Papers*, vol. **34**, pp. 1450-1453, (2003).
- [2] H. Seetzen, et al., "High Dynamic Range Display Systems", *SIGGRAPH 2004, ACM Transactions on Graphics*, **23**(3), pp. 760-768, 2004.
- [3] E.Y. Oh, S. H. Baik, M. H Sohn, K. D. Kim, H. J. Hong, J. Y. Bang, K. J. Kwon, M. H. Kim, H. Jang, J. K. Yoon, and I. J Chung, "IPS-mode dynamic LCD-TV realization with low black luminance and high contrast by adaptive dynamic image control technology", *J Soc Info Display*, vol. **13**, pp. 215-219, (2005).
- [4] Y. W. Wang, et al., "Analyses of Point spread function in high dynamic range display system," *Optics and Photonics Taiwan 2005*, No. G-SA-X 4-3 (2005).
- [5] Dong-Min Yeo, Yong-hoon Kwon, Eui-Jeong Kang, Se-Ki Park, Byungchoon Yang, Gicherl Kim, and Taeseok Jang, "Smart Algorithm for Local Dimming LED Backlight", *SID Symp. Digest Tech Papers*, vol. **39**, pp. 986-989 (2008)
- [6] F. Yamada, H. Nakamura, Y. Sakaguchi, Y. Taira, "Sequential-color LCD based on OCB with an LED backlight," *J. of Info. Display* **10**, pp. 81-85 (2002).
- [7] I. Miettinen, R. Näsänen, and J. Häkkinen, "Effects of Saccade Length and Target Luminance on the Refresh Frequency Threshold for the Visibility of Color Break-Up," *J. of Display Technology*, **4**(1), pp. 81-85 (2008).
- [8] E. H. A. Langendijk, S. Swinkels, D. Eliav, and M. Ben-Chorin, "Suppression of color breakup in color-sequential multi-primary projection displays," *J. of Info. Display*, Vol. **14**, pp.325-329 (2006).
- [9] N. Koma and T. Uchida, "A new field-sequential- color LCD without moving-object color break-up," *J. of Info. Display*, Vol. **11**, pp. 413-417 (2003).
- [10] C. H. Chen, F. C. Lin, Y. T. Hsu, Y. P. Huang, and H. P. D. Shieh, "A Field Sequential Color LCD Based on Color Fields Arrangement for Color Breakup and Flicker Reduction," accepted by *Journal of Display Tech.* (2008/06).
- [11] Y. P. Huang, K. H. Chen, C. H. Chen, F. C. Lin, and H. P. D. Shieh, "Adaptive LC/BL Feedback Control in Field Sequential Color LCD Technique for Color Breakup Minimization," *Journal of Display Tech.*, Vol. **4**(3), pp. 290-295 (2008).
- [12] Guo-Zhen Wang, Yi-Pai Huang, Fang-Cheng Lin, Han-Ping D. Shieh, and Szu-Che Yeh, "Delta-Color Adjustment (DCA) Method for Color Controlled Backlight of High Dynamic Range LCD TVs," *SID Symposium Digest Tech Papers*, vol. **39**, pp. 768-771, (2008)
- [13] Guo-Zhen Wang, Fang-Cheng Lin, Yi-Pai Huang, and Han Pin D. Shieh, "Delta-Color Adjustment (DCA) for Spatial Modulated Color Backlight Algorithm on High Dynamic Range LCD TVs," *submitted to J. Display Technol.*
- [14] Guo-Zhen Wang, Yi-Pai Huang, and Szu-Che Yeh, *SID Symposium Digest Tech Papers*, vol. **15**, pp. 757-759, (2009)
- [15] F. C. Lin, L. Y. Liao, C. Y. Liao, Y. P. Huang, H. P. D. Shieh, T. M. Wang, and S. C. Yeh, "Dynamic Backlight Gamma on High Dynamic Range LCD TVs," *J. Display Technol.*, vol. **4**(2), pp. 139-146

(2008).

- [16] L. Y. Liao, F. C. Lin, Y. P. Huang, H. P. D. Shieh, and S. C. Yeh, "A Real-Time Liquid Crystal Signal Compensation Method for High Dynamic Range LCD," IDW'07, pp. 1433-1434 (2007/12).
- [17] G. Z. Wang, Y. P. Huang, F. C. Lin, H. P. D. Shieh, S. C. Yeh, and Julienne Lyu, "Delta-Color Adjustment (DCA) Method for Color Controlled Backlight of High Dynamic Range LCD-TVs," SID Symposium Digest Tech Papers, vol. 39, pp. 768-771 (2008/5).