

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：高動態範圍之液晶顯示器系統

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 8 月 1 日至 99 年 7 月 31 日

計畫主持人：黃乙白助理教授

共同主持人：

計畫參與人員：

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 97 年 5 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摺積法(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 Method)，其演算法可以簡化運算的複雜度，並可提供優於摺積法的影像表現。

關鍵字：高動態液晶顯示器、區域可控式背光、液晶補償、模糊遮罩法、摺積法

Abstract

A high dynamic range liquid crystal display (HDR-LCD) can enhance the contrast ratio of the image on 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.

Keywords: high dynamic range liquid crystal display, area-adaptive backlight, liquid crystal compensation, blur-mask method, convolution method

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)，吸引了許多研究人員及學者投入。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；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 8x8 個區域，各區由 3x6 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。

二. 文獻探討

圖 1 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 2 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_l 進行摺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。

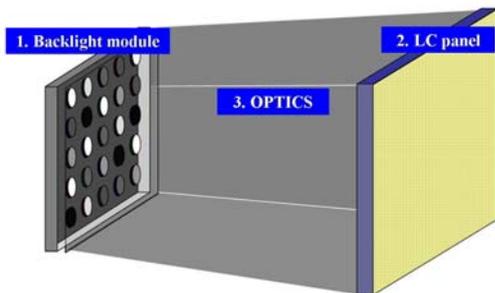


圖 1 LED 背光 HDR-LCD 系統

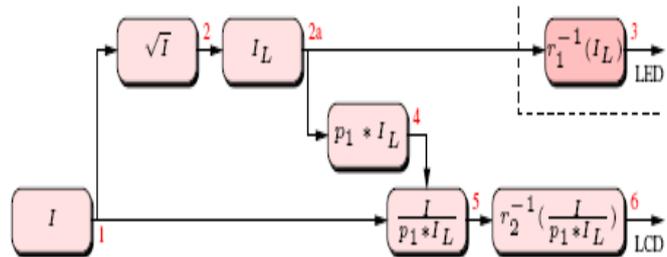


圖 2 BrightSide 公司所提出之演算流程

三. 研究方法

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最大值，之後再取下列幾種方式作為背光值：

1. Max→Avg：(簡稱 Avg)

取一區之中每個畫素最大值後，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. Max→Avg→Normalization→Root：(簡稱 Root)

取一區之中每個畫素最大值的平均值後，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，但能避免不了影像細節的失真情形。(目前 Brightside 提出之方法)

3. Max→Max：(簡稱 Max)

取一區之中每個畫素最大值的最大值，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. Max→Max→IMF：(簡稱 IMF)

取一區之中每個畫素中子畫素最大值後，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 3 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。

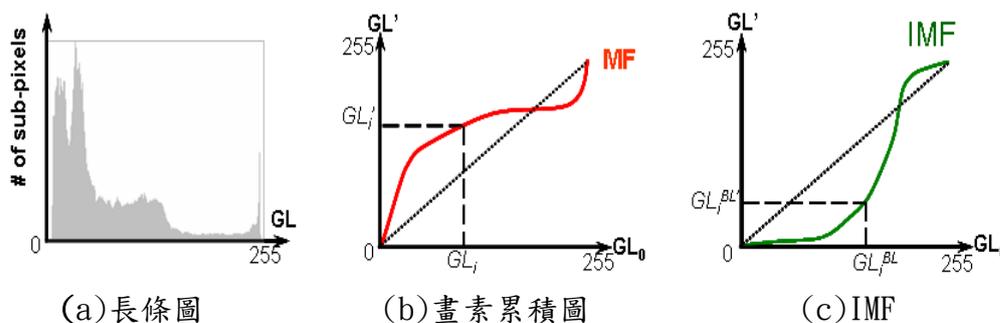


圖 3 IMF 曲線獲得過程

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 4(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 4(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。

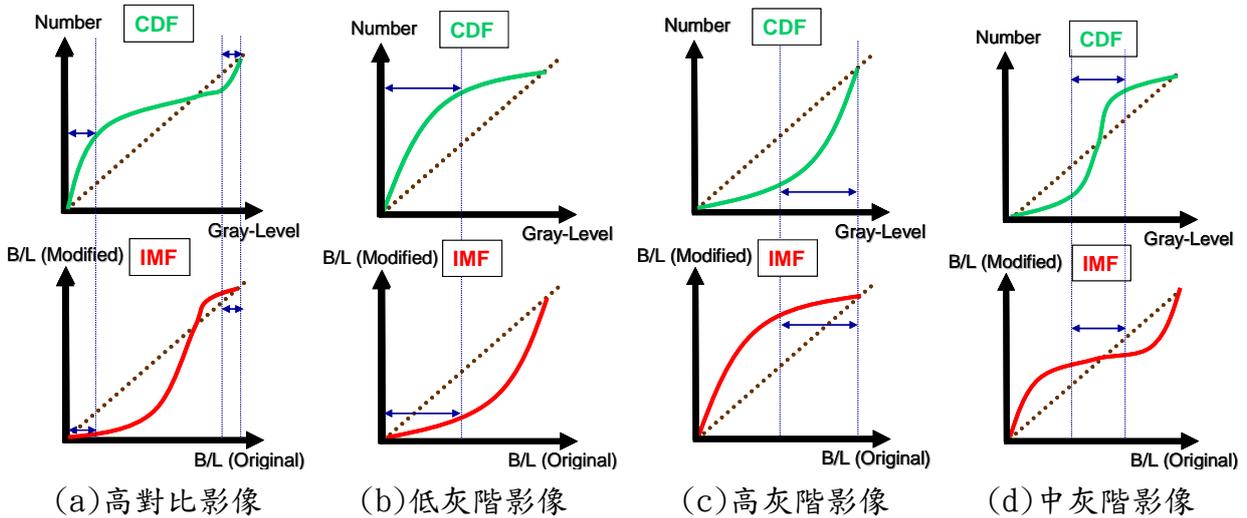


圖 4 IMF 優點說明圖

使用IMF決定背光信號的流程圖如圖 5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。

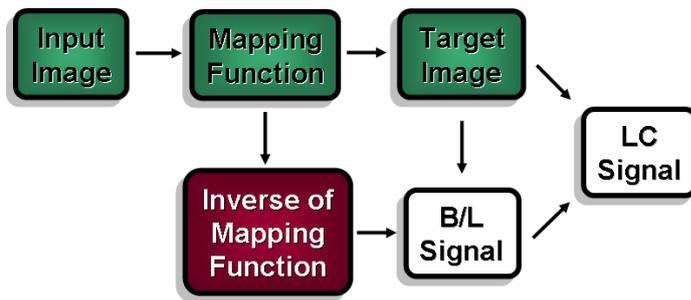


圖 5 IMF 流程圖

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 6所示。

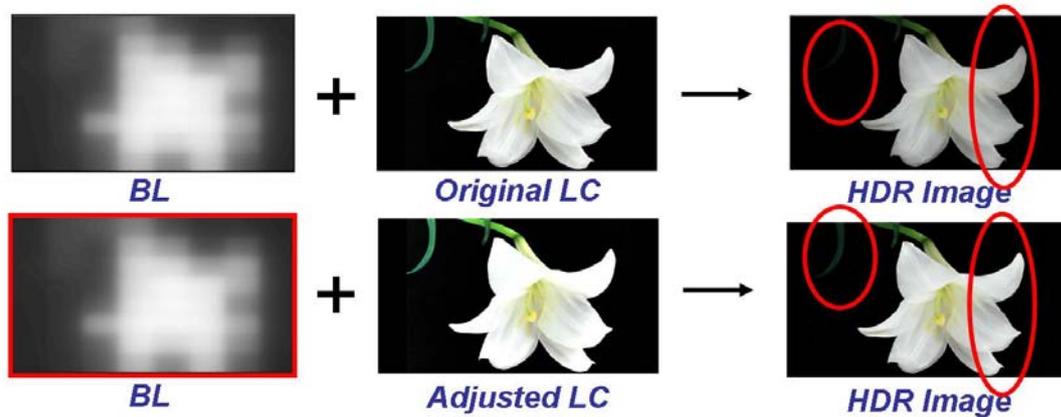


圖 6(上)無液晶補償及(下)有液晶補償之效果

由圖 6 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)，進行摺積運算 (Convolution)，如圖 7，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，接著根據式 1 推算液晶之補償訊號。

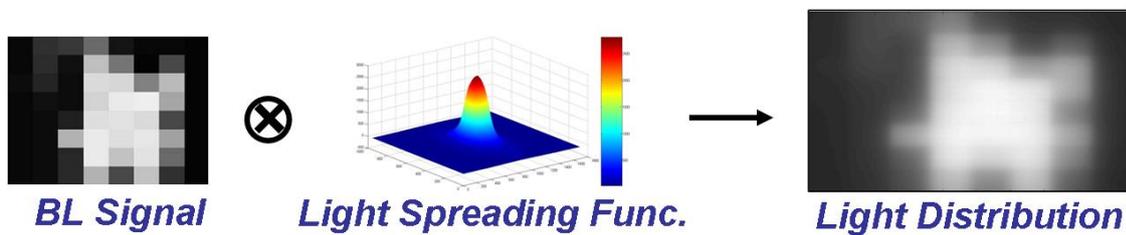


圖 7 摺積運算過程

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

式 1 液晶補償推導公式

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 8 所示：

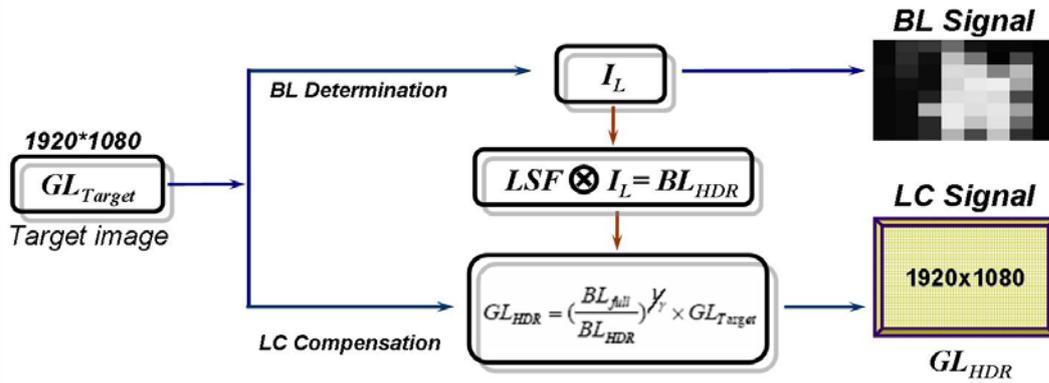


圖 8 HDR 顯示器系統獲得背光訊號及液晶訊號之演算流程

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：

雖然採用摺積方式的液晶補償可以模擬出接近真實的背光分布，然而摺積法計算量龐大，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(1920x1080)，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，2430x1215 大小的 LSF 亦無法解決邊界效應的問題，所以摺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 的麻煩並簡化摺積的運算，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摺積法的影像表現。

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 9(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摺積法相同，其中模糊遮罩的權重如圖 9(b)所示，為求便於硬體計算，因此將其權重值設為 2 的次幂。

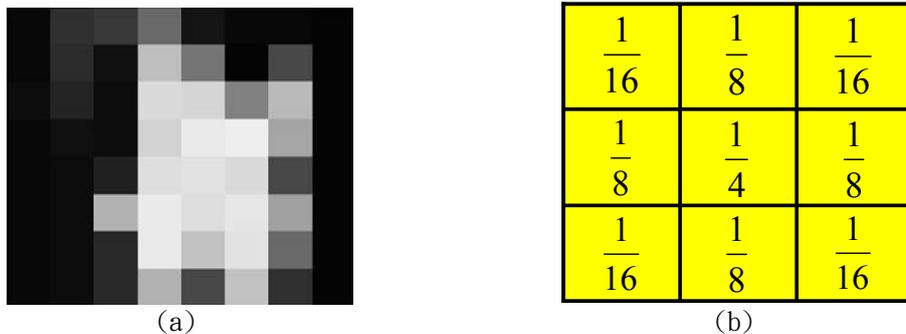


圖 9 (a) 8x8 區的背光灰階值影像及 (b)模糊遮罩

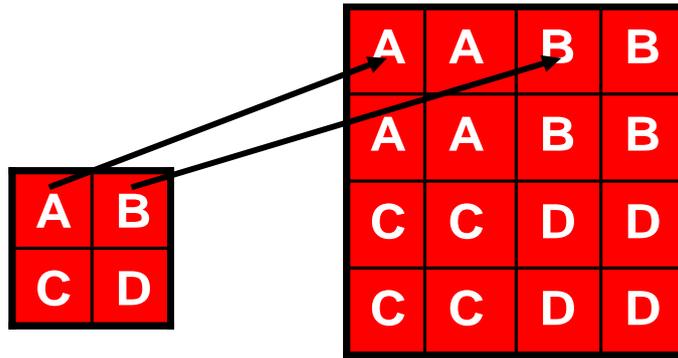


圖 10 影像擴大方式圖，其中的 A、B、C 和 D 表示該畫素之灰階值

模糊遮罩法的主要步驟如下，首先，將原始 8x8 區的背光灰階值影像之長寬各放大兩倍成為一 16x16 之影像，其放大的方式示於 圖 10，接著將此 16x16 之影像與模糊遮罩進行摺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 256x256 後，為求運算簡化，直接將此 256x256 之模糊影像放大到 1920x1080，此 1920x1080 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 11(a) 所示；圖 11(b) 為原始影像及摺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摺積法之結果有相似的分佈。

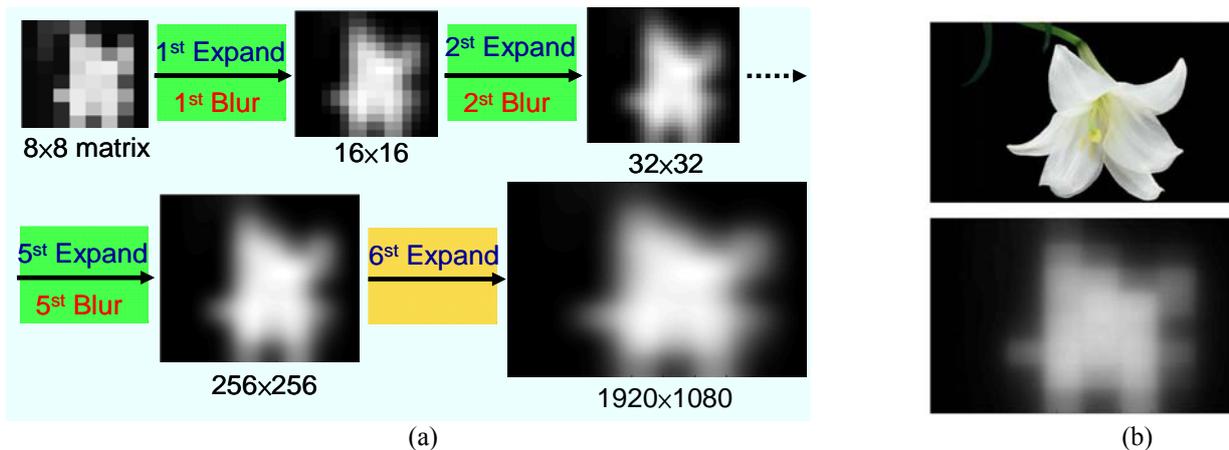


圖 11 (a)模糊遮罩法之演算過程及(b)原始影像(上)、摺積法之背光模擬結果(下)

綜合以上結論，模糊遮罩法擁以下優缺點：

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. 解決摺積法 LSF 邊界效應的問題。

缺點：

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

四. 結論與建議

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 12~圖 14之結果。

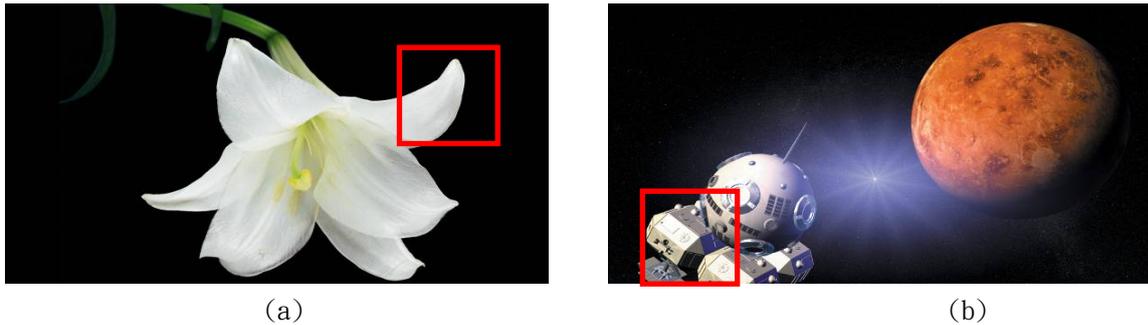


圖 12 (a)Lily (b)Space Robot 圖



圖 13 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，液晶則使用摺積法補償；(d)為目標影像

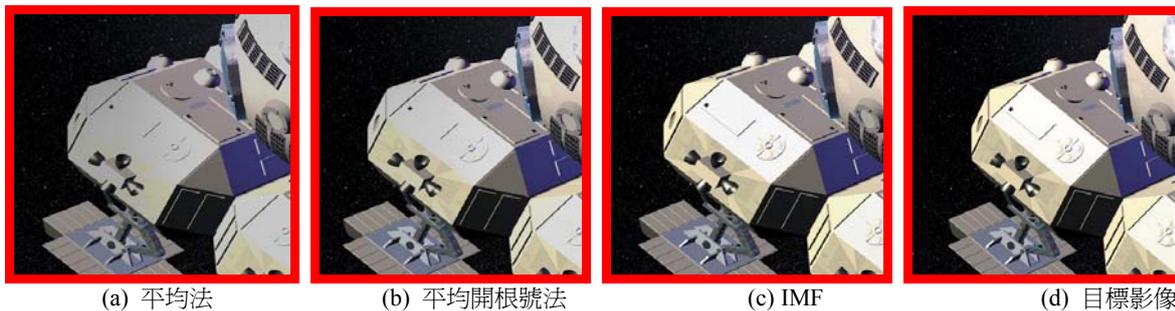


圖 14 局部放大目標影像 Space Robot 的模擬結果，(a)~(c)分別為平均法、平均開根號法及 IMF 之背光決定方式，液晶則使用摺積法補償；(d)為目標影像

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，由於摺積法的運算量龐大，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，不必像摺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 3x3 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，雖然摺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 8x8 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 15及圖 16中可以發現，模糊遮罩法比摺積法能展現更多的畫面細節。

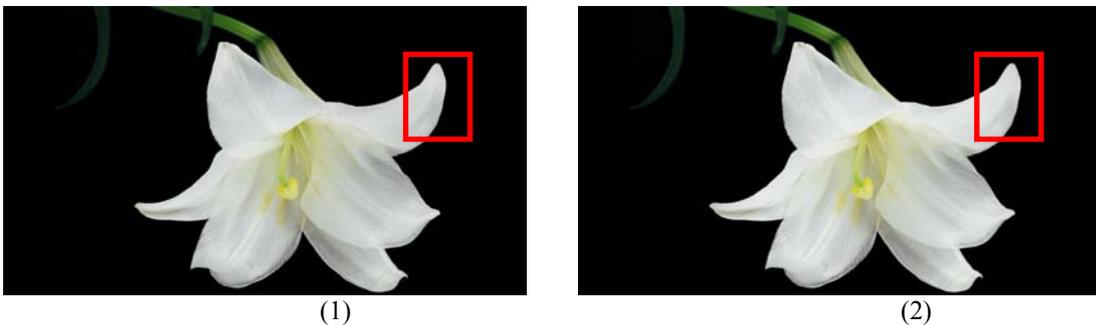


圖 15 目標影像 Lily 分別採 (1) 模糊遮罩法及(2) 摺積法之 HDR 影像模擬結果

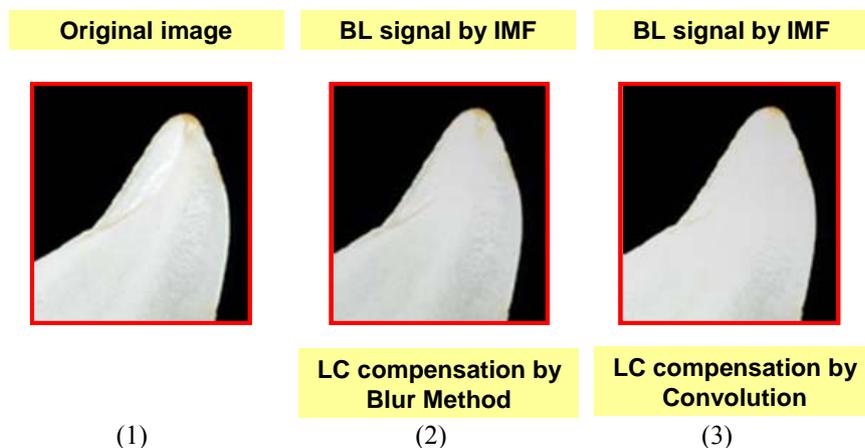


圖 16(1)為原目標影像之局部放大，(2)~(3)分別為模糊遮罩法及摺積法之局部放大，由圖可發現，模糊遮罩法所能表現之影像細節超越摺積法

五. 計畫成果自評

目前已完成以 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，同時也可以解決摺積法之 LSF 邊界效應問題。

由以上具體成果，認為本年度計畫已為後續研究建立了良好的基礎。

已發表之研討會論文

- a) Fang-Cheng Lin, et al., “Dynamic Backlight Gamma on High Dynamic Range LCD TVs,” accepted by *IEEE/OSA JDT*, 2008/01.
- b) 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.
- c) Lin-Yao Liao ,et al., "A Real-Time Liquid Crystal Signal Compensation Method for High Dynamic Range LCD," *2007IDW*, pp. 1433-1434
- d) Cheng-Yu Liao ,et al., “Inverse of Mapping Function Method for Image Quality Enhancement of Dual-Panel Displays,” *IDMC 2007*, pp.431-434

參考文獻

- [1] H. Seetzen, et al., “A High Dynamic Range Display Using Low and High Resolution Modulators”, *SID03 Digest*, 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, et al., “IPS-mode dynamic LCD-TV realization with low black luminance and high contrast by adaptive dynamic image control technology”, *JSID05*, pp. 215-219, 2005.
- [4] Louis Kerofsky, Scott Daly, “Distinguished Paper: Brightness Preservation for LCD Backlight Reduction”, *SID 26.2*, pp. 1242-1245, 2006.
- [5] Raanan Fattal,et al., “ Gradient Domain High Dynamic Range Compression”, *SID* p.249~256, 2004.
- [6] BrightSide ,“JPEG-HDR High Dynamic Range Image Encoding Technique White Paper”, BrightSide Whitepaper, 2006.
- [7] J.H. Stessener, et al., “Algorithm for Contrast Reserve, Backlight Dimming, and Backlight Boosting on LCD”,*SID 26.4*, 2006.
- [8] Louis Kerofsky, et al., “Brightness Preservation for LCD Backlight Reduction”, *SID 26.2*, 2006.
- [9] T. Shirai, et al., “RGB-LED Backlights for LCD-TVs with 0D,1D,and 2D Adaptive Dimming”, *SID 44.4*, 2006.
- [10] Inseok Choi, et al., “DLS-Dynamic Backlight Luminance Scaling of Liquid Crystal Display”, *IEEE Vol.12* p.837~846,2004.
- [12] 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.