

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-子計畫一：高動態畫質面板之視覺效應模型建構

計畫類別： 個別型計畫 整合型計畫

計畫編號：NSC 96-2628-E-009-021-MY3

執行期間：96 年 08 月 01 日至 99 年 07 月 31 日

計畫主持人：謝漢萍 教授

共同主持人：

計畫參與人員：

黃怡菁、謝毅翰、林姚順

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 98 年 7 月 6 日

摘要

傳統的液晶補償法僅考慮亮度，搭配調整過液晶訊號以維持相同畫面亮度，但是亮度對應人眼感知的色彩表現並非呈線性關係，因此仍無法準確呈現目標影像的色彩，以致於調整過後的 HDR 影像產生色偏現象。本計畫第二年度已完成液晶訊號優化演算法。色彩模型可以分為兩個階段，第一階段為三組一維的 look-up tables (LUTs)，描述液晶的光電轉換函數，將輸入的影像資訊 (d_r, d_g, d_b) 轉換成相對應的 RGB 參數。第二階段為分別針對 RGB 背光的三組獨立線性轉換矩陣，考慮背光的漏光項 ($X_{k,\min}, Y_{k,\min}, Z_{k,\min}$) 以及規一化的背光強度 (L_R, L_G, L_B)，以達到準確預測 HDR-LCD 的色彩表現。HDR-LCD 色彩模型，不僅考慮傳統液晶顯示器的漏光項，同時考慮 dimming 背光強度作為修正項，因此可以準確的預測 HDR 影像之色彩表現。

關鍵字：高動態液晶顯示器、液晶補償、色彩模型

Abstract

The traditional liquid crystal compensation method only considers brightness, combine adjustment liquid crystal signal to maintain the same picture brightness, but the correlation between brightness and color performance of human eye's sensitivity is not linear. Therefore, the reproduced image cannot represent accurate color information and cause color distortion. This second year's project has completed the liquid crystal signal optimization calculating method. The color model may divide into two stages, the first stage is three groups of one-dimensional look-up tables (LUTs), the description liquid crystal electro-optic transfer function, will input the phantom information (d_r, d_g, d_b) transforms the RGB parameter which corresponds. The second stage to aim at the RGB back light separately three group of independent linearity transfer matrix, considered that the back light the leakage of light item ($X_{k, \min}, Y_{k, \min}, Z_{k, \min}$) as well as a gauge back light intensity (L_R, L_G, L_B), achieves perfect forecast HDR-LCD the color performance. HDR-LCD color model, not only the consideration tradition liquid-crystal display's leakage of light item, but considered that the dimming back light intensity takes the correction term, therefore may predict the accurate color information to HDR-LCD.

Keywords: high dynamic range liquid crystal display, liquid crystal compensation, colorimetric model

一. 前言及研究目的

高動態範圍液晶顯示器(HDR-LCD)依畫面資訊調整的彩色背光演算法，雖然可以大幅降低耗電，卻也增加了色彩的複雜度。傳統的液晶補償法僅考慮亮度，如(1)式所示，搭配調整過液晶訊號以維持相同畫面亮度(如圖 1)，但是亮度對應人眼感知的色彩表現並非呈線性關係，因此仍無法準確呈現目標影像的色彩，以致於調整過後的 HDR 影像產生色偏現象。

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

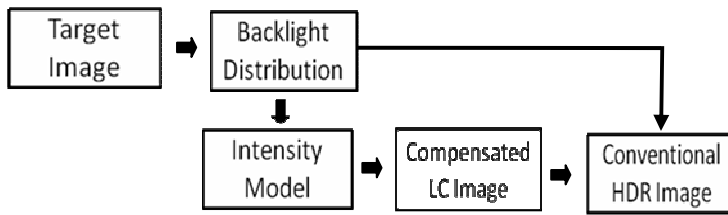


圖 1 傳統 HDR 影像之流程圖

因此本年度提出的液晶訊號優化，藉由顯示器的色彩模型，準確的呈現其色彩表現，將輸入影像轉換成 CIE 三刺激值作為目標，同時考量色度、亮度以及背光強度的方式優化液晶訊號，減少 dimming 背光造成的色彩誤差，圖 2 為考慮色彩模型的流程圖。

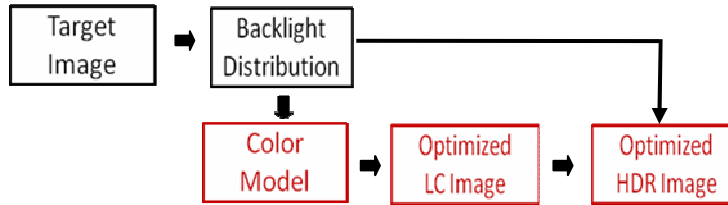


圖 2 考慮色彩模型優化之 HDR 影像

為了正確評估色彩的準確性，我們使用 CIEDE2000 色差公式來計算平均色差作為評估指標(ΔE_{00})。該色差公式將 XYZ 色域轉為更均勻的 $L^*a^*b^*$ 色域，除了分別考慮人眼對亮度(S_L)、飽和度(S_C)以及色調(S_H)的敏感曲線，更對高色彩飽和度的色彩提出色差修正項，與傳統未考慮人眼感知的色差公式比較，CIEDE2000 色差公式更能正確描述高對比且廣色域的顯示器的色差現象，CIEDE2000 公式如下所示。

$$\Delta E_{[x,y]} = \sqrt{\left(\frac{\Delta L'_{[x,y]}}{K_L S_{L[x,y]}} \right)^2 + \left(\frac{\Delta C'_{[x,y]}}{K_C S_{C[x,y]}} \right)^2 + \left(\frac{\Delta H'_{[x,y]}}{K_H S_{H[x,y]}} \right)^2 + R_{T[x,y]} \left(\frac{\Delta C'_{[x,y]}}{K_C S_{C[x,y]}} \frac{\Delta H'_{[x,y]}}{K_H S_{H[x,y]}} \right)}$$

$$S_{L[x,y]} = 1 + \frac{0.015(\bar{L}^*_{[x,y]} - 50)^2}{\sqrt{20 + (\bar{L}^*_{[x,y]} - 50)^2}}$$

$$\begin{aligned}
S_{C[x,y]} &= 1 + 0.045 \bar{C}'_{[x,y]} \\
S_{H[x,y]} &= 1 + 0.015 \bar{C}'_{[x,y]} \cdot T_{[x,y]} \\
T_{[x,y]} &= 1 - 0.17 \cos(\bar{h}'_{[x,y]} - 30) + 0.24 \cos(2\bar{h}'_{[x,y]}) + 0.32 \cos(3\bar{h}'_{[x,y]} + 6) - 0.20 \cos(4\bar{h}'_{[x,y]} - 63)
\end{aligned}$$

為了要能夠準確預測 CIE 三刺激值，必須先建構高動態範圍液晶顯示器的特性化模型。模型可以分為兩個階段，第一階段為三組一維的 look-up tables (LUTs)，描述液晶的光電轉換函數，將輸入的影像資訊 (d_r, d_g, d_b) 轉換成相對應的 RGB 參數，如(2)式所示。第二階段為分別針對 RGB 背光的三組獨立線性轉換矩陣，考慮背光的漏光項 ($X_{k,\min}, Y_{k,\min}, Z_{k,\min}$) 以及規一化的背光強度 (L_R, L_G, L_B)，以達到準確預測 HDR-LCD 的色彩表現，如(3)式到(5)式所示。根據 HDR 影像的背光分佈以及液晶訊號，色彩模型預測 HDR 影像的三刺激值為 RGB LEDs 背光三刺激值的線性組合，如(6)式所示。

$$\begin{aligned}
R &= LUT(d_r) \\
G &= LUT(d_g) \\
B &= LUT(d_b)
\end{aligned}
\quad
\begin{aligned}
0 \leq d_r, d_g, d_b \leq 255 \\
0 \leq R, G, B \leq 1
\end{aligned}
\quad (2)$$

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{RLED} = \begin{bmatrix} X_{Rgmax} - X_{Rkmin} & X_{Rgmax} - X_{Rkmin} & X_{Rlmax} - X_{Rkmin} & X_{Rkmin} \\ Y_{Rgmax} - Y_{Rkmin} & Y_{Rgmax} - Y_{Rkmin} & Y_{Rlmax} - Y_{Rkmin} & Y_{Rkmin} \\ Z_{Rgmax} - Z_{Rkmin} & Z_{Rgmax} - Z_{Rkmin} & Z_{Rlmax} - Z_{Rkmin} & Z_{Rkmin} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \\ 1 \end{bmatrix} \times L_R \quad (3)$$

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{GLED} = \begin{bmatrix} X_{Ggmax} - X_{Gkmin} & X_{Ggmax} - X_{Gkmin} & X_{Glmax} - X_{Gkmin} & X_{Gkmin} \\ Y_{Ggmax} - Y_{Gkmin} & Y_{Ggmax} - Y_{Gkmin} & Y_{Glmax} - Y_{Gkmin} & Y_{Gkmin} \\ Z_{Ggmax} - Z_{Gkmin} & Z_{Ggmax} - Z_{Gkmin} & Z_{Glmax} - Z_{Gkmin} & Z_{Gkmin} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \\ 1 \end{bmatrix} \times L_G \quad 0 \leq L_R, L_G, L_B \leq 1 \quad (4)$$

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{BLED} = \begin{bmatrix} X_{Bgmax} - X_{Bkmin} & X_{Bgmax} - X_{Bkmin} & X_{Blmax} - X_{Bkmin} & X_{Bkmin} \\ Y_{Bgmax} - Y_{Bkmin} & Y_{Bgmax} - Y_{Bkmin} & Y_{Blmax} - Y_{Bkmin} & Y_{Bkmin} \\ Z_{Bgmax} - Z_{Bkmin} & Z_{Bgmax} - Z_{Bkmin} & Z_{Blmax} - Z_{Bkmin} & Z_{Bkmin} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \\ 1 \end{bmatrix} \times L_B \quad (5)$$

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{measured} = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{RLED} + \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{GLED} + \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{BLED} \quad (6)$$

二. 文獻探討

Fairchild 提出的 Color model[4] 適用於液晶顯示器，並且能達到準確預測液晶信號的功能。然而，此 color model 不適合運用於高動態對比的顯示器，因為此 color model 基於傳統全開的白色背光所建構。因此，此年度計畫中，我們基於這 color model 再加以改進，建構一個將彩色背光參數考慮進去的 color model。利用此 color model 確保影像亮度及彩度的正確資訊。

三. 研究方法

3.1 色彩模型優化流程

在背光訊號依照演算法決定之後，將背光訊號與光分佈函數(LSF)進行摺積以取得背光分佈情形，此光分佈函數是以單一區背光的 LSF 決定。在 HDR-LCD 特性化模型中，背光強度的準確性將大幅影響色彩模型之正確性，因此為了考慮真實的邊緣效應，我們實際紀錄 8x8 區 LSF 以疊加方式達到準確預測背光強度。

色彩優化流程

為了維持低耗電的優點，我們選擇調整液晶來達到準確的色彩，藉由原始的輸入影像訊號、傳統顯示器的色彩模型以及 mapping function 可得到目標三刺激值，另一方面，依照先前提出的 inverse of mapping function (IMF) method 決定背光訊號，同時考慮背光分佈以及目標三刺激值，使用 HDR-LCD 色彩模型模擬正確的液晶訊號，達到色彩色度重現，以維持相同色彩表現，如圖 3 所示。

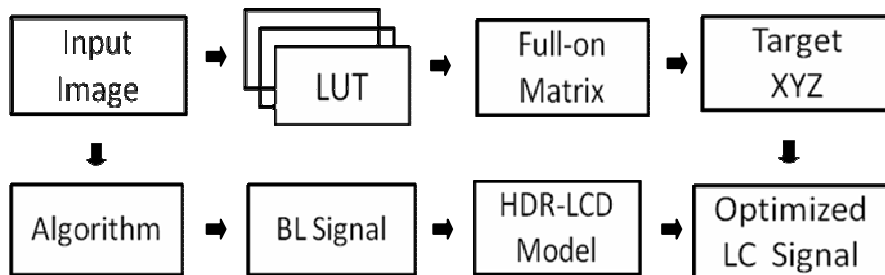


圖 3 色彩優化之流程圖

3.2 色彩模型優化結果分析

本年度提出的色彩優化方式選擇以 IMF 以及 DCA 決定背光訊號，搭配準確的背光強度預測和色彩模型，調整液晶訊號以達到色彩色度重現，為了驗證此種優化方式，我們分別對 Intensity 控制和彩色控制背光個別討論優化的結果，其中以高對比影像(Lily)以及色彩豐富影像(Color Ball)以驗證模型以及優化準確性。



圖 4 目標影像 (a) Lily (b) Color Ball

色彩模型驗證:

由於色彩的預測在彩色背光時最為複雜，因此我們用 IMF 和 DCA 決定彩色背光訊號，搭配傳統亮度補償法的液晶訊號，藉由色彩模型預測得到三刺激值；另一方面，使用 Charge Coupled Device (CCD) 量測實際三刺激值，下表為用 CIEDE2000 色差公式評斷兩者誤差，誤差最大值為 2.42，如表一所示。在傳統顯示器 CRT 的特性化模型中，若平均色差可小於 3，表示此色彩模型是可被人眼接受。因此建立的 HDR-LCD 色彩模型可以準確的預測色彩表現，對於後續的色彩優化將更準確。

表一 色彩模型預測值與實際量測值之色差

Target Images	CIEDE2000
Lily	2.42
Color Ball	2.37

色彩優化表現:

Intensity control backlight (IMF method)

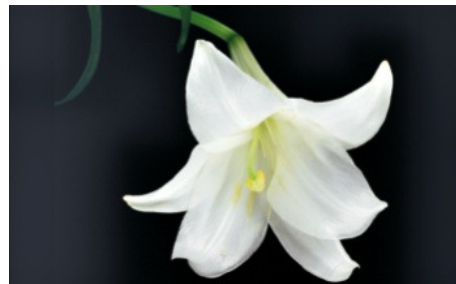
我們使用 IMF method 決定背光訊號，搭配 8x8 區 LSF 疊加法預測背光強度，考慮亮度補償法以及色彩模型法之 HDR 影像，評估兩種 HDR 影像與目標影像之色差，模擬結果如下。

Lily

(a) 亮度補償法

(b) 色彩模型法

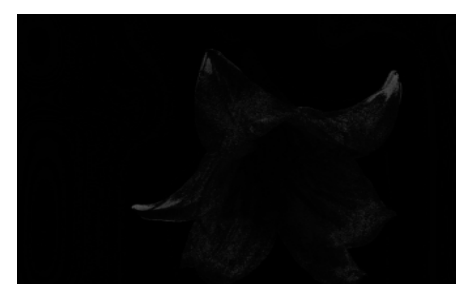
液晶
影像



HDR
影像



ΔE_{00}



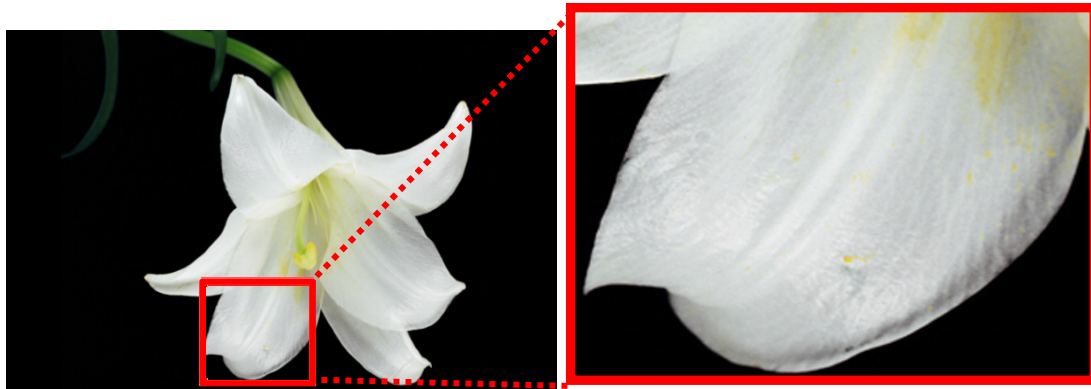
ΔE_{00} 4.6

ΔE_{00} 2.1

圖 5 評估亮度補償法(a)與色彩模型優化法(b)之色差，可見色彩模型優化過 HDR 影像的色彩準確性提高。

影像細節:

我們使用色彩模型來重現色度，除了可以減少色偏現象，另一方面也能維持影像細節，減少亮度補償法因過度補償是得細節消失的現象。由下圖可知，考慮色彩模型優化的影像更為接近目標影像的細節。



(a) 目標影像

(b) 目標影像之細節



(c) 亮度補償之影像細節



(d) 色彩模型優化之影像細節

圖 6 比較亮度補償法與色彩模型優化後的 HDR 影像，可發現色彩模型優化後的影像(d)較為接近目標影像(b)。

Color Ball

(a) 亮度補償法

(b) 色彩模型法

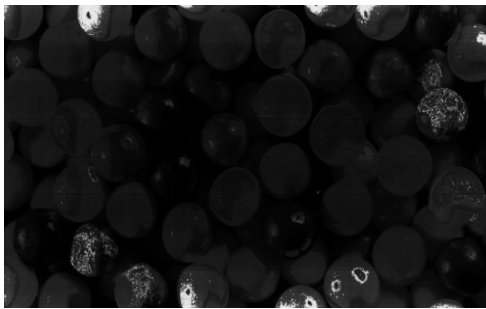
液晶
影像



HDR
影像



ΔE_{00}



ΔE_{00} 9.0

ΔE_{00} 1.3

圖 7 使用色彩模型優化法可以把色差值從 9.0 減少到 1.3，大幅提高色彩的準確性 85.6%

Color control backlight (IMF&DCA method)

上述討論了 intensity control 的色彩誤差，因為其背光僅為分區 dimming 白光，因此對色彩的擾動影響不大。之後提出的彩色背光控制除了能夠廣色域且節省耗電量，卻也大幅提升顏色的複雜度，因此使用色彩模型優化影像顯得更為重要。

Lily

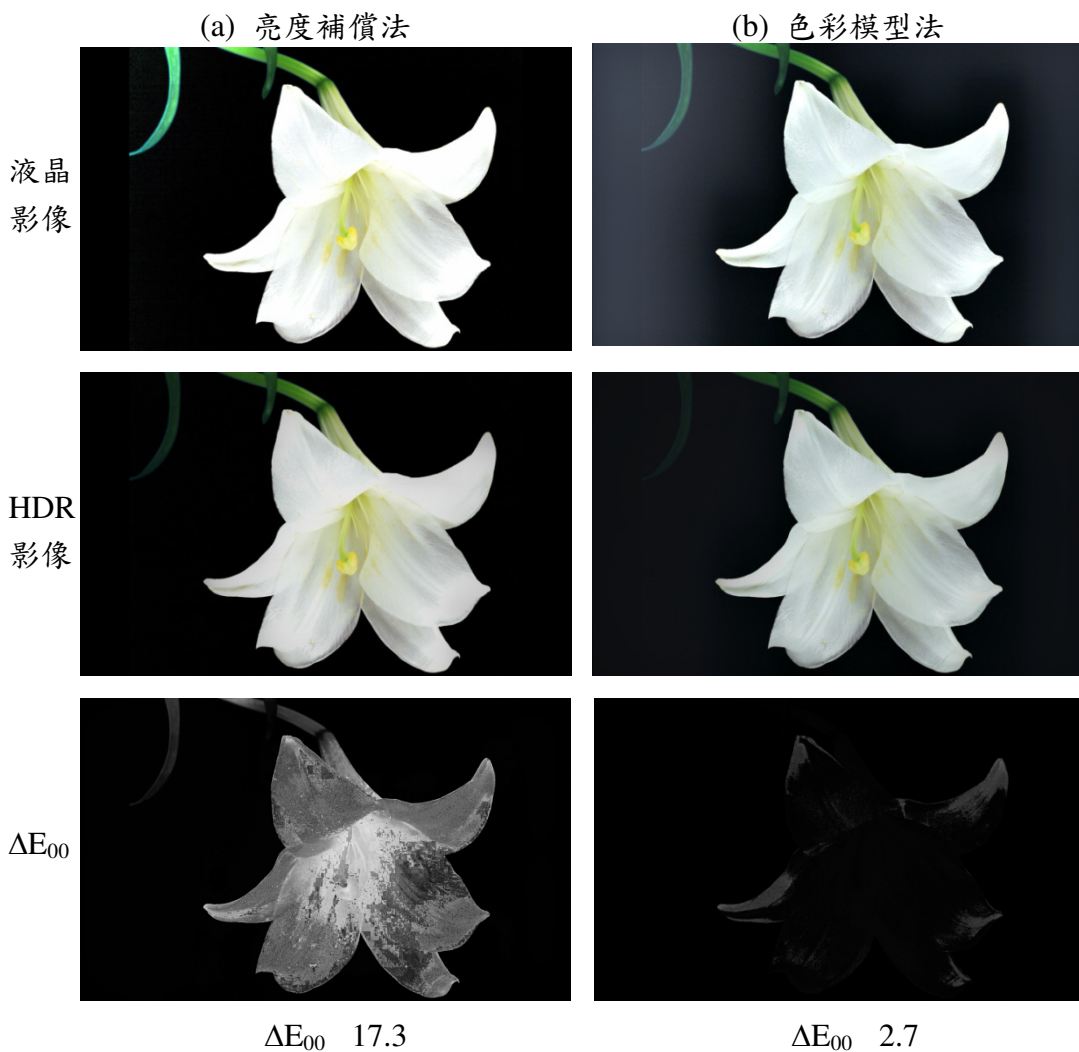
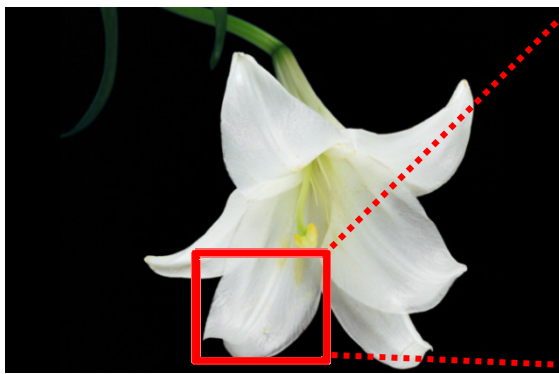


圖 8 以色彩模型優化之 HDR 影像，色差可以從 17.3 減少到 2.8，為人眼可接受範圍

影像細節:



(a) 目標影像



(b) 目標影像之細節



(c) 亮度補償之影像細節



(d) 色彩模型優化之影像細節

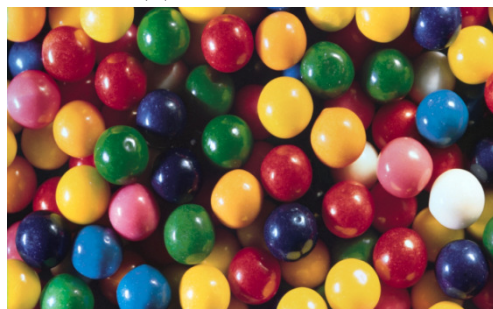
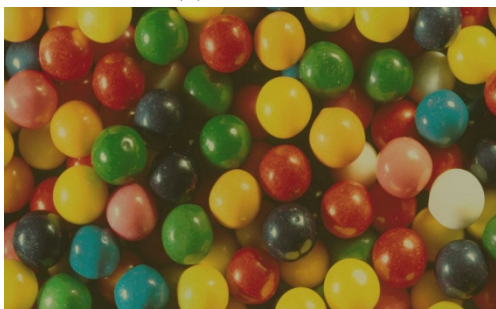
圖 9 色彩模型優化後的 HDR 影像(d)能夠維持影像細節

Color Ball

(a) 亮度補償法

(b) 色彩模型法

液晶
影像



HDR
影像



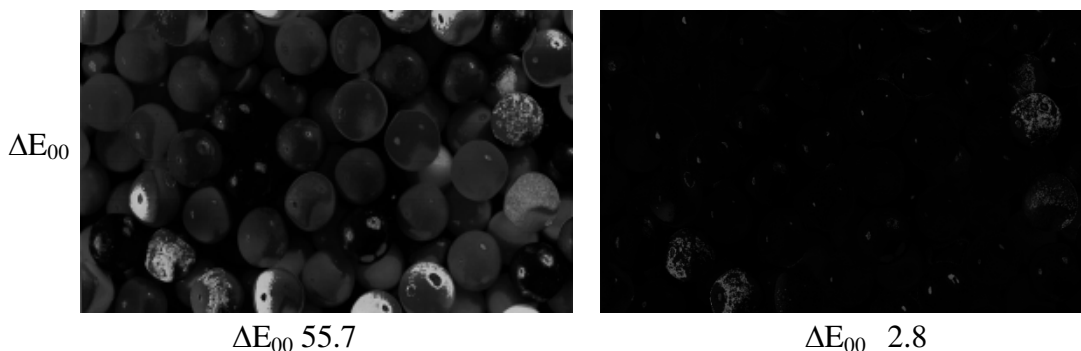


圖 10 色彩模型優化的 HDR 影像(b)能夠重現目標影像之色彩，解決亮度補償法的色偏問題

四. 結論與建議

Intensity control backlight (IMF method)

考慮在 intensity control 背光以色彩模型優化之 HDR 影像，其色彩正確性可以改善很多，如表二所示，尤其是色彩豐富的影像(Color Ball)，色彩正確性可以提高 85.6%，且色差為人眼可接受的色差範圍，另一方面，由於能夠準確的重現色彩，更可以維持 Lily 影像細節。

表二 比較傳統亮度補成與色彩模型補償之色差

CIEDE2000				
Target Images	Conventional intensity model	Proposed color model	Color accuracy	Acceptable
Lily	4.6	2.1	53.2%	◎
Color Ball	9.0	1.3	85.6%	◎

Color control backlight (IMF&DCA method)

我們使用 IMF 與 DCA 法控制彩色背光，藉由色彩模型大幅降低色偏現象，以色彩豐富影像(Color Ball)為例，色彩正確性提高 95%，此外 Lily 影像細節也能維持，且平均色差值皆為人眼可接受的範圍，如表三所示。

表三 比較傳統亮度補成與色彩模型補償之色差

CIEDE2000				
Target Images	Conventional intensity model	Proposed color model	Color accuracy	Acceptable
Lily	17.3	2.7	84.4%	◎
Color Ball	55.7	2.8	95.0%	◎

五. 計畫成果自評

本年度提出的 HDR-LCD 色彩模型，不僅考慮傳統液晶顯示器的漏光項，同時考慮 dimming 背光強度作為修正項，因此可以準確的預測 HDR 影像之色彩表現。藉由準確的色彩模型建立，實際應用到硬體，優化後的 HDR 影像成功地實現了與目標影像具有相同的亮度以及色度並且維持影像細節。

已發表之期刊論文

1. Chun-Ho Chen, Fang-Cheng Lin, Yi-Pai Huang, Ya-Ting Hsu and Han-Ping D. Shieh “A Field Sequential Color LCD Based on Color Fields Arrangement for Color Breakup and Flicker Reduction”, Journal of Display Tech., vol. 5(1), pp. 34-39.(2009)
2. Chun-Ho Chen and Han-Ping D. Shieh, “Effects of Backlight Profiles on Perceived Image Quality for High Dynamic Range LCDs,” IEEE/OSA Journal of Display Technology (JDT), Vol. 4(2), pp. 153-159, 2008.

已發表之研討會論文

1. Yi-Ling Chen, et al., “Color Optimization Model for High Dynamic Range LCDs with RGB Color Backlights,” SID09, pp. 636-639, 2009
2. Chun-Ho Chen, Ke-Horng Chen, Yi-Pai Huang, Han-Ping D. Shieh, and Ming-Tsung Ho, Society for Information Display 2008 (SID’08), pp. 1096-1099.

參考文獻

- [1] F. C. Lin, et al., “Color Breakup Suppression and Low Power Consumption by Stencil-FSC Method in Field-Sequential LCDs,” J. Soc. Info. Display, pp. 221-228, (2009)
- [2] L. Kerofsky, et al., “Brightness Preservation for LCD backlight dimming,” J Soc Info Display, pp

1111-1118 (2006)

[3] L. Y. Liao, et al., "Blur-Mask Approach for Real-Time Calculation of Light Spreading Function (LSF) on Spatial Modulated High Dynamic Range LCDs," (submitting to JDT 2009)

[4] Mark D. Fairchild, *Color Appearance Models*, 2nd Edition, Wiley, New York, pp. 310-315 (2005)

[5] M. R. Luo, G. Cui, B. Rigg, "The Development of CIE 2000 Colour-Difference Formula: CIEDE2000," *Color Research & Application*, pp. 340-350 (2000)

[6] Ellen A. Day, et al., "Colorimetric Characterization of a Computer-Controlled Liquid Crystal Display", *Color Research & Application*, pp. 365-373 (2004)

[7] F. C. Lin, et al, "Dynamic Backlight Gamma on High Dynamic Range LCD TVs", *JOURNAL OF DISPLAY TECHNOLOGY*, pp. 139-146 (2008)

[8] G. Z. Wang, et al., "Delta-Color Adjustment (DCA) for Spatial Modulated Color Backlight Algorithm on High Dynamic Range LCD TVs," (submitting to JDT 2009)