

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-E009-021-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：鄭裕國、易宛徵、陳勝昌、黃怡菁、謝毅翰、林姚順

報告成果類型(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 光電工程研究所

國立交通大學 顯示科技研究所

中 華 民 國 99 年 09 月 30 日

摘要

在高亮度動態範圍液晶顯示器中，使用影像色貌模型(iCAM)，以及其延伸的 iCAM06 做為研究及評估，並且將之套用於以白色發光二極體以及紅、綠、藍三原色發光二極體為光源的區域可控式背光模組完成驗證，進行後續心理物理實驗以達到評估指標建立及模型優化之目的。

而在傳統的液晶補償法中，只考慮亮度，但人眼對亮度的感知並非呈線性關係，故無法準確呈現目標影像的色彩，因此調整後的 HDR 影像會產生色偏現象。在此階段中，將完成液晶訊號優化演算法，考慮背光的漏光像以及規一化的背光強度，以準確預測 HDR-LCD 的色彩表現。如此一來不僅可將傳統液晶顯示器的漏光項列入考慮，也同時以 dimming 背光強度做為修正項。

除此之外，提供一個單一數值用以評估由色序型(field-sequential-color, FSC)顯示器所造成的色分離現象(color break-up, CBU)的標準-相關對比敏感度(relative contrast sensitivity, RCS)。色分離邊緣效應被認為與 RCS 高度相關，而 RCS 則是由經由座標域相隊認知方程式(contrast sensitivity function)過濾後的對比色信號積分而成的差值所構成。在此，以心理測量學的實驗下用以檢驗所提出的數值依據，並得到目前實驗上以人眼主觀判斷以及計算出來的最高相關係數可高達 98.9%。其應用的可信度則由四種抑制色分離現象的演算法做為驗證。

關鍵字：影像色貌模型、高動態範圍液晶顯示器、區域可控式背光、液晶補償、色序型顯示器、色分離、相對認知方程式

Abstract

In high-dynamic-range liquid crystal display (HDR LCD) we use the image color appearance model (iCAM) and the next generation of iCAM, called iCAM06, for research and evaluation. We also use the white and the RGB LED as the back light source to verify the prototype model and to examine by some psychophysical experiments to deduce the evaluation index and to optimize the model for system applicability.

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. The project here is to complete the liquid crystal signal optimization calculating method. We take the leakage of the back light into consideration as well as a gauge back light intensity, achieving 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.

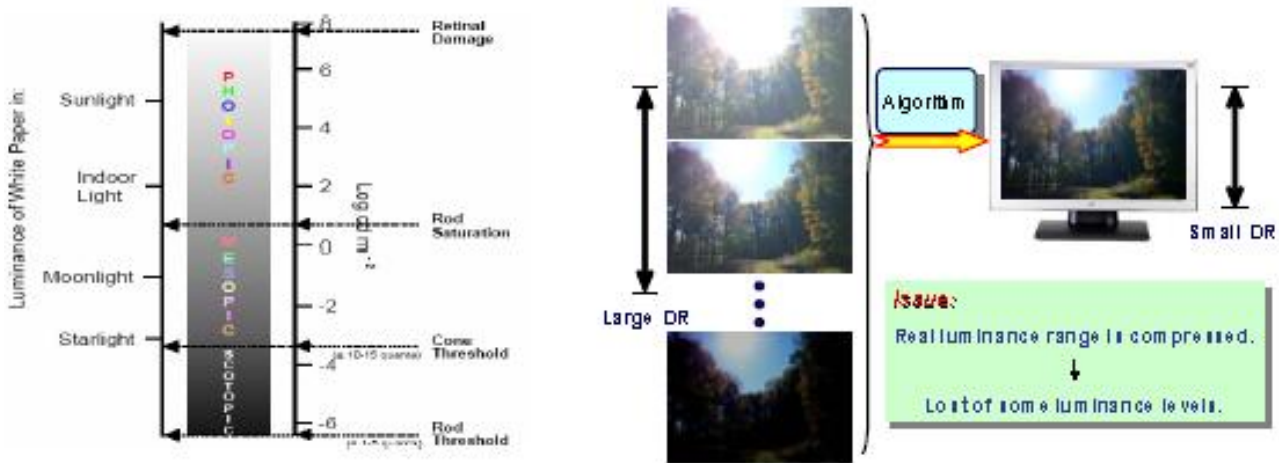
A single-valued index, relative contrast sensitivity (RCS), was developed to quantitatively evaluate color break-up (CBU) phenomenon. The sensibility of CBU fringes was hypothesized to strongly correlate with RCS, which was defined as the integrated difference of the opponent-color signals filtered by spatial contrast sensitivity functions. Psychometric experiments were conducted to examine the proposed numerical metric. The results showed that the maximal correlation coefficient was as high as 98.9% between the subjective judgments and the computed numerical values of current experimental results. A useful application of RCS index was demonstrated by the evaluation of four driving schemes for CBU suppression.

Keywords: *image color appearance model, high-dynamic-range liquid crystal display, area-adaptive backlight, liquid crystal compensation, field sequential-color (FSC), color break-up (CBU), contrast sensitivity function*

一、前言及研究目的

過去在表現高亮度動態範圍(high dynamic range, HDR)之影像時，均透過數位影像處理(digital image process, DIP)技術，讓亮度範圍涵蓋至四個數量級或以上的影像，得以在兩個或三個數量級的顯示裝置上，呈現出近似於人類視覺系統所感知的亮度變化。(圖一、圖二)

本計畫的主要目標在於建立適合高亮度對比的視覺模型，建立評估具該特性的高對比顯示器之指標，並進行該類型顯示器之最佳化設計極發展所需之影響處理技術以期達成整體研發的能力。

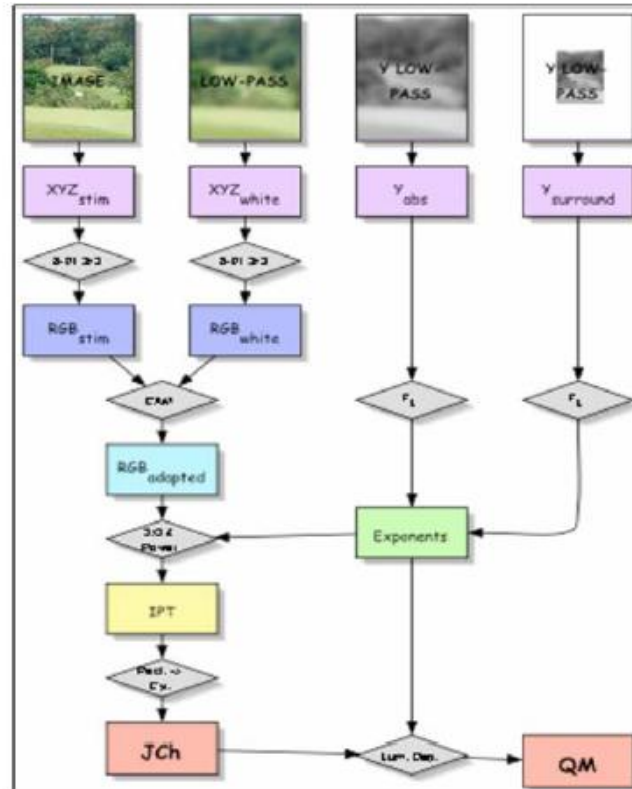


Hood and Finkelstein [1986]

[圖一] 人眼視覺範圍

[圖二] 數位影像處理(壓縮)後的真實景觀

視覺效果決定顯示畫面的最終評價，無論顯是媒體式顯示器、印刷或是相片皆可適用，固發展描述視覺效果之模型具有根本而實用之意義。視覺科學(vision science)本身兼具多門領域及多深度層次的綜合性科學。以人類視覺系統而言，可從解剖學分析結構性的構造、由生理學解釋視覺響應的運作、由心理學或心理物理學對視覺進行感受性認知的理解，也可從工程的角度類比生物的光接受器。然而，真正的視覺效應則是涵蓋上述以及更多機制而形成的結果。在此，我們尋求一個視覺模型以描述產生視覺、預期視覺效果。在色彩視覺科學及工程應用上，最初為色貌模型(CAM)的發展，而近年來的研究則發現，影像內容代表著光刺激的空間域信號，影像的更新則對應到光刺激對時間域的信號，為此我們發展出更為完整的影像色貌模型(iCAM)。此模型以不同的低通濾波器(low-pass filter)分別描述人眼觀察影像及受環境影響的響應，紀錄對亮度變化的感知並轉換到固定色名(constant hue)的 IPT 表色空間進行運算，最後再利用先前所得的亮度數值得到處理後的影像輸出。(圖三)iCAM 雖具備較完善的考量，但仍尚未臻完美，有許多因素尚未列入考量，例如：時間域的影響、視覺資料不足、無法真正涵蓋全亮度範圍的變化、運算量大而耗時等問題，都是本研究所需改善之處。



[圖三] 處理複雜空間光刺激(Spatially-complex stimuli)的 iCAM 流程圖

在上述第一階段具一定程度結果後，將以修訂後之 iCAM 做為模型基礎，搭配其他子計畫所建構之 HDR 系統，做為一個理想的模型驗證平台。由於預期該平台將具有極大亮度範圍，得以滿足視覺資料的收集，故在第二階段的研究將著重於設計並執行心理物理實驗，並藉由實驗結果進行模型的修正與改善。

經過第一、二階段的發展及修正後，進入系統性整合的階段，即 HDR 影像品質相關的研究：適用於 HDR 系統之影像處理。此階段的研究將以發展適用之演算法，以硬體語言載入對應之可程式化邏輯閘陣列等可程式化硬體，以進行演算、模擬，及可依序影像內容及視覺效應的考量使系統呈現最佳化的視覺表現。同時，配合其他子計畫知色彩型色彩呈現原理，由進行 iCAM 在時間域視覺效應的研究，西記得以進一步完成整合高對比暨色序型液晶顯示器的目標。

二、研究方法

本計畫分為三個階段，首先從新提出的影像色貌模型(iCAM06)著手，完成基本運算架構並提出評估之標準；其次為色彩模型優化並驗證；最後則進入系統性整合：考慮到色序型顯示器的色分離現象，配合其他子計畫之色彩型色彩呈現原理，以整合高對比暨色序型液晶顯示器的目標。

A. iCAM 色貌模型

此階段的研究分為幾個步驟：

1. 從現階段 iCAM06 著手，完成優、缺點分析，並依據本計畫所需之特性，進行應用分析

及訂定所需之參數。

2. 依循 iCAM06 演算法則，進行初版程式編寫，完成模型基本運算架構。
3. 依據二階段法(two-stage approach)，完成 HDR LCD 的色彩特性化模型。
4. 依據先前對於 HDR LCD 之研究成果，配合建構完成之初版 iCAM06 程式，推演 HDR 系統可行之評估指標，做為該類顯示器評估之標準。

用於傳統均勻背光 LCD 的色彩特性化模型可以下列方程式表示：

$$\begin{aligned} \mathbf{R} &= \text{LUT}(\mathbf{d}_r) \\ \mathbf{G} &= \text{LUT}(\mathbf{d}_g) \\ \mathbf{B} &= \text{LUT}(\mathbf{d}_b) \\ \mathbf{0} &\leq \mathbf{R}, \mathbf{G}, \mathbf{B} \leq \mathbf{1} \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{bmatrix} \mathbf{X} \\ \mathbf{Y} \\ \mathbf{Z} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{X}_{r,\max} - \mathbf{X}_k & \mathbf{X}_{g,\max} - \mathbf{X}_k & \mathbf{X}_{b,\max} - \mathbf{X}_k \\ \mathbf{Y}_{r,\max} - \mathbf{Y}_k & \mathbf{Y}_{g,\max} - \mathbf{Y}_k & \mathbf{Y}_{b,\max} - \mathbf{Y}_k \\ \mathbf{Z}_{r,\max} - \mathbf{Z}_k & \mathbf{Z}_{g,\max} - \mathbf{Z}_k & \mathbf{Z}_{b,\max} - \mathbf{Z}_k \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{R} \\ \mathbf{G} \\ \mathbf{B} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \mathbf{X}_k \\ \mathbf{Y}_k \\ \mathbf{Z}_k \end{bmatrix} \quad (3)$$

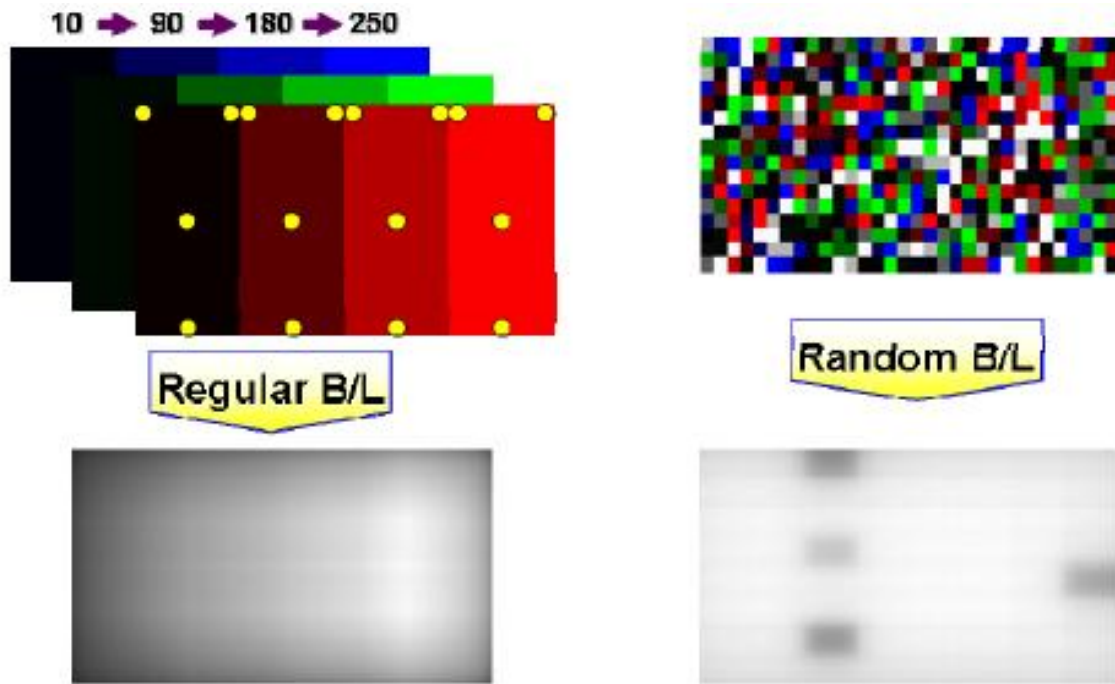
其中 R、G、B 為三個一維的對照表(look-up table, LUT)，用以描述 LCD 三個圓色的 OETF， \mathbf{d}_r 、 \mathbf{d}_g 、 \mathbf{d}_b 為輸入數位信號； $\mathbf{X}_{i,\max}$ 、 $\mathbf{Y}_{i,\max}$ 、 $\mathbf{Z}_{i,\max}$ 表示三刺激值在原色 i 的最大值，i 代表 r、g、b。 $[\mathbf{X}_k \mathbf{Y}_k \mathbf{Z}_k]^T$ 代表著 LCD 在驅動信號為零的三刺激值，稱為 flare。然而，在過去量測的經驗中，發現適用於傳統均勻背光 LCD 的方程式(2)、(3)，並無法描述 HDR LCD 的一對多對應(one-to many mapping)結果，及同一組輸入信號，得到不同的三刺激值。經過深入研究，發現此一現象與入射至 LC 面板的背光強度有關，因此，我們提出了修訂方程式(2)、(3)的修訂方程式(4)、(5)做為白色發光二極體區域可控式背光的 HDR LCD 的色彩特性模型，如下：

$$\begin{aligned} \mathbf{R} &= \text{LUT}(\mathbf{d}_r') \\ \mathbf{G} &= \text{LUT}(\mathbf{d}_g') \\ \mathbf{B} &= \text{LUT}(\mathbf{d}_b') \\ \mathbf{0} &\leq \mathbf{R}, \mathbf{G}, \mathbf{B} \leq \mathbf{1} \\ \mathbf{0} &\leq \mathbf{L} \leq \mathbf{1} \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{bmatrix} \mathbf{X} \\ \mathbf{Y} \\ \mathbf{Z} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{X}_{r,\max} - \mathbf{X}_k & \mathbf{X}_{g,\max} - \mathbf{X}_k & \mathbf{X}_{b,\max} - \mathbf{X}_k \\ \mathbf{Y}_{r,\max} - \mathbf{Y}_k & \mathbf{Y}_{g,\max} - \mathbf{Y}_k & \mathbf{Y}_{b,\max} - \mathbf{Y}_k \\ \mathbf{Z}_{r,\max} - \mathbf{Z}_k & \mathbf{Z}_{g,\max} - \mathbf{Z}_k & \mathbf{Z}_{b,\max} - \mathbf{Z}_k \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{R} \\ \mathbf{G} \\ \mathbf{B} \end{bmatrix} \mathbf{L} + \begin{bmatrix} \mathbf{X}_k \\ \mathbf{Y}_k \\ \mathbf{Z}_k \end{bmatrix} \mathbf{L} \quad (5)$$

其中 \mathbf{d}_r' 、 \mathbf{d}_g' 、 \mathbf{d}_b' 為經過 HDR LCD 演算法處理過的二次信號，L 則為歸一化的背光強度。

實驗平台為 37" HDR LCD，面板解析度為 1080×1920，背光分區為 8×8 區，最大亮度 500cd/m²，對比度大於 10,000:1。以下面兩組影像-color-ramp 與 random-mosaic-做為測試信號(圖四)，其中前者呈現規律背光強度變化，而後者呈現無序背光強度變化。



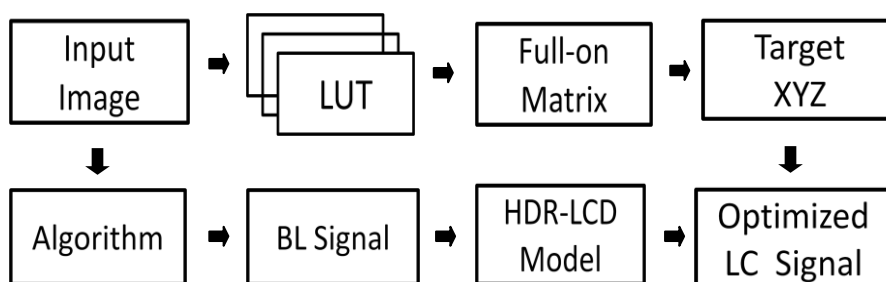
[圖四] 測試影像，color-ramp(左) 與 random-mosaic(右)

B. 色彩模型優化流程/色彩模型優化結果分析

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。



[圖五] 色彩優化之流程圖

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。



(a)



(b)

[圖六] 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}



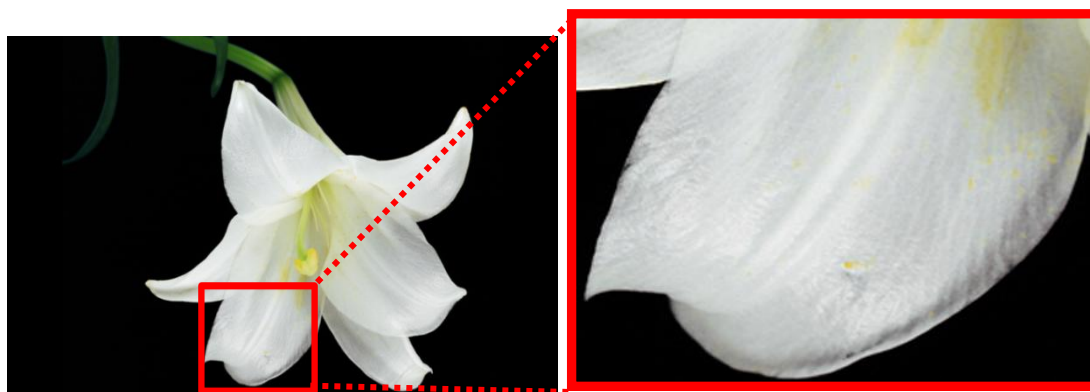
ΔE_{00} 4.6

ΔE_{00} 2.1

[圖七] 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

[圖八] 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

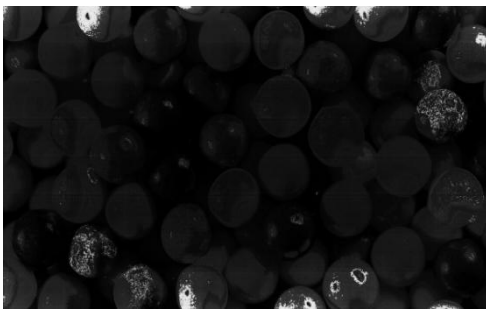
液晶
影像



HDR
影像



ΔE_{00}



ΔE_{00} 9.0

ΔE_{00} 1.3

[圖九] 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) :

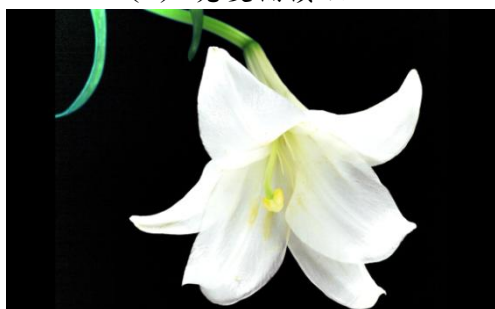
上述討論了 intensity control 的色彩誤差，因為其背光僅為分區 dimming 白光，因此對色彩的擾動影響不大。之後提出的彩色背光控制除了能夠廣色域且節省耗電量，卻也大幅提升顏色的複雜度，因此使用色彩模型優化影像顯得更為重要。

Lily

(a) 亮度補償法

(b) 色彩模型法

液晶
影像



HDR
影像



ΔE_{00}

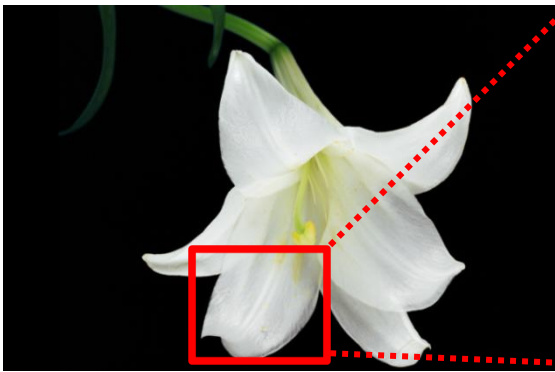


ΔE_{00} 17.3

ΔE_{00} 2.7

[圖十] 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

[圖十一] 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

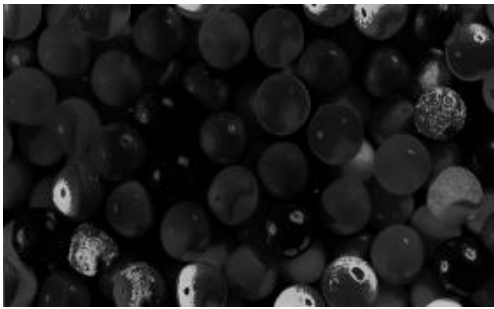
液晶
影像



HDR
影像



ΔE_{00}



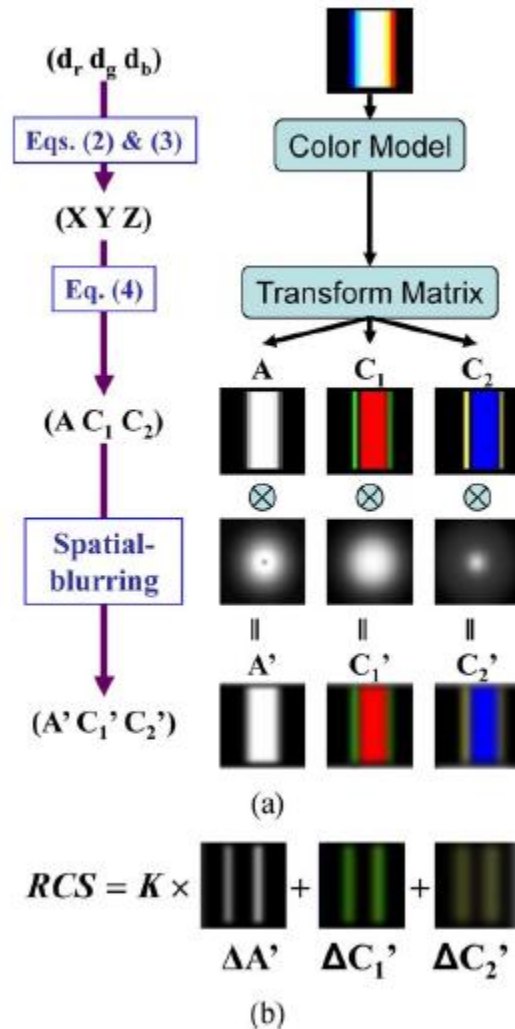
ΔE_{00} 55.7

ΔE_{00} 2.8

[圖十二] 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

C. 系統性整合

由於色分離現象被認為與神經信號高度相關，所以根據色彩可分離的模式理論，神經中樞的影像信號與路徑上對顏色模式的敏感度、刺激值的強度，以及路徑對空間域的敏感度有關。此階段的優化分為下列幾個步驟(流程圖見[圖 13])：



[圖十三]

1. **三刺激值轉換**：自從許多色分離的相關研究被提出後，LCD 對三刺激值的對應轉換是不可或缺的。先前所提出的相關研究所預測出的色彩準確度是可以被人眼所接受的。在三個由 R、G、B 所表示一維的對照表(LUT)中，可將 R、G、B 轉換至 X、Y、Z 三刺激值，並將漏光項列入考量(見(2)、(3)式)。

在色序型液晶顯示器中，由對應的彩色背光可分別測量出各原色的三刺激值，並得到漏光項的三刺激值。值得注意的是由於色序型顯示器符合使用三個子畫素(sub-pixel)的傳統液晶顯示器，這兩個轉換方程式可應用於由三個色場所構成的色序型顯示器，但若是當色序型液晶顯示器多於三個色場時，這個轉換的模型就必須再根據情形做優化。

2. **XYZ 轉換 AC1C2**：AC1C2 對比色認知信號是透過心理物理學的實驗所測得的一套色座標。計算上，AC1C2 與 XYZ 座標可透過線性轉換而得，其轉換式如下：

$$\begin{bmatrix} A \\ C_1 \\ C_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.297 & 0.72 & -0.107 \\ -0.449 & 0.29 & -0.077 \\ 0.086 & -0.59 & 0.501 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} \quad (6)$$

3. **空間域濾波**：對於對比色座標的空間域濾波可以轉移到頻率域做運算。先將 A、C1、C2 信號利用傅立葉轉換至頻率域，再利用對應的對比感知方程式(CSFs)分別對對比信號做運算。在頻率域的計算方式在(7)、(8)式中表示：

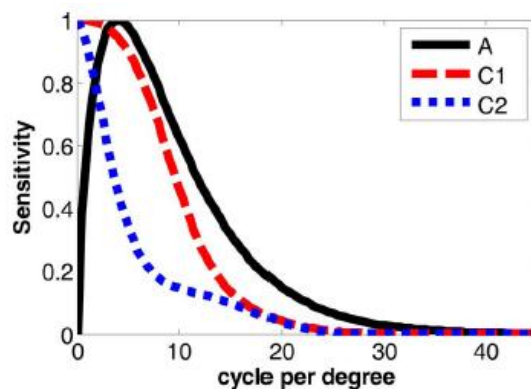
$$csf_{lum}(f) = a \times f^c \times e^{-b \times f} \quad (7)$$

$$csf_{chrom}(f) = a_1 \times e^{-b_1 \times f^{c_1}} + a_2 \times e^{-b_2 \times f^{c_2}} \quad (8)$$

其中 csf_{lum} 和 csf_{chrom} 表示 CSFs 中的亮度項以及色度項， f 為頻率。其餘各項係數將於[表二]列出，而歸一後的一維 CSF 將於[圖 14]中描繪。在此濾波器中，對於亮度 A 為帶通(band-pass)濾波，而對於其餘兩個色度 C1、C2 則為低通濾波(low-pass)。

[表二] (7)、(8)式中各項係數數值

Parameters	Values (Channel A)	Parameters	Values (Channel C ₁)	Values (Channel C ₂)
a	75	a ₁	109.1413	7.0328
b	0.2	b ₁	0.00038	0.000004
c	0.5	c ₁	3.4244	4.2582
		a ₂	93.5971	40.6910
		b ₂	0.00367	0.10391
		c ₂	2.1677	1.6487



[圖十四]

4. **RCS**：色分離的邊緣是 RCS 計算的目標，如在白色條紋兩邊由分離的色場所形成的帶狀邊緣。經過濾波後的 A、C1、C2 信號是由扣掉對於這三個信號差值額外的加總所提出來的，如流程圖所示。而流程圖中最後一項的參數 K 是由心理物理實驗中所得。

在完成此加總之前，還有兩項因素必須列入考量。其一，由於 C1、C2 的正負號只表示顏色的不同，所以在加總的過程中必須加上絕對值。其次，再將 A、C1、C2 加總之前，須用一個參照人眼視覺系統的合適比例。

在此實驗中，我們使用 32 吋雙折射光學補償模式 (optically-compensated-birefringency mode, OCB) 的色序型顯示器 (FSC LCD) 做為測試平台，光源則使用紅、綠、藍三合一的發光二極體 (LEDs)，場率為 180Hz。受測者的部分則是由三位女性和八位男性，年齡範圍從 23 歲到 26 歲所組成。受測者皆有接受視力矯正，並在暗室接受測試。在測試影像部分則是在一全黑背景的正中心播放一寬度為 2 公分不同顏色的方形，視角約為 2 度，觀測距離為屏幕對角線長的五分之三。當影像水平移動時，在方形的邊緣便會出現視角約 0.1 度的色分離邊緣。

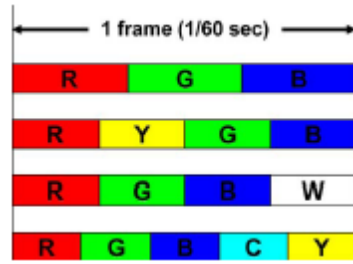
實驗一開始，在顯示器上顯示一白色區塊，在移動的過程中會出現彩色邊緣，而其寬度會隨著移動速度而改變。在此，移動速度由 200mm/s 到 800mm/s，以 100mm/s 為間隔共七組。另外，提供四組亮度給白色區塊做為測量，分別為 18、28、42、56 cd/m²。

在此提供一個數值-平均評價分數 (mean opinion score, MOS) 做為參考，將人眼對色分離程度的感知分為 1 到 5 分，由觀測者評分，其分數的考量依據參考 [表三]。

[表三] MOS 分數定義

Score	Evaluation result
1	Imperceptible
2	Perceptible, but not annoying
3	Slight annoying
4	Annoying
5	Vary annoying

RCS 在此將被應用於各種不同抑制色分離的方法，如 RGB、RYGB、RGBWmin 和 RGBCY 等如 [圖 15] 所示。在這些顯示多於三個色場的方法下，色分離的影像會被分解為信號並輸入至測試平台中。在此我們挑選一些較為特別的顏色做為測試：白色 (255, 255, 255)、亞洲人的膚色 (213, 139, 112)、白人膚色 (205, 163, 144)、大紅色 (186, 70, 73) 和天藍色 (65, 75, 163)，如 [表四] 所示。這些比較皆是以物體移動速度為 800mm/s 做為基準，所模擬出來的色分離邊緣影像，以上述所提到的 MOS 決定方式來比較這些影像的品質優劣。



[圖十五] 各種先前所提出的色分離抑制方法示意

[表四] 各種不同色分離抑制方法在移動速度 800mm/s 之下其 RCS 的比較

(C.C 為相關係數)

Driving Scheme	RGBWmin	RGBCY	RYGB	RGB	C.C.(%)
White (255, 255, 255)					
MOS	1	2.7	3.7	4.8	
RCS	0.215	0.408	0.807	1	97.2
CIEDE2000	0	45.859	58.662	68.587	96.8
Asia Skin (213, 139, 112)					
MOS	2.9	2.4	4.1	4.7	
RCS	0.299	0.312	0.840	1	97.7
CIEDE2000	23.67	27.277	33.594	38.417	91.0
Light Skin (205, 163, 144)					
MOS	3.1	2.2	3.7	4.8	
RCS	0.394	0.337	0.827	1	93.8
CIEDE2000	23.518	29.108	37.257	42.647	80.2
Strong Red (186, 70, 73)					
MOS	3.2	2.3	4.2	4.8	
RCS	0.254	0.255	0.849	1	94.0
CIEDE2000	16.276	24.648	26.392	27.329	46.2
Sky Blue (65, 75, 163)					
MOS	1.6	2.7	3.7	4.6	
RCS	0.271	0.475	0.887	1	98.1
CIEDE2000	5.6316	12.745	18.055	20.34	98.9

三、 結果與討論

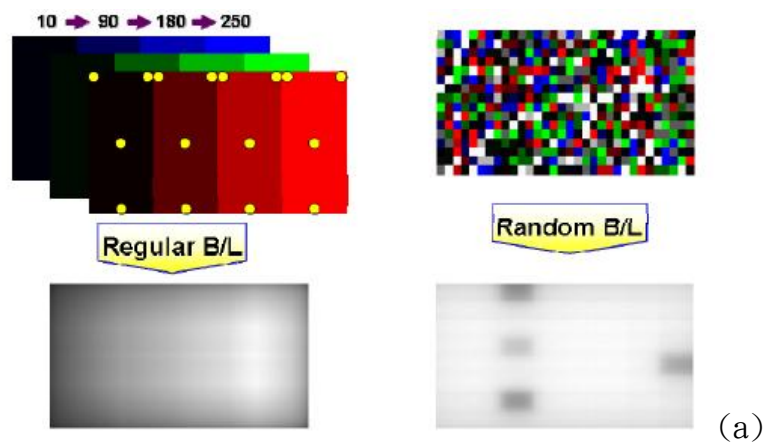
在亮度與色度間的規模比例(scale ratio)是由分析上述 MOS 實驗的相關係數而來。由於白色區塊所造成的色分離程度最為嚴重，故被拿來當作參考數據。其相關係數與規模比例的關係呈現於[圖 16]，由於規模比在 10 的時候其相關係數高達 98.9%，故將規模比選為 10。

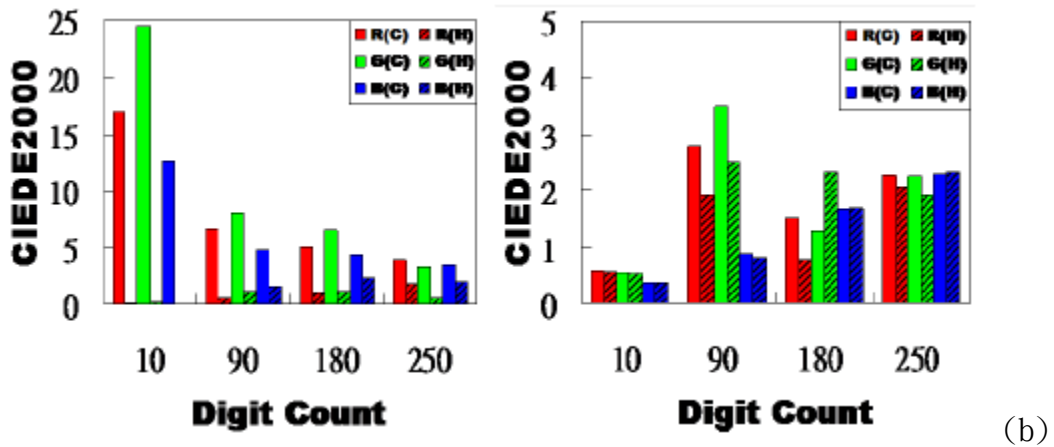
而在上述各項方法比較的實驗中，各種抑制方法的平均且歸一後的 RCS 值分別為：RGBWmin(0.27)、RGBCY(0.37)、RYGB(0.82)、RGB(1)，可以很明顯的知道其與平均 MOS 的數值相關，分別為：RGBWmin(2.4)、RGBCY(2.5)、RYGB(3.9)、RGB(4.7)。這些結果驗證了 RCS 對於分類不同抑制色分離的方法非常有用，RGBWmin 是現行最有效的方式。在此實驗中，也使用了 CIEDE2000 當做指標性的數值，與 RCS 比較，白色與天藍色在 CIEDE2000 的表現較好而膚色與大紅色的表現則較差。而 CIEDE2000 和 MOS 的相關係數小於 RCS 和 MOS 間的相關係數的二分之一。由此可證明先前對於人眼對色分離的趕之不完全與色度相關的假設，故 CIEDE2000 在此並不適用。

現行使用的 CSF 較值得被拿來探討，已知視網膜上的相對運動在調整對比敏感度時可改變 CSF 的曲線，並且隨著頻率而平移。一般來說，此調整比起平移較為顯著，尤其對於平滑的眼球追蹤運動(eye-tracking movement)。總結來說，雖然現行的結果表示出觀察和 RCS 是符合的，在色分離的評估實驗中 CSF 也必須被考慮進去。

四、 結論與建議

由前述研究方法中，我們可得知 HDR LCD 具有一對多的特性。在計算量測值分別與傳統液晶顯示器和 HDR 液晶顯示器的色彩特性化模型所預測的三刺激值之誤差，以 CIEDE2000 的色差值表示，如[圖 16]所示。如圖中所示，傳統 LCD 所使用之模型無法計入背光隨影像信號的同步變化；而 HDR LCD 的模型則可充分計入背光變化，故會得到較小的誤差。在 random-mosaic 圖中的量測結果，雖然 HDR LCD 的色度模型仍相對準確，然其與傳統 LCD 的模型色差已相差不大，其原因在於背光分布的正確性。





[圖十六] (a)為 color-ramp 與 random-mosaic 測試影像，(b)為色彩特性化模型驗證，CIEDE2000 色差表示：(左)color-ramp (右)random-mosaic

背光分布的正確性影像所提之 HDR LCD 模型在預測三刺激值的可靠度。受限於目前背光的單顆發光二極體的光分布函數(light spread function, LSF)在背光中各處不同，使得目前普遍使用的 convolution 計算原則上無法得到正確背光分布估算。因此如何獲得正確的背光分布為一關鍵。至於適用於多原色區域可控式背光 HDR LCD 的色彩特性化模型可以下列方程式(式 9、10)表示(以紅、綠、藍三原色為例)：

$$0 \leq f(d_r), f(d_g), f(d_b) \leq 1 \quad (9)$$

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \sum_{I=R,G,B} \left\{ \sum_{i=r,g,b} \left\{ \begin{bmatrix} X_{iI,di=\max} - X_{iI,di=0} \\ Y_{iI,di=\max} - Y_{iI,di=0} \\ Z_{iI,di=\max} - Z_{iI,di=0} \end{bmatrix} f(d_i) L_I + \begin{bmatrix} X_{iI,di=0} \\ Y_{iI,di=0} \\ Z_{iI,di=0} \end{bmatrix} L_I \right\} \right\} \quad (10)$$

其中， $f()$ 表示 LUT，大寫 R/G/B 用以表是三原色發光二極體，小寫 r/g/b 則表示紅、綠、藍三個次畫素(sub-pixel)。

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%，且色差為肉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。

[表五] 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，如表六所示。

[表六] 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%

RCS 被用來評估色序型顯示器的色分離現象。按照色分離邊緣的視覺反應進行以視覺為基礎的驗證在 RCS 的值和心理物理學的 MOS 之間的絕對相關係數高達 98.9%。在四個抑制色分離現象的驅動方式之間的比較被表示在出現 RCS 最小值之處。此結果論證了 RCS 比起 CIEDE2000 更適合被用來做為色分離現象的評估。要改善 RCS 尚有幾個工作需要處理。首先，雖然 RCS 可能適用於二維的複雜圖像，但是周圍分離的色分離邊緣對於複雜的影像是一大挑戰。其次，需要從不同種類的色序型液晶顯示器，以及不同的觀測環境下，收集更多的心理物理實驗數據。最後建議以高速相機取代合成的色分離影像。

計畫成果自評

此計畫完成 iCAM06 的程式撰寫，修正了圓使報告中的色彩矩陣錯誤，並依據本計畫系統特性掌握調變參數。而 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。

已發表之研討會論文

- a) Yu-Kuo Cheng, and Han-Ping D. Shieh, "Colormetric Characterization of High-Dynamic-Range LCDs" SID Symposium Digest Tech Paper(2008)
- b) Yi-Ling Chen, et al., "Color Optimization Model for High Dynamic Range LCDs with RGB Color Backlights," SID09, pp. 636-639, 2009
- c) 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.

已發表之期刊論文

- a) 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)
- b) 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.
- c) Yu-Kuo Cheng and Han-Ping D. Shieh, “Relative Contrast Sensitivity for Color Break-Up Evaluation in Field-Sequential-Color LCDs,” Journal of Display Tech., Vol. 5(10), pp.379-384. (2009)