

利用 MPRT 量測最佳化液晶顯示器之過驅電壓

趙鴻欣

R2D 探矽光電科技

Indiana_zhao@r2d.com.tw

趙慕霖

R2D 探矽光電科技

Ian_chao@r2d.com.tw

摘要

LCD 的 GLRT (Gray Level Response Time) 量測只能提供其灰階轉換上的響應特性，而無法確切反應其動態畫質特性。所以單純地地利用過驅電壓加速 LCD，雖然能夠加快 GLRT 且減少動態模糊，但邊緣過亮或過暗的副作用增加，卻反而降低 LCD 的動態品質。在這篇論文中，我們介紹一個利用 MPRT (Motion Picture Response Time) 量測最佳化 LCD 之過驅電壓的方法，透過動態模糊與邊界效應兩個指標來評價 LCD 動態畫質的好壞，有效找出該 LCD 最佳的過驅電壓查表，使得 LCD 的動態品質能夠獲得最大的改善。

關鍵字：GLRT、MPRT、Overdrive、OD-LUT Optimization、Motion Blur、Overshoot

壹、前言

近年來，由於製成技術的進化與生產成本的降低，使得 LCD 被廣泛應用在各種平面顯示器應用上，如：液晶電視與可攜式影音播放器等。相較於 CRT 顯示器，LCD 顯示器在空間解析度、耗電、重量與尺寸上都有著相當的優勢。但在播放動態影像內容所產生的動態模糊，仍是 LCD 顯示器的最大致命傷。形成這種動態模糊的主要原因有兩個：遲緩的 LC 灰階反應時間（約佔 30%）與 LCD 的 Hold-Type Display 顯示原理（約佔 70%）[1]。

為了量化這種動態模糊，有多種量測技術被陸續提出，這些方式可區分為兩大類：空間積分與時域積分。越來越多的研究指出[1-4]，由於前者必須使用高速攝影機[5]或追蹤模組（用以追蹤移動圖樣）[6]，他們必須克服由鏡頭失焦或追蹤誤差所造成的雜訊[4]，所以這些量測設備通常極為複雜且昂貴。不同於透過空間積分的方式，利用時域的灰階反應曲線量測，MPRT 量測可以更輕鬆達到且準確性也更高。而且基於相似的系統架構，這種量測系統除了可以量測 MPRT 之外，更可用來量測傳統的 GLRT。

由於 Hold-Type Display 為形成動態模糊的主因，以改良這個現象為主的技術已大量被提出，如：黑畫面內插 (Black Data Insertion)、背光閃爍 (Flashing Backlight) 與高速畫面更新 (Double Frame Rate) 等[1,7]。這些技術的目的主要在於透過模擬 CRT 的顯示方式來降低因為 Hold-Type Display 所造成的動態模糊。而在降低因遲緩的 LC 灰階反應時間所造成的動態模糊上，除了使用更好的材料與改善 LC Cell 設計[1]外，最常見到的方式就是過驅電壓技術 (Overdrive Technology) [9-11]。但即便這項技術已經被廣泛應用到 LCD 顯示器，至今仍缺乏有系統、效率的方式去產出最佳的過驅電壓查表 (OD-LUT, Overdrive Look-Up Table)。如果過驅電壓過強的話，可能會在動畫內容的邊緣處看到明顯的過暗或過亮的邊緣，稱為 Side Effect 或 Double Edge[3]。所謂的最佳 OD-LUT，就是要能針對特定面板，盡量縮小其動態模糊與 Side Effect。

目前業界在產生 OD-LUT 時，仍是利用人工的方式，針對各個灰階去做手動調整。這種缺乏效率的方法，往往需耗費數天至數週的時間去調整單一面板，而且這種因人而異的調校方式，也比較無法維持固定品質。本篇論文提出一個全自動系統，根據 LCD 面板的 MPRT 特性去搜尋最佳化的 OD-LUT。

貳、量測系統

量測系統架構如圖 2.1 所示。R2D MMS-1000 (MPRT Measurement System) 的核心是一時域訊號積分器，它能夠利用內建的圖樣訊號產生器將 DVI 訊號傳送至 LCD 顯示器，透過 PSM (Photo Sensors Module) 擷取 LCD 顯示器所呈現的光訊號。這組精巧的 PSM 是一個由多顆光感測器所組成的光源探測模組，這樣的專利設計有兩個優點：

(A) 透過同步地偵測多組灰階-灰階的亮度轉換曲線，可以大幅減少整體的量測時間。

(B) 透過開關 PSM 上不同數目的光感測器，能夠量測各種不同尺寸的 LCD 顯示器，如：1x1 用來量測手機面板，2x2 用來量測 PMP 面板，4x4 用來量測電視面板。

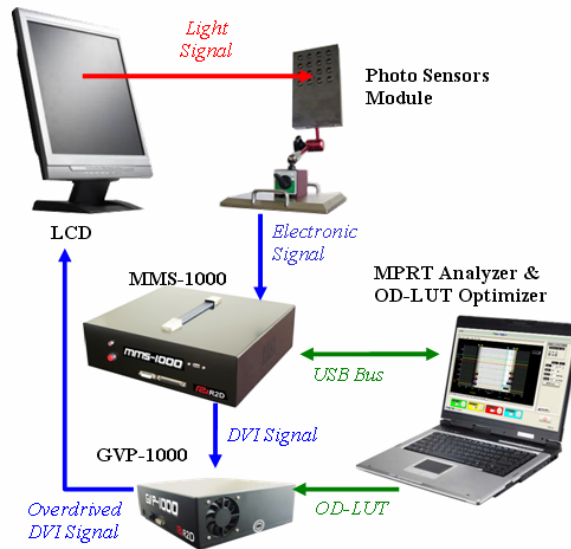


圖 2.1：最佳化 OD-LUT 系統之架構圖

圖 2.2 是某一灰階至多灰階的亮度轉換曲線範例。如同圖中的放大區域所示，由於內嵌的圖樣訊號產生器能夠精準地控制觸發訊號，所有的亮度轉換曲線無論在時間軸上的零點或是亮度軸上的零點，都能夠被完美的排列對齊。各種特殊的時域光訊號透過 MPRT 分析機制與過驅電壓最佳化引擎處理後，新的 OD-LUT 將被上傳至 GVP (GLRT Verification Platform)。所有的視訊資料會即時地進行過驅電壓處理後，被輸出至 LCD 顯示器。遞迴地重複這些量測步驟，此閉迴圈系統將根據 MPRT 條件淬練出最佳化的 OD-LUT。

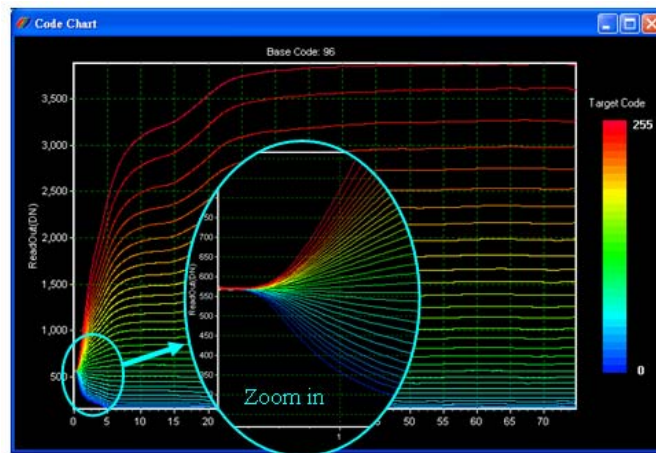


圖 2.2：某一灰階至多灰階的亮度轉換曲線範例

參、MPRT 模組

根據 VESA 標準文件 FPDM Update 2.0 [12]，假設人眼會平滑追蹤移動物體，則相對於它在螢幕上的座標，人眼實際觀察到的亮度公式為

$$K_{ij}(s) = \frac{1}{\delta t} \int_{c\delta t}^{(c+1)\delta t} L_{ij}([\text{int}(s+ut)+1], t) dt \quad (1)$$

其中 L_{ij} 是亮度的時域表現， $K_{ij}(s)$ 是人眼時間觀察到的所謂 MPRCs (Motion Picture Response

Curves)，這個參數可進而被分析來求得動態影像反應時間。這個公式是基於以下兩點假設前提[2, 7]：

(A) 平滑追蹤：觀察者藉由眼球的移動完美地追蹤移動物體。

(B) 時域積分：一個 frame 時間（1/60 秒）內的光刺激會完整地被積分至視覺系統。

如果所有的時域反應曲線 L_{ij} 能透過精準的觸發控制而被擷取，那我們就能夠重現 LCD 的隨著時間變化的所有灰階動態行為，如圖 3.1 所示。在這個範例中，我們假設有一個黑色的 4x8 方塊在白色背景上以 2 ppf (pixels per frame) 由左向右移動。為了簡化分析過程，我們只需要觀察最後一列像素，且每個 frame 時間只有 8 個取樣點（實作上我們建議至少要 20kHz 以上）。在方塊移動期間，所有的 LCD 亮度狀態都能夠清楚地記錄在像素-時間域矩陣。如果我們只觀察某一個在移動方塊上的像素，則所有沿著時間軸上的取樣資料，其實就等同於所謂的多階驅動 LC 灰階反應曲線。所以只要能在特殊時間點輸出驅動訊號，並傑取出該特殊時域反應曲線，就能夠將這些資料依照人眼視覺的積分軌跡完美的線性排列。之後就能夠依照上述的公式與假設前提，計算出沒有任何因追蹤模組而產生誤差的 MPRT。圖 3.2 是一些 MMS-1000 軟體的使用介面。

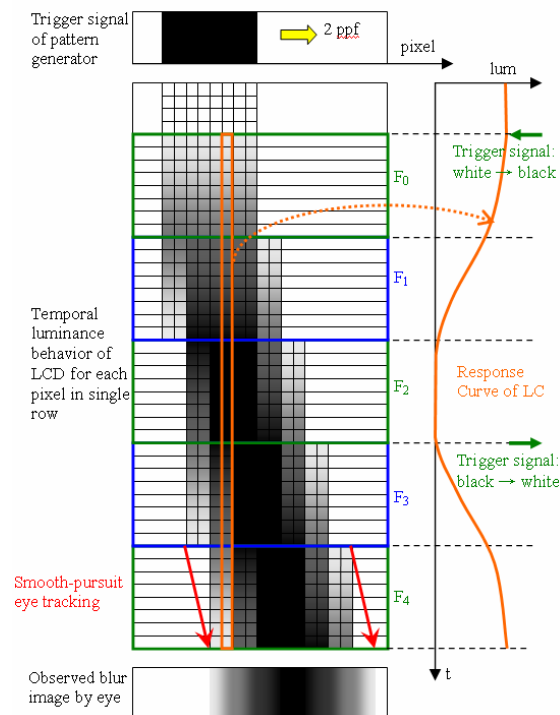


圖 3.1：圖解說明觸發訊號、LCD 動態灰階行為與觀察到模糊影像之間的關係

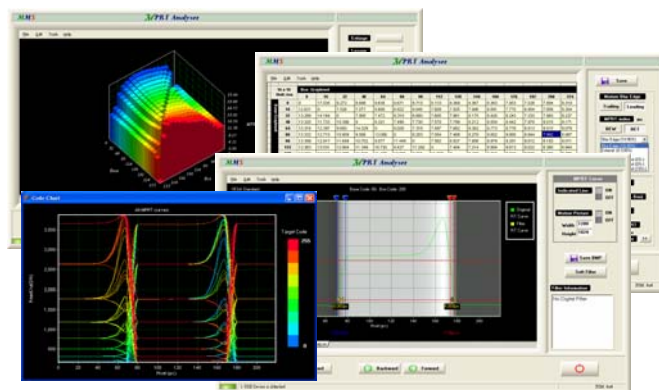


圖 3.2：MMS-1000 軟體的使用介面

肆、OD-LUT 最佳化

利用過驅電壓技術降低 LCD 灰階-灰階的反應時間已經被廣泛應用在 TV 等動態影像應用。雖然

過驅電壓技術能夠改善動態影像品質，但不當的過驅電壓所造成的過亮、過暗邊緣或者色彩偏移，卻反而降低其動態畫質。本篇論文提出一個最佳化 OD-LUT 系統，來修正這種 Side Effect 問題。透過 MPRT 評價指標，本自動化系統能夠找出滿足使用者設定條件的最佳 OD-LUT。

一、過驅電壓技術

這個章節我們將介紹傳統的過驅電壓技術如何透過設定目標反應時間來找出過驅電壓。第一步我們必須先定義目標反應時間。然後我們可以找出這個目標反應時間與目標灰階亮度的交叉點。最後，我們找出一條基於相同出發灰階的反應曲線，該反應曲線在目標反應時間點上，最接近上述交叉點。則該曲線的目標灰階即為所謂的過驅電壓灰階值。以圖 4.1(a)為例，設定目標反應時間為 16.6ms，如何找出灰階 16 到灰階 192 的過驅電壓？在訂出目標反應時間與目標灰階之間的交叉點後，我們找出同樣由灰階 16 出發的反應曲線且在目標反應時間時通過該交叉點，則該反應曲線的目標灰階 232 則為灰階 16 至灰階 192 的過驅電壓灰階。

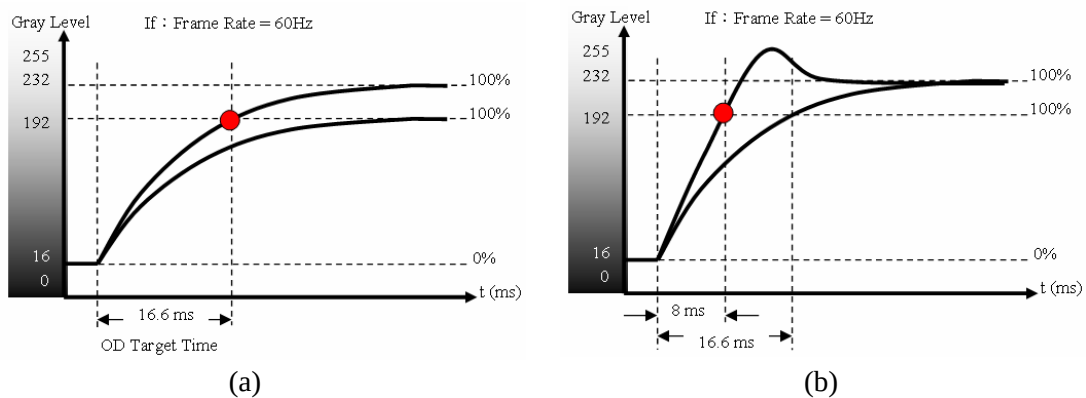


圖 4.1：(a)傳統定義過驅電壓值的方法；(b)因反應時間過小而造成反應曲線過衝之範例

透過過驅電壓技術，的確可以改善 LCD 的灰階反應時間與動態影像畫質。但如果我們更進一步地加強過驅電壓以更縮小灰階反應時間，則容易產生反應曲線過衝（Overshoot or Undershoot）的問題。如圖 4.1(b)所示，反應曲線過衝的部分會使得視覺系統在動態影像中觀察到 Side Effect 問題。消除這種現象最常用的作法，就是利用人眼來調整 OD-LUT 的數值。這種作法非常耗時，且會根據調校人員的不同而無法保持固定品質。為了克服以上的缺點，我們提出了一個可以利用 GVP 與 MPRT 量測系統的自動調校最佳化 OD-LUT 技術。

二、MPRT 指標

在這個系統中，我們共採用兩個 MPRT 指標來評估過驅電壓技術的實施效果。第一個指標是 NBEW（Normalized Blur Edge Width），這個是已經定義在 VESA 標準中的一個指標。如前所述，NBEW 越小，就是模糊程度越小，則動態影像品質也較佳。但是如果 NBEW 過小，則有可能造成 Side Effect 較明顯。為了量化這個問題，我們引進另一個 MPRT 指標 SEW（Side Effect Width）。如圖 4.3 所示，本系統藉由最小化這兩指標，達到自動搜尋最佳 OD-LUT 的目標。

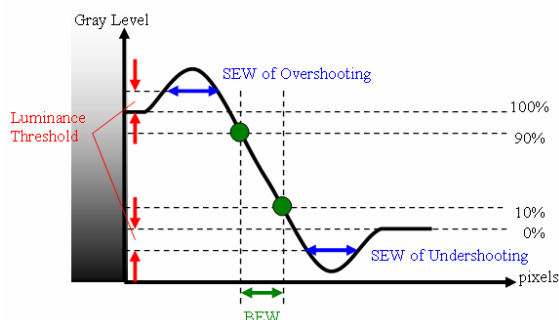


圖 4.3：用以最佳化 OD-LUT 的兩個 MPRT 指標

三、過驅電壓最佳化

先將初始 OD-LUT 上傳至 GVP 中，此時所有的動態影像品質都會根據這個 OD-LUT 即時處理。透過 MPRT 量測系統，我們能夠得到相關的 MPRT 指標來調校 OD-LUT。公式(2)說明 NBEW 必須小於使用者預先設定的某門檻值。如果這個條件無法被滿足，那程式將強化過驅電壓，以改善動態影像品質。公式(3)說明 SEW 必須小於使用者預先設定的另一個門檻值。如過這個條件無法被滿足，則程式將降低過驅電壓，以改善因反應曲線過衝而造成的 Side Effect 問題。因為這兩個方程式通常是互相衝突的，所以本系統預設公式(3)的優先權高於公式(2)，這是因為視覺系統比較容易感受到 Side Effect。

$$NBEW < NBEW_{threshold} \quad (2)$$

$$SEW < SEW_{threshold} \quad (3)$$

伍、實驗結果

本實驗透過兩個分別由人眼及本系統所測得的 OD-LUT，觀察其相似性與差異，來評估本系統是否能得到一符合人眼視覺系統的感知結果。量測螢幕為一 15 吋 LCD 螢幕，OD-LUT 的表格尺寸為 9x9，而人眼產生的 OD-LUT 是由使用者一個一個灰階去調整過驅電壓。調整的方式是讓使用者觀察特殊的動態圖樣，然後藉由調整過驅電壓，使得動態圖樣有最小的動態模糊，但以看不到 Side Effect 為準則。圖 5.1 中的 3D 分佈圖(a)與(b)，分別是由人眼感知系統與本系統所產生的 OD-LUT 圖表。由兩者差異分析圖 5.1(c)可明顯看出他們的之間的差異量非常小，其相關係數高達 99.68%。這證明本系統能夠有效模仿人眼感知系統，並得出最佳化 OD-LUT。在量測時間方面，9x9 的 OD-LUT 大約需要 10 分鐘，而 33x33 的 OD-LUT 大約需要 100 分鐘。相較於人工調整需耗時數天至數週，本系統確實有著高效率的性能。

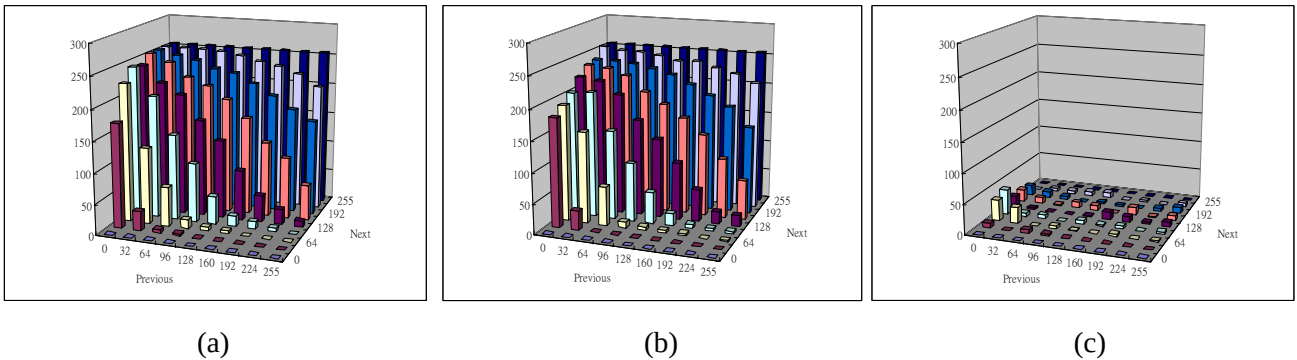


圖 5.1：(a)人眼感知系統測得的 OD-LUT；(b)R2D 過驅電壓最佳化系統測得的 OD-LUT；(c)前兩者的 OD-LUT 差異量

陸、結論

在過去幾年，由於缺乏量化動態模糊的指標，所以一直無法有系統地自動搜尋最佳化 OD-LUT。然而，目前市面上的 MPRT 量測儀器不是架構過於複雜、量測時間太久，就是功能太少（只能量測 MPRT，沒有其他擴充功能如 GLRT 等），以致於無法做到類似的高效率搜尋最佳 OD-LUT。本文提出一個自動搜尋最佳 OD-LUT 的迴授系統，透過精準地量測 LCD 時域亮度曲線，我們可以快速地量測出 MPRT 與 GLRT，而且過驅電壓的實施結果，也能夠即時地經由 GVP 處理實現，如此遞迴運算得出最佳 OD-LUT。實驗結果顯示由人眼視覺系統量測出的 OD-LUT 與本系統量測出的 OD-LUT 結果非常近似，這不僅證明本系統在最佳化 OD-LUT 上的能力，更說明本系統所採用的 MPRT 量測方法，能有效的模擬人眼視覺系統。

柒、参考文献

- [1] H. Pan, X. Feng, and S. Daly, "Quantitative Analysis of LCD Motion Blur and Performance of Existing Approaches," SID Digest, Vol. 36, Issue 1 (2005), pp. 1590-1593.
- [2] D. Sasaki, M. Imai and H. Hayama, "Motion Picture Simulation for Designing High-Picture-Quality Hold-Type Displays," SID Digest, 2002, pp. 926-929.
- [3] T.-W. Su, T.-J. Chang, P.-L. Chen and K.-Y. Lin, "LCD Visual Quality Analysis by Moving Picture Simulation," SID Digest, 2005, pp. 1010-1013.
- [4] X.-F. Feng, H. Pan and S. Daly, "Comparison of Motion Blur Measurement in LCD," SID Digest, 2007, pp. 1126-1129.
- [5] Y. Igarashi, T. Yamamoto, Y. Tanaka, J. Someya, Y. Nakakura, M. Yamakawa, Y. Nishida and T. Kurita, "Summary of Moving Picture Response Time (MPRT) and Futures," SID Digest, 2004, pp. 1262-1265.
- [6] K. Oka, and Y. Enami, "Development of accurate and reliable system for motion picture quality analysis," IDW Proc, 2003, pp. 1483-1486.
- [7] T. Kurita, "Moving picture quality improvement for hold-type AM-LCDs," SID Digest, 2001, pp. 986-989.
- [8] M. Oh-e and K.i Kondo, "Response mechanism of nematic liquid crystals using the in-plane switching mode," Applied Physics, Vol. 69 (1996), pp. 623-625.
- [9] S.-W. Lee, SH. Kwon, M. Kim, J. Souk and S. S. Kim, "Improved Technology for Motion Artifact Elimination in LCD Monitors: Advanced DCC," SID Digest, Vol. 46 (2005), pp. 1496-1499.
- [10] H. Nakamura, "A Model of Image Display in the Optimized Overdrive Method for Motion Picture Quality Improvements in Liquid Crystal Devices," Jpn J Appl Phys, Vol. 40 (2001), pp. 6435-6440.
- [11] H. Nakamura, J. Crain and K. Sekiya, "Optimized active-matrix drives for liquid crystal displays," Applied Physics, Vol. 90 (2001), pp. 2122-2127.
- [12] VESA FPDM Standard 2.0 Update File, Section 309, May 19, 2005.