

符合人眼視覺特性顯示面板量測技術

潘鼎翔、黃日鋒、洪奕璿

工研院影像顯示科技中心

dspan@itri.org.tw

摘要

隨著近幾年面板廠商相繼投入七、八代以上廠房的建設，平面顯示器面板尺寸逐年快速增加，相較於傳統光學檢測方式多使用單點式電光、光學特性檢測技術，此方法雖然準確，但要得到顯示面板二維平面電光特性資訊，則必須移動探頭或待測物，同時其檢測時間太久，無法做線上檢測。因此也迫切需要有新的量測方法加以改善。

本文提出一個新的檢測方法，可應用於現今平面顯示器及其他應用，採用這個方法進行電光特性檢測優點在於能提供一簡易安裝、快速、精確之檢測裝置，以完成平面顯示器電光、光學特性檢測要求。本方法符合 VESA2.0 [1]量測規範，可量測液晶顯示器多光學參數如輝度、視角、反應時間等，並更可藉由人眼軌跡追蹤模擬動態影像反應時間(moving picture response time)。此光學系統整合光纖(optical fiber)及準直透鏡(collimator)至光偵測器，其優點包括有著較小收光探頭體積、光學對位容易、即時多通道式、可調式收光視角及高空間解析度之優勢。透過系統光學校正方法，量測結果在輝度、反應時間上也呈現出高重複性及高準確度值。

關鍵字:輝度(luminance)、視角(view angle)、響應時間(response time)、動態影像反應時間(moving picture response time)、光纖(optical fiber)

1. 前言

在所有顯示器中光學特性如輝度、色度(chromaticity)及視角都是重要量測參數，由於傳統光學儀器不能同時兼顧達到高速光學特性及響應時間之量測，為達到量測這些光學參數大多需要複雜機械定位及花費許多時間在逐點量測上。響應時間量測為另一個評價影像品質的重要方式，尤其是應用在高階液晶電視上。響應時間量測參數其中之一為液晶反應時間，各灰階響應時間參數也是影響動畫品質的重要因素。本文提出一新穎光學量測系統設計，這個方法可以達到輝度、視角、各灰階響應時間之量測要求，液晶顯示器不同灰階之輝度量測結果將與一分光式色彩分析儀(spectral colorimeter)來做比對，以及分析量測儀器之重複性，更進一步藉由人眼追蹤方式模擬一動態影像反應時間。

2. 研究方法

2.1 傳統光學儀器

傳統光學儀器量測顯示器輝度及色度上其光學架構可分為濾鏡式(color filter set)及分光光譜式(spectrum)[2][3]，濾鏡式光學儀器如 Minolta CA210、Topcon BM7 等為利用多組彩色濾光片使其整體光譜響應符合人眼視覺特性的 CIE 1931 刺激值，其擁有量測速度快、價格便宜的優點。分光光譜式光學儀器如 Photo Research PR650、Minolta CS1000A 等為利用光譜儀分光，其光譜解析度高，因此擁有色度高準確性的優點，但相較於量測速度慢，且價格較濾鏡式光學儀器昂貴。利用這些光學儀器在量測顯示器視角上通常需要複雜機械、光學定位，因此在逐點逐角度下勢必花費大量量測時間。

2.2 傳統響應時間儀器

傳統量測時最簡單的方法即使用一光偵測器及示波器來觀察液晶螢幕的亮度變化，量測其所表現出來的特性以得到最佳的反應時間。此方法須耗費時間甚長，且不易處理複雜訊號及自訂演算法。目前廠商儀器如 Eldim Optiscope SA、WeStar GLRT、宏惠光電灰階響應量測系統大多使用一符合人眼視效函數(photopic filter)光偵測器搭配數位擷取卡及圖形產生器(pattern generator)可自動化量測產生各灰階反應時間表[4]，然而這些儀器並不能得到顯示器真正量測的輝度值，也因此較不符合人眼實際視覺的感受。

2.3 傳統動態影像反應時間儀器

依照 VESA Flat Panel Display Measurement Standard Ver 2.0 Update[5] 版本所示，其量測方式可參考圖三所示，以下將逐一舉例說明

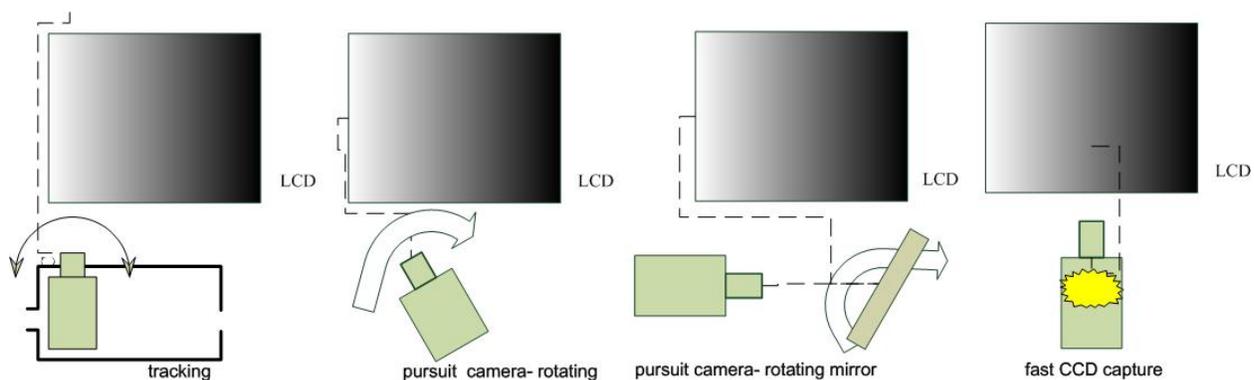
2.3.1 如圖一(a)所示，利用一機械位移移動平台移動 CCD，透過自動控制程式設定平台移動速度、CCD 曝光時間等…待測圖樣可由控制程式例如 Direct X 或圖形產生器產生，可調整待測圖樣(test pattern)移動速度(pixel per frame)、灰階強度(gray level)或輝度等…參數做為量測依據。

2.3.2 如圖一(b)，可由一機械旋轉平台轉動 CCD，追蹤顯示器之待測圖樣，其自動程式可設定平台旋轉速度、CCD 曝光時間等…其餘與 2.3.1 類似。

2.3.3 如圖一(c)，可由一機械旋轉平台轉動反射鏡，目前廠商儀器如 Otsuka MPRT2000 為利用 CCD 透過反射鏡追蹤顯示器之待測圖樣，其自動程式可設定平台旋轉速度、CCD 曝光時間等…其餘與 2.3.1 類似。

2.3.4 如圖一(d)，一高速擷取速度 CCD 擷取顯示器待測圖樣，目前廠商儀器如 Delta ICAM 由於採用高速擷取速度，所以 CCD 曝光時間較一般量測方式時間短，因此光強度較弱、CCD 暗態雜訊較大，且目前高速擷取速度 CCD 都較一般規格 CCD 成本昂貴許多，因此需要蠻多克服的技術。

2.3.5 在一些文獻說明利用一光偵測器量測其顯示器灰階反應時間曲線，可利用人眼平滑追蹤方式，模擬出動態影像反應時間，其模擬結果與量測結果非常接近。雖然許多文獻提出藉由量測液晶顯示器反應時間來模擬動態影像[6][7]。這些模擬皆需藉由人眼追蹤及積分方式代入一輝度轉態曲線。為了得到液晶顯示器各灰階的輝度值，傳統響應時間量測儀器需要在量測過程中透過一輝度計作輝度校正，然而此方法並不能達到輝度高準確度及沒有考慮到兩不同儀器之間收光視角及偵測器大小的差異。



圖一(a)平行追蹤 (b)旋轉機械平台追蹤 (c)旋轉反射鏡追蹤 (d)高速 CCD 攝影機

2.4 動態影像模擬

我們假設系統在下述情況下進行模擬，人眼平滑追蹤(eye smooth pursuit)，及在一個影片週期下對視覺的亮度積分。藉由這二個假設，我們可以模擬出人眼所接收固定移動速度的動態影像。

首先我們設置一參數為人眼響應對連續畫面(frame-series tone data)如圖二所示： $D(x',n)$ ，其中 n 為畫面數(frame number)= $\dots, -1, 0, 1, 2, \dots$ ， x' 為螢幕上的水平位置，藉由水平空間、時間軸的二維圖形示意的產生。其中影像(Bitmap image)資料其長度分別表示為 $B(X)$ 和 X_{\max} ，而 X 為影像水平位置上的座標。在此我們假設初值的設定為 $x'=-1$ ， $n=0$ 。 $D(x',n)$ 、 $B(X)$ 的關係式為：

$$D(x',n) = \begin{cases} B(x'+X_{\max} - nv) & , x' < nv \leq x'+X_{\max} \\ 0 & , x'+X_{\max} < nv \end{cases} \quad (1)$$

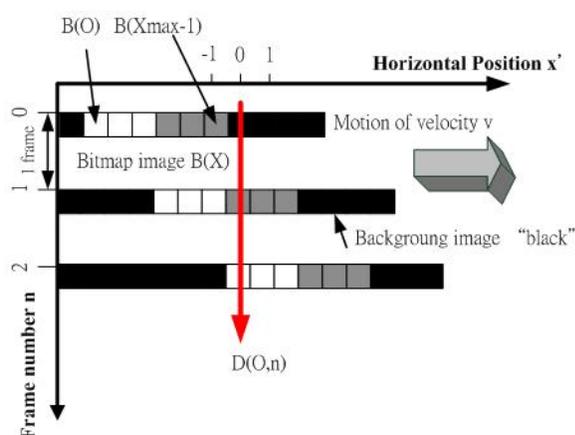
當中的背景部分(background tone)的灰階值為 0，也就是設為黑色。接下來我們就可以利用 $D(x',n)$ 和液晶反應時間波形，來得到在螢幕位置 x' 上所顯示的強度 $Y(x',t)$ ：

$$Y(x',t) = \text{Res}(LC\text{status}(nT), D(x',n), t) \quad (2)$$

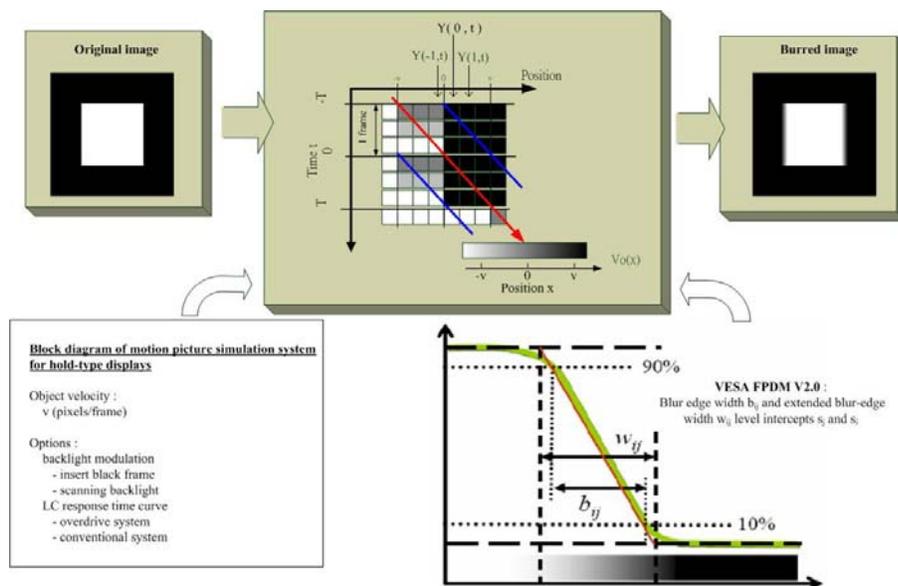
最後，當影像 $B(X)$ 在液晶顯示器以速度 v (ppf)，其中 ppf 代表 (pixels per frame) 移動時，我們可以得到一個人眼接收的影像強度 $Vo(x)$ [8][9]：

$$Vo(x) = \frac{1}{T} \sum_{x'=0}^{v=1} \int_{(x'-x)T/v}^{(x'+x+1)T/v} Y(x',t) dt \quad (3)$$

接著套用(3)式，我們利用量測得到的液晶反應時間曲線，則可用來模擬出動態模糊的影像。圖三表示利用所發展之動態影像模擬，可輸入移動速度、液晶響應時間曲線及背光調製等參數。再仔細確認模擬理論後，更進一步藉由理論模擬各顯示器在各不同驅動方式產生之動態影像，如液晶顯示器之驅動方式(插入黑畫面(insert black frame)、增加頻率 (increase frequency)、動態背光 (scanning backlight)、過壓驅動(overdrive)、色序驅動(color sequential)等…)如此實驗平台與理論架構可相互印證。



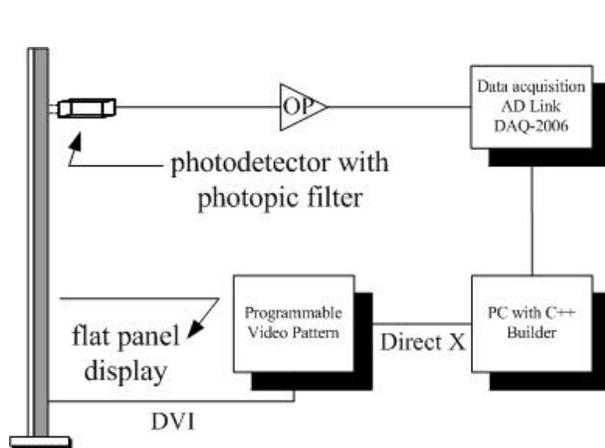
圖二 人眼響應對連續畫面的關係



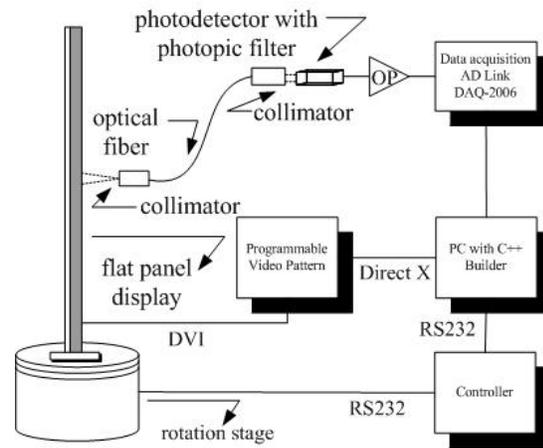
圖三 針對人眼響應對連續畫面做一亮度積分

2.5 傳統自行研發響應時間量測儀器系統設計

圖四表示為我們較早發展響應時間儀器的示意圖，利用視窗程式語言建立及控制此系統。圖五表示為每一灰階轉態曲線都可經由自動化量測得到，例如一 8x8 灰階反應時間或更多灰階都是可以經由量測系統得到。利用一程式語言所建立的 Direct X 功能應用來產生一影像待測圖樣。有別於傳統圖樣產生器產生影像待測圖樣，Direct X 功能更能大幅降低儀器成本。一光偵測器可用來量測在液晶顯示器上的待測圖樣輝度值。根據 VESA 2.0 規範此含有一視效函數濾光片的光偵測器需小心的慎選。光偵測器的電流訊號經由增益放大器轉成電壓訊號，此增益放大器需謹慎的考量低雜訊及高增益比。最後送出之電壓訊號則會被資料擷取卡接收。量測原始資料會經由使用者自行定義的演算法處理，例如低通濾波器及定義 0/100 和 10/90 百分比。最後則可以藉由我們系統得到各灰階反應時間值。



圖四 傳統響應時間量測儀器



圖五 新式響應時間量測儀器

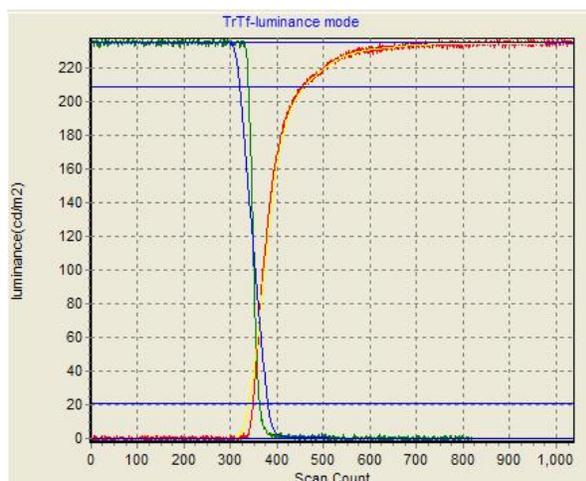
2.6 新式自行研發響應時間量測儀器系統設計

圖五為利用新式響應時間儀器即時量測液晶反應時間及輝度的示意圖，此光學量測儀器除了符合 VESA 規範且具有容易光機對位的優點。設計一準直透鏡和光纖來符合特定收光視角及大於 500 像素的量測光點。藉由我們發展的新式響應時間儀器的量測結果將與 PR650 測光儀器做一比較分析，藉由電腦送出指令碼經由 RS232 序列線來控制旋轉平台，經由一些校正方式則可以經由我們新式響應時間儀器得到輝度值。

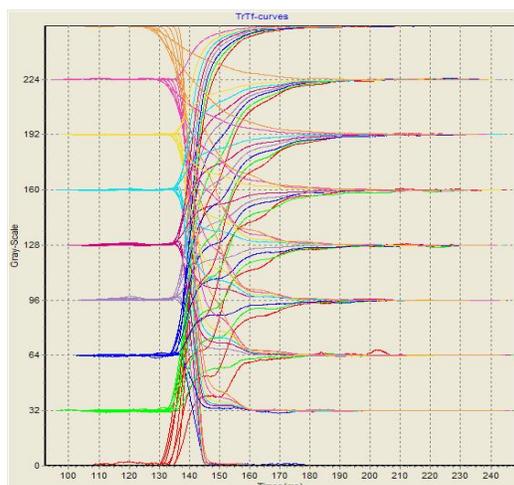
3. 研究成果

圖六表示在垂直角度條件下灰階轉態的量測結果，在經由系統校正後紅色及綠色線代表量測原始資料。有許多低通濾波演算法來處理量測原始資料，例如移動平均濾波方法(moving average filter)、截止帶通濾波方法(stop band filter)等。經由低通濾波演算法可以得到黃色及藍色線。每一黃色/藍色線可表示液晶顯示器的上升/下降時間。原始資料經由使用者自行定義演算法則可以得到 0/100 和 10/90 百分比的輝度位置，0/100 百分比的輝度位置表示灰階轉態曲線的初始和結束位置。圖七展示每一灰階轉態曲線可經由我們新式系統做自動化量測。表一列出藉由我們新式響應

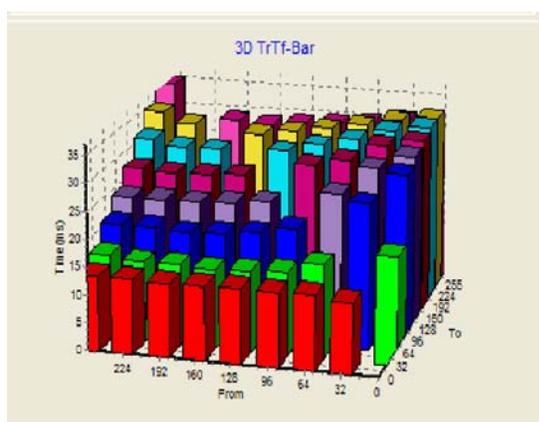
時間儀器得到的輝度及響應時間重複性，在輝度的重複性是落在 0.02 百分比，上升響應時間的最大誤差為 0.8 百分比以及下降響應時間為 1.7 百分比。上升/下降響應時間的誤差是大於輝度，取決於它必須同時考慮輝度及時間的差異。液晶顯示器的驅動例如插入黑畫面、液晶過壓驅動、動態背光和頻率倍增等都是主要影響上升/下降響應時間的量測結果。甚至於液晶的擾動及不穩定都會影響到響應時間的量測結果。表二列出經由我們系統及 PR650 量測液晶顯示器不同灰階的輝度值。在量測輝度大於 10 cd/m^2 的最大差異為 1 百分比，輝度小於 10 cd/m^2 落在 4 百分比左右。由於精確的輝度量測結果，因此可以經由我們儀器更準確的模擬動態影像反應時間。因此可利用圖八由量測結果得到顯示器各灰階反應時間曲線，再利用 2.4 節則可藉由模擬得到各影像模糊帶寬值，如圖九所表示。



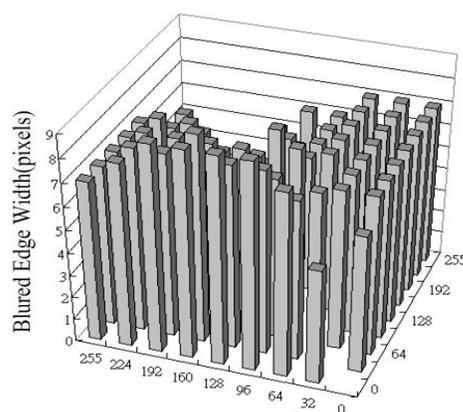
圖六 垂直角度條件下灰階轉態的量測結果



圖七 每一灰階轉態曲線可經由我們新式系統做自動化量測



圖八 量測顯示器各灰階反應時間表



圖九 代入各灰階反應時間表、 $v=10\text{ppf}$ 由模擬結果得到各影像模糊帶寬

4. 結論與建議

由實驗結果可知輝度重複性的最大差異為 0.02 百分比左右，上升/下降反應時間落在 0.8/1.7 百分比。在不同灰階顯示器其高輝度的差異是小於 1 百分比。由於考慮到收光視角對模擬結果的影響，因此藉由我們發展的量測系統可以容易、正確的得到其動態影像反應時間值。因此我們開發一新式響應時間系統在符合 VESA 2.0 量測規範下可量測輝度、視角、反應時間，藉由精確輝度量測結果，更可模擬動態影像反應時間。且具有較小收光探頭體積、光學對位容易、可調式收光視角及高空間解析度之優勢。

表一 新式響應時間儀器得到的輝度及響應
時間重複性

	輝度 (cd/m ²)	上升反 應時間	下降反 應時間
1	235.2	11.9	6.0
2	235.3	12.0	6.0
3	235.2	11.9	6.0
4	235.3	11.9	6.0
5	235.3	11.9	6.0
6	235.3	11.9	5.9
7	235.3	12.0	5.9
8	235.3	12.0	5.9
9	235.3	12.0	6.0
10	235.3	12.0	5.9
差異值 (%)	0.02	0.8	1.7

表二 經由我們系統及 PR650 量測液晶顯示器

不同灰階的輝度值

灰階強度	本量測系統 (cd/m ²)	PR650 (cd/m ²)	差異值 (%)
32	1.3	1.4	5.7
64	9.2	8.8	4.5
96	26.5	26.1	1.4
128	54.7	54.6	0.1
160	91.7	91.8	0.2
192	144.6	144.2	0.2
224	208.3	207.4	0.4
255	235.3	236.0	0.3

5. 參考文獻

- [1] VESA FPDM2 (2001): Video Electronics Standards Association, Flat Panel Display Measurements Standard, Version 2.0
- [2] “液晶面板多角度光學量測(2006),” B-08 A0I 論壇
- [3] Hongye Liang, Anindita Saha, Aldo Badano (2006), “Temporal and Color Measurements in Medical Displays,” SID 06 DIGEST , pp.97~100
- [4] Bongim Park, Taesung Kim, Jaeho Oh, Seung Woo Lee, Jinhyeok Park, Brian H. Berkeley, Sang Soo Kim (2006). “Automated System for Response Time Optimization and Flicker Reduction In LCD Manufacturing,” SID 05 DIGEST,pp. 1797~1799
- [5] VESA FPDM2 Update(2005): Video Electronics Standards Association, Flat Panel Display Measurements Standard, Version 2.0
- [6] Xiaohua Li, Xiaowei Yang, Kees Teunissen (2006), “LCD Motion Artifact Determination Using Simulation Methods,” SID 06 DIGEST,pp.6~9
- [7] Joe Miseli (2006),” Motion Artifacts,” SID 04 DIGEST, pp.86~89.
- [8] T.Kurita, A. Saito and I. Yuyama(1998), IDW’ 98 Proceedings,823
- [9] H.Nakamura(2001), Jpn. J. Appl. Phys. 40, 6435