

液晶顯示器呈現動態影像品質之視覺評量法研究

洪伯松 管倖生

國立雲林科技大學設計學研究所

摘要

液晶顯示器 (LCD) 產業近年來發展相當迅速, 相關製程技術也逐漸成熟, 雖然許多研究已針對液晶顯示器所呈現的影像品質進行討論, 但目前對於品質檢測仍未有一套標準的評估方式。有鑑於此, 本研究針對液晶顯示器呈現動態影像品質之「視覺評量方式」進行探討, 研究共分兩階段: 第一階段主要評估目前相關研究中, 不同的視覺評量方式之適用程度, 其中包括比對法、閾限追蹤法、以及視覺等階評量法等, 並利用重測信度為評斷標準, 檢視不同評量方式之視覺評量結果的穩定性。研究結果發現: 各視覺評量方式中, 以視覺等階法所進行的視覺評量結果, 具有較高的穩定性。第二階段研究內容, 則討論不同的等階呈現方式, 對於視覺評量結果的影響, 並提出較佳的液晶顯示器呈現動態影像品質之視覺評量方式, 提供未來相關研究參考。

關鍵詞: 動態影像、液晶顯示器、閾限追蹤法、視覺等階評量法、比對法

I. 前言

顯示器播放影像的檢視工作, 最主要訴求在於影像呈現的品質, 其中的議題可能包含影像的清晰度、跨媒體色彩再現正確性、色域空間轉換、靜態影像品質、動態影像品質等, 而相關研究所注重的部分, 也會因不同影像再現媒材有所差異。在陰極射線管螢幕 (Cathode Ray Tube, CRT) 盛行的時代, 影像品質的評量著重於跨媒體色彩再現、影像解析、影像對比、亮度等課題, 且多是針對靜態影像評估為主, 例如國際照明委員會 (Commission International de l'Éclairage) 曾於1994年時提出影像評估標準, 以及評估影像品質之CIE範本 (CIE profile)。另外如Kodak、JIS、SHIPP等單位, 都有針對靜態影像品質評估的標準範例。然而若是針對液晶顯示器 (Liquid Crystal Display, LCD) 的影像測試, 所需著重的部分就不僅是靜態的影像色彩再現, 其他如可見視角、環境因素、反應時間與動態影像品質等問題, 都有需要一併考量。因此, 若期望準確的評量液晶顯示器呈現影像的品質, 其呈現「動態影像品質」的能力則需要特別重視。也由於LCD與CRT影像的呈現原理截然不同, 對於液晶顯示器影像品質評估的工作, 便無法沿用CRT的測試方式。目前液晶顯示器動態影像品質之視覺評估方式以及測試標準範本, 仍在發展、嘗試的階段, 亦可由不同研究中發現到不同的視覺評量方式, 但其中以何種操作條件下之視覺評量方式, 較適用於液晶顯示器之動態影像品質評估工作? 是值得進一步探討之議題。

有鑑於此, 本研究乃針對相關研究中常見之視覺評量方式進行比較與檢視, 提出較佳的LCD播放動態影像時, 影像品質的視覺評量方式與條件, 研究結果除可瞭解人眼觀察動態影像的評量模式外, 亦可提供以視覺評量方式, 檢視液晶顯示器動態影像品質時之參考。

II. 文獻探討

目前液晶顯示器製造廠商或相關研究單位, 對於液晶顯示器播放動態影像品質之評量工作方式, 大致可分為儀器測量以及視覺評量兩類。儀器測量部分主要可利用高速攝影機、模擬眼動追蹤系統、或是以高解析CCD拍攝畫面, 並於顯示器中播放移動的幾何造型以及原色, 量測物件邊緣出現的模糊寬度 (Blurred-Edge-Width, BEW值), 以評量螢幕播放動態影像時的模糊程度。另一方面, 視覺評量亦為目前研究中相當受重視的部分, 主要原因在於: 顯示器最終使用者仍是消費大眾, 因此人眼所能接受的品質範圍, 便成為該類研究的重要基礎, 而人眼的視覺評量結果之重要性, 甚至高過於儀器測量的數據。

本研究之文獻討論將分別針對「液晶顯示器原理」、「動態影像品質評估」、以及「視覺評量法」等三部份討論:

2.1 液晶顯示器呈像原理

液晶的影像呈現原理, 最主要是利用外部電壓的控制, 當「白色背光源」的入射光照在偏光板上時, 先經過偏光版



的光線扁極化，再穿透液晶。不同外部電壓可控制液晶旋轉的角度，可造成不同透光量，再經過彩色濾光膜，便能於螢幕上呈現出不同的色彩以及亮度 (周秀光, 1999; 陳丁振, 2001)。由此可知，液晶材料特性則對於顯示結果有決定性的影響，例如顯示的液晶的配向、反應時間、操作溫度範圍、操作電壓、可見視角、明暗對比、使用壽命等，皆取決於液晶材料品質。

「反應時間」是指一個液晶晶元 (liquid crystal cell) 從發光到不發光，再回到發光的狀態所需要的時間。簡單的說就是一個像素由黑到白，再轉黑所需的時間 (T_r+T_f)。造成反應時間差異的因素主要有二，一為液晶的黏度；另一則為驅動液晶旋轉的電壓。液晶的黏度是液晶材料的基本要求，黏度愈低表示液晶旋轉角度愈快，即反應時間可較縮短。電壓量的部分則是指驅動液晶旋轉時所需要的電壓量，一般而言，廠商所提供的螢幕反應時間，是指顯示器的一個液晶元件從黑色變成白色，再加上由白轉成黑時間的加總，亦即螢幕反應的最佳狀況。事實上，液晶顯示器由黑色轉成白色的電壓量是最高的，此時液晶的旋轉速度也最快。當螢幕呈現不同色彩，則所需的電壓也就不相同，其反應時間也會隨之不同。一些黑白反應時間為17ms的顯示器，灰白的反應速度則可能只有54ms。大塚電子 (大塚電子株式會社網站) 便曾針對液晶顯示器呈現色彩之明度值 (luminance) 與反應時間提出相互關係。

由於製程的差異，反應時間的問題並不會於CRT中出現 (CRT反應時間約為1ms)，且由於CRT技術以及畫面品質的成熟，許多發展中的顯示器設備，都將CRT畫面品質視為參考標準或品質目標 (Nishizawa, 2000)。同樣的，在評估液晶顯示器顯示動態影像品質時，一般廠商多會採用市面上的遊戲或電影片段，採CRT螢幕的呈現品質作為評斷基準，進行品質的比較。以CRT與LCD進行品質「比對法」的適用性，將於本研究中被討論。在本研究中，為評估不同視覺評量方式，評量結果穩定程度，選用了三台不同反應時間之液晶顯示器，另外採用一台CRT顯示器進行比較。實驗操作與程序將於本文「三、研究方法」中詳述。

2.2 動態影像品質評估

液晶顯示器呈現動態影像時，通常會出現「灰影」(dull shape) 現象，造成影像的品質惡化，灰影現象一般被稱為「尾巴」(tail) 或「多重影像」(multiple image)。出現該現象的原因有二，其一是LCD的液晶材料低反應時間 (low response speed) 所導致。另一則為AMLCD (Active-Matrix LCD) hold-type operation造成「高頻構成」(high frequency component)，致使影像品質的惡化 (Nishizawa, 2000)。

動態影像評估的相關研究中，Yamamoto, Aono及Tsumura三人 (2000) 於評估AMLCD呈現動態影像品質時，曾以TIM (Time-based-image integration measurement system)，模擬視覺感知的動態影像，以及移動中的影像輪廓。Yamamoto等人研究認為：人們觀看連續動態的影像時，影像認知是經由人眼的生理機制產生融合效果，因此當評估LCD呈現動態影像品質時，應將動態影像以時間軸作區分，重新擷取「靜態的單一圖形」，以模擬人眼觀測動態影像時，影像於視網膜呈像的狀態。TIM有助於重新呈現動態影像以及影像輪廓，因此，Yamamoto等人的研究便藉由TIM，將動態影像「復原」為靜態影像，並進行影像品質的評估。該研究以影像邊緣的模糊寬度 (blurred-edge-width, BEW) 以及動態對比比率 (dynamic contrast ratio, DCR) 為基礎，來評估影像品質。圖1表示影像移動前、後的情況，經由擷取動態畫面的單一時間點影像，可方便評估其影像的模糊情況。圖2的曲線分析方式，則是以模糊邊緣的寬度為基礎，定義模糊變化比例，分析影像模糊的情況。

類似於Yamamoto等人研究的概念者，另有Oda, Yuuki及Teragaki三人 (2002) 的研究。該研究主要在討論兩種LCD製造技術對於影像品質的影響，其一為Feed Forward Driving (FFD) 技術；其二則為Sequentially Intermittent Switched Backlighting (SISB)。Oda等人認為：人眼觀看動態影像時，視覺 (眼球) 會追蹤移動中的影像，所以影像在

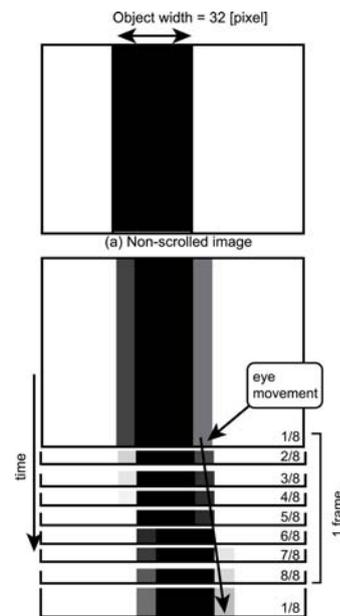


圖1 以時間為基礎的影像與動態視覺上圖為靜止影像、下圖為移動中影像



視網膜上得到的刺激應該是「靜態影像」。因此該研究採用感光耦合元件攝影機 (Charge-Coupled Device Camera, CCD Camera) 作為擷取動態影像的工具,並使CCD Camera擷取影像,模擬人眼觀看動態物件時,物件於視網膜呈像狀態。Oda等人的研究中研發了轉動攝影機裝置 (camera-rotating device),以轉動角度配合物件的移動,獲取近似視網膜呈像的靜態畫面,該研究稱之為 Pursuit Camera System。

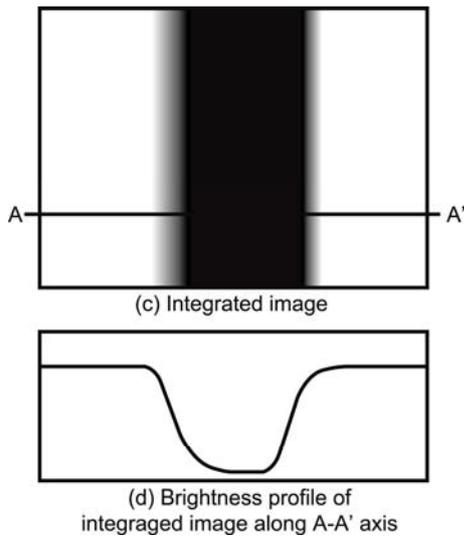


圖2 影像模糊分佈狀況

另外如 Nakamura, Okuda, Someya 及 Yamakawa 等四人 (2002) 以無彩色 CCD Camera 擷取影像,並以 PSNR (Peak-Signal to Noise Ratio) 分析方式,評估LCD顯示動態影像的品質。Nakamura等人的研究中,採用兩台不同反應時間的LCD為樣本 (分別為40ms以及25ms)。圖像樣本則是黑白相間的棋盤式方格,針對位移圖形拖曳的尾巴 (tail) 寬度,進行影像呈現動態影像品質評估。該研究中發現反應時間較快的LCD,其PSNR值會較高,亦即動態影像呈現的品質較佳。Nakamura等人 (2002) 並認為:此種影像品質評估方式,可以延伸運用於自然型態的影像品質評估。

Ida, Furuta, Miyama及Himuro 等四人 (2002) 的研究與前述研究較為不同的是,此研究中則採用調節轉換函數 (modulation transfer function, MTF) 的技術,來評估LCD顯示動態影像的品質 (Quality)。所謂「MTF」技術是描述顯示器空間頻率的一種方法。MTF定義為「輸出影像」與「輸入影像」比值,當MTF數值越接近1時,則表示顯示器呈現影像的品質較接近原始輸入的影像,該研究並以此方式評估不同形式的LCD以及CRT顯示動態影像的解析度。

Kurita及Saito (2002) 探討眼球追蹤整合模式 (eye-tracing integration model) 之時間頻率,對於觀看動態影像的影響研究,採受測者主觀評量,針對AMLCD呈現影像頻率作評估。Kurita等人 (2002) 認為人眼感知的動態模糊現象,與視網膜階段的視覺訊息處理模式有關,且可以將該視覺模式假想為AMLCD,因Hold-Type而產生的動態模糊現象。Kurita及Saito的研究,利用視覺比對的方式,請受測者於AMLCD 螢幕上調整影像的振幅 (wave),用以了解動態振幅圖形移動後,視覺感知的振幅變化現象。圖3為該研究之實驗操作視窗,視窗上方為靜止的振幅影像,下方則為動態振幅影像。受測者經由視覺比對的方式,針對動態影像的振幅頻率作調整,以符合上方影像之振幅頻率,並於不同的環境光源條件下進行實驗。研究發現視覺處理模式的動態影像整合準確度,會因外在的「環境光源」增加而有降低的趨勢。

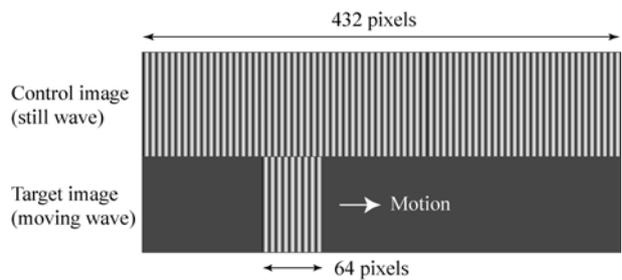


圖3 動態振幅比對實驗視窗

而田村 徹、牛田 典彥、竹中 俊江等三人 (2001) 的研究中,則是針對三種不同類型之影片進行視覺評估。研究中是以「運動中人物」影片於畫面播放時的模糊情況進行評價。此三種不同類型之影片分別為「鏡頭固定、被攝物 (人物) 移動條件,分別為鐵球、體操、平行槓桿等」、「相機移動拍攝,被攝物 (人物) 大致上作重複動作,分別為賽跑、跳遠、長跑、跳馬等」、「相機移動拍攝,被攝物 (人物) 則是於畫面中隨機運動,分別為柔道、足球、排球等」三類型之奧林匹克運動影片,影片尺寸則為640*480 pixels大小。田村 徹等人研究認為:由於CRT與液晶顯示器之呈像原理不同,CRT並沒有所謂「反應時間」的影響畫面品質,因此在實驗操作過程以CRT作為畫面品質評斷之標準。該研究針對三類型之LCD進行評價,分別為15吋的TN LCD、14吋的IPS LCD、以及15吋的STN LCD。由研究結果可知,TN LCD在播放影片時視覺評價結果與CRT最為接近,亦即評價結果最佳;而IPS LCD在播放快速移動中影片時,則會較CRT差;至於STN LCD則無論播放何種影片時,皆是三台液晶顯示器之中最差者。

由LCD播放動態影像之品質評估相關研究中，可以發現：無論該研究是否採用攝影設備進行影像紀錄工作，其最終的目的，皆會以符合或接近人眼的視覺效果為主，或是以視覺評量結果為標準，進一步修正該量測設備。換句話說，視覺評量結果在該類型的研究中扮演相當重要的角色，而在眾多的視覺評量方式中，又是以何者較具可信度以及效度，則是本研究想釐清的議題。

2.3 視覺評量法

上述相關研究中可知：在考量LCD影像品質的問題時，常將人眼評斷列入評估的標準。本研究將採用經常使用於色彩量測、心理物理量測、或是靜態畫面品質評量的方式，延伸應用於動態影像的品質評價工作。管倅生及童鼎鈞(2002)曾將色彩學領域中較常被採用的視覺評量方式歸納，大致有六種方式：

1. 灰階法 (Grey Scale Method)：灰階法操作時，受測者被要求由實驗給予之無彩色灰階標準色樣中尋找相類似的色差對。灰階中包含幾個色樣對，全是無彩色且所有樣本的材質皆為相同，此方法優點在於允許不同時間、環境條件下，以相同的灰階下判斷的視覺結果可以相互作比較。
2. 成對比較法 (Pair Comparison Method)：成對比較實驗的判斷通常用下列方法來陳述：「實驗影像樣本是否比標準影像樣本佳？」或「兩個影像樣本是否能區別？」或者「差異是否可以察覺？」，除此該研究中所有的樣本必須呈現出所有可能配對的可能性，並於比較過程中請受測者給予兩樣本刺激差異的量感知評比 (Fairchild, 1998)。因此在實驗刺激呈現的部份整個實驗過程受測者必須判別 $n(n-1)/2$ 次，因此並不適用於樣本數較多的情況 (劉英茂, 1994)。
3. 排序法 (Ranking Method)：受測者被要求根據個人之認知性針對實驗影像樣本差異大小，對一些樣影像本進行排序。
4. 比率法 (Ratio Method)：於影像評估中常被採用，主要是以標準影像樣本之某一特質當作一個單位，然後讓受測者去判斷實驗影像樣本之某一特質相對於這個單位的比率大小，可以是倍數或是分數的關係。
5. 歸類法 (Category Method)：此方法是標準影像樣本與一群測試影像樣本呈現給受測者，受測者評估各影像樣本間之差異，並且根據差異距離之範疇內將之分級。分成六級：(1) 沒有差異、(2) 恰好達顯著差異、(3) 顯著差異、(4) 相當大地大差異、(5) 大差異、(6) 非常大差異，

再依序統計。

6. 絕對閾法 (Absolute Threshold Method)：開始評估時呈現沒有差異的影像樣本對給受測者，然後再把不同測試影像樣本予以配對拿給受測者看，直到受測者可以發覺此影像樣本對已達到可以區辨差異的狀況。

2.4 研究議題

由相關文獻中瞭解目前關於LCD播放動態影像品質的評量方式相當多樣，研究中為討論不同的視覺評量方式，是否對於液晶顯示器呈現動態影像品質評斷結果造成影響？擬採用三種不同的視覺評量方式進行，分別為：比對法 (Comparison Method)、閾限追蹤法 (Threshold Tracking Method)、以及視覺等階評量法 (Visually Scaling Method) 等，並以受測者重測信度 (rest-retest reliability) 做為視覺評量結果之穩定性評量依據。為此，研究提出下列幾項研究議題，並分別針對各階段驗證進行討論：

第一階段實驗：不同視覺評量方式，是否影響液晶顯示器呈現動態影像品質的評量結果？

第二階段實驗：前述議題討論提出較佳的視覺評量方式，是否會受不同的評量條件所影響？

第三階段實驗：不同反應時間的液晶顯示器播放動態影像時，其影像品質評量結果是否有明顯差異？

III. 研究方法

研究分為三個階段的實驗驗證，以下則是針對本研究實驗操作方式、環境設備等加以說明：

3.1 實驗操作方式

研究分別針對「比對法」、「閾限追蹤法」、以及「視覺等階評量法」討論其適用性，另一併討論液晶反應時間與動態影像品質的關係，實驗操作方式如下：

1. 比對法：由於CRT呈現影像時並不會受反應時間的影響，因此本研究採用一台CRT及三台反應時間不同的液晶顯示器進行評量。評斷方式採七階尺度評量進行，受測者以主觀視覺評量CRT與LCD同時播放動態影像時的品質差異，其中尺度0表示「沒有差異」、而尺度6表示兩者之間具有「極大差異」，評判分數越高則表示LCD與CRT播放品質差異越大。
2. 閾限追蹤法：實驗操作採用閾限追蹤法中「上升嘗試」(Ascending Trial) 與「下降嘗試」(Descending Trial) 的技術進行 (鍾聖校, 1990)，請受測者調整物件移動的速度，並同時觀察物件邊緣出現模糊的情況。當受測者將



物件位移速度調整到「物件邊緣恰好出現模糊」時，便停止調整，研究則將當下的物件位移速度視為「模糊閾限值」。實驗過程，受測者僅需於鍵盤上按「+」「-」符號，便可控制物件位移的速度，亦即所謂的上升嘗試以及下降嘗試。速度設定部分，研究初步假設人眼可辨識的物件模糊情況應相當細微，因此每按一下「+」符號，物件速度增加3 pixels/second，按一下「-」符號則減慢3 pixels/second，依此類推。

3. 等階評量法：研究認為相關研究中採用CRT為比較基礎的方式，可能會遭遇兩個問題，其一：不同CRT所呈現出來的動態畫面品質，雖不會受到反應時間的影響，但不同的映像管、解析度、對比度、色彩呈現、色域等規格，都會造成影像品質的差異，因此若以CRT作為比較基礎，CRT樣本之代表性須進一步討論。其二：由於LCD具有可視角度的限制，受測者於比較CRT與LCD影像品質時，必須藉由不斷的移動視覺或是身體位置進行比較工作，其過程較為繁複。且這樣的研究方式在某程度上，將牽涉到個人短期記憶力 (short-term memory) 或是視覺注意力 (visual attention) 議題，可能引起實驗誤差。

因此本研究引用視覺評價方式中「灰階法」(Grey scale method) 的概念，運用Photoshop的motion blur功能等級製作一個七階「標準模糊等階」的模糊比對視窗，其中第一階為完全銳利 (sharp) 邊緣、第七階則為最模糊情況，每階模糊差之間設定量為Photoshop/Motion Blur的4個調整單位量 (每階之間的物件模糊寬度 (BEW) 差異量為4 pixels)，以包含實驗中可能出現的模糊情況。影片播放時，將「標準模糊等階」放置於畫面上方 (圖4)，受測者則被要求觀察移動中物件邊緣的模糊寬度，並比較標準模糊等階，給予0到6的評價。若受測者認為物件模糊寬度，恰好落於標準模糊等階的兩階之間，受測者亦可依照主觀判斷給予小數點後1位的評價。例如，當受測者認為物件模糊邊緣落於2與3階級之間，可以給予如2.3或是2.7的評價，再由實驗者紀錄之。

3.2 實驗視窗

研究的焦點在於評量不同視覺評量方式，在液晶顯示器呈現動態品質評估工作的適用性，因此在一些外在的實驗條件部分則統一控制。實驗視窗設定為1280*1024大小，即為17吋螢幕全畫面範圍。用以觀察模糊現象的觀測樣本，為寬度100pixels的長條狀矩形 (圖4)，位移方式採相關研究較常用的由「左至右水平移動」模式，便利本研究與他人研究結果關係之比較。受測者於實驗過程中，眼睛與螢幕間需維持約70公分的距離，以保持樣本於網膜上可呈約1.6

度左右的視角。

另外，由文獻討論中可知液晶顯示器的反應時間，乃是上升時間與下降時間相加獲得，但上升時間 (Tr) 與下降時間 (Tf) 並不相同，因此上升與下降的模糊寬度將有明顯的差異。為避免混淆視覺焦點，在實驗進行中要求受測者必須僅觀看觀測樣本「左側邊緣」的模糊情況，並依此部分出現的模糊現象，為研究分析的主要資料。

3.3 實驗樣本之色彩配對

為了驗證不同視覺評量結果的適用性，本研究的實驗樣本中挑選不同物體色與背景色配對情況來討論，以使實驗結果可具較高的外在效度 (External Validity)。研究共挑選5個不同明度的無彩色，製作實驗視窗樣本，分別為RGB = 0, 64, 128, 192, 255等，共可以配對出20組不同的情況。

3.4 受測者

實驗操作是以人眼評估動態影像於LCD播放時的品質，因此受測者須具有較佳視覺敏銳度者。但對於「視覺敏銳度」的評估，目前尚無完整之標準規範，為此，研究選擇實驗受測者主要挑選以經常操作「影像處理」相關作業之人員為條件，挑選具正常色彩判斷能力之雲林科技大學視覺傳達設計學系學生，共15名受測人員，進行本次實驗。

3.5 研究環境

魏裕昌等人 (1996) 在討論色視覺模式與光源之間的關係研究中，曾指出不同的外在環境光源條件，會造成不同的色彩視覺評斷結果。本研究為避免外在環境因素而造成結果的偏誤，實驗過程於無環境光源之暗室中進行，避免外在光源造成LCD表面泛光或鏡面反光現象而影響觀測結果。另外，由於LCD顯示本身會因不同的觀測角度，而產生色彩呈現的差異，為排除觀測角度對研究結果造成影響，實驗操作過程中，要求受測者之視線須與畫面之間保持垂直狀態。

避免受測者於實驗過程中，注意力受外在環境的影響 (如實驗室背景、螢幕外殼顏色等)，實驗所使用的顯示器，皆採用黑色霧面紙板覆蓋，僅留螢幕尺寸的開口，開口尺寸為恰為17吋螢幕大小。全紙板尺寸為80*55公分 (如圖5)，若於實驗進行的情況下，黑色紙板範圍約為65度視角，應可完全避免週遭環境對注意力所造成的影響。

3.6 設備

實驗所採用之液晶顯示器以廠商提供的反應時間規格為依據，分別選擇16、25、40ms反應時間的17吋螢幕以及17吋CRT一台，廠商提供之規格列表1：

表1 實驗用螢幕樣本

廠牌/型號	EIZO FlexScan L568	廠牌/型號	View sonic / VP171s
最大解析度	1280 × 1024 像素 (pixel)	最大解析度	1280 × 1024 像素 (pixel)
點 距	0.264 × 0.264 mm	點 距	0.264 × 0.264 mm
亮 度	250 cd/m ²	亮 度	280 cd/m ²
對 比	1000 : 1	對 比	600 : 1
反應時間	25 ms	反應時間	16 ms
最大可視角	水平 178° / 垂直 178°	最大可視角	水平 140° / 垂直 140°
廠牌/型號	IBM 821AHG	廠牌/型號	View Sonic / 17GA
最大解析度	1280 × 1024 像素 (pixel)	最大解析度	1280 × 1024 像素 (pixel)
點 距	0.264 × 0.264 mm	點 距	0.27 × 0.27 mm
亮 度	250 cd/m ²	亮 度	未提供
對 比	500 : 1	對 比	未提供
反應時間	40 ms		
最大可視角	水平 170° / 垂直 170°		



圖4 視覺等階評量法實驗情境



圖5 實驗螢幕

IV. 第一階段實驗

不同視覺評量方式，是否影響液晶顯示器呈現動態影像品質的評量結果？

此階段共採用三種視覺評量方式，分別為比對法、閾限追蹤法、以及視覺等階評量法。

並以15受測者進行重測信度 (test-retest reliability) 檢驗，由

兩次的視覺評量數據，觀察視覺評量結果的穩定程度，並依評量結果的穩定度判斷評量方式的適用性。研究採用 Pearson 相關係數分析不同視覺評量方式下，前後兩次評量結果的相關程度，分析結果列於表2。表2中可知：三種視覺評價方法中，以閾限追蹤法的視覺評價結果重測信度最差，受測者前後兩次的評價結果於三種視覺評量方式中差異最大，前後兩次的評量結果無顯著的關係。本研究認為其主要原因在於受測者之間對於「模糊定義」有所差異，一些受測者可能以「從寬」的標準進行評斷，而有些則可能採「從嚴」，甚至相同受測者於前後兩次的實驗，採用不同的評量標準；另一方面，就測量感覺閾的閾限追蹤法本質而言，常會因受測者本身的心理反應以及預期感受出現有兩類型的誤差情況，分別為習慣性誤差 (error of habituation) 以及預期性誤差 (error of expectation) 等 (劉英茂, 1994)，而這兩種現象亦是可能造成研究結果不穩定的因素之一，因此本研究建議「閾限追蹤法」並不適用於評估液晶顯示器播放動態畫面品質之研究。

CRT為基準的比對法以及視覺等階評量法二種評量方式，前後兩次的評量結果之間，皆可達到顯著的相關性，亦即受測者前後兩次評量結果較為穩定，兩者皆適用於評估LCD品質評價的研究。其中，又以「視覺等階評量法」的相關係數較高。換句話說，視覺評價過程中若能給予受測者可用於比對、參考的依據，則評量結果將趨於穩定。反之，若是直接請受測者進行模糊現象的評量，如閾限追蹤的方式，則會因受測者的評價標準不一，造成重複評量結果的穩定性不佳。

表2 視覺評價方式與重複量測信度

	閾線追蹤法	CRT 比對法	視覺等階評量法
相關係數 (R ²)	-0.031	0.390	0.645
顯著性	0.474	0.000**	0.000**



V. 第二階段實驗

視覺等階評量法的視覺評量結果，是否受不同評量條件影響？

由第一階段的實驗結果中獲知：三種常見於視覺評量方式中，以視覺等階評量法的評量結果穩定度最佳，此章節的討論則針對「視覺等階評量法」之操作條件做進一步討論。

5.1 第一階段實驗討論與延伸議題

第一階段中，發現為三種視覺評量方式中，以視覺等階評量法可獲得最穩定的評量結果，但在實驗操作過程中，可發現下列幾項問題：

1. 視覺感知量與物理刺激量（模糊量）之間是否為線性關係？該疑問源自於人類感官刺激的菲西納法則（Fechner law）。菲西納法則說明感覺量與物理刺激量之間的關係，由圖7中可看出，感覺程度與刺激強度二者之間並非呈線性關係，而是略成拋物線的曲線。此類的論點已在許多研究中被重複驗證，如光線強度與視覺亮度關係、或是各類的感覺閾與刺激量關係的探討（大山正, 1998）。然而，針對於模糊刺激量與視覺感知二者的關係，則未曾有相關研究提及，研究為進一步確認二者的關係，將採用視覺判斷衡量方式，進行「視覺模糊等距」研究。

2. 標準等階量表之造型選用：由第二章的文獻討論中可知，相關研究者進行LCD播放品質評量時，多會採不同類型的呈現物來進行評價，如電玩遊戲、影片、柵格線（Gratings）、或是簡易幾何物體為觀察樣本，因此在第一階段研究中，我們採用不具有方向性的「圓形」為等階量表製作的基本形，以符合各類型之視覺評量樣本。但實驗操作過程中，受測者經常會提出這樣的問題：圓形的模糊邊緣寬度並不一致，在中間水平直徑的兩端，模糊寬度最寬，而圓形的上方以及下方模糊寬度則看起來較窄。研究為彌補此部分可能造成的研究誤差，在第二階段的實驗中，改由100*100的矩形為基本形，應可以改善此疑慮。

3. 標準等階量表之色彩配置：視網膜接受光線刺激後，經由大腦的處理，便可使我們見到色彩。然而在許多情況下，會因視覺的生理機制而產生許多視覺現象。最基本的兩色並置時，便可能因視角、側抑制（Lateral Inhibition）造成色貌（color appearance）差異。而較強烈的色彩並置時，則較容易引起視覺注意、明視程度或是視覺疲勞的現象（Marx, 1983）。因此在第二階段中，研究為能了解不同色彩配置情況，是否對對視覺評價結果造

成差異？因此採用了黑、灰、白三個無彩色，進行色彩的配對。除去以灰色為物體色的配對，可以獲得四種不同的色彩配對形式，各色彩配對列於表3。

4. 單邊模糊邊緣處理：液晶顯示器的反應時間中，上升時間（Tr）與下降時間（Tf）並不相同，為避免受測者於視覺評價過程中造成混淆，所以我們於第一階段的研究中要求受測者以物件的左側邊緣模糊寬度做出模糊評量。第一階段的等階量表製作，研究是直接採Photoshop/Motion blur製作，所以在物體左右兩邊緣皆會產生模糊效果，然而這樣的模糊效果在寬度較大的情況下，物體會有變形的感覺，以第一階段的第七級模糊為例，物體感覺不再是圓形，反而變形為橢圓狀，這樣模糊結果與LCD播放動態影像時的模糊現象較不相似。因此，研究決定於第二階段實驗中，改為單邊的模擬模糊設計，亦即在只針對量表的左邊製作模糊效果，並維持觀測物體的長寬比例，應更有利於受測者的視覺比對。

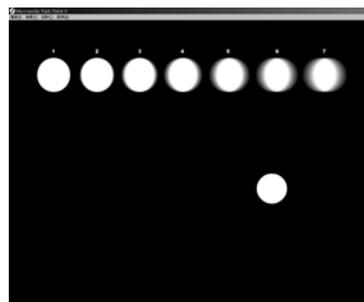


圖6 第一階段模糊等階量表實驗視窗設計

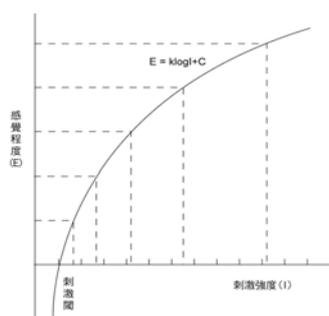


圖7 菲西納法則

表3 七階量表製作之色彩配置關係列表

配對組	背景色	物體色
1	白 (RGB=255)	黑 (RGB=0)
2	黑 (RGB=0)	白 (RGB=255)
3	灰 (RGB=128)	黑 (RGB=0)
4	灰 (RGB=128)	白 (RGB=255)

5.2 第二階段實驗視窗設計

本研究為進一步檢視二者間的關係，設計了「視覺模糊等



圖8

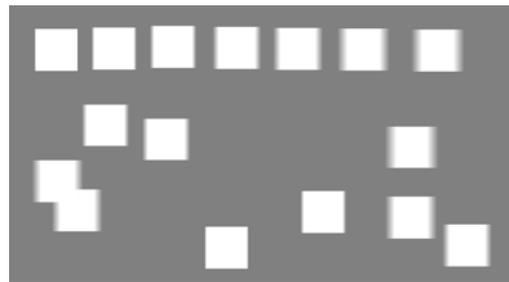


圖9

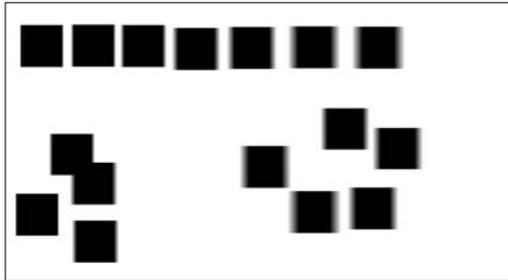


圖10

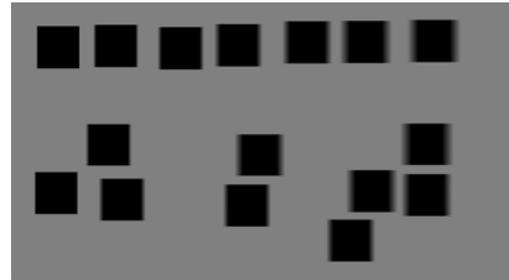


圖11

距」的實驗，其實驗視窗如圖8~11。以圖8為例，視窗有16個不同模糊程度矩形，其模糊程度為完全清晰到最模糊寬度為32pixels，每個矩形間的模糊差異量為2pixels。其中完全清晰的矩形固定放置於畫面左上方（圖8圈內），其他15個具有模糊邊緣的矩形，則隨機散佈於實驗視窗中。受測者被要求依主觀「視覺模糊等距」的基礎，將畫面中的模糊矩形排列於畫面上方（圖8方框內）。

5.3 第二階段實驗結果分析

研究首先採用迴歸分析之曲線估計法，討論視覺感知模糊量與物理刺激量之間的關係，曲線估計結果列於表4。可知不同的色彩配對情況下，各多元迴歸式預測能力（ R^2 ）皆高達0.96以上。換句話說，各迴歸式皆適用於預測視覺感知模糊量與物理刺激量的關係。本研究為考量非西納法則較接近於二次曲線，因此於後續研究中建議可採用二次曲線的迴歸式。

黑色背景、白色物體的條件下，15位受測者前後兩次模糊評價結果的平均量，所得的二次多元迴歸式如下（式1~式4中，Y為模糊寬度，單位為pixels；X為評斷階數）：

$$Y = (0.1786)*X^2 + (3.750)*X + (-2.1429) \dots\dots\dots(式1)$$

$$R^2=0.971$$

而在灰色背景、白色物體的條件下，可獲得的二次多元迴歸式如下：

$$Y = (-0.0595)*X^2 + (5.1690)*X + (-4.1714) \dots\dots\dots(式2)$$

$$R^2=0.994$$

在白色背景、黑色物體的情況下，可獲得的二次多元迴歸式如下：

$$Y = (-0.2238)*X^2 + (6.2048)*X + (-5.3429) \dots\dots\dots(式3)$$

$$R^2=0.997$$

在灰色背景、黑色物體的條件下，可獲得的二次多元迴歸式如下：

$$Y = (-0.1524)*X^2 + (5.9619)*X + (-4.5714) \dots\dots\dots(式4)$$

$$R^2=0.989$$

把不同色彩配對條件下，視覺感知模糊量與物理刺激量之間的各多元迴歸式，繪製成圖12，可發現視覺對於模糊寬度的判斷雖略有差異，但其差異量卻不大。亦即不同的色彩配對條件，不會造成視覺模糊評量結果的極大差異。但就視覺機制而言，並置兩色明度差異量愈大時，則視覺接受的刺激量差異也會越大，而黑白配對條件下較容易出現側抑制作用（Lateral Inhibition），而會產生錯視（Illusion）的視覺現象。另一方面，若以有彩色配色作為影像品質比較用之等階量表時，則可能引起更多之視覺歷程與色彩訊息處理，產生更高度的視覺判斷複雜性因素，而影響視覺評量結果。因此本研究認為，該色彩配對條件較不適用於長時間工作的評量人員使用。基於上述兩項理由，本研究建議未來研究者或是相關業者使用等階量表時，可採用「灰色背景色、白色或黑色的矩形色彩」的色彩配對製作標準等階量表。



表4 各色彩配對條件下，曲線估計R2值

色彩配對模式	黑背景色、白物體	白背景色、黑物體	灰背景色、白物體	灰背景色、黑物體
線性模式	0.968	0.989	0.993	0.986
二次曲線模式	0.971	0.997	0.994	0.989
三次曲線模式	0.997	1.000	0.999	0.999

VI. 第三階段實驗

不同反應時間的液晶顯示器播放動態影像時，其影像品質評量結果是否有明顯差異？

此部分將針對反應時間對於播放動態畫面品質的影響之議題進行討論。研究以三種不同視覺評量方式所獲得的結果進行分析與說明如下：

6.1 以 限追蹤法探討液晶顯示器反應時間對於動態畫面品質的影響：

研究分析首先採用簡單描述性統計之算數平均數方式觀察，發現到：液晶顯示器反應時間與模糊閾限值之間有一定的關係，反應時間越快的螢幕，受測者的視覺評量結果，會是物件移動速度較快時邊緣才會出現模糊，亦即出現模糊的速度閾限值較大（參圖13）。採單因子變異數（one-way ANOVA）分析，亦可看出物件邊緣模糊閾限值與螢幕反應時間確實有關（表5），反應時間較快的液晶顯示器下所獲得的視覺評量結果，與反應時間較慢條件下的視覺評量結果之間具有顯著性的差異，其顯著性達0.00。採Duncan檢定進行事後分析，發現：CRT與16ms反應時間之螢幕可被歸為一群，而25ms與40ms反應時間之螢幕則被歸為另一群。田村 徹等人（2001）研究中曾指出：CRT呈像時並不受反應時間的影響，其反應時間約為1ms。若CRT本身不具反應時間所造成的模糊殘影現象，則可以推論CRT上的動態影像模糊效果應是「視覺殘留」現象所致，如此一來於16ms反應時間的液晶顯示器上所出現的模糊現象，應該已經相當接近於視覺生理機制所造成的模糊現象程度。

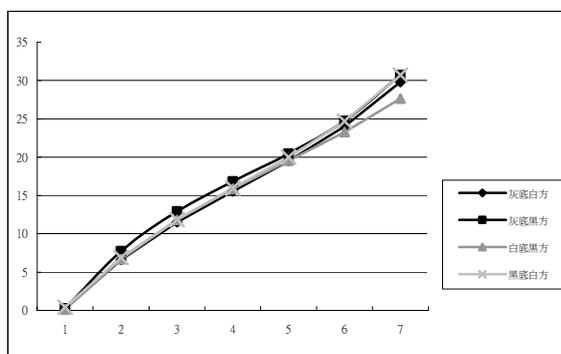


圖12 不同色彩配對下，各階的視覺模糊量多迴歸式

實驗操作過程中發現到：受測者之間對於「模糊認知」的判斷標準並不一致，為檢視液晶反應時間是否對於視覺評量「模糊的標準」造成影響？進一步討論受測者間視覺評量結果的「離散程度」（標準差）與反應時間的關係（圖14）。發現：不同反應時間條件下的視覺判斷結果之「離散程度」有明顯差異（Sig=0.048）。受測者在反應時間較快的液晶顯示器條件下，評量的模糊結果較為一致。可推論：反應時間較快的螢幕，如CRT及16ms的LCD，呈現動態影像時，較有利於視覺判斷。受測者可以容易的分辨出物體邊緣的清晰或是不清晰的現象。反之，反應時間較慢的螢幕，如25ms及40ms的LCD，受測者則較不容易分辨清晰或是模糊的現象。

6.2 以比對法探討液晶顯示器反應時間對於動態畫面品質的影響：

研究將15位受測者前後兩次的評量結果平均值繪製成圖15，可知：不同反應時間的液晶顯示器與CRT在播放動態影像時，所給予的評價落於2.1到3.5之間。以單因子變異數方式進行分析（表6）。發現：不同反應時間液晶顯示器，比對CRT品質時，視覺評量結果之間有顯著的差異（Sig=0.023）。其中16ms液晶顯示器，視覺評量結果最接近於CRT的品質，而反應時間較慢者，則與CRT品質差異較大。由Duncan 事後檢定分析結果可知：不同反應時間的液晶顯示器大致可被分為兩群，16ms與40ms條件下的LCD視覺評量結果具有明顯的差異。

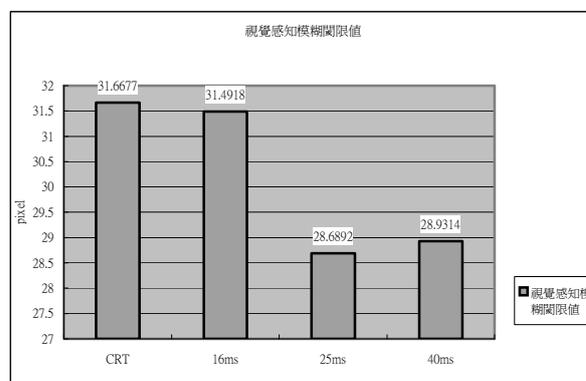


圖13 模糊閾限值平均 (單位為pixel/second)

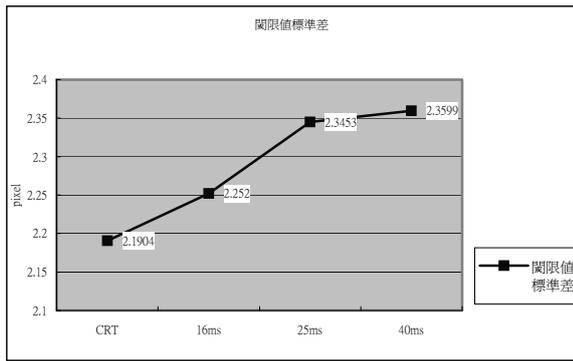


圖14 不同反應時間螢幕與測驗結果標準差關係

表5 變異數分析與Duncan事後檢定結果 單位：pixel

組間	F 值	Sig.
	13.927	.000
.05 的子集		
Duncan 檢定	1	2
25ms	28.69	
40ms	28.93	
16ms		31.49
CRT		31.67

表6 變異數分析與Duncan事後檢定結果 單位：pixel

組間	F 值	Sig.
	2.686	0.048
.05 的子集		
Duncan 檢定	1	2
CRT	2.19	
16ms	2.25	2.25
25ms		2.35
40ms		2.36

6.3 以等階評量法探討液晶顯示器反應時間對於動態畫面品質的影響：

研究採用單因子變異數分析討論不同反應時間螢幕下，視覺評價模糊寬度的平均數結果是否具有明顯的差異，發現：視覺評量結果的平均數會因為不同的反應時間螢幕條件而產生差異 (如圖16、表8所示)，且達統計上的顯著差異 (Sig = 0.000)，其中以反應時間最快的16ms模糊寬度最小，其次為25ms，播放動態畫面呈現的品質最差者，則為反應時間40ms的液晶顯示器。以Duncan進行事後檢定則可發現：視覺評價的平均數結果大致可分為兩群，其中16ms為一群，而25ms、40ms則為另外一群。

VII. 結論與建議

本研究經過三個階段的實驗與討論，對液晶顯示器的視覺評價方法與特性結果得有進一步的了解，研究所獲得的結果可分述如下：

1. 研究中驗證三種不同視覺評量方式的適用性，發現到其中閾限追蹤法所獲得的結果最不穩定，受測者前後兩次

的評量結果之間無明顯的關係，可說明閾限追蹤法並不適用於該類研究。而比對法以及視覺等階評量法所獲得的結果則較為穩定，前後兩次的實驗，受測者所給予的評價較為一致，其中又以視覺等階評量法較佳。

2. 視覺感知與模糊刺激量之間，約略符合菲西納法則，且在不同的背景色與物體色配對情況下，皆可採用迴歸式預測。
3. 在標準等階評量表的色彩配對條件部分，本研究為考量色彩並置若為明度差異較大的條件下，較容易造成側抑制與視覺疲勞現象，因此在標準等階評量的色彩配置上，研究建議後續研究可採「灰色背景色、白色或黑色的物體色彩」的色彩配對較佳。
4. 在LCD反應時間與動態影像品質的關係上，研究發現與過去研究相同，即反應時間較快的LCD播放動態影像的品質較佳；反之，反應時間較慢者則品質較差。且此現象無論於研究中任一視覺評量方式的驗證下，結果皆為相同。另外研究亦發現到反應時間為16ms的液晶顯示器，在視覺評量結果的表現上，接近於CRT的播放品質。換句話說，16ms LCD播放動態影像時，由「反應時間」所造成的模糊感知，與觀看CRT播放動態影像時，由「視覺機制」所造成的模糊感知，兩者之間，在視覺上並不會有太大的差異。

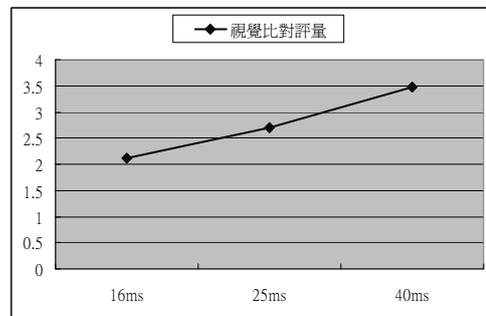


圖15 不同反應時間下比對法視覺評量結果

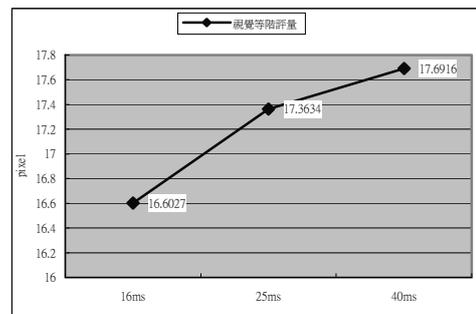


圖16 不同反應時間下等階評量法視覺評量結果



表7 變異數分析與Duncan事後檢定結果 單位：pixel

	F 值	Sig.
組間	3.939	0.023
.05 的子集		
Duncan 檢定	1	2
16ms	2.11	
25ms	2.69	2.69
40ms		3.47

表8 變異數分析與Duncan事後檢定結果 單位：pixel

	F 檢定	顯著性
	7.811	0.000
.05 的子集		
Duncan 檢定	1	2
16ms	16.60	
25ms		17.36
40ms		17.69

研究中所討論到的視覺評量，僅針對LCD播放動態「幾何造型」與「無彩色」色彩配對為主。但在實際應用場合中，LCD可能播放的影像種類相當多樣化，因此在不同影像內容的品質評估過程，必會有不同的影響因素，如色彩呈現、拍攝模式、影像複雜度、個人偏好、文化背景等心理、物理上的因素，這些都可能影響視覺的判斷結果。為能夠對於影像品質與視覺感官之間作全面的了解，以符合多樣的實用情況，本研究認為後續仍可針對此部分的議題做持續討論。

謝 誌

本研究感謝中華民國台灣薄膜電晶體液晶顯示器產業協會 (TTLA)，於2004年「動態畫面品質測試模式研究」以及2004-2005年「動態畫面品質測試系統驗證測試及改良分析」合作計畫案的支援，特此致謝。

參考文獻

大山正，1998，色彩心理學，牧村圖書，台北。

大塚電子株式會社網站，http://www.photal.co.jp/product/mprt_1.html。

田村 徹，牛田 典彥，竹中 俊江，2001，液晶ディスプレイの動画質評価-テレビ映像を表示した場合-，映像情報又ティア學會誌，Vol. 55, No. 12，頁1675-1679。

周秀光，1999，液晶顯示器之顯示原理，電子技術雜誌，163卷，頁82-88。

陳丁振，2001，液晶顯示器用液晶材料，化工資訊，15卷，頁40-47。

黃書倩 譯，中山俊夫 原著，2003，色彩學的基礎，六和出版社，台北。

詹永舟，1998，瞳位追蹤應用於眼控系統及眼球動態量測儀器之製作與分析，逢甲大學自動控制工程學系碩士

論文。

管倖生，童鼎鈞，2002，CIELAB、CMC、BFD、CIE94色差公式之績效評估-以ABS塑膠材料為例，設計學報，第7卷，第2期，頁23-46。

劉英茂，1994，基本心理歷程，大洋出版社，台北。

鍾聖校，1990，認知心理學市，心理出版社，台北。

魏裕昌，徐明景，孫沛立，陶正國，1996，就不同光源條件下色視覺模式之比較與研究，中華印刷科技年報，頁191-201。

羅梅君，1991，印刷色度學，印刷科技雜誌社出版，台北。

Fairchild, M. D., 1998, Color Appearance Models, Addison Wesley Longman, Inc., pp. 43-60.

Ida, K., Furuta, H., Miyama, T. and Himuro, T., 2002, Evaluation of the quality of moving images displayed on LCDs by using MTF method: A comparison between H-V-Mode FLCN, TN-LCD and CRT, IDW'02 conference proceeding VHF2-4, pp. 1291-1293.

Kurita, T. and Saito, A., 2002, A characteristic of the temporal integrator in the eye-tracing integration model of the visual system on the perception of displayed moving images, IDW'02 conference proceeding VHF2-1, pp. 1279-1282.

Marx, E., 1983, Optical Color and Simultaneity, New York: Van Nostrand Reinhold.

Nakamura, Y., Okuda, N., Someya, J. and Yamakawa, M., 2002, The moving picture evaluation method of LCD by PSNR, IDW'02 conference proceeding, pp. 1287-1290.

Nishizawa, T., 2000, Invited Paper: Prospects of Large Size TV Displays using LCD, SID 2000 Digest, Vol. 27, No. 03, pp. 410-413.

Oda, K., Yuuki, A. and Teragaki, T., 2002, Evaluation of moving picture quality using the pursuit camera system, Euro Display, Vol. 6, No. 3, pp. 115-118.

Schiffman, H. R., 2000, Sensation and perception : an integrated approach , fifth edition, New York : John Wiley & Sons, Inc.

Wyszecki, G. and Stiles, W. S., 1982, Color Science: Concepts and Methods, New York: Quantitative Data and Formulae (2nd edition), John Wiley & Sons, Inc.

Yamamoto, T., Aono, Y. and Tsumura, M., 2000, Guiding Principles for High Quality Motion Picture in AMLCDs Applicable to TV Monitors, SID 2000 Digest, Vol. 30, No. 2, pp. 456-459.

Received 21 March 2006
Accepted 7 May 2007



A RESEARCH ON THE VISUAL ASSESSMENT METHODS FOR EVALUATING THE QUALITY OF MOTION IMAGES DISPLAYED AT LCD

Po-Sung Hung and Shing-Sheng Guan

Graduate School of Design
National Yunlin University of Science and Technology
Yunlin, Taiwan 64002, R. O. C.

ABSTRACT

LCD industry has been growing rapidly in the last few years. The development of the techniques related to LCD production has also come to maturity. There are many researches on the visual quality of LCD. However, there is no standardized method of evaluation on the testing of visual quality of LCD. The purpose of this study is to examine the visually assessment methods on motion images displayed at LCD. The study can be divided into two stages. In the first stage, we try to evaluate the applicability of different methods of visual quality evaluation including Comparison Method, Threshold Tracking Method and Visually Scaling Method. We use rest-retest reliability as the basis of judgment to examine the stability of these methods. The result of the evaluations indicates that Visually Scaling Method shows the highest stability. In the second stage, we try to explore how different visually assessment methods affect the result of visual evaluations. And we have identified the better method of visual quality evaluation on active images of LCD accordingly.

Keywords : motion image, LCD, Threshold Tracking Method, Visually Scaling Method, Comparison Method

