

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

數位影像色彩座標模式輔助跨媒體實色複製之可行性研究

計畫編號：NSC90-2213-E-034-004-

執行期限：90年8月1日至91年7月31日

主持人：徐明景

計劃參與人員：洪逸昫、黃惠美

一、中文摘要

本研究探討裝置獨立影像色彩座標的色彩複製效能，透過實際系統的建構與測試，完成數位印刷打樣的複製流程，並評鑑該系統的成效。量化實驗結果顯示，整體的結果與外國之文獻報導相近。在視覺評比實驗上，觀測者認為其複製色樣在相同性上仍存有差異，但在可接受度上有較佳的表現。整體而言，此模式可降低跨媒材實色複製之誤差

關鍵詞：裝置獨立色彩，色彩管理系統，彩色複製，數位打樣

Abstract :

This research explores the feasibility for device independent color reproduction with the aid of color management system (CMS). Experimental results indicate that using CMS can reduce the reproduction error in digital color proofing system. However, the analysis of visual observation reveals that it is more positive on acceptability but more negative on perceptibility.

Keywords: Device Independent Color, CMS, ICC, Digital Proofing

二、緣由與目的

裝置獨立色彩 (Device Independent Color) 的觀念緣於影像色彩科學的領域，是以人類視覺的配色函數 (Color Matching Functions) 定義色彩的絕對量值，因此色

彩的呈現可不受裝置的色彩信號定義所干擾。國際照明委員會 (CIE) 所頒佈的色彩度量學 (Colorimetry)¹ 已成為世界上所公認之色彩度量標準規範。同時 CIELAB 色彩空間體系已廣為國際印刷業採納為色彩品質管制的度量標準^{2,3}。在產業規格上，由國際色彩聯盟 (ICC)⁴ 所制定的色域描述檔案規格成為數位色彩的信號交換標準。在蘋果電腦的 COLOR SYNC 規格及微軟視窗作業系統內的 ICM 環境都是以支援裝置獨立色彩的概念，建立色彩管理的功能。

色彩管理系統的模組雖已內建在個人電腦作業系統中，但要其能真正發揮功效還有賴應用環境的配合，尤其是軟硬體及色彩度量程序與實際產業的操作手續都要完全配合才行，加上對應用產業還要能有足夠的了解，因此色彩管理系統的實務應用尚不普及，但其應用研究是有其必要性的。

在數位電子出版的領域，色彩的表現是重要的設計元素，色彩的精準呈現是重要議題，但由於螢幕上的色彩和列印出的顏色有所差異，或不同列印設備如印表機和印刷機之間有顏色之落差，跨媒體色彩的一致性一直是個困擾的問題，美國的印刷業因為有印刷工業 SWOP⁵ 標準，所以較有規範可依循。但國內並無相似的工業標準，所以尚賴經驗法則去逼近理想值。因此，若能將裝置獨立影像色彩座標模式帶入跨媒體之色彩複製環境中，將可運用量化的數位色彩工具控制電子出版的色彩，運用自動化的資訊製程協助印刷業或多媒體出版業降低色彩失誤的比率。

跨媒體的色彩複製環境相當複雜，影響色彩表現的因素眾多，媒介材料的不同（如紙張、油墨）、觀測光源之不同（如 D50 光源與室內鎢絲燈光源）、色彩組成原理之不同（如印刷之 CMYK 油墨與螢幕 RGB 色光）、觀測環境之不同（如明室或暗室）等等，都是進行跨媒體色彩研究時必須控制的實驗變數。在國際學術研究上，近來有各種不同的色貌模式（Color Appearance Model）⁶ 不斷被提出來，但實驗設備與實驗方法上的複雜程度較高。反觀國內色彩複製產業中的印刷業，近年來正值數位化的轉型過程，對跨媒材數位打樣的需求正殷，因此本研究先著力於印刷實色複製之環境，運用裝置獨立的數位色彩座標（CIELAB），測試在不同印刷系統（CMYK 水性色墨與六色油性油墨）下的實色複製能力，並建立基本的量測指標與研究環境、架構，可明確的定義裝置獨立彩色複製的可行性，未來可針對更複雜的變因做更深入的跨媒體色彩研究。

三、實驗說明

本研究之實驗分為兩大部分，第一部份為儀器設備與系統色彩複製能力之量化分析，第二部份為由觀測者評比色樣之驗證分析。實驗所用之設備如下：

電腦平台：Intel PC 平台，OS: Microsoft Windows 2000，Power Mac G3，OS: Mac OS 8。

軟體: Adobe Photoshop 6.0C、Epson Stylus RIP、Agfa ColorTune Pro 3.0。

印表機：Epson Stylus 2000P(油性六色，以下簡稱 2000P)、Epson Stylus 850(水性四色，以下簡稱 850)。

紙張：Epson glossy paper – photo weight(for 2000P)，Epson glossy paper(for 850)。

量色儀器：X-Rite Digital Swatchbook，Gretag SpectroScan。

實驗過程依序如下：

1. 檢測並計量兩種不同的印表機-Epson

Stylus 850 及 Epson Stylus 2000p 各自的穩定性。

2. 在 SWOP 設定下，列印 IT8.7/3 標準測試樣稿，並量測其色樣之 CIELAB 數值和 ANSI CGATS TR001 基本 182 色之誤差值，此為色彩管理前之系統複製能力，同時運用此列印樣稿作為色彩管理系統之校正導表，連同量測之色度值，運用 Agfa ColorTune Pro 3.0 色彩管理系統建立 ICC 印表機色彩描述檔。
3. 以 TR 001 檔案 182 基本色之 CIELAB 數值建立色樣，並由前述 ICC 印表機色彩描述檔透過色彩轉換引擎轉換成印表機的 CMYK 格式檔案，再於相同的列印環境下，列印出實際色樣。再計算此色樣量測的 CIELAB 值和原 TR 001 內的色差，即為此系統經過色彩管理系統校正後的系統誤差。
4. 在 CIELAB 的色彩空間內取 74 個色樣（16 個色相，4 個區間加上 10 個灰階），將這些色樣經過色彩管理系統轉換為各印表機之 CMYK 數值，再分別列印出，此為 LAB 空間中的均勻取樣。而此二種印表機各自列印出之色樣，其互相之間的色差值成為獨立之系統複製誤差，可以不和 IT8.7/3 之訓練資料組相重複。
5. 將兩印表機各自列印出 LAB 色彩空間中的 74 個色彩樣本並置在灰卡中（ $L^*=49$ ）讓 30 個觀測者觀測，並由觀測者分別就色樣組的相同性與可接受性做視覺評比。另外在觀測者觀看的色樣組中加入五組重複的色樣，以檢測觀測者的穩定性，因此觀測者總共需觀測 79 組色樣。

受訪者需回答兩個問題，即是相同程度與接受程度。

相同程度：請受訪者將顏色的三屬性，明度、彩度、色相作綜合評量，評量尺度分為五等，評斷相同給分 1 分，

評斷不相同給分 5 分，相同與不相同中間再三等分。

接受程度：理論上，列印出的色樣應該是完全相同，但是受限於機器的關係，產生色差，請受測者評斷如此的色差是否可以接受，評量尺度與給分方式與相同程度一樣。

四、結果與討論

本研究之理論基礎建立於量化的色彩度量上，故先檢測實驗設備的自身穩定性，才能正確的反映出由控制變數所產生的影響。表一為印表機穩定性的檢測結果，其中包含在同一張紙上不同位置的列印差異（一次列印）與在不同一張紙上不同次列印的差異（批次列印）。由檢測的 18 個色樣（一次色、二次色、三次色和 10 階灰階）的平均誤差值中，可發現該兩種印表機的穩定性有所差異，平均誤差在 Delta E 1 以下，但最大誤差可及於 2。

表一 印表機穩定性檢測結果(ΔE)

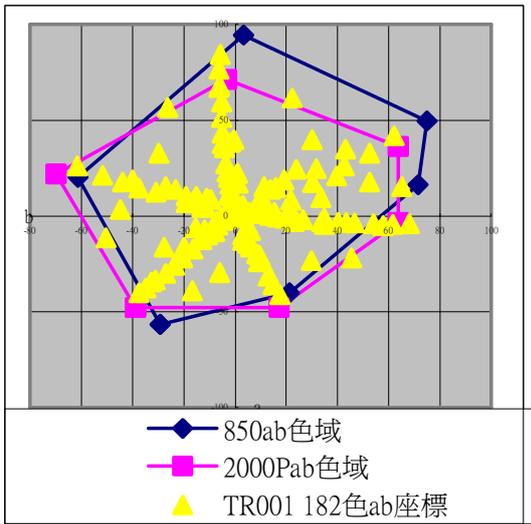
	一次列印		批次列印	
	2000P 印表機	平均數	0.29	平均數
標準差		0.11	標準差	0.29
範圍		0.27	範圍	0.92
最小值		0.14	最小值	0.10
最大值		0.41	最大值	1.03
	一次列印		批次列印	
	850 印表機	平均數	0.43	平均數
標準差		0.16	標準差	0.63
範圍		0.44	範圍	2.06
最小值		0.27	最小值	0.13
最大值		0.71	最大值	2.19

實驗中使用的兩種印表機均透過 RIP 的設定，直接列印 SWOP 規格下之 CMYK 色樣，所列印出的 IT8.7/3 色樣經過色度測量後，可和 CGATS TR001 所公佈之標準值做比較，這些數值為打樣系統未經色彩管理系統校正前的誤差。而列印出的 IT8.7/3 色樣可做為色彩管理系統製作 profile 的校

正導表，而以 TR001 內所列之標準 Lab 數值，透過色彩管理系統的處理，以前述 profile 分別轉換，再以 CMYK 模式列印，量測其列印色樣之 Lab 值並計算與標準值之誤差可以計算出經過色彩管理後的複製誤差，相對照之結果列於表二。從未經色彩管理系統處理的結果中可發現，850 印表機的平均誤差比 2000P 為大，此點和前述印表機穩定性檢測的結果相一致。而經過色彩管理系統的修正後，可以發現其平均誤差大幅降低，850 印表機可以從 19.20 降至 8.47，2000P 印表機從 16.02 降至 4.86。而在兩印表機直接比較的差異上，182 色之平均色差可以從 25.20 降到 7.13，顯示色彩管理系統的校正程序可以降低色彩複製間的差異。但值得注意的是最大誤差值並不一定會因色彩管理系統而降低，如 850 印表機的最大誤差值在色彩管理後反而提升，這現象受印表機的色域所影響，亦可解釋 2000P 印表機（雖然有較佳的穩定性）在色彩管理前有較大誤差的原因。一般而言，水性噴墨印表機較油性噴墨印表機有較大色域，從圖一所顯示之結果亦證實該現象。

表二 IT8.7/3 182 基本色之複製誤差

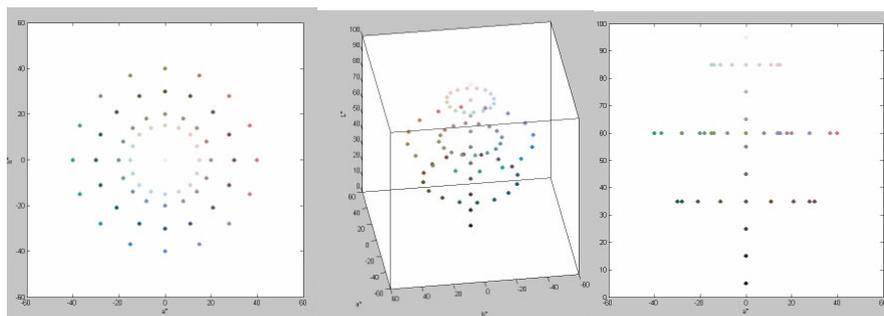
印表機	項目	without CMS	with CMS
850 印表機與 預設值比較	182 色平均 ΔE	19.2	8.47
	21 色灰平衡平均 ΔE	17.41	7.02
	最大 ΔE 值	27.28	41.56
	最小 ΔE 值	5.95	1.68
2000P 印表機 與預設值比 較	182 色平均 ΔE	16.02	4.86
	21 色灰平衡平均 ΔE	13.09	4.41
	最大 ΔE 值	36.6	20.25
	最小 ΔE 值	4.03	0.89
850 和 2000P 印表機之比 較	182 色平均 ΔE	25.2	7.13
	21 色灰平衡平均 ΔE	20.11	3.97
	最大 ΔE 值	51.57	42.78
	最小 ΔE 值	5.01	0.92



圖一 印表機色域與 TR001 182 色 ab 座標示意圖

前述量化實驗之結果可確認色彩管理系統能降低色彩複製的誤差，而進一步的視覺評比實驗則探索此等誤差在實際觀測者的評價。為了確保評比的色樣在印表機之色域表現範圍內並有異於原先 IT8.7/3 內之取樣，在 CIELAB 色彩空間內另將色相分為 16 等分，並在明度為 85，彩度為 30；明度為 60，彩度為 20 及 40；明度為 35，彩度為 30 等四個環帶，共取 64 色（如圖二）。加上 10 個灰階與 5 個測試穩定性的重複色樣，共 79 組 Lab 值，分別以 Epson 850、Epson 2000P 印表機透過色彩管理系統列印，分別將兩種印表機所列印的色樣，兩兩一組，讓受測者在標準觀測環境中，以雙眼同視的方式觀察兩者的差異。

在 2220 次的評比中，相同性的評比結果列於表三，可接受性的評比結果列於表



圖二 視覺觀測評比之色樣在 CIELAB 座標上的分佈

四。若以五等分之中間值為臨界值，則由此結果推論觀測者認為相同之比例略少於不相同（45.77%）。但在可接受性上，認為可接受的略高於不能接受者（54.05%）。

表三 相同性評比之實驗結果

相同程度	次數統計	百分比	累積百分比
100%相同	137	6.17	6.17
75%相同	511	23.00	29.19
50%相同	368	16.56	45.77
25%相同	522	23.51	69.28
0%相同	682	30.72	100.00
總共	2220		
小數點後三位四捨五入			

表四 可接受性評比之實驗結果

可接受度	次數統計	百分比	累積百分比
100%接受	335	15.09	15.09
75%接受	461	20.77	35.86
50%接受	404	18.20	54.05
25%接受	436	19.64	73.69
0%接受	584	26.31	100
總共	2220		
小數點後三位四捨五入			

進一步將評比之平均尺度低於 3 者整理於表五及表六，可以發現在本實驗取樣下，相同性的上限在 Delta E 為 6.49，而可接受性的上限為 Delta E 8.99。而觀測者認為相同的色樣也都全部出現在可接受的色

表五 評比為相同的色樣組及其色差值（最大值 6.49）

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
色樣組	2	4	6	7	8	9	12	16	28	29	30	31
deltaE	3.68	2.03	2.11	2.31	2.2	0.87	3.2	5.47	4.16	3.82	3.03	2.37
	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
色樣組	38	39	43	45	47	48	49	53	54	55	60	65
deltaE	5.83	5.1	5.15	3.29	2.42	4.27	5.96	6.49	4.99	3.58	3.38	5.64
	25	26										
色樣組	74	76										
deltaE	4.29	2.09										

表五 評比為可接受的色樣組及其色差值（最大值 8.99）

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
色樣組	1	2	4	5	6	7	8	9	12	14	15	16
deltaE	4.2	3.68	2.03	4.25	2.11	2.31	2.2	0.87	3.2	5.62	7.9	5.47
	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
色樣組	28	29	30	31	38	39	40	43	45	47	48	49
deltaE	4.16	3.82	3.03	2.37	5.83	5.1	8.99	5.15	3.29	2.42	4.27	5.96
	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
色樣組	50	51	52	53	54	55	60	65	66	74	76	77
deltaE	5.92	6.74	6.71	6.49	4.99	3.58	3.38	5.64	6.9	4.29	2.09	6.96

樣內，由於定義上可接受度的寬容性較大，據此可以確認此觀測實驗為正確而一致的。

總結而言，在本實驗現有之設備下，經過色彩管理系統之控制，從印表機到標準值 (TR001) 之間的色彩誤差最好時可以控制到 Delta E 4.86。

參考國外文獻^{9,10}，以較新的色彩管理軟體可以達到 Delta E 3.36 之精密度 (IT8.7/3 182 基本色)，但尚未嘗試跨印表機間的複製誤差。本研究特別探討以裝置獨立色彩的方式，透過 CIELAB 色彩空間作為跨印表機在不同墨材 (水性及油性) 與紙材的色彩控制程序，其誤差可以從 25.5 降至 7.13，更進一步的以視覺觀測驗證此成效在實用上的可行性，雖然結果顯示在相同性上略呈不足，但在可接受性上已傾向可接受的範圍，足見裝置獨立色彩複製之理論在此領域之應用研究尚有發展的潛力，未來若能有更穩定的印表機及更精準的控制設備，在印刷界困擾多時的跨

媒材打樣工作將有解決方案，對於提昇印刷產業數位化製程之功效將有相當大的發展潛力。

五、計畫成果自評

本研究原預期完成之工作分為兩大類，第一類為建構裝置獨立色彩複製之印刷打樣環境，第二類為以此環境檢驗色彩管理系統之成效。

在建置印刷打樣環境上，此研究將長久以來只建立在 Mac 環境的印刷打樣流程成功地建置在 PC 的環境，不僅掌握微軟作業系統的 ICM 架構，也整合了 Adobe Photoshop 的應用環境，再加上筆記型電腦與過網控制系統 (RIP) 的結合，成功地建置一套可攜式的油性數位噴墨打樣系統，不僅在實用上有先導的示範作用，更可作為後續研究的平台，在關鍵研究環境的控制上非常重要。

在實驗本體上，本研究的結果和國外

印刷產業著名文獻的報告相接近，惟在精密度上仍稍不足，但相較於國外一流印刷學府之儀器設備，本研究的成果已相當有效益，未來若能在儀器設備上作提昇，將可與國外的研究相齊平。

另外，本研究更進一步的導入視覺觀測評比的方法以對照量化結果的實用性，在學術上是印刷打樣類研究所少見，將是未來投稿國外此類學術期刊時之特點。在國內2002年中華色彩學會亦將發表本研究成果。

如前述之成果外，本研究確認色彩管理系統可降低跨媒體實色複製之誤差，同時觀測結果亦顯示其為可接受的程度，希望未來能繼續努力進一步達到相等的程度，如此在數位印刷打樣的應用上將有重大貢獻。

六、參考文獻

1. CIE, Colorimetry, Publication 15.2, CIE 1986.
2. ISO, Graphic technology - Process control for the manufacture of half-tone color separation, proof and production prints - part 1: Parameters and measurement methods, ISO-12647-1, 1996.
3. ANSI, Graphic Technology - Color Characterization Data for Type 1 Printing, ANSI CGATS TR 001 - 1995, NPES, 1995.
4. ICC, File Format for Color Profiles (Version 4.0.0), Specification ICC.1:2001-12, International Color Consortium, 2001.
5. SWOP, Specifications Web Offset Publications, Eight Edition, 1997.
6. Mark D. Fairchild, Color Appearance Models, Addison Wesley, 1998.
7. Gerald M. Murch, Color Management Comes of Age, SPIE Vol. 2658, pp. 2-4, 1996.
8. G. Gonzalez, T. Hecht, A. Ritzer, A. Paul, J.-F. Le Nest and M. Hass, Color Management – How Accurate Need it Be?, IS&T/SID 5th Color Imaging Conference Proceedings, pp. 270-275, 1997.
9. Robert Chung and Wilson Cheung, Digital Proofing with ICC CMS, TAGA 2000 Proceedings, pp. 143-159, 2000.
10. Robert Chung and Yoshikazu Shimamura, Quantitative Analysis of Pictorial Image Difference, TAGA 2001 Proceedings, pp. 333-345, 2001.
11. Peter G. Engeldum, Psychometric Scaling, Imcotek Press, 2000.

