

國立臺灣師範大學圖文傳播學系

碩士論文

改良式混合網點應用於數位浮水印之研究
A Method of Watermark with Modified Hybrid
Halftone Dots

研究生：鄭雅文

指導教授：王希俊 博士

中華民國一〇二年六月

摘要

由於調幅網點(Amplitude Modulation, AM)與調頻網點(Frequency Modulation, FM)顯微結構的差異，過去在製作混合網點數位浮水印時，會因為兩種網點在印刷時所產生的網點擴張情形(Dot Gain)不一致，而影響浮水印隱藏效果，必須額外輸出濃度匹配導表，進行浮水印濃度校正，才能確保浮水印的隱藏品質。本研究為省去輸出導表之步驟以縮減製程，提出改良式混合網點數位浮水印技術，利用填入不著墨白點的方式分散 AM 網點顯微結構，使其與 FM 網點具有相同之顯微結構，藉此平衡兩者網點擴張率。並利用兩種網點不同的微結構及排列特性，形成複印機及掃描機取樣能力的差異，達到浮水印圖像於複印後顯現之效果。本研究採用實驗研究法，透過實際輸出濃度匹配導表，測試四分之一著墨 AM 網點與 FM 網點的網點擴張情形。最後將改良式混合網點浮水印與紙張載體整合設計，利用複印機驗證其成效。研究結果顯示本研究所建構之改良式混合網點，確實能達到平衡網點擴張的效果，並成功使潛藏之浮水印圖像於複印後顯現。未來利用此改良技術製作混合網點浮水印，不僅在製程中不需重複進行濃度校正，也可確保在不同印刷條件及長版印刷時，四分之一著墨 AM 網點及 FM 網點網點擴張率仍能維持一致，使浮水印隱藏品質獲得較佳的控管。此外，由於改良式 AM 調幅網點之網點散佈區域較以往略為增加，能提升低濃度區 AM 調幅網點之複製能力，使複印後浮水印呈現之效果更佳。

關鍵詞：改良式混合網點、半色調、數位浮水印。

Abstract

In this research, a novel method is proposed to design watermarks with modified hybrid halftone dots. Due to the diversity of microstructures, the amplitude modulation (AM) halftone dots and frequency modulation (FM) halftone dots create different dot gains while printing, which affect the hidden effect of watermarks. Therefore, a density calibration chart is required to help calibrate watermarks with selected parameters. In order to balance the dot gains between AM and FM halftone dots, this research modified the micro-structure of AM halftone dots to make it similar to that of FM halftone dots. However, the different patterns of arrangement can still cause the distinctions of sampling requirements of duplicating equipment, to make the hidden watermarks emerge after duplication. This study employs the experimental method. A density calibration chart were printed out to observe the dot gain effect of modified hybrid halftone dots, which are composed by 1/4 AM and FM halftone dots. At last, the watermark, constituting of modified halftone dots, were printed onto paper, and using a copy machine to testify its effect. The results show that this method successfully balances the dot gain, and makes the watermarks emerge after copied. This technique not only makes the calibration process no longer necessary, but also provides better control of dot gain in any printing condition and long-run printing, to improve the quality of watermark presentations. In addition, the increased dispersion of modified AM halftone dots enhances the detection capability within highlight area and attains the better effect of printed watermarks.

Keyword: Modified halftone dots, Halftoning, Watermark.

目錄

摘要.....	i
Abstract.....	ii
目錄.....	iii
圖目錄.....	iv
表目錄.....	vi
第一章 緒論.....	1
第一節 研究背景與動機.....	1
第二節 研究目的與問題.....	2
第三節 名詞釋義.....	3
第四節 研究範圍與限制.....	4
第二章 文獻探討.....	5
第一節 半色調過網技術.....	5
第二節 數位浮水印技術.....	17
第三節 混合網點技術.....	26
第四節 文獻探討小結.....	32
第三章 研究方法.....	33
第一節 研究流程.....	33
第二節 研究工具.....	35
第三節 改良式混合網點實驗設計.....	36
第四節 浮水印與實體文件整合設計.....	45
第四章 實驗結果與討論.....	46
第一節 改良式混合網點實驗.....	46
第二節 改良式混合網點輸出成果分析與討論.....	54
第五章 結論與建議.....	59
第一節 研究結論.....	59
第二節 研究建議.....	62
參考文獻.....	63

圖目錄

圖 2-1-1 傳統半色調過網示意圖.....	6
圖 2-1-2 連續調影像及不同網點結構的半色調影像示意圖.....	7
圖 2-1-3 連續調影像及點陣調色法形成之半色調影像.....	8
圖 2-1-4 臨界值矩陣示意圖.....	9
圖 2-1-5 點陣調色法之叢聚式臨界值矩陣.....	10
圖 2-1-6 點陣調色法之分散式臨界值矩陣.....	10
圖 2-1-7 水平式臨界值矩陣示意圖.....	11
圖 2-1-8 垂直式臨界值矩陣示意圖.....	11
圖 2-1-9 右斜式臨界值矩陣示意圖.....	12
圖 2-1-10 左斜式臨界值矩陣示意圖.....	12
圖 2-1-11 網屏角度 0 度之臨界值矩陣示意圖.....	13
圖 2-1-12 網屏角度 45 度之臨界值矩陣示意圖.....	13
圖 2-1-13 連續調影像及誤差擴散法形成之半色調影像.....	14
圖 2-1-14 誤差擴散法的演算架構圖.....	15
圖 2-1-15 誤差擴散法進行兩階化之處理方向.....	15
圖 2-1-16 利用誤差擴散法所得之半色調影像.....	16
圖 2-2-1 LSB 最低位元法示意圖.....	17
圖 2-2-2 應用於頻率域之數位浮水印效果示意圖.....	18
圖 2-2-3 Patchwork 加密方式示意圖.....	19
圖 2-2-4 Patch Track 加密示意圖.....	20
圖 2-2-5 Glyph Code 網點微結構示意圖.....	20
圖 2-2-6 柱狀凸透鏡光學成像原理示意圖.....	21
圖 2-2-7 網點位移加密郵票.....	21
圖 2-2-8 正反套印之網點位移原理示意圖.....	22
圖 2-2-9 浮水印顯現效果示意圖.....	22
圖 2-2-10 微結構防偽示意圖.....	23
圖 2-2-11 改變線條之微結構示意圖.....	23
圖 2-2-12 日本入境許可之防偽機制.....	24
圖 2-2-13 半色調影像資訊加密效果.....	25
圖 2-2-14 半色調影像資訊加密效果.....	25

圖 2-3-1 混合網點示意圖.....	26
圖 2-3-2 遙測影像示意圖.....	27
圖 2-3-3 視覺密碼影像示意圖.....	28
圖 2-3-4 混合網點數位浮水印之效果示意圖.....	29
圖 2-3-5 可改變原始內容意義之浮水印製作原理示意圖.....	30
圖 2-3-6 可改變原始內容意義之浮水印效果示意圖.....	30
圖 2-3-7 可於複印後產生黑白反轉效果之浮水印效果示意圖.....	31
圖 3-1-1 研究流程圖.....	34
圖 3-3-1 不同著墨比例之調幅網點示意圖.....	36
圖 3-3-2 混合網點之網點擴張模擬示意圖.....	39
圖 3-3-3 傳統式混合網點之網點擴張曲圖.....	40
圖 3-3-4 改良式混合網點之網點擴張曲圖.....	41
圖 3-3-5 濃度匹配導表單位設計示意圖.....	42
圖 3-3-6 濃度匹配導表組合設計示意圖.....	43
圖 3-3-7 浮水印設計示意圖.....	43
圖 3-3-8 改良式混合網點數位浮水印製作.....	44
圖 3-4-1 防複印紙張之排列設計圖.....	45
圖 4-1-1 濃度匹配導表網片.....	47
圖 4-1-2 濃度匹配導表輸出於第一種紙張材質.....	49
圖 4-1-3 濃度匹配導表輸出於第二種紙張材質.....	50
圖 4-1-4 網點面積百分比 1%之傳統式混合網點示意圖.....	51
圖 4-1-5 傳統式混合網點之網點面積百分比匹配曲線圖.....	52
圖 4-1-6 網點面積百分比 1%之改良式混合網點示意圖.....	53
圖 4-1-7 改良式混合網點之網點面積百分比匹配曲線圖.....	53
圖 4-2-1 導表原稿之灰階值分析位置示意圖.....	54
圖 4-2-2 導表原稿匹配組合之灰階值曲線圖.....	55
圖 4-2-3 導表複印稿之灰階值分析位置示意圖.....	56
圖 4-2-4 導表複印稿匹配組合之灰階值曲線圖.....	56
圖 4-2-5 防複印紙張效果示意圖.....	57

表目錄

表 3-2-1 研究工具.....	35
表 3-3-1 不同網點面積百分比 AM 網點之網點擴張情形面積計算示意.....	37
表 3-3-2 FM 網點之網點擴張情形面積計算示意.....	38
表 3-3-3 四分之一著墨 AM 網點與 FM 網點之網點擴張情形示意.....	39

第一章 緒論

本章節首先闡述研究背景與動機，藉此提出研究目的與問題，並針對重要名詞進行釋義，最後說明研究範圍與限制。故本章將分為四節，依序為第一節研究背景與動機、第二節研究目的與問題、第三節名詞解釋以及第四節研究範圍與限制。

第一節 研究背景與動機

隨著科技不斷發展，複印機、掃描機等複製設備已可快速且精準地複製文件。然而，偽造者也因此得以利用這些先進設備及技術複製出高品質的偽造品，使得近年來書籍及文件盜印等相關事件層出不窮，對於智慧財產權造成莫大打擊。為了防止未經授權之複製行為，許多應用於實體文件上的防偽技術也不斷發展而出，例如凹版印刷、螢光油墨、微小字及雷射雕刻等等，然而這些防偽技術不僅需要特殊設備，更需耗費高額成本，並無法真正保障一般出版書籍或公司機密文件不受非法複製行為侵權，而數位浮水印技術不須特殊設備及昂貴成本即可達到版權宣告之作用，且較能廣泛應用於小量及客製化之紙本文件，因此近年來即有顯著發展成果。

而浮水印技術主要可劃分為實體浮水印及數位浮水印兩大類，實體浮水印大部分為造紙過程中，透過紙張纖維堆積的密度來表現圖像設計，僅需將紙張透光觀察即可清楚辨識，達到快速檢驗真偽之目的 (van Renesse, 2005)。臺灣護照中所使用之玉山浮水印以及新台幣百元紙鈔上之「梅花」浮水印，即為常見之範例。而不同於實體浮水印，目前大多數的數位浮水印技術僅能應用於數位虛擬環境中，由於不需特殊技術或設備即可將資訊隱藏於數位內容中，因此成本也相對較為低廉。而部分可以應用於實體文件上之數位浮水印，大多是利用網點、網線或特殊圖案進行資訊加密，將資訊輸出並隱藏於文件底紋中，透過光學取像辨別文件真偽。

蕭佩琪、王希俊及連啟明曾於2004年提出以混合網點的概念來隱藏浮水印，首先利用遮罩將設計之圖像形成混合網點數位浮水印，接著藉由濃度匹配導表找出較佳的匹配參數，進行濃度校正，利用校正後的調幅網點(Amplitude

modulation, AM)及調頻網點(Frequency modulation, FM)·製作出人眼在正常閱讀距離下無法察覺的浮水印。將此浮水印輸出於文件上·藉由複印機或掃描機因浮水印網點結構不同所產生取樣上的差異·一旦該文件經過複印或掃描·浮水印就會立即浮現以宣示版權·並嚇阻非法偽造行為。

然而·由於 AM 調幅網點之墨點具有叢聚、密集之組成特性·而 FM 調頻網點的墨點則相對較為分散·此顯微結構的差異會造成兩者在印刷時產生不同的網點擴張率·導致 AM 網點與 FM 網點無法相互匹配·而影響浮水印隱藏品質。因此以往在製作傳統式混合網點數位浮水印時·需額外輸出濃度匹配導表·進行浮水印濃度校正·才能確保浮水印隱藏品質。

為省去輸出導表之步驟以簡化製程·並解決網點擴張情形不一致·所造成浮水印隱藏品質不穩定等問題。本研究欲提出改良式混合網點數位浮水印技術·利用填入不著墨白點之方式分散 AM 網點顯微結構·使其墨點皆為單獨排列·而與 FM 網點具有相同之顯微結構·達到平衡兩者網點擴張的效果。

第二節 研究目的與問題

本研究欲利用填入不著墨白點的方式建構改良式混合網點·以解決 AM 網點與 FM 網點輸出時·網點擴張程度不一所造成浮水印隱藏效果不穩定的問題·設計出不需進行濃度校正之改良式混合網點浮水印。本研究填入不等比例之不著墨白點·設計出傳統實心 AM 網點、四分之三著墨 AM 網點、二分之一著墨 AM 網點及四分之一著墨 AM 網點·並分別檢視四種不同著墨比例之 AM 網點與 FM 網點所產生之網點擴張情形·作為設計改良式混合網點之參考依據·接著實際輸出改良式混合網點·以檢視其平衡網點擴張的效果。最後將改良式混合網點數位浮水印與實體文件整合輸出·利用複印機驗證浮水印潛像是否能夠於複印後顯現·達到宣告文件版權之效果。

研究目的可歸納為以下三點：

- 一、利用填入不著墨白點的方式分散 AM 網點顯微結構·以平衡 AM 調幅網點及 FM 調頻網點之網點擴張情形。
- 二、利用改良式混合網點設計數位浮水印·並進行輸出實作。
- 三、檢驗改良式混合網點數位浮水印於複印後顯現的效果。

而根據以上的研究目的所衍生的研究問題為下列三點：

- 一、利用何種著墨比例之 AM 網點可與 FM 網點達到最佳的網點擴張平衡效果？
- 二、如何利用改良式混合網點製作數位浮水印，並在不同印刷條件下檢視其平衡網點擴張及隱藏效果如何？
- 三、具有改良式混合網點數位浮水印之文件在複印後，是否一樣能達到浮水印潛像於複印後顯現之效果？

第三節 名詞釋義

一、網點擴張 (Dot gain)

網點擴張是指印版和紙張上網點面積的差異，通常紙張上的網點面積會略大於印版，此種網點面積變化的情形即稱為網點擴張。網點擴張可區分為兩大類：物理性網點擴張 (Physical dot gain) 及光學性網點擴張 (Optical dot gain)。物理性網點擴張，主要發生在製版過程，不同的印墨及印刷壓力等印刷條件會產生不同之網點擴張情形；光學性網點擴張則發生在印刷和打樣過程中，由於被印材料內部反射和光線折射所產生。而本研究主要探究之網點擴張為物理性網點擴張。

二、數位浮水印 (Digital watermark)

數位浮水印技術將資訊隱藏在數位檔案中，如影片、音訊及圖像等，主要用於數位內容認證及版權保護，又可區分為兩大類：應用於數位虛擬環境中的數位影像浮水印，以及應用於真實環境中的實體影像數位浮水印。數位浮水印無法直接應用於實體文件上，必須結合半色調技術才能在實體文件上進行加密，擴充紙張防偽功能。而本研究運用半色調技術製作改良式混合網點數位浮水印，設計出可於複印後顯現之浮水印紙張，即屬於實體影像數位浮水印之範疇。

第四節 研究範圍與限制

本研究利用改良式混合網點製作數位浮水印，此技術不需進行浮水印濃度校正，即可直接輸出於實體文件。一旦文件經過複印或掃描，潛藏之浮水印圖像將立即顯現以宣示版權。因此，本研究主要針對改良式混合網點的網點擴張情形效果加以探討，並將改良式混合網點數位浮水印應用實體文件上，其色彩、紙張、複印機及掃描機之差異不屬於本研究之範圍。綜合上述，本研究之研究限制可歸納如下：

- 一、本研究主要探討之數位浮水印技術由改良式混合網點所組成。
- 二、改良式混合網點數位浮水印技術需輸出於實體文件。
- 三、本研究僅於黑白複印測試。

第二章 文獻探討

本研究以數位半色調為基礎製作改良式混合網點，並利用此改良式混合網點設計數位浮水印，將此浮水印與紙張載體整合設計，藉此擴充紙張的防偽效果及互動功能。因此本章節將針對相關的文獻進行回顧及探討。文獻探討內容一共分為四節，第一節說明半色調過網技術；第二節介紹數位浮水印技術；第三節探討混合網點技術；第四節則為文獻探討小結，將蒐集之國內外相關文獻進行彙整，以作為本研究參考及基礎架構。

第一節 半色調過網技術

半色調技術為本研究所運用之核心技術，其依照不同的過網方式，可細分為傳統半色調及數位半色調，本節將針對半色調技術及國內外相關研究進行探討。

一、半色調技術 (Halftoning)

半色調技術由美國康乃爾大學 (Cornell university) 的 Frederic E. Ives 於 19 世紀所發明。由於一般印刷設備無法使用印刷方式直接呈現連續調影像階調變化，而是需要透過控制點的著墨與否來輸出圖像。因此，此技術將連續調影像轉換成細小的印刷網點，並利用網點大小或疏密變化，模擬出連續調影像的層次。隨著印刷科技的發展，目前已有印刷技術讓印刷版能夠模擬連續階調影像的濃淡變化，但礙於品質表現及成本考量，使用半色調技術來重現連續調的階調變化仍為印刷的主流趨勢。另外，在目前影像顯示產業中，LCD 導光板的網點結構與電子紙之影像顯示也是以半色調技術作處理。

傳統類比式的半色調處理，是將網屏 (Screen) 置於原稿與底片之間，經過曝光後，依照連續調原稿的濃淡階調，於底片上形成大小不一、間距相同的網點，藉此將連續調影像過網成為半色調影像，如圖 2-1-1 所示。由於人眼具有如同低頻濾波器 (Low-pass filter) 之視覺特性 (Ulichney, 1987)，在一定的距離外觀察圖像時，能將鄰近墨點模糊化，使兩階影像看起來有連續調的感覺，達到模擬連續調影像的效果。

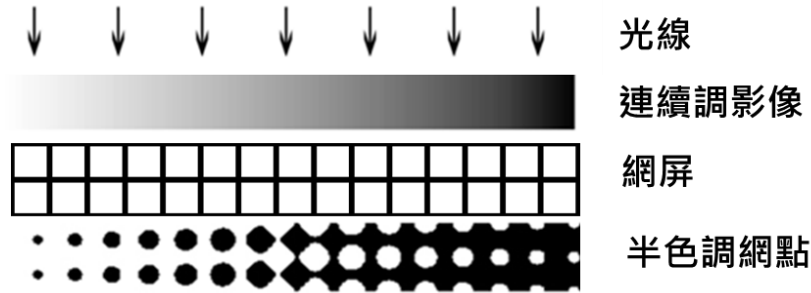


圖 2-1-1 傳統半色調過網示意圖

資料來源：研究者繪製。

二、數位半色調技術(Digital halftoning)

隨著電腦科技的日新月異，印刷流程也逐漸朝向數位化發展。過網技術亦導入數位科技的應用而漸漸取代傳統過網技術，此技術即稱作數位半色調，其主要可分為兩類：點陣調色法 (Ulichney, 1987) 及誤差擴散法 (Floyd & Steinberg, 1976)。

點陣調色法(Ordered dithering)所產生的網點稱為調幅網點或 AM(Amplitude modulation)網點，當中每一個網點(Halftone dot)的間距皆相同，透過不同大小的網點來表現影像階調變化。換句話說，AM 網點在影像顯示上出現的頻率相同，但振幅不同，其網點尺寸隨著連續調影像之階調層次而改變。AM 網點的優點在於運算速度快、網點擴張(Dot gain)情形較輕微，但較容易因為不同顏色的網屏角度，而產生肉眼可察覺的干擾紋，也就是所謂的疊紋(Moiré)，使圖像、文字難以辨識(Li, Wan & Jian, 2008)。

而誤差擴散法(Error diffusion)所形成的網點稱為調頻網點或 FM (Frequency modulation)網點，其主要特性為網點尺寸皆相同，利用不同的網點間距來呈現連續調影像之階調變化。也就是說，FM 網點在影像顯示上出現的頻率不定，但振幅固定，因此所形成的半色調影像利用網點的疏密程度來表現影像階調。由於誤差擴散法所形成的網點是以像素為基本單位，提高了半色調網點所能顯示影像之空間解析度，也較少有疊紋情形的產生，因此所形成的半色調影像較為細緻。然而受到網點擴張的影響，其輸出影像在亮部區域表現較佳，暗部區域則表現較差。圖 2-1-2 為一連續調影像及兩種類型網點所形成的半色調影像示意圖。



(a)



(b)



(c)

圖 2-1-2 連續調影像及不同網點結構的半色調影像(a)連續調影像；(b)AM 網點；
(c)FM 網點

資料來源：研究者運算。

由於本研究需要調整 AM 網點之顯微結構，並將其與 FM 網點合成製作為改良式混合網點，故兩種網點的位置與網屏角度都需要經過精密設計，以下將進一步針對數位半色調技術的演算方法進行探討。

(一) 點陣調色法 (Ordered dithering)

點陣調色法主要透過臨界值矩陣與連續調原稿進行比對，將個別像素轉換為帶有資訊 1 或 0 的網點，以指引印刷機的著墨與否，藉此將連續調原稿轉變為半色調影像，如圖 2-1-3 所示。其演算過程首先依照對應的臨界值矩陣，將連續調原稿劃分成數個與臨界值矩陣相同尺寸的不重疊連續區塊，再以臨界值矩陣對影像區塊進行半色調處理；其中臨界值矩陣可以依實際輸出的大小和排列方式作調整，不同的矩陣大小和排列方式會分別得到不同的網點角度以及網點尺寸。

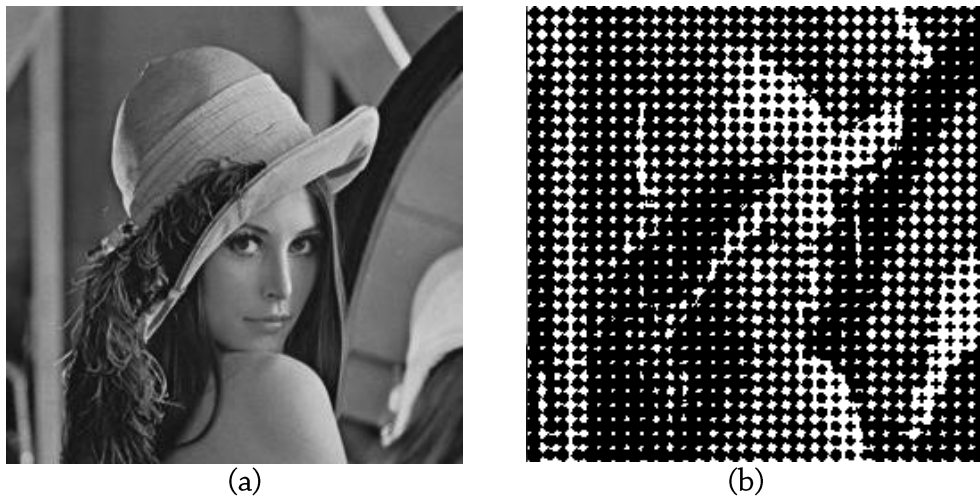


圖 2-1-3 點陣調色法(a)原始連續調影像；(b)AM 半色調影像

資料來源：研究者運算。

點陣調色法之演算方式如下，首先將原灰階影像 $G(i,j)$ ，透過方程式 2-1-1 將原灰階值量化成臨界值矩陣的階調數值 $X(m,n)$ ，其中 N_1 與 N_2 代表臨界值矩陣的長和寬。

$$X(m,n) = N_1 \times N_2 \times \left(1 - \frac{G(i,j)}{255}\right) \quad (2-1-1)$$

得到臨界值矩陣的階調數值 $X(m,n)$ 後，再透過方程式 2-1-2 完成過網的動作，其中 $H(i,j)$ 是過網轉換後獲得兩階影像之個別像素位置，以 1 表示不著墨白點，0 表示著墨黑點。

$$H(i,j) = \begin{cases} 1 & \text{When } X(m,n) \geq T(i,j) \\ 0 & \text{When } X(m,n) < T(i,j) \end{cases} \quad (2-1-2)$$

$T(i,j)$ 是臨界值矩陣數值，在方程式 2-1-3 中， k_1 及 k_2 皆為正整數。

$$T(i,j) = T(i+k_1 \times N_1, j+k_2 \times N_2) \quad (2-1-3)$$

以網屏角度 0 度角的 8x8 臨界值矩陣為例，一共有 64 格區域，如圖 2-1-4(a)。當影像進行半色調過網時，先將影像劃分成以 8x8 為單位的子區塊，每個子區塊都有 64 個像素點，假使得到的階調數值為 29，即依照矩陣內的數值順序來著墨，最後共有 29 個位置為著墨黑點，如圖 2-1-4(b)所示。

61	53	41	33	37	52	60	64
57	45	25	13	17	32	48	56
49	29	21	05	09	24	28	44
39	19	11	01	03	08	16	36
35	15	07	04	02	12	20	40
43	27	23	10	06	22	30	50
55	47	31	18	14	26	46	58
63	59	51	38	34	42	54	62

(a)

61	53	41	33	37	52	60	64
57	45	25	13	17	32	48	56
49	29	21	05	09	24	28	44
39	19	11	01	03	08	16	36
35	15	07	04	02	12	20	40
43	27	23	10	06	22	30	50
55	47	31	18	14	26	46	58
63	59	51	38	34	42	54	62

(b)

圖 2-1-4 臨界值矩陣示意圖(a)8x8 臨界值矩陣；(b) 階調數值為 29 之矩陣

資料來源：研究者繪製。

由於不同的臨界值矩陣會影響網點形狀及排列方式，因此臨界值矩陣對於網點的形成十分重要，依照臨界值矩陣不同的設計方式可再細分叢聚式(Clustered dithering)及分散式(Dispersed dithering)。叢聚式的臨界值大多呈規律性排列方式，且其權重的設計由中間向外擴展，而分散式的臨界值矩陣則為隨機式的分散排列，其像素點則是獨立產生，沒有特別的規律性。叢聚點陣法其優點為網點形式較為穩定且針對網點擴張有較好的控制，對於固定階調的影像表現效果較佳，但缺點是較容易發生疊紋(Moiré)現象，且所產生的半色調影像細部資訊耗損較大，造成部分空間解析度的喪失；而分散式的點陣調色法，雖然能產生較好的影像品質，然而由於印表機無法輸出完美的方正墨點，容易有網點擴張(Dot gain)的情形發生(Li, Wan & Jian, 2008)。兩種類型的臨界值矩陣及所得之半色調影像如圖 2-1-5 及圖 2-1-6 所示。

36	48	41	33	30	15	24	31
43	59	57	54	22	07	08	11
51	63	62	46	14	02	03	19
40	47	55	38	26	18	10	27
29	16	23	32	35	50	42	34
21	05	06	12	44	60	58	53
13	01	04	20	52	64	61	45
25	17	09	28	39	49	56	37

(a)



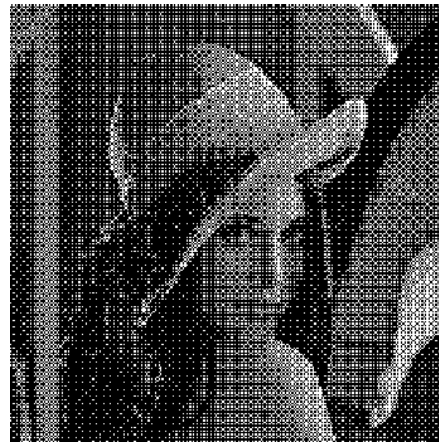
(b)

圖 2-1-5 點陣調色法之叢聚式臨界值矩陣 (a)臨界值矩陣；(b) 所得之半色調影像

資料來源：研究者繪製。

01	33	09	41	03	35	11	43
49	17	57	25	51	19	59	27
13	45	05	37	15	47	07	39
61	29	53	21	63	31	55	23
04	36	12	44	02	34	10	42
52	20	60	28	50	18	58	26
16	48	08	40	14	46	06	38
64	32	56	24	62	30	54	22

(a)



(b)

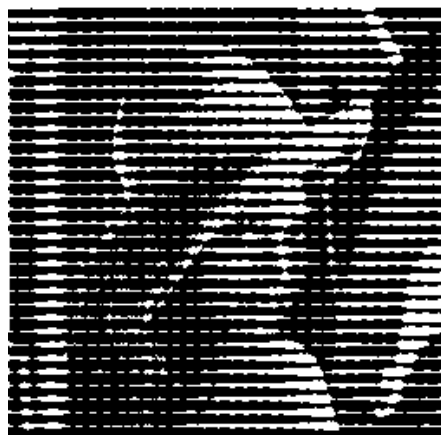
圖 2-1-6 點陣調色法之分散式臨界值矩陣 (a)臨界值矩陣；(b) 所得之半色調影像

資料來源：研究者繪製。

叢聚式臨界值矩陣有多種不同的網點排列方式，如水平式的矩陣即是將網點呈水平方式排列，如圖 2-1-7；至於垂直式的矩陣值則將網點呈垂直方式排列，如圖 2-1-8。

64	62	60	58	57	59	61	63
48	46	44	42	41	43	45	47
31	29	26	25	27	28	30	32
16	14	12	10	09	11	13	15
07	05	03	01	02	04	06	08
23	21	19	17	18	20	22	24
40	38	36	34	33	35	37	39
56	54	52	50	49	51	53	55

(a)



(b)

圖 2-1-7 水平式臨界值矩陣示意圖 (a) 水平式臨界值矩陣；(b) 所得之半色調影像

資料來源：研究者繪製及運算。

64	48	31	16	08	24	40	56
62	46	29	14	06	22	38	54
60	44	28	12	04	20	36	52
58	42	26	10	02	18	34	50
57	41	25	09	01	17	33	49
59	43	27	11	03	19	35	51
61	45	30	13	05	21	37	53
63	47	32	15	07	23	39	55

(a)



(b)

圖 2-1-8 垂直式臨界值矩陣示意圖 (a) 垂直式臨界值矩陣；(b) 所得之半色調影像

資料來源：研究者繪製及運算。

另外還有斜向式的矩陣值是以左斜或是右斜的方式來呈現網點結構，如圖 2-1-9 及圖 2-1-10 所示。

64	61	56	49	41	29	17	02
62	58	51	44	32	19	08	10
57	52	42	34	21	04	13	23
50	43	31	18	06	15	26	35
40	33	22	03	11	28	39	45
30	20	07	14	25	37	47	53
16	05	12	27	38	48	55	59
01	09	24	36	46	54	60	63

(a)



(b)

圖 2-1-9 右斜式臨界值矩陣示意圖 (a) 右斜式臨界值矩陣 ;(b) 所得之半色調影像

資料來源：研究者繪製及運算。

01	16	30	40	49	56	61	64
10	04	19	32	43	51	58	62
23	13	06	21	33	42	52	57
35	27	15	03	18	31	44	50
45	39	25	11	08	22	34	41
53	47	37	28	14	07	20	29
59	55	48	38	26	12	05	17
63	60	54	46	36	24	09	02

(a)



(b)

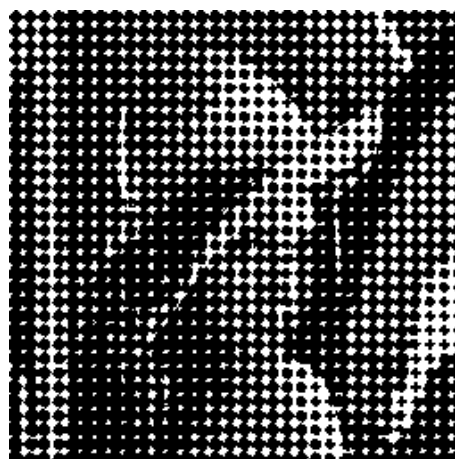
圖 2-1-10 左斜式臨界值矩陣示意圖 (a) 左斜式臨界值矩陣 ;(b) 所得之半色調影像

資料來源：研究者繪製及運算。

事實上，不同的網屏角度會產生人眼視覺觀感上的差異，例如比較網屏角度 0 度（如圖 2-1-11）與網屏角度 45 度（如圖 2-1-12）所產生的影像時，會因為人眼視覺系統對於網屏角度 0 度角較為敏銳，在觀看時較容易察覺網點及網屏角度的存在，而影響影像品質；相較之下，網屏角度 45 度角的網點較不易被人眼察覺，能呈現較佳的影像品質，因此目前印刷業界大多採用網屏角度 45 度的臨界值矩陣來形成半色調影像。

61	53	41	33	37	52	60	64
57	45	25	13	17	32	48	56
49	29	21	05	09	24	28	44
39	19	11	01	03	08	16	36
35	15	07	04	02	12	20	40
43	27	23	10	06	22	30	50
55	47	31	18	14	26	46	58
63	59	51	38	34	42	54	62

(a)



(b)

圖 2-1-11 網屏角度 0 度之臨界值矩陣示意圖 (a) 網屏角度 0 度臨界值矩陣；(b) 所得之半色調影像

資料來源：研究者繪製及運算。

64	62	52	33	32	30	24	22
58	60	50	35	14	06	12	20
56	54	46	37	08	02	04	26
42	40	38	36	16	10	18	28
39	27	23	21	34	39	41	43
13	05	11	19	44	48	49	51
07	01	03	25	45	55	59	57
15	09	17	31	47	53	61	63

(a)



(b)

圖 2-1-12 網屏角度 45 度之臨界值矩陣示意圖 (a) 網屏角度 45 度臨界值矩陣；(b) 所得之半色調影像

資料來源：研究者運算。

點陣調色法能快速將連續調影像轉為半色調影像，但由於此方式利用不同網點尺寸來模擬連續調影像的階調變化，容易造成空間解析度的折損，若需要較高的影像品質時，則可使用誤差擴散法。

(二) 誤差擴散法(Error diffusion)

誤差擴散法由 Robert Floyd 及 Louis Steinberg 於 1976 年所提出，因此又稱為 Floyd-Steinberg Error Diffusion(FSED)，大部分的 FM 調頻網點都是藉由此演算法所形成，其所產生的半色調影像如圖 2-1-13 所示。



圖 2-1-13 誤差擴散法(a)原始連續調影像；(b)FM 半色調影像

資料來源：(a)

<http://www.dca.fee.unicamp.br/~lotufo/Courses/ia-636-1995/alberto/proj5/html/front-page.html>；(b)研究者運算。

誤差擴散法之演算概念是將影像在兩階化過程中所產生的誤差，由最左上角的像素開始擴散至鄰近尚未兩階化的像素點上，而其他吸收誤差且尚未兩階化的像素點再繼續執行誤差擴散直至最後一個像素點為止。誤差擴散法的演算架構如圖 2-1-14 所示，當輸入原稿連續調影像 G 的灰階值後，與臨界值 $Threshold$ 進行比對，比對結果得到一個兩階數值 H 及其與 G 的誤差 E ，將誤差經過誤差濾鏡擴散至鄰近像素 E' ，完成該像素之兩階化運算，以此類推，直到整張影像運算完畢。

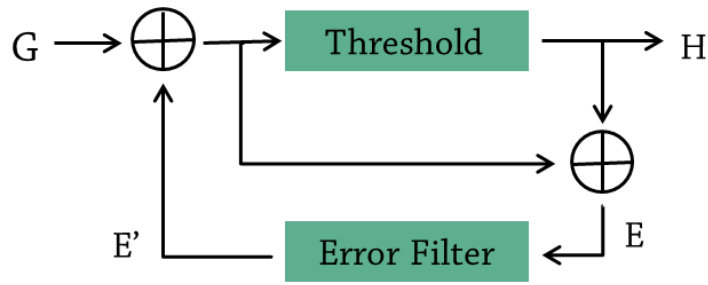


圖 2-1-14 誤差擴散法的演算架構圖

資料來源：研究者繪製。

其演算法可以透過方程式 2-1-4 來表示。

$$H(i, j) = \begin{cases} 1 & \text{When } G(i, j) \geq T \\ 0 & \text{When } G(i, j) < T \end{cases} \quad (2-1-4)$$

當像素點經過臨界值的比較，決定成為著墨黑點或不著墨白點後，所產生的誤差必須經方程式(2-1-5)計算後的權重進行擴散，每個像素皆需進行演算，因此影像表現也較為細膩。

$$\frac{1}{16} \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & -16 & 7 \\ 3 & 5 & 1 \end{bmatrix} \quad (2-1-5)$$

兩階化的演算次序自影像左上方像素開始，以蛇行方式往右方依序處理，重複的進行誤差演算，並將其誤差擴散到鄰近且尚未執行演算的像素上，如圖 2-1-15 所示。

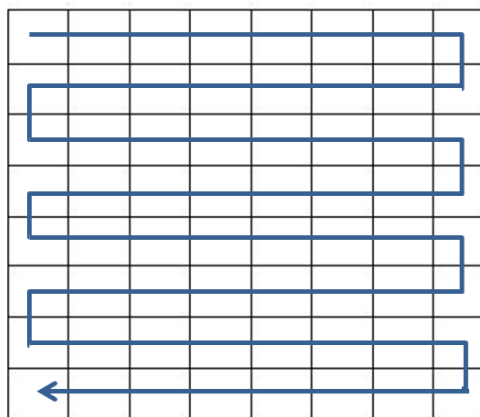


圖 2-1-15 誤差擴散法進行兩階化之處理方向(Floyd & Steinberg, 1976)

資料來源：研究者繪製。

由於 Floyd & Steinberg 所提出之 FSED，其特點是將誤差向下方及行進方向擴散，因此若放大所得影像仔細觀察時，會發現常有重複圖形或線段的產生，也就是所謂的斑蟲紋路(Worm)。因此 1997 年有學者 Katsavounidis 及 Kuo 提出多層式誤差擴散法 MSED(Multi-scale error diffusion)，將兩階化演算次序調整為隨原稿特性不同而改變，採用最大強度法則，也就是自影像的深色處開始兩階化，並將誤差平均以各方向擴散至相鄰像素。因此觀察其所形成之兩階化影像，不論在邊界的銳利度或平緩區域的自然散布性，均有較佳的呈現，如圖 2-1-16 所示。

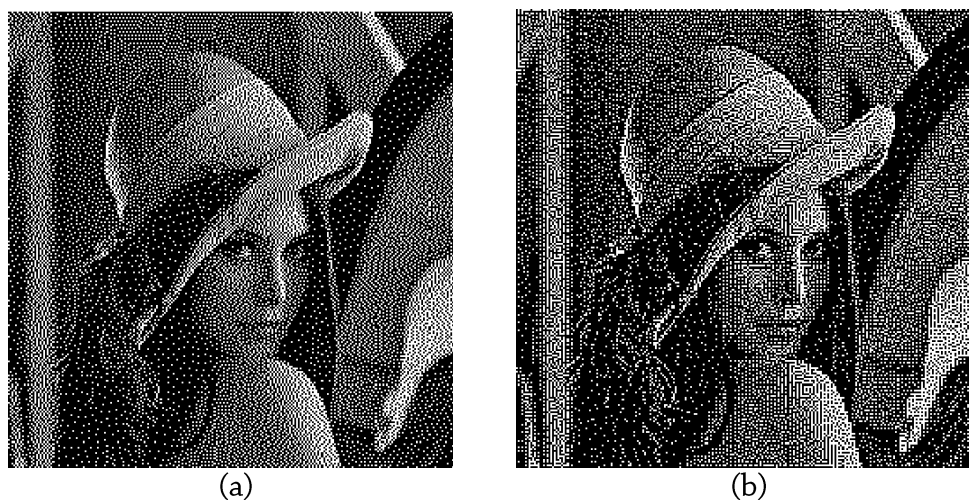


圖 2-1-16 利用誤差擴散法所得之半色調影像(a)FSED 所得之半色調影像；
(b)MSED 所得之半色調影像

資料來源：研究者運算。

第二節 數位浮水印技術

數位浮水印技術主要用來宣告版權及保護智慧財產所有權，可大致區分為兩大類，分別為數位虛擬環境中的數位影像浮水印，以及應用於真實環境中的實體影像數位浮水印，本節將依序介紹這兩種數位浮水印之相關技術及研究。

一、數位浮水印技術

浮水印技術最早是的使用在鈔券等有價證卷或安全文件的紙張中作為防偽機制，隨著數位化時代的轉變，數位浮水印技術開始應用在數位檔案的版權保護及內容認證機制，因此浮水印技術可大致區分為實體浮水印技術與數位浮水印技術。實體浮水印大部分於抄紙過程中，透過纖維的堆積而直接嵌入於紙張上，透光觀察即可讓使用者於第一時間辨別真偽，主要使用於第一線防偽。而數位浮水印技術則是將資訊隱藏在數位檔案中，如影片、音訊及圖像等，藉此達到宣告版權的目的。數位浮水印不僅具防偽功能，更可擷取其中隱藏的資訊，進而追溯回原出處，達到版權保護的效果，但缺點為浮水印會因為影像處理或是傳輸的過程中，容易遭受線性與非線性的攻擊，像是裁切、模糊、旋轉、平移、縮放及雜訊等(Song et al., 2010)，而影響浮水印的功能。數位影像浮水印在製作方法上可再區分為兩大類：空間域(Spatial domain)與頻率域(Frequency domain)。

1990年，E. H. Adelson 提出 LSB(Least-significant bit)最低位元法，由於人眼對於低位元較不敏感，因此將隱藏資訊嵌入最低位元區域，可使加密影像較不易被察覺，如圖 2-2-1 所示，此方法即為一種空間域的不可見浮水印。在讀取隱藏資訊時只需要找出所嵌入的位元，即可還原隱藏的資訊內容，然而 LSB 最低位元法的缺點是資訊在經由轉換、壓縮或是切割後，所藏入的資訊即有可能在過程中被破壞。

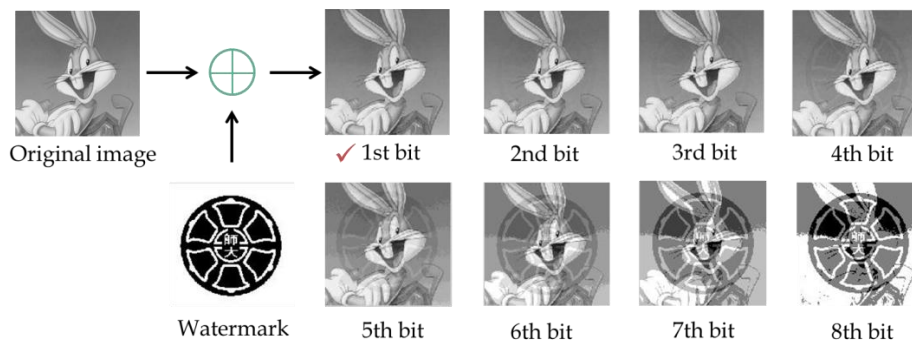


圖 2-2-1 LSB 最低位元法示意圖

資料來源：研究者運算。

而頻率域則是利用轉換技術將資訊藏入檔案，其方法是將要隱藏的資訊加到頻率域的係數中，由運算公式的轉換讓浮水印散置在影像之中，達到隱藏的效果，而讀取時需要將檔案轉為空間域才可還原所藏入的資訊，故須較長的運算時間，但其抵抗破壞的能力也較佳，例如傅立葉轉換(Fourier transformation)、離散餘弦轉換(Discrete cosine transformation)及小波轉換(Wavelet transformation)等方式。

2010年，學者 Chavan 等人提出一種新的演算技術，將彩色的數位浮水印嵌入彩色影像當中。利用此技術可有效地保護數位檔案，並降低影像雜訊，使加密影像具有較高的 PSNR (Peak signal to noise ratio) 值，如圖 2-2-2 所示。

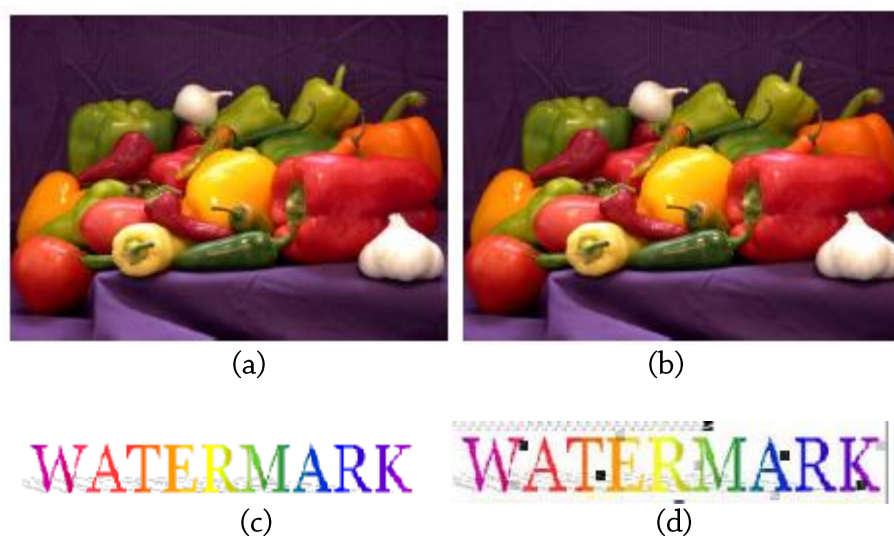


圖 2-2-2 應用於頻率域之數位浮水印效果示意圖 (a) 原始彩色影像 ; (b) 加密後之影像 ; (c) 原始浮水印圖像 ; (d) 由加密影像中還原之浮水印圖像

資料來源： Chavan, S., Shah, R., Poojary, R., Jose, J., & George, G., (2010, October). *A novel robust colour watermarking scheme for colour watermark images in frequency domain*. Paper presented at International Conference on Advances in Recent Technologies in Communication and Computing, Kottayam, India, 96-100. doi: 10.1109/ARTCom.2010.11

由於數位浮水印技術無法直接應用於實體文件上，因此需要結合印刷輸出流程才能將數位浮水印應用於實體文件的防偽機制中，達到實體文件的防偽功能，其中以半色調技術為主的防偽機制最為常見，因此以下將介紹以數位半色調技術為基礎之實體影像浮水印相關技術。

二、以數位半色調為基礎的實體影像浮水印相關技術

圖像防偽的應用相當廣泛，在日常生活中處處可見，例如郵票、鈔票、有價證券等，其目的都是在進行版權保護及有效性的認證方式(van Renesse,1997)。由於實體數位浮水印在真實環境中進行資訊加密，因此需考量較多變數，例如人眼的察覺能力、機器的判別能力與印刷的輸出條件等等，故其藏密技術也較為複雜。在實體數位浮水印的應用中，有許多利用半色調影像來隱藏資訊的相關研究，在半色調演算法過程中藏入資訊，並以改變網點的排列方向、位置及形狀等不同方式作為隱藏資訊的技術，以下將介紹常見的實體影像浮水印相關研究。

(一) 區塊加密技術

麻省理工學院媒體實驗室 (MIT media lab) Bender 等人於 1996 年提出區塊加密 (Patchwork) 技術，其原理是在影像中某一區域以隨機亂數的方式取出多個像素，並將這些像素採兩兩一組計算得到差值，最後分別加減同一個灰階值，得到每個像素配對之差值，利用統計的特性隱藏一個 bit 的資料，如圖 2-2-3。但 Patchwork 技術所能隱藏的資料量太少，截取者收集到多張相同大小，並以相同 key 值加密的圖形，就很容易偵測到是否有加密，且 Patchwork 技術加密之方法對於裁切較無抵抗能力。此加密方法雖可在列印與掃描的處理程序中保留加密資訊，但隱藏訊息量有限，因此需調整區塊之大小才能運用於實體影像。



圖 2-2-3 Patchwork 加密方式示意圖

資料來源：Bender, W., Gruhl, D., Morimoto, N., & Lu, A. (1996). Techniques for data hiding. *IBM System Journal*, 35(3&4), 313–336. doi: 10.1147/sj.353.0313

1999 年，Gruhl 及 Bender 協助美國財政部設計鈔券之防偽機制，利用 Patch track 及 Tartan thread 技術達到紙鈔防偽功能，如圖 2-2-4 所示。

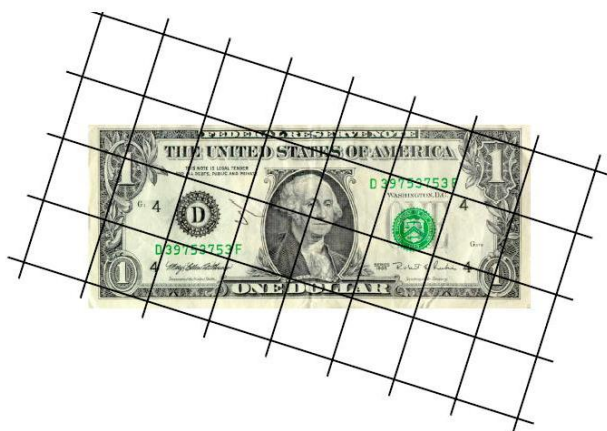


圖 2-2-4 Patch Track 加密示意圖

資料來源：Gruhl, D., & Bender, W. (1998, April). *Information hiding to foil the casual counterfeiter*. Paper presented at Second International Workshop, Portland, Oregon, USA, 1-15. doi: 10.1007/3-540-49380-8_1

(二) 斜向網點加密技術

1994 年 Xerox Palo Alto Research Center 的學者 David L. Hecht 提出斜向網點加密 (Glyph code) 技術，把 45 度的臨界值矩陣以垂直中線作水平翻轉，形成左斜網點和右斜網點，以左斜之網點代表 1，右斜網點代表 0，利用不同斜向的網點隱藏資訊。所形成之半色調影像利用左斜及右斜不同尺寸的網點呈現影像階調，並將資訊隱藏於圖像中。影像在一般距離下以人眼觀看並無特別之處，而從局部放大圖中則可看到不同斜向的網點微結構，如圖 2-2-5 所示。



圖 2-2-5 Glyph code 網點微結構示意圖

資料來源：Hecht, D. L. (1994). Embedded data glyph technology for hardcopy digital documents. *Proceedings of the SPIE Color Hard Copy and Graphic Arts III*, 2171(1), 341-352. doi: 10.1117/12.175304

(三) 網點位移技術

網點位移技術(Dot shifting)是 Alfred V. Alasia 於 1976 年所提出，此方法在實體影像中隱藏資訊，需藉由光學解碼器才能解讀隱藏的訊息內容。其原理是利用人眼僅能察覺到光線透過柱狀凸透鏡聚焦的影像部分，而無法察覺光線未聚焦的影像，因此將欲進行資訊加密的影像偏移半條網線後，必須經由柱狀凸透鏡觀測使光線產生偏折才能還原加密圖像，圖 2-2-6 為柱狀凸透鏡之光學原理示意圖。

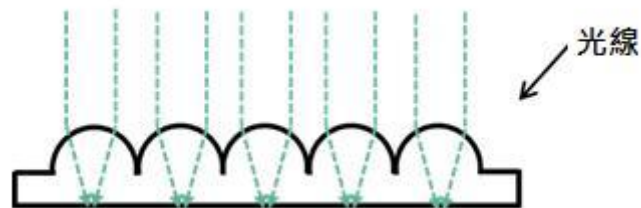


圖 2-2-6 柱狀凸透鏡光學成像原理示意圖

資料來源：研究者繪製。

Alasia 所屬公司 Graphic Security Systems 於 1997 至 2004 年間，將上述專利技術授權美國郵政公司 (United states postal service) 印製郵票。圖 2-2-7 為第一套運用 Dot shifting 技術所設計之美國空軍紀念郵票。在人眼正常觀測下並無法察覺其加密影像，須經由覆蓋光學解碼器才可讀出隱藏之「USAF」字樣浮水印。



(a)



(b)

圖 2-2-7 網點位移加密郵票 (a) 為人眼觀測影像 ; (b) 為光柵解密影像

資料來源：

<https://sites.google.com/site/stamphiddenimages/Home/stamp-images/stamp-images-decoded>

2004 年由 Sharma 與 Wang 所提出的正反套印之網點位移，其原理是利用紙張正面與反面交錯的網點位置隱藏資訊。由於透光觀察時，正面與反面的網點位置重疊的位置可顯現階調亮部區域，而正面與反面錯開的網點位置，可形成階調

暗部區域，利用此原理設計出浮水印加密資訊，如圖 2-2-8 所示。

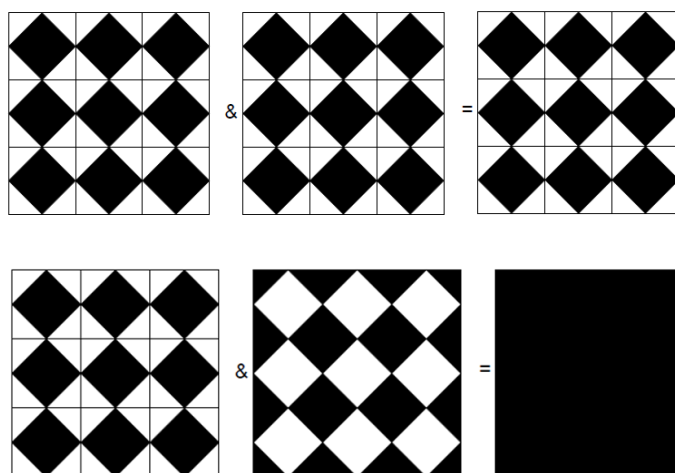


圖 2-2-8 正反套印之網點位移原理示意圖

資料來源：Sharma, G., & Wang, S. (2004). Show-through watermarking of duplex printed documents. *Proceedings of the SPIE International Conference on Security, Steganography, and Watermarking of Multimedia Contents VI*, 5306, 670-684. doi: 10.1117/12.525550

利用紙張正反兩面的網點位置進行資訊加密，此浮水印於紙張單面單獨觀看時並無法察覺。然而將紙張透光觀察時，使印製於紙張兩面的交錯浮水印產生疊加效果，才能解讀出隱藏的浮水印內容，如圖 2-2-9 所示。

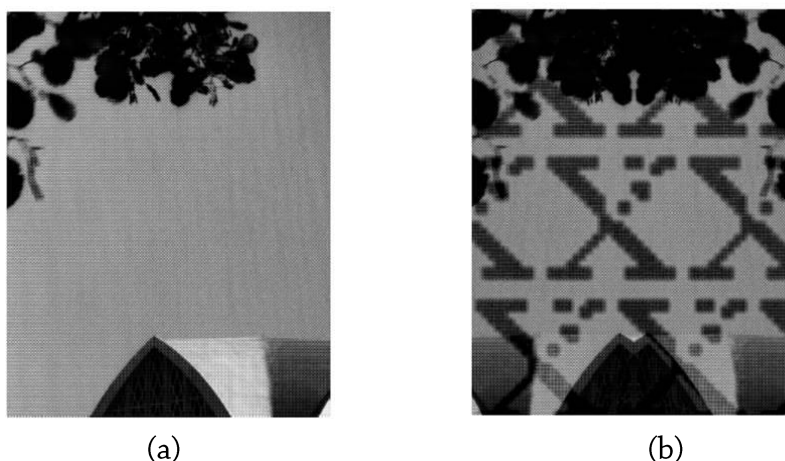


圖 2-2-9 浮水印顯現示意圖(a) 原始加密影像；(b) 透光觀察使浮水印顯現

資料來源：Sharma, G., & Wang, S. (2004). Show-through watermarking of duplex printed documents. *Proceedings of the SPIE International Conference on Security, Steganography, and Watermarking of Multimedia Contents VI*, 5306, 670-684. doi: 10.1117/12.525550

(四) 微結構及網線加密技術

2002 年 George K. Phillips 改變局部區塊網點形狀、網點尺寸，利用微小字、微小圖案這類型細小的微結構取代網點，進行資訊加密。這些隱藏於文件內的微結構訊息，人眼在正常閱讀距離下無法察覺，由於複印機器無法真實複製並還原其微結構，使原先隱藏資訊的微小字在複印後呈現模糊直線，利用此效果達到加密的目的並宣告版權，如圖 2-2-10 所示。



圖 2-2-10 微結構防偽示意圖(a)原始加密圖像；(b)複印後之圖像變化

資料來源：Phillips, G. K. (2002). Combining nanocharacter printing, digital watermarking and uv coded taggents for optimal machine-readable security. *Proceedings of the SPIE Conference on Optical Security and Counterfeit Deterrence Techniques IV*, 4677(1), 150-158. doi: 10.1117/12.462707

2004 年 Shimada 提出防複印線條技術，此技術藉由改變線條的微結構建立兩種線段，第一種為網點較大的分支線段(Branched lines)，第二種則為網點較小的分段線段(Divided lines)，此微結構差異在正常距離觀察下無法察覺，然而複印後，由於分段線段網點較小，使複印機無法完整複製其微結構而造成反白效果，其微結構如圖 2-2-11 所示。

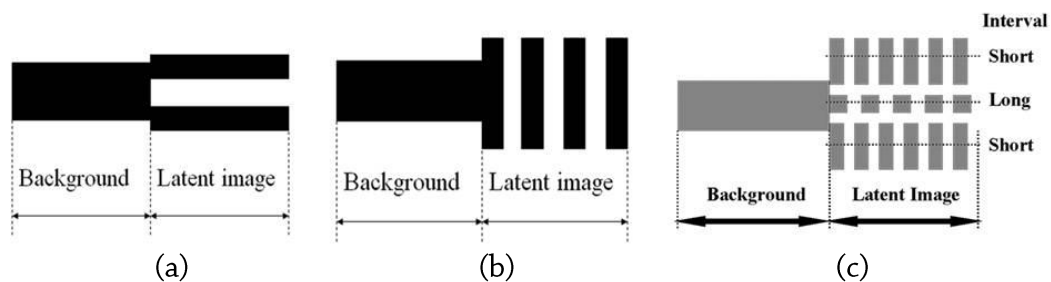


圖 2-2-11 改變線條之微結構示意圖(a)分支微結構；(b)分段微結構；(c)結合分支微結構與分段微結構

資料來源：Shimada, K. (2004). Microstructural lines involving luminescence. *Proceedings of the SPIE Optical Security and Counterfeit Deterrence Techniques V*, 5310, 125-132. doi: 10.1117/12.526182

此防複印線條技術也廣泛應用於日本的防偽文件中，例如日本國立印刷局所印製之入境許可，如圖 2-2-12 所示。



圖 2-2-12 日本入境許可之防偽機制(a)簽證原稿；(b)複印後之影像；(c)浮水印微結構

資料來源：王希俊拍攝。

(五) 結合誤差擴散法之資訊隱藏技術

香港科技大學(Hong Kong university of science and technology)的 Oscar C. Au 與 Ming Sun Fu 兩位學者於 2002 年提出 DHST(Data hiding by self-toggling)、DHPT(Data hiding by pair-toggling)及 DHSPT(Data hiding by smart pair toggling)三種半色調影像資訊隱藏技術。DHST 技術是採用隨機亂數(Pseudo-random)的方式找出隨機位置，並將欲隱藏的訊息逐一嵌入。當一個位元嵌入隨機位置時，像素值則改為 0 或 255。由於被嵌入的位置自身像素值需要被改變，因此稱之為 Self-toggling。DHST 的優點是概念簡單，不須複雜的計算過程，但缺點是嵌入後的影像會產生許多的影像雜訊，亦即 Salt and pepper 效應，而影響視覺品質。而 DHPT 除了修改嵌入位置的像素值外，若在嵌入後像素值產生變化，則在周圍鄰近的 3×3 區域範圍內再修改另一個像素值，達到區域強度值維持不變。然而 DHPT 雖然考慮到區域的強度值，卻仍然會產生影像雜訊點。另外，DHSPT 則是結合 DHST 與 DHPT 技術的優勢，進一步將 DHPT 鄰近的八個像素經運算後，選擇影響影像品質最小的像素進行加密的動作，三種技術的加密效果如圖 2-2-13 所示。

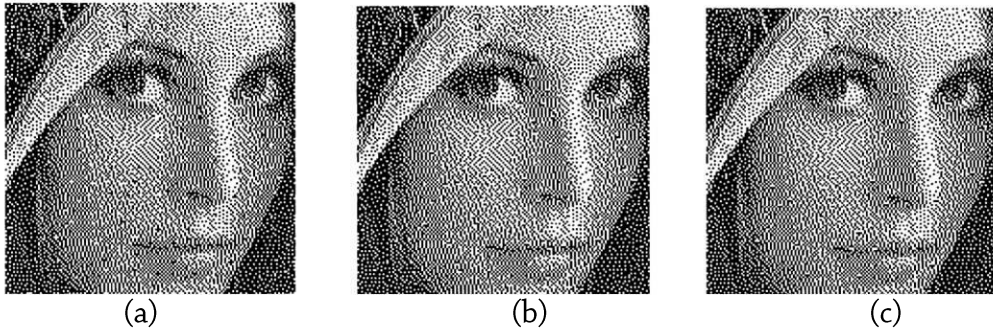


圖 2-2-13 半色調影像資訊加密效果(a) DHST 加密 ; (b) DHPT 加密 ; (c) DHSPT 加密

資料來源：Fu, M. S., & Au, O. C. (2002). Data hiding watermarking for halftone images. *IEEE Transaction on Image Processing*, 11(4), 477-484. doi: 10.1109/TIP.2002.999680

DHED(Data hiding error diffusion)與 MDHED(Modified data hiding error diffusion)是在影像進行誤差擴散法的同時，判斷正在處理的像素是否為資訊隱藏的位置，當欲隱藏的資訊為 1 時，該像素則被指定為 1，反之，當欲隱藏的資訊為 0 時，該像素即被指定為 0。接著將資訊隱藏的誤差加上過網的誤差擴散至後方像素，使影像在過網的同時完成資訊加密。由於 DHED 技術讓誤差集中於後方像素，無法將誤差值平均擴散，因此 MDHED 改良 DHED 的方法，使影像在過網時，預先將資訊藏入指定位置，而對隱藏資訊的位置不作半色調處理，讓其他非資訊隱藏區的誤差值擴散至鄰近未過網的像素，如此可讓資訊隱藏的階調不會受到過網的影響，而大幅改善了影像雜訊的情形(Fu & Au, 2002)，示意圖如圖 2-2-14。然而，由於此技術僅能應用於解析度 150dpi 之影像，較無法滿足人眼視覺系統，而侷限此技術於商業應用之發展。

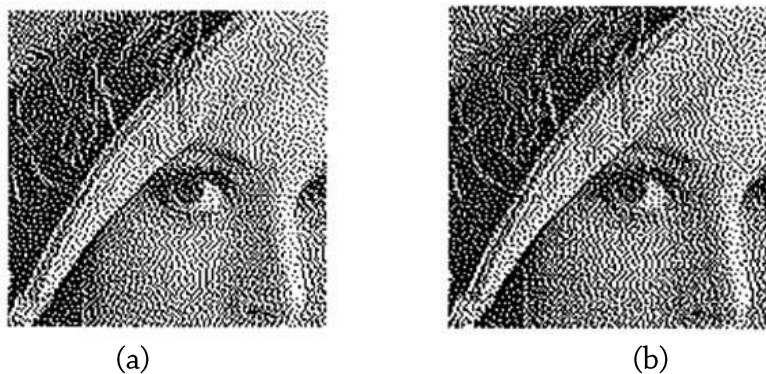


圖 2-2-14 半色調影像資訊加密效果(a)DHED 加密 ; (b)MDHED 加密

資料來源：Fu, M. S., & Au, O. C. (2002). Data hiding watermarking for halftone images. *IEEE Transaction on Image Processing*, 11(4), 477-484. doi: 10.1109/TIP.2002.999680

第三節 混合網點技術

混合網點技術結合調幅網點及調頻網點之優勢，提升圖像輸出品質。本節將分為兩個部分，依序介紹混合網點技術及相關研究，並針對混合網點技術應用於數位浮水印之相關研究進行探討。

一、混合網點技術(Hybrid screening)

同時使用 AM 網點及 FM 網點來顯示一張影像，稱為混合網點或複合網點，此技術即為混合半色調，如圖 2-3-1。由於 AM 網點在亮部區域的解析度較差，FM 網點在亮部區域的解析度可彌補 AM 網點的缺點；此外，誤差擴散法雖然可以產生空間解析度較高的半色調影像，但 FM 網點的網點擴張情形較 AM 網點嚴重，影響圖像階調的表現品質，而點陣調色法又較能保持整體影像的階調層次，因此適當地使用混合網點，將可綜合兩種技術之優勢，達到較佳之圖像輸出品質。

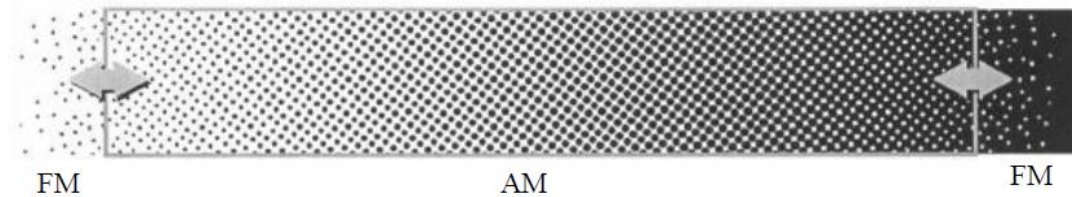


圖 2-3-1 混合網點示意圖

資料來源：Boonprasisit, W. (2006). *A study of producing smoother gradients in the flexographic process on oriented polypropylene with UV ink by varying screening techniques, gradient lengths and the surrounding* (Unpublished doctoral dissertation). Rochester Institute of Technology, New York, USA.

過去曾有研究者將混合網點技術應用於遙測影像 (Remote sensing images) 輸出。相較於一般影像，遙測影像涵蓋更多影像訊息，尤其在具豐富細微紋理的區域，含有許多重要的數據資料，而輸出影像所產生的誤差將導致相關遙測資訊的遺失，因此遙測影像更需注意輸出影像的真實度。此研究採用主觀評估方式比較 AM 網點、FM 網點及混合網點三種過網技術輸出之遙測影像，證實以混合網點所輸出之影像擁有較高的影像品質，如圖 2-3-2 所示。

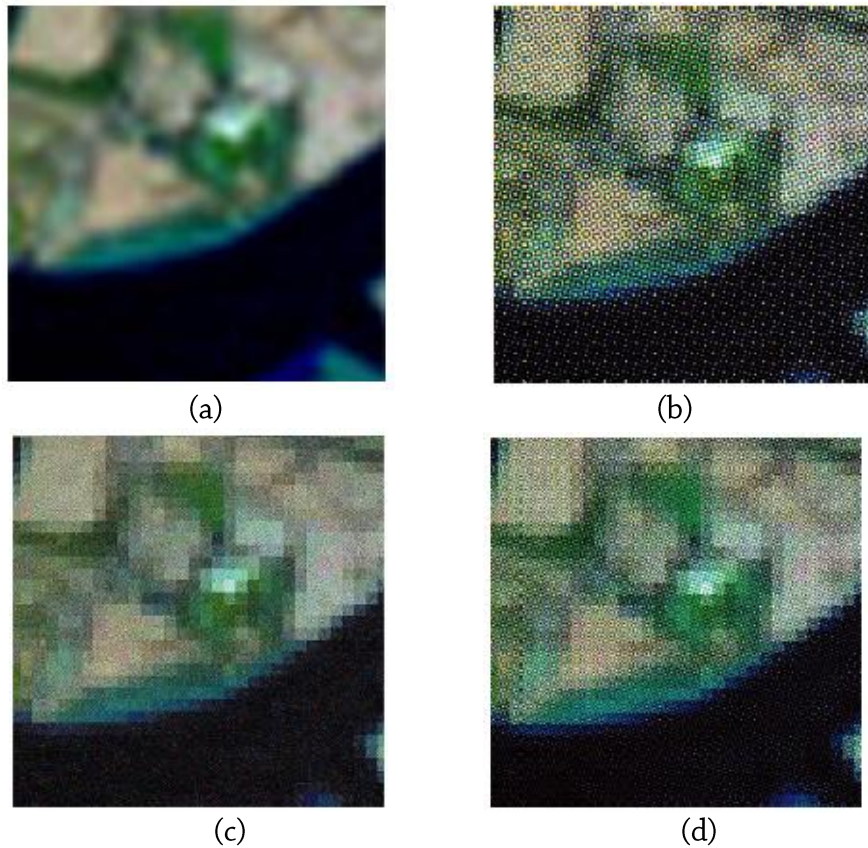


圖 2-3-2 遙測影像示意圖 (a) 為連續調影像 ; (b) 為 AM 網點影像 ; (c) 為 FM 網點影像 ; (d) 為混合網點影像

資料來源: Li, W., Wan, X. X., & Jian, L. (2008). Digital halftoning and the application to remote sensing images. in proc. 2008 International Conference on Computer Science and Software Engineering, Wuhan, Hubei, China, 137-140. doi: 10.1109/CSSE.2008.1317

2012 年亦有研究者 Tharayil 等人採用混合網點技術製作視覺密碼 (Visual cryptography)。視覺密碼為影像加密的一種方式，其最大的特色在於不需要複雜的計算過程，主要將機密影像分解成數個分享影像 (Share images) 進行影像加密。解密時僅需利用人類視覺系統將分享影像進行疊加，即可將機密訊息解讀出來。而相較誤差擴散法，使用混合網點技術所得之半色調影像具有較高的影像清晰度，並可大幅地降低誤差。圖 2-3-3(a) 為原始影像，而圖 2-3-3(b) 為採用混合網點之解密影像。

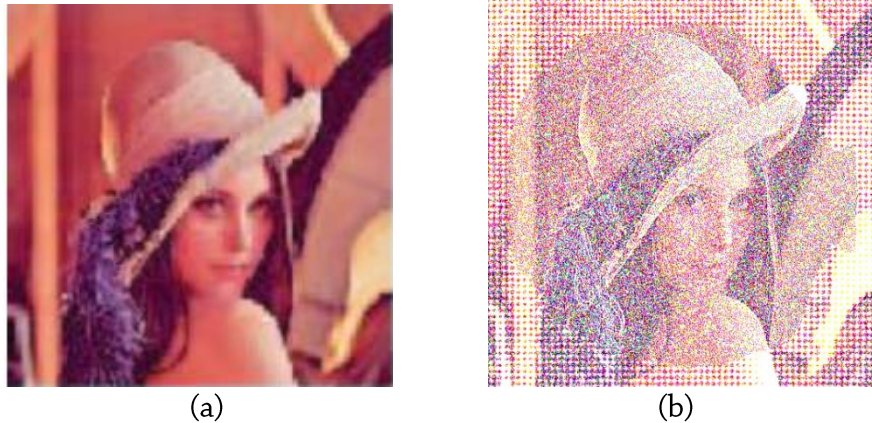


圖 2-3-3 視覺密碼影像示意圖 (a) 為原始影像 ;(b) 為使用混合網點之解密影像

資料來源：Tharayil, J. J., Kumar, E. S. K., & Alex, N. S. (2012). *Visual cryptography using hybrid halftoning and inter-pixel exchanging*. Paper presented at the IEEE Students' Conference on Electrical, Electronics and Computer Science, Bhopal, 174-178. doi: 10.1109/SCEECs.2012.6184750

二、混合網點數位浮水印

2004 年王希俊等人提出混合網點數位浮水印技術，結合 AM 調幅網點與 FM 調頻網點兩種網點形式，設計出在一定距離外，人眼無法觀察的浮水印。將此浮水印圖像應用於紙張底紋的防偽設計，利用兩種網點所需的取樣頻率不同，使浮水印潛像於複印後顯現，如圖 2-3-4 所示，藉此防止有心人士利用複印機或掃描列印進行偽造，達到版權保護的效果（蕭佩琪、王希俊、連啟明, 2004）。

而其製作原理為結合調幅網點及調頻網點，利用大小不同的網點設計混合網點數位浮水印。由於輸出時兩種類型的網點會產生不一致的網點擴張情形，影響浮水印隱藏效果，因此在製程中需輸出濃度匹配導表，進行浮水印濃度校正，確保此浮水印在一定觀察距離外並不易察覺。而複印時，由於 AM 及 FM 網點對於影印機複製能力的差異，導致複製設備無法滿足其取樣需求時，即能於紙張上顯現隱藏之浮水印，以防止文件遭受非法複製。

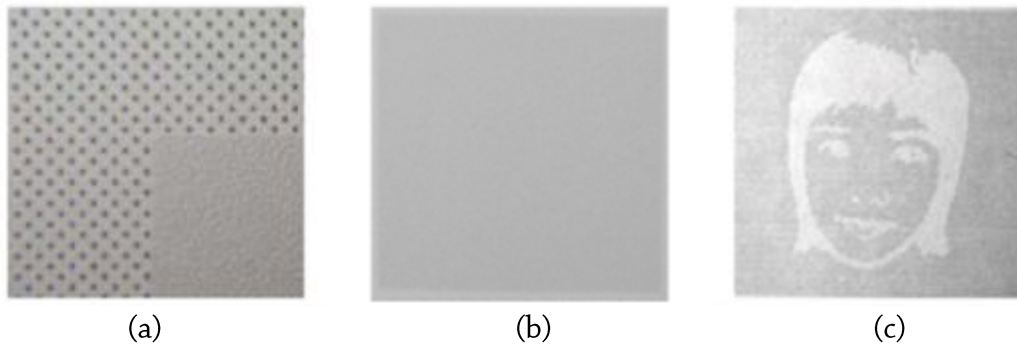


圖 2-3-4 混合網點數位浮水印之效果示意圖 (a)浮水印之網點微結構，其中左方及上方之網點為 AM 調幅網點，而右下角較細小之網點則為 FM 調頻網點；(b) 為浮水印原稿；(c)為浮水印複印後之效果示意圖

資料來源：蕭佩琪、王希俊、連啟明 (2004)。文件底紋之混合網點數位浮水印技術。第三屆數位典藏技術研討會論文集，223-230，台北市。

2011 年張維烝利用此混合網點的概念製作出複印過後可改變原始內容意義的實體浮水印技術。浮水印的製作原理如圖 2-3-5 所示，A 為原稿內容，B 為浮水印內容，其製作概念為將整份文件分為四塊區域，分別是原稿呈現圖案區域、隱藏浮水印區域、原稿呈現圖案與隱藏浮水印重疊區域、背景區域。四個區域分別以不同比例之調幅網點(AM)、調頻網點(FM)、不著墨的空白區塊(W)混合而成。原稿呈現圖案「A」以 FM 網點組成；隱藏浮水印圖案「B」則以 AM 網點及不著墨空白區塊構成；原稿呈現圖案及隱藏浮水印圖案重疊之區塊以 AM 網點及 FM 網點共同組成；而背景區域則以 FM 網點及不著墨空白區塊組成。將此混合網點數位浮水印輸出，經過複印機複印後，不著墨區塊仍然為不著墨區塊，而 FM 網點部分則因為複印機取樣差異無法被完全還原，而使 AM 網點所構成之隱藏浮水印內容顯現，達到浮水印內容於複印後改變之效果。然而網點在輸出於紙張時，會因為網點結構、印刷條件、被印媒材之不同，而產生不同的網點擴張情形，故在輸出之前，需預先輸出網點匹配導表來瞭解網點擴張的情形，藉此找出兩種網點在輸出之後較佳的隱藏濃度參數。

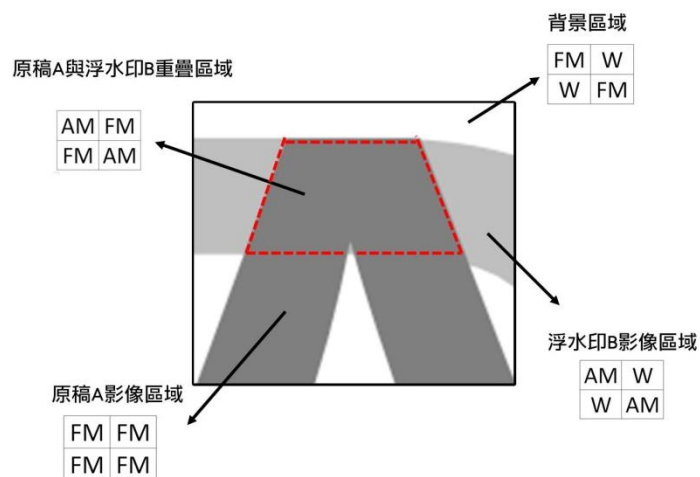


圖 2-3-5 可改變原始內容意義之浮水印製作原理示意圖

資料來源：張維烝 (民 100)。改變文件複印後內容之混合網點數位浮水印研究 (未出版之碩士論文)。國立台灣師範大學，台北市。

圖 2-3-6 為實際輸出之結果，以肉眼在一般正常光源下觀看時，此浮水印文件原稿呈現圖案「A」，而利用影印機輸出後，因 FM 調頻網點取樣不足無法呈現原本的網點，造成原稿內容消失，而隱藏的浮水印「B」因此顯現。

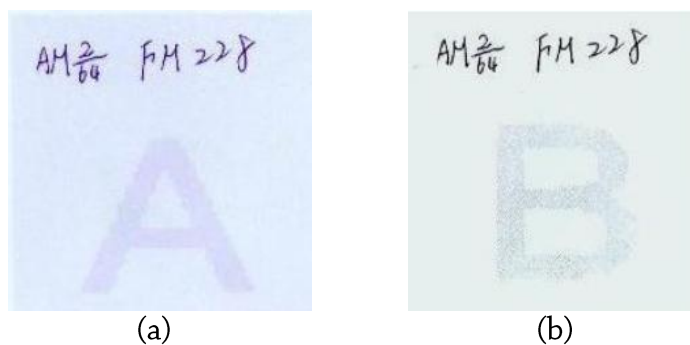


圖 2-3-6 可改變原始內容意義之浮水印效果示意圖 (a)為浮水印原稿；(b)為複印後之效果

資料來源：張維烝 (民 100)。改變文件複印後內容之混合網點數位浮水印研究 (未出版之碩士論文)。國立台灣師範大學，台北市。

2012 年顏銘佑再利用混合網點數位浮水印技術，製作出可於複印後呈現黑白反轉效果之個人化圖像浮水印。此研究將浮水印背景區塊以濃度較淡之 AM 網點構成，而人像部分則以濃度較深之 FM 網點所組成，透過濃度匹配導表找出合

適的濃度參數進行濃度校正，並將此個人化圖像浮水印輸出於紙張載體。由於 FM 網點所組成之人像部分較 AM 網點所構成之背景區塊濃度深，因此將此個人化圖像浮水印輸出於紙張後可清晰觀察其圖像輪廓，如圖 2-3-7(a)所示。然而，由於複印機無法完整複製 FM 調頻網點結構，使人像部分由黑轉白，達到混合網點數位浮水印於複印後呈現正像轉為負像的效果，如圖 2-3-7(b)所示。

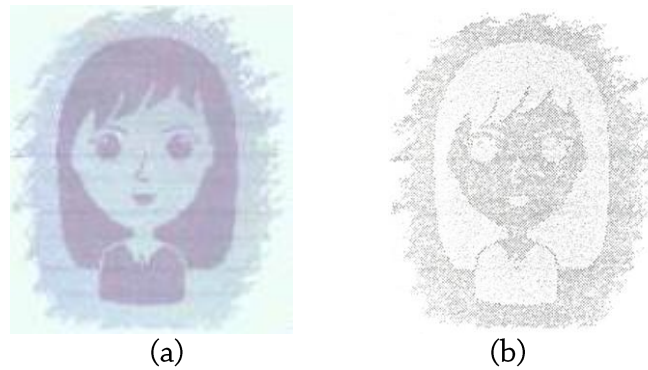


圖 2-3-7 可於複印後產生黑白反轉效果之浮水印示意圖 (a)為浮水印原稿；(b)為複印後之效果

資料來源：顏銘佑 (民 101)。混合網點數位浮水印應用於複印後圖像呈現黑白反轉之研究 (未出版之碩士論文)。國立台灣師範大學，台北市。

第四節 文獻探討小結

隨著數位科技的進步，版權保護已越來越受到重視，因此有許多研究者致力於數位影像之防偽技術相關研究，然而對於實體文件之防偽研究則相對較少。由於數位浮水印必須結合印刷製程才能於實體文件上呈現，因此以實體方式存在的圖像防偽技術必須考量更多變數，無論對於學術研究或產業應用上都是重要且值得發展的課題。

根據以上文獻探討可以發現，過去實體影像浮水印相關研究，大多採用 AM 調幅網點，以網點位移或網點變形的方式進行影像加密。另外也有研究將資訊隱藏過程與誤差擴散演算程序結合，然而由於此技術僅能應用於解析度 150dpi 之影像，較無法滿足人眼視覺系統，若使用混合網點技術進行資訊隱藏則可達到較高影像品質。2004 年王希俊等人提出結合 AM 網點及 FM 網點，製作混合網點數位浮水印，利用兩種網點不同的結構特性，設計出可以在複印後使浮水印顯現的實體文件，擴充紙張載體的防偽功能。張維烝及顏銘佑將此技術延伸應用，製作出可改變複製文件顯示意義之浮水印設計，並增添實體文件的互動性。由於混合網點數位浮水印技術成本低廉，且不需特殊設備即可達到版權宣示之作用，因此應用範疇廣泛，例如有價證券、證書、公司機密文件及印刷出版品等等，皆可使用浮水印技術嚇阻非法複印。

然而，由上述相關研究可以發現，過去在製作混合網點數位浮水印時，會因為 AM 調幅網點及 FM 調頻網點的顯微結構差異，導致輸出後產生的網點擴張情不一致，影響浮水印隱藏效果，必須配合輸出濃度匹配導表，以找出合適的濃度參數進行浮水印濃度校正。而本研究所提出之技術，使兩種網點具有相同之顯微結構，因此可省去浮水印校正之步驟，不僅可以縮減浮水印製程，更能使浮水印隱藏品質較不容易受到不同印刷條件影響，而提升整體製程的穩定度，因此預期未來可將此技術於印刷業界推廣，提高本研究技術之附加應用價值。

第三章 研究方法

本研究採用實驗研究法，以數位半色調技術設計改良式混合網點結構，並將此改良式浮水印輸出於紙張載體，此浮水印以肉眼觀察並無法察覺，然而透過複印機偵測時，藉由兩種網點不同的微結構及排列特性形成複印機取樣能力的差異，使浮水印於複印後顯現。本章一共分為四節，第一節為本研究流程，第二節為研究工具，第三節為改良式混合網點實驗設計，第四節為浮水印與實體文件整合設計。

第一節 研究流程

本研究首先使用點陣調色法以網屏角度 45 度的臨界值矩陣建立網點，由於混合網點數位浮水印在輸出時，會因為 AM 網點及 FM 網點顯微結構差異，產生不同程度的網點擴張效應，使兩種網點面積百分比無法相互匹配而影響浮水印隱藏效果。且在不同印刷媒材及輸出設備等印刷條件下，皆需重新進行浮水印濃度校正才能確保浮水印隱藏品質。為省去濃度校正之步驟簡化浮水印製程，本研究利用 MATLAB 程式語言，以填入不著墨白點的方式分散 AM 調幅網點顯微結構，使其與 FM 調頻網點具有相同的顯微結構，藉此平衡兩種網點之網點擴張率(Dot gain)。

本研究採用實驗研究法，藉由填入不等比例之不著墨白點，設計傳統實心、四分之三著墨、二分之一著墨及四分之一著墨，四種不同著墨比例之 AM 網點，先以面積模擬計算的方式進行測試，比較填入不等比例之不著墨白點後的 AM 網點與 FM 網點產生之網點擴張情形，作為本研究設計改良式混合網點之參考依據。接著輸出濃度匹配導表，以檢視改良式混合網點於輸出後，網點擴張的實際情形。最後將所設計之改良式混合網點數位浮水印與紙張載體整合，利用平版印刷機量產印刷，檢視浮水印隱藏品質是否穩定，並利用複印機驗證以改良式混合網點所構成之浮水印圖像，是否仍能形成複印機取樣能力差異，而達到浮水印潛像於複印後顯現的效果，本研究整體流程如圖 3-1-1 所示。

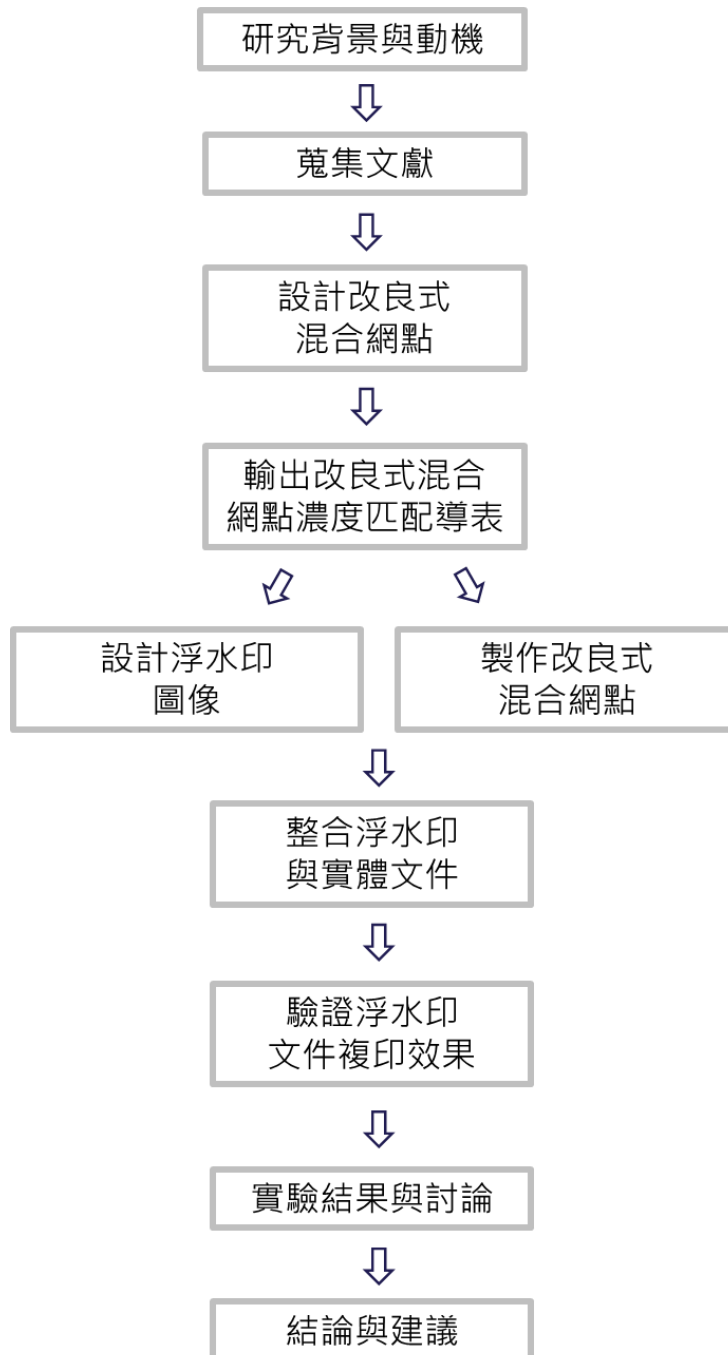


圖 3-1-1 研究流程圖

資料來源：研究者繪製。

第二節 研究工具

本研究使用 MATLAB 程式語言調整 AM 網點顯微結構，將其與 FM 網點組成改良式混合網點結構。藉由網片輸出機與平版印刷機輸出濃度匹配導表以檢視網點擴張情形，進行改良式混合網點實驗。接著利用 Adobe Photoshop 影像軟體設計浮水印圖像遮罩，進行改良式混合網點數位浮水印的合成製作，並於平版印刷機量產測試。最後使用複印機進行複印，驗證改良式混合網點數位浮水印之顯現效果。本研究所使用的軟體工具、硬體設備及被印材規格、型號整理如表 3-2-1：

表 3-2-1 研究工具

軟體	MATLAB 程式語言軟體
	Adobe Photoshop 影像軟體
硬體	Sony VGN-CR356 筆記型電腦
	Heidelberg Signasetter 網片輸出機
	Dolev 250 網片輸出機
	東大 27RAE 沖片機
	新圖藝 U-PDF3848A 晒版機
	東大 TS-88PD 沖版機
	RYOBI 682-AJ 菊半雙色平印機
	FUJI XEROX DC336 複印機
	Canon MX420 事務機
被印材	Saphira HRA-HS 輸出用底片
	A4 尺寸紙張

資料來源：研究者整理。

第三節 改良式混合網點實驗設計

本研究首先設計四種不同著墨比例之 AM 網點，利用墨點面積計算的方式模擬傳統實心、四分之三著墨、二分之一著墨及四分之一著墨 AM 網點輸出後網點擴張的情形，並將所得數據分別與 FM 網點進行比對，採用數據最為相近者作為改良式混合網點之設計依據。利用 MATLAB 程式語言調整 AM 網點顯微結構，以建構改良式混合網點。並設計濃度匹配導表，透過實際輸出的方式檢視不同濃度百分比之改良式混合網點，產生網點擴張後的匹配情形。本研究將同時輸出傳統式混合網點之濃度匹配導表，以比較傳統式及改良式混合網點輸出後，AM 網點及 FM 網點的濃度匹配情形。此外，研究者將利用 Photoshop 影像軟體製作一浮水印圖像遮罩，作為本研究進一步整合於防複印紙張中的浮水印設計。

一、改良式混合網點實驗

本研究利用填入不等比例之不著墨白點，設計傳統實心、四分之三著墨、二分之一著墨及四分之一著墨 AM 網點，一共四種著墨比例之 AM 網點。研究者所定義之實心 AM 網點即傳統之 AM 調幅網點，也就是四個著墨黑點中未填入任何不著墨白點；四分之三著墨 AM 網點表示每四個著墨黑點填入一個不著墨白點；二分之一著墨 AM 網點則為每四個著墨黑點填入兩個不著墨白點；四分之一著墨 AM 網點係指每四個著墨黑點填入三個不著墨白點，四種不同著墨比例之 AM 調幅網點如圖 3-3-1 所示。

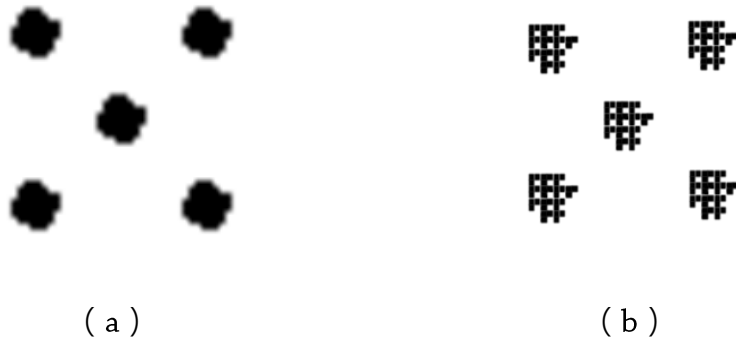




圖 3-3-1 不同著墨比例之調幅網點示意圖 (a) 傳統實心調幅網點 ;(b) 四分之三著墨調幅網點 ;(c) 二分之一著墨調幅網點 ;(d) 四分之一著墨調幅網點
資料來源：研究者繪製。

(一) 墨點面積計算

本研究參考學者 Pappas 等人(2003)所提出之 Printer models 墨點計算方式，並依據邊界帶理論 (Brunner border zone theory)，以網點邊界周長與網點擴張程度成正比為前提，假設一著墨黑點之邊長為 1 單位，並向四周等比例擴張 10%，形成網點擴張後的墨點以虛線表示，邊長為 1.1 單位。接著利用面積計算的方式，比較四種著墨比例之 AM 網點及 FM 網點所產生的網點擴張情形。若皆以四個著墨黑點作為計算基礎，經計算可得原始墨點面積均為 4 平方單位，而產生網點擴張後，實心 AM 網點、四分之三著墨 AM 網點、二分之一著墨 AM 網點及四分之一著墨 AM 網點之墨點面積依序為 4.41、4.49、4.81 及 4.84 平方單位，FM 網點則為 4.84 平方單位，其計算過程分別如表 3-3-1 及表 3-3-2 所示。

表 3-3-1 不同著墨比例的調幅網點產生網點擴張情形之面積計算示意

傳統實心 AM 調幅網點	
	原始面積： $1 \times 1 \times 4 = 4$ 網點擴張後面積： $2.1 \times 2.1 = 4.41$ 網點擴張情形： $4 \rightarrow 4.41$
四分之三著墨 AM 調幅網點	
	原始面積： $1 \times 1 \times 4 = 4$ 網點擴張後面積： $1.1 \times 1.1 \times 4 - 1.1 \times 0.1 \times 3 + 0.1 \times 0.1 = 4.49$ 網點擴張情形： $4 \rightarrow 4.49$

二分之一著墨 AM 調幅網點	
	原始面積： $1 \times 1 \times 4 = 4$ 網點擴張後面積： $1.1 \times 1.1 \times 4 - 0.0025 \times 12 = 4.81$ 網點擴張情形： $4 \rightarrow 4.81$
四分之一著墨 AM 調幅網點	
	原始面積： $1 \times 1 \times 4 = 4$ 網點擴張後面積： $1.1 \times 1.1 \times 4 = 4.84$ 網點擴張情形： $4 \rightarrow 4.84$

資料來源：研究者繪製。

表 3-3-2 FM 網點之網點擴張情形面積計算示意

FM 調頻網點	
	原始面積： $1 \times 1 \times 4 = 4$ 網點擴張後面積： $1.1 \times 1.1 \times 4 = 4.84$ 網點擴張情形： $4 \rightarrow 4.84$

資料來源：研究者繪製。

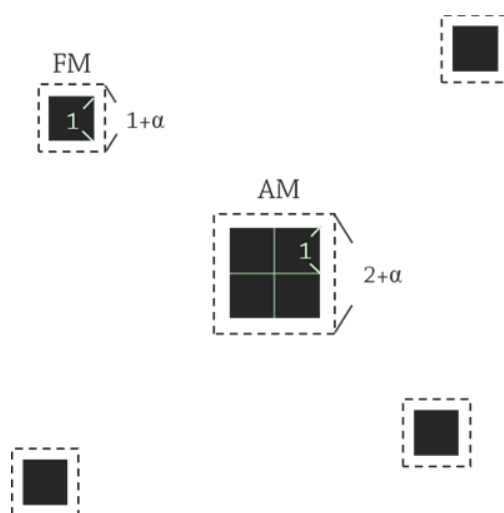
其中四分之一著墨 AM 網點所產生之網點擴張情形雖然為四種著墨比例中最為顯著者，然而，由於其與 FM 網點產生網點擴張後之墨點面積 4.84 平方單位相符，如表 3-3-3 所示，預期利用四分之一著墨 AM 網點及 FM 網點設計改良式混合網點，將可達到平衡兩者網點擴張之效果。

表 3-3-3 四分之一著墨 AM 網點與 FM 網點之網點擴張情形示意

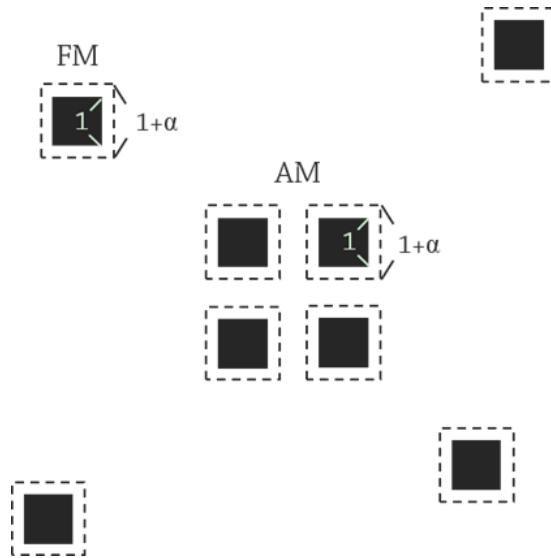
四分之一著墨 AM 網點與 FM 網點所組成之改良式混合網點	
	<p>四分之一著墨 AM 網點原始面積：$1 \times 1 \times 4 = 4$</p> <p>四分之一著墨 AM 網點擴張後面積：$1.1 \times 1.1 \times 4 = 4.84$</p> <p>FM 網點原始面積：$1 \times 1 \times 4 = 4$</p> <p>FM 網點擴張後面積：$1.1 \times 1.1 \times 4 = 4.84$</p> <p>網點擴張情形：AM=FM</p>

資料來源：研究者繪製。

接著，研究者延伸上述墨點面積計算方式，將產生網點擴張之墨點邊長設為變數，分別繪製傳統式及改良式混合網點之網點擴張情形曲線圖。每一著墨黑點之邊長仍假設為 1 單位，而產生網點擴張後之墨點以虛線表示，邊長增加的部分則設為 α 值，如圖 3-3-2 所示。以四個墨點作為計算基礎，藉由代入不同參數值計算墨點面積總和，以模擬檢視不同程度的網點擴張效應下，AM 網點及 FM 網點墨點面積的增長情形。



(a)



(b)

圖 3-3-2 混合網點之網點擴張模擬示意圖 (a) 傳統式混合網點 ; (b) 改良式混合網點

資料來源：研究者繪製。

圖 3-3-3 為傳統式混合網點之網點擴張曲線圖。傳統 AM 網點產生網點擴張後之墨點面積可以方程式 $Y_{AM}=(2+\alpha)^2$ 表示; FM 網點則以方程式 $Y_{FM}=4(1+\alpha)^2$ 表示。利用 X 軸所顯示 α 值分別代入 Y_{AM} 及 Y_{FM} 方程式，所得之墨點面積總和以 Y 軸表示。其中藍色實線為 FM 網點於產生網點擴張後之墨點面積；而紅色虛線則為 AM 網點產生網點擴張後之墨點面積。

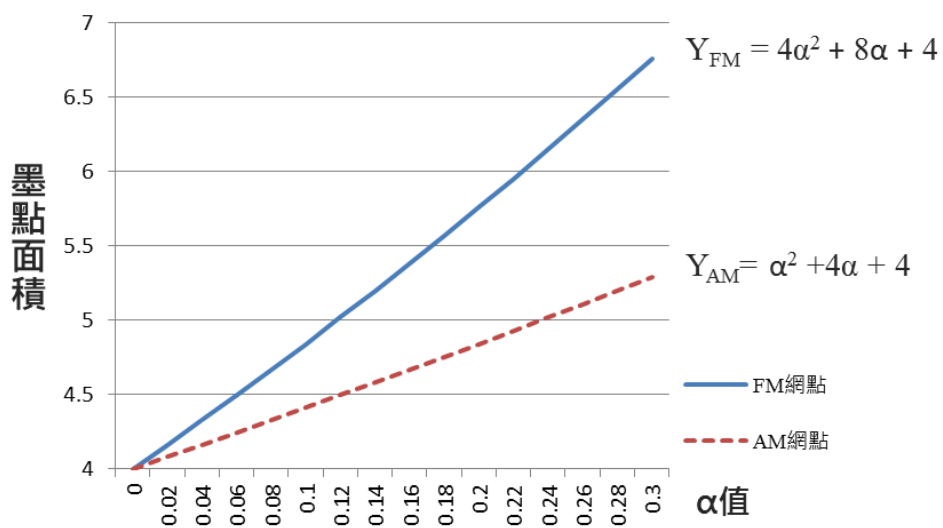


圖 3-3-3 傳統式混合網點之網點擴張曲線圖。

資料來源：研究者繪製。

圖 3-3-4 為改良式混合網點之網點擴張曲線圖。四分之一著墨 AM 網點及 FM 網點產生網點擴張後之墨點面積總和依序表示為方程式 $Y'_{AM}=4(1+\alpha)^2$ 以及 $Y'_{FM}=4(1+\alpha)^2$ 。同樣將 X 軸所顯示不同參數值分別代入 Y'_{AM} 及 Y'_{FM} 方程式中，以 Y 軸表示所得之墨點面積總和。其中藍色實線為 FM 網點於產生網點擴張後之墨點面積；而紅色虛線則為四分之一著墨 AM 網點產生網點擴張後之墨點面積。

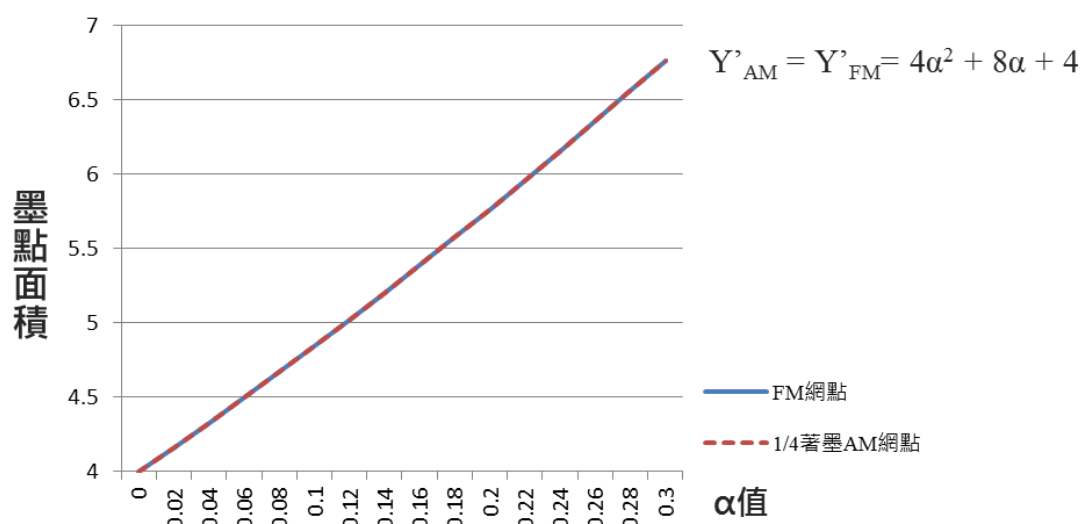


圖 3-3-4 改良式混合網點之網點擴張曲線圖。

資料來源：研究者繪製。

藉由比較研究者所繪製之網點擴張曲線圖可以發現，傳統式混合網點之 AM 網點及 FM 網點由於顯微結構差異，使兩者在產生網點擴張時會形成墨點面積的差距，此現象會造成傳統式混合網點浮水印於輸出後，網點面積百分比無法匹配的情形。相較之下，改良式混合網點由四分之一著墨 AM 網點及 FM 網點所組成，由於兩者具有相同之顯微結構，因此無論在任何網點擴張情形下，墨點面積仍能維持一致。

因此，透過上述模擬結果可推測，本研究所設計之四分之一著墨 AM 網點可與 FM 網點維持相等之網點擴張率，因此研究者將針對其進行進一步改良式混合網點實驗，利用輸出濃度匹配導表的方式，檢視改良式混合網點於輸出後，產生網點擴張的實際情形。

(二) 濃度匹配導表設計

本研究將設計濃度匹配導表，利用 Heidelberg Signasetter 網片輸出機將濃度匹配導表以解析度 1270dp 輸出於 Saphira HRA-HS 網片上，藉由實際輸出改良式混合網點的方式，檢視四分之一著墨 AM 網點及 FM 網點產生網點擴張後之匹配情形。此外，也將此濃度匹配導表利用 RYOBI 682-AJ 平版印刷機輸出於兩種不同紙張材質上，藉此比較不同印刷條件下，改良式混合網點濃度匹配情形。而研究者將同時輸出傳統式混合網點的濃度匹配導表，以比較改良式混合網點及傳統式混合網點輸出後之網點擴張情形。

濃度匹配導表以方格形狀設計，背景區塊由 FM 調頻網點組成，面積百分比設定為 2%至 8%；而中心方格則採用 8X8 臨界值矩陣形成 AM 網點，分別以傳統實心 AM 調幅網點以及四分之一著墨 AM 網點進行設計，網點面積百分比同樣設定為 2%至 8%。濃度匹配導表單位設計示意圖如圖 3-3-5，而導表組合設計示意圖如圖 3-3-6 所示。此濃度匹配導表僅供本研究實驗之用，未來若採用改良式混合網點製作數位浮水印，則不須經過濃度校正，因此在浮水印製程中無須額外輸出濃度匹配導表。

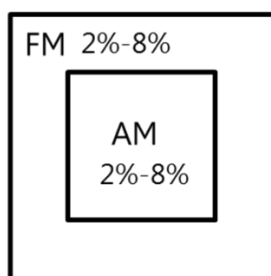


圖 3-3-5 濃度匹配導表單位設計示意圖

資料來源：研究者繪製。

	FM 2%	3%	4%	5%	6%	7%	8%
AM 2%							
3%							
4%							
5%							
6%							
7%							
8%							

圖 3-3-6 濃度匹配導表組合設計示意圖

資料來源：研究者繪製。

二、改良式混合網點數位浮水印設計

(一) 浮水印圖像設計

本研究使用 Adobe Photoshop 影像軟體製作「COPY」字樣之兩階影像，作為浮水印圖像遮罩設計，如圖 3-3-7 所示。此兩階影像將利用 MATLAB 程式語言以半色調過網方式合成為混合網點浮水印，最後將此浮水印整合紙張載體設計，由於四分之一著墨 AM 網點及 FM 網點不同的排列特性及微結構，形成複印機取樣能力的差異，達到圖像浮水印潛像於複印後顯現之效果。



圖 3-3-7 浮水印設計示意圖

資料來源：研究者設計。

(二) 製作改良式混合網點數位浮水印

圖 3-3-8 為浮水印的製作流程，其中 G_1 為四分之一著墨 AM 調幅網點的半色調影像，而 G_2 為 FM 調頻網點的半色調影像。利用兩階浮水印遮罩 S 將 G_1 與 G_2 合併，即可得改良式混合網點數位浮水印之加密影像 X ，如方程式 3-3-1 所示。

$$X = (G_1 \cap S) \cup (G_2 \cap \sim S) \quad (3-3-1)$$

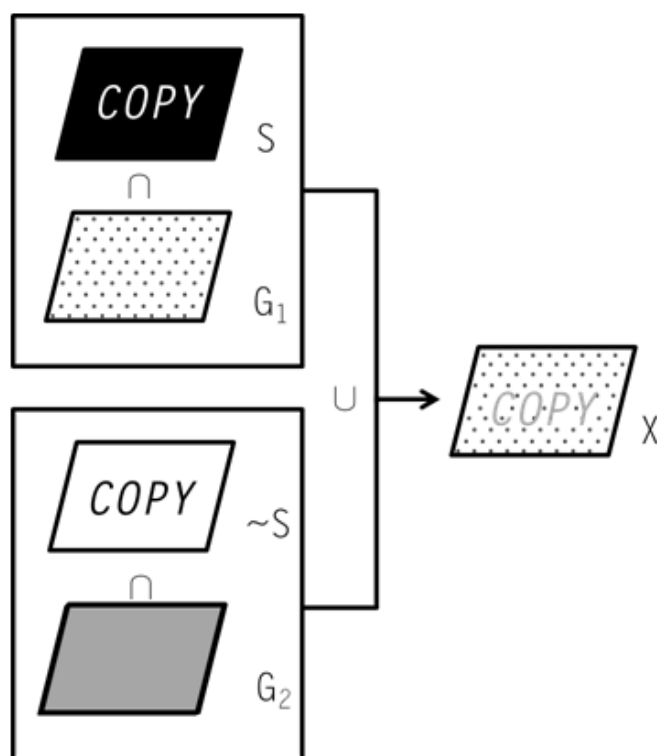


圖 3-3-8 改良式混合網點數位浮水印製作

資料來源：研究者繪製。

第四節 浮水印與實體文件整合設計

圖像浮水印必須與紙張載體整合，才能在複印後達到浮水印顯現之效果，因此本研究將設計之 Copy 圖像，利用 MATLAB 程式語言合成四分之一著墨 AM 網點及 FM 網點製作為改良式混合網點浮水印，並以 60lpi 及 100lpi 兩種不同線數交叉排列，設計防複印紙張，以整合浮水印設計與實體文件，擴充紙張載體的防偽功能，圖 3-4-1 為防複印紙張之排列組合設計圖。

此防複印紙張中，Copy 字樣浮水印由網點面積百分比 4% 之四分之一著墨 AM 網點組成；而其餘背景區域則為網點面積百分比 4% 之 FM 網點所組成，以肉眼在一定距離觀看下，防複印紙張呈現平衡的濃度階調，因此並無法察覺隱藏的浮水印圖像。然而當此防複印紙張經由影印機複印後，其中由 FM 網點組成之背景區域無法被完全複製重建，使潛藏之浮水印圖像因而浮現，達到宣示版權的作用。

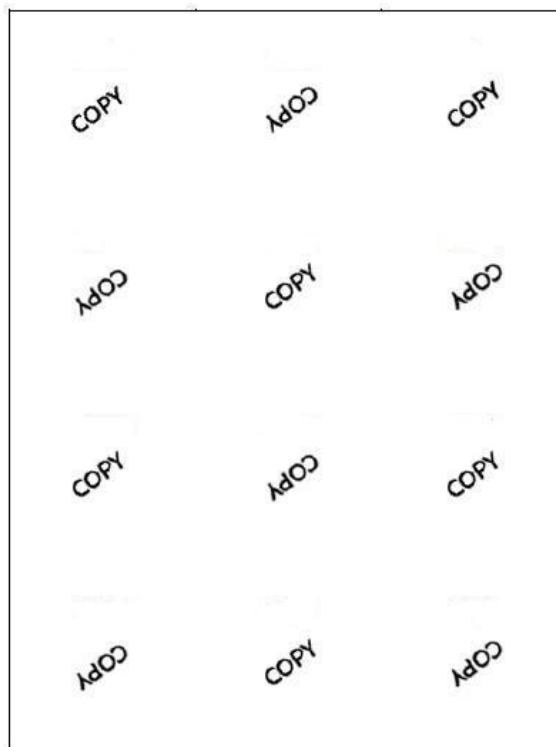


圖 3-4-1 防複印紙張之排列設計圖

資料來源：研究者設計。

第四章 實驗結果與討論

本研究利用濃度匹配導表分別檢視傳統式及改良式混合網點輸出後，AM 網點及 FM 網點之匹配情形。最後利用改良式混合網點與設計遮罩合成製作浮水印，並將其與紙張載體整合，設計「COPY 防複印紙」，利用複印機驗證改良式混合網點浮水印是否能達到複印後顯現之效果，以下將分為兩節，依序針對改良式混合網點實驗及改良式混合網點輸出成果進行本研究實驗結果分析與討論。

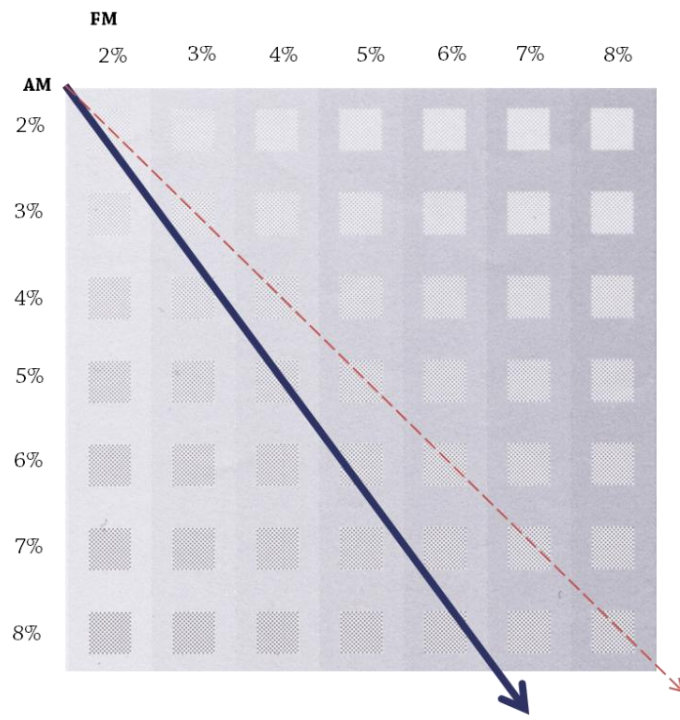
第一節 改良式混合網點實驗

改良式混合網點實驗將分為兩個部分說明，首先針對傳統式及改良式混合網點之濃度匹配導表實際輸出結果進行討論，接著利用研究者所繪製之混合網點面積百分比匹配曲線圖，將所得結果加以分析與討論。

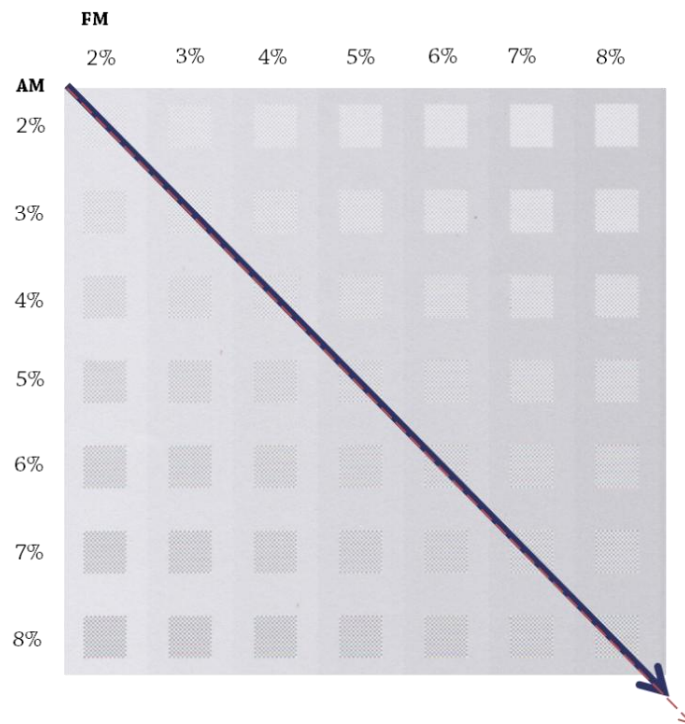
(一) 濃度匹配導表輸出結果

本研究藉由輸出濃度匹配導表網片，檢視四分之一著墨 AM 調幅網點與 FM 調頻網點經輸出後之濃度匹配情形，藉此驗證改良式混合網點平衡網點擴張的效果。導表設計將中心方格區域利用四分之一著墨 AM 網點及傳統實心 AM 網點分別以網點面積百分比 2%至 8%進行半色調過網，而背景區域則利用 FM 網點以網點面積百分比 2%至 8%進行半色調過網，以比較傳統式及改良式混合網點之匹配情形。

實際輸出情形如圖 4-1-1 所示，圖 4-1-1(a)為傳統式混合網點，亦即利用實心 AM 網點與 FM 網點所設計之濃度匹配導表；圖 4-1-1(b)則為利用四分之一著墨 AM 網點與 FM 網點設計的濃度匹配導表。其中，紅色虛線代表預期應達到濃度平衡之濃度參數組合；而藍色實線則代表實際達到濃度平衡之濃度參數組合。



(a)



(b)

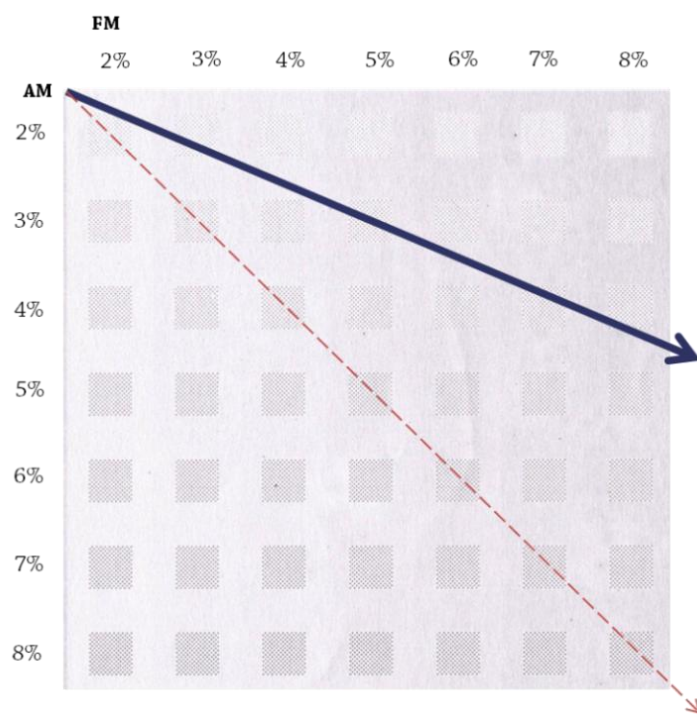
圖 4-1-1 濃度匹配導表網片(a)傳統式混合網點；(b)改良式混合網點
資料來源：研究者拍攝。

藉由觀察傳統式混合網點之濃度匹配導表可以發現，由於實心 AM 調幅網點與 FM 調頻網點所產生之網點擴張效應程度不一，使網點面積百分比 4% 之 AM 網點與網點面積百分比 4% 之 FM 網點無法相互匹配達到濃度平衡，而與網點面積百分比 3% 之 FM 網點達到平衡，產生期望值線條與實際值線條之間的落差，也因此利用傳統式混合網點製作數位浮水印時，必須配合輸出導表，找出 AM 網點及 FM 網點實際輸出後的濃度匹配參數，進行浮水印濃度校正，才能使確保浮水印的隱藏品質。

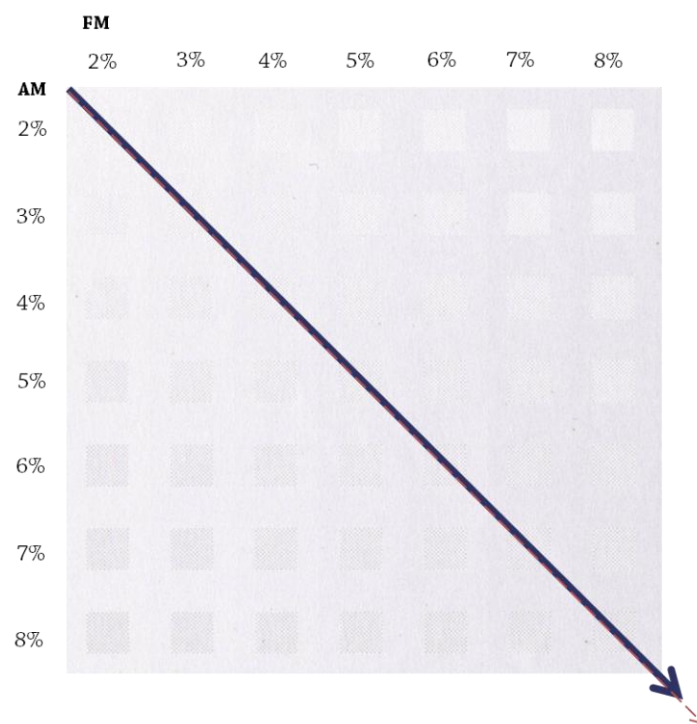
而本研究以填入不著墨白點的方式設計四分之一著墨 AM 網點，藉由使其與 FM 網點具有相同之顯微結構，平衡兩種網點的網點擴張情形，設計改良式混合網點。透過觀察改良式混合網點之濃度匹配導表可以發現，網點面積百分比 4% 之四分之一著墨 AM 網點與網點面積百分比 4% 之 FM 網點可相互匹配達到濃度平衡，並使實際值線條完全符合期望值線條，此研究成果不僅顯示此改進技術確實可以平衡兩種網點的網點擴張情形，也證明本研究的可行性。

此外，本研究也運用 RYOBI 682-AJ 菊半雙色平版印刷機將濃度匹配導表分別印刷於兩種不同紙張材質上，以檢視不同印刷條件（不同被印材）下，傳統式混合網點及改良式混合網點之網點擴張情形。

圖 4-1-2(a) 為印刷於第一種紙張上的傳統式混合網點濃度匹配導表。經由觀察可以發現，其期望值及實際值之間同樣形成落差。而使用改良式混合網點所設計之濃度匹配導表，則能確實達到平衡兩種網點之網點擴張情形，進而使期望值及實際值呈現一致，如圖 4-1-2(b) 所示。



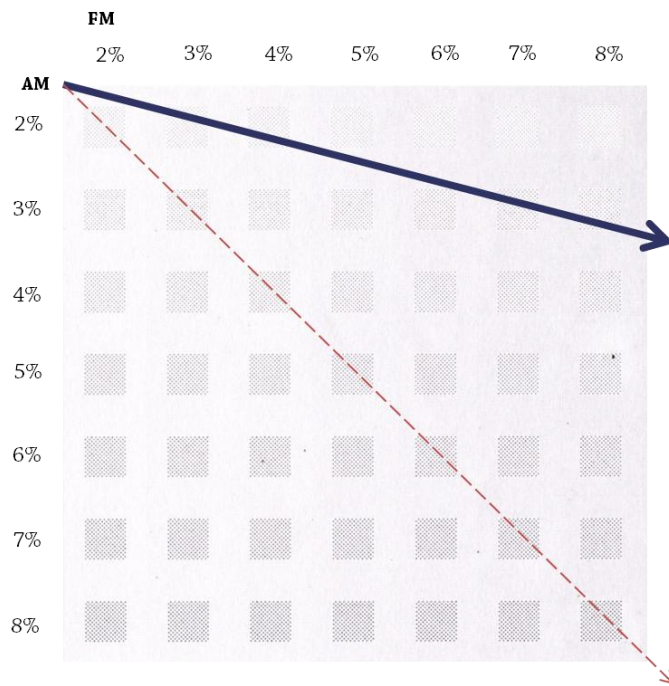
(a)



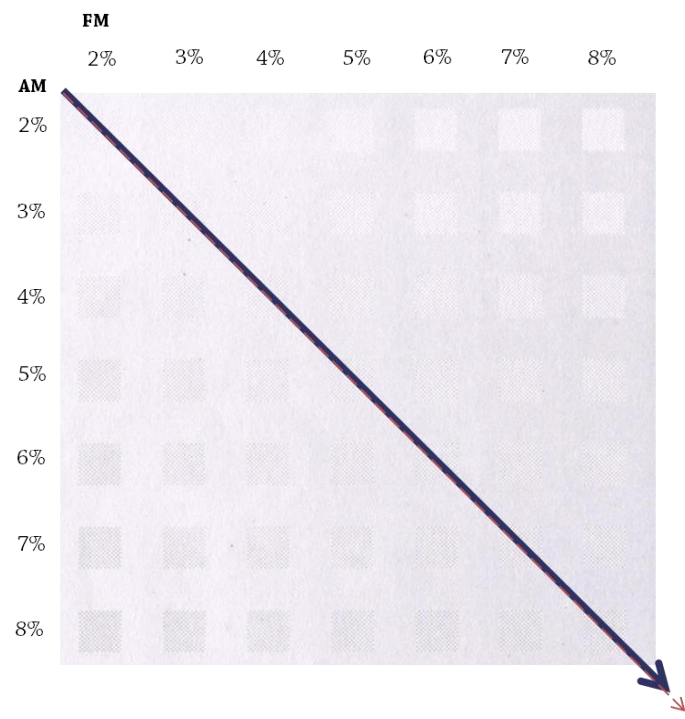
(b)

圖 4-1-2 濃度匹配導表輸出於第一種紙張(a)傳統式混合網點；(b)改良式混合網點
資料來源：研究者拍攝。

而圖 4-1-3 為印刷於第二種紙張材質上的濃度匹配導表，利用傳統式混合網點所設計之導表如圖 4-1-3 (a)所示，藉由觀察可以發現期望值及實際值之間的落差較第一種紙張更加顯著。而使用改良式混合網點所設計之濃度匹配導表，則無論輸出於何種紙張材質，皆能使期望值及實際值維持一致，如圖 4-1-3(b)所示。



(a)



(b)

圖 4-1-3 濃度匹配導表輸出第二種紙張 (a)傳統式混合網點；(b)改良式混合網點
資料來源：研究者拍攝。

經由比較濃度匹配導表網片及紙張可以發現，利用傳統式混合網點製作的濃度匹配導表，在網片上顯示實際值線條向下方偏移，此現象是因為 FM 網點擴張效應較為顯著，造成 AM 網點面積百分比需高於 FM 網點面積百分比才能達到濃度平衡。相較之下，印刷於紙張上之濃度匹配導表，由於晒版及印刷輸出的製程中產生網點遺失及不同程度的網點擴張情形，使 AM 網點需低於 FM 網點面積百分比數值才能互相匹配達到濃度平衡效果，造成實際值線條呈現向上偏移。由此可見，利用傳統式混合網點所製作之浮水印，在不同印刷條件下之隱藏效果較不穩定。

而經由觀察改良式混合網點之濃度匹配導表可以發現，無論印製於網片上或紙張上，四分之一著墨 AM 網點面積百分比皆可符合期望之 FM 網點面積百分比，使實際值線條皆能符合期望值線條，顯示改良式混合網點在不同輸出條件下仍能維持兩種網點之網點擴張情形，使浮水印隱藏效果更加穩定。

(二) 混合網點面積百分比匹配曲線圖

此外，研究者也繪製曲線圖，將 X 軸表示為輸出前網點面積百分比之設定值，Y 軸則為輸出後網點面積百分比之實際值。圖 4-1-4 為網點面積百分比 1% 傳統式混合網點示意圖，圖 4-1-4 (a) 為網點面積百分比為 1% 之傳統實心 AM 網點，其墨點邊長為 1 單位；而圖 4-1-4 (b) 為相同網點面積百分比之 FM 網點，由四顆邊長分別為 0.5 單位之墨點所組成。產生網點擴張後之墨點邊長皆以虛線表示，增加部分設為 α 值，將不同網點擴張參數代入後，可得不同斜度之曲線，藉此模擬不同程度之網點擴張效應下，AM 網點及 FM 網點輸出後之匹配情形。

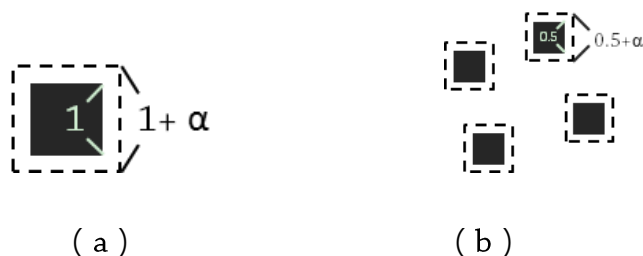


圖 4-1-4 網點面積百分比 1% 之傳統式混合網點示意圖 (a) 傳統實心 AM 網點；
(b) FM 網點

資料來源：研究者繪製。

本研究以 α 值 0.1 及 0.15 為例，分別繪製兩組傳統式混合網點面積百分比匹配曲線，如圖 4-1-5 所示。其中綠色實線 (FM 網點) 及紫色虛線 (實心 AM 網點) 為代入 α 值 0.1 所得第一組混合網點面積百分比匹配曲線；而藍色實線 (FM 網點) 及紅色虛線 (實心 AM 網點) 則為代入 α 值 0.15 所得第二組混合網點面積百分比匹配曲線。由於兩種網點顯微結構差異，FM 網點之網點擴張情形較 AM 網點嚴重，因此藉由觀察可以發現，傳統式混合網點經輸出後，FM 網點實際值線條高於 AM 網點實際值線條。此現象即為過去製作混合網點數位浮水印時，兩種網點輸出後濃度無法匹配，而需經過浮水印濃度校正之主因。

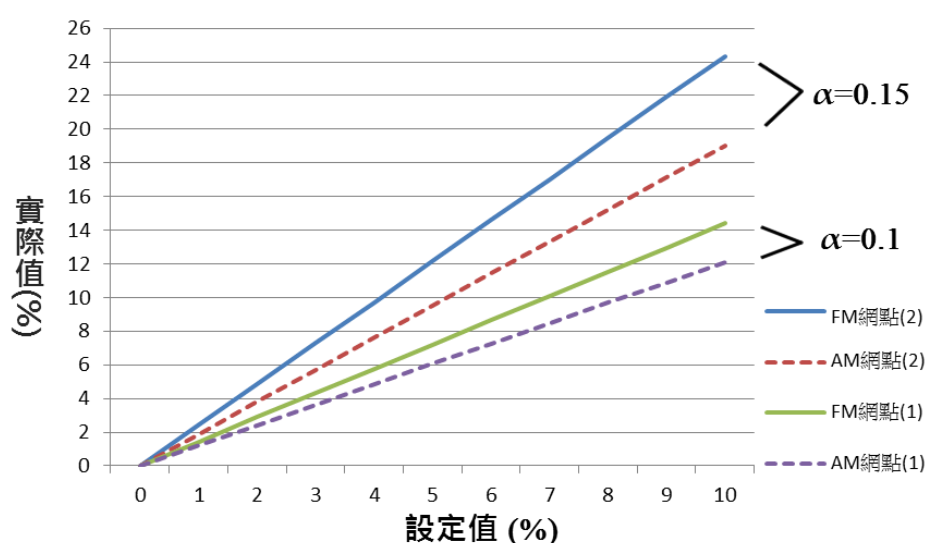


圖 4-1-5 傳統式混合網點之面積百分比匹配曲線圖。

資料來源：研究者繪製。

因此本研究利用四分之一著墨 AM 網點及 FM 網點設計改良式混合網點，藉此改善網點擴張情形不一致的問題。圖 4-1-6 為網點面積百分比 1% 改良式混合網點示意圖，網點面積百分比為 1% 的四分之一著墨 AM 網點如圖 4-1-6 (a) 所示，分別由四顆邊長為 0.5 單位之墨點組成；而相等面積百分比之 FM 網點如圖 4-1-6 (b) 所示，同樣以四顆邊長各為 0.5 單位之墨點所組成。產生網點擴張後之墨點以虛線表示，其邊長增加部分同樣設為 α 值。



圖 4-1-6 網點面積百分比 1%之改良式混合網點示意圖 (a) 四分之一著墨 AM 網點 ; (b) FM 網點

資料來源：研究者繪製。

研究者同樣分別代入 α 值 0.1 及 0.15，繪製兩組改良式混合網點面積百分比匹配曲線，如圖 4-1-7 所示。其中綠色實線 (FM 網點) 及紫色虛線 (四分之一著墨 AM 網點) 為代入 α 值 0.1 所得第一組混合網點面積百分比匹配曲線；而藍色實線 (FM 網點) 及紅色虛線 (四分之一著墨 AM 網點) 則為代入 α 值 0.15 所得第二組混合網點面積百分比匹配曲線。由於本研究利用填入不著墨白點的方式，設計四分之一著墨 AM 網點，使其與 FM 網點具有相同之顯微結構。因此藉由觀察可以發現，改良式混合網點儘管於不同印刷條件輸出、產生不同網點擴張情形，四分之一著墨 AM 網點與 FM 網點的面積百分比仍能相互匹配，使 FM 網點實際值線條與 AM 網點實際值線條能夠呈現完全密合。

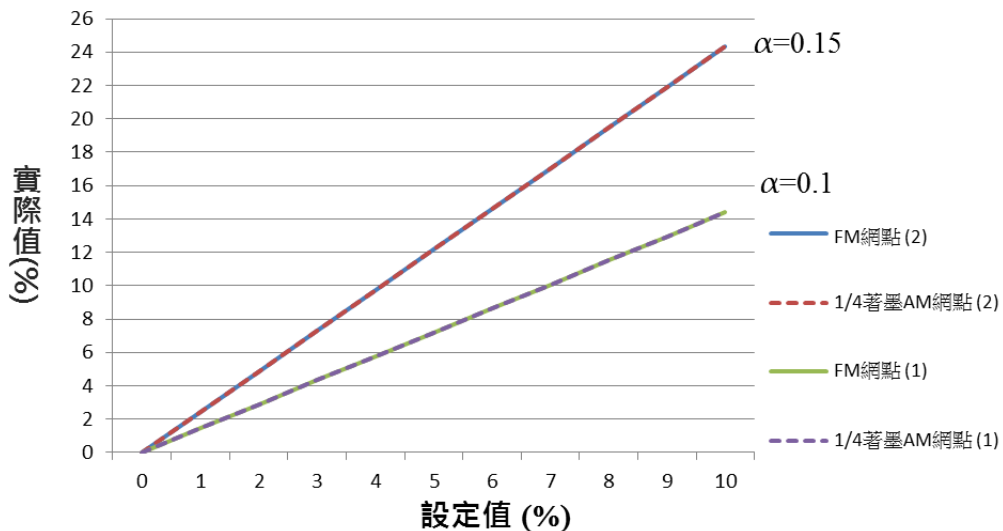


圖 4-1-7 改良式混合網點之面積百分比匹配曲線圖。

資料來源：研究者繪製。

第二節 改良式混合網點輸出成果分析與討論

本節將分為兩個部分說明，首先針對改良式混合網點濃度匹配導表之輸出原稿及複印稿分別進行灰階值分析，接著檢視 COPY 防複印紙張之輸出成果，並利用複印機驗證浮水印顯現的效果。

(一) 改良式混合網點匹配組合之灰階值分析

由於前述分析結果僅以肉眼進行濃度匹配之主觀判讀，為使實驗結果更加客觀，本研究利用 Canon MX420 事務機以 1200dpi 將印刷於第一種紙張上之濃度匹配導表掃描成數位檔案，並以 MATLAB 讀取後，針對導表中達到濃度平衡的匹配組合，擷取出對角線軸上之像素點，進行灰階值之數據分析。圖 4-2-1 中藍線所標示之像素位置即為分析依據。

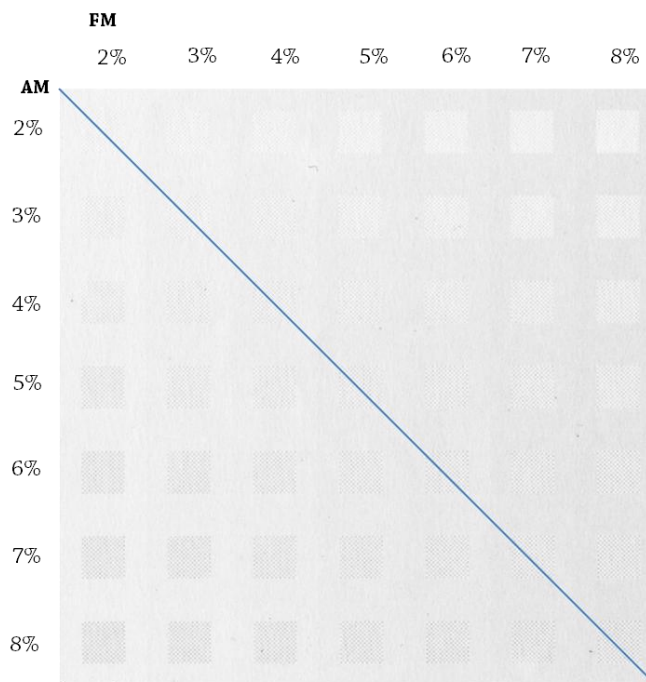


圖 4-2-1 導表原稿之灰階值分析位置示意圖。

資料來源：研究者繪製。

濃度匹配導表分析圖之縱軸以 100 到 250 代表灰階值的變化，灰階值為 0 時最黑，255 為最白。橫軸以 0 到 4000 表示導表數位檔的像素位置，分析組合由左至右依序為[AM2% , FM 2%]-[AM3% , FM 3%]-[AM4% , FM 4%]-[AM5% ,

FM 5%]、[AM6% , FM 6%]、[AM7% , FM 7%] 及 [AM8% , FM 8%] 七種濃度平衡組合，因此，藉由匹配組合分析圖可以觀察改良式混合網點於不同網點面積百分比所呈現之灰階值變化。

改良式混合網點導表原稿的匹配組合分析如圖 4-2-2 所示，圖中灰階值曲線的趨勢平緩，由此可見四分之一著墨 AM 網點及 FM 網點的濃度匹配組合，確實具有相近之灰階值，因而使兩種網點呈現一致的深淺階調。此外，灰階值曲線於圖中呈現微幅下降之走勢，顯示隨著網點面積百分比的增加，匹配組合之灰階值會逐漸降低，因此肉眼所觀察的改良式混合網點濃度也相對較深。

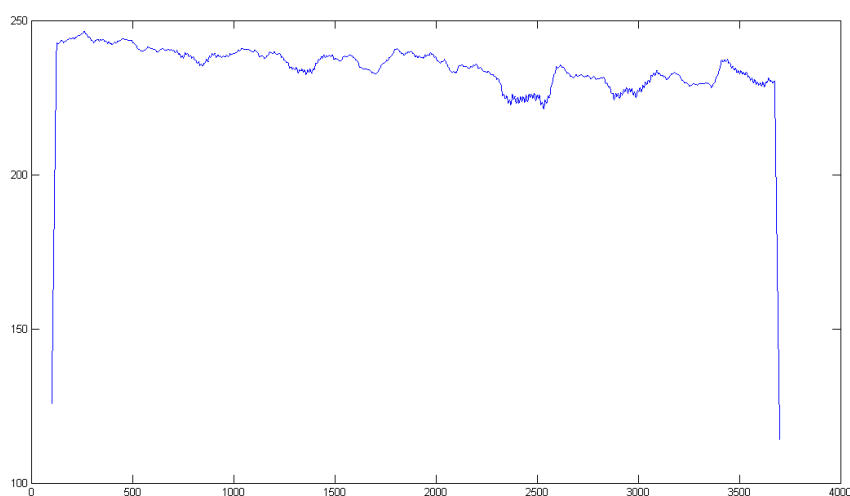


圖 4-2-2 導表原稿匹配組合之灰階值曲線圖。

資料來源：研究者運算。

而後研究者將濃度匹配導表進行複印，以相同的方式進行導表複印稿的濃度檢測分析。圖 4-2-3 為第一種紙張之改良式混合網點濃度匹配導表，經過複印後以 1200dpi 掃描為數位檔之結果，其中藍線為分析像素位置示意，同樣針對七組濃度匹配組合進行灰階值檢測。

圖 4-2-4 為分析結果，藉由觀察可以發現，導表在經過複印之後，由於複印機取樣差異造成 FM 網點無法被完整複製，而使其與四分之一著墨 AM 網點產生灰階值的差異，形成灰階值曲線較為震盪之趨勢。若以肉眼觀察複印後之導表，則可清楚察覺兩種網點的濃度差異，而本研究浮水印技術即是透過改良式混合網點此種濃度差異變化，設計出可於複印後顯現之浮水印。此外，藉由觀察圖 4-2-4

灰階值曲線之趨勢也可發現，灰階值曲線於匹配組合[AM5% , FM5%]至[AM8% , FM8%]之震盪趨勢較為劇烈，顯示兩種網點在面積百分比 5%至 8%之匹配組合，複印後所產生的灰階值差異較為顯著，因此未來也可將此現象納入浮水印濃度設計之參考。

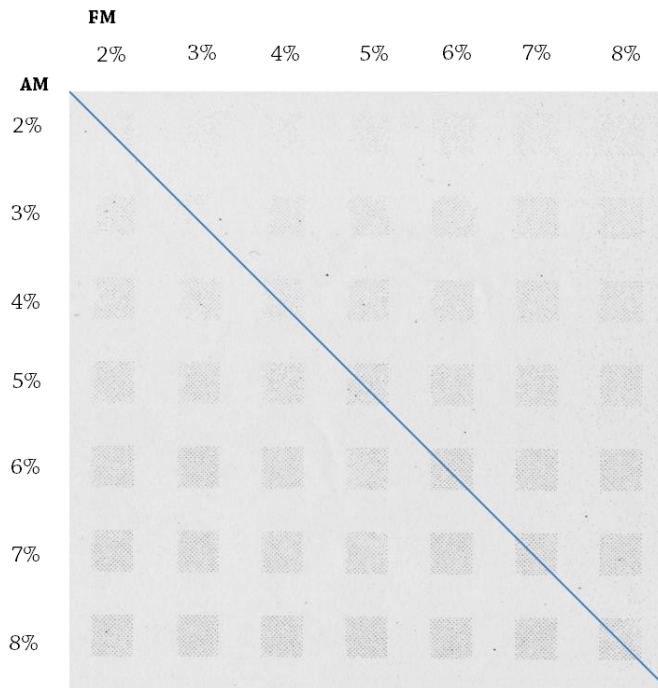


圖 4-2-3 導表複印稿之灰階值分析位置示意圖。

資料來源：研究者繪製。

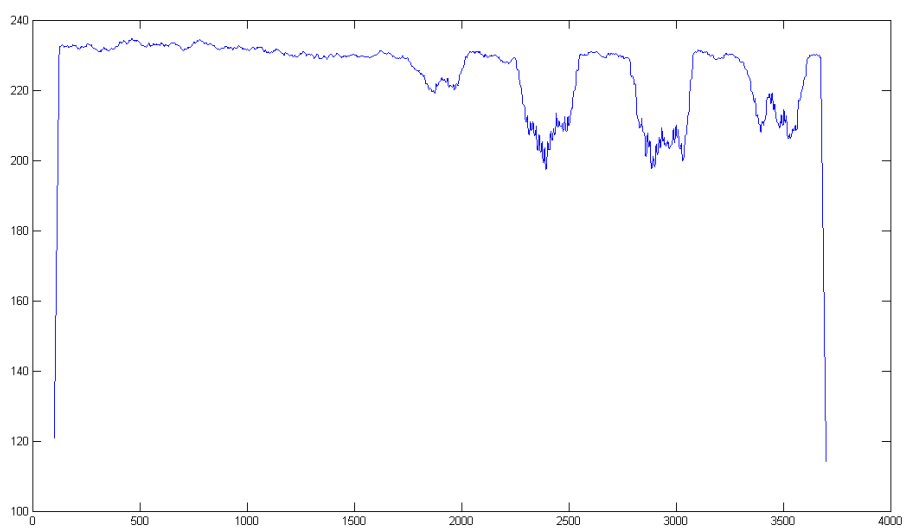


圖 4-2-4 導表複印稿匹配組合之灰階值曲線圖。

資料來源：研究者運算。

(二) 防複印紙張輸出成果

根據本研究實驗結果，由四分之一著墨 AM 網點及 FM 網點所組成之改良式混合網點，確實可使輸出後之網點面積百分比能夠相互匹配，達到平衡兩者網點擴張效果。因此研究者將進一步利用四分之一著墨 AM 網點及 FM 網點結合浮水印圖像設計，製作改良式混合網點數位浮水印，並將其與紙張載體整合設計為防複印紙張，運用 RYOBI 682-AJ 菊半雙色平版印刷機進行輸出實作，最後利用複印機複印驗證浮水印顯現之效果，實際成果如圖 4-2-5 所示，此防複印紙張以改良式混合網點數位浮水印作為文件底紋，以肉眼觀測下並無法察覺隱藏之浮水印圖像，如圖 4-2-5(a)所示。當此防複印紙張經過複印之後，Copy 字樣浮水印則確實顯現，達到版權宣告作用，如圖 4-2-5 (b)所示。

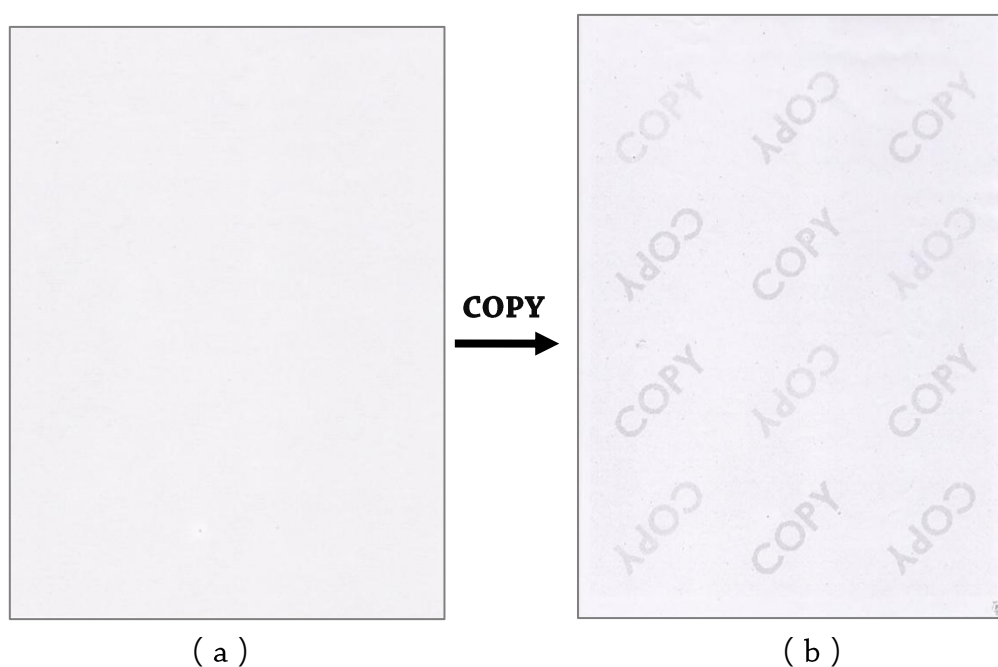


圖 4-2-5 防複印紙張效果示意圖 (a) 原稿 ;(b) 複印稿

資料來源：研究者拍攝。

根據實驗結果可以證實，本研究填入不著墨白點調整 AM 網點顯微結構建構四分之一著墨 AM 網點，並將其與 FM 網點合成製作改良式混合網點數位浮水印，此浮水印經輸出於紙張後，利用肉眼觀察不易察覺，顯示改良式混合網點具有良好之隱藏品質。而將此文件經過複印後，會因為四分之一著墨 AM 網點與 FM 網點兩者排列特性及微結構的不同，形成複印機取樣能力差異，成功達到潛藏之浮

水印圖像於複印後顯現的效果。

過去利用混合網點數位浮水印技術，結合實心 AM 網點及 FM 網點所印製之師大防複印紙張雖然也能達到相同效果，使隱藏於紙張底紋中的「師大大師」字樣浮水印於複印後顯現，然而其印製流程相對較為繁雜。首先必須輸出濃度匹配導表以尋找最佳濃度匹配參數，在進行浮水印濃度校正之後，才能結合圖像遮罩設計浮水印並輸出底片，接著利用晒版機製版後，於平版印刷機印製生產，且在不同印刷條件下皆需輸出濃度匹配導表，重複進行濃度校正程序，才能確保浮水印隱藏品質。

相較之下，利用本研究所設計之改良式混合網點數位浮水印技術印製 COPY 防複印紙張，僅需將浮水印圖檔設計輸出底片，利用晒版機製版後即可直接利用平版印刷機印刷量產，不需輸出濃度導表進行浮水印校正，不僅製程簡單，且在長版印刷與不同印刷條件下，皆能維持兩種網點相同的網點擴張率，使浮水印隱藏品質更加穩定。

第五章 結論與建議

本研究旨在設計一種改良式的網點結構以組成浮水印，此浮水印可以在複印後於紙張上顯現達到防偽效果。經由探討數位浮水印、數位半色調及混合網點等相關文獻後，設計出可使隱藏效果較過去混合網點浮水印技術更加穩定，且製程更加簡化之改良式技術。

由研究結果可以得知，本研究利用半色調的原理，結合四分之一著墨 AM 網點與 FM 網點設計出改良式混合網點浮水印，將此浮水印應用於紙張載體上，經整合輸出後確實可達到穩定的隱藏效果，並在複印後於浮水印文件上顯現。綜合以上研究結果，本研究歸納出以下研究結論與研究建議。

第一節 研究結論

本節將根據實驗結果，依序說明研究者所歸納之五點研究結論。

一、改良式混合網點結構確實可以達到網點擴張平衡效果

本研究提出以一個創新的網點結構組成浮水印，以往的混合網點數位浮水印主要使用調幅網點及調頻網點來製作浮水印，而本研究以改變調幅網點組成方式，設計出改良式混合網點結構。以放大鏡觀察此改良式混合網點可以察覺其中調幅網點由許多不著墨白點所分隔，而使調幅網點及調頻網點在外觀上具有一致的顯微結構。而透過複印機偵測，由於調幅網點具有規律叢聚之特性，調頻網點則較為隨機分散，兩種網點排列結構之差異仍能形成取樣差異，使潛藏之浮水印成功浮現。使用改良式混合網點結構設計浮水印，可使兩種網點在輸出後產生相同的網點擴張率，改善過去網點擴張率差異所造成浮水印隱藏品質不穩定的問題，同時可以省略輸出濃度匹配導表及濃度校正等工序以簡化製程。

二、改良式混合網點浮水印能成功於複印後顯現而達到防偽效果

研究結果符合欲達成之研究目的，首先在網點建構改良式混合網點的部分，

利用 MATLAB 程式語言以每四個著墨黑點填入三個不著墨白點的方式設計出四分之一著墨 AM 網點，將其連同 FM 網點組成改良式混合網點。利用本研究所設計之濃度匹配導表實驗證明改良式混合網點在改善兩種網點之網點擴張情形差異的效果後，藉由圖像遮罩合成浮水印。將此浮水印與紙張載體整合輸出之後，由於兩種網點排列結構差異形成複印機取樣差異，使隱藏之浮水印圖像在文件經過複印後會立即顯現，使用者即能輕易辨識出原稿及複印稿，達到版權宣告及嚇阻偽造的作用。

三、改良式混合網點數位浮水印技術針對原有技術進行改良

傳統混合網點數位浮水印技術目前已成熟發展，與沈氏印刷廠合作將防複印紙張應用於康軒版測驗卷。此外也將防複印紙張應用於 2011 年 6 月首批大陸客自由行之入境許可證的使用紙張，顯見本技術不僅已達量產階段，更已實際應用於我國政府機關之重要文件上。而改良式混合網點針對原有技術改進，不僅可簡化浮水印製程，更可提升隱藏品質，未來可持續推廣使用。

四、改良式混合網點數位浮水印具有穩定的隱藏效果

由於過去混合網點浮水印技術在實際操作上仍有許多不便之處，例如浮水印在不同印刷條件下皆需經過濃度校正程序，包括輸出濃度匹配導表、比對最佳匹配參數及調整浮水印濃度等等。此外，也容易因為調幅網點及調頻網點在印刷時耗損程度不一，使浮水印在長版印刷時的隱藏品質受到影響。上述問題使得混合網點數位浮水印技術在推廣上具有一定的門檻，而侷限此防偽技術之功效及發展。因此本研究回到混合網點數位浮水印的原理去探究不同的網點組成結構，設計出一種結合四分之一著墨調幅網點及調頻網點的改良式混合網點，藉此改善混合網點浮水印應用面的難處。改良式混合網點數位浮水印在運用上不僅可以省去濃度校正程序，使浮水印在長版印刷及不同印刷條件下，皆能維持其隱藏效果。由於四分之一著墨調幅網點之網點散佈區域較以往略為增加，能夠提升低濃度區調幅網點之複製能力，使浮水印呈現效果更好。因此使用改良式混合網點數位浮水印技術即可突破過往混合網點浮水印之使用限制，使不同條件之印刷廠皆能順利運用此技術，製作出具有良好品質的浮水印。

五、 改良式混合網點數位浮水印技術符合現有製程

本研究所提出之浮水印製作方法均可使用現有的科技製作，且不需額外添購新型設備或材料，以一般的紙張及黑色油墨即可完成輸出。本技術目前也已提出中華民國及美國專利申請，未來可應用於一般書籍上，擴展此技術之應用層面。

第二節 研究建議

本研究提出以下兩點建議供後續研究者參考與改進，將改良式混合網點技術延伸應用。

一、建議後續研究將改良式混合網點應用於紅外線浮水印

建議未來研究可以將改良式混合網點與紅外線浮水印技術結合。以 K 墨印製四分之一著墨 AM 網點，以 CMY 三色墨噴印 FM 網點，利用改良式混合網點設計紅外線浮水印，以改善網點擴張所導致浮水印隱藏效果不穩定的問題，並於紅外光下偵測其效果。

二、延伸改良式混合網點數位浮水印之色彩應用

本研究僅針對黑白複印進行資訊隱藏，未來可加以延伸，利用改良式混合網點設計彩色浮水印，並檢驗彩色複印的情況下，是否也能達到浮水印潛像顯現之效果。

參考文獻

中文文獻：

- 張維烝 (民100) 。改變文件複印後內容之混合網點數位浮水印研究。國立臺灣師範大學圖文傳播學系碩士論文，未出版，臺北市。
- 蕭佩琪、王希俊、連啟明 (民93) 。文件底紋之混合網點數位浮水印技術。第三屆數位典藏技術研討會論文集，223-230，臺北市。
- 顏銘佑 (民101) 。混合網點數位浮水印應用於複印後圖像呈現黑白反轉之研究。國立臺灣師範大學圖文傳播學系碩士論文，未出版，臺北市。

英文文獻：

- Alasia, A. V. (1976). *Process of coding indicia and product produced thereby*. U. S. Patent No. 3,937,565.
- Adelson, E. H. (1990). *Digital signal encoding and decoding apparatus*. U. S. Patent No. 4,939,515.
- Bender, W., Gruhl, D., Morimoto, N., & Lu, A. (1996). Techniques for data hiding. *IBM System Journal*, 35(3&4), 313–336. doi: 10.1147/sj.353.0313
- Boonprasit, W. (2006). *A study of producing smoother gradients in the flexographic process on oriented polypropylene with UV ink by varying screening techniques, gradient lengths and the surrounding* (Unpublished doctoral dissertation). Rochester Institute of Technology, New York, USA.
- Bulan, O., Sharma, G., & Monga, V. (2010). Orientation modulation for data hiding in clustered-dot halftone prints. *IEEE Transactions on Image Processing* 19(8), 2070-2084. doi: 10.1109/TIP.2010.2046795
- Chavan, S., Shah, R., Poojary, R., Jose, J., & George, G. (2010, October). *A novel robust colour watermarking scheme for colour watermark images in frequency domain*. Paper presented at International Conference on Advances in Recent Technologies in Communication and Computing, Kottayam, India, 96-100. doi: 10.1109/ARTCom.2010.11
- Floyd, R. W., & Steinberg, L. (1976). An adaptive algorithm for spatial grayscale. *Proceedings of Society for Information Display*, 17(2), 75-77.

- Fu, M. S., & Au, O. C. (2002). Data hiding watermarking for halftone images. *IEEE Transaction on Image Processing*, 11(4), 477-484. doi: 10.1109/TIP.2002.999680
- Gruhl, D., & Bender, W. (1998, April). *Information hiding to foil the casual counterfeiter*. Paper presented at Second International Workshop, Portland, Oregon, USA, 1-15. doi: 10.1007/3-540-49380-8_1
- Hecht, D. L. (1994). Embedded data glyph technology for hardcopy digital documents. *Proceedings of the SPIE Color Hard Copy and Graphic Arts III*, 2171(1), 341-352. doi: 10.1117/12.175304
- Hecht, D.L. (2001). Printed embedded data graphical user interfaces. *IEEE Computer Society Press*, 34(3), 47-55.
- He, Z., & Bouman, C.A. (2004). AM/FM halftoning: digital halftoning through simultaneous modulation of dot size and dot density. *Journal of Electronic Imaging*, 13(2), 286-302. doi: 10.1117/1.1669555
- Huang, S., & Wu, J. K. (2007). Optical watermarking for printed document authentication. *IEEE Transactions on Information Forensics and Security*, 2(2), 164-173. doi: 10.1109/TIFS.2007.897255
- Katsavounidis, I., & Kuo, C. C. J. (1997). A multiscale error diffusion technique for digital halftoning. *IEEE Transaction on Image Processing*, 6(3), 483-490. doi: 10.1109/83.557360
- Li, W., Wan, X. X., & Jian, L. (2008). Digital halftoning and the application to remote sensing images. *Proceedings of International Conference on Computer Science and Software Engineering*, 6, 137-140. doi: 10.1109/CSSE.2008.1317
- Maheshwari, S., Gunjan, R., Laxmi, V., & Gaur, M. S. (2012, April). *Robust multi-modal watermarking using visually encrypted watermark*. Paper presented at 19th International Conference on Systems, Signals and Image Processing, Vienna, 72-75.
- Philips, G. K. (2002). Combining nanocharacter printing, digital watermarking and uv coded taggents for optimal machine-readable security. *Proceedings of the SPIE Conference on Optical Security and Counterfeit Deterrence Techniques IV*, 4677(1), 150-158. doi: 10.1117/12.462707
- Pappas, T.N., Allebach, J.P., & Neuhoff, D.L. (2003). Model-based digital halftoning. *IEEE Signal Processing Magazine*, 20(4), 14-27. doi: 10.1109/MSP.2003.1215228
- Sharma, G., & Wang, S. (2004). Show-through watermarking of duplex printed documents. *Proceedings of the SPIE International Conference on Security, Steganography, and Watermarking of Multimedia Contents VI*, 5306, 670-684. doi: 10.1117/12.525550
- Shimada, K. (2004). Microstructural lines involving luminescence. *Proceedings of the SPIE Optical Security and Counterfeit Deterrence Techniques V*, 5310, 125-132. doi: 10.1117/12.526182
- Song, C., Sudirman, S., Merabti, M., & Jones, D. L. (2010, January). *Analysis of digital*

- image watermark attacks*. Paper presented at 7th IEEE Consumer Communications and Networking Conference, Las Vegas, NV, USA, 941-945. doi: 10.1109/CCNC.2010.5421631
- Tharayil, J. J., Kumar, E. S. K., & Alex, N. S. (2012). *Visual cryptography using hybrid halftoning and inter-pixel exchanging*. Paper presented at the IEEE Students' Conference on Electrical, Electronics and Computer Science, Bhopal, 174-178. doi: 10.1109/SCEECS.2012.6184750
- Ulichney, R. A. (1987). *Digital Halftoning*. Cambridge, MA: MIT Press.
- van Renesse, R.L. (1997). *Optical Document Security*. (2rd ed.). London: Artech House.
- van Renesse, R.L. (2005). *Optical Document Security*. (3rd ed.). London: Artech House.
- Wang, H. C., Hsiao, P. C., & Lien, C. M. (2009). *Method of watermark with hybrid halftone Dots*. U. S. Patent No. 7,554,699.