

國立臺灣師範大學科技與工程學院圖文傳播學系

碩士論文

Department of Graphic Arts and Communications

College of Technology and Engineering

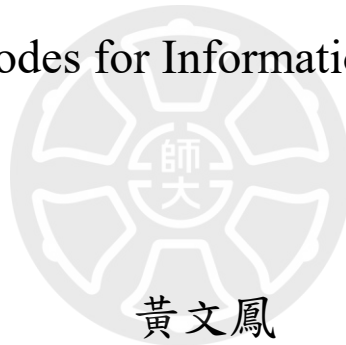
National Taiwan Normal University

Master's Thesis

QR Code之資訊隱藏—應用不同網點面積之混合網點

Different Dot Area of Hybrid AM/FM in

QR Codes for Information Hiding



Huang, Wen-Feng

指導教授：王希俊 教授

Advisor: Wang, Hsi-Chun, Ph.D.

中華民國 113 年 8 月

August 2024

謝辭

窗外晨曦輕撫，桌前花影悠悠搖曳。時光荏苒，在台師大讀研的這段時日裡，遇見了許多有趣的人，雖萍水相逢卻也難能忘懷，他們如同晨光中的微風，雖輕輕拂過，卻留下了深深的印記，讓我在未來的道路上，依然能感受到那份溫暖與力量。

師者，猶如薄霧中之晨曦，雖隱若現，始終見證我的成長，至深至廣。感謝王教授對我論文的指導，每一點滴進步，皆賴師之諄諄教導，誠如滄海橫流，方顯其真。

與光同行，感恩陪伴。在求學的道路上，得到太多好友的支持和幫助，好友們就像日月星辰，她們明亮而恆久。感謝在校期間好友兼學姐心潔這一路上的陪伴。感恩摯友彩鳳、雪琴、燕紅、彩萍的時刻關心與助力，還有每每假期相約的玩伴金陵和珊珊，感謝求學途中遇到的每一位並肩的同窗。拂曉月，養晦光，感恩諸君使我於艱難之境中，仍能見證曙光，砥礪前行。

求學之路，漫漫其修遠，一路走來幸得家人之念叨，恩澤深厚。尤感恩於祖母，祖母之愛如涓涓細流，無聲卻深遠，使我在求學的漫漫長路上，得以穩步前行，無懼風雨。感謝家人的陪伴，同時感恩身邊每一位親人的支持，一路走來遇到了諸多貴人，恩情深厚，懷感無已。

道阻且長，行則將至，最後感謝在這一路走來不甘落後的自己。潛心學習的時光，無數次自我療癒的瞬間，皆是成長的印記。心中懷有憧憬，何懼道路漫長艱險。學術之獨特魅力，賦予我無窮的力量，驅使我不斷前行，追尋無盡的真知。

昨日雖已成流年，依然溫暖如心，賦予我持續的力量與勇氣。前路雖漫長，卻依舊燦爛如初。畢業之際，感慨萬千，願我以此份堅韌與熱情，迎接新的人生篇章。

此致敬意，願景美好。

摘要

QR Code (Quick Response Code)是一種由黑色和白色模組所組成的矩陣式二維條碼。隨著二維碼技術的廣泛應用，QR Code 常被用於產品推廣、產品追蹤及溯源、產品真偽鑒別、入場票券等的儲存媒介。然而，現有印刷品上的 QR Code，不僅占據印刷品上一一定的空間，還容易被盜印。因此本研究將調幅網點 (Amplitude Modulation, AM) 與調頻網點 (Frequency Modulation, FM) 導入 QR Code，使 AM 網點與 FM 網點在 QR Code 上的網點面積百分比均衡，產生不同網點面積百分比的混合網點 QR Code，此 QR Code 在印刷品上，人的眼睛是察覺不出來，但手機可掃碼識別，達到資訊隱藏的目的。本研究採用實驗研究法，其中 QR Code 中的黑色模組用 AM 網點來表示，白色模組用 FM 網點來表示。通過調整次模組內 AM 網點的形狀來改變網點面積百分比，以此表示 QR Code 中的黑色次模組，FM 網點則將次模組中間挖空，形成白點來表示 QR Code 中的白色次模組，且次模組內 FM 網點面積百分比通過調配後和 AM 網點均衡，以此產生不同網點面積百分比的混合網點 QR Code，來測試 QR Code 輸出後資訊隱藏的成效。此外還嘗試將 QR Code 的定位標記點 (Finder Patterns) 和無定位標記點的混合網點 QR Code 另外輸出來測試資訊隱藏成效。研究結果顯示，所設計的混合網點 QR Code 達到資訊隱藏之創新成效，並確定了可被掃碼識別的最低網點面積百分比。針對 3x3 無定位標記點的混合網點 QR Code，輸出後疊加在寫有文字的紙張上進行的抗干擾性分析。分析表明有部分 QR Code 的干擾程度超出 QR Code 的容錯範圍，因此在程式中對九個 QR Code 進行投票分析，經投票分析後，碼字錯誤大大降低，QR Code 還是能被掃碼識別，藉由 QR Code 定位標記點的隱藏，能將 QR Code 與文件做更好的整合。

關鍵字：混合網點、資訊隱藏、二維條碼

Abstract

QR Code (Quick Response Code) is a matrix-type two-dimensional barcode composed of black and white modules. With the widespread application of two-dimensional barcode technology, QR Code is often used as a storage medium for product promotion, product tracking and traceability, product authentication, and event ticketing. However, the existing QR Codes on printed materials not only occupy a certain amount of space but are also prone to counterfeiting. Therefore, this study introduces Amplitude Modulation (AM) and Frequency Modulation (FM) halftoning into QR Codes, balancing the dot area percentage of AM and FM dots on the QR Code to create a hybrid AM/FM-dot QR Code with different dot area percentages. This QR Code is imperceptible to the human eye when printed on materials but can be scanned and recognized by mobile phones, achieving the purpose of information hiding. This study adopts an experimental research method, where the black modules in the QR Code are represented by AM dots and the white modules by FM dots. Specifically, the dot area percentage is altered by adjusting the shape of the AM dots within the sub-modules to represent the black sub-modules in the QR Code, while the FM dots create white points by hollowing out the center of the sub-modules to represent the white sub-modules. The dot area percentages of FM dots within the sub-modules are balanced with AM dots after adjustment to generate a mixed-dot QR Code with different dot area percentages to test the effectiveness of information hiding in the QR Code output. Additionally, the study attempts to test the information hiding effectiveness by outputting mixed-dot QR Codes without finder patterns. The research results indicate that the designed hybrid AM/FM-dot QR Code achieves innovative information hiding effectiveness and determines the minimum dot area percentage that can be recognized by scanning. For the 3x3 hybrid AM/FM-dot QR Code without finder patterns, interference resistance analysis was conducted by overlaying it on text-printed paper. The analysis shows that the interference level of some QR Codes exceeds the error correction range of the QR Code. Therefore, a

voting analysis was performed on nine QR Codes within the program. After the voting analysis, the codeword errors were significantly reduced, and the QR Codes could still be scanned and recognized. By hiding the finder patterns of the QR Code, better integration of the QR Code with the document can be achieved.

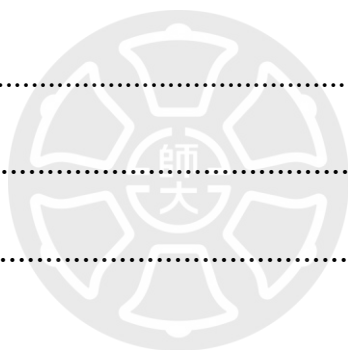
Keywords: Hybrid Halftone Dots, Information Hiding, Quick Response Code.



目次

謝辭.....	ii
摘要.....	iii
Abstract.....	iv
目次.....	vi
表次.....	viii
圖次.....	ix
第一章 緒論.....	1
第一節 研究背景與動機.....	1
第二節 研究目的.....	4
第三節 研究問題.....	4
第四節 研究範圍與限制.....	5
第五節 研究流程.....	6
第六節 名詞解釋.....	7
第二章 文獻探討.....	8
第一節 QR Code 及美化.....	8
第二節 半色調過網技術 (Halftoning).....	14
第三節 資訊隱藏技術之浮水印.....	29
第四節 文獻探討小節.....	35

第三章 研究方法.....	37
第一節 研究架構.....	37
第二節 研究工具與設備.....	37
第三節 實驗設計.....	38
第四章 結果與討論.....	54
第一節 QR Code 輸出後的手機掃碼識別效果.....	54
第二節 PSNR 評估後 QR Code 資訊隱藏成效之結果.....	60
第五章 研究結論與建議.....	63
第一節 研究結論.....	63
第二節 研究建議.....	65
參考文獻.....	66
附錄.....	71



表次

表 2-01 一維條碼種類.....	9
表 2-02 三種堆疊式二維條碼的外觀.....	9
表 2-03 四種矩陣式二維條碼的外觀.....	10
表 3-01 研究架構.....	37
表 3-02 研究設備與工具.....	38
表 3-03 24x24pixel 內 AM 網點縮小黑色次模組的種類.....	43
表 3-04 24x24pixel 內 FM 網點縮小黑色次模組的種類.....	43
表 3-05 產生的不同網點面積百分比之混合網點 QR Code.....	44
表 3-06 模組錯誤特性之定義.....	48
表 4-01 輸出掃描之不同網點面積百分比混合網點 QR Code.....	54
表 4-02 模組錯誤及碼字錯誤分析結果.....	56
表 4-03 QR Code 抗干擾性的模組錯誤和碼字錯誤分析結果.....	56

圖次

圖 1-01 印刷品上 QR Code 的應用	1
圖 1-02 隱形條碼採用 UV 油墨製作	2
圖 1-03 鐳射全息圖 QR Code	2
圖 1-04 本研究之混合網點導入 QR Code 示意圖	3
圖 1-05 混合網點 QR Code 的研究流程圖	6
圖 2-01 QR Code 的結構 (以版本 3 為例).....	10
圖 2-02 QR Code 的版本展示	11
圖 2-03 QR Code 的容錯模組和糾錯碼字	12
圖 2-04 QR Code 定位資訊點的 modules 比例	12
圖 2-05 改變模組大小產生的 QR Code 示意圖	13
圖 2-06 更改模組形狀後的不同風格 QR Code 示意圖	14
圖 2-07 連續調影像與半色調影像	15
圖 2-08 網點的不同形狀	16
圖 2-09 不同網點面積百分比(濃度)的調幅 (AM) 網點	16
圖 2-10 調幅(AM)網點不同角度展示	17
圖 2-11 調幅(AM)網點的不同過網線數展示	18
圖 2-12 原始影像和調幅網點過網影像比對	18
圖 2-13 調幅網點過網技術之臨界值矩陣的演算	19
圖 2-14 調幅網點之集中式臨界值矩陣	20
圖 2-15 調幅網點之分散式臨界值矩陣	20

圖 2-16 水平式臨界值矩陣示意圖	21
圖 2-17 垂直式臨界值矩陣示意圖	21
圖 2-18 左傾斜臨界值矩陣示意圖	21
圖 2-19 右傾斜臨界值矩陣示意圖	22
圖 2-20 臨界值 0 度矩陣示意圖	22
圖 2-21 臨界值 45 度矩陣示意圖	22
圖 2-22 連續調影像與調頻網點半色調影像	23
圖 2-23 誤差擴散法進行兩階化的演算特徵圖	24
圖 2-24 調頻網點算法框架	24
圖 2-25 混合網點組成示意圖	25
圖 2-26 混合網點圖像和 AM 及 FM 網點圖像	26
圖 2-27 圖像代替 QR Code 中的模組	26
圖 2-28 結構感知 QR Code 產生之流程圖	27
圖 2-29 半色調技術隱藏兩個 QR Code	27
圖 2-30 使用誤差擴散法來生成雙重加密的 QR Code	28
圖 2-31 QR Code 的資訊點嵌入在 3x3 次模組的中心點	28
圖 2-32 雙重加密 QR Code 中微結構設計流程圖	29
圖 2-33 空間域浮水印的檢測和提取	30
圖 2-34 使用 PSNR 對半色調影像進行評估	32
圖 2-35 不同的微結構線段製作浮水印影像	32
圖 2-36 日本印刷局印製之採用不同微結構線段製作浮水印	33

圖 2-37 不同的微結構線段製作浮水印影像	33
圖 2-38 混合網點浮水印	34
圖 2-39 改良式混合網點浮水印	34
圖 2-40 混合網點浮水印	35
圖 3-01 實驗流程圖	39
圖 3-02 混合網點 QR Code 的模組設計	39
圖 3-03 混合網點 QR Code 之 AM 網點的模組設計	40
圖 3-04 混合網點 QR Code 的 FM 網點的模組設計	41
圖 3-05 混合網點 QR Code 的 FM 網點的模組設計	41
圖 3-06 不同網點面積百分比之混合網點 QR Code 的產生	42
圖 3-07 混合網點 QR Code 的兩種解碼方式	45
圖 3-08 混合網點 QR Code 與資訊隱藏	46
圖 3-09 無定位標記點混合網點 QR Code 輸出設計(8.3%)	47
圖 3-10 無定位標記點混合網點 QR Code 輸出設計(2.1%)	47
圖 3-11 有定位標記點的混合網點 QR Code 的抗干擾性分析(7.6%)	49
圖 3-12 所設計之 QR Code 疊加在寫有文字的紙張上示意圖(8.3%)	49
圖 3-13 所設計之 QR Code 疊加在寫有文字的紙張上示意圖(2.1%)	50
圖 3-14 QR Code 的不可察覺性	50
圖 3-15 QR Code 的不可察覺性的演算流程圖	51
圖 3-16 混合網點 QR Code 的不同觀測距離的效果模擬(11.1%)	52
圖 3-17 人眼模式示意圖	53

圖 3-18 低頻濾波器	53
圖 4-01 輸出無定位標記點的混合網點 QR Code (8.3%)	55
圖 4-02 輸出無定位標記點的混合網點 QR Code (2.1%)	55
圖 4-03 有定位標記點的混合網點 QR Code 的抗干擾性分析(7.6%)	56
圖 4-04 無定位標記點混合網點 QR code 抗干擾性分析(8.3%)	57
圖 4-05 無定位標記點混合網點 QR code 抗干擾性分析(2.1%)	57
圖 4-06 疊加干擾後和原始 QR Code 模組比對(8.3%)	58
圖 4-07 無定位標記點混合網點 QR code 抗干擾性分析(8.3%)	58
圖 4-08 無定位標記點混合網點 QR code 抗干擾性分析(2.1%)	59
圖 4-09 混合網點 QR Code 的 MSE 趨勢圖	61
圖 4-10 混合網點 QR Code 的 PSNR 趨勢圖	61



第一章 緒論

本章一共分為六節，首先第一節主要闡述研究背景與動機；第二節介紹本研究之目的；第三節則是在第二節研究目的之基礎上提出研究問題；第四節針對相關的研究範圍與限制進行說明；第五節概述本研究之流程，第六節闡述和本研究相關的重要名詞。

第一節 研究背景與動機

QR Code (Quick Response Code)是一種由黑色和白色模組所組成的矩陣式二維條碼，最早是在 1994 年日本的 Denso Wave 公司推出，因其具有數據編碼容量大、耐損傷、讀取速度快、面積小而被廣泛的用於物流、零售、產品追蹤等。隨著智能手機的普及和資訊科技的快速發展，QR Code 成爲一種能夠快速有效的將包含某一特定訊息的鏈接或資訊傳達給用戶的媒介載體，是許多企業將其印刷在產品上代表產品數位身份或相關訊息的工具，例如圖 1-01 所示：產品訊息、珠寶鑑定、產品追蹤溯源、身份識別等任何可以包含 QR Code 印刷的產品 (Soon, 2008)。



圖 1-01 印刷品上 QR Code 的應用
資料來源：凌雲科技之 QR Code 防偽系統和自由時報

然而 QR Code 在印刷品上不僅占據一定空間，並且偽造者找到 QR Code 的位置，就可以利用印刷儀器對 QR Code 進行精準地再複製，使得儲存有產品數位身份或相關訊息的 QR Code 被盜印，出現一些包含相關訊息的假冒產品、票券等。假冒產品不僅對消費者的健康和 safety 有威脅，還對企業的品牌聲譽造成

不良影響 (Nguyen *et al*, 2019)。爲了防止 QR Code 被盜印，許多防偽相關的技術被應用到的印刷品上，例如：UV 油墨製作隱形條碼、如圖 1-02 所示，一般光源照射下，人眼觀測不到 QR Code，在 UV 光源照射下，QR Code 顯現出來。鐳射全息圖 QR Code，如圖 1-03 所示 (Picard *et al*, 2021)。但是這些技術的需要較高的成本，對於一些低成本的产品，企業需要支付昂貴的費用，且像鐳射全息圖的防偽技術還是存在被盜印的風險。



(1) 一般光源 (2) UV 光源照射下

圖 1-02 隱形條碼採用 UV 油墨製作
資料來源:康視奈部落格



圖 1-03 鐳射全息圖 QR Code
資料來源:凌雲科技之 QRCode 防偽系統

印刷品的再現是通過印刷機藉由微小的網點來模擬連續調的影像，稱爲半色調技術，網點可分爲調幅網點 (Amplitude Modulation, AM)，與調頻網點 (Frequency Modulation, FM)，兩者相結合則稱爲混合網點。AM 網點以網點的

大小來模擬影像階調，AM 網點組成形態整體具有叢聚性。FM 網點則以網點的疏密來模擬影像階調，FM 網點組成形態整體則是具有分散性。且 FM 網點印刷後在沒有原稿的情況下是不易被複製的。因此本研究採用數位半色調技術，將混合網點導入 QR Code，期望透過本研究突破原先 QR Code 占據一定印刷空間，使得 QR Code 整體看起來是沒有明顯的黑白模塊，讓人不易察覺 QR Code 內容的存在，提供 QR Code 在資訊隱藏方面一種新的風貌。其中因 AM 網點的組成形態具有叢聚性，因此 QR Code 中黑色次模組用 AM 網點來表示。FM 網點的組成形態具有分散性，因此以分散性的 FM 網點來形成 QR Code 中的白色次模組，通過調整次模組內 AM 網點的形狀，改變網點的網點面積百分比以此表示 QR Code 中的黑色次模組，且次模組內 FM 網點的網點面積百分比通過調配後和 AM 網點均衡，如圖 1-04 所示。

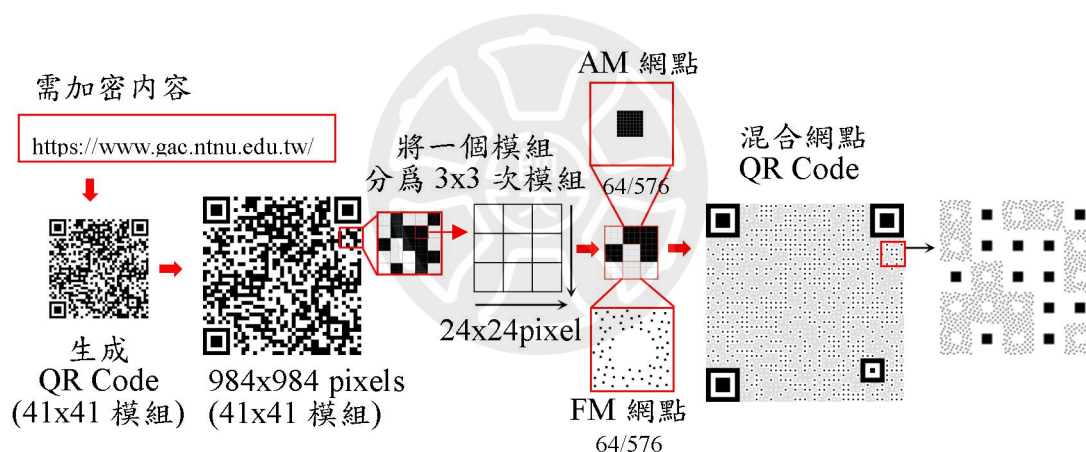


圖 1-04 本研究之混合網點導入 QR Code 示意圖
資料來源:研究者繪製

第二節 研究目的

本研究將不同網點面積百分比的調幅 (AM) 網點與調頻 (FM) 網點導入 QR Code，依據 AM 網點叢聚性的組成特性和 FM 網點分散性的組成特性，其中 QR Code 中的黑色模組用 AM 網點來表示，白色模組用 FM 網點來表示，通過調整次模組內 AM 網點的形狀來改變網點面積百分比，以此表示 QR Code 中的黑色次模組，FM 網點則將次模組中間挖空，形成白點來表示 QR Code 中的白色次模組，且次模組內 FM 網點的網點面積百分比通過調配後和 AM 網點均衡，以此產生不同網點面積百分比的混合網點 QR Code，並確定可被手機掃碼識別的最低網點面積百分比，使得 QR Code 在印刷品上，人的眼睛是直接觀測不出來的，但對於手機來說可掃碼識別，達到資訊隱藏的目的。

本研究目的分別歸納如下：

一、探討 AM 網點和 FM 網點的網點面積百分比均衡比例的情況下，導入 QR Code 後不同網點面積百分比混合網點 QR Code 之產生。

二、探討 AM 網點和 FM 網點的網點面積百分比均衡比例的情況下，導入 QR Code 最低可被偵測網點面積百分比。

三、檢驗可被偵測的不同網點面積百分比之混合網點 QR Code 輸出後應用於資訊隱藏之成效。

第三節 研究問題

根據研究目的，本研究需要探討之問題如下：

一、如何將 AM 網點和 FM 網點導入 QR Code，且使 AM 網點和 FM 網點的網點面積百分比均衡比例來產生不同網點面積百分比的混合網點 QR Code？

二、AM 網點和 FM 網點導入 QR Code，兩者網點面積百分比的比例匹配時，輸出後可被偵測的最低網點面積百分比為何？

三、產生的不同網點面積百分比混合網點 QR Code 輸出後的資訊隱藏之成效如何？

第四節 研究範圍與限制

QR Code 有 40 種不同的版本 (Version)，每個版本的 QR Code 數據儲存容量不同，容錯率也有 L (7%)、M (15%)、Q (25%)、H (30%) 四個等級。本研究採用第六版 (41x41 個模組)，容錯率採用 H (30%) 等級，有 172 個 Codeword 的 QR Code 進行研究。其餘版本和容錯等級的 QR Code 不在本研究範圍之內。



第五節 研究流程

本研究之研究流程，如下圖 1-05 所示。

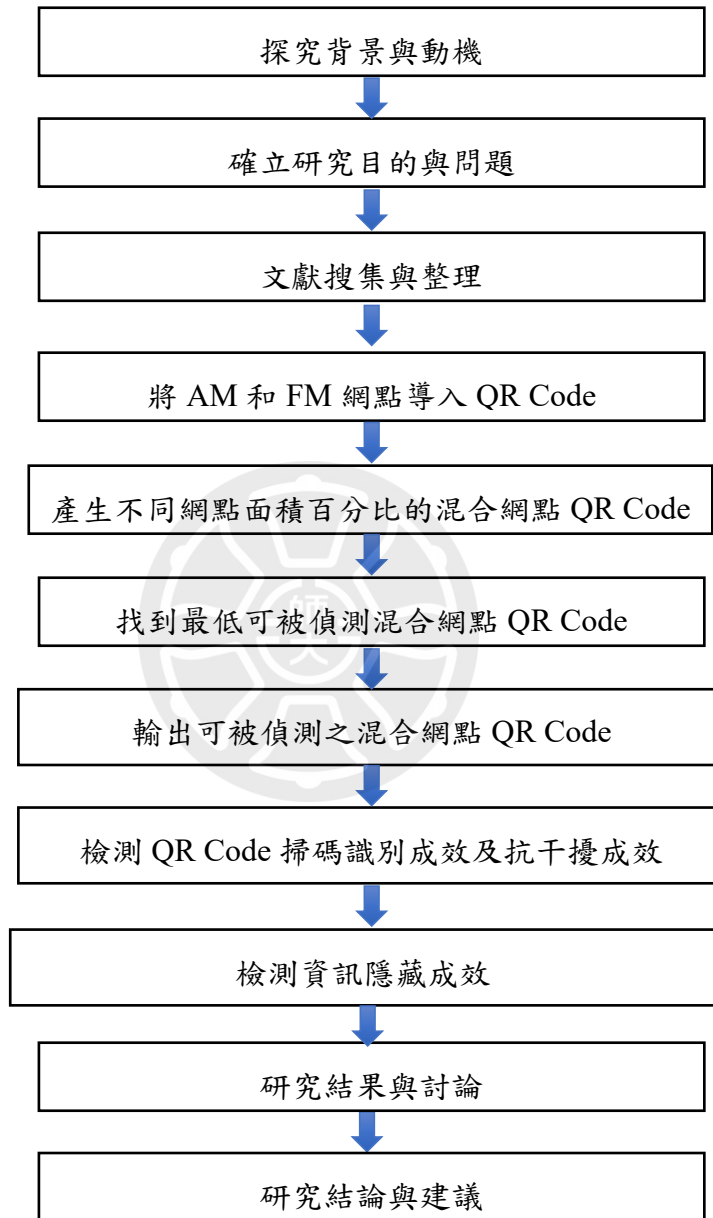


圖 1-05 混合網點 QR Code 的研究流程圖
資料來源:研究者繪製

第六節 名詞解釋

一、混合網點 (Hybrid Halftone Dots)

是指將調幅網點 (Amplitude Modulation, AM)，和調頻網點 (Frequency Modulation, FM) 這兩種網點結合在一起，AM 網點之間的距離是固定的，以改變網點的大小來模擬影像階調。FM 網點的大小是固定的，以網點的疏密來模擬影像階調。

二、QR Code (Quick Response Code)

是一種由黑色和白色方塊組成的矩陣式二維條碼，包含了多個模組，用於儲存包含相關內容的數據。

三、資訊隱藏 (Information Hiding)

是指將所需隱藏的資訊（圖像、文字、圖案等）藏入公開的文件或者影像中，隱藏的資訊可以透過相關的媒介傳遞和解密，用於版權保護。

第二章 文獻探討

本研究在數位半色調過網技術的基礎上，將 QR Code 中的黑白模組以混合網點替代，使 AM 網點和 FM 網點之間網點面積百分比的比例均衡，產生不同網點面積百分比之混合網點 QR Code，並採用數位浮水印中空間域的方式來改變 QR Code 的風貌，QR Code 看起來是一塊灰色的色塊，使得產生的混合網點 QR Code 在一定距離不易被察覺，以此來達到資訊隱藏的目的。因此本章節主要針對混合網點、QR Code 以及資訊隱藏相關的文獻進行回顧和探討，主要分為以下四節：第一節介紹 QR Code 及美化，第二節說明半色調過網技術，第三節介紹資訊隱藏技術之浮水印，第四節則為文獻探討小節。







第一節 QR Code 及美化

條碼是指由有規則排列的線條或者黑白模組組成的符號，這些符號被用來表示特定的資訊，並且可被機器識別。條碼在日常生活中無處不在，總體上可分為兩大類，分別是：一維條碼和二維條碼（鄭兆聰，2021），其中二維條碼是在一維條碼的基礎上演變而來的。

一、一維條碼

一維條碼是由黑色線條和白色線條以垂直平行的方式組成，並且平行線條的下方通常帶有相關的數字或者英文字母來表示相關的編碼。一維條碼算法簡單，解碼快速，成本低廉，通常用來儲存商品的價格或者名稱等(Qiao *et al*, 2021)。一維條碼依據編碼格式的不同，全球有約兩百多種條碼，常用的種類有 Code39 條碼、Code128 條碼、交錯式 25 條碼（ITF 條碼）、EAN-13 條碼、以及專門用於書刊管理的 ISBN 書籍碼和 ISSN 期刊碼（林志杰，2013）。如表 2-01：

表 2-01 一維條碼種類

Code 39	Code 128	ITF
		
EAN-13	ISBN	ISSN
		

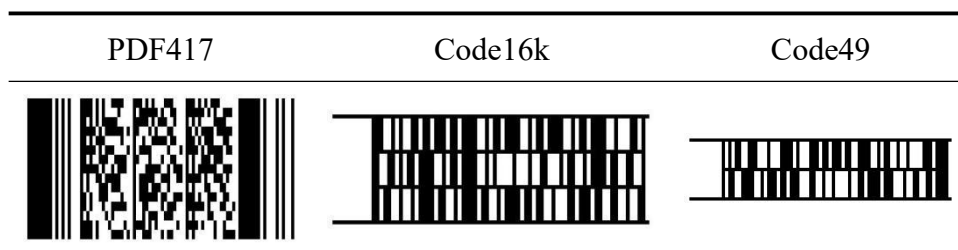
資料來源：<http://www.appsbarcode.com/barCode-type.php>

但隨著需要儲存的數據容量需求增大，一維條碼無法滿足儲存大容量的要求，衍生出了二維條碼。

二、二維條碼


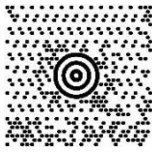

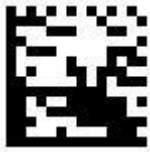
二維碼可以在垂直和水平方向進行儲存資訊，且能夠儲存的資訊多元（文字、圖像、音頻等），根據編碼分類的不同，可分為堆疊式二維碼和矩陣式二維碼。堆疊式二維碼是在一維條碼的基礎上，再疊加一層或者多層的一維條碼，在算法上以一維條碼為基礎，最具代表性的堆疊式二維碼是 PDF417、Code16k、Code49，如表 2-02。矩陣式二維碼，指的是在一個矩陣型的空間內，通過黑白方塊來表示二進制中的 1 和 0，常見的矩陣式二維碼有：Aztec、Maxi Code、QR Code、Data Matrix 等，其中以 QR Code 為最常使用（林志杰，2013），如表 2-03。

表 2-02 三種堆疊式二維條碼的外觀



資料來源：研究者繪製

表 2-03 四種矩陣式二維條碼的外觀

Aztec	Maxi Code	QR Code	Data Matrix
			

資料來源：研究者繪製

三、QR Code 的基本概念與結構：

QR Code (Quick Response Code) 是一種由黑色和白色模組組成的矩陣式二維條碼，最早在 1994 年由日本的 Denso Wave 公司推出，用於汽車行業零部件的追蹤，後續廣泛的用於產品推廣、行動支付、產品信息管理商業應用中，在 2000 年被標為 ISO 國際標準(ISO/IEC18004) (Soon, 2008) (Tiwari, 2016)。

QR Code 的基本結構由：版本資訊 (Version Information)、格式資訊 (Format Information)、資料及糾錯碼字 (Data and Error Correction)、所需圖塊樣式 (Required Patterns) 等組成，且有四個相對應的容錯級別，如圖 2-1，以版本 3 的 29 x 29 模組為例，為了更好的展示相應的結構，此 QR Code 並沒有儲存相關的資訊，並用特定的顏色來標識，實際 QR Code 為黑白模組。

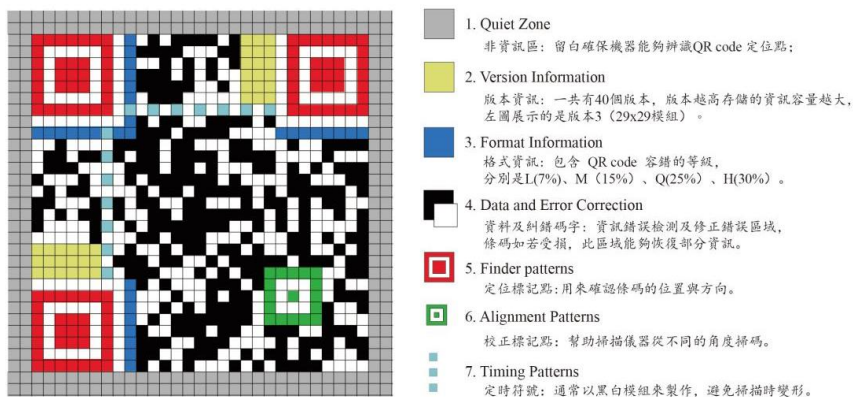


圖 2-01 QR Code 的結構 (以版本 3 為例)
資料來源：研究者繪製

1. 非資訊區(Quiet Zone)

這些模組不用來儲存任何數據，是爲了確保 QR Code 在被機器識別的時候，不被周圍其他資訊影響。

2. 版本資訊 (Version Information) :

QR Code 發展到現在，一共有 40 個版本，版本 1 有 21x21 模組，版本 2 有 25x25 模組，在長和寬方向分別以四個模組作爲每一個版本遞增的基礎，一直到版本 40 版本的 177x177 模組，級別隨著矩陣裏面的黑白方塊的增加而增加儲存容量，如圖 2-2：



圖 2-02 QR Code 的版本展示
資料來源：研究者繪製

3. 格式資訊 (Format Information):

表示 QR Code 中的版本類型以及容錯級別。容錯級別 (Error-Correction Level) 分爲四個等級，分別是 L (7%)、M (15%)、Q (25%)、H (30%)，級別越高代表 QR Code 自身的容錯能力越強，能允許 QR Code 的破損程度較高 (Tiwari, 2016)。

4. 資料及容錯碼字 (Data and Error Correction)

此區域為資料錯誤檢測及修正錯誤區域，當 QR Code 表面受到破損或者有污漬沾染的時候，QR Code 依據自身的資訊模組和容錯碼字，使 QR Code 儲存的資訊依然可以被機器掃碼識別 (Chen *et al*, 2017)。圖 2-03 是 QR Code 為版本 6 且容錯級別為 H (30%) 的結構展示，圖中白色區塊 D 編碼字母開頭的稱爲 QR Code 的資訊模組，E 編碼為 QR Code 容錯碼字 (Error Correction Codewords)。

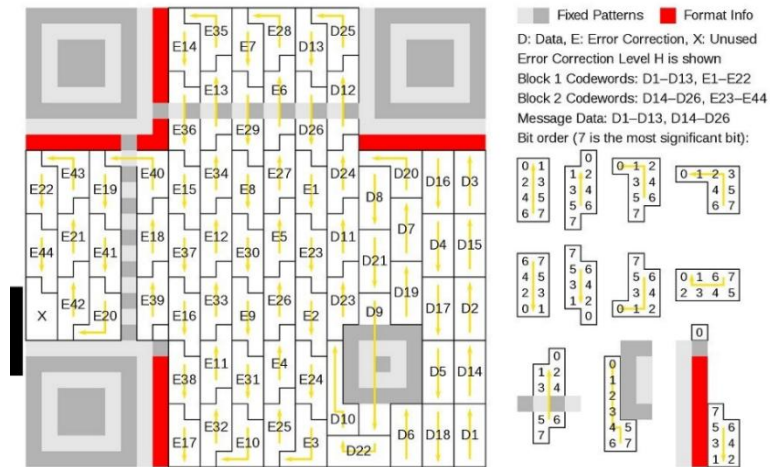


圖 2-03 QR Code 的容錯模組和糾錯碼字
資料來源：Chen *et al.* (2017)

5. 定位標記點 (Finder Patterns) :

在 QR Code 左上、右上、左下的位置以「回」字的形狀呈現，用於確認 QR Code 的方向和位置。當 QR Code 被旋轉或者倒置的時候，使得 QR Code 仍然可以被機器識別，並讀取相關的資訊。結構由一個最外層的 7x7 的黑色模組，第二層有 5x5 的白色模組組成以及最裏面的 3x3 的黑色模組組成，如圖 2-04 (Tiwari, 2016)。

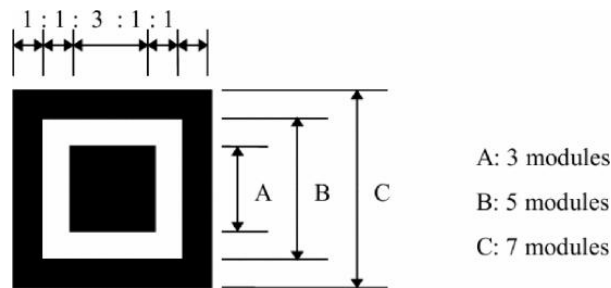


圖 2-04 QR Code 定位資訊點的 modules 比例
資料來源：Tiwari. (2016)

6. 校正標記點 (Alignment Patterns) :

此區域用於幫助識別機器，在版本 2 以及更高版本的 QR Code 中，幫助掃描儀器從不同的角度掃碼。此校正標記點的數量依據 QR Code 版本的不同有不同的數量，版本越高，校正標記點越多。

7. 定時符號 (Timing Patterns) :

在 QR Code 中有垂直和水平兩種方向，由黑色和白色兩種方塊交替組合，通常在 QR Code 的第六行和第六列為起始點。避免 QR Code 掃描時變形，不同版本的 QR Code 有不同的長度的定時符號 (Tiwari, 2016)。

四、QR Code 美化之相關研究

QR Code 本身是由黑白模組組成的，且還占據一定的空間，研究者們為了充分利用空間，針對 QR Code 的外觀進行了美化。早期 QR Code 外觀的改變是由設計師手動更改模組的顏色來製作的 (Lin *et al.*, 2017)。為了產生高質量且視覺上更美觀的 QR Code，也稱為 QR Code 美化或者視覺化 QR Code。

Garateguy *et al.* (2014) 提出將一張彩色圖像嵌入 QR Code 的算法，以此改變 QR Code 外觀。並通過更改 QR Code 的模組來提升 QR Code 辨識率，如圖 2-05 所示，圖(a)-(c)生成之彩色圖像化 QR Code，模組大小分別為 2x2、3x3、4x4，圖(d)-(f)為黑白列印輸出之圖像，以此來檢測 QR Code 辨識率。研究結果顯示 QR Code 中模組的點越大，QR Code 辨識的錯誤率越低。

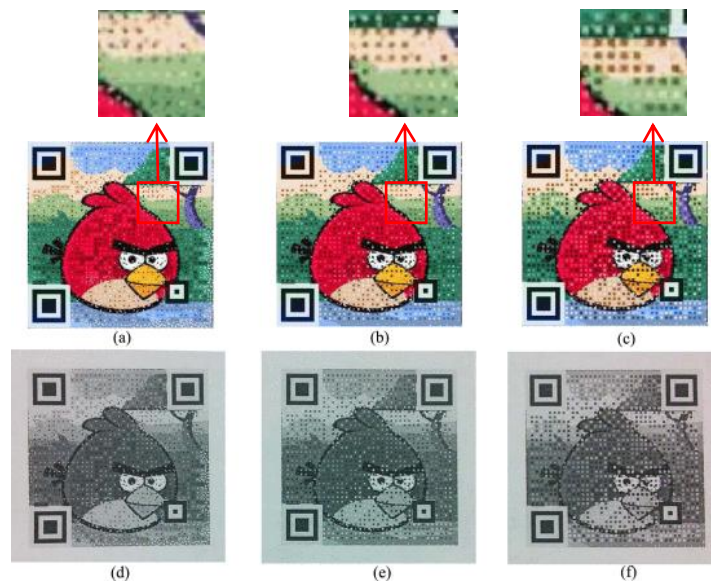


圖 2-05 改變模組大小產生的 QR Code 示意圖
資料來源：Garateguy *et al.* (2014)

Xu *et al.* (2019) 提出一種具有藝術特色的 QR Code，稱為 Stylized aEsthetic (SEE) QR Code，主要是將一張圖像通過算法自動嵌入 QR Code，並降低 QR Code 中原始黑白模組和嵌入圖像兩者之間的對比度，並通過一個名為神經網絡的來產生不同的色彩風格，此外更改 QR Code 中模組的形狀和顏色來增強 QR Code 掃碼的辨識率，如圖 2-06 所示。

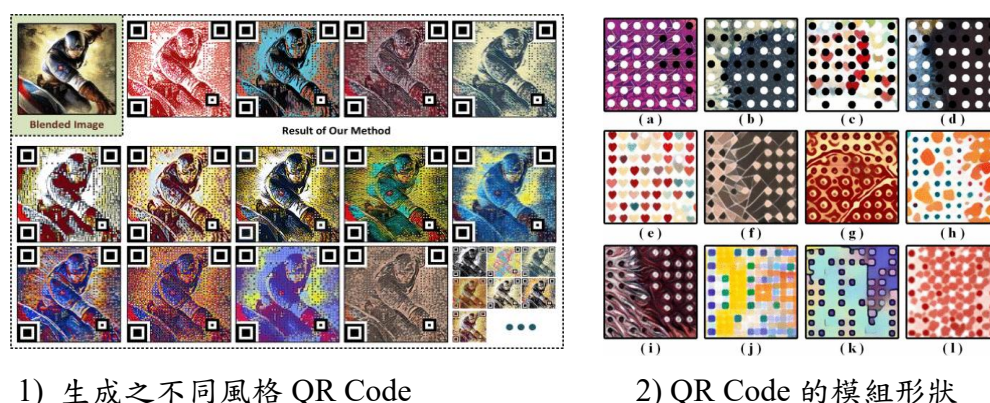


圖 2-06 更改模組形狀後的不同風格 QR Code 示意圖
資料來源：Xu *et al.* (2019)

第二節 半色調過網技術 (Halftoning)

半色調技術，也稱為過網技術，是把連續調的圖像轉換成一種微小的網點，通過印刷設備列印後再現連續調圖像（李飛&唐正寧，2005）。半色調過網技術是本研究混合網點 QR Code 採用的核心技術之一，根據其發展，可分為照相半色調過網技術、電子激光過網半色調和數位半色調過網技術，本節根據半色調技術及相關文獻進行相關探討。

一、連續調與半色調

連續調 (Continuous Tone) 一詞源自攝影技術的發展，最早的照片技術是單色的，攝影師和印刷技術人員為了更好的再現真實的影像，嘗試用銀離子的堆積來模擬影像不同的灰度和色彩 (Boonpravit, 2006)。1881 年美國康乃爾大學 (Cornell University) 的 Frederic E.Ives 提出了半色調技術。由於一般的印刷設備是通過著墨或者不著墨來輸出影像，因此連續調的影像需要先轉換成兩階化微小的網點，並經由網點的大小或者疏密來呈現影像的階調。通過人類視

覺中類似低頻濾波器 (Low Pass Filter) 的特性，在一定距離下觀看，達到模擬連續調影像的效果，如圖 2-07 所示。

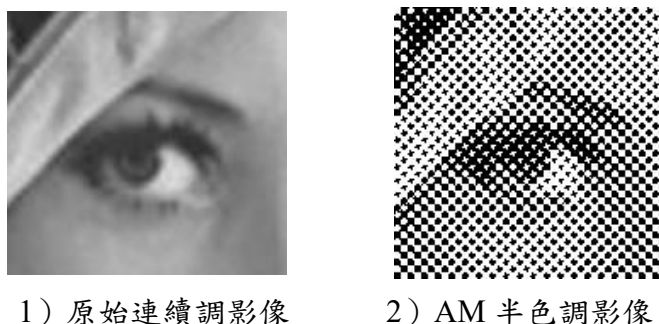


圖 2-07 連續調影像與半色調影像
資料來源：研究者繪製

二、半色調過網技術與數位調過網技術

半色調過網技術是一種傳統的印刷技術，連續調影像無法通過數位印刷設備設備直接輸出，需要將連續調影像轉換成影像的每個像素數值用 0 和 1 表示，0 為黑，1 為白，這種方法即為數位半色調過網技術。數位半色調過網技術的算法不斷地更新迭代，衍生出了許多種類的算法，其中主要以順序抖動算法 (Ordered Dithering) 和誤差擴散算法 (Error Diffusion) 為主，算法根據網點的分佈狀態，將順序抖動算法稱為調幅網點 (Amplitude Modulation, AM)，和誤差擴散算法稱為調頻網點 (Frequency Modulation, FM) (Sharma, 2002) (Roetling & Loce, 2020)。

三、調幅網點(Amplitude Modulation,AM)

(一) 調幅 (AM) 網點簡介：

調幅 (AM) 網點在首次引入使用的時候，是通過光柵圖像處理器 (Raster Image Processor, 簡稱 RIP) 形成一個圓形的網點來實現連續調影像的再現，在單位面積的區塊內，圓形的網點的距離，以圓形的網點大小來表現圖像的層次 (Lau & Arce 2018)。隨著算法技術的不斷發展，網點形狀 (Dot Shape)、網點大小 (Dot Size)、網屏角度 (Screen Angle)、網點過網線數 (Ruling) (又稱過網頻率：

Screen Frequency)是調幅 (AM) 網點影響圖像層次的重要組成部分 (Lau & Arce, 2018) (趙炎, 2011)。

1. 網點形狀(Dot Shape)

網點形狀有許多不同的種類：圓形、方形、菱形，如圖 2-08 所示，不同的網點形狀對半色調影像的形成有相關的影響，圓形網點比較適合用於實體輸出的影像 (謝顯丞, 2009)。

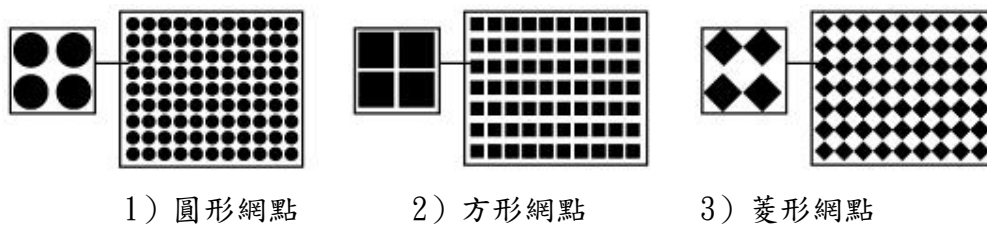


圖 2-08 網點的不同形狀
資料來源：研究者繪製

2. 網點大小(Dot Size)：

以網點的大小來表現色彩的明暗 (江瑞章、孫沛立, 2020)，單位區域內，網點越多則表現色彩明暗越豐富，表現的圖像層次越細膩，如圖 2-09 所示。

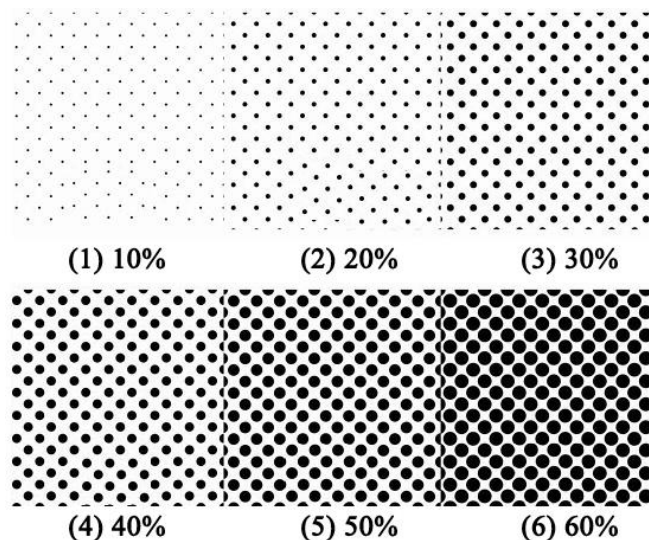


圖 2-09 不同網點面積百分比(濃度)的調幅 (AM) 網點
資料來源：研究者繪製

3.網屏角度(Screen Angle)：

為了改善印刷圖像的效果，調幅網點通過改變不同色版的網點角度來減少印刷過程中出現的鋸齒效應，提高影像的平滑度。其中對於單色半色調影像而言，色版的網屏角度都放在同一角度。灰階影像的網屏角度一般設定在 45 度。彩色印刷品一般使用黃色版 (Yellow)、洋紅版 (Magenta)、青色版 (Cyan)、黑色版 (Black) 的四色印刷，其中黃色版 (Yellow) 一般設定的角度為 0 度，洋紅版 (Magenta) 的角度為 75 度，青色版 (Cyan) 為 15 度，黑色版 (Black) 的角度為 45 度。網點的不同角度如圖 2-10 所示：

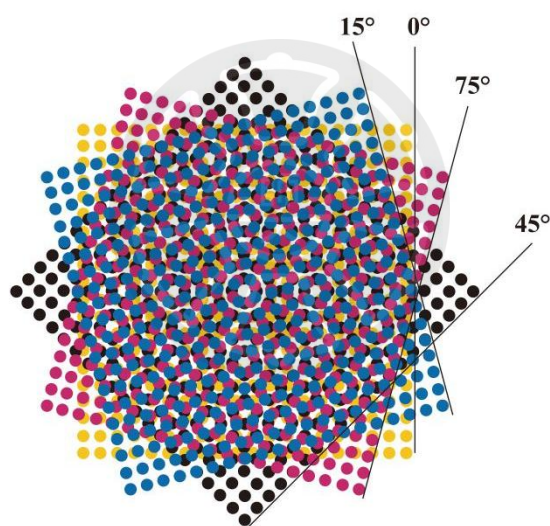


圖 2-10 調幅(AM)網點不同角度展示
資料來源：研究者繪製

4.過網線數 (Ruling)

過網線數的單位表示為 LPI (Line Per Inch)，調幅網點的特點是由過網線數來表現網點之間的間隔 (劉真、任樂義、楊晟煒，2011)，如圖 2-11 所示，單位面積內，網點間隔越小，網點越多，過網線數越高。

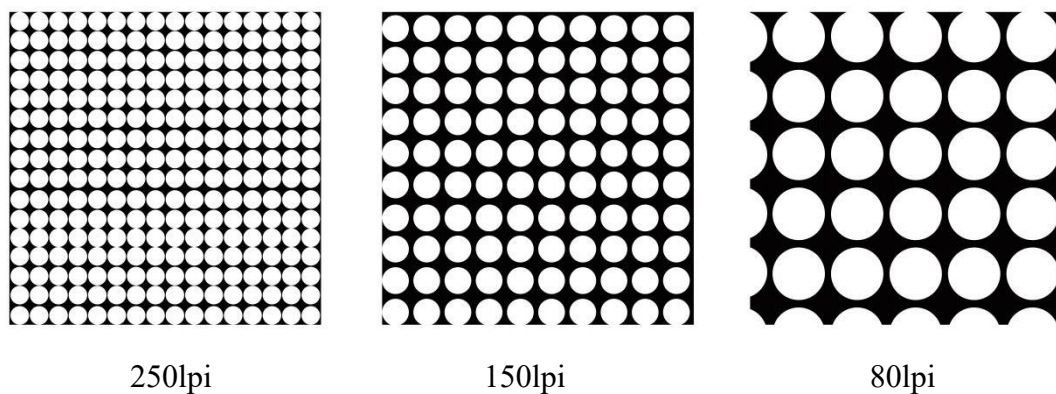


圖 2-11 調幅(AM)網點的不同過網線數展示
資料來源：研究者繪製

(二) 調幅 (AM) 網點的基本演算法

演算時將連續調圖像轉換成帶有 0 和 1 訊號值兩階化圖像，必須要通過一個臨界值矩陣，其中 1 代表印刷時指引機器不著墨的白點，0 代表黑點，如圖 2-12 所示。算法處理過程如下：通過建立相對應的臨界值矩陣將連續調圖像分割成多個相鄰的模組，再將通過這一臨界值矩陣的模組進行半色調的處理。其中臨界值矩陣的大小和排列方式是可以根據列印刷的相應需求做出更改，此外不同大小的臨界值矩陣和排列方式還直接關係到網點的大小和網屏角度的生成 (Ulichney, 1987)。

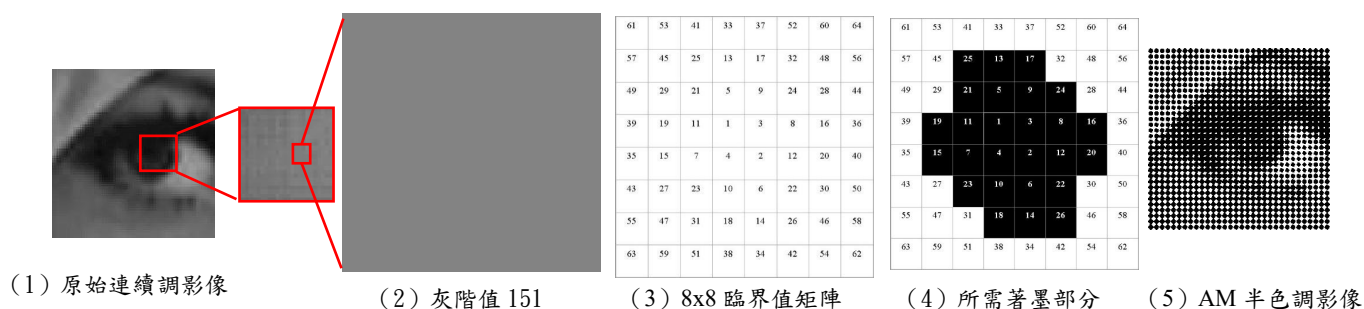


圖 2-12 原始影像和調幅網點過網影像比對
資料來源：研究者繪製

調幅網點的基本演算方程式如下：首先需要建立一個臨界值的矩陣，先將原始的灰階影像 $g(i,j)$ ，通過方程式 2-1 將原先的灰階值量化成臨界值矩陣中的階調數值 $G(m,n)$ ，其中 N_1 和 N_2 代表臨界值矩陣中的長和寬。

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

得到臨界值矩陣的階調數值 $G(m, n)$ 與臨界值矩陣中的 $t(i, j)$ 作比較，以 1 表示印刷過程中不著墨的白點，0 表示著墨的黑點，通過方程式 2-2，由此達到用演算法來實現半色調過網的過程，其中 $P(i, j)$ 半色調過網後獲得兩階影像中像素點的位置。

$$P(i, j) = \begin{cases} 1 & G(m, n) > t(i, j) \\ 0 & G(m, n) < t(i, j) \end{cases} \quad (2-2)$$

$t(i, j)$ 是臨界值矩陣中的數值，方程式如(2-3)，其中 k_1 和 k_2 都是正整數。

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

不同大小的臨界值矩陣和排列方式還直接關係到網點的大小和網點角度的生成，此處舉例網點角度為 0 度角的 8x8 臨界值矩陣為例，一共有 64 個 Pixels，當灰階影像通過算法進行數位半色調過網時，會將灰階影像劃分為以 8x8 Pixels。假如需要調整的階調數值為 26，那在 8x8 區塊的 64 格像素點會依據從矩陣內的像素點順序來進行著墨，最後共有 26 個需要著墨的點，如圖 2-13 所示。

61	53	41	33	37	52	60	64	61	53	41	33	37	52	60	64
57	45	25	13	17	32	48	56	57	45	25	13	17	32	48	56
49	29	21	5	9	24	28	44	49	29	21	5	9	24	28	44
39	19	11	1	3	8	16	36	39	19	11	1	3	8	16	36
35	15	7	4	2	12	20	40	35	15	7	4	2	12	20	40
43	27	23	10	6	22	30	50	43	27	23	10	6	22	30	50
55	47	31	18	14	26	46	58	55	47	31	18	14	26	46	58
63	59	51	38	34	42	54	62	63	59	51	38	34	42	54	62

(a) 8x8 臨界值矩陣

(b) 階調數值為 26 的矩陣

圖 2-13 調幅網點過網技術之臨界值矩陣的演算
資料來源：研究者繪製

(三) 調幅 (AM) 網點的不同排列方式：

不同大小的臨界值矩陣和排列方式在單位面積內的網點表現方式可分為兩大類，分別是：叢聚式 (Clustered-Dot) 和分散式 (Dispersed-Dot) 兩大類型 (Ulichney, 1987) (Kwon *et al*, 2015)。叢聚式裏的臨界數值是由內向外，從小

到大的去擴張大多是有規律的排序。分散式的數值呈現隨機排列，沒有特定的規律（姚海根，2006）。叢聚式臨界值矩陣是當前所採廣泛採用的半色調過網技術（謝顯丞，2009），優點是整體的算法計算量小，產生的網點能平滑、較自然的再現圖像的中間色調，也對印刷所產生的網點擴大和偽影有較好的控制。缺點是叢聚式臨界值矩陣需要控制網點大小，網點角度等，容易出現錯網（Moire）的花紋。此外影像亮調的部分網點過小印刷機器無法很好的控制著墨點，容易造成網點丟失的現象，同理，影像暗調的部分容易造成糊版的現象（趙炎，2011）(Wu et al, 2008)。AM 過網的兩種臨界值矩陣所產生的半色調圖像如圖 2-14、圖 2-15 所示：

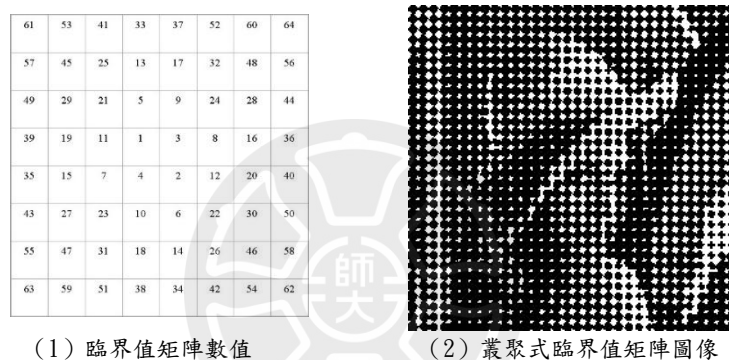


圖 2-14 調幅網點之集中式臨界值矩陣
資料來源：研究者繪製

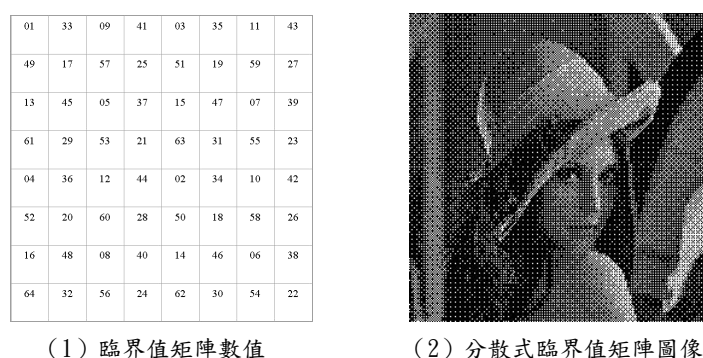


圖 2-15 調幅網點之分散式臨界值矩陣
資料來源：研究者繪製

叢聚式臨界值矩陣根據網點的排列方式，可以分為網點以水平式的方式來

排列的水平式臨界值矩陣，如圖 2-16 所示。將網點以垂直的方式來排列的垂直式臨界值矩陣，如圖 2-17 所示，另外還有以左傾斜或者右傾斜的網點來表現臨界值矩陣，如圖 2-18、圖 2-19 所示。不同的網屏角度產生的半色調圖像對人類視覺也有一定的影響，其中單色的半色調的網屏角度都放在同一個角度，灰階影像的角度例如有 0 度和 45 度 (謝顯丞，2009)，分別對應如圖 2-20、圖 2-21 所示。

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

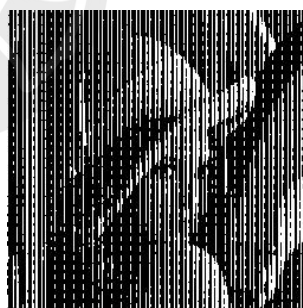


(1) 水平臨界值矩陣數值

(2) 水平式臨界值矩陣圖像

圖 2-16 水平式臨界值矩陣示意圖

64	48	32	16	8	56	40	24
62	46	30	14	6	54	38	22
60	44	28	12	4	52	36	20
58	42	26	10	2	50	34	18
57	41	25	9	1	49	33	17
59	43	27	11	3	51	35	19
61	45	29	13	5	53	37	21
63	47	31	15	7	55	39	23



(1) 垂直臨界值矩陣數值

(2) 垂直式臨界值矩陣圖像

圖 2-17 垂直式臨界值矩陣示意圖

1	16	30	40	49	56	61	64
10	4	19	32	43	51	58	62
23	13	6	21	33	42	52	57
35	27	15	3	18	31	44	50
45	29	25	11	8	22	34	41
53	47	37	28	14	7	20	29
59	55	48	38	26	12	5	17
63	60	54	46	36	24	9	2



(1) 左傾斜臨界值矩陣數值

(2) 左傾斜臨界值矩陣圖像

圖 2-18 左傾斜臨界值矩陣示意圖

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

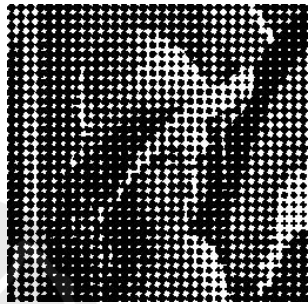


(1) 右傾斜臨界值矩陣數值

(2) 右傾斜臨界值矩陣圖像

圖 2-19 右傾斜臨界值矩陣示意圖

61	53	41	33	37	52	60	64
57	45	25	13	17	32	48	56
49	29	21	5	9	24	28	44
39	19	11	1	3	8	16	36
35	15	7	4	2	12	20	40
43	27	23	10	6	22	30	50
55	47	31	18	14	26	46	58
63	59	51	38	34	42	54	62



(1) 0 度臨界值矩陣數值

(2) 0 度臨界值矩陣圖像

圖 2-20 臨界值 0 度矩陣示意圖

35	49	41	33	30	16	24	32
43	59	57	54	22	6	8	11
51	63	62	46	14	2	3	19
39	47	55	38	26	18	10	27
29	15	23	31	36	50	42	34
21	5	7	12	41	60	58	53
13	1	4	20	52	64	61	45
25	17	9	28	40	48	56	37



(1) 45 度臨界值矩陣數值

(2) 45 度臨界值矩陣圖像

圖 2-21 臨界值 45 度矩陣示意圖

圖 2-16 至圖 2-21 資料來源：均為研究者繪製

爲了改善調幅網點在算法上需要使用不同的網點角度等而產生錯網 (moire) 的這一缺點，提出了調頻 (FM) 過網這一技術。

四、調頻網點(Frequency Modulation, FM)

(一) 調頻 (FM) 網點簡介：

調頻網點，也稱為誤差擴散算法 (Error Diffusion) (Eliás, 2014)，該方法最早由 Floyd 和 Steinberg 正式提出，全稱為 Floyd-Steinberg Error Diffusion (FSED)。在單位面積的區塊內，網點的大小不變，以網點密度表現圖像的層次 (Floyd & Steinberg, 1976)。表現為單位面積內，網點的密度數值高時，表現的是圖像中的暗部色調。反之，單位面積內，網點的密度數值低時，表現的是圖像中的亮部色調 (謝顯丞, 2009)。如圖 2-22 所示。



圖 2-22 連續調影像與調頻網點半色調影像

資料來源：研究者繪製

(二) 調頻 (FM) 網點的基本演算法：

演算時將連續調圖像的最左上角的某一像素，通過臨界值 Threshold 將這一像素量化，量化後產生的誤差值擴散到相鄰未處理的像素上，轉換成帶有 0 和 1 訊號值的半色調圖像 (任小玲 & 任二虎, 2003)。其他沒有量化的像素點，再通過上面這一流程繼續執行，一直到連續調圖像中所有的像素點都被量化完成，如圖 2-23 所示。兩階化的演算特徵從圖像的左上角的像素點以類似蛇形的方式 (Serpentine) 將圖像兩階化並擴散至鄰近還沒有被兩階化的像素點。以這種方式形成的圖像細膩，不會產生錯網的現象。

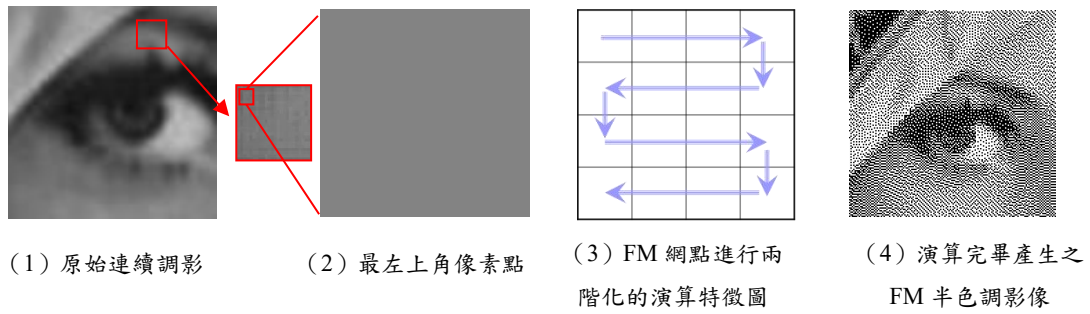


圖 2-23 誤差擴散法進行兩階化的演算特徵圖
資料來源：研究者繪製

調頻 (FM) 網點的基本演算框架，如圖 2-24，設定了一些符號，其中 g 表示輸入的灰階圖像， h 表示輸出的半色調圖像，其中輸入 g 中灰階圖像的某一像素點用 $g(x,y)$ 表示，輸出 h 的半色調像素點用 $h(x,y)$ 表示，並被量化為 0 或 1。 $E(x,y)$ 表示誤差擴散過濾器 (Error Filter) 的權重 (Floyd & Steinberg, 1976)。

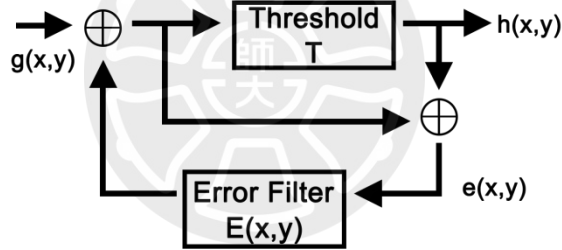


圖 2-24 調頻網點算法框架
資料來源：研究者繪製

在進行算法之前，需要將原始像素點轉為灰階影像，計算原始影像 X 中每一個像素點 $X(x,y)$ 的黑度值 Black Value (i,j)，可透過方程式 2-4：

$$BlackValue(i,j) = 1 - \frac{X(x,y)}{255} \quad (2-4)$$

根據臨界值 T (Threshold)，獲得半色調圖像的像素點 $h(x,y)$ 來決定著墨點和不著墨點，可以通過方程式 2-5：

$$h(i,j) = \begin{cases} 1 & g(x,y) \geq T \\ 0 & g(x,y) < T \end{cases} \quad (2-5)$$

計算量化的誤差值 $e(x,y)$ 可以通過方程式 2-6：

$$e(x,y) = g(x,y) - h(x,y) \quad (2-6)$$

訊息的丟失。因此，在印刷時必須確保印刷品與原始影像保持一致。如圖 2-26 所示，研究採用主觀評估法 (Subjective Evaluation) 將輸出後的 AM 網點圖像、FM 網點圖像、混合網點圖像和原始影像進行比對，研究結果表明混合網點圖像擁有較好的圖像品質。

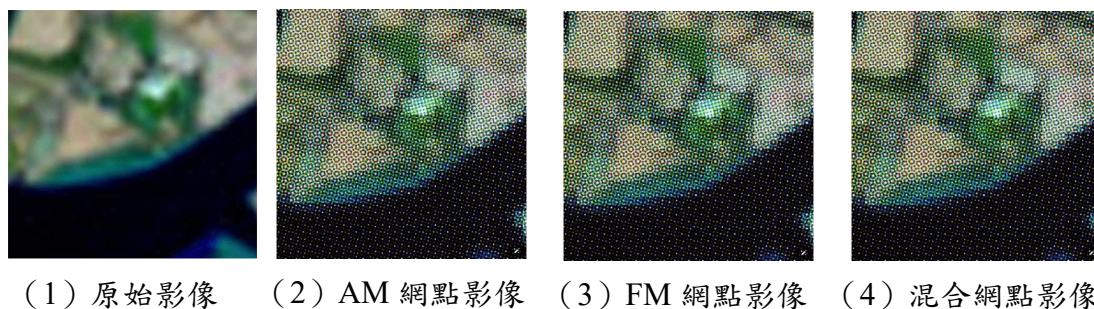


圖 2-26 混合網點圖像和 AM 及 FM 網點圖像
資料來源：Wu *et al.*(2008)

六、半色調過網技術與 QR Code 結合之相關研究

半色調過網技術能夠在不同顯示介質上維持較高的視覺效果，包括數位顯示和印刷品，從而提升圖像的吸引力和藝術性。而 QR Code 在外觀上是有黑白模組所組成，視覺上較不美觀，且還占據一定的印刷空間，因此半色調過網技術在 QR Code 的印刷和顯示應用中得到了廣泛應用。如 Chu *et al.* (2013)採用一種算法將 QR Code 的黑色或白色的次模組細分為 9 個次模組，嘗試用半色調過網技術將一張圖像的像素替換 QR Code 中黑白區塊，如圖 2-27，但是此方法存在著圖像失真的現象。

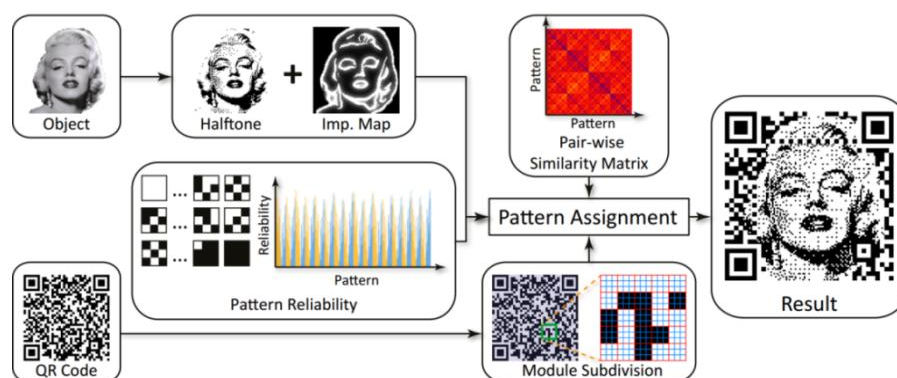


圖 2-27 圖像代替 QR Code 中的模組
資料來源：Chu *et al.* (2013)

Qiao *et al.* (2015) 提出一種 Greedy Structure-Aware Halftoning (GSAH) 的算法，在圖像替代模組的基礎上，調整圖像的微結構，生成具有高品質高解析度的半色調 QR Code，如圖 2-28 所示。依據所生成 QR Code 版本的模組，將其細分為幾個次模組，並且爲了確保 QR Code 能被移動端偵測識別，即可讀性，將次模組中心的顏色用原始 QR Code 中的顏色來表示，即黑色或白色。

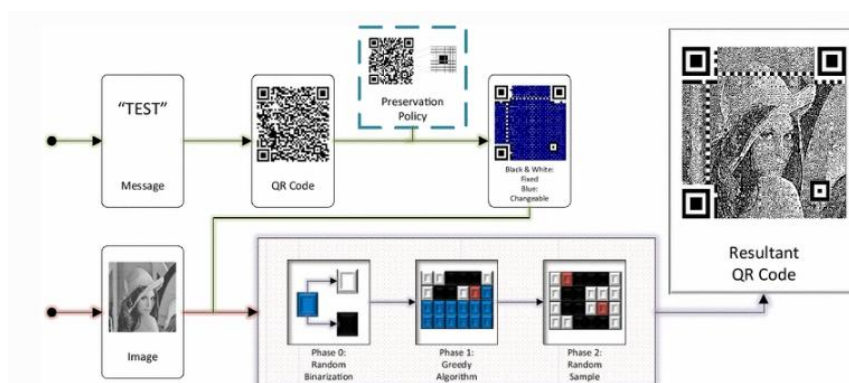


圖 2-28 結構感知 QR Code 產生之流程圖
資料來源：Qiao *et al.* (2015)

管珮君 (2018) 提出用半色調資訊隱藏技術來美化 QR Code，並內藏 QR Code 來提升 QR Code 的安全性。將 QR Code 的模塊分爲 3x3 的次模組，外顯 QR Code A 隱藏在 3x3 次模塊的中間，內藏 QR Code B 以偽隨機亂數藏在其餘 8 個次模塊中的一個。內藏的 QR Code B 透過特定的 key 才能解出，以此提升 QR Code 的安全性，如圖 2-29 所示。



圖 2-29 半色調技術隱藏兩個 QR Code
資料來源：管珮君. (2018)

Juan *et al.* (2021) 在管珮君研究的基礎上，提出用改進式的半色調技術來內藏一個 QR Code，外顯 QR Code A 尺寸為 41x41 模組，內藏 QR Code B 尺寸為 33x33 模組，如圖 2-30 所示。且內藏 QR Code B 藏在模組四周，也就是白色的區域，進一步提升了 QR Code 辨識率和美觀性，如圖 2-31 所示。

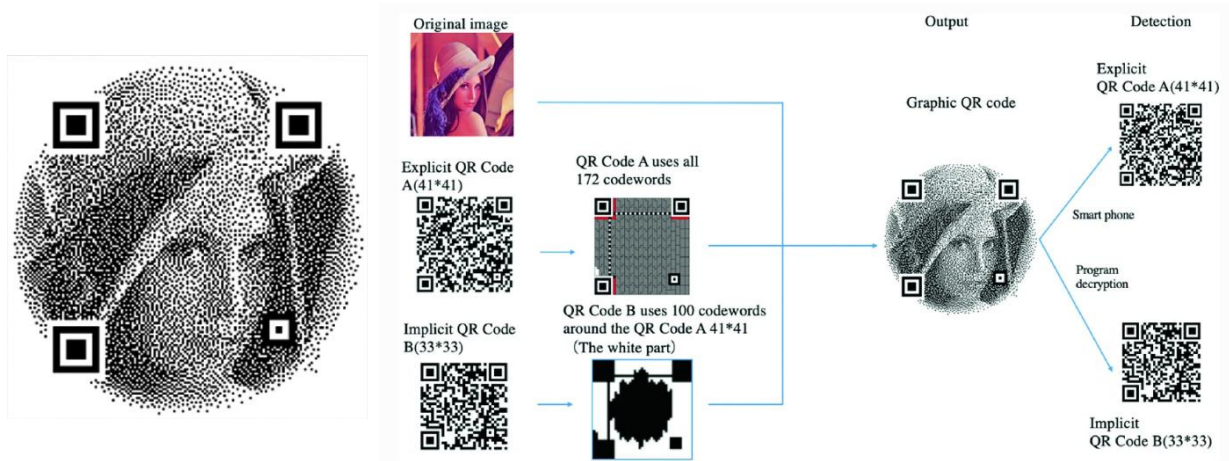


圖 2-30 使用誤差擴散法來生成雙重加密的 QR Code
資料來源：Juan *et al.*(2021)

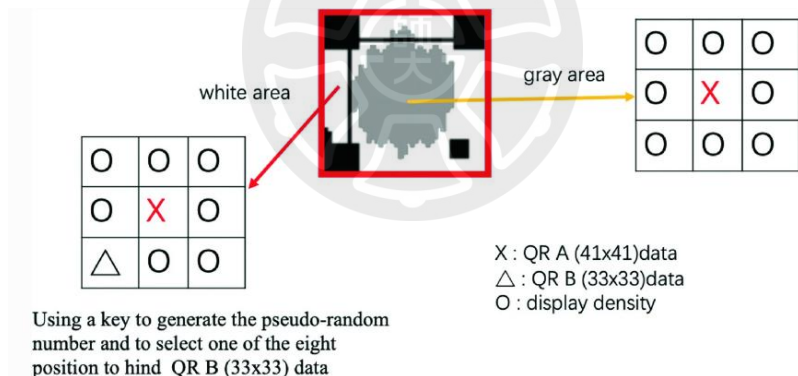


圖 2-31 QR Code 的資訊點嵌入在 3x3 次模組的中心點
資料來源：Juan *et al.*(2021)

劉幸芝 (2021)提出將雙重加密 QR Code 中微結構進行設計，並進行實體輸出實驗，以此來降低 QR Code 在印刷過程中產生的網點擴大，進一步提升了 QR Code 的品質和識別率。如圖 2-32 所示，在 Juan *et al.* (2021)的基礎上生成雙重加密 QR Code，針對所生成確認 Code 中的 3x3 次模組中間的資訊點進行四種微結構的設計，即將黑色資訊點由外圍四個角逐漸向內減少黑色像素。

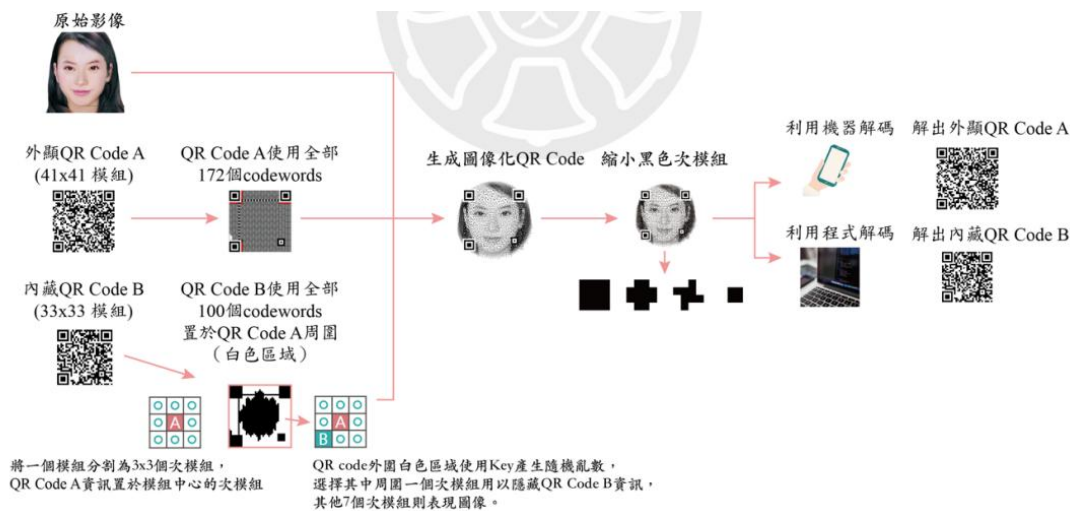


圖 2-32 雙重加密 QR Code 中微結構設計流程圖
資料來源：劉幸芝 (2021)

學者們為了解決 QR Code 占據一定空間，針對 QR Code 進行了各種形式的美化，並且在美化的過程中還進一步提升 QR Code 的掃碼辨識率，並且還進一步提升 QR Code 的安全性。但以上學者之 QR Code 美化研究結果占據一定的空間的問題仍然存在。

第三節 資訊隱藏技術之浮水印

一、資訊隱藏技術簡介 (Information hiding techniques)

是指將重要的資訊（文字、圖像、音頻）隱藏在其他載體中，對未經授權的複製或者濫用起到版權保護的作用。資訊隱藏技術分為三大類：浮水印 (Watermarking)、密碼學 (Cryptography) 和隱寫術 (Steganography) (Gupta *et al*, 2014)。本研究使用浮水印的資訊隱藏技術，屬於其中的一大類別。

浮水印 (Watermarking) 是指將需加密的消息、圖像、文件內容隱藏在其他公開的文件或者載體當中，通過相關的算法來實現。浮水印具有一定的抗干擾性 (Robustness) 功能，在面對攻擊或者干擾的時候，浮水印仍然可以起到保護文件的作用，相對來說會更適合印刷品的輸出 (Rani *et al*, 2015)。

二、浮水印與數位浮水印

浮水印可以分為實體浮水印和數位浮水印。實體浮水印是指將需可識別的圖像或圖案，印在紙上後可以被提取或者偵測，表面看不出明顯的特徵，只在透光查看時，浮水印才會呈現各種明暗不一的陰影，起到版權保護的作用 (Gupta *et al*, 2014)。實體浮水印在 1282 年就已經用在紙質印刷品上作為版權保護的重要技術，後續綜合紙張的特性進行了改進 (Mohanarathinam *et al*, 2020)。隨著互聯網技術的崛起，數位內容可以通過網路的管道大量的傳播，為了防止數位資訊在網路渠道被非法複製和傳播，在浮水印的基礎上衍生出數位浮水印技術 (Digital Watermarking Techniques) (Begum & Uddin, 2020)。

(一) 數位浮水印技術簡介

數位浮水印技術是指在數位內容（圖像、音頻、文本）中，通過 0 和 1 形成的編碼和數學的方法嵌入加密信息，起到數位版權保護的作用。數位浮水印分為的水印嵌入和提取兩個階段，其中嵌入階段又分為空間域 (Spatial Domain) 與頻率域 (Spectral Domain) (Mohanarathinam *et al*, 2020) (Wan *et al*, 2022) (Wazirali *et al*, 2021)，本研究屬於空間域。

空間域 (Spatial Domain) 的數位浮水印技術是通過修改原始影像的像素值來實現的，如圖 2-33 所示 (Begum & Uddin, 2020) (Bas *et al*, 2002)。

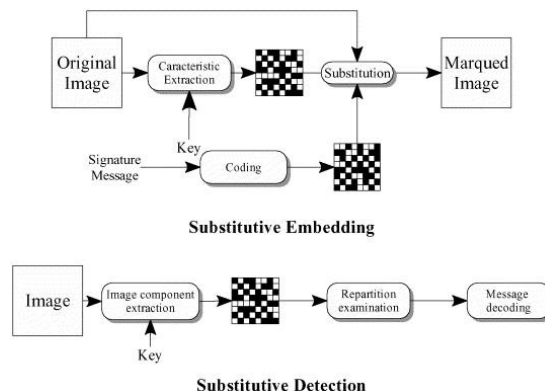


圖 2-33 空間域浮水印的檢測和提取
資料來源：Bas *et al*.(2002)

(二) 數位浮水印技術之特性

數位浮水印的嵌入是為了解決圖像的版權保護，因此研究者們針對浮水印圖像的品質提出了幾個主要的特性來評估浮水印圖像。分別有不可察覺性

(Imperceptibility) 和 抗干擾性 (Robustness) (Begum, & Uddin, 2020)(Wan *et al*, 2022)。

不可察覺性 (Imperceptibility) 是評估浮水印整體品質的重要特徵，浮水印嵌入原始圖像時，不可以避免的會使得原始圖像失去部分資訊，有許多相關的研究提出用峰值訊號雜訊比 (Peak Signal to Noise Ratio, PSNR) 來評估不可察覺性，以此來尋找經處理過帶有浮水印圖像與原始影像間之相似程度。峰值訊號雜訊比 (PSNR) 單位用 dB 來表示，值越高表示圖像品質越好，可透過方程式 2-8 獲得， n 為階距數，對於灰階影像， n 為 255 (Wazirali *et al*, 2021) (Liu *et al*, 2018)。

$$PSNR = 10 \log_{10} \left(\frac{n^2}{MSE} \right) \quad (2-8)$$

其中均方誤差 (Mean Square Error, MSE) 用於衡量原始圖像和帶浮水印圖像之間的視覺感知差距。 $A'(x, y)$ 表示的原始影像的矩陣數值， $A(x, y)$ 表示的有浮水印圖像的矩陣數值， N 表示的是影像的大小。MSE 值越小，則 PSNR 值越大，代表帶有浮水印圖像與原始影像間相似度愈高。反之若 MSE 值愈大，則 PSNR 值越小，帶有浮水印圖像與原始影像間相似度愈低。可透過方程式 2-9 獲得：

$$MSE = \frac{1}{N^2} \sum_{x=0}^{N-1} \sum_{y=0}^{N-1} (A'(x, y) - A(x, y))^2 \quad (2-9)$$

峰值訊號雜訊比 (Peak Signal to Noise Ratio, PSNR) 是一種常用的影像評估方式，但是無法直接針對半色調影像進行評估，因此有學者提出了修正峰值訊號雜訊比 (Modified Peak Signal to Noise Ratio, MPSNR)，MPSNR 是在 PSNR 基礎上演算而來的。需要先針對半色調影像進行模糊化處理，如圖 2-34 所示，先選定一個低頻濾波器 (Low Pass Filter, LPF)，將原始影像通過選定的低頻濾波器處理後獲得影像 A'，同理半色調影像也通過選定的低頻濾波器處理後獲得影像 B'，然後再進行 PSNR 的計算。

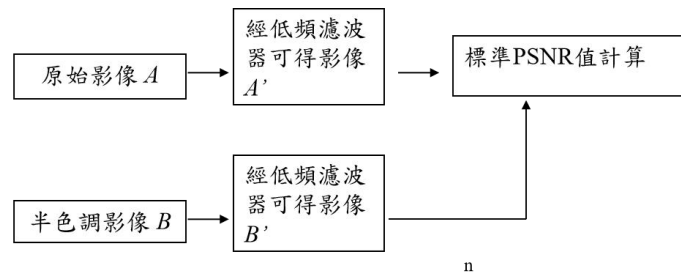


圖 2-34 使用 PSNR 對半色調影像進行評估
資料來源：研究者繪製

抗干擾性 (Robustness) 指的是偽造者會使用各種手段 (圖像壓縮、裁剪、列印後再掃描等等) 來篡改或者攻擊帶有浮水印的圖像，因此浮水印必須具有很好的抗干擾性。

三、資訊隱藏之浮水印相關研究

Kiuchi & Saito (2002) 提出改變線段的微結構用於資訊隱藏，製作出更具有美感且不易被人察覺的浮水印來用於防止影印，平衡了安全印刷和美觀上的應用。浮水印圖像中，以三種不同的微結構線段來製作浮水印，利用儀器取樣頻率的不同在影印後顯現浮水印，如圖 2-35 所示，實際應用在日本印刷局所印製的入境許可證上，如圖 2-36 所示。



圖 2-35 不同的微結構線段製作浮水印影像
資料來源：Kiuchi & Saito (2002)



圖 2-36 日本印刷局印製之採用不同微結構線段製作浮水印
資料來源：次媒體實驗室掃描取像

van Renesse (2006)介紹了一種 叫做 Micro Screen Angle Modulation (μ SAM) 的技術，使用網線 (The Fine Screen Line) 用於資訊隱藏。原始影像是由不同角度的網線所組成，但是用人眼觀測是會一塊灰色的區域，疊加相應的解碼片後就可顯示隱藏的圖案，如圖 2-37 所示。

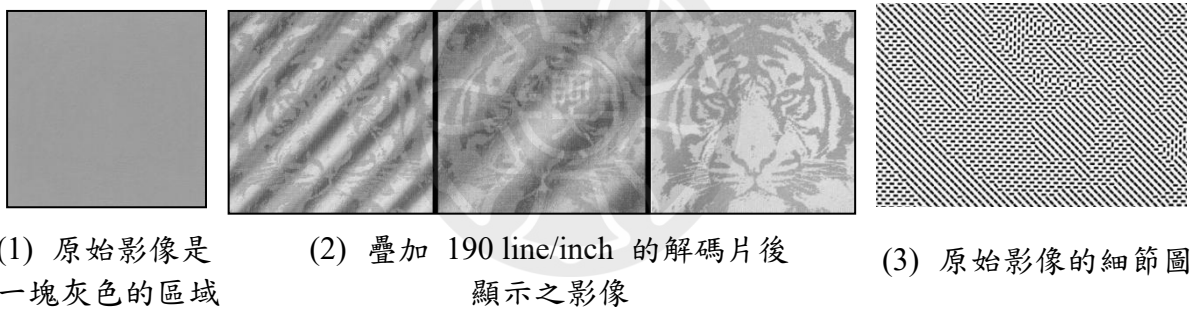


圖 2-37 不同的微結構線段製作浮水印影像
資料來源：van Renesse (2006)

Wang *et al.*(2009)提出了混合網點浮水印技術，將調幅 (AM) 網點和調頻 (FM) 網點結合，設計出一定距離內人眼不可以察覺的浮水印。將浮水印運用在文件的底紋上，利用複印機無法完全複製 FM 網點的特性，浮水印將會在複印後顯現，以此達到版權保護的作用。此外實驗中考慮到印刷中網點擴大的問題，設計出網點面積百分比匹配導表，通過調配 AM 網點和 FM 網點的網點面積百分比的比例，測試出能夠將浮水印資訊隱藏的最佳網點面積百分比，如圖 2-38 所示。



1) 一定距離觀測之浮水印原稿 2) 混合網點浮水印微結構 3) 複印後顯現浮水印示意圖

圖 2-38 混合網點浮水印
資料來源：Wang *et al.* (2009)

鄭雅文(2013)提出了改良式的混合網點結合數位浮水印的方法來解決混合網點印刷時出現的擴張 (Dot Gain) 現象。通過改變 AM 網點和 FM 網點的微結構，AM 網點通過改良式不著墨之白點來分散，FM 網點的結構和 AM 網點的結構相同，如圖 2-39 所示，可不用校正導表將改良式的混合網點浮水印應用在紙張上，並且在複印後顯現浮水印影像，起到版權保護的作用。

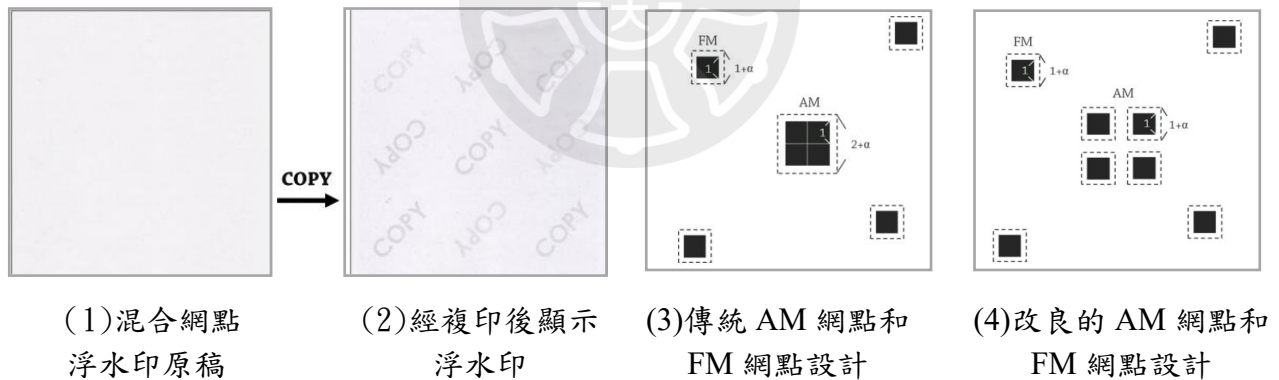


圖 2-39 改良式混合網點浮水印
資料來源：鄭雅文 (2013)

Chen *et al.* (2017) 也提出一種將混合網點和浮水印結合，將資訊隱藏用於版權保護的方法，需隱藏的資訊通過 FM 網點來生成，嵌入用 AM 網點生成的背景圖像中來隱藏資訊。此技術利用印刷品中，人眼無法明顯區分 AM 和 FM 網點的差異，但複製機器卻可感知差異，且利用 FM 網點的特性，如若通過再次複製，可以清晰地看到隱藏的加密資訊，以此來宣告版權，如圖 2-40 所示。

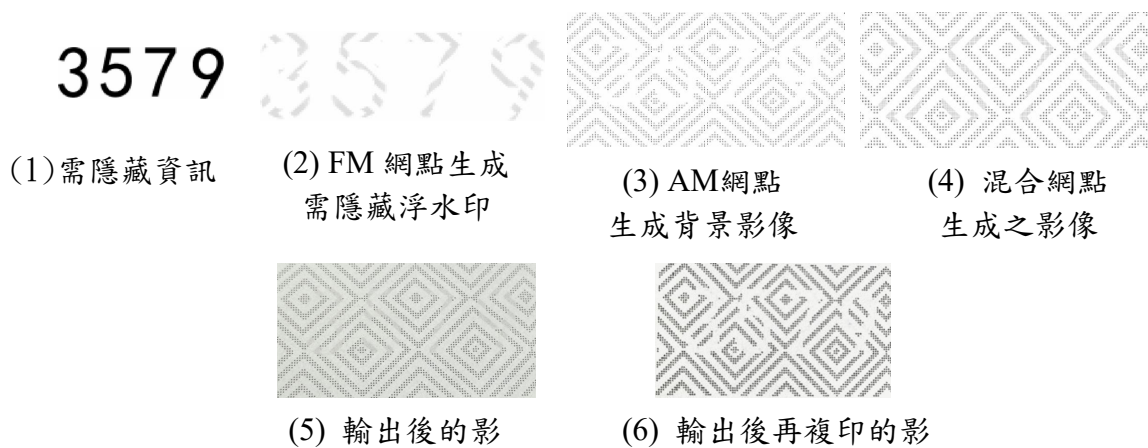


圖 2-40 混合網點浮水印
資料來源：Chen *et al.*(2017)

van Renesse.(2005) 指出未來網點或微結構防偽應用在印刷品的發展方向應該是結合數位技術將多變的訊息 (文字、數字、圖像等) 隱藏到相應的載體中，來提高文件的安全性和防篡性，並且隱藏圖像如果可被機器閱讀，將會進一步提升文件的價值。

第四節 文獻探討小節

QR Code 最早是由於其體積小，容量大而被備受歡迎，但是 QR Code 在印刷品上還是占據一定的空間，因此針對 QR Code 的外觀衍生出了許多算法將 QR Code 設計的更美觀，有通過更改 QR Code 中模組的大小或者模組的形狀來設計不同風格的 QR Code 外觀，但占據一定空間的問題還是存在。隨著 QR Code 在印刷品上更為廣泛的使用，業界的版權保護意識提升，可通過將混合網點和 QR Code 結合，並將結合資訊隱藏技術內藏小的 QR Code，以此提升安全性和防篡改性。

此外在資訊隱藏方面，有學者利用利用微小的線條對浮水印進行設計來隱藏資訊，也有利用混合網點的特性製作具有防篡改性的浮水印圖像，且為了保持浮水印的美觀性和實用性的平衡考量，針對浮水印進行了不可察覺性的設計，文件外觀整體看起來是灰色的區塊，經由複印後會顯示浮水印圖像。

van Renesse 早在 2005 年就提出將微結構和資訊隱藏技術相結合，且隱藏

的資訊可被機器識別將進一步提升文件的價值，但現在對於 QR Code 和浮水印結合，來將 QR Code 隱藏卻可被識別的相關研究則比較稀缺，因此本研究爲了改善 QR Code 在印刷品上占據一定空間，以混合網點導入 QR Code ，並結合資訊隱藏技術，給 QR Code 一種新的風貌，人眼無法察覺 QR Code 的存在，卻可被機器識別，達到資訊隱藏的目的。



第三章 研究方法

第一節 研究架構

本研究採用實驗研究法，為探討不同網點面積百分比的混合網點導入 QR Code 用於資訊隱藏的成效，因此自變數為不同網點面積百分比的混合網點，依變數為 QR Code 的資訊辨識率。如表 3-01：

表 3-01 研究架構

自變數	依變數
不同網點面積百分比的混合網點	QR Code 的辨識率

第二節 研究工具與設備

本研究結合軟體和硬體作為相關的研究工具，如表 3-02，第一步需要在軟體 Matlab 中編寫程式，將 QR Code 中的黑色方塊資料點用 AM 網點來表示，白色方塊資料用 FM 網點來表示，調配 AM 網點和 FM 網點的網點面積百分比的比例，使得兩者網點面積百分比的比例均衡的情況下製作不同網點面積百分比的混合網點 QR Code。接下來是分別以 Android 和 iPhone 手機測試數位檔不同網點面積百分比的混合網點在 QR Code 中的識別之成效，並找到可被手機掃碼識別之最低網點面積百分比。通過 Screen Tanto 6120 鐳射印表機在透明塑膠片輸出 1200 dpi 解析度的 QR Code。輸出後以肉眼觀測輸出 QR Code 隱藏之成效，再次分別以 Android 和 iPhone 手機掃碼偵測 QR Code，檢查輸出後的 QR Code 是否可被偵測。最後在 Epson Perfection V600 Photo 掃描機將輸出的影像掃描存取，稱為 Print-and-scan 影像，並進行辨識 QR Code 的資訊。

表 3-02 研究設備與工具

軟體	Matlab R2022b
硬體	Android 手機
	iPhone 手機
	Screen Tanto 6120 鐳射印表機
	Epson Perfection V600 Photo
載體	透明材質的塑膠片

第三節 實驗設計

本研究 QR Code 採用第六版 (41x41 模組) 來進行設計，現在大多的 QR Code 尺寸在印刷品上大致尺寸為 1 公分至數公分，且依據輸出之分辨率要求，本研究採用 984 x 984 pixel 尺寸來設計 QR Code，並以 1200dpi 輸出。

$$\text{實際輸出尺寸} = 984 / 1200 * 2.54 \approx 2.1 \times 2.1 \text{cm}$$

本研究實驗設計分為三個步驟：第一步為製作不同網點面積百分比之混合網點 QR Code。第二步為混合網點 QR Code 與資訊隱藏。第三步則是輸出所設計之混合網點 QR Code。第四步則是通過比對輸出後混合網點 QR Code 和原始 QR Code 的模組錯誤和碼字錯誤，以此來檢測輸出後混合網點 QR Code 的掃碼識別成效分析及在實際應用中的抗干擾成效分析。第五步是通過 PSNR 評估及人眼觀測來檢測 QR Code 資訊隱藏成效，流程圖如圖 3-01 所示。

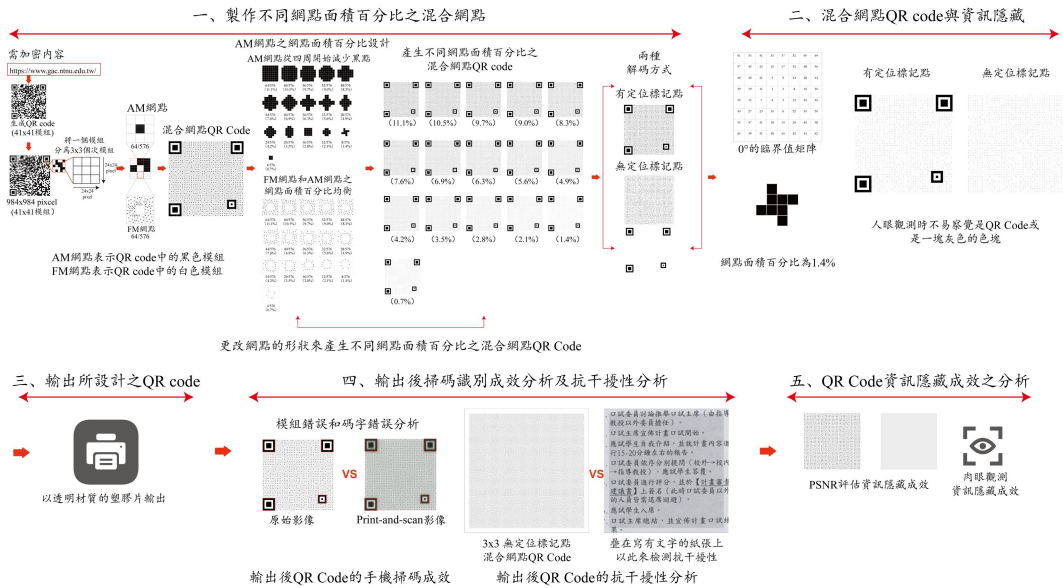


圖 3-01 實驗流程圖
資料來源：研究者繪製

一、製作不同網點面積百分比之混合網點 QR Code

(一) QR Code 中模組設計

將尺寸 984x984 按照 QR Code 的 41x41 模組切割成每個模組為 24x24 pixel，且以 3x3 為次模組。QR Code 中黑色次模組用 AM 網點來表示，白色次模組以 FM 網點來表示，以此產生相應網點面積百分比之混合網點 QR Code，如圖 3-02 所示，以網點面積百分比 11.1% 為例。

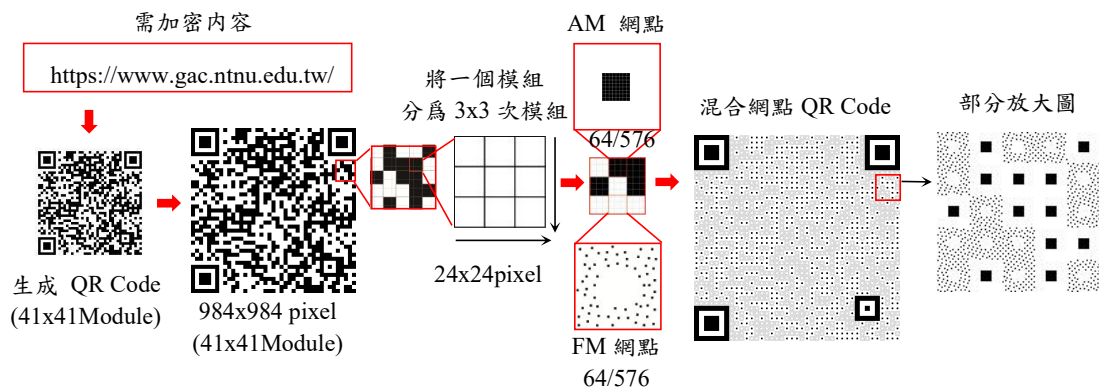


圖 3-02 混合網點 QR Code 的模組設計
資料來源：研究者繪製

其中 AM 網點以 8x8 的臨界值矩陣來過網，依據 QR Code 是由黑白模組

所組成的二維條碼，爲了確保 QR Code 輸出後的掃碼識別成效，這些模組必須在列印過程中保持其形狀和位置的準確，因此網屏角度設爲 0 度。0 度角度的網點排列方式可以最大限度地降低網點之間的相互干擾，避免因角度變化導致的圖像失真或模糊。此外爲了更好的將 QR Code 隱藏起來，且確保 QR Code 掃碼識別成效，將 QR Code 中的黑色模組縮小，設置在 3x3 次模組的中間，如圖 3-03 所示。

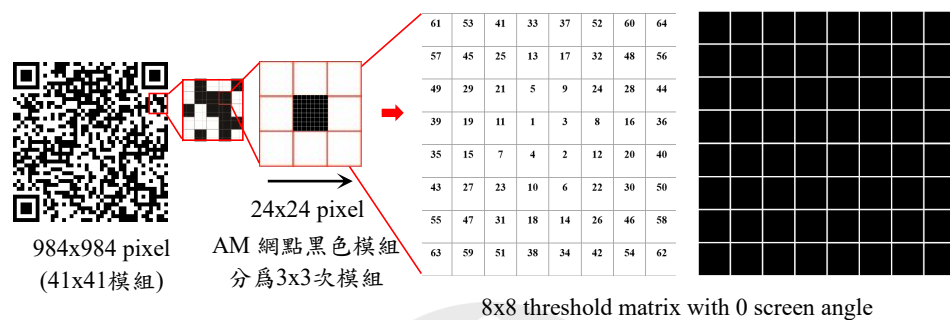
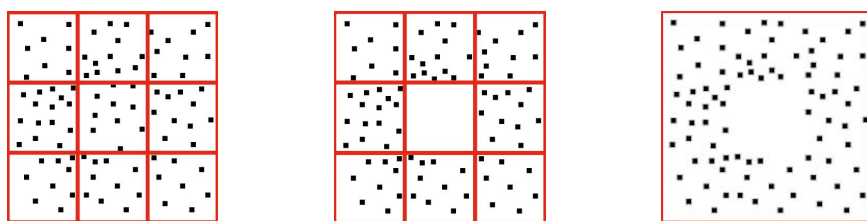


圖 3-03 混合網點 QR Code 之 AM 網點的模組設計
資料來源：研究者繪製

另 FM 網點爲了更好的隱藏 QR Code 隱藏，則將次模組中間挖空，形成白點來表示 QR Code 中的白色次塊。且 FM 網點面積百分比和 AM 網點面積百分比匹配，調配過程以 AM 網點之網點面積百分比值 64/576(11.1%)爲例，首先建立 FM 網點所占的區域，是指將 24x24 pixel 劃分爲 3x3 次模組，且次模組的中間爲白色，因此 FM 網點分佈在 3x3 次模組的 8/9 區域中，如方程式 3-1 所示，設定 FM 網點的網點數目爲 64，可計算出設定 FM 網點面積百分比 x ，在程式中將 3x3 次模組中間設定爲白色，且減去 8 個網點數目，如圖 3-04 的(2)圖所示。FM 網點在 24x24 pixels 內爲與 AM 網點面積百分比平衡，必須置入 64 pixels 黑點，則 FM 網點網點面積百分比值爲 64/576 (11.1%)，和 AM 網點網點面積百分比值 64/576 (11.1%) 均衡。如圖 3-04 的(3)圖所示。

$$(x * 24 * 24) * 8/9 = 64 \quad (3-1)$$



(1) FM 網點數量為 72 (2) FM 網點挖空中間減去 8 個黑點 (3) FM 網點面積百分比 64/576 (11.1%)

圖 3-04 混合網點 QR Code 的 FM 網點的模組設計
資料來源：研究者繪製

AM 網點每個次模組為 24x24 pixel 且以 3x3 為次模組按照圖 3-3 所設計的方式產生，本研究所設計的混合網點 QR Code 尺寸為 984x984 pixel，所以生成 41x41 個 AM 網點的次模組。同理，FM 網點每個次模組為 24x24 pixel 且以 3x3 為次模組按照圖 3-04 所設計的方式產生，依據 984x984 尺寸，有 41x41 個 FM 網點的次模組，如圖 3-05 所示。圖 A 為 984x984 尺寸的 AM 網點，圖 B 為 984x984 尺寸的 FM 網點，依據原始 QR code，黑色次模組為 AM 網點，白色次模組設定為 FM 網點，如方程式 3-2，產生無定位標記點之混合網點 QR Code (如圖 D 所示)(以網點面積百分比 11.1% 為例)，此外再次疊加 QR Code 的定位標記點(如圖 E)，就可得到有定位標記點之混合網點 QR Code (如圖 F 所示)。

$$D = (A \cap C) \cup (B \cap \sim C) \quad (3-2)$$

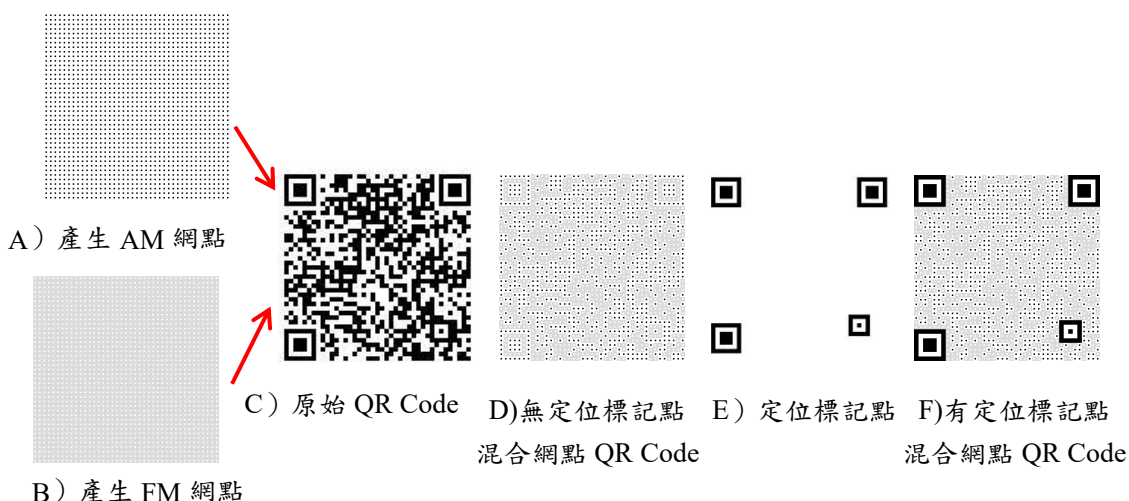


圖 3-05 混合網點 QR Code 的 FM 網點的模組設計
資料來源：研究者繪製

(二) 不同網點面積百分比之混合網點 QR Code 的產生

通過縮小 AM 網點的黑色次塊，FM 網點面積百分比和 AM 網點面積百分比均衡，來改變混合網點之網點面積百分比匹配設計。且為了確保 QR Code 掃描判讀的穩健性(Robustness)，AM 網點黑色次塊從四周開始減少，盡量保留中心次塊，如圖 3-06 所示，QR Code 中的黑色模組以 AM 網點表示，並且在 24x24 pixel 原始黑色次模組的網點面積百分比為 64/576 (11.1%)，以每次從四周各減去一個 1 pixel 不斷向次模組中心減少，直至減少到不可減少為止，也就是減少到最後 4 pixel，網點面積百分比為 4/576 (0.7%)。FM 網點面積百分比隨著 AM 網點面積百分比匹配均衡，即當 AM 網點面積百分比為 60/576 (10.5%) 時，FM 網點面積百分比也應為 60/576 (10.5%)，達到網點面積百分比均衡的算法和前面小節所提到的 FM 網點模組設計一致。以此產生 AM 網點和 FM 網點面積百分比均衡比例的情況下，產生不同網點面積百分比之混合網點 QR Code。在 24x24pixel 中 AM 網點的次模組種類如表 3-03 所示。

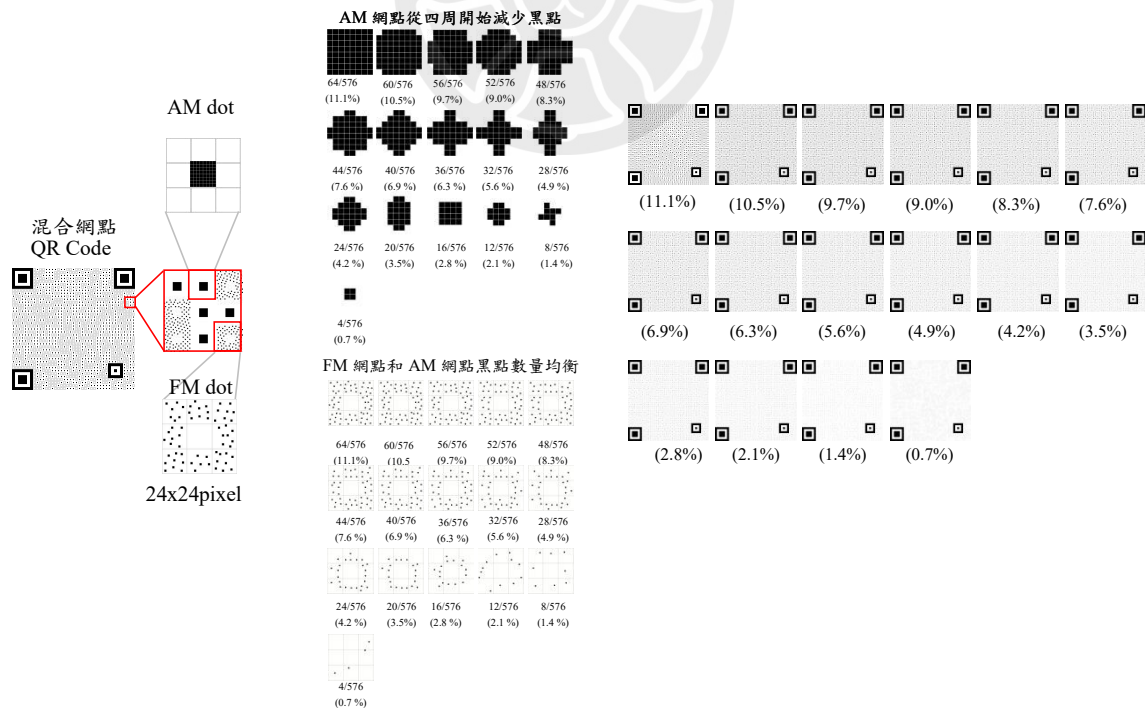
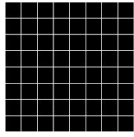
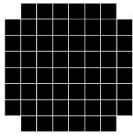
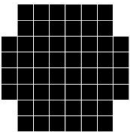
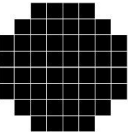
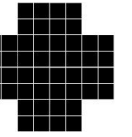
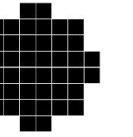
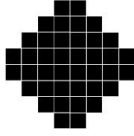
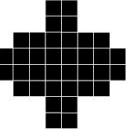
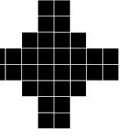
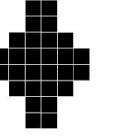
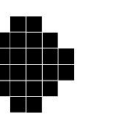
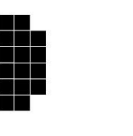






圖 3-06 不同網點面積百分比之混合網點 QR Code 的產生
資料來源：研究者繪製

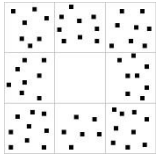
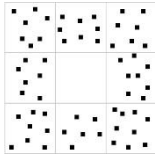
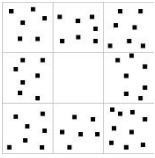
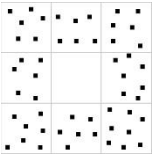
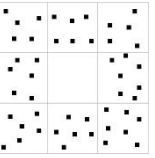
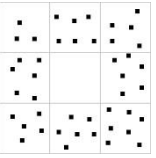
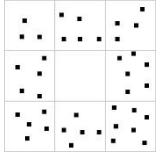
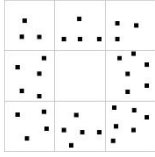
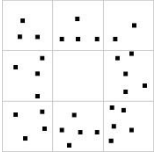
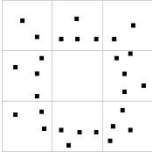
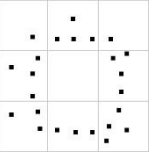
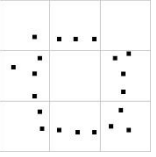
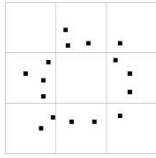
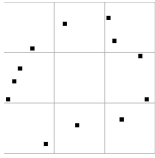
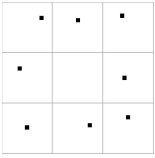
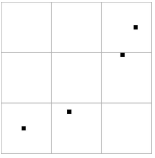
表 3-03 24x24pixel 內 AM 網點縮小黑色次模組的種類

64/576(11.1%)	60/576(10.5%)	56/576(9.7%)	52/576(9.0%)	48/576(8.3%)	44/576(7.6%)
					
40/576(6.9%)	36/576(6.3%)	32/576(5.6%)	28/576(4.9%)	24/576(4.2%)	20/576(3.5%)
					
16/576(2.8%)	12/576(2.1%)	8/576(1.4%)	4/576(0.7%)		
					

資料來源：研究者繪製

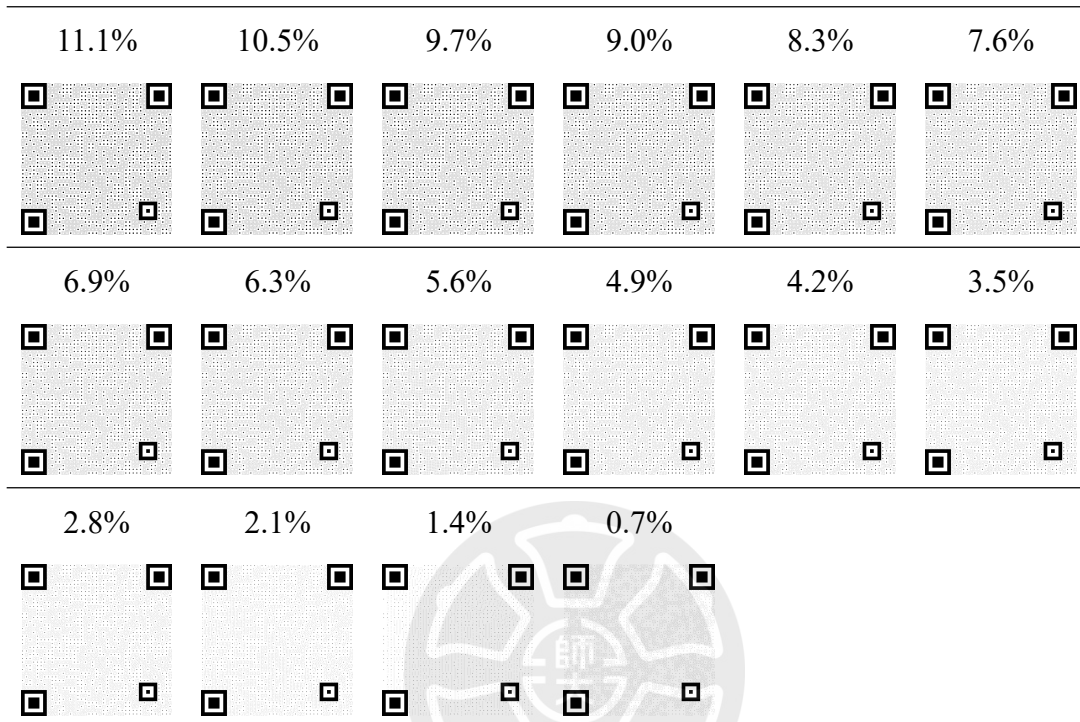
在 24x24pixel 中 FM 網點的次模組種類如表 3-04 所示，次模組的網點面積百分比分別對應 AM 網點的次模組的網點面積百分比。

表 3-04 24x24pixel 內 FM 網點縮小黑色次模組的種類

64/576(11.1%)	60/576(10.5%)	56/576(9.7%)	52/576(9.0%)	48/576(8.3%)	44/576(7.6%)
					
40/576(6.9%)	36/576(6.3%)	32/576(5.6%)	28/576(4.9%)	24/576(4.2%)	20/576(3.5%)
					
16/576(2.8%)	12/576(2.1%)	8/576(1.4%)	4/576(0.7%)		
					

產生的 AM 網點面積百分比和 FM 網點面積百分比均衡的情況下，產生的不同網點面積百分比之混合網點 QR Code 如表 3-05。

表 3-05 產生的不同網點面積百分比之混合網點 QR Code



資料來源：研究者繪製

針對所產生的不同網點面積百分比之混合網點 QR Code 顯示在螢幕上，用手機掃碼偵測識別，確定混合網點 QR Code 最低可被偵測之網點面積百分比為 1.7%，混合網點 QR Code 網點面積百分比為 0.7%，QR Code 用手機掃碼無法識別，因此在所設計之不同網點面積百分比的 16 種混合網點 QR Code，在螢幕上除 0.7% 的網點面積百分比之混合網點 QR Code 不可被掃碼識別，其餘 15 種皆可被手機掃碼識別。針對數位檔原始影像在螢幕上進行掃碼識別可用於後續輸出網片 QR Code 的識別率評估與比較。

(三) 不同網點面積百分比之混合網點 QR Code 的兩種解碼方式

本研究所設計之不同網點面積百分比之混合網點 QR Code 有兩種解碼方式：第一種是包含 QR Code 定位標記點 (Finder Patterns)，如圖 3-07 的圖 A 所

示，將定位標記點另外輸出成透明片，圖 B 疊加在 圖 A 上即可被掃描識別。

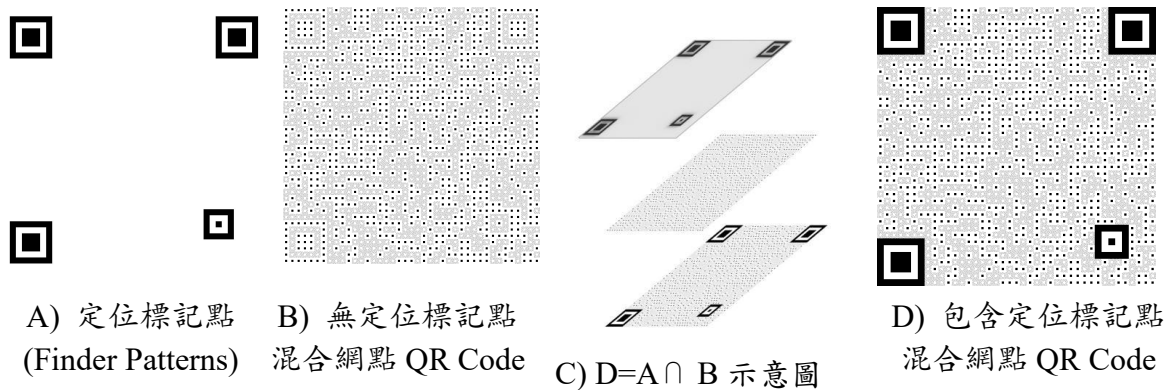


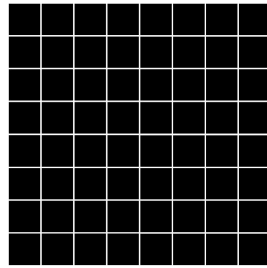
圖 3-07 混合網點 QR Code 的兩種解碼方式
資料來源：研究者繪製

二、混合網點 QR Code 與資訊隱藏

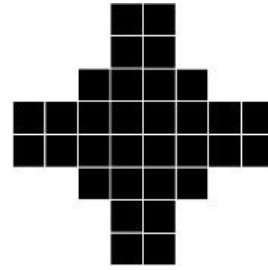
本研究是將混合網點導入 QR Code 中，根據研究設計的第一部分所提到的 QR Code 模組設計，AM 網點採用 8×8 的臨界值矩陣，網屏角度設定為 0° ，如圖 3-08 的 (1) 所示。針對 QR Code 的模組進行修改，以製作帶有空間域 (Spatial Domain) 的不同網點面積百分比的混合網點 QR Code，即將 QR Code 整體視為數位浮水印，如圖 3-08 之圖 (2) - (3) 所示。原始的 AM 網點的面積百分比為 $64/576$ (11.1%)，修改後的 AM 網點面積為 $32/576$ (5.6%)，詳細的修改設計參考研究中的 QR Code 模組設計，以產生面積百分比為 5.6% 的混合網點 QR Code，如圖 3-08 (4) 所示。進一步地，將 QR Code 的定位標記點移除，生成無定位標記點的 QR Code，如圖 3-08 (5) 所示。在一定距離外，人眼觀察到的僅是一個灰色的方塊，其模擬效果如圖 3-08 (6) 所示。這種設計提供了一種全新的 QR Code 外觀，達到資訊隱藏的目的。

61	53	41	33	37	52	60	64
57	45	25	13	17	32	48	56
49	29	21	5	9	24	28	44
39	19	11	1	3	8	16	36
35	15	7	4	2	12	20	40
43	27	23	10	6	22	30	50
55	47	31	18	14	26	46	58
63	59	51	38	34	42	54	62

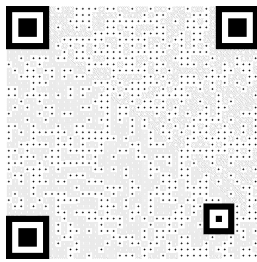
(1) AM 網點 8x8
臨界值矩陣



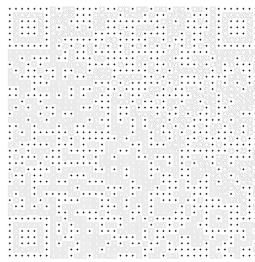
(2) 8x8 之 AM 網點面積
百分比 64/576 (11.1%)



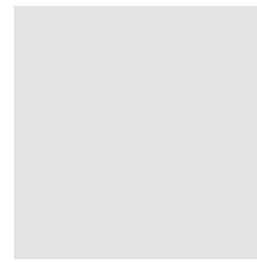
(3) 8x8 之 AM 網點面積
百分比 32/576 (5.6%)



(4) 產生之混合網點 QR
Code (5.6%)



(5) No Finder Pattern 之混合網
點 QR Code (5.6%)



(6) 人眼一定距離外觀測之
模擬效果

圖 3-08 混合網點 QR Code 與資訊隱藏
資料來源：研究者繪製

三、輸出所設計之混合網點 QR Code

本研究針對可被掃碼識別的不同網點面積百分比之混合網點 QR Code 以 1200 dpi 輸出成品，針對包含定位標記點的可被掃碼識別之 15 種混合網點 QR Code，所輸出的 QR Code 尺寸為 2.1x2.1 公分，且以透明片的材質輸出。無定位標記點混合網點 QR Code 的只輸出網點面積百分比為 8.3%和 2.1%測試，且為了檢測不同位置 QR Code 的掃碼成效及進一步改變 QR Code 的風貌，輸出時在水平和垂直方向複製三次，創建 3x3 無定位標記點之 QR Code，將 QR Code 的定位標記點也創建 3x3 共九個，並嵌在中間的那個，如圖 3-09、圖 3-10 所示。

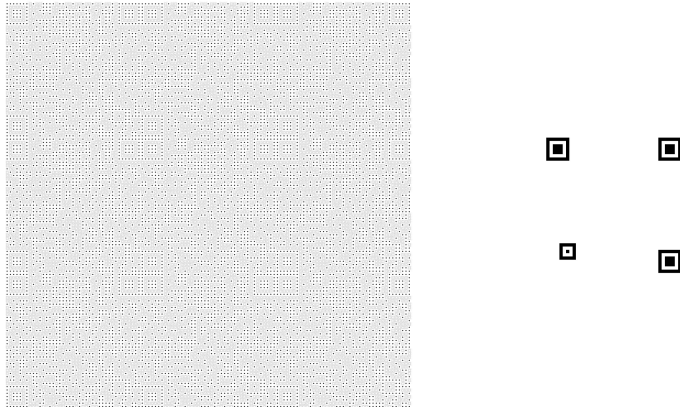


圖 3-09 無定位標記點混合網點 QR Code 輸出設計(8.3%)
資料來源：研究者繪製





圖 3-10 無定位標記點混合網點 QR Code 輸出設計(2.1%)
資料來源：研究者繪製

四、輸出後混合網點 QR Code 掃碼識別之成效及抗干擾性

針對輸出成品透過掃描儀器抓取輸出後的影像檔案，這一過程稱為 Print-and-scan。為了更瞭解輸出後不同網點面積百分比的混合網點 QR Code 識別之成效，針對 Print-and-scan 影像和數位影像進行 模組錯誤(Module Error)及碼字錯誤(Codeword Error)進行分析，在進行分析前需要針對需要比對的兩張影像依據 QR Code 的定位標記點 (Finder Patterns)進行定位。

模組錯誤 (Module Error) 是指 QR Code 在列印輸出時，由於印刷的相關特性，QR Code 中的白色資訊點會被辨識成黑色的資訊點列印輸出，稱之為偽黑。同理，QR Code 中的黑色資訊點會被辨識成白色的資訊點列印輸出，稱之為偽白，如表 3-06 所示。

表 3-06 模組錯誤特性之定義

偽黑	偽白
	
白點被誤認為黑點	黑點被誤認為白點

通過 MATLAB 軟體將 Print-and-scan 影像和數位影像的進行比對，得到模組錯誤 (Module Error) 分析。得到的分析有：模組錯誤 (Module Error) 的個數，分別是偽黑和偽白的模組 (Module) 總和。依據本研究採用第六版 QR Code (41x41 個模組)，可得到 QR Code 的模組錯誤 (Module Error) 比例，可透過公式 3-3 得到。

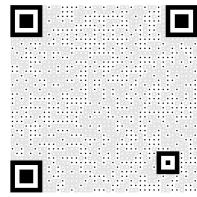
$$\text{Module Error 比例} = \frac{\text{Module Error 個數}}{41 \times 41} \quad (3-3)$$

碼字錯誤 (Codeword Error) :指的是 QR Code 自身的容錯模組，每 8 個 module 組成一個 Codeword，只要有一個 module 出現錯誤，此 Codeword 則無法被識別。本研究使用的是第六版 QR Code (41x41 模組)，有 172 個 Codeword，容錯等級為 H (30%)，即 Codeword 被損壞 52 個，QR Code 就無法被掃碼識別。可透過公式 3-4 得到。

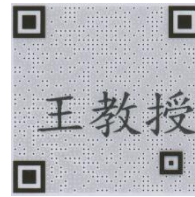
$$\text{Codeword Error 比例} = \frac{\text{Codeword Error 個數}}{172} \quad (3-4)$$

除了用上面的模組錯誤和的碼字錯誤相關數據來驗證所設計之混合網點 QR Code 的掃碼識別成效，在現實中，也用手機掃碼輸出後的 QR Code 來驗證掃碼識別成效。

此外為了檢測所設計之混合網點 QR Code 輸出後在實際應用中的疊加干擾後的掃碼識別成效。檢測 QR Code 的掃碼成效的過程中，首先針對輸出後疊加在寫有文字的紙張上的 QR Code 進行 Print-and-Scan 步驟，然後進行模組錯誤和碼字錯誤分析。針對有定位標記點的混合網點 QR Code 疊加在寫有文字的紙張上，如圖 3-11 所示，以網點面積百分比 7.6% 為例。



(1) 原始影像

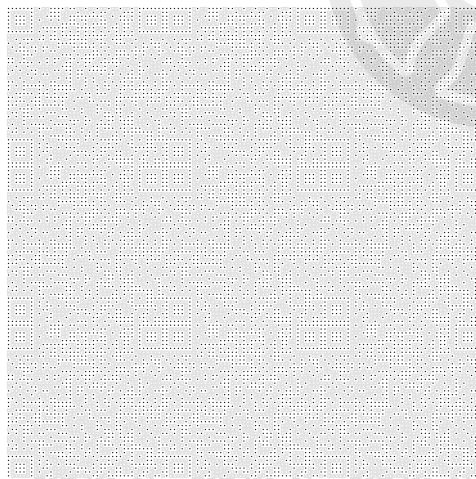


(2) 輸出後將(1)疊加在寫有文字的紙張上

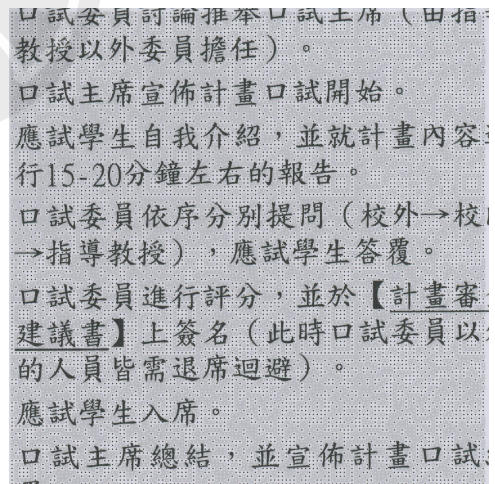
圖 3-11 有定位標記點的混合網點 QR Code 的抗干擾性分析(7.6%)

資料來源：研究者繪製

無定位標記點的混合網點 QR Code 則是將 3x3 無定位標記點 QR Code 疊加在寫有文字的紙張上，如圖 3-12 和圖 3-13 所示(分別以 8.3%和 2.1%網點面積百分比為例)，檢測 QR Code 能否被成功掃碼，以此來檢測其抗干擾性。此外 3x3 無定位標記點 QR Code 疊加在寫有大量文字的紙張上後，一定會有 QR Code 超出本身的容錯範圍，因此還對 QR Code 在程式中進行投票分析，以此檢測 QR Code 在不同位置的抗干擾成效和掃碼識別成效。



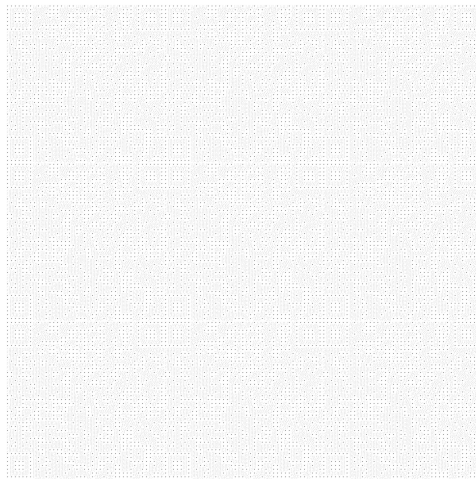
(1) 3x3 無定位標記點 QR Code



(2) 將(1)疊加在寫有文字的紙張上

圖 3-12 所設計之 QR Code 疊加在寫有文字的紙張上示意圖(8.3%)

資料來源：研究者繪製



試委員的調任本口試主席（由指導教授以外委員擔任）。

口試主席宣佈計畫口試開始。

應試學生自我介紹，並就計畫內容進行15-20分鐘左右的報告。

口試委員依序分別提問（校外→校內→指導教授），應試學生答覆。

口試委員進行評分，並於【計畫審查建議書】上簽名（此時口試委員以外的人員皆需退席迴避）。

應試學生入席。

口試主席總結，並宣佈計畫口試結

(1) 3x3 無定位標記點 QR Code (2) 將(1)疊加在寫有文字的紙張上

圖 3-13 所設計之 QR Code 疊加在寫有文字的紙張上示意圖(2.1%)

資料來源：研究者繪製

五、QR Code 的資訊隱藏成效之檢測

爲了探究無定位標記點(No Finder Patterns)的混合網點 QR Code 在人眼觀看下是一塊灰色的方塊，達到提供 QR Code 在資訊隱藏方面一種新的風貌，採用峰值訊號雜訊比(Peak Signal to Noise Ratio, PSNR) 來進行不可察覺性分析，檢測 QR Code 的資訊隱藏成效，如圖 3-14 所示，圖 A 是一張和混合網點 QR Code 具有同灰度百分比、相同尺寸的方塊，和圖 B 是無定位標記點的網點面積百分比為 11.1%混合網點 QR Code，檢測在一定距離圖 B 的視覺效果和圖 A 的視覺上的相似程度，以此來檢測 QR Code 資訊隱藏之成效。

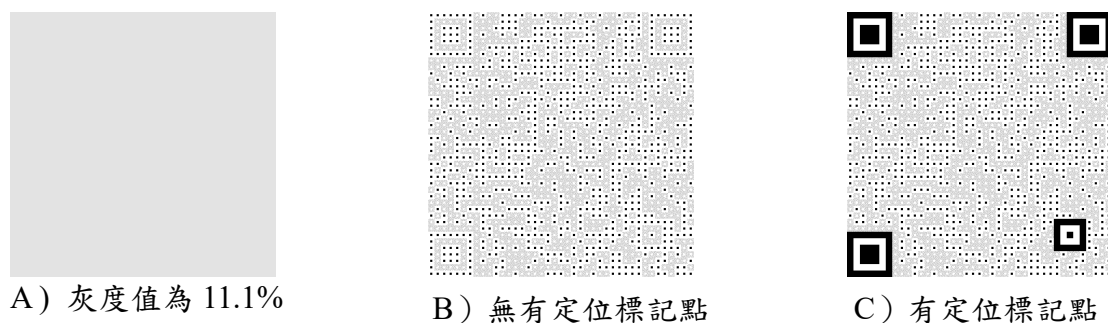


圖 3-14 QR Code 的不可察覺性

資料來源：研究者繪製

同灰度百分比方塊的設計，首先利用程式生成和 QR Code 對應的灰度百分比方塊，可通過公式 3-4 所示。舉例來說，需要比對的混合網點面積百分比為 11.1%，可知 AM 網點在 24x24 pixel 的網點面積百分比是 64/576 (11.1%)，那對應的灰度百分比方塊也由此設計， $G(m, n)$ 即為需著墨的 64， $N_1 \times N_2$ 則是臨界值矩陣 24x24，由此可推算出 $g(i, j)$ 。在程式中通過此方程來產生和混合網點面積百分比對應的灰度百分比方塊。

$$G(m, n) = N_1 \times N_2 \times \left(1 - \frac{g(i, j)}{255}\right) \quad (3-4)$$

生成灰度百分比方塊後，需將圖 A 和圖 B 通過峰值訊號雜訊比 (Peak Signal-to-Noise Ratio, PSNR) 方法來進行不可察覺性的評估，判斷是否達到資訊隱藏的目的。圖 B 是本研究設計的產生的兩階影像，而 PSNR 適用於灰階影像的品質評估，因此需要通過一個低頻濾波器來針對兩張影像進行比對，如圖 3-15 所示。PSNR 的評估數值可通過方程式 3-5 和方程式 3-6 獲得。對灰階影像而， n 為 255， N 為影像大小。MSE 值愈小，則 PSNR 值越大，且影像 B' 與影像 A' 間相似度越高，代表混合網點 QR Code 的資訊隱藏成效越好。反之若 MSE 值越大，則 PSNR 值越小，且影像 B' 與影像 A' 間相似度愈低。代表混合網點 QR Code 的資訊隱藏成效越差。

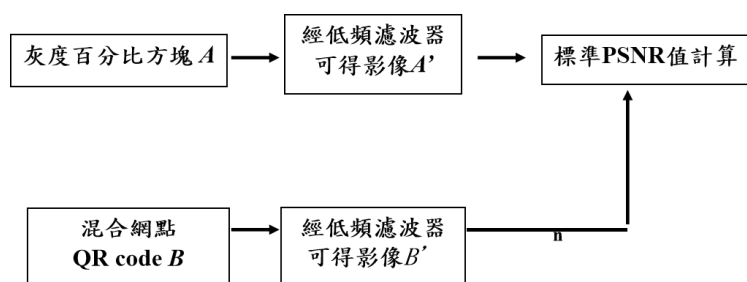


圖 3-15 QR Code 的不可察覺性的演算流程圖

資料來源：研究者繪製

$$PSNR = 10 \log_{10} \frac{n^2}{MSE} \quad (3-5)$$

$$MSE = \frac{1}{N^2} \sum_{x=0}^{N-1} \sum_{y=0}^{N-1} (B'(x, y) - A'(x, y))^2 \quad (3-6)$$

低頻濾波器是將影像進行不同程度的平滑化來模擬人眼在不同距離觀測 QR Code 的效果。本研究是通過比對原始混合網點 QR Code 及有著相同灰度百分比、相同尺寸的方塊，並通過不同的尺寸平滑化 (Smoothed) 遮罩來模擬人眼在不同距離觀測 QR Code 的資訊隱藏成效，如圖 3-16 所示(以 11.1%網點面積百分比為例)，平滑化遮罩尺寸由近到遠分別是 6x6, 12x12, 18x18, 24x24, 30x30, 36x36, 42x42, 48x48，越遠觀看則會越模糊。通過評估後如若 PSNR 值越大，代表兩張影像之間的具有極高的相似性，表明資訊隱藏效果越好。

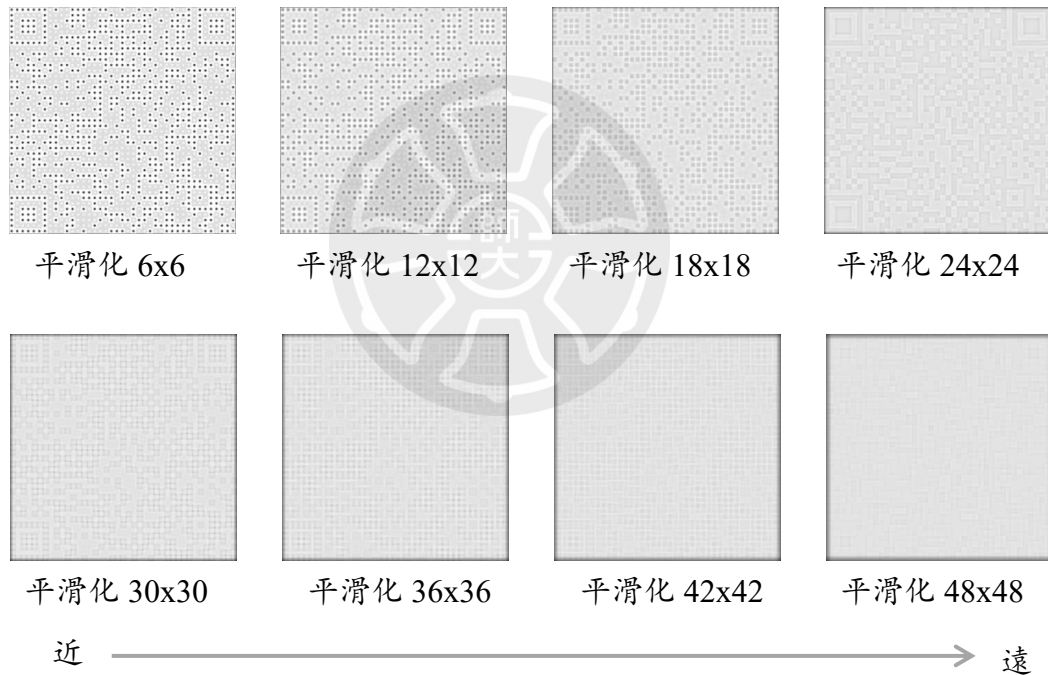


圖 3-16 混合網點 QR Code 的不同觀測距離的效果模擬(11.1%)
資料來源：研究者繪製

上述提到的混合網點 QR Code 在不同觀測距離下的效果模擬僅為大概的距離範圍，Pappas *et al.*(2003) 針對詳細的距離範圍進行了人眼模式影像品質評估，以提供更準確的觀測效果參考。人眼模式影像品質評估的原理是假設已知影像解析度為 m dpi，且觀測距離為 r ，此影像相鄰兩像素在人眼觀察模式下形成的夾角為 θ 角時，影像解析度、觀測距離以及夾角三者的關係如圖 3-17 所

示，若 $\theta < 5$ 弧度(Radian)，則符合方程式 3-7 所示之關係。當人眼觀察一幅影像時，所夾的 θ 夾角越大，模糊程度越高，即低頻濾波器(Low-Pass Filter, LPF)的影響越大。可透過方程式 3-8 得到該低頻濾波器的效果。假設一張影像為 1200dpi，且人眼觀測此張影像的詳細距離 200 英寸，通過方程式 3-7 得到 θ 為 0.000238，可繪製出如圖 3-18 所示的低頻濾波器，這條低頻濾波器分佈能有效模擬影像通過人眼模式在不同距離觀測時的視覺效果，從而更準確地評估影像的模糊程度。

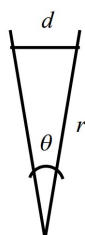


圖 3-17 人眼模式示意圖

資料來源：台師大圖文傳播學系數位影像處理課程

$$d = r \times \theta \tag{3-7}$$

$$Gaussian = \frac{1}{0.0095 \times \sqrt{2\pi}} \times e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{x^2 + y^2}{0.0095^2} \right)} \tag{3-8}$$

x 與 y 分別表示距離人眼觀測的像素在 X 方向與 Y 向的視角。

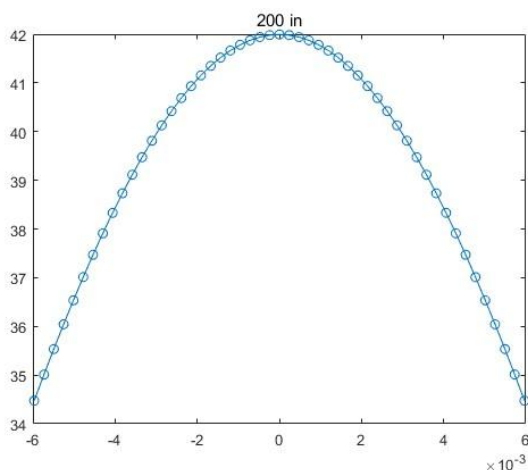


圖 3-18 低頻濾波器

資料來源：研究者繪製

第四章 結果與討論

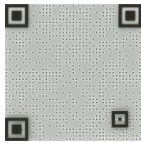
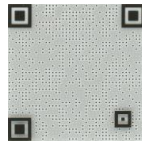
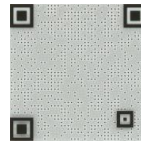
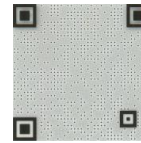
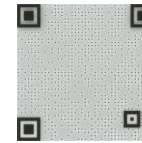
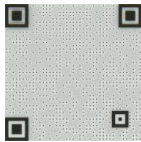
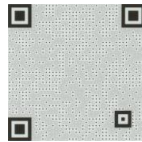
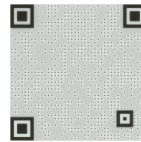
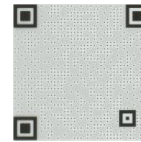
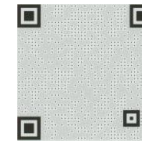
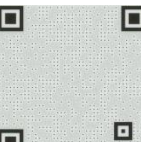




本研究針對不同網點面積百分比的混合網點導入 QR Code，輸出後進行掃碼識別和資訊隱藏成效進行檢測，主要分為四個部分：第一節檢測 QR Code 輸出後的手機掃碼識別效果，將分別闡述 QR Code 的模組錯誤(Module Error) 及碼字錯誤(Codeword Error) 分析結果，以及在實際應用中的疊加干擾文字後的解碼成效分析之結果。第二節則針對 PSNR 評估及人眼觀測後 QR Code 資訊隱藏成效之結果。

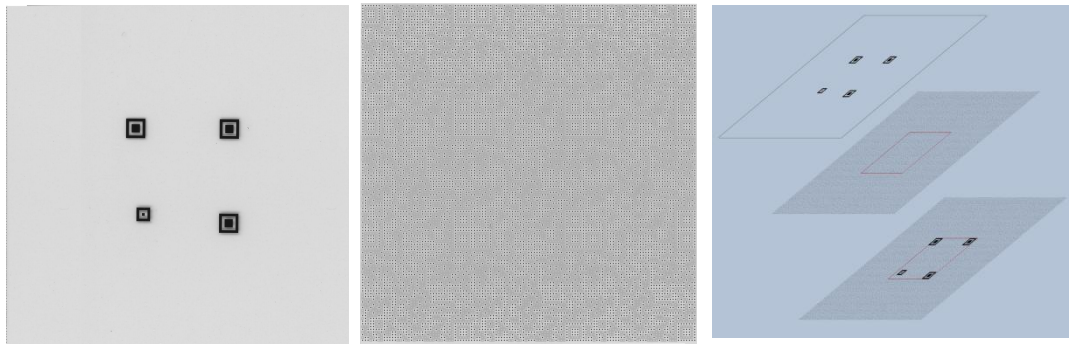
第一節 QR Code 輸出後的手機掃碼識別效果

一、實際掃碼成效

針對輸出的不同網點面積百分比混合網點 QR Code，用手機掃碼識別，其中第一種包含定位標記點混合網點 QR Code，如表 4-01 所示，都可被掃碼識別，1.4%是最低可被掃碼偵測之網點面積百分比。第二種無定位標記點輸出後將 A 疊加在 B 上也可被手機掃碼識別，如圖 4-01 所示。

表 4-01 輸出掃描之不同網點面積百分比混合網點 QR Code

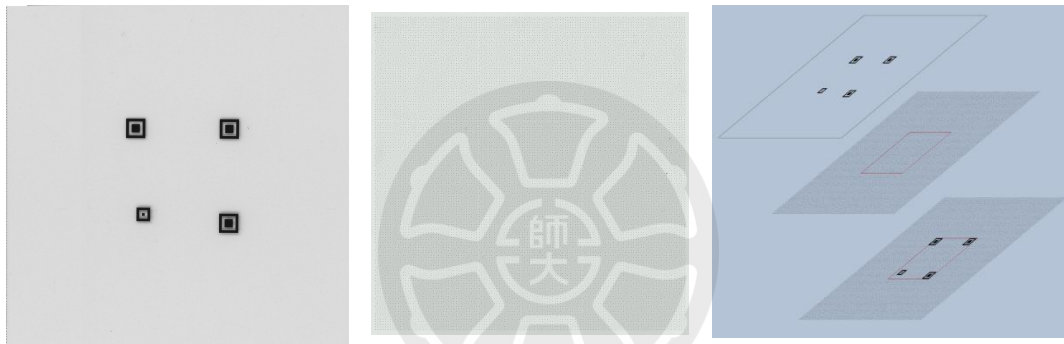
11.1%	10.5%	9.7%	9.0%	8.3%
				
7.6%	6.9%	6.3%	5.6%	4.9%
				
4.2%	3.5%	2.8%	2.1%	1.4%
				



A) QR Code 定位標記點 B) 3x3 無定位標記點 C) $C=A \cap B$ 示意圖

圖 4-01 輸出無定位標記點的混合網點 QR Code (8.3%)

資料來源：研究者繪製



A) QR Code 定位標記點 B) 3x3 無定位標記點 C) $C=A \cap B$ 示意圖

圖 4-02 輸出無定位標記點的混合網點 QR Code (2.1%)

資料來源：研究者繪製

二、模組錯誤 (Module Error)及碼字錯誤 (Codeword Error)分析結果

為從數據化方向瞭解 QR Code 的識別成效，針對 Print-and-scan 影像和數位影像進行模組錯誤 (Module Error) 及碼字錯誤 (Codeword Error) 進行分析，分析結果如表 4-02 所示。所輸出的混合網點 QR Code 其碼字錯誤(Codeword Error)皆為 0，說明輸出的混合網點 QR Code 一定能被手機掃碼識別，和第一節實際的掃碼識別效果一致。

表 4-02 模組錯誤及碼字錯誤分析結果

結果 網點面 積百分比	錯誤模組個數	偽黑個數	偽白個數	模組錯誤 比率	碼字錯誤個數	碼字錯誤比率
11.1%	0	0	0	0.0	0	0.00
10.5%	3	1	2	0.0	0	0.00
9.7%	2	0	2	0.0	0	0.00
9.0%	3	0	3	0.0	0	0.00
8.3%	3	0	3	0.0	0	0.00
7.6%	1	0	1	0.0	0	0.00
6.9%	2	0	2	0.0	0	0.00
6.3%	0	0	0	0.0	0	0.00
5.6%	0	0	0	0.0	0	0.00
4.9%	0	0	0	0.0	0	0.00
4.2%	0	0	0	0.0	0	0.00
3.5%	0	0	0	0.0	0	0.00
2.8%	0	0	0	0.0	0	0.00
2.1%	0	0	0	0.0	0	0.00
1.4%	0	0	0	0.0	0	0.00

三、實際應用中的疊加干擾文字後的解碼成效分析之結果

有定位標記點的混合網點 QR Code 抗干擾性分析如圖 4-03 所示和如表 4-03 所示，研究結果顯示，當輸出後的 QR Code 疊加在寫有文字的紙張上時，會有一定程度的干擾，但在 QR Code 的容錯範圍內，QR Code 還是可被掃碼識別。

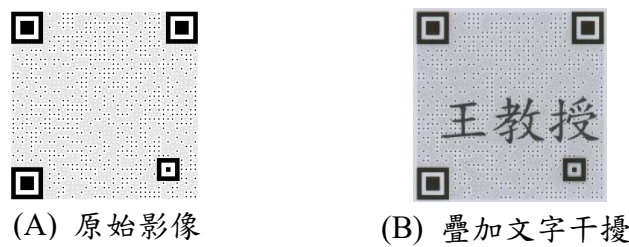


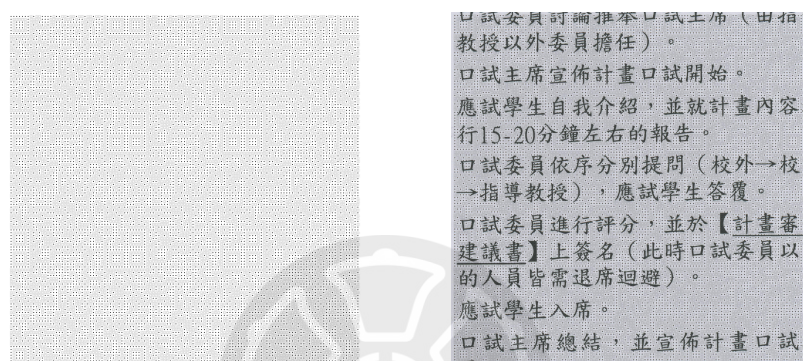
圖 4-03 有定位標記點的混合網點 QR Code 的抗干擾性分析(7.6%)

資料來源：研究者繪製

表 4-03 QR Code 抗干擾性的模組錯誤和碼字錯誤分析結果

網點 面積百分比	結果	錯誤模 組個數	偽黑 個數	偽白 個數	模組錯誤 比率	碼字錯誤 個數	碼字錯誤 比率	偽黑	偽白
7.6%		39	39	0	0.02	25	0.15	王教授	

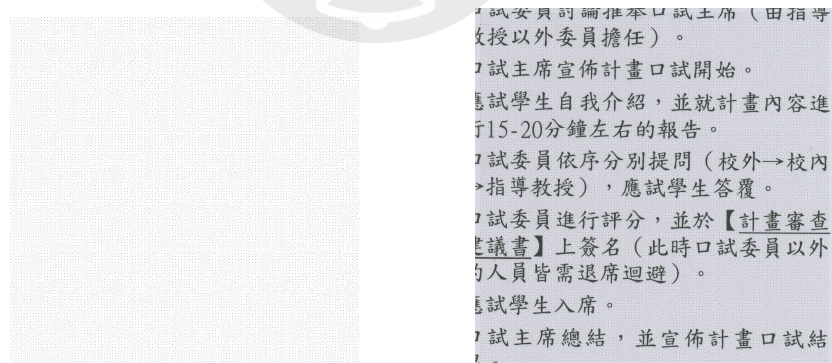
3x3 無定位標記點混合網點 QR Code 輸出後疊在寫有文字的紙張上，如圖 4-04 和圖 4-05 所示，針對九個 QR Code 進行模組錯誤和碼字錯誤分析結果，如表 4-04 所示，序號 1-9 為不同位置的 QR Code，結果顯示不同位置的 QR Code 會有不同程度的干擾，有些干擾已經超過 QR Code H (30%)的容錯範圍，此時就算疊加上 QR Code 也無法掃碼識別內容，或在程式中解出原始 QR Code，如圖 4-07 和圖 4-08 的 B 所示，超過容錯範圍就無法掃碼識別內容，因此在程式中對九個 QR Code 進行投票分析，以評估其對降低干擾影響的效果。



(A) 3x3 QR Code 原始影像 (B) 3x3 QR Code 疊加文字干擾

圖 4-04 無定位標記點混合網點 QR code 抗干擾性分析(8.3%)

資料來源：研究者繪製



(A)3x3 QR Code 原始影像 (B)3x3 QR Code 疊加文字干擾

圖 4-05 無定位標記點混合網點 QR code 抗干擾性分析(2.1%)

資料來源：研究者繪製

投票分析是將受到干擾的九個 QR Code 提取相同位置的模組進行比對，並取比對結果的中位數 (Median)作為最終判斷該位置是黑點還是白點的依據，基於此數據，在程式中進行投票以生成新的原始 QR Code，以評估投票分析對降低干擾影響的效果。如圖 4-06 所示，受到黑色文字干擾時，白色模組可能會發

生轉換，即白點可能變為黑點，QR Code 碼字錯誤(Codeword Error)就會提升。因本研究為第六版 QR Code，有 172 個碼字(Codeword)，容錯等級為 H (30%)，如 Codeword 被損壞 52 個模組，此 QR Code 將無法被掃碼識別。將受到干擾的九個 QR Code 提取相同位置的模組，並與原始 QR Code 相同位置進行比對，如圖 4-06 的(B)，在 FM 網點形成的白色模組中，有 2 個位置因干擾變為黑點，其餘 7 個位置仍為白點，則該位置取中位數計算後顯示為白點，以此方法演算完成九個 QR Code 的投票，以生成新的原始 QR Code，從而評估投票分析對降低干擾影響的效果。分析結果如表 4-04 的最末橫行所示，結果顯示經過投票分析後的 QR Code 碼字錯誤率下降為 4%，QR Code 在程式中顯示原始之 QR Code 可被掃碼識別，如圖 4-07 和圖 4-08 的 C 所示。

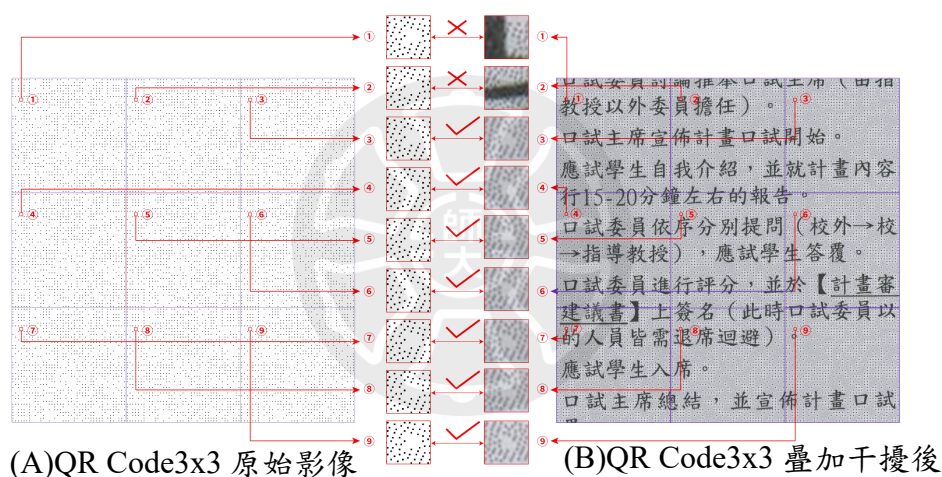


圖 4-06 疊加干擾後和原始 QR Code 模組比對(8.3%)
資料來源：研究者繪製

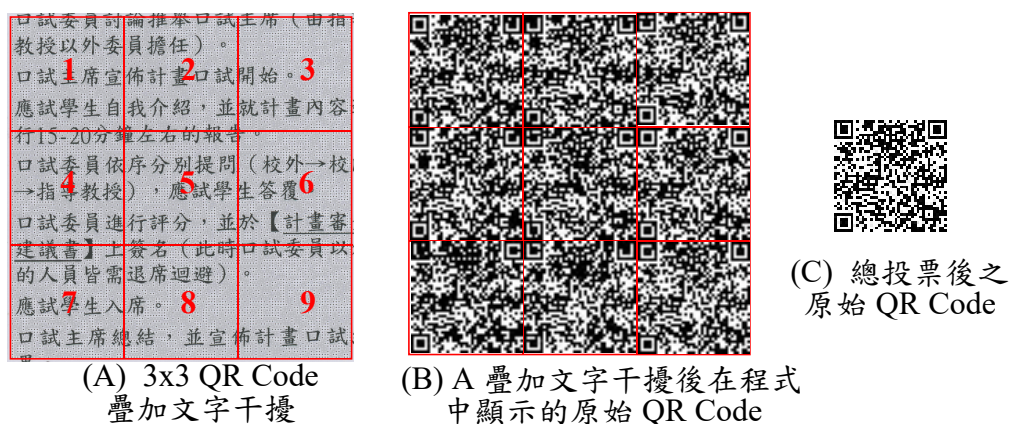
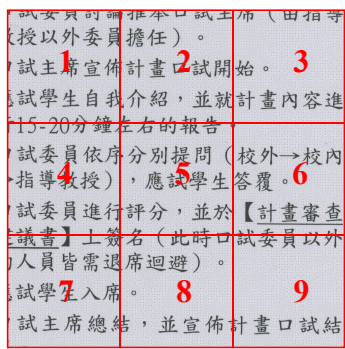
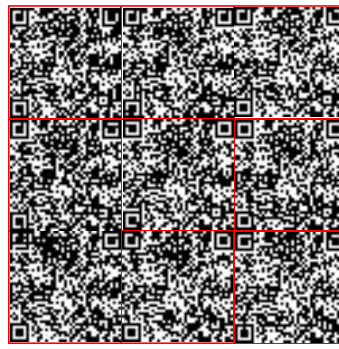


圖 4-07 無定位標記點混合網點 QR code 抗干擾性分析(8.3%)
資料來源：研究者繪製



(A) 3x3 QR Code 疊加文字干擾



(B) A 疊加文字干擾後在程式中顯示的原始 QR Code























(C) 總投票後之原始 QR Code

圖 4-08 無定位標記點混合網點 QR code 抗干擾性分析(2.1%)
資料來源：研究者繪製

表 4-04 網點面積百分比 8.3%之 3x3 無定位標記點的抗干擾性分析結果

結果 QR Code	錯誤模組 個數	偽黑個數	偽白個數	模組錯誤 比率	碼字錯誤 個數	碼字錯誤 比率	偽黑	偽白
1	102	102	0	0.06	57	0.33		
2	101	101	0	0.06	52	0.30		
3	57	57	0	0.03	33	0.19		
4	99	99	0	0.06	53	0.31		
5	113	113	0	0.07	64	0.37		
6	77	76	1	0.05	44	0.26		
7	120	120	0	0.07	67	0.39		
8	86	86	0	0.05	37	0.22		
9	50	50	0	0.03	22	0.13		
總投票 分析	8	8	0	0.01	7	0.04		

表 4-05 網點面積百分比 2.1%之 3x3 無定位標記點的抗干擾性分析結果

QR Code	結果 錯誤模組 個數	偽黑個數	偽白個數	模組錯誤 比率	碼字錯誤 個數	碼字錯誤 比率	偽黑	偽白
1	121	121	0	0.07	64	0.37		
2	95	94	1	0.06	46	0.27		
3	50	50	0	0.03	24	0.14		
4	117	117	0	0.07	66	0.38		
5	82	81	1	0.05	51	0.30		
6	88	88	0	0.05	49	0.29		
7	97	96	1	0.06	50	0.29		
8	60	60	0	0.04	31	0.18		
9	47	47	0	0.03	24	0.14		
總投票 分析	9	9	0	0.01	7	0.04		

第二節 PSNR 評估後 QR Code 資訊隱藏成效之結果

本研究的 QR Code 不可察覺性分析是指人眼在一定距離觀測混合網點 QR Code 是一塊灰色的色塊，因此對原始混合網點 QR Code 和一塊具有相同灰度百分比的方塊在程式中進行比對，並模擬不同距離觀測，進行不可察覺性。初步分析結果如附錄 1-01。依據附錄 1-01 的數據，製作出圖 4-09 混合網點 QR Code 的 MSE 趨勢圖，和圖 4-10 混合網點 QR Code 的 PSNR 趨勢圖。由趨勢圖可知，隨著混合網點 QR Code 網點面積百分比降低，觀測 QR Code 的距離越遠，MSE 值越小，PSNR 值越大，PSNR 的值在 15.9~51.0 之間，代表兩張影像之間的具有極高的相似性。所產生的混合網點 QR Code 在一定距離觀測是一塊灰色的色塊，達到提供 QR Code 在資訊隱藏方面一種新的風貌之要求。

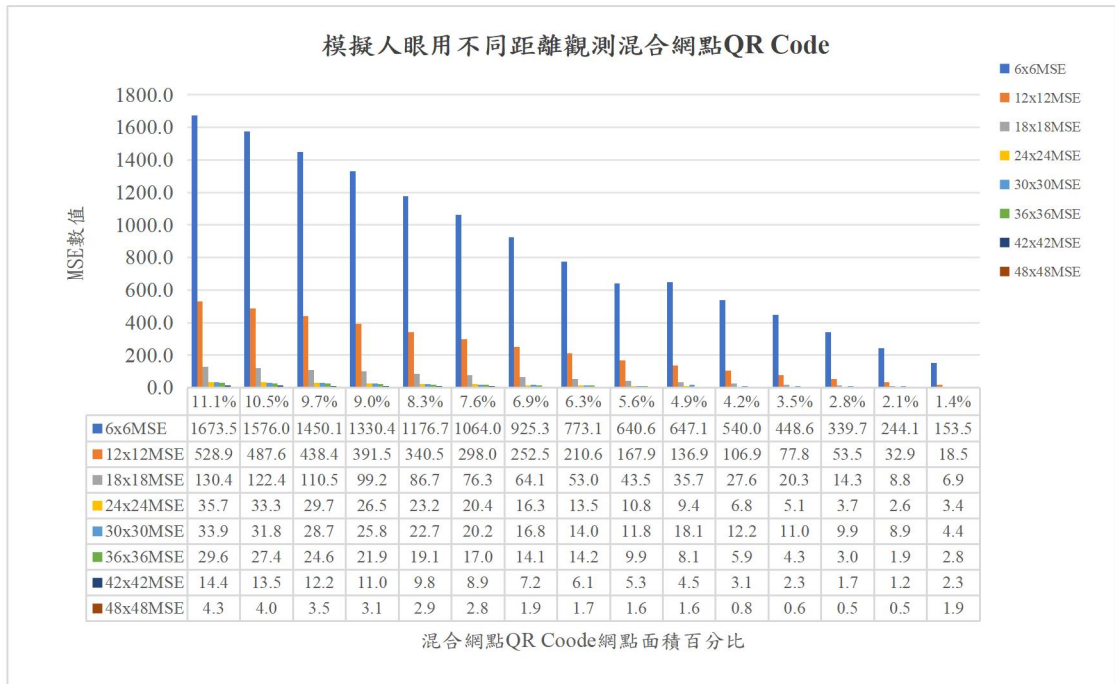


圖 4-09 混合網點 QR Code 的 MSE 趨勢圖
資料來源：研究者繪製

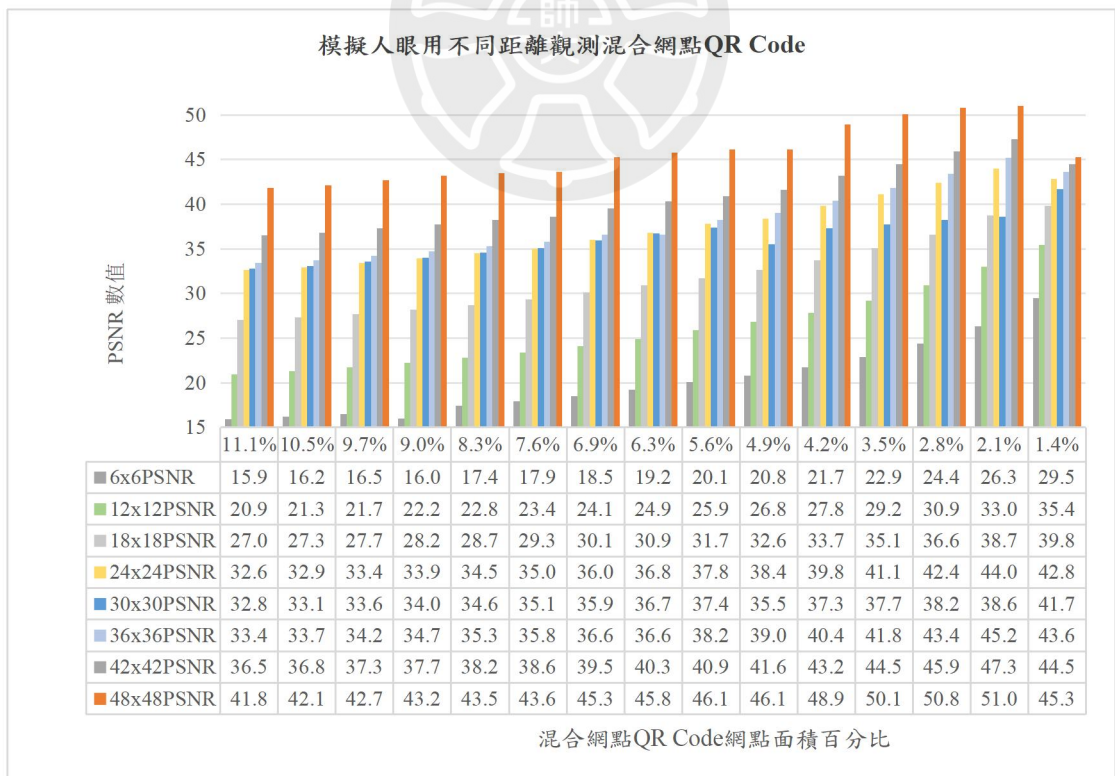


圖 4-10 混合網點 QR Code 的 PSNR 趨勢圖
資料來源：研究者繪製

針對所產生的不同網點面積百分比混合網點 QR Code，研究結果顯示，所設計的混合網點 QR Code 達到資訊隱藏之成效，確定網點面積百分比 1.4% 混合網點 QR Code 為最低可被掃碼識別。對輸出後 QR Code 疊加在寫有文字的紙張上進行干擾分析，在容錯範圍內，QR Code 還是可被掃碼識別，尤其是 3x3 無定位標記點混合網點 QR Code，疊加干擾並對 9 個 QR Code 進行投票分析後可大幅降低干擾程度，且在程式中提供的原始 QR Code 可被手機掃碼識別。



第五章 研究結論與建議

本研究旨在研究產生不同網點面積百分比的混合網點 QR Code，找到最低可被掃碼識別的混合網點 QR Code 的網點面積百分比，瞭解輸出後可被偵測之不同網點面積百分比之混合網點 QR Code 應用於資訊隱藏之成效。

由研究結果可知，本研究將產生的不同網點面積百分比混合網點進行輸出，輸出後的 QR Code 都可被掃碼識別，且確定網點面積百分比 1.4% 是最低可被掃碼識別的 QR Code。此外輸出後的 QR Code 顯示有 QR Code 的新風貌，尤其是 3x3 無定位標記點混合網點 QR Code 進一步擴展 QR Code 的特別應用，達到資訊隱藏之目的，這種 3x3 無定位標記點混合網點 QR Code 可與寫有文字的紙張做整合應用。綜合上述研究結果，可以歸納出以下研究幾點結論與建議。

第一節 研究結論

一、能成功產生不同網點面積百分比的混合網點 QR Code

本研究按照第六版 QR Code 的 41x41 模組，容錯率設定為 H (30%) level，將尺寸 984x984 pixels 分成每個模組為 24x24 pixels，且再細分為 3x3 次模組。QR Code 中的黑色模組用 AM 網點表示，白色模組用 FM 網點表示，來生成混合網點 QR Code。其中 QR Code 的黑色模組，也就是 AM 網點的模組設計採用 8x8 threshold matrix，網屏角度為 0 度，爲了更好的將 QR Code 隱藏起來，且確保 QR Code 掃碼識別成效，將 QR Code 中的黑色模組縮小，設置在 3x3 次模組的中間。爲了更好的隱藏 QR Code FM 網點將次模組中間挖空，形成白點來表示 QR Code 中的白色次塊，且 FM 網點通過調配後和 AM 網點的網點面積百分比均衡匹配，以此來產生混合網點 QR Code。此外原始 AM 網點 (8x8 pixel)，從四周開始減少 1pixel，直至減少到不可減少爲止，即 4pixel。FM 網點和 AM 網點網點面積百分比匹配，以此來產生不同網點面積百分比的混合網點 QR Code，共 16 種。

二、確定可被成功掃描識別的最低網點面積百分比混合網點 QR Code

針對產生的 16 種不同網點面積百分比混合網點 QR Code，其中除 0.7% 網點面積百分比混合網點 QR Code 不可被手機掃碼識別，其餘 15 種 QR Code 皆可被掃碼識別，找到 1.4% 是最低可被掃碼識別的混合網點 QR Code 網點面積百分比。針對輸出的 QR Code 也進行了模組錯誤和碼字錯誤的評估，結果顯示輸出後 QR Code 也都可被掃碼識別。

三、混合網點 QR Code 和文件整合後展現了顯著的抗干擾成效，且能成功解碼

本研究設計之混合網點 QR Code 實際應用為疊加在寫有文字的紙張上後，在一定容錯範圍內還是可被掃碼識別。尤其是 3x3 無定位標記點混合網點 QR Code，即使疊加在有干擾的文字上，超過原有容錯範圍，經九個 QR Code 的投票可大幅降低碼字錯誤率，QR Code 在程式中可解出原始 QR Code 可供掃碼識別，具有非常強的抗干擾成效，未來可應用在紙張上，如在上面寫字，此 QR Code 還是可經由程式解出並掃碼識別。

四、輸出後混合網點 QR Code 達到資訊資訊隱藏之成效

本研究設計了有定位標記點和無定位標記點兩種 QR Code，輸出後混合網點 QR Code 達到資訊隱藏之成效。尤其是無定位標記點混合網點 QR Code 的應用效果，在一定距離內觀測 QR Code 是一塊灰色的色塊，進一步改變 QR Code 風貌，達到資訊隱藏之成效。疊加上定位標記點(Finder Pattern)後也可被掃碼識別，且可以在程式中顯示原始 QR Code 可供掃碼識別。此外本研究所提出的混合網點 QR Code 在一定距離內觀測是一塊灰色的方塊，達到“隱形 QR Code”的效果，符合現有印刷技術的製成，不需要額外的材料輸出，通過一般標準製程的紙張和油墨可達到資訊隱藏的效果。後續可以將 QR Code 印刷在高價的產品上，QR Code 不會占據一定的空間，且在外觀上不會被人認為是 QR Code，達到產品保護的作用。

第二節 研究建議

一、依據 AM 網點與 FM 網點在印刷過程中的擴張差異，調整兩者參數以優化 QR Code 的外觀

為了能夠產生不同網點面積的混合網點 QR Code 且達到資訊隱藏之成效，本研究僅測試了 QR Code 中 AM 網點和 FM 網點面積百分比的是相匹配。由於 AM 網點具有叢聚之組成特點，FM 網點則相對分散，兩者網點的表現差異會在印刷時產生不同的網點擴張，導致 AM 網點和 FM 網點經由設計的網點面積百分比不匹配。未來，可加入網點面積的相關公式去計算輸出後 QR Code 網點擴大的大小，進一步調配 AM 網點和 FM 網點的網點面積百分比之細部參數，以進一步提升 QR Code 在輸出後的美觀性。

二、AM 網點網屏角度可採用 45° 達到更好的隱藏效果

本研究依據 QR Code 是由黑白模組所組成的二維條碼，且確保 QR Code 輸出後的掃碼識別成效，這些模組必須在列印過程中保持其形狀和位置的準確，因此網屏角度設為 0° 。然而，AM 網點在印刷過程中通常採用 45° 角，該角度在視覺上最不易察覺，能夠最有效地掩蓋網點之間的間隙，並提供平滑的圖像和細節。後續研究可以嘗試將 45° 角度應用於混合網點 QR Code 的設計，以達到更好的隱藏成效。

三、可採用人眼模式來進行影像品質的評估

在本研究中，混合網點 QR Code 在不同觀測距離下的效果模擬採用了 PSNR (Peak Signal-to-Noise Ratio) 進行了初步的評估，證實所產生混合網點 QR Code 提供了一種新風貌，達到資訊隱藏成效。Pappas *et al.*(2003) 則針對詳細的距離範圍進行了人眼模式 (Eye Model) 影像品質評估，以提供更準確的觀測效果參考。後續可採用人眼模式來模擬混合網點 QR Code 在不同距離的觀測效果，提供更精確的圖像品質評估，從而優化混合網點 QR Code 的設計和應用範圍。

參考文獻

(一) 英文文獻

- Bas, P., Chassery, J. M., & Macq, B. (2002). Image watermarking: an evolution to content based approaches. *Pattern Recognition*, 35(3), 545-561.
- Begum, M., & Uddin, M. S. (2020). Digital image watermarking techniques: a review. *Information*, 11(2), 110.
- 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. *Rochester Institute of Technology*.
- Chen, F.F., Zhu, J.L., Cao, P., Huo, P.J. (2017). Print anti-replication technology based on AM/FM hybrid halftone. *IEEE 17th International Conference on Communication Technology (ICCT)*, 329-332.
<https://doi.org/10.1109/ICCT.2017.8359655>
- Chu, H. K., Chang, C. S., Lee, R. R., & Mitra, N. J. (2013). Halftone QR codes. *ACM Transactions on Graphics*, 32(6), 1-8.
- Eliás, P. Ž. (2014). Halftoning for multi-channel printing: algorithm development, implementation and verification, 1694, Linköping University Electronic Press.
- Floyd, R.W., Steinberg, L.(1976). An adaptive algorithm for spatial gray scale. *Proceedings of The Society for Information Display*, 17(2), 75-77.
- Garateguy, G. J., Arce, G. R., Lau, D. L., & Villarreal, O. P. (2014). QR images: optimized image embedding in QR Codes. *IEEE Transactions on Image Processing*, 23(7), 2842-2853. <https://doi.org/10.1109/TIP.2014.2321501>
- Gupta, R., Gupta, S., & Singhal, A. (2014). Importance and techniques of information hiding: A review. *International Journal Of Computer Trends And Technology*, 9(5), 260-265. <https://doi.org/10.14445/22312803/IJCTT-V9P149>
- Juan, Y. W., Chou, T. R., Lu, C. S., & Wang, H. C. (2021). Graphic QR Code with the second hidden QR Code by codeword rearrangement. *Sensor Networks and*

Signal Processing, 176, 137-148.

Kiuchi, M., & Saito, K. (2002). Frequency analysis for security printing lines, *Conference on Optical Security and Counterfeit Deterrence Techniques V,4677*, 110-120.

Kwon, Y. M., Kim, M. G., & Kim, J. L. (2015). Multiscale rank-based ordered dither algorithm for digital halftoning. *Information Systems*, 48, 241-247.

<https://doi.org/10.1016/j.is.2014.06.012>

Lau, D. L., & Arce, G. R. (2018). Modern digital halftoning . CRC Press.

Lin, L., Wu, S., Liu, S., & Jiang, B. (2017). Interactive QR Code beautification with full background image embedding. *Second International Workshop On Pattern Recognition* , 10443, 211-215. <https://doi.org/10.1117/12.2280282>

Liu, Y., Tang, S., Liu, R., Zhang, L., & Ma, Z. (2018). Secure and robust digital image watermarking scheme using logistic and RSA encryption. *Expert Systems With Applications*, 97, 95-105. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2017.12.003>

Liu, H.C., Chou, T.R., Lu, C.S., Wang, H.C. (2021). Improving readability by modifying graphic QR code microstructure. *Electronics Letters*, 57(23), 879-881. <https://doi.org/10.1049/el12.12301>

Mohanarathinam, A., Kamalraj, S., Prasanna Venkatesan, G. K. D., Ravi, R. V., & Manikandababu, C. S. (2020). Digital watermarking techniques for image security: a review. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, 11, 3221-3229.

Nguyen, H.P., Retraint, F., Morain-Nicolier, F., & Delahaies, A. (2019). A watermarking technique to secure printed matrix barcode—application for anti-counterfeit packaging. *Institute of Electrical and Electronics Engineers Access*, 7, 131839-131850. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2937465>

Pappas, T. N., Allebach, J. P., & Neuhoff, D. (2003). Model-based digital halftoning. *IEEE Signal processing magazine*, 20(4), 14-27.

Picard, J., Landry, P., & Bolay, M. (2021). Counterfeit detection with qr Codes. *In*

Proceedings Of the 21st ACM Symposium on Document Engineering, 1-4.

<https://doi.org/10.1145/3469096.3474924>

Qiao, L. C., Wang, J. L., Gao, B. H., Yang, X. G., Feng, W. T., Zhang, Y. X., ... & Liu, W. (2021). Efficient 1D barCode localization method for imagery shipping label using deep learning models. *International Symposium on Parallel Architectures, Algorithms and Programming (PAAP)* ,119-124.

<https://doi.org/10.1109/PAAP54281.2021.9720443>

Qiao, S., Fang, X., Sheng, B., Wu, W., & Wu, E. (2015). Structure-aware QR Code abstraction. *The Visual Computer*, 31, 1123-1133.

<https://doi.org/10.1007/s00371-015-1107-x>

Roetling, P. G., & Loce, R. P. (2020). Digital halftoning. *Digital Image Processing Methods*, 363-414. CRC Press.

Rani, B. U., Praveena, B., & Ramanjaneyulu, K. (2015, March). Literature review on digital image watermarking. *International Conference on Advanced Research in Computer Science Engineering & Technology*, 1-6.

<https://doi.org/10.1145/2743065.2743108>

Sharma, G. (2002). *Digital Color Imaging Handbook*. CRC Press.

Soon, T. J. (2008). QR Code. *Synthesis Journal*, 59-78.

Tiwari, S. (2016). An introduction to QR Code technology. *International Conference On Information Technology (ICIT)*, 39-44. <https://doi.org/10.1109/ICIT.2016.021>

Ulichney, R. (1987). *Digital halftoning*. MIT press.

van Renesse, R. L. (2005). *Optical Document Security*, 3rdEd., Artech House, London.

Wan, W., Wang, J., Zhang, Y., Li, J., Yu, H., & Sun, J. (2022). A comprehensive survey on robust image watermarking. *Neurocomputing*, 488, 226-247.

Wang, H.C., Hsiao, P.C., Lien, C.M. (2009). Method of watermark with hybrid halftone dots. US Patent 7,554,699 B2.

Wazirali, R., Ahmad, R., Al-Amayreh, A., Al-Madi, M., & Khalifeh, A. (2021). Secure watermarking schemes and their approaches in the IOT technology: an

overview. *Electronics*, 10(14), 1744.

Wu, L., Wan, X., & Lu, J. (2008). Digital halftoning and the application to remote sensing images. *IEEE International Conference on Computer Science and Software Engineering*, 6, 137-140 .

Xu, M., Su, H., Li, Y., Li, X., Liao, J., Niu, J., ... & Zhou, B. (2019). Stylized aesthetic QR Code. *IEEE Transactions on Multimedia*, 21(8), 1960-1970.

<https://doi.org/10.1109/TMM.2019.2891420>

(二) 中文文獻：

江瑞章、孫沛立(2020)。異質網點配置法與色彩管理之研究。中華印刷科技年報,79-86。

任小玲&任二虎(2003)。加網技術與印刷網點形成。西安工業大學學報,第三期,108-113。

李飛&唐正寧(2005)。數字加網技術。包裝工程(05),47-49+52。

林志杰(2013)。二維條碼的發展與應用。中國標準化,第6期,78-81。

姚海根(2006)。連續調圖像複制技術述評。出版與印刷期刊,第4期,2-6。

姚海根(2006)。數字半色調技術發展簡史。出版與印刷期刊,第3期,2-6。

趙炎(2011)。混合加網技術及其發展。廣東印刷期刊,第2期,11-13。

管珮君 (2018)。以半色調技術隱藏兩個二維條碼及品牌保護應用之研究。台灣師範大學,碩士學位論文。

劉幸芝 (2021)。圖像化 QR Code 之微結構對於辨識率之影響。台灣師範大學,碩士學位論文。

劉真、任樂義、楊晟煒(2011)。調幅加網技術在光柵防偽技術中的應用。包裝工程期刊,第21期,90-93。

謝顯丞(2009)。複合式網點之印刷特性。台灣藝術大學,84-89。

鄭兆聰(2021)。生活中常見的一維條碼與二維碼。中國自動識別技術期刊,第六期,60-62。

鄭雅文(2013)。改良式混合網點應用於數位浮水印之研究。台灣師範大學,碩士學位論文。

(三) 網路資料：

Andy's BarCode World (2014) 安迪的條碼世界(2014)。〈條碼的種類〉

<http://www.appsbarcode.com/barcode-type.php>

Code 39 :<https://www.barcode-label.com/education/code-39-barcode>

Elmér, J. (2023). Quality Assessment for Halftone Images. Digitala Vetenskapliga Arkivet. <https://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:liu:diva-195997>

QR Code 版本容量:<https://www.qrcode.com/zh/about/version.html>









































一維條碼生成:<https://www.barcode-label.com/tool/barcode-generator-v3/>





























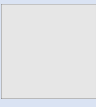

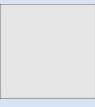



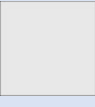
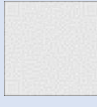
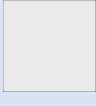

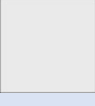
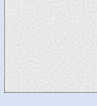
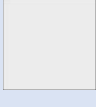

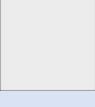




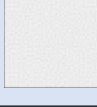
康視奈部落格:看不見的條碼有助於預防仿冒產品 <https://www.cognex.com/zh-tw/blogs/industrial-barcode-reader/invisible-barcodes-help-prevent-counterfeit-products>







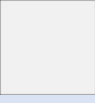

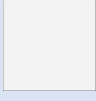

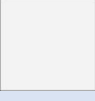

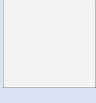

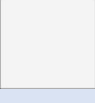
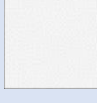
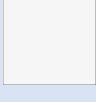

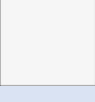
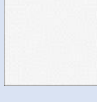
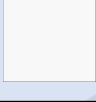

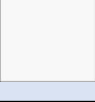
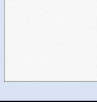


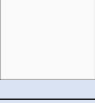
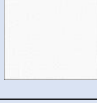


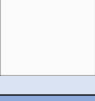
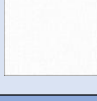
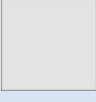

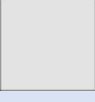

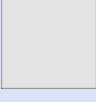

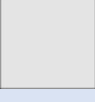







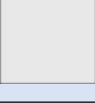

凌雲科技:QRCode 防偽系統 <https://zh.holoteam.com/post/ticket-wristband>







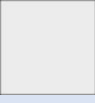

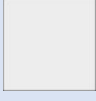

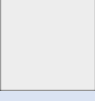


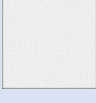
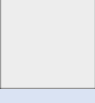
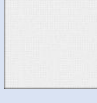


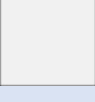
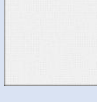
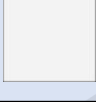
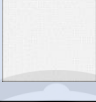
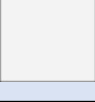
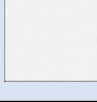


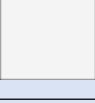
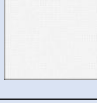
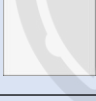

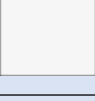

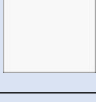
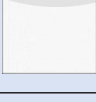
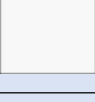
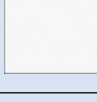
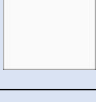
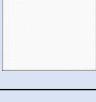
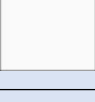
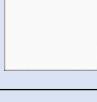
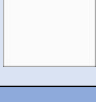
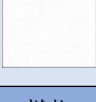
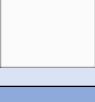
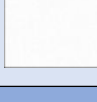
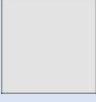


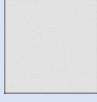
附錄

附錄 1-01 不可察覺性分析之平滑 6x6 至 48x48 距離觀測結果

網點面積百分比	平滑化 6x6		模糊 6x6 方塊	模糊 6x6 混合網點	平滑化 12x12		模糊 12x12 方塊	模糊 12x12 混合網點
	MSE 值	PSNR 值			MSE 值	PSNR 值		
11.1%	1673.5	15.9			528.9	20.9		
10.5%	1576.0	16.2			487.6	21.3		
9.7%	1450.1	16.5			438.4	21.7		
9.0%	1330.4	16.0			391.5	22.2		
8.3%	1176.7	17.4			340.5	22.8		
7.6%	1064.0	17.9			298.0	23.4		
6.9%	925.3	18.5			252.5	24.1		
6.3%	773.1	19.2			210.6	24.9		
5.6%	640.6	20.1			167.9	25.9		
4.9%	537.4	20.8			136.9	26.8		

4.2%	444.7	21.7			106.9	27.8		
3.5%	335.1	22.9			77.8	29.2		
2.8%	238.8	24.4			53.5	30.9		
2.1%	151.5	26.3			32.9	33.0		
1.4%	72.9	29.5			18.5	35.4		
網點面積 百分比	平滑化 18x18		模糊 18x18 方塊	模糊 18x18 混合網 點	平滑化 24x24		模糊 24x24 方塊	模糊 24x24 混合網點
	MSE 值	PSNR 值			MSE 值	PSNR 值		
11.1%	130.4	27.0			35.7	32.6		
10.5%	122.4	27.3			33.3	32.9		
9.7%	110.5	27.7			29.7	33.4		
9.0%	99.2	28.2			26.5	33.9		
8.3%	86.7	28.7			23.2	34.5		
7.6%	76.3	29.3			20.4	35.0		
6.9%	64.1	30.1			16.3	36.0		

6.3%	53.0	30.9			13.5	36.8		
5.6%	43.5	31.7			10.8	37.8		
4.9%	35.7	32.6			9.4	38.4		
4.2%	27.6	33.7			6.8	39.8		
3.5%	20.3	35.1			5.1	41.1		
2.8%	14.3	36.6			3.7	42.4		
2.1%	8.8	38.7			2.6	44.0		
1.4%	6.9	39.8			3.4	42.8		
網點面積 百分比	平滑化 30x30		模糊 30x30 方塊	模糊 30x30 混合網 點	平滑化 36x36		模糊 36x36 方塊	模糊 36x36 混合網點
	MSE 值	PSNR 值			MSE 值	PSNR 值		
11.1%	33.9	32.8			29.6	33.4		
10.5%	31.8	33.1			27.4	33.7		
9.7%	28.7	33.6			24.6	34.2		
9.0%	25.8	34.0			21.9	34.7		

8.3%	22.7	34.6			19.1	35.3		
7.6%	20.2	35.1			17.0	35.8		
6.9%	16.8	35.9			14.1	36.6		
6.3%	14.0	36.7			14.2	36.6		
5.6%	11.8	37.4			9.9	38.2		
4.9%	18.1	35.5			8.1	39.0		
4.2%	12.2	37.3			5.9	40.4		
3.5%	11.0	37.7			4.3	41.8		
2.8%	9.9	38.2			3.0	43.4		
2.1%	8.9	38.6			1.9	45.2		
1.4%	4.4	41.7			2.8	43.6		
網點面積 百分比	平滑化 42x42		模糊 42x42 方塊	模糊 42x42 混合網 點	平滑化 48x48		模糊 48x48 方塊	模糊 48x48 混合網點
	MSE 值	PSNR 值			MSE 值	PSNR 值		
11.1%	14.4	36.5			4.3	41.8		

10.5%	13.5	36.8			4.0	42.1		
9.7%	12.2	37.3			3.5	42.7		
9.0%	11.0	37.7			3.1	43.2		
8.3%	9.8	38.2			2.9	43.5		
7.6%	8.9	38.6			2.8	43.6		
6.9%	7.2	39.5			1.9	45.3		
6.3%	6.1	40.3			1.7	45.8		
5.6%	5.3	40.9			1.6	46.1		
4.9%	4.5	41.6			1.6	46.1		
4.2%	3.1	43.2			0.8	48.9		
3.5%	2.3	44.5			0.6	50.1		
2.8%	1.7	45.9			0.5	50.8		
2.1%	1.2	47.3			0.5	51.0		
1.4%	2.3	44.5			1.9	45.3		