

國立勤益科技大學  
研發科技與資訊管理研究所  
碩士學位論文

傳統書畫中印章印記影像擷取及修復

A Study on seal imprints segmentation and repair for  
traditional painting



指導教授：王清林 博士

研究生：江孟霖

中華民國一零一年六月

傳統書畫中印章印記影像擷取及修復

A Study on seal imprints segmentation and repair for  
traditional painting

研究生：江孟霖

指導教授：王清林 博士

國立勤益科技大學

研發科技與資訊管理研究所

碩士論文

A Thesis Submitted to

Institute of Innovation Technology & Information Management

National Chin-Yi University of Technology

In Partial Fulfillment of the Requirements

For the Degree of Master

In

Information Management

中華民國 一〇一年六月

國立勤益科技大學  
研究所碩士班  
論文口試委員會審定書

本校 研發科技與資訊管理研究所碩士班 江孟霖 君  
所提論文 傳統書畫中印章印記影像擷取及修復  
合於碩士資格水準，業經本委員會評審認可。

論文口試委員會：

召集人：詹麗意

委員：王清林

王清德

詹麗意

指導教授：王清林

所長：黃嘉宏

中華民國一〇一年六月

## 中文摘要

近年來隨著資訊科技的進步，影像處理技術發展也相當的成熟，各個不同領域的專家學者們透過不同研究領域的專長，彼此進行跨領域的合作。台灣自 2002 推動數位典藏國家型計劃，該計劃持續至今已發展十年，仍需要各界學者協助投入數位典藏相關工作。

在傳統書畫作品進行數位典藏之數位化保存工作時，在影像後製階段將耗費大量的人力與時間；以「人工」的方式對書畫作品上的印章印記進行手動裁切，並逐一透過影像編輯軟體去除背景及文字干擾，逐次的修補以及填充印記圖像。若能自動地從書畫作品中將印章印記識別出來並加以去背、修補破損的印章圖像，則可大大加快數位化保存工作流程的效率與時間。在印章印記擷取的相關研究中，大多集中在銀行票據及公章的使用上，從書畫作品中擷取印章的研究鮮少學者提及。

本研究基於數位典藏領域之「技術開發與創新」需求，提出一套高效率且高精準性的「印章印記影像擷取方法」。希望此方法能從各類書畫典藏作品裡，自動且精確地擷取印章特徵，並確立印章印記圖像的所在區塊，針對切割之印記圖像進行影像去背以及印記之修補動作。希望本研究之成果能協助國內進行數位典藏相關數位化工作時，得以更加彰顯與落實。本研究所提出之方法經各項實驗測試，不僅可以適用大部分各式不同類型之書畫作品，並且簡化繁複的運算處理時間，維持大量擷取影像之時效性。此外，更提議一印記影像修復及檢索的方法做為參考，希望提供數位典藏領域能有更多的技術協助以及系統開發的多元發展。

## **Abstract**

From 2002 year, Taiwan promoted the e-Learning & Digital Archives Program to save the precious cultural relics. Be achieved the digital preservation and value-added application. Traditional paintings carrying out digital preservation work, through artificial way to cut the seal imprint in the traditional paintings. It will waste a lot of manpower and time. If we can cut the seal imprint by using automatic way, then we can increase efficiency of digital preservation process. However, the seal related research most focus on personal seals or bank stamps. Only few scholars have mentioned that cutting seal issues on traditional paintings. We based on technology development and innovation to present the algorithm in Digital Archives field. The algorithm of seal segmentation can automatic to capture two type of eigenvalue of seal and to find the location of seal imprint. It is not only applies to all kinds of different types of paintings, but also reduces the computational time. Maintain the efficiency of a large number of captured images.

**Keywords: Digital Archives, image processing, seal cutting**

## 誌謝

在勤益資管系六年的生活，一切將順利圓滿的結束，這兩年的研究生活也是格外充實，很榮幸能在勤益這個大環境下成長與學習。首先最感謝的是指導教授王清林老師，在大三時專題時願意給我機會、帶領我進影像處理領域中，重拾對資訊領域的信心與熱情。當重新考進研資所時也願意收我當研究生，並讓我自由的設題、陪我收斂範圍、釐清問題的盲點；在兩年內我屢次遇到家庭因素、首屆班代的忙碌時，都給予我極大的包容與協助。

在研究上也同樣的十分感謝王清德老師以及詹永寬老師擔任口試委員，並在的過程中給予我諸多的寶貴意見，支持我們研究時的各種需要，並提供未來繼續研究的可能性。另外，也要感謝董俊良老師以及陳宏昌老師，在這幾年內教會了我許多經驗並給我許多實質上的幫助。當然，也包含了在研究所任課的各位老師，未來研究的基礎來自你們的諄諄教誨。

另外，也感謝文化系的明賢老師以及蘇老師，沒有你們的鼎力協助，也沒有這篇碩士論文跨領域的研究基礎；當然還有游某、施某如父母般陪伴我在勤益的數個年頭，以及心靈導師小靜老師，感謝你們教導我生命中應有的認知，灌溉我存在擁有的價值。還有研資所中所有的同學、助教及技佐，沒有你們在系上的支持，研究所的路可能會更漫長一些。在文化系的所有學弟妹及靜兒姐，沒有你們的陪伴這條路會更枯燥無味一點。

最後要感謝我所有的家人，給予我學習的空間、生活上的自由，沒有你們的付出與堅持，就不會有現在的我；讀書是現在我選擇的最佳道路，也期待這是未來對所有的家人來說，都是最好的選擇。最後的最後，將所有的成果以及一切榮耀與祝福，獻給我在天上的母親。

江孟霖 謹誌於

國立勤益科技大學 研發科技與資訊管理研究所

中華民國一〇一年六月

# 目錄

第一章、緒論 .....	1
1.1 研究背景 .....	1
1.2 文獻回顧 .....	6
1.3 研究動機 .....	9
1.4 研究目的 .....	9
1.5 論文架構 .....	9
第二章、相關技術探討 .....	11
2.1 影像色彩空間 .....	11
2.2 影像特徵與描述 .....	13
2.2.1 形狀特徵與描述 .....	13
2.2.2 顏色特徵與描述 .....	15
2.3 影像形態學 .....	15
2.3.1 膨脹 .....	16
2.3.2 侵蝕 .....	16
第三章、印章印記影像擷取方法 .....	18
3.1 特徵擷取 .....	18
3.1.1 RGB 門檻篩選 .....	19
3.1.2 HSI 門檻篩選 .....	22
3.1.3 顏色特徵相加 .....	24
3.2 形態處理 .....	25
3.2.1 清除干擾線條 .....	25
3.2.2 閉合運算 .....	26

3.3 物件切割 .....	29
3.3.1 標記連通成分 .....	29
3.3.2 物件矩形計算 .....	30
3.3.3 物件篩選 .....	31
3.3.3Canny 邊緣偵測判斷印記 .....	31
<b>第四章 印記影像修復及檢索 .....</b>	<b>33</b>
4.1 影像修復 .....	33
4.1.1 影像強化 .....	34
4.1.2 二值影像去背及補紅 .....	35
4.1.3 形態修補 .....	36
4.2 影像檢索 .....	36
4.2.1 檢索流程 .....	37
4.2.2 不變矩 .....	38
4.2.3 相似度計算 .....	39
<b>第五章 實驗結果與討論 .....</b>	<b>42</b>
5.1 印記擷取技術評估 .....	42
5.2 印記修復技術評估 .....	46
5.3 時間評估與分析 .....	50
5.4 效能評估比較與分析 .....	51
5.5 影像檢索時間評估與分析 .....	54
<b>第六章 結論及未來展望 .....</b>	<b>56</b>
6.1 結論 .....	56
6.2 未來研究 .....	57



## 圖目錄

圖 1-1 數位典藏 20 項物件主題.....	3
圖 1-2 印章.....	4
圖 1-3 印記.....	4
圖 1-4 印章印記數位化工作流程圖.....	5
圖 2-1 RGB 色彩空間.....	11
圖 2-2 HSI 色彩空間.....	12
圖 2-3 Sobel 之區塊遮罩.....	14
圖 2-4 膨脹範例.....	16
圖 2-5 侵蝕範例.....	17
圖 3-2 印章印記圖像擷取流程圖.....	18
圖 3-3 RGB 灰階影像.....	19
圖 3-4 灰階分佈統計圖.....	20
圖 3-5 灰階分佈統計圖.....	21
圖 3-6 二值化影像.....	21
圖 3-7 去除背景之影像.....	21
圖 3-8 相對差值剔除之影像.....	22
圖 3-9 RGB 篩選之影像.....	22
圖 3-10 HSI 三個維度影像.....	23
圖 3-11 原始影像(局部裁切).....	24

圖 3- 12 紅色強化之影像(局部裁切).....	24
圖 3- 13RGB 特徵影像.....	25
圖 3- 14HSI 特徵影像.....	25
圖 3- 15 兩者相加之影像.....	25
圖 3- 16 直線干擾物件之影像.....	26
圖 3-17 垂直及水平偵測遮罩.....	26
圖 3-18 膨脹影像示意圖.....	27
圖 3-20 將篩選之物件影像做閉合.....	28
圖 3-21 將不完整的物件進行填滿.....	28
圖 3- 22 標記連通成份之近鄰.....	29
圖 3- 23 計算物件矩形面積.....	30
圖 3- 24 進行影像物件篩選.....	31
圖 3- 25 易誤判之非印記物件.....	31
圖 3- 26 印記影像判斷.....	32
圖 4- 1 各式不同的印記影像.....	34
圖 4- 2 R 值灰階印記影像.....	34
圖 4- 3 強化後之印記影像.....	34
圖 4- 4 二值印記影像.....	34
圖 4- 5 印記去背補紅示意圖.....	35
圖 4- 6 印記影像去背.....	36

圖 4-7 印記影像補紅.....	36
圖 4-8 執行閉合運算的印記影像.....	36
圖 4-9 印記影像檢索流程.....	37
圖 4-10 輸入檢索影像 $\phi_i'$ .....	39
圖 5-1 書畫影像「荷」的切割結果.....	42
圖 5-2 書畫影像切割「林亭烟岫」結果.....	43
圖 5-3 第一類書畫實驗影像(近白).....	44
圖 5-4 第二類書畫實驗影像(近褐).....	45
圖 5-5 各種印記影像擷取結果 1.....	45
圖 5-6 各種印記影像擷取結果 2.....	46



## 表目錄

表 1-1 數位典藏徵選計畫與公開徵求主題.....	2
表 1-2 印章使用彩色影像切割之整理比較.....	8
表 4-1 印記影像資料庫範例.....	40
表 5-1 印記影像修復結果比較.....	47
表 5-2 印記影像修復之 RAE.....	49
表 5-3 印記影像修復之 RAE 分類比較.....	49
表 5-4 印記進行擷取及修補處理時間比較.....	50
表 5-5 印記影像擷取正確率之比較.....	52
表 5-6 切割方法評估比較.....	54
表 5-7 印記影像查詢結果.....	55

# 第一章、緒論

近年來隨著資訊科技的進步，影像處理技術也發展的相當成熟，各個不同領域的專家學者們透過不同研究領域的專長，彼此進行跨領域的合作。而發展成熟的影像處理技術亦得以解決不同領域的研究問題，如衛星遙攝影像、醫學影像處理、工業儀器攝影及印刷…等，影像處理技術在各領域皆有廣泛的應用。

在文物資產保存與數位化的議題，也因為資訊的進步逐漸開始受到重視，各式珍貴的歷史資料、文獻及文物等，隨著時間歲月的增加更容易消失，故有保存的急迫性與重要性。因此，透過各種不同的多媒體技術來針對文物進行數位化的保存、紀錄及儲存，更可進一步地將數位化資料加以重製及加值應用。

## 1.1 研究背景

臺灣於 1998 年由行政院國家科學委員會提出「數位博物館專案計畫與國家典藏數位計畫」，針對文化資產保存之議題進行一系列的計畫研擬。更進一步地在 2002 年將計畫提升為為期五年的「數位典藏國家型科技計畫」與「數位學習國家型計畫」[20]。該計畫針對重要的文物、文獻等各種主題建立數位化的圖文保存。在第一期數位典藏國家型計畫中，主要目標是將國家典藏之文物數位化、推廣並提升全民數位學習的素養，奠定國內基礎的數位內容與數位學習產業。

2007 年邁向「第二期數位典藏國家型科技計畫」，主要目標為「典藏多樣臺灣，深化數位學習」，更進一步地進行跨領域的合作，希望透過如資訊技術、資訊教育、歷史、人文…等，各分項計畫以及各部會成員的努力，至力於將各期計畫執行的典藏內容，妥善利用現代的技術以及資訊能力，讓文化得以完整的保存。在 2008 年將數位典藏與數位學習整合成「數位典藏與數位學習國家型計畫」，進行為期四年的國家型計畫。數年來，除了機構計畫所進行的數位化成果以外，也讓各界能參與數位典藏的工作，該計畫亦對外進行公開徵選。而在 2011 年對外徵選主題為：數位內容、數位技術研發、卓越研究中心及團隊、華語文作為第二語言之數位學習等共五項[19]。根據「數位典藏與學習之海外推展暨國際合作分項計畫」中，在 2012 年舉辦數位典藏與學習國際會議，亦針對典藏技術的部分對外徵求主題[18]，整理如表 1-1。現今，數位典藏與數位學習計畫更拓展到自然科學與數位教育，結

合政府、民間及學界的資料，整合彼此的研究成果，建構數位化的學習環境，使臺灣邁向華人文化數位典藏與數位學習的重鎮。

表 1-1 數位典藏徵選計畫與公開徵求主題

數位典藏國家型科技計畫—C2 數位技術公開徵選計畫	
一、數位典藏資料之長久保存	四、智慧財產權與隱私權管理機制開發
二、視訊典藏資料之快速擷取	五、數位典藏資料庫技術
三、web2.0 之技術整合與應用	六、新一代數位典藏服務技術
2012 數位典藏與學習國際會議對外徵求主題	
一、數位典藏內容與增值應用	五、地理資訊應用推廣
二、數位典藏技術開發與創新	六、數位學習
三、科學資料及生物多樣性資料之典藏	七、數位保存
四、智慧財產權與隱私權管理機制開發	八、永續經營

其中，數位典藏的計畫成員們在第一期數位典藏國家型計畫中，撰寫了十本「數位典藏技術彙編」和十六冊「數位化工作流程指南」，這兩套叢書主要將各機構執行數位典藏計畫時，依各類文物以實際的工作流程與經驗撰寫成具體文件規範，參與典藏計畫的成員作為參考依據，並總合國內外不同數位化相關技術的理論與實務，統合不同典藏單位的數位化經驗，提供各式文物數位化的標準工作流程以及更具有前瞻性的參考依據。

截至目前為止，數位典藏計畫共出版二十本的數位化工作流程指南，包含了照片、地圖圖資、書畫、瓷器、期刊報紙、古籍線裝書、文書檔案、水下生態影像、考古資料、語料庫建置入門、印章印記、正片、維管束植物、礦物平面攝影、民俗文物、貝類標本、金石拓片、建築、微縮資料、漢籍全文共二十項主題類型，如圖 1-1 所示。而其中一重要的項目為印章印記典藏，可根據不同的文物進行適當的影像擷取以及保存。



圖 1-1 數位典藏 20 項物件主題

印章在現今的社會中，可以用來進行身份的確立、票據上的效力以及認定上的證明，已在華人世界中應用的相當廣泛且重要。印章最初的使用，是當時商業上貨物交換的憑證信物，隨著社會經濟大幅度的發展與階級社會的產生，從單純的物品交換憑信，擴大到了政治、軍事等用途[17]。印章的歷史最早可追溯至殷商時期，至春秋戰國時代印章的使用大量的出現，正式以「印」的名字出現則是在秦代以後。印章的使用可作為信驗，也是一種身份的憑證，更是王朝的象徵，是一個社會、國家複雜化過程中的產物，由此可見印章的相關研究與保存具相當大的重要性。目前，國立故宮博物院與國立歷史博物館兼有進行印章與印記的兩種典藏保存；另外中央研究院及國立嘉義大學中國文學系也針對古籍、書畫作品進行數位化工作，並將印記的相關資料以後設資料(Metadata)再以描述。而印章應用

在書畫上的作用，具有更多元的意義[3]：為了確定作者並取信於人、安排畫面的構圖與空間融合、營造畫面氣氛及平衡色彩、消除畫面呆滯並延伸意境、彌補題款及書畫上的不足。除了印章在書畫上的重要性以外，其它典藏領域的古籍裝書、漢籍等，也皆可能出現印章的使用，印章及印記影像如圖 1-2、圖 1-3。前人用印有一定的講究，印記的大小是搭配書畫的大小而選用，而書畫尺寸大多為印記的數倍之多；印泥之印色也分為朱色、墨色、赭色及青色等，以朱紅色之印文最為通行適用。依印文的凹凸的不同，可以分為朱文印（陽刻）與白文印（陰刻）。



圖 1-2 印章



圖 1-3 印記

「印章印記數位工作流程指南」一書中更進一步指出，除了針對典藏作品的前置作業之外，必須進行「環境佈置與丈量」、「數位攝影或掃描」、「正式拍攝或掃描」，再進行「影像後製」的動作，如圖 1-4 為印章印記數位化工作流程圖。



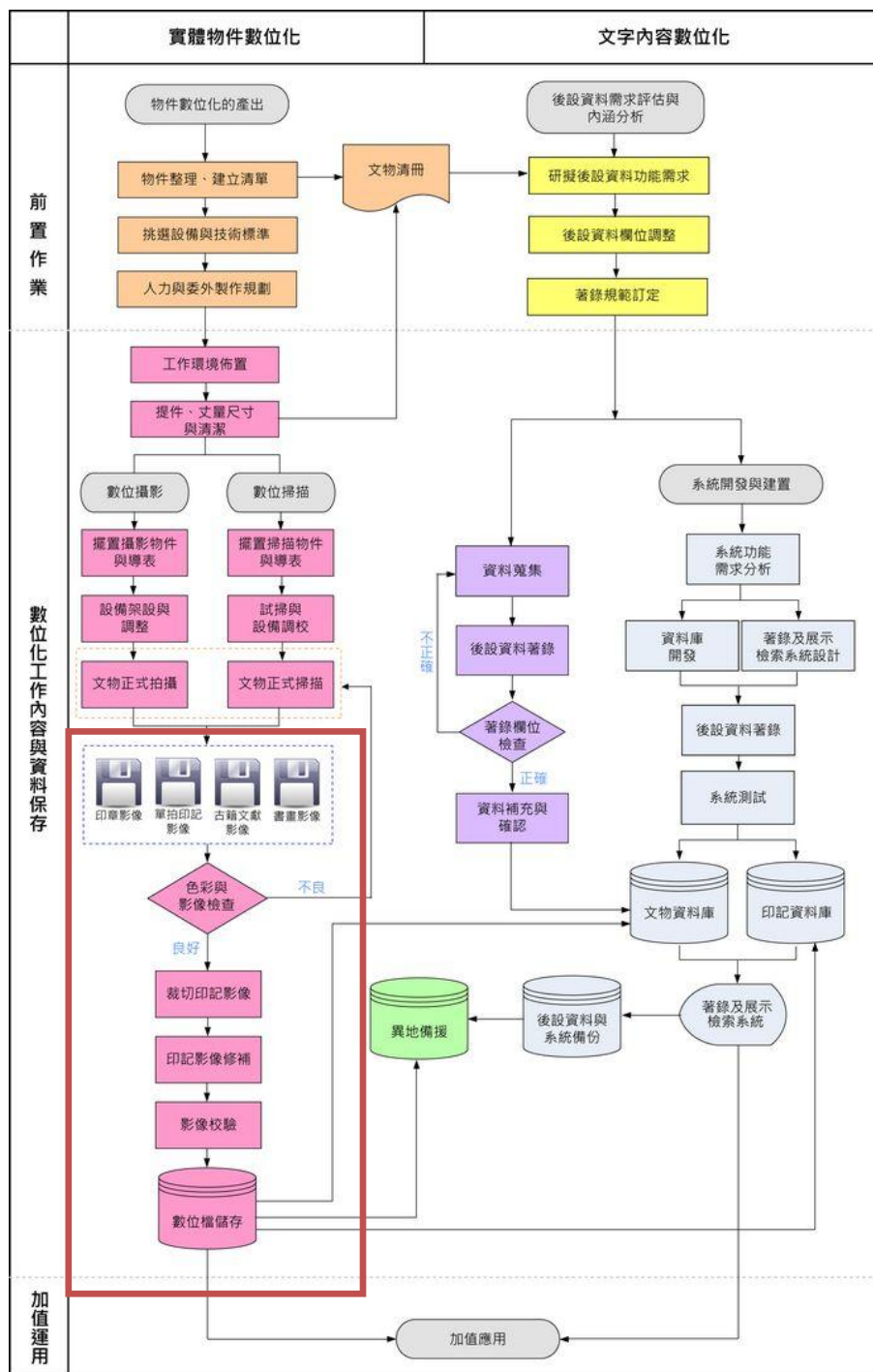


圖 1-4 印章印記數位化工作流程圖

在數位化保存的工作流程中[15]，影像後製的工作將會針對書畫或古籍中印記影像的部分進行修補，包含取圖、去背、補朱紅等三個重點步驟。然而，在此工作流程中，取圖、去背、修補朱紅等三重點步驟是以人工的方式操作影像處理軟

體 Photoshop 進行處理，在該書附錄中的印記取圖範例則是以下述步驟進行修補：  
(一)先對圖像進行裁切 (二)選取色版進行去除文字及背景之動作 (三)進行印記上之填補動作。

為了方便民眾在線上瀏覽與檢索，國立故宮博物館的款識印記資料庫[7]、國立歷史博物館的印章資料庫[22]、國史館的史料文物查詢系統[8]、中央研究院歷史語言研究所傅斯年圖書館-印記資料庫[14]…等，皆建置印記搜尋系統，提供使用者輸入關鍵字與相關的中繼資料進行檢索。若在未來能使用關鍵字查詢並加上影像檢索為輔助，勢必能加快使用者進行搜尋的效率，相關研究人員也可針對書畫與印記之間的關聯性進行更多研究。

綜合以上敘述，印章印記的數位化保存在數位典藏領域中有著不可或缺的重要性，也是許多重要的書畫、文物、古籍中相當重要的鑑定依據，具有其背後存在的歷史價值。相關政府單位與政策的推動下，許多學者也投入相關的研究領域中。然而，在不同書畫作品上的印章印記，可能因使用不同的紙張或製造工藝的差別，或是在進行裱褙時紙張延展的狀態、印泥的新舊、紙張的保存…等，皆會引起印記在圖像上的變化。目前執行印章印記數位化的過程中，仍以人工的方式進行印章印記的擷取，逐一針對影像中的每個印記進行裁切、去背及修補。因此，本研究將根據書畫作品中印章印記的特徵作為影像切割及修復的依據，透過影像處理技術自動擷取出該張作品中之印記影像進行修復，以達到數位典藏保存工作的目的。

## 1.2 文獻回顧

影像處理中的影像切割技術在近年來發展為相當重要的議題，其目的在於取出使用者所感興趣的影像區塊並加以識別，在本研究中針對印章印記進行數位化保存，主要為取出書畫影像中所存在的印記影像，並將物件與背景分離。在後續實驗中將針對彩色之書畫影像進行演算法的設計，因此在本章節中為印章之相關

研究進行回顧與整理。

在目前的影像相關研究中，彩色影像的切割方式可分為兩大類型，一種為根據該演算法所使用的色彩空間設計後續處理的方式；另一種是以其所採用的切割方法來分類，如使用邊緣為主的方法(edge-based methods)[39][43]、區塊為主的方法(Region-based methods)[28]以及群聚分類法(Clustering) [28][44]等。

在印章的相關研究中，可在更進一步的分類為使用顏色特徵、紋理特徵以及形狀特徵，或是綜合兩種以上的特徵進行印章特徵的混合計算，以完成影像切割與後續鑑定工作。

目前，國內外各界學者對印章圖像的研究，大多於會計法人或現代個人印章的鑑定[1][2][6][9][10][11][12]，對於傳統書畫作品中的印章擷取，在國內外相關研究仍少有人提及。在會計法人或現代個人印章的相關研究中，2001年李俊等學者[2]以 Hough 轉換針對圓型及矩型的圖章進行印章傾斜的校正。2002年孔健等學者[1]以 RGB 色彩空間篩選紅色之特徵像素，針對票據進行印章的自動提取。2004年趙永濤等學者[16]針對銀行的票據識別系統進行預處理的實驗，以 HSI 色彩空間進行特徵擷取並使用二值形態學進行填充。2004年馬麗霞等學者[4]也針對通用的公章以 RGB 空間進行預處理，透過回歸線垂直的方式來達成印章擷取。2005年張玲等學者[9]針對票據鑑印系統中，以 HSI 色彩空間進行印章提取，並使用 Hough 轉換法剔除干擾的書寫線，再使用對稱分佈填充算法完成印章圖像修復。而 2006年張玲等學者[10]更進一步提出票據系統中不同幾何特性之印章進行幾何計算，提高印章識別的精準度。2008年張粟等學者[11]提出以 HSI 色彩空間結合 Hough 擷取圓型圖章，並進一步以二值形態學進行修補。2008年倪琦等學者[5]提出以直方圖等化的概念強化圖像應用於銀行票據系統中，並使用 Sobel 邊緣偵測法進行印章特徵擷取。2010年，孫紅岩等學者[6]提出以傅利葉轉換計算印章的紋理，並使用 HSI 色彩空間結合 SVM 分類器進行印章真偽的判定。2009年鮑泓等學者[23]提出一種自動提取中國書畫作品印章影像的方法，使用 L\*a\*b 色彩空間設定門檻值進行顏色特徵擷取，並使用兩次區域分割的方式，剔除非印章圖像與干擾物件，共設定了 12 個門檻值，其中 4 個門檻值必須隨著影像的不同進行調整，最後實驗結果成功率達 80%。

表 1-2 印章使用彩色影像切割之整理比較

年份/作者	方法描述	後處理合併方法	演算法類型	色彩空間特徵
2002/孔健	門檻值設定	二維投影	Region	RGB
2004/趙永濤	門檻值設定	形態學處理+中值濾波	Region	HSI
2004/馬麗霞	門檻值設定	去雜訊+垂直回歸線修復	Region	RGB
2005/張玲	門檻值設定	Hough+ 對稱填充法	Region	HSI
2008/張粟	門檻值設定	Hough+ 中值濾波	edge	HSI
2008/倪琦	直方圖均衡化	Sobel+模板匹配	histogram	Gray
2009/鮑泓	門檻值設定	去雜訊+Canny+區塊密度分割	Region	XYZ→LAB
2010/孫紅岩	使用紋理特徵	去雜訊+SVM 融合	Region	HSI

在表 1-2 中將上述相關印章之研究進行整理比較，大多數文獻都藉由色彩空間與門檻值設定的方式來進行印章的切割。在不同的學者的研究中，進行印章切割時，選擇的色彩空間大至上分為兩類，一類為使用 RGB 色彩空間的方法[1][4]，另一類為使用 HSI 色彩空間的方法[6][9] [11][16]。但是，使用色彩空間與單一門檻值的設定，僅能在單純背景下進行紅色特徵的擷取，不能具體的切割出印章。因此必須透過 Hough 轉換[10][11]或是使用邊緣偵測方法[5][23]，來進行印章形狀上的判定。然而，在形狀判定上使用 Hough 轉換的投票機制或是使用多種紋理特徵進行特徵值訓練[6]時，將會消耗大量時間效率而且演算法也會相對的更加複雜。文獻的回顧中，印章的切割只適用於背景單純的票據印章，針對書畫類影像進行印章切割的研究，僅有鮑泓[23]等學者在 2009 年所提出的方法。

### 1.3 研究動機

在傳統數位典藏進行數位化保存的工作中，在影像後製階段將耗費大量的人力與時間，以人工的方式對書畫作品上的印章印記進行裁切。並從裁切下來的每張影像，逐一進行去除背景及文字干擾的動作，逐次修補及填充影像。若能自動地從書畫作品中將印章印記識別出來並加以去背、修補破損的印章圖像，則可大大加快數位典藏工作流程的效率與時間。

目前有關印章擷取的研究，大多集中在銀行票據及公章的使用，並不適用於書畫作品的研究。書畫作品擁有複雜的前景與不同色調變化的背景，無法單純使用票據相關印章之研究方法進行解決。針對書畫作品中擷取印章的研究，僅有中國大陸的鮑泓等學者於 2009 年所提出的方法[23]，其過程中設定 12 個門檻值，最後擷取成功率為 80%，仍有改進之空間。

### 1.4 研究目的

本研究之研究目的，主要從影像技術開發與創新的角度上，提出一套有效地「印章印記影像擷取方法」。希望此方法能從各類書畫典藏作品中，精準地擷取印章特徵，並自動切割出印章印記圖像的區塊，針對切割之印記圖像進行影像去背以及印記之修補動作，進而協助數位典藏工作中的技術開發與創新。本研究基於數位典藏「技術開發與創新」作為主軸，透過影像處理技術的彙整使用，結合上述相關文獻之優點，擬提出一套高效率且高精準性的印章印記影像擷取之方法，希望該研究成果能協助國內進行數位典藏相關工作時，得以更加彰顯與落實。

### 1.5 論文架構

本論文共分為緒論、相關技術探討、印章印記影像擷取、影像修復與檢索、實驗結果與討論以及結論與未來發展等六個章節。

在第一章緒論中，簡述目前數位典藏相關領域之發展內容、印章印記之典藏工作流程，並針對印章相關彩色影像切割進行文獻回顧與論文架構。第二章介紹基礎之色彩空間模型和影像切割方法進行介紹。於第三章逐步介紹本研究所提出的「印章印記影像擷取方法」。第四章將延續第三章所切割之印記圖像進行影像修復以及印記影像檢索方法，並於第五章與其它作者之方法進行比較，說明實驗的結果並加以分析與評估。實驗結果的分析包含視覺上的影像切割比較、時間花費的比較分析以及數據上的效能評估分析。最後一章則歸納本論文之結論與未來展望。



## 第二章、相關技術探討

由從輸入的各類彩色書畫影像中，擷取出該張影像中的所有印記影像，以方便後續進行印記影像的修復與檢索。為能精確的擷取印記影像，須仰賴不同的色彩空間及影像切割的技術，故於本章中回顧本研究所需的相關技術，包括影像色彩空間、影像切割技術、影像特徵與形態描述的原理。

### 2.1 影像色彩空間

在數位影像處理技術中，圖像中的色彩是最有效的描述子(descriptor)，可將目標物件與景物中作為識別並可從中分割而出；在人類的視覺感官中，能分辨出數千種彩色色調與強度，而視網膜上的錐狀體(cones)則可分成三種感應的類型，約對應於紅色、綠色和藍色。為取其特性來做色彩標準的應用，因此會將彩色色譜的三個基本量 R(Red)、G(Green)、B(Blue)經由不同的彩色空間進行轉換，可轉換之色彩空間如 YUV、YIQ、HSI、Lab...等。

RGB(red-green-blue)色彩空間主要由三種顏色：紅色、綠色、藍色的基本光線所組成，其餘的不同顏色也透過紅、綠、藍不同基本量值混合而成。RGB 色彩空間裡的每一個顏色都以 8 位元來表示，所以 0~255 就會有 256 種的亮度變化，且三種顏色變化經過相乘就會有一千六百多種的亮度變化，為 24 位元全彩影像。RGB 色彩空間主要採用加法混色法，如圖 2-1，它經由不同的成分比例加總混和，形成了各種顏色的影像。

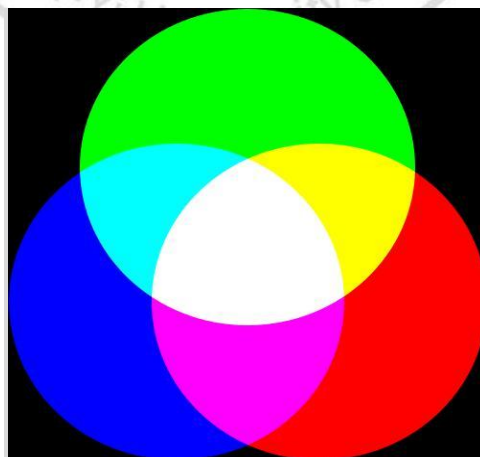


圖 2-1 RGB 色彩空間

HSI 色彩空間[38]由色調(Hue)、飽和度(Saturation)、強度(Intensity)三種量值所



組成。其中，色調和飽和度為色彩學上表示顏色的類別與深淺，強度則是該圖像上的明亮強度。一般而言，人眼的視覺對強度的敏感遠勝於顏色濃淡程度。因此，HSI 空間影像中的色彩物件比 RGB 影像具有更強的色彩描述且符合人眼的視覺特性。

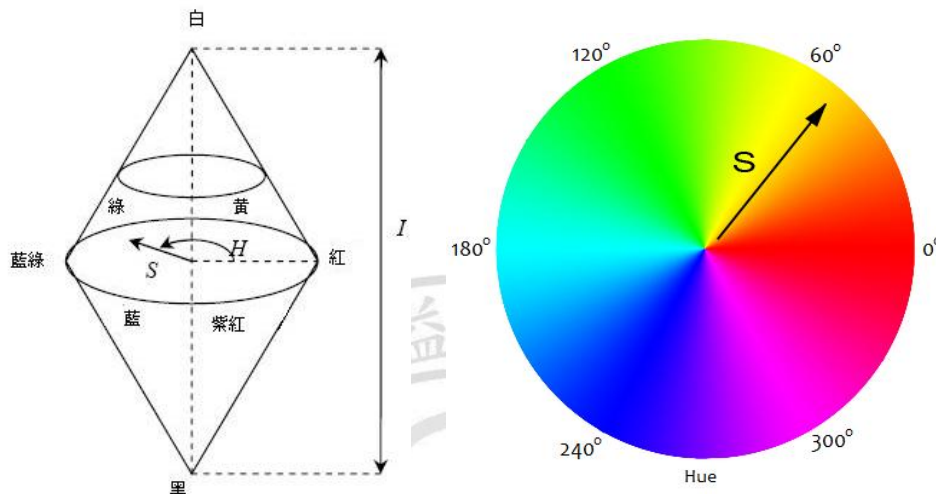


圖 2-2 HSI 色彩空間

在 HSI 色彩空間中，將色彩資訊中帶有強度成分的資訊與色調和飽和度作分離，如圖 2-2。色調 H 的範圍定義在 0 到  $2\pi$  角度之間，紅色分佈則位於 0 與  $2\pi$  兩側、綠色位於  $2\pi/3$ 、藍色位於  $4\pi/3$ ；當飽和度 S 為 1 時色調表示為完全飽和，飽和度 S 為 0 時色調表示為完全不飽和；而強度 I 代表色彩的強度其範圍為 [0, 1]。HSI 色彩空間的色調、飽和度、強度其值，可以透過 RGB 的色彩立方體中取得，任何 RGB 的像素皆可轉換為 HSI 色彩空間，其轉換公式於第三章中再行介紹。

本研究必須從彩色的書畫典藏作品圖像中，擷取色彩特徵作為重要的依據，以便後續實驗過程得以進行切割及形態之計算。然而，使用原始的 RGB 色彩空間無法針對色彩的亮度進行判別，只能針對 RGB 三種量值進行比例上的計算。欲加強色彩的特徵，必須再使用非線性之色彩空間，其資料維度間關聯度較低，可將彩度及亮度資料分開處理。因此，本研究使用兩種顏色特徵：(1)原始的 RGB 色彩空間，再搭配使用(2)非線性之 HSI 色彩空間。透過非線性的 HSI 色彩空間，具有特定的轉換公式，可分別使用色調、飽和度兩種參數，設定適當門檻值來篩選紅色範圍的特徵。



## 2.2 影像特徵與描述

在數位影像處理中若要進行影像分析與辨識，必須先獲得圖像的各種特徵後，再透過不同的特徵辨識方式來進行計算。而常見的影像特徵主要包括形狀、紋理和顏色。本研究中為了擷取印記影像，必須考慮其印章的數種特徵，主要以形狀特徵以及顏色特徵為主。

### 2.2.1 形狀特徵與描述

常見幾種典型的形狀特徵，主要分為兩類，一類為邊緣輪廓的特徵，另一種為區域的特徵。以邊緣為主的特徵，是利用影像邊緣偵測濾波器來偵測影像的輪廓，並將影像中的雜訊剔除掉，區分出灰階影像裡高頻與低頻的部份，取得高頻並將影像邊緣與鄰近像素之間的差異加強，讓其更為明顯，讓邊緣偵測能夠更準確地被執行。而常見的邊緣偵測方法為 Gradient[25]、Canny[24]、Sobel[27]以及 Laplacian[26]。而這幾個方法的共通點是增強影像邊緣輪廓常用的方法為，

(a) **梯度過濾法**：運用微分運算來達到效果，先假設  $f(x, y)$  為影像  $f$  在座標點  $(x, y)$  上的灰階值，在  $(x, y)$  座標處的梯度向量  $\nabla f(x, y)$  如公式(2-1)求得：

$$\nabla f(x, y) = \left( \frac{\partial f(x, y)}{\partial x}, \frac{\partial f(x, y)}{\partial y} \right) = (f_x, f_y) \quad (2-1)$$

其中  $f_x = f(x+1, y) - f(x, y)$ ，

$f_y = f(x, y+1) - f(x, y)$ 。

該向量的梯度大小為  $|\nabla f| = \sqrt{f_x^2 + f_y^2}$ ，其向量的梯度方向定義為  $\theta = \tan^{-1} \left( \frac{f_y}{f_x} \right)$ 。

當  $|\nabla f|$  越大時，就代表此像素為邊緣輪廓的可能性就越高，同時也與邊緣連線越呈垂直。這方法主要針對影像中，灰階值明顯變化之物件進行邊緣偵測法，可使用  $3 \times 3$  的矩陣，對影像中每個像素進行偵測，不過只判斷其鄰近的上下或左右的區域，而當判斷出來有灰階值超過 255 時，即判斷為邊緣。

### (b) Sobel 邊緣偵測

Sobel 跟其他邊緣偵測法最不同的地方在於它除了邊緣強化以外，還多了使邊

緣平滑的好處。先計算出遮罩的中心所在像素點的梯度， Sobel 之區塊遮罩如圖 2-3：

-1	-2	-1
0	0	0
1	2	1

-1	0	1
-2	0	2
-1	0	1

$$G_x = (z_7 + 2z_8 + z_9) - (z_1 + 2z_2 + z_3)$$

$$G_y = (z_3 + 2z_6 + z_9) - (z_1 + 2z_4 + z_7)$$

圖 2-3 Sobel 之區塊遮罩

經由 Sobel 運算遮罩的處理後，將遮罩中心移到下一個像素點，重複上述運算可得到第二個像素的梯度值。當對整張影像的像素位置都執行這個過程後，可得到一張與原來影像同樣大小的梯度圖。其中，若中央像素點與其相鄰的八個點  $\Sigma G_x$  與  $\Sigma G_y$  皆是相同值，即表示沒有邊緣通過，其梯度值也會是零。若左、右的值不同， $G_x$  輸出結果就不會是零，但  $G_y$  仍會是零，直到上下的值不同為止。對於每一點的  $G_x$  與  $G_y$  計算結果會累加起來存於另一張圖上，以確保兩個方向的邊緣變化都會被找到。基於此運算子，重複上述計算過程直到最後一個像素值可得到一個梯度值，對此梯度值取一門檻值  $T$ ，當  $g \geq T$  時，則該像素值判定為邊緣像素。

### (c) Canny 邊緣偵測

Canny 邊緣偵測相同於梯度過濾法，首先求出每個像素的梯度  $|\nabla f| = \sqrt{f_x^2 + f_y^2}$  與梯度方向  $\theta = \tan^{-1}\left(\frac{f_y}{f_x}\right)$ ，此處  $f_x$  與  $f_y$  分別為對像素值在  $x$  與  $y$  方向上作一階導數。若梯度方向上像素的  $|\nabla f|$  大於某被給定的門檻值，則視該此像素為邊緣輪廓點。也可設定兩個門檻值  $T_h$  與  $T_l$ ，若梯度方向上像素的梯度大於  $T_h$  時，視此像素為邊緣輪廓點；而此像素連接出的其它像素，如其梯度大於  $T_l$  時，也視該連接出的像素為邊緣輪廓點。

形狀特徵的描述方面常見的方式[27]如：(a)長度與寬度、(b)矩形度、(c) Hough 檢測、(d)傅立葉形狀描述、(e)多邊形近似法…等。在本研究中為了減少複雜的計

算與大量的時間消耗，僅採用長度與寬度的方法，計算物件邊界的最大及最小坐標值即可得到物件的水平和垂直線，可描述物件形狀的特徵為矩形，進行快速的形狀判定。

### 2.2.2 顏色特徵與描述

顏色特徵為影像中整體的特徵，主要依賴不同色彩空間裡給定的特定維度。基於顏色特徵的描述，具有相當好的穩定性，對於圖像的旋轉、平移、尺寸縮放變化都不受影響。此外，顏色特徵比起其它特徵計算相對的簡單，這也是影像處理領域中常用的一種特徵方式。常見的顏色特徵方式為：

(a) **顏色直方圖(color histogram)**：顏色直方圖[28]是在影像檢索系統中被廣泛使用的顏色特徵。它所呈現的是不同色彩在整張影像中所占的比例，適用於難以進行自動切割的影像。但是，它無法描述影像中顏色的局部分量以及其空間位置。計算顏色直方圖時需要將顏色空間畫分成若干的小的顏色區間，每個小區間稱為直方圖的一個 bin。這個過程稱為顏色量化(color quantization)。然後，通過計算顏色落在每個小區間內的像素數量可以得到顏色直方圖。

(b) **顏色集(color sets)**：文獻[32]提出了以顏色集(color sets)作為對顏色直方圖的一種改進。首先將 RGB 色彩空間轉換為與感知一致的 HSV 色彩空間，並將顏色空間量化成若干的 bin。並藉由將圖像分為若干區域，每個區域用量化顏色空間的每個顏色分量來索引，表達為一個二進位制的顏色索引集。

## 2.3 影像形態學

數位影像處理技術中的影像形態學(Morphology)[27]，基本的運算是以影像的結構元素(structuring element)的交集作為定義，主要為以下四種之運算：膨脹(dilation)、侵蝕(erosion)、結合侵蝕與膨脹而延伸成的斷開(opening)以及結合膨脹與侵蝕而延伸成的閉合(closing)。在本研究中將運用到形態學的閉合。其主要針對二值影像先進行膨脹的處理以擴大物件特徵的區塊，再使用侵蝕處理來縮小區塊，以符合原始物件的大小，可填補物件邊緣的缺口，平滑物件邊緣並達到去除雜訊以及獲得完整特徵的目的。

### 2.3.1 膨脹

膨脹運算，是為了要將二值化影像中的物件做「增大」或者「變厚」的處理，而控制物件膨脹的程度，是透過一個結構元素來進行運算，在此以圖 2-4 作為範例說明。

圖 2-4(a)所表達的影像，透過圖 2-4(b)表達的結構元素，進行膨脹 5 次後的結果為圖 2-4(c)所表示，因為膨脹而變厚的部分如圖 2-4(d) 所示。膨脹運算以數學表示，令 A 藉由 B 進行膨脹表示為  $A \oplus B$ ，數學式定義如下：

$$A \oplus B = \{z | (\hat{B})_z \cap A \neq \phi\}。$$

其中  $\phi$  為空集合，A 為原始影像，B 為結構元素， $\hat{B}$  為結構元素在原始影像上做對映。

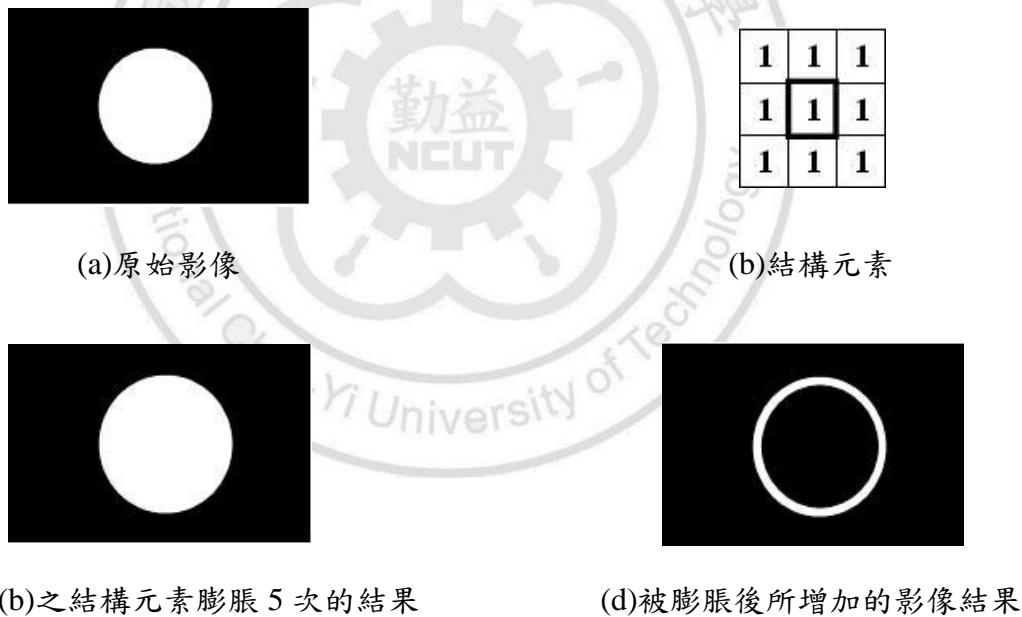


圖 2-4 膨脹範例

### 2.3.2 侵蝕

侵蝕的運算與膨脹相反，乃是將二值化影像的物件做「收縮」或「變薄」。將

物件收縮或變薄方式的程度也是由一個結構元素所控制，在此使用圖 2-5 說明，如何以結構元素進行二值影像物件的侵蝕。將圖 2-5(a)所示的二值影像去使用圖 2-5(b)所表示之結構元素進行侵蝕 5 次之後的結果如圖 2-5(c)，被侵蝕掉的部分顯示如圖 2-5(d)。在數學上式的定義上，A 藉由 B 進行侵蝕時表示成  $A \ominus B$ ，定義為：

$$A \ominus B = \{z | (B)_z \cap A^c = \phi\}$$

其中  $\phi$  為空集合，A 是原始影像，B 為結構元素， $(B)_z$  為結構元素在原始影像上做平移。

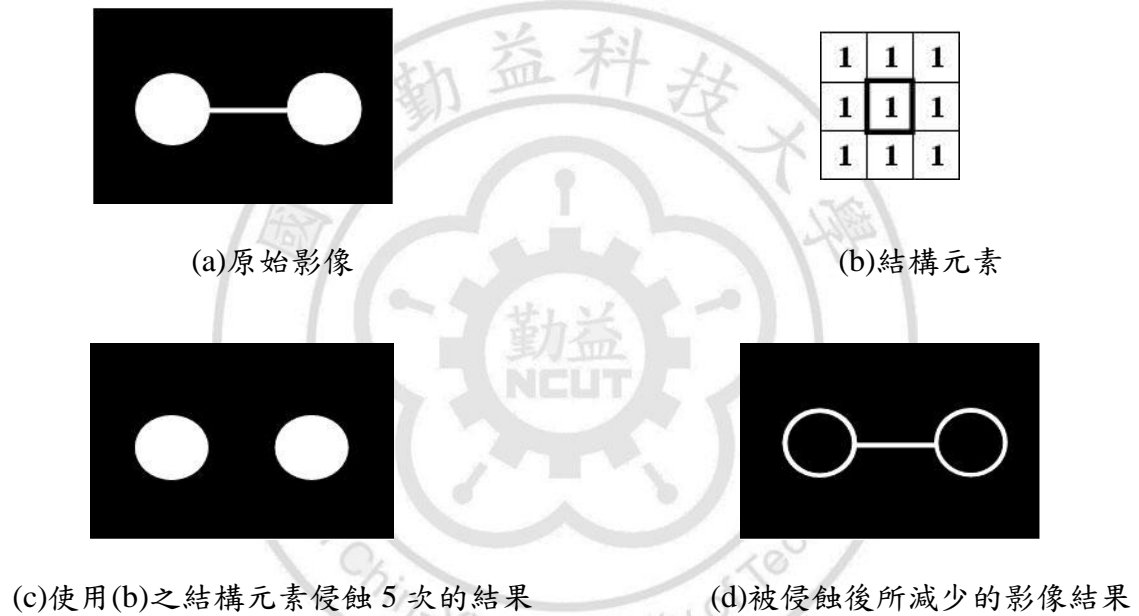


圖 2-5 侵蝕範例

### 第三章、印章印記影像擷取方法

本研究提出的印章印記圖像擷取方法，主要是針對書畫影像內物件的顏色特徵作為主要依據。輸入一張前景豐富的書畫影像如圖3-1所示，作為本研究方法中的範例影像。從影像中可以看到該影像背景有不連續色階的分佈而且印記物件的顏色特徵弱，為了能適當的擷取印記影像，必須針對顏色的特徵進行加強。



圖 3-1 書畫作品影像

顏色的特徵在書畫影像中是相當重要的要素，能清楚的區分印記與背景的差別。因此，本研究主要針對書畫作品中的顏色作為影像切割的重要特徵。圖3-2為本研究擷取方法之流程圖，主要包含三個步驟：

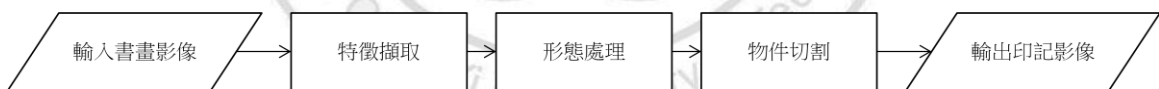


圖 3-2 印章印記圖像擷取流程圖

#### 3.1 特徵擷取

一般傳統書畫影像之影像大多由攝影或掃描所得，其圖檔為 RGB 色彩空間之影像，假設輸入之影像  $F$  其影像大小為  $M \times N$ 。而在文獻[6][9][10][11][12]切割印章影像時皆使用 HSI 色彩空間，使用不同 H、S、及 I 的三種門檻值直接針對圖像進行特徵擷取。但是在一般會計票據使用上背景較為簡單，而在本研究中傳統書畫影像背景為不連續的色階分佈，印記物件的色彩特徵過淡，甚至會有其它前景

物件的干擾，無法直接以色彩門檻值來擷取印記。因此，在本研究中針對書畫影像先在 RGB 色彩空間中，依靠紅色、綠色兩種色彩的對比性差異進行門檻篩選，可保留印記物件的輪廓範圍，並依 O'tsu 方法[37]進行二值化去除背景不連續色階的干擾。另在 HSI 色彩空間中，依文獻歸納所得之門檻值，再度篩選出紅色特徵的範圍，在獲得符合門檻值的像素集合後，針對該集合進行色彩強化。最後在兩種色彩空間篩選後的成果，可獲得保留物件輪廓範圍又獲得精準且強化後的顏色特徵。

### 3.1.1 RGB 門檻篩選

RGB 色彩空間為書畫影像中原始的色彩空間，保留 R、G、B 三個維度的量值。在色彩學的特性中，紅色與綠色為對比的色彩屬性，同一個像素裡 R 與 G 的量值相當，其表現出的色彩將屬於黃色色系。若是紅色的量值大於綠色量值，那表現出的色彩將是屬於紅色色系，反之為綠色色系。因此，在 RGB 色彩空間中也可充分的使用這種對比特性，只要紅色量值大於一定綠色量值，即可區域性的獲得屬於暖紅色系的區塊特徵。在範例影像中可以 R、G、B 的個別維度來表示三種灰階影像 (Gray Image)。



(a)R 值灰階影像

(b)G 值灰階影像

(c)B 值灰階影像

圖 3-3 RGB 灰階影像

#### 【Step 1】剔除背景像素

在傳統書畫影像中，其背景常為褐色的不連續色階分佈，印記物件的特徵與背景相似度極高，若不先將背景進行剔除，而執行顏色特徵的強化或判斷，將使切割的誤判率大大的提高。因此，本研究採用 Otsu 方法，利用統計學之原理找出

最佳門檻值  $T_0$  如圖 3-4，進行背景像素的剔除。

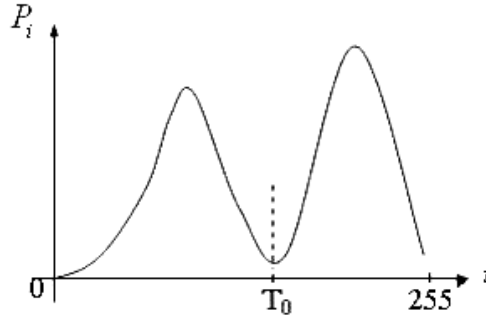


圖 3-4 灰階分佈統計圖

先將輸入的影像  $F$  利用紅色維度的灰階影像  $R$  進行 Otsu 的計算。設灰階值  $0, \dots, 255$ ，像素個數分別為  $n_0 \dots n_{255}$ ，所有像素總和為  $Q$ ，灰階值  $i$  在該灰階影像中發生的機率  $P_i$  如公式(3-1)。另外，定義兩個區域  $C_1$  以及  $C_2$ 。 $C_1$  區域中任一像素的灰階值  $i$  必定滿足  $0 \leq i \leq T_0$ ；而  $C_2$  區域中任一像素的灰階值  $i$  必滿足  $T_0 + 1 \leq i \leq 255$ 。將  $T_0$  設定使  $C_1$  內的變異數 (Within-variance) 加上  $C_2$  內的變異數，即兩者變異數之和，達到最小時之門檻值。此條件是為了使  $C_1$  與  $C_2$  之間的時間區分到最大，使其有較佳的分割效果。每個區域所發生的機率及像素平均值分別為  $W_1$ 、 $W_2$  和  $\mu_1$ 、 $\mu_2$ ，詳如公式 (3-2) 與公式(3-3)：

$$P_i = \frac{n_i}{Q} \quad \text{where } P_i \geq 0 \quad \text{and} \quad \sum_{i=0}^{255} P_i = 1 \quad (3-1)$$

$$W_1 = \sum_{i=0}^k P_i \quad W_2 = \sum_{i=k+1}^{255} P_i \quad (3-2)$$

$$\mu_1 = \sum_{i=0}^k \frac{iP_i}{W_1} \quad \mu_2 = \sum_{i=k+1}^{255} \frac{iP_i}{W_2} \quad (3-3)$$

門檻值設定為  $k$  時，各區域變異數分別為下：

$$\sigma_1^2 = \sum_{i=0}^k (i - \mu_1)^2 \frac{P_i}{W_1} \quad \sigma_2^2 = \sum_{i=k+1}^{255} (i - \mu_2)^2 \frac{P_i}{W_2}$$

區域變異數的加權總和為下：

$$P_1 \sigma_1^2(k) + P_2 \sigma_2^2(k)$$



$T_0$ 之計算如下：

$$T_0 = \arg \text{Min}_k \{P_1\sigma_1^2(k) + P_2\sigma_2^2(k)\}$$

本研究計算出書畫影像中灰階分佈統計圖，如圖 3-5。將圖片針對每一個像素值進行尋找門檻值的動作，爾後將切割出來的數值區分為兩個區塊，並分別計算兩區域的變異數總和，最後尋找變異數總和之最小值，此時之像素值即為最佳的門檻值。當獲得最佳門檻值  $T_0$ ，即可把灰階影像轉換為二值影像；將影像中所有灰階像素值跟門檻值做比較，大於門檻值的數值將視為 1，小於門檻值的數值則視為 0，如圖 3-6。將二值影像套回原圖中，如圖 3-7。當影像的像素值等於 1，則過濾掉背景色彩之干擾，當像素值等於 0 則留下印記圖像與其它主體物件。

剔除背景的書畫影像，藉由去除不連續且色彩飽和的背景像素，可使擷取顏色特徵的準確率提升，並保留特徵的輪廓完整性，避免不同顏色之背景造成干擾。

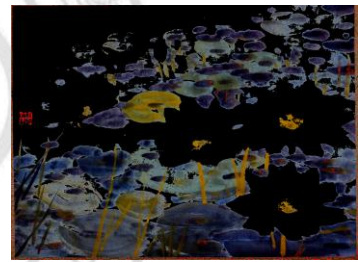
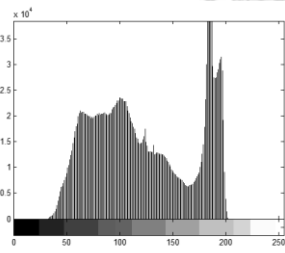


圖 3-5 灰階分佈統計圖

圖 3-6 二值化影像

圖 3-7 去除背景之影像

### 【Step 2】計算像素差值

在去除背景後得到的影像，再參考文獻[1]設定門檻值的方法，透過公式(3-4)， $N$  為圖像中像素點的總數， $i \in [0, N-1]$ ， $Pixel_i(R)$ 、 $Pixel_i(G)$ 、 $Pixel_i(B)$  分別為該像素點的紅、綠、藍三個色彩值。若分別針對 R、G、B 三個參數設立門檻，將會有很大的限制，不能適應顏色值變化較大或是色階分佈不連續的情況。若將門檻值設定的太高，擷取的物件特徵會過少，紅色量值高的像素才會被保留下來；若定的太低又會擷取到不希望所擷取的物件。

因此，在門檻值設定的部分，本研究透過三個色彩之間的相對差值來判定是否為目標像素。篩選條件為像素 2 倍的紅色像素減綠色及藍色後仍大於等於門檻

值，此代表該像素具有大量之紅色特徵。而經本研究實驗測試將門檻值(Threshold)設定為 100。透過像素的相對差值計算，可擷取出輪廓較完整性的顏色特徵，如圖 3-8 為 RGB 顏色特徵篩選之影像。

$$Pixel_i(R) \times 2 - (Pixel_i(G) + Pixel_i(B)) \geq Threshold \quad (3-4)$$



圖 3-8 相對差值剔除之影像



圖 3-9 RGB 篩選之影像

### 3.1.2 HSI 門檻篩選

在 HSI 色彩空間中，透過 H、S、I 三種不同量值的門檻值設定，可針對特定像素進行篩選。其對顏色篩選的準確性比起 RGB 色彩空間來的更加精準，印記的細節特徵也更能保留下來，為了加強印記細節的顏色特徵，需進一步地將這些像素集合進行強化。

#### 【Step 1】色彩空間轉換

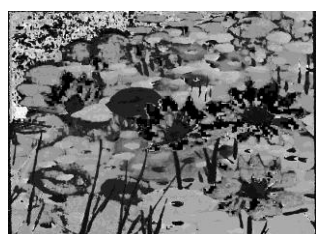
HSI 色彩空間將強度成分的資訊與色調和飽和度做分離。色調 H 的範圍定義在  $0^\circ$  到  $360^\circ$  角度之間，而紅色位在  $0^\circ \sim 20^\circ$  與  $340^\circ \sim 360^\circ$  之範圍；綠色位在  $120^\circ$ 、藍色位在  $240^\circ$ ；當飽和度 S 為 1 時色調表示為完全飽和，飽和度 S 為 0 時色調表示為完全不飽和；而強度 I 代表色彩的明亮程度其範圍為  $[0, 1]$ 。HSI 彩色模式的優點在其強度和彩色資訊 (I 和 H、S) 為分離，不會因為色調或飽和度而干擾到灰階的強度。根據上述的關係可以將 RGB 的色彩影像，如圖 3-10 轉換成 HSI 色彩空間後可以 H、S、I 值來表示三種灰階影像 (Gray Image)，而其轉換的公式如下：

$$\text{色調為, } H = \begin{cases} \theta, & \text{if } B \leq G \\ 360 - \theta, & \text{if } B > G \end{cases}$$

$$\theta = \cos^{-1} \left\{ \frac{\sqrt{(R-G) + (R-B)}}{\sqrt{(R-G)^2 + (R-B)(G-B)}} \right\}$$

$$\text{飽和度為 } S = 1 - \frac{1}{3}(R+G+B) [\min(R,G,B)]$$

$$\text{強度為 } I = \frac{3}{(R+G+B)}$$



(a)H 維度影像



(b)S 維度影像



(c)I 維度影像

圖 3-10 HSI 三個維度影像

本研究將書畫影像轉換成 HSI 色彩空間後，獲得 H、S、I 三個維度如圖 3-10(a)-(c)，再進一步由 H 及 S 兩個維度篩選出紅色特徵範圍。由於印章壓蓋的力度不一、印色的多寡等眾多因素將影響門檻的設定。而門檻的範圍設定最後則參考文獻之門檻設定及實際測試經驗，將色調 H 設定在紅色之範圍  $0^\circ \sim 20^\circ$  與  $340^\circ \sim 360^\circ$ ；飽和度 S 說為人眼可接受的紅色飽和度，至少大於 20% [16]。因此，從各文獻 [11][16] 歸納出紅色特徵範圍之門檻設定為色調大於 0.94 或小於 0.056，以及飽和度須大於 0.2。設 F 為輸入之 RGB 影像， $R(x, y)$  為紅色維度該點的像素。 $H(x, y)$  及  $S(x, y)$  分別表示在  $(x, y)$  處之像素其色調及飽和度，則  $F_R$  為描述紅色特徵條件之像素所構成的集合。

$$F_R = \{R_{(x,y)} \mid (0 \leq H_{(x,y)} \leq 0.056) \parallel 0.94 \leq H_{(x,y)} \leq 1) \&\& (0.2 \leq S_{(x,y)} \leq 1)$$

$$0 \leq x \leq M, 0 \leq y \leq N\}$$

## 【Step2】像素強化

傳統書畫影像可能作品本身保存或是年代長久的關係，使得印記的細節在影像中並不是相當的完整，甚至達到難以肉眼清楚辨識的地步，這將不利於後續特徵擷取階段的進行。因此，為了使印記的細節更加清楚，得以在後續的步驟中被擷取出來，必須進行像素的強化。設  $F_{Max}$  與  $F_{min}$  分別表示該集合  $F_R$  之最大與最小像素值， $F_{Max} - F_{min}$  表示該影像中像素值之組距；集合中每一個像素對應到  $R$  之維度  $R(x, y)$  減去集中最小值  $F_{min}$ ，再乘上 255，則篩選紅色特徵之像素正規化更新為  $O(x, y)$ 。  $F_{Max} = \max(F_R)$ ， $F_{Min} = \min(F_R)$ ，

$$O(x, y) = \left( \frac{R(x, y) - F_{min}}{F_{Max} - F_{min}} \right) \times 255 \quad (3-5)$$



圖 3-11 原始影像(局部裁切)



圖 3-12 紅色強化之影像(局部裁切)

經公式計算後，集合中每點紅色像素值皆會被更新為 0 至 255 之間，使原圖 3-11 之影像中能見度較低之紅色像素值，經公式強化之集合影像如圖 3-12。

### 3.1.3 顏色特徵相加

使用上述兩種篩選門檻及強化，在 RGB 色彩空間得到去除背景之顏色特徵集合，以及在 HSI 色彩空間得到強化之顏色特徵集合，如圖 3-13 及 3-14。這兩者的顏色特徵有著不同的特性，在 RGB 色彩空間透過相對差值計算後，可得到輪廓物件較完整的影像；而在 HSI 色彩空間裡的紅色門檻範圍可精準的區分出紅色區域之集合，可得到印記細節較清晰之影像。因此，必須一起使用這兩種顏色特徵，將 RGB 特徵影像與 HSI 特徵影像進行相加，既能擁有完整的輪廓物件且能保存適當的印記細節，如圖 3-15，可提供後續形態處理步驟中進行影像形態學處理。



圖 3- 13RGB 特徵影像

圖 3- 14HSI 特徵影像

圖 3- 15 兩者相加之影像

## 3.2 形態處理

先將上一節獲得的相加之特徵影像，進行清除干擾線條與邊界物件後，可避免在進行形態切割時造成誤判，加快後續運算上的效率。再藉由物件過濾中的應用閉合運算(closing operation)來封閉曲線，以完成本章節之形態切割。

### 3.2.1 清除干擾線條

在獲得之融合特徵影像中，可能有傳統書畫中裱褙之捲軸邊緣，或是因捲軸類型的書畫容易潮濕、或汙漬的渲染影響畫面；另外傳統書畫影像中可能有分作上、下部分之畫面如圖 3-16，在此也透過兩個方向的遮罩進行垂直、及水平兩方向之直線偵測遮罩處理如圖 3-17。經由兩個不同方向之遮罩計算後，可得到垂直及水平的特徵。因此，可以統計垂直及水平方向之像素分佈圖，若存在直線之特徵，針對垂直及水向的座標進行加總，若 x 軸或 y 軸的座標上出現累加像素值大於影像一半以上之長或寬度，即判定該特徵即是干擾線條並進行移除。

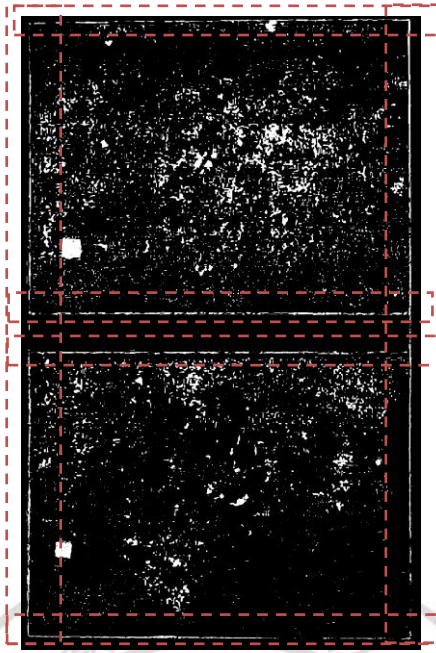


圖 3-16 直線干擾物件之影像

0	1	0
0	1	0
0	1	0

(a)垂直方向遮罩

0	0	0
1	1	1
0	0	0

(b)水平方向遮罩

圖 3-17 垂直及水平偵測遮罩

### 3.2.2 閉合運算

運用到形態學的閉合運算(closing operation)，將前述獲得之影像先進行膨脹(Dilation)的處理以擴大物件特徵的區塊，再使用侵蝕處理來縮小區塊，以符合原始物件的大小；可填補物件邊緣的缺口、平滑物件邊緣達到獲得完整特徵的目的。

本研究進行三次的膨脹，使影像中的物件相連之處膨脹及侵蝕來擴大物件的面積，藉此把不完整的印記物件做修補動作。使用過多次的膨脹運算，將會造成物件容易彼此相連，或是使得印記物件與雜訊進行融合；若使用小於二次以下的膨脹運算，其擴大區塊不大，也不容易達到運算的目的。因此經實驗測試採三次

的膨脹以及後續的侵蝕運算，可有效的將印記物件進行修補填充。圖 3-18(a)為二值特徵影像，經過膨脹處理可得出圖 3-18 (b)，其膨脹而變厚的部分為圖 3-18 (c) 所示。膨脹處理過後的影像，鄰近的物件將彼此連結達成物件的修補，減少印記物徵過於破碎的問題。



(a) 特徵影像

(b) 經 3 次膨脹處理

(c) 膨脹增加部分

圖 3-18 膨脹影像示意圖

經三次膨脹處理後，必須再進行三次侵蝕 (erosion)，將物件收縮回原本該物件應有的大小。針對圖 3-18 中經膨脹處理過的影像，再進行一至三次的侵蝕運算，其結果如圖 3-19(b)。由於不同大小的遮罩將會影響影像進行閉合的效果，如圖 3-20 中使用 3x3、5x5 以及 7x7 不同遮罩進行處理，遮罩大小愈大膨脹的範圍將會愈大，但也容易造成與鄰近物件過度連接的情形。透過閉合運算的影像再進一步使用封閉曲線，針對輪廓封閉的物件進行填滿，如圖 3-21，有利於後續步驟中物件區域的計算。經多次實驗由遮罩大小為 5x5 區塊(block)的效果最為顯著，因此本研究最後決定採用 5x5 為作為閉合之遮罩大小。最後將使用封閉曲線將物件進行填滿，以方便下一節中進行物件切割計算。





(a) 侵蝕 1 次



(b) 侵蝕 3 次

圖 3-19 經侵蝕運算的特徵影像



(a) 3x3 遮罩



(b) 5x5 遮罩



(c) 7x7 遮罩

圖 3-20 將篩選之物件影像做閉合



(a) 3x3 遮罩



(b) 5x5 遮罩



(c) 7x7 遮罩

圖 3-21 將不完整的物件進行填滿

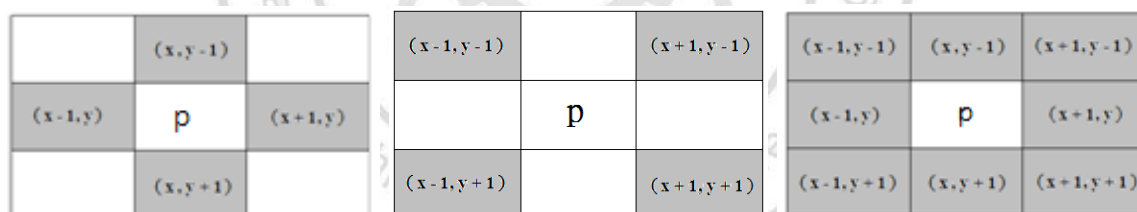


### 3.3 物件切割

物件切割階段必須將物件從特徵影像中分割出來，由於上述階段已完成形態之處理，在本階段中要針對每個物件進行連通成分之標記，並使用標記的座標進行矩形計算，得到每一個物件所佔的矩形外框範圍，估計物件佔外框之比值，進行最後之印記物件篩選的動作。

#### 3.3.1 標記連通成分

標記連通成分 (connected component) [38]可將影像中像素的周圍鄰近點以互相連結的方式來組成物件，其主要連結的方式與路徑之鄰接性有關，故標記連通成份的特點取決於所選擇鄰接的形式。最為常用的鄰接形式為4鄰接(4-adjacent)，如圖 3-22(a)，與8鄰接(8-adjacent)，如圖 3-22(c)。因此，利用這兩種的鄰接形式可將二值影像之像素群組化為物件，擁有物件群組後可再進一步去分析其形狀、大小與位置等。



(a)像素 p 的 4 近鄰                      (b)像素 p 的對角近鄰                      (c)像素 p 的 8 近鄰

圖 3- 22 標記連通成份之近鄰

當像素 p 之座標在  $(x, y)$  時，其上下左右各有兩個水平與垂直的近鄰，座標分別為  $(x, y - 1)$ 、 $(x, y + 1)$ 、 $(x - 1, y)$  與  $(x + 1, y)$ ，此為 p 的 4 近鄰(4-neighbors)如圖 3-22(a)；像素 p 的四個對角其近鄰座標為  $(x - 1, y - 1)$ 、 $(x + 1, y - 1)$ 、 $(x - 1, y + 1)$  與  $(x + 1, y + 1)$ ，如圖 3-22(b)；將像素 p 的 4 近鄰與對角近鄰進行作聯集，即為 p 的 8 近鄰(8-neighbors)，

如圖2-23(c)所示。

本研究可利用標記連通將特徵影像進行標記，利用 4 鄰接及 8 鄰接等連通特性，標識不同的標記  $f_i$ ，其中  $0 \leq i \leq n$ ， $n$  為連通物件之個數，每個標記將分別紀錄其連通像素的座標。將座標依照鄰接特性搜尋矩陣範圍至結束，將背景的標記像素標記為 0，輸出標記矩陣。而本方法為求完成計算所有物件各方向之連接關聯，採用 8 鄰接之特性進行標記。

### 3.3.2 物件矩形計算

經過前述步驟獲得的標記物件，每個物件標記  $f_i$  找尋該物件在 x 方向及 y 方向的最大及最小值， $x_{Max} = \max\{(x | L(x, y) = f_i, 0 \leq x \leq M-1, 0 \leq y \leq N-1)\}$

$$x_{Min} = \min\{(x | L(x, y) = f_i, 0 \leq x \leq M-1, 0 \leq y \leq N-1)\},$$

$$y_{Max} = \max\{(y | L(x, y) = f_i, 0 \leq x \leq M-1, 0 \leq y \leq N-1)\},$$

$$y_{Min} = \min\{(y | L(x, y) = f_i, 0 \leq x \leq M-1, 0 \leq y \leq N-1)\}。$$

並計算出該物件外框之寬度  $W_i$  與高度  $H_i$ ， $W_i = x_{\max}(i) - x_{\min}(i)$ ， $H_i = y_{\max}(i) - y_{\min}(i)$ 。可為每一物件計算出矩形面積  $area_i$ ，其中  $area_i = W_i \times H_i$ 。

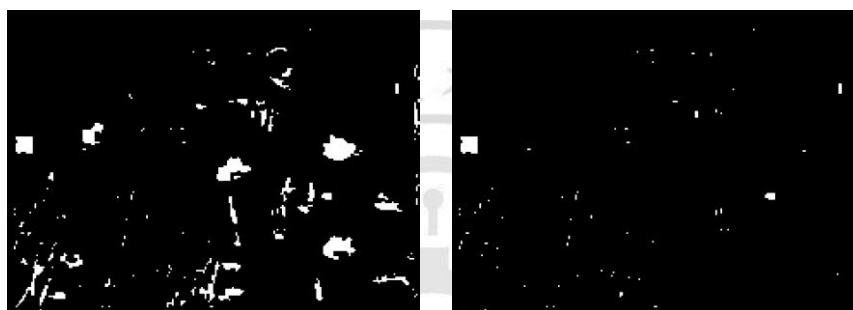


圖 3-23 計算物件矩形面積

### 3.3.3 物件篩選

針對連通物件進行矩形面積的計算，同時亦可計算實際物件像素佔該矩形面積的比例為多少。由於印章形狀大多為正方、長方形、圓及橢圓形狀；因此，若物件像素總數佔矩形面積的比例太小，即可認定該物件非為印記之形狀。

本研究將門檻值  $T$  設定於 0.8，物件像素的總數必須佔該矩形面積中的 80%，如圖 3-23 右邊兩個不規則物件其像素總數佔矩形面積比例小於 80%，即會被判斷為非印記之物件而被剔除。圖 3-24 中大部分非相關之物件皆從影像中被剔除。



(a)物件篩選前之影像 (b)物件篩選後之影像

圖 3-24 進行影像物件篩選

### 3.3.3 Canny 邊緣偵測判斷印記

進行物件篩選後的影像，仍存在印記物件誤判的可能性，如圖 3-25 所示。該物件具有紅色特徵且屬於矩形形狀，如畫面中之花朵物件，其物件大小又恰如印記之矩形形狀，故無法在上個步驟中進行剔除。因此，本研究得進一步使用 Canny 邊緣偵測法，針對每個物件進行邊緣之建構如圖 3-26。



圖 3-25 易誤判之非印記物件

經本研究實驗影像中測試歸納結果，可能有以下兩種不同的情況：(1)紅色物件且邊緣密度低(2)紅色物件且邊緣密度高。若該物件屬於印章印記圖像，則該物件中之像素將會平均分佈於九宮格中，則可判定為印記影像，如圖 3-26 (a)；若該物件之像素無平均分布密度，如圖 3-26(b)與 3-26 (c)，必須再進一步地進行計算。

將矩形圖像進行九宮格之切割，從九宮格中為每個區塊像素之個數進行統計，若九個區塊中，區塊中的邊緣像素的變異數達到 0.8，代表區塊之間邊緣像素差異相當大造成分佈不均，則判斷該物件非印記，如圖 3-20(b)，即剔除該物件。另外，針對九個區塊中之像素，再進行一次水平、垂直兩種遮罩進行運算如圖 3-17 之遮罩，統計其垂直與水平兩種特徵，若特徵之像素未達區塊之比例 80%，則判斷該物件非印記，即剔除該物件，如圖 3-26(c)。



圖 3-26 印記影像判斷

## 第四章 印記影像修復及檢索

本研究於第三章所提出印章印記擷取方法，可適當擷取出書畫影像中的印記影像。接著在本章所擷取的印記影像進行修復等後續工作，輸入影像為擷取出來的數枚印記影像，比起前一章節中的書畫影像，印記影像的背景較為單純，可直接使用上述章節使用過的相關技術。例如：Otsu 最適門檻值計算、影像形態學方法，去除印記影像中的背景、修補破損的印章、改善影像之品質。而針對修復完成的印記影像，可直接作為數位典藏的數位圖檔加以進行保存及研究。此外，本研究也針對印記影像透用不變矩的公式，計算出 7 個參數配合最小歐幾里德距離，以完成印記影像之檢索系統，期待未來數位典藏領域可加以圖像檢索的方式，提升原有關鍵字查詢之準確性及方便性。

### 4.1 影像修復

輸入前章節所擷取的各式印記影像中，其印章的雕刻也可能是陰刻或是陽刻，印記也可能是各式不同的形狀，如圓形、方形、矩形…等，如圖 4-1 所示。從不同類型的書畫作品中所擷取下來的印記影像，鈐印有各式不同的印章類型，可能是作者本身的身分證明，也可能是歷年來收藏家的收藏章，在畫作上的鑑定與保存都具有一定的效用。然而，在各式不同的印記影像中，印記的背景也不一定是單一的色彩，可能鈐印於在有顏色變化的色階背景上，或是剛好印壓在書畫作品中的某些前景中。因此，欲進行影像修復及檢索的後續步驟，必須先取得良好的印記影像前景與背景，將不同的各式背景色階進行去除。本研究將利用影像處理的相關技術，結合前一章節的相關技術，以達到取代人工進行的去背、補紅以及修復的動作。



(a) (b) (c) (d)

圖 4-1 各式不同的印記影像

#### 4.1.1 影像強化

圖 4-1(c)的印記影像為曹緯初先生在畫作完成時所鈐印上的印章，其印文的顏色與其它(a)、(b)、(d)較為深，可見各式印記在不同作品上的保存狀況都會不盡相同，皆影響到後續步驟的實驗結果。為了將針對不同類型的印記影像都能有一致的效果，因此必須將各式印記影像先進行影像正規化。本研究針對印記影像其紅色量值 R 的灰階影像，依公式 4-1 進行影像像素的強化，經過影像正規化的公式將不同的印記的紅色對比度拉開，達到影像強化的一致性。

$$O(x, y) = \left( \frac{p(x, y) - p_m}{p_M - p_m} \right) \times 255 \quad (4-1)$$

設彩色印記影像為 C，其中  $P_M$  與  $P_m$  分別為所有像素中最大值與最小值， $p(x, y)$  表示位置  $(x, y)$  處之像素值。 $O(x, y)$  表示經正規化後之像素值。正規化後得之影像 O，如圖 4-3，經公式計算之每點像素值皆會被更新為 0 至 255 之間，使影像之所有像素值皆能分佈在 0 至 255 之間。



圖 4-2 R 值灰階印記影像 圖 4-3 強化後之印記影像 圖 4-4 二值印記影像



依公式強化後的印記灰階影像，其印文與背景的颜色對比度較高，如圖 4-3，經影像正規化後的影像可提高後續進行影像去背時，利用二值化運算時可達到較明確的門檻值計算，使得進行影像去背時能擁有較好的效果。

#### 4.1.2 二值影像去背及補紅

獲得正規化的灰階印記影像後，為了達到影像去背的目的，本研究以影像二值化的技術作為去背的方式，主要採用 3.1.1 節中的 Otsu 最適門檻值技術，計算出灰階影像的最適門檻值  $T$ ，經正規化後的影像  $O$ ，其像素值為  $O(x,y)$ ，若  $O(x,y) \leq T$ ，則  $O(x,y)$  為 0；若  $O(x,y) > T$ ，則  $O(x,y)$  為 1。即可將灰階影像轉換為二值影像，如圖 4-4。設經二值化計算後的印記影像為  $B$ ，其像素為  $B(x,y)$ 。透過該影像分離出影像的背景與前景區域，即可進行影像去背以及補紅的動作，而印記影像進行去背及補紅的示意圖如圖 4-5。

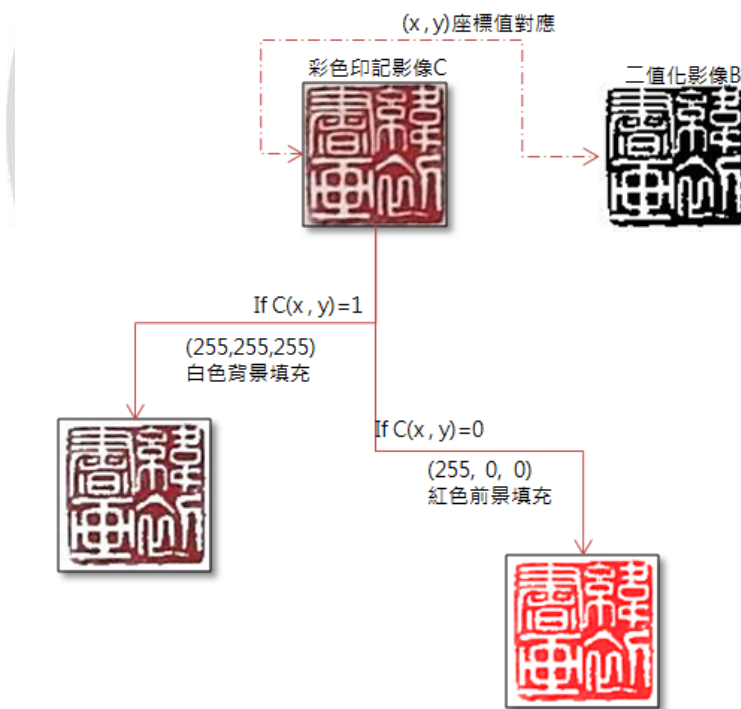


圖 4-5 印記去背補紅示意圖

進行影像去背時主要依二值印記影像的像素值作為判斷，判斷二值印記影像的每一座標該像素值是否為白色，若像素值為白色，即直接修改原始彩色影像中

同樣座標的像素值，將背景顏色的像素值設定為白色。即為該二值印記影像中的像素  $B(x,y)$  為 1，代表其座標  $(x,y)$  之像素值為白色的背景，因此可針對原始的彩色印記影像座標  $C(x,y)$  直接進行白色像素的填充設定為  $(255,255,255)$ ，即可進行白色背景的填充，如圖 4-6。若該二值印記影像中的像素  $B(x,y)$  為 0，代表該像素座標為前景的部分，則針對相同座標之彩色印記影像  $C(x,y)$  的像素值設定為  $(255,0,0)$ ，即可針對印記本身進行紅色的填充，如圖 4-7。



圖 4-6 印記影像去背



圖 4-7 印記影像補紅

#### 4.1.3 形態修補

彩色印記影像進行影像去背及補紅後，仍要針對破損的印記做進一步地改善。再次使用形態學處理中的閉合運算，藉由膨脹及侵蝕的動作，對二值印記影像連接起破損的印記邊緣，修補細小的缺口。由於所擷取的印記影像尺寸並不大，故在遮罩的使用選擇  $2 \times 2$  的遮罩，僅進行 1 次的膨脹及侵蝕以完成閉合的運算，如圖 4-8。形態修補的過程中，使用過大的遮罩以及過多次數的膨脹、侵蝕運算，將會使影像造成失真，或是令印記影像中的印文變成過度的模糊狀況。經閉合運算的印記影像可將印文的邊緣進行適度平滑，填補印文內與字與之間的斷點。



圖 4-8 執行閉合運算的印記影像

## 4.2 影像檢索

本研究前述針對書畫影像中印章之印記進行擷取，以及針對印文的部分進行適當的去背與修復的動作。透過影像處理方法達成數位典藏中需人工進行擷取與修補的工作。而針對印章印記進行典藏的數位典藏相關單位，皆建置了印記典藏



的相關資料庫，然而大量的典藏資料庫中印記數量相當多，且印記影像相似度高不容易去區別出印記之間的差異，甚至是印文內的篆刻文字也不容易進行辨識。而相關的印記典藏資料庫仍以關鍵字的方式，進行印記影像的檢索與查詢。本研究從印記的擷取與修補工作進行著手，若能兼以影像檢索技術去查詢其影像資料庫，提取出與原送出影像相同的印記影像，或是透過相似度找出相近的數筆印記影像資料，即可以提高數位典藏資料庫的便利性，提高使用者進行檢索的時效。

本研究利用影像處理中矩的特性，具備影像中旋轉、平移、縮放的不變性，以及擁有良好的抵抗雜訊干擾的能力。在各式的印記影像中，可能遇到鈴印在書畫中有些偏斜，或是在書畫中因保存上有雜訊的干擾，因此透過 7 個不變矩參數作為檢索的參考特徵，可以適當地實現印記影像的檢索工作。

#### 4.2.1 檢索流程

本研究利用第三章提出的印章印記擷取技術，為大量的書畫影像進行印章的擷取，並利用上一節所進行的影像修復的方式，將擷取出來的印記影像進行修正，本研究將擷取方法及修補加入檢索的前置流程中，提高印記影像檢索流程的完整性，整體印記影像檢索流程如圖 4-9 所示。

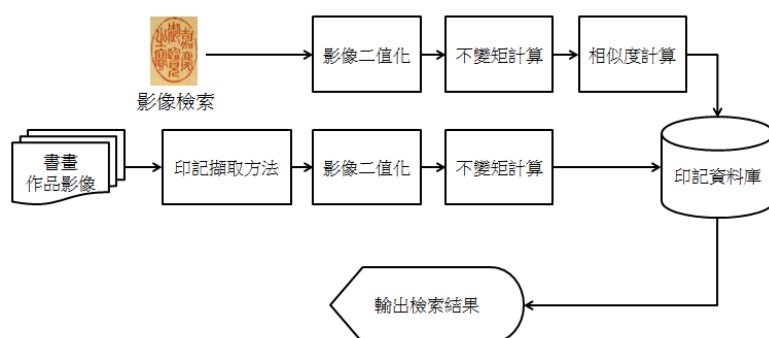


圖 4-9 印記影像檢索流程

使用本研究第三章及第四章所提出的印記擷取方法，將印記從書畫作品擷取出來另存於印記檔案資料庫，並逐一針對印記影像進行影像二值化以及不變矩的計算，每張印記影像可獲得 7 個檢索參數，並存於印記資料庫中供影像檢索之用。但由於從書畫作品中擷取數枚印記影像並進行二值化處理將消耗相當大的時間，

這個部分可在離線時先進行處理，僅需將擷取的印記影像及檢索的參數紀錄於印記的資料庫中即可。

當使用者輸入一張檢索影像進行查詢時，將檢索影像進行影像二值化處理，並同樣的進行不變矩的計算，可獲得檢索影像的 7 個檢索參數。依照輸入檢索影像 7 個檢索參數，進而向印記資料庫中所有的印記影像之檢索參數進行相似度的計算，依相似度由小到大排列，即可檢索出印記影像相似的序列。

#### 4.2.2 不變矩

影像處理技術中若要進行影像檢索工作時，可使用不同的影像特徵來作為檢索的依據，如依靠形狀、顏色、邊界等。其中，矩(Moment)在影像處理中是用來描述邊界或區域形狀的描述子[27]，被廣泛的應用於影像識別的領域當中。而不變矩(Invariant Moment)，則是由基本的矩衍生而來，不變矩的特性對於描述物件的縮放、平移以及旋轉具有不變性，可達到本研究對印記影像進行檢索的要求，也符合印記影像儲存於資料庫中的特性，僅需紀錄檢索參數及檔案位置即可。輸入的檢索印記影像E，一張影像可計算出一個矩的參數，其  $E(x, y)$  代表  $(x, y)$  像素值，本研究將使用2階的二維矩，來推導出7個二維的不變矩作為影像檢索的參數。

$E(x, y)$  的  $(p+q)$  階二維矩定義為  $m_{p,q} = \sum_x \sum_y x^p y^q E(x, y)$ ，其中，2階的二維

矩為  $p, q = 0, 1, 2, \dots$ 。  $E(x, y)$  對應的中心矩定義為： $\mu_{p,q} = \sum_x \sum_y (x - \bar{x})^p (y - \bar{y})^q E(x, y)$

階數為  $(p+q)$  的正規化中心矩定義為： $\eta_{p,q} = \frac{\mu_{p,q}}{\mu_{0,0}^\gamma}, \gamma = \frac{p+q}{2} + 1, p+q = 2, 3, \dots$

因此，可以透過以下定義的方程式推導出 7 個二維不變矩：

$$\phi_1 = \eta_{20} + \eta_{02}$$

$$\phi_2 = (\eta_{20} - \eta_{02})^2 + 4\eta_{11}^2$$

$$\phi_3 = (\eta_{30} - 3\eta_{12})^2 + (\eta_{21} - 3\eta_{03})^2$$

$$\phi_4 = (\eta_{30} + \eta_{12})^2 + (\eta_{21} + \eta_{03})^2$$

$$\phi_5 = (\eta_{30} - 3\eta_{12})(\eta_{30} + \eta_{12})[(\eta_{30} + 3\eta_{12})^2 - (3\eta_{21} + \eta_{03})^2] \\ + (3\eta_{21} - \eta_{03})(\eta_{21} + \eta_{03})[3(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - (\eta_{21} + \eta_{03})^2]$$

$$\phi_6 = (\eta_{20} + \eta_{02})[(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - (\eta_{21} + \eta_{03})^2] + 4\eta_{11}(\eta_{30} + \eta_{12})(\eta_{21} + \eta_{03})$$

$$\phi_7 = (3\eta_{21} - \eta_{03})(\eta_{30} + \eta_{12})[(\eta_{30} + 3\eta_{12})^2 - (3\eta_{21} + \eta_{03})^2] \\ + (3\eta_{21} - \eta_{03})(\eta_{21} + \eta_{03})[3(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - (\eta_{21} + \eta_{03})^2]$$

7 個不變矩的參數皆由 2 階的二維矩所推導得之， $\phi_1, \phi_2, \phi_3, \phi_4, \phi_5, \phi_6, \phi_7$  皆具有抵抗旋轉、縮放、雜訊的能力，一張印記檢索影像可計算出 7 個不變矩，供後續進行影像檢索時其相似度的計算。

#### 4.2.3 相似度計算

由上述公式可以得到 7 個不變矩  $\phi_1, \phi_2, \phi_3, \phi_4, \phi_5, \phi_6, \phi_7$ ，無論是輸入的印記檢索影像或是印記資料庫中所有保存的印記影像，都必須計算這 7 個不變矩並進行紀錄於資料庫當中。當輸入的印記檢索影像，欲跟印記資料庫中的所有影像進行查詢時，則針對所有影像進行歐幾里德距離(Euclidean distance)計算並平均，

$$D = \left( \sum_{i=1}^7 |\phi_i - \phi'_i|^2 \right)^{\frac{1}{2}}$$













圖 4-10 輸入檢索影像  $\phi'_i$

假設圖4-10為使用者輸入的檢索影像E，欲從印記資料庫如表4-1，查詢相似度較高的影像，則計算該輸入檢索影像的7個檢索參數分別為， $\phi'_1=0.166$ 、 $\phi'_2=3.809$ 、 $\phi'_3=4.575$ 、 $\phi'_4=5.251$ 、 $\phi'_5=-7.690$ 、 $\phi'_6=-9.862$ 、 $\phi'_7=2.669$ 。根據表4-1中印記影像

資料庫中，紀錄的所有的印記檢索資料(7個不變矩)進行歐幾里德距離平均距離  $D$  的計算，將  $D$  進行升幂排序後，即可得到相似的影像序列，詳細的檢索查詢評估實驗另於5.4中介紹。

表 4-1 印記影像資料庫範例

編號	印記影像	$\phi_1$	$\phi_2$	$\phi_3$	$\phi_4$	$\phi_5$	$\phi_6$	$\phi_7$
1		0.166	1.874	0	0	0	0	0
2		0.279	6.618	9.319	8.789	4.258	2.628	-6.718
3		0.166	0	0	0	0	0	0
4		0.166	9.276	2.424	9.736	-4.641	7.357	9.195

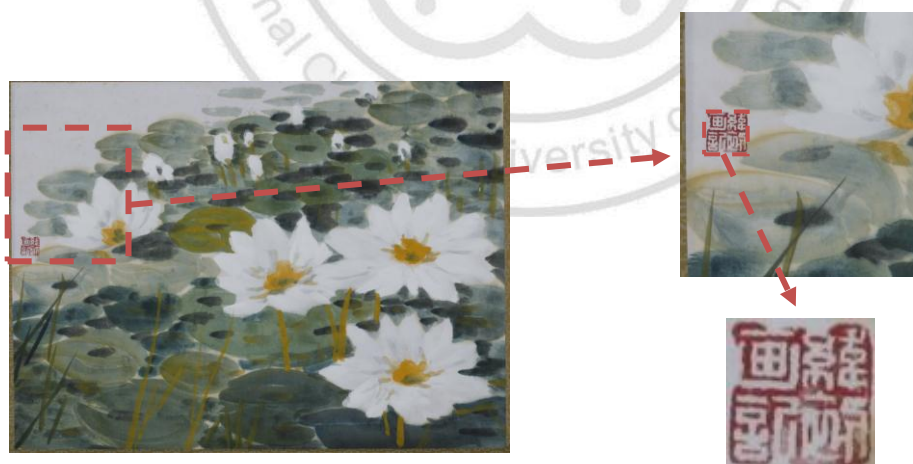
5		0.166	9.706	0	0	0	0	0
6		0.166	0	0	0	0	0	0
7		0.191	3.10	5.752	1.157	-2.484	1.970	1.656
8		0.172	0.001	1.965	1.368	-4.628	-1.781	5.383
9		0.166	0	0	0	0	0	0
10		0.191	3.104	5.752	1.157	-2.484	1.970	1.656

## 第五章 實驗結果與討論

為了驗證本研究所提出的方法於傳統書畫影像擷取的效能，將於本章進行擷取時間、擷取效能以及檢索時間比較。影像來源為「故宮藏畫精選」[13]中明清兩代的 94 張書畫影像、臺中市立屯區藝文中心曹緯初先生之年度特展作品的 30 張影像，共計 124 張影像。每張實驗影像皆超過 300dpi，並達千萬畫素以上。實驗環境為 Intel(R) Core(TM) CPU i3-330M 2.13 GHz 以及 Windows7 作業系統。實驗過程與結果使用 MATLAB 2008b(7.4.0)程式撰寫，測試本印記圖像擷取方法，檢驗具體成效與數據。

### 5.1 印記擷取技術評估

在印記切割技術評估中，主要在測試第三章中所提出「印章印記圖像擷取方法」，透過特徵擷取、形態處理、物件切割等之實驗流程，將輸出每張書畫影像中所有正確的印章印記圖像。如圖 5-1(a)中曹緯初先生的「荷」作品圖像，其印章鈐於左側中幅位置壓印於荷葉物件上，其裁切放大圖如 5-1(b)。透過本研究之方法可自動找尋出印章區塊，並依印記邊緣進行適當的裁切，如圖 5-1(c)。



(a)原始測試影像

(b)印記位置之局部裁切

(c)本方法自動裁切之印記圖像

圖 5-1 書畫影像「荷」的切割結果



圖 5-2(a)為清代宋駿業「林亭烟岫」的實驗影像，影像中擁有多枚印記圖像，背景顏色為飽和之淡紅色 在四周的邊緣有潮濕斑駁的痕跡，且印記容易與背景參雜在一起，不易透過單一門檻值進行切割。而透過本研究之方法可有效的切割出印記之位置，自動切割出圖 5-2(b)八枚印記所在區塊。



(a)原始測試影像

(b)本方法自動裁切之印記圖像

圖 5-2 書畫影像切割「林亭烟岫」結果

為了更進一步測試本研究之印記擷取方法，比較不同書畫影像中對印記擷取的影響性，依照顏色特徵為基礎，將背景顏色接近於白色或接近褐色，作為不同的兩個分類，以測試在不同顏色的書畫背景下，影響著擷取方法的效果差異，如圖 5-3 及圖 5-4。

第一類背景顏色近白色的 5 張書畫影像中，背景的色彩相當單一，印記的墨色不容易受背景所干擾，影像中其餘的紅色物件也不多，在進行印記判斷時較容易且正確率較高，印記擷取的成功率計算，將在 5.4 節效能評估與比較分析中再進行介紹。



圖 5-3 第一類書畫實驗影像(近白)

在第二類背景顏色接近褐色的 5 張影像中，背景的颜色有斑駁的情況，其背景的色階分佈不均一，印記的墨色容易受背景所干擾，尤其如圖 5-4(a)、(b)、(c) 三張影像。在圖 5-4(d)、(e) 影像中，該影像四周圍的部分容易受畫作本身保存的狀況，如潮濕、霉斑或拍攝時的光線角度等情況影響，印記容易受其它切割不完全的背景干擾，造成形態切割上的誤差。



影像 編號	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)
					

圖 5-4 第二類書畫實驗影像(近褐)

在此，本研究試圖與常見的彩色切割方法，顏色直方圖結合群聚分類法的彩色切割方法[28]進行比較，其方法是指定 ROI 區域計算區域中的顏色直方圖，透過直方圖的群數進行分類，並計算平均向量及共變異矩陣達到色彩的切割。該方法在實驗過程中僅能在背景單純的情況下進行切割，而且必須指定欲切割的 ROI 區塊，才可適當的分割；而在背景複雜的第二類影像中，易造成過度切割，並與背景混合成一大區塊的切割面積。無論在第一類影像及第二類影像中，顏色直方圖的群聚切割法皆無法達到在書畫影像中，進行數個印記影像擷取的要求，故無法進行與本方法切割擷取的比較。



圖 5-5 各種印記影像擷取結果 1



圖 5-6 各種印記影像擷取結果 2

在圖 5-5 與圖 5-6 為背景顏色近褐之書畫影像中所擷取出來的印記，圖 5-5 中的 5 張印記各有不同影像的前景不受物件干擾，本研究提出的擷取方法仍可有效的進行擷取。而在圖 5-6 中的 5 張影像，其顏色背景飽和、色階分佈複雜，至印記的墨色十分的淡化，經本研究之擷取方法仍可有效的進行擷取。

## 5.2 印記修復技術評估

在本節中將第四章中印記修復技術的結果進行檢視與評估。修復技術中使用影像二值化進行去背，再透過影像形態學的閉合運算進行修復，其結果如表 5-1 的(a)、(b)、(c)，而(d)類的影像列表為人工進行修補的影像，其時間效能的比較在 5.3 節中進行詳述。印記影像來源為圖 5-4(d)中擷取出來的所有印記影像，可以從表 5-1 的(c)類影像看到，使用二值化技術進行去除背景，能簡單有效的直接將背景進行過濾。

然而，本節進行印記修復技術的實驗，不能針對如圖 5-5 的 5 張印記影像，這 5 張其前景物件干擾方式不一的影像，難以透過統一的演算法進行物件干擾的剔除，在此不將該類影像列入修補技術的討論範圍。

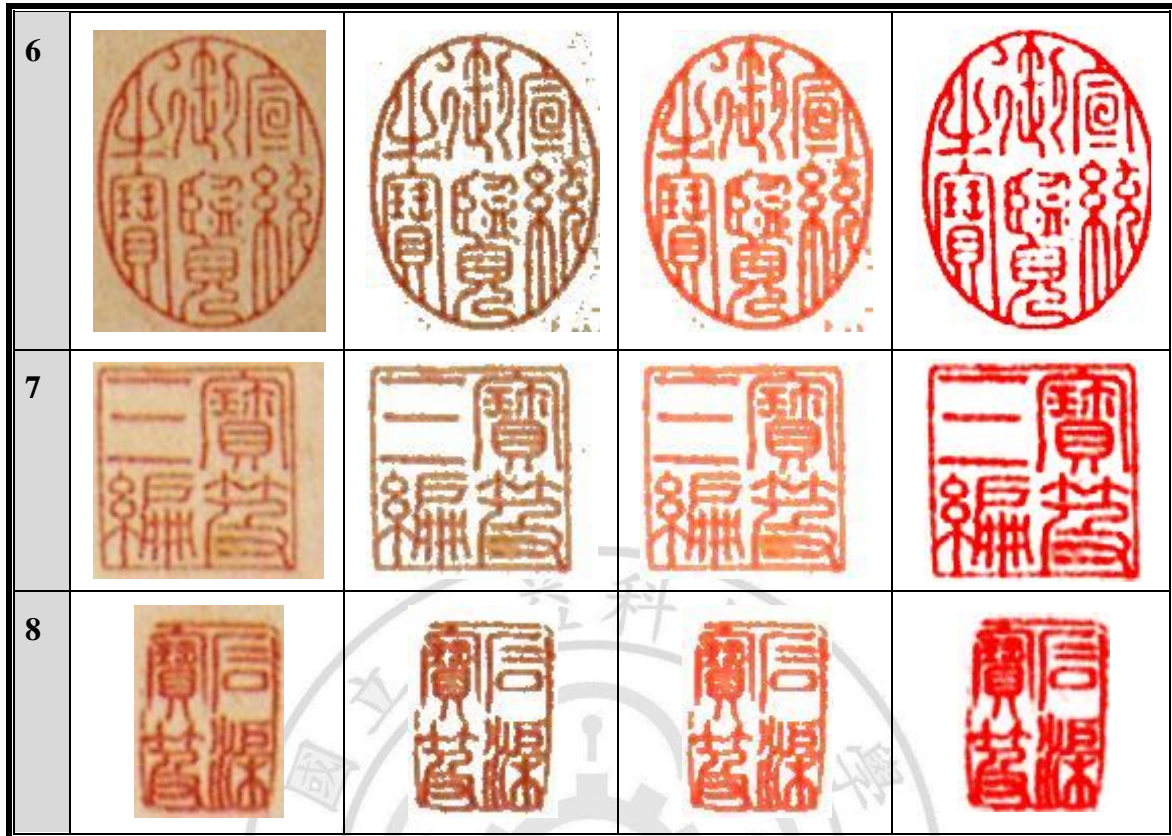
在表 5-1 之(b)類影像編號為 6 的影像中仍有少數背景雜訊，在研究中曾試圖使用中值濾波、影像形態學的斷開運算(opening)進行去除雜訊，但是，隨著印記影像大小的不同、雜訊量的不同以及印記破損的不同，貿然針對影像進行上述步驟皆會影響到結果。因此，本研究不將其它的中值濾波、斷開運算等雜訊過濾方式



加入第四章的影像修復技術中，以免影響其它印記影像整體的修復動作。

表 5-1 印記影像修復結果比較

編號	(a)裁切印記影像	(b)二值去背影像	(c)使用本方法進行修補影像	(d)使用人工進行修補之參考影像
1				
2				
3				
4				
5				



接著在表 5-1 之(c)類的修補影像裡使用了閉合運算進行修補，在影像編號 2、4 為陰刻的印文，在印文中仍有細小的缺口與破損的狀況。在實驗過程中也嘗試使用種子填充法、封閉曲線以及影像形態學進行處理，仍無法以最佳的狀況針對陰刻的印記進行修補。因此，從表 5-1(c)與(d)中可以比較出本研究提出之影像修補與使用人工進行修補仍有差距。為了進一步測量，不同印記影像之間修補的誤差率，本研究使用 RAE(relative foreground area error)[31]測量參考影像與切割影像的誤差比例，其計算方式如公式(5-1)。在 RAE 計算誤差比例中，主要來比較參考影像與實驗影像的面積，來顯示切割及修補的精確度。其中， $F_o$  表示參考影像中紅色印文內部像素值的區域， $F_t$  則為實驗影像紅色印文內部像素值的區域。RAE 誤差比例的值於 0 至 1 之間；0 表示實驗影像與參考影像印文的部分完全符合，若 RAE 的值愈小代表實驗影像中印文切割及修補的狀況精確度越好。

$$RAE = \begin{cases} \frac{F_o - F_T}{F_o} & \text{if } F_T < F_o \\ \frac{F_T - F_o}{F_T} & \text{if } F_T > F_o \end{cases} \quad (5-1)$$

表 5-2 印記影像修復之 RAE

編號	1	2	3	4	5	6	7	8
RAE	0.4202	0.4221	0.5195	0.2622	0.4282	0.1697	0.4247	0.4198

表 5-3 印記影像修復之 RAE 分類比較

	影像編號	本研究之 RAE 計算		影像編號	本研究之平均 RAE 計算
第一類書畫(近白)影像	1	0.1577	第二類書畫(近褐)影像	1	0.3049
	2	0.1483		2	0.2961
	3	0.1456		3	0.3912
	4	0.1022		4	0.3833
	5	0.0892		5	0.4314

表 5-2 為表 5-1 中 8 張印記影像進行 RAE 之計算。由表 5-2 中的 RAE 值可以得知，在 8 張印記影像中編號 6 的印記影像與參考影像修補精確度達 0.1697，但是其它影像 RAE 誤差仍偏高。而表 5-3 更進一步地將 5.1 節中的兩類背景不同的影像進行 RAE 的計算。從表 5-3 的 RAE 分類比較可以看出，第一類影像其 RAE 平均誤差值為 0.1286，而在第二類影像中 RAE 平均誤差值達 0.3613，由此可發現不同形態之背景，對印記修復的困難度也有顯著的影響。目前，本研究在影像去背上已達到基本的要求，欲提高印記修復的精確度，必須進行更進一步的提升印

記修補方式，思考如何設計修復印記的範圍與缺口，才可達到人工修復的要求。

### 5.3 時間評估與分析

本研究針對第一類顏色近白之影像及第二類顏色近褐之影像，進行擷取及修補處理時間的比較，每張影像尺寸皆達千萬畫素的典藏品質要求。然而，目前無其它印記切割方法可供比較，其它彩色切割之方法雖能進行顏色的分離，但達不到對個別印記進行擷取的要求。因此，僅針對人工進行擷取及修補的時間，與本研究方法之時間效率進行估計。在人工進行擷取的部分邀請一位曾擔任數位典藏工作之研究助理協助進行，計算時間以單次使用 Photoshop 針對書畫影像進行印記的裁切，並加以人工進行去背及修復，作為本研究方法與人工執行時間之對照。

表 5-4 印記進行擷取及修補處理時間比較

影像				方法	人工進行擷取及修補 (秒)	本研究方法 (秒)
種類	編號	尺寸	印記數量			
第一類書畫 (近白)影像	1	1267×2478	1	277	28.86	
	2	2567×5117	1	234	67.47	
	3	1162×2475	1	180	23.85	
	4	1923×1418	1	319	22.13	
	5	2544×2356	1	224	19.41	
(近褐)影像 第二類書畫	1	2004×4120	6	22mins	115.32	
	2	2979×4100	2	10mins	148.77	
	3	2085×3756	10	41mins	66.84	

	4	1695x3977	8	16mins	57.77
	5	1622x3955	12	24mins	104.52

在表 5-4 中，第一類影像印記數量較少，本研究方法提出的方法平均耗時為 32.34 秒。而在人工進行的方面平均耗時 246.8 秒，處理一張影像中的印記即需耗費 4 分鐘的時間。而在第二類影像中，印記數量多且背景色與印記較難以分離。本研究方法針對第二類書畫影像進行擷取，其平均耗時為 98.64 秒；而在人工進行處理的時間平均耗時為 22.6 分鐘。

由此可知，藉由人工進行印記的擷取及修復相當地耗時，若同一張影像印記數量愈多，需要消耗的時間就更多；若背景的色彩不連續，在進行人工擷取及修補就更加的困難，如影像編號 3 的影像擁有 10 枚的印記，而且印記的顏色較淡，背景的狀況比起第一類影像中相對的複雜，最後總耗時為 41 分鐘才完成該影像的工作。因此，由表 5-4 中處理時間比較可以得知，針對大量的書畫典藏作品進行擷取及修復，隨著數量及印記的增加，其數位化保存之工作的時程也會延長，增加其典藏工作的困難性。

#### 5.4 效能評估比較與分析

在本節計算本研究所提出的印記擷取方法之正確率，實驗使用 124 張實驗影像進行測試。其中，影響擷取正確率的主要因素來自於每張書畫影像的保存品質，以及書畫影像中前景與背景的複雜性而定。若實驗影像是屬於年代久遠的書畫影像，其影像品質相對的較差，印記顏色較淡。因此，本實驗將 124 張實驗影像中依原作品的年代作為類別的區分，共分作近代(1912-2012)、清代(1636-1912)、明代(1368-1662)，以顯示不同保存狀況之作品在擷取方法上的差異性。近代的書畫實驗影像是以已故書畫教育家曹緯初先生，於屯區藝術中心展覽之 30 張書畫影像



作品為代表；清代及明代之實驗影像則是來自「故宮藏畫精選」。

此外，影像中前景及背景的物件多寡也影響著實驗結果的計算。本研究藉由 3.3.1 所紀錄之標記  $f_i$ ，統計出每張影像中進行去背以及形態處理後，仍有  $i$  個物件個數。當物件的個數  $i$  大於所有影像的平均數  $i^-$ ，則簡單判定其為干擾物件少。若物件個數  $i$  大於所有影像中的平均數  $i^-$  則判定為干擾物件多。然而此方法並不能完全精確地判定，可能仍有其它例外狀況如該張影像中印記過多、整體的紅色特徵大於其它平均…等，仍可能有其它實際情況造成誤差，僅作為實驗過程中實驗影像類別判斷的依據。

表 5-5 印記影像擷取正確率之比較

項目 \ 類別	近代(30 張)		清代(37 張)		明代(57 張)	
	少(25 張)	多(5 張)	少(25 張)	多(12 張)	少(40 張)	多(17 張)
干擾物件	少(25 張)	多(5 張)	少(25 張)	多(12 張)	少(40 張)	多(17 張)
印記數目	35	9	262	91	463	221
正確數目	35	8	207	70	320	146
失敗數目	0	1	55	21	143	75
正確率 (True Rate)	100%	88.89%	79.01%	76.92%	69.11%	66.06%

表 5-5 顯示印記影像擷取正確率的比較，近代類別的 30 張實驗影像，干擾物件少的影像佔 25 張，其擷取正確率達 100%；干擾物件多的影像佔 5 張，其擷取正確率為 88.89%。由此可以計算近代 30 張影像中擷取正確率平均達 97.73%。

清代類別的實驗影像為 37 張，干擾物件少的影像為 25 張，其擷取正確率為 79.01%；干擾物件多的 12 張影像，其擷取正確率略降到 76.92%，故整體清代類別的擷取正確率平均為 78.47%。近代與清代的兩種屬性的實驗平均正確率差距高達 19.26%，可見書畫影像品質的差異佔了相當大的因素。



更進一步地計算明代類別的 57 張影像，干擾物件少的 40 張影像其擷取正確率減少為 69.11%，干擾物件多的 17 張影像擷取正確率僅剩 66.06%，明代類別的擷取正確率平均為 68.12%。而中國明朝距今 600 多年的歷史，其明代的畫書作品年齡上十分的久遠，影像品質及印記墨色皆受到嚴重的影響，本研究方法仍能維持近七成的擷取辨識率。

在 2009 年中國大陸鮑泓等學者[23]提出一種自動提取中國書畫作品印章圖像方法，使用 RGB 色彩空間轉換 XYZ 色彩空間，再轉換至 Lab 色彩空間，使用 L、a 兩種分量進行紅色特徵之提取。再進一步對整張影像進行邊緣偵測，設定門檻剔除密度過大或過小之物件，該方法設立 12 個參數以完成印章提取工作。該研究並以式(5-2)進行印章提取率(E)計算，其中  $S_m$  為提取成功次數， $F_n$  為提取失敗次數，最後實驗結果中，將 150 張影像分作 3 組，每組 50 張，最後得到之提取率(E)達 80%。

$$E = S_m / (S_m + F_n) \times 100\% \quad (5-2)$$

本研究使用不同的實驗影像共計 124 張，將影像依年代進行三組的分類，每組分類又可依干擾物件多寡進行區分。而實驗結果依該文獻中所定義之提取率計算方式(5-1)，本研究提議之印記擷取方法整體平均值雖為 72.71%，但是實驗影像並無一致，該研究也無公開其實驗影像的內容，無法在同一個立基點進行比較。而影像品質及干擾物件的多寡皆會嚴重影響成功率之計算，無法只透過平均之擷取成功率來進行比較。若是實驗影像仍用近代類別之書畫影像進行測試，其成功率可達 97.73%，在使用近代與清代兩種書畫類別之影像其成功率也達 80.6%

在量化的比較上無法完全的統一，為進一步進行擷取方法的比較，將針對各項質性的項目比較，表 5-6 列出直方圖聚類切割法[28]、鮑泓等學者[23]以及本研究方法之評估比較。在特徵值的使用上，本研究採用雙重顏色特徵以及形狀特徵協助判定，而其它方法僅用顏色特徵進行設計，顏色特徵較容易受干擾影響。在

切割速度項目上無法以實際相同標準量化。門檻值設定數量的項目中，文獻[28]使用平均向量及共變異矩陣進行門檻設定，而文獻[23]使用了12個門檻參數需半自動進行調整，本研究僅使用6個固定之門檻參數來完成印記擷取(RGB、HSI特徵門檻值、形態學執行3次數、0.8矩形比例、80%、20%的印記邊緣判定)。此外，本研究也增加邊界線條及干擾的例外處理，以及印記影像修復的功能，遇到不同書畫類型之影像可擷取性較強，在各種方法中其完整性較高。

表 5-6 切割方法評估比較

方法	直方圖聚類 切割法[28]	鮑泓等學者 [23]	本研究方法
影像編號			
特徵值	顏色特徵	顏色特徵 及紋理特徵判別	雙顏色特徵 及形狀特徵判別
能否進行印記擷取	僅能區域性 進行門檻切割	可	可
使用門檻值數量	2	12	6
例外處理	無	無	邊界線條清除
其它功能	無	無	印記修復











## 5.5 影像檢索時間評估與分析

在本節實驗印記資料庫中使用了700張的印記影像作為檢索樣本。並計算7個不變矩的檢索參數儲存在資料庫，提供檢索的過程使用。本研究使用表5-1(a)之8張裁切印記影像，進行檢索時間測試。本研究單次輸入一張印記影像進行檢索查詢，僅花費平均0.85秒的時間，即可查詢700張資料庫中的檢索參數，以完成一次影像檢索的動作。

而在影像檢索評估再使用表4-1的印記影像資料庫作為範例。其中，輸入影像

的原型應為編號 2 的印章，其裁切下來的圖 4-9 印記影像擁有稍微偏斜的角度。但是，在查詢結果的序列第 1 位卻是比例放大且方正的印記影像，如表 5-7；序列 3 也為同一款印章之印記，擁有較方正的印記影像，且誤差僅在 0.00005。因此，可以得知使用 7 個不變矩的方式計算，可得到相近的印記影像檢索結果，印記的旋轉、縮放並不會影響檢索的結果，檢索時間相當地快速且有效，依照歐幾里德距離的值愈小，代表與原始輸入的檢索影像愈相近，可依使用者需求輸出需要的相近序列張數，作為一種有效的影像檢索方式。

表 5-7 印記影像查詢結果

相似序列	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
輸出影像										
歐幾里德距離	0.00029	0.00032	0.00037	0.00037	0.00038	0.00047	0.00597	0.02478	0.02478	0.11304

## 第六章 結論及未來展望

本研究主要提出傳統書畫中印記圖像的擷取方法，以及印記影像修補技術於本論文中。第一個提出的印章印記擷取方法，透過 RGB 及 HSI 兩種色彩空間進行雙顏色特徵的擷取，並透過門檻值的篩選達到進一步特徵的強化，使得印記物件更容易被識別。另透過形態處理與快速的物件切割計算，利用物件形態的判定以及矩形物件的切割計算，達到高效的自動化印記切割的技術，且兼顧擷取正確率以及時效性，在各式不同類別的實驗影像中皆有不錯的擷取效果。第二個提出的方法為印記影像的修復，其過程包括影像的去背、補紅以及形態修補的處理。透過數種影像處理技術的結合，達成影像的二值化去背、紅色印文的彩度以及破損缺口的修補，致力於協助數位典藏進行數位化保存工作，希望能減低目前人工處理印記擷取及修復的時間成本。

### 6.1 結論

台灣近年來推動數位典藏之數位化保存之相關工作，其中在傳統書畫作品進行數位化保存工作時，在影像後製時耗費大量的人力與時間，以「人工」的方式對書畫作品上的印記進行手動裁切，並逐一透過影像軟體去除背景及修補印記影像。若能自動地從書畫作品中將印章印記識別出來並加以去背、修補破損的印章圖像，則可大大加快數位化保存工作流程的效率與時間。而印章印記擷取的相關研究，大多集中在銀行票據及公章的使用上，從書畫作品中擷取印章的研究鮮少學者提及。

本研究基於數位典藏領域之「技術開發與創新」需求，提出一套高效率且高精準性的「印章印記圖像擷取方法」，自動且精確地擷取印章特徵，並確立印章印記圖像的所在區塊，針對切割之印記圖像進行影像去背以及印記之修補動作。經各項實驗測試，不僅可以適用大部分各式不同類型之書畫作品，並且簡化繁複的

運算處理時間，維持大量擷取圖像之時效性。本研究方法比起其它研究方法完整度較高、適用性強，並提供書畫影像分類的參考依據，以及影像修復改善的參考依據。在影像品質高且背景單純下的擷取成功率達百分之百，綜合近代及清代的實驗影像其擷取成功率也可達八成以上。此外，更提議一印記檢索的方法作為印章印記研究的創新流程，提供在典藏系統開發的議題能有多元的發展，希望本研究之成果，能協助國內進行數位典藏相關數位化工作時，得以更加彰顯與落實。

## 6.2 未來研究

在本文所提及之技術經實驗結果大抵皆能有效進行印記影像的擷取、修復以及進行影像檢索，然猶未逮之處，期待在未來的研究當中，可以再朝以下幾個方向發展，以進一步提高擷取的正確率與更多印章印記之相關應用：

1. 降低程式之時間複雜度：數位典藏中進行數位化保存工作，皆會大量地為珍貴作品進行典藏，故在設計方法中必須考慮程式的複雜度與執行所需時間，為求提高擷取正確率的同時，仍要兼顧未來設計其網路應用程式之**可行性與效率**。
2. 進行門檻參數設計的最佳化：在本研究設立的 6 個參數中，部分參數的大小將顯著地影響著擷取正確率。由於不同類型的書畫影像其背景、物件、前景皆不同，需考慮的門檻參數變動相當大，可再考慮是否透過**主動性學習**的演算法，為各式不同的書畫影像進行最佳參數的主動學習調整。
3. 影像修復的精確度提升：影像修復的過程在實驗中誤差率仍較大，其修復的程度需**納入專家們的意見**，將各式影像破損狀況進行分類，找出其對應的修補方式，才能在印記影像修復的精確性達到更高水平的標準。
4. 影像檢索技術的相似度評估：在進行影像檢索中若遭遇到上千、上萬筆的資料，使用單一的歐幾里德距離評估，容易造成七個不變矩參數的平均誤差。必須針對印記影像的狀況，**採取不同的評估計算**以及七個不變矩以外的特徵參數，以達到更精準的印記影像檢索系統。

## 參考文獻

- 【1】 孔健、唐毅，2002，”印章提取在票据自动处理中的应用研究”，微型電腦應用，第 18 卷第 8 期，頁 13-15。
- 【2】 李俊、杨新、王崢、施鹏飞，2001，”基于对称 Hough 变换的印章倾斜校正方法”，模式识别与人工智能，第 14 卷第 1 期，頁 95-98，3 月。
- 【3】 吴新榮，2009，”印章在中國畫中的作用”，艺术教育，3：79-80。
- 【4】 马丽霞、朱秋萍，2004，”图像处理技术在印章识别预处理中的应用”，武汉大学学报·信息科学版，第 29 卷第 8 期，頁 691-693，8 月。
- 【5】 倪琦、王新赛、李坚、李明明，2008，”基于梯度分割和特征匹配的印章识别算法研究”，计算机工程与设计，第 29 卷第 20 期，頁 5400-5402，10 月。
- 【6】 孙红岩、田树学、张学东，2010，”基于 HSI 空间和纹理的频谱度量印鉴识别”，沈阳师范大学学科(自然科学版)，第 28 卷第 2 期，頁 221-224，4 月。
- 【7】 國立故宮博物院書畫處一款識印記資料庫，檢索日期：2012 年 5 月，  
<http://ndweb.iis.sinica.edu.tw/npmseal/index.jsp>.
- 【8】 國史館館藏文物查詢服務系統，檢索日期：2012 年 5 月，  
<http://weba.drnh.gov.tw/index.jspx>.
- 【9】 张玲、磊民、何伟、丽敏，2005，”鉴印系统中印章的提取与修复”，重庆大学学报·自然科学版，第 28 卷第 3 期，頁 84-87，4 月。
- 【10】 张玲、张永军、何伟、郭磊民，2006，”鉴印系统中印章几何参数的计算”，信息与电子工程，第 4 卷第 3 期，頁 196-200，6 月。
- 【11】 张粟、刘瑞芹、张凤元，2008，”印鉴识别中印章的提取和修复问题研究”，中国科技信息，第 17 期，頁 124-126。

- 【12】 张晓东、陈锋、杜凯，2004，”一种印章图像的自适应特征提取算法”，哈尔滨工业大学学报，第 36 卷第 8 期，頁 1065-1067，8 月。
- 【13】 張樹柏，1991，故宮藏畫精選，讀者文摘出版社，香港。
- 【14】 傅斯年圖書館-印記資料庫系統，檢索日期：2012 年 5 月，  
<http://ndweb.iis.sinica.edu.tw/sealdb/System/Assort.jsp>.
- 【15】 褚如君、陳秀華、高芷彤，2010，印章印記數位化工作流程指南，數位典藏拓展臺灣數位典藏計畫，台北。
- 【16】 赵永涛、李志敏、王洪建、陈志云、王林，2004，”印章识别中的图像预处理研究”，仪器仪表学报，第 24 卷第 4 期，頁 401-410，8 月。
- 【17】 劉一聞，1993，中國印章鑑賞，南天書局，台北。
- 【18】 數位典藏與學習國際會議，《徵稿啟事》徵稿主題，檢索日期：2011 年 12 月 31 日，[http://collab.teldap.tw/teldap2012/Abstract-Submission\\_tw.html](http://collab.teldap.tw/teldap2012/Abstract-Submission_tw.html).
- 【19】 數位典藏國家型科技計畫，《公開徵選計畫》徵求公告，檢索日期：2011 年 12 月 31 日，[http://teldap.tw/Proposal/proposal\\_02.php](http://teldap.tw/Proposal/proposal_02.php).
- 【20】 數位典藏國家型科技計畫，《數位典藏國家型科技計畫》計畫緣起，檢索日期：2011 年 12 月 31 日，<http://teldap.tw/Introduction/introduction.php>.
- 【21】 數位典藏與學習國際會議，《徵稿啟事》徵稿主題，檢索日期：2011 年 12 月 31 日，[http://collab.teldap.tw/teldap2012/Abstract-Submission\\_tw.html](http://collab.teldap.tw/teldap2012/Abstract-Submission_tw.html).
- 【22】 歷史博物館數位典藏成果體驗網，檢索日期：2012 年 5 月，  
[http://digital.nmh.gov.tw/ndap/2\\_c\\_3\\_2.aspx?oid=8&keyword](http://digital.nmh.gov.tw/ndap/2_c_3_2.aspx?oid=8&keyword).
- 【23】 鮑泓、姜海涛，2009，”一种自动提取中国书画作品中印章图像的方法”，计算机科学，第 36 卷第 3 期，頁 250-253，3 月。
- 【24】 Canny J., “A Computational Approach to Edge Detection,” IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 8, Issue 6, pp.

679-698, 1986.

- 【25】 Davies, E., Machine vision: theory, algorithms and practicalities, Academic Press, 1990.
- 【26】 Gonzalez R. F. and Wintz P., Digital image processing, 3rd Editor, Addison-Wesley, 1992.
- 【27】 Gonzalez R. F. and Woods R., Digital image processing, Prentice- Hall, 2002.
- 【28】 Kehtarna N., Monaco, Nimschek J. and Weeks A., “Color Image Segmentation Using Multi-scale Clustering,” IEEE Image Analysis and Interpretation, pp. 142-147, 1998.
- 【29】 Otsu N., “A threshold selection method from gray-level histograms,” IEEE Trans. System Man Cybernetics, vol. 9, No. 1, pp. 62-69, 1979.
- 【30】 Rafael C. Gonzalez , Richard E . Woods , and Steven L. Eddins, Digital image processing using MATLAB, Prentice- Hall, 2005.
- 【31】 Sezgin, M., Sankur, B., “Survey over image thresholding techniques and quantitative performance evaluation”, Journal of Electronic Imaging 13(1), pp.146-165, 2004.
- 【32】 Smith J. R., Chang S.F., Automated Binary Texture Feature Sets for Image Retrieval, Columbia University Department of Electrical Engineering , 2005.
- 【33】 Trahanias P. E., Venetsanopoulos A. N., “Vector Order Statistics Operators as Color Edge Detectors,” IEEE Trans. on Systems, Man, and Cybernetics, vol. 26, no. 1, , pp. 135-143, Feb. 1996.
- 【34】 Uchiyama T., Arbib M. A., “Color Image Segmentation Using Competitive Learning,” IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 16, no. 12, pp. 1197-1206, Dec. 1994.