

國立交通大學

資訊科學與工程研究所

碩士論文

鉛筆素描筆觸與畫紙紋路效應之自動合成



Automatic Generation of Pencil Sketching with the
Effects of Paper Texture

研究生：陳紀丞

指導教授：林正中 博士

中華民國九十五年六月

鉛筆素描筆觸與畫紙紋路效應之自動合成
Automatic Generation of Pencil Sketching with the
effects of paper texture

研究生：陳紀丞

Student：Chi-Cheng Chen

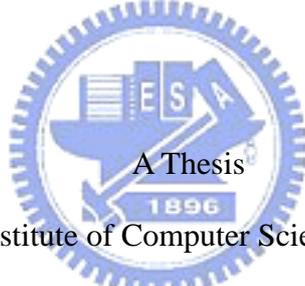
指導教授：林正中

Advisor：Cheng-Chung Lin

國立交通大學

資訊科學與工程研究所

碩士論文



Submitted to Institute of Computer Science and Engineering

College of Computer Science

National Chiao Tung University

in partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master

in

Computer Science

June 2006

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國九十五年六月

鉛筆素描筆觸與畫紙紋路效應 之自動合成

學生：陳紀丞

指導教授：林正中 副教授

國立交通大學資訊科學與工程學系碩士班

摘要



本篇論文研究目的在於自動化產生鉛筆素描筆觸效果圖，同時結合畫紙材質使產生之效應具有如繪圖紙面作畫的真實感，並減少人為參數的介入，讓使用者能更簡易的使用並且短時間得到效果滿意之鉛筆素描圖。本篇論文採用的方法概略分為五個階段。第一階段：根據灰階亮度曲線分層。第二階段：將輪廓偵測的結果以較暗的筆觸顯示並予強化效果。第三階段：根據分層的結果產生方向互異之筆觸。第四階段：將輪廓強化的效果圖與分層素描筆觸效果圖合成。第五階段：結合繪圖紙面紋路的效果並與輪廓偵測圖合成，構成一張具有鉛筆素描風格的圖片輸出。

此論文提出之優點在於改良一般市面商用繪圖軟體筆觸方向之單調性，讓產生之鉛筆素描圖具有如繪圖紙張般的凹凸紙面質感，並且省去了人工參數的設定。在經過各式各樣的圖片測試之後，與市面繪圖軟體和相關論文產生之結果的比較，其結果是可以讓人有更滿意的效果表現。

Automatic Generation of Pencil Sketching with the Effects of Paper Texture

Student : Chi-Cheng Chen

Advisor : Cheng-Chung Lin

Institute of Computer Science and Engineering

National Chiao Tung University



The thesis presents an approach to the automatic generation of pencil sketching with the effects of paper texture. The system, implemented in C++ and requiring only filename, height and width of the grey-level image as input parameters, shows visually satisfactory sketching when tested against images with a wide range of contents and subjects. When compared with other research works and Photoshop on a set of benchmarks, the system demonstrates its strength in the aspects of full automation (no user intervention required) , stability of sketching quality and higher visual satisfaction, all achieved in a considerably shorter time.

Technically the processes with the system deal with the following issues:

- (1) Histogram-based image subdivision into 4 layers (bright, grey, darker, darkest)

- (2) Revised LIC for pencil strokes synthesis on each layer, except for the bright layer.
- (3) Center-Off filtering for silhouettes generation.
- (4) Silhouettes enhancement.
- (5) Fusion of sketching strokes in different layers, silhouettes and enhanced parts, and paper texture.

Which thus leads to the final outcomes.



目錄

中文摘要	i
英文摘要	ii
目錄	iv
使用圖表	v
第一章 簡介	1
第二章 相關研究	4
第三章 處理方法	10
3.1 依亮度分佈曲線改良式分層	13
3.2 改良式 LIC 鉛筆式素描演算法	15
3.3 輪廓擷取	17
3.4 輪廓結構強化圖	18
3.5 組合所需圖層及套用紙張材質、輪廓圖	19
第四章 實驗結果	22
4.1 結果圖	22
4.2 結果與效能分析	64
第五章 結論	65
參考文獻	66

使用圖表

圖 1-1：國父肖像圖經 PHOTOSHOP 鉛筆素描濾鏡處理過後	2
圖 1-2：(A) 斜線筆觸 (B) 交叉筆觸	3
圖 1-3：素描圖—少女半身像，作者拉斐爾 (Raphael Santi)	3
圖 2-1：文獻[9]中 LIC 演算法的範例圖	4
圖 2-2：(A) 文獻[9]的範例圖 (B) 文獻[9]的結果	5
圖 2-3：(A) 原圖 (B) 雜訊圖 (C) 影像切割結果 (D) 輪廓偵測 (E) 向量圖 (F) 套用 LIC 結果 (G) 合成輪廓 (H) 紙張材質 (I) 最後結果，取自文獻[4]	6
圖 2-4：(A) 原圖 (B) 最亮層 (C) 次暗層 (D) 最暗層 (E) 次暗層套用 LIC 演算法的素描結果 (F) 最暗層套用 LIC 演算法的素描結果 (G) 輪廓偵測 (H) 最後結果	7
圖 2-5：文獻[10] 彩色圖像之素描呈現處理流程圖	8
圖 2-6：文獻[11] 彩色圖像之素描呈現處理流程圖	9
圖 3-1：彩色圖像之鉛筆素描法處理流程	10
圖 3-2：圖像之素描呈現處理流程：(A) 灰階圖 (B) 輪廓結構圖 (C) 最暗層 (D) 次暗層 (E) 灰層 (F) 輪廓結構強化圖 (G) 最暗層使用 LIC 素描法的結果 (H) 次暗層使用 LIC 素描法的結果 (I) 灰層使用 LIC 素描法的結果 (J) 合成圖 (K) 引進紙張材質效果圖 (L) 數位化紙張材質 (M) 最終結果	11
圖 3-3：(A) 文獻[5]中範例圖的灰階圖	12
圖 3-3：(B) 上圖的亮度分佈曲線	13
圖 3-4：(A) 暗層 (B) 灰層	13
圖 3-4：(C) 最暗層 (D) 次暗層	14
圖 3-5：(A) 最暗層亮度特徵著色 (B) 次暗層亮度特徵著色 (C) 灰層亮度特徵著色	15
圖 3-6：(A) Center-Off 演算法的結果 (B) 左圖在套用 LIC 素描法之結果	16
圖 3-7：(A) 圖 3-6 (B) 經亮度強化的輪廓圖 (B) 輪廓結構強化圖	17
圖 3-8：最暗層素描圖、次暗層素描圖、灰層素描圖與輪廓結構強化圖組合後結果	19
圖 3-9：(A) 圖 3-8 結合輪廓圖之結果	20
圖 3-9：(B) 套用紙張材質後再加入輪廓的結果 (C) 輪廓加入後再經過紙張材質處理	21
圖 3-10：(A) 文獻[11]的結果 (B) 文獻[5]的結果	21
圖 4-1：國父肖像圖	22
圖 4-2：(A) 最暗層素描筆觸 (B) 次暗層素描筆觸 (C) 灰層素描筆觸 (D) 輪廓結構(Center-Off+LIC) 處理 (E) 輪廓結構強化圖 (F) 組合以上 (A)、(B)、(C)、(E) 四層的結果	23
圖 4-3：(A) 圖 4-1 最後素描結果 (B) 文獻[11]中的結果	24

圖 4-4 : (A) 文獻[10]中範例 (B) 最後結果 (C) 文獻[10]中的結果 (D) 文獻[11]中的結果.....	25
圖 4-4 : (E) Photoshop 處理的結果.....	26
圖 4-5 : (A) 文獻[10]中範例 (B) 最後結果 (C) 文獻[10]中的結果 (D) 文獻[11]中的結果.....	27
圖 4-5 : (E) Photoshop 處理的結果.....	28
圖 4-6 : (A) 文獻[10]的範例 (B) 最後結果 (C) 文獻[10]中的結果 (D) 文獻[11]中的結果.....	29
圖 4-6 : (E) Photoshop 處理的結果.....	30
圖 4-7 : (A) 文獻[4]的範例 (B) 最後結果 (C) 文獻[4]的結果.....	31
圖 4-7 : (D) 文獻[11]的結果 (E) Photoshop 處理的結果	32
圖 4-8 : (A) 文獻[5]的範例 (B) 最後結果 (C) 文獻[5]的結果.....	33
圖 4-8 : (D) 文獻[11]的結果 (E) Photoshop 處理的結果	34
圖 4-9 : (A) 文獻[4]的範例 (B) 最後結果 (C) 文獻[4]的結果.....	35
圖 4-9 : (D) 文獻[11]的結果 (E) Photoshop 處理的結果	36
圖 4-10 : (A) 文獻[4]的範例 (B) 最後結果 (C) 文獻[4]的結果.....	37
圖 4-10 : (D) 文獻[11]的結果 (E) Photoshop 處理的結果	38
圖 4-11 : (A) 文獻[10]的範例 (B) 最後結果 (C) 文獻[11]的結果 (D) 文獻[10]的結果 (E) Photoshop 處理的結果.....	39
圖 4-12 : (A) 黑人小孩 (B) 最後結果	40
圖 4-12 : (C) Photoshop 素描結果	41
圖 4-13 : (A) 女星網路照片 (B) 實驗結果	42
圖 4-13 : (C) Photoshop 素描結果	43
圖 4-14 : (A) 女星 Grace Kelly (B) 實驗結果.....	44
圖 4-14 : (C) Photoshop 素描結果	45
圖 4-15 : (A) 女星 Grace Kelly (B) 實驗結果.....	46
圖 4-15 : (C) Photoshop 素描結果	47
圖 4-16 : (A) 政治人物 Kennedy (B) 實驗結果.....	48
圖 4-16 : (C) Photoshop 素描結果	49
圖 4-17 : (A) 汽車照片 (B) 實驗結果	50
圖 4-17 : (C) Photoshop 素描結果	51
圖 4-18 : (A) 汽車照片 (B) 實驗結果	52
圖 4-18 : (C) Photoshop 素描結果	53
圖 4-19 : (A) Bogie 劇照 (B) 實驗結果.....	54
圖 4-19 : (C) Photoshop 素描結果	55
圖 4-20 : (A) 輪船照片 (B) 實驗結果	56
圖 4-20 : (C) Photoshop 素描結果	57
圖 4-21 : (A) 輪船照片 (B) 實驗結果	58
圖 4-21 : (C) Photoshop 素描結果	59
圖 4-22 : (A) 王建民照片 (B) 實驗結果	60
圖 4-22 : (C) Photoshop 素描結果	61
圖 4-23 : (A) Jordan 合照照片 (B) 實驗結果.....	62



第一章

簡介

隨著科技的進步，電腦效能之躍進及儲存硬體容量之提升，在擬真顯像（Photorealistic Rendering, PR）技術上是要求顯示品質更高的表現為目標，而在非擬真顯像（Non-Photorealistic Rendering, NPR）領域上，除了效果品質之外，更要求特定風格之突顯。所謂的風格在非擬真顯像應用上可常見運用於工程及醫學教學上以及藝術、廣告領域上。例如在醫學教學方面許多人都會覺得怎會採用 NPR 的方式？在醫學影像使用上，的確大部分需求都是需要相當精細的影像圖片為主，以免在醫師診斷上出現錯誤，但是在一些神經以及腦部的立體建構圖上，卻無法以擬真的方式提供臨床上或者教學上的使用，這時候則需要採用非擬真顯像的技術來作全貌展示或重點強調。而藝術領域上，如油畫、水墨畫、水彩畫、鉛筆素描等各種素材之不同風格表現，則為非擬真顯像所欲呈現之目標。以上所提及皆為非擬真顯像之不同應用，也看的出非擬真顯像在各方面的應用還是有其相當之重要性。

近年來，非擬真顯像上除了在 2D 影像範疇內的處理，尚有 3D 影像上的應用。本篇論文則著重於 2D 影像上鉛筆素描風格之處理，並且以全自動化方式，使的一般使用者可以簡易的將照片轉變成鉛筆素描風格圖片，更加無須調整使用者不清楚的參數來獲得結果。這點的改變有別於一般自動化操作的繪圖軟體，如著名的影像處理軟體 Adobe Photoshop。雖然 Photoshop 在鉛筆素描濾鏡是自動化的處理，但是可調整的參數不外乎筆觸方向及亮暗變化，而 Photoshop 產生之效果圖筆觸方向又皆為同一方

向，與常人一般作畫的習性大為相違，也不容易突顯輪廓（outline），致使結果並不是令人相當滿意，如圖 1-1 國父肖像圖經 Photoshop 鉛筆素描濾鏡處理過後。



圖 1-1：國父肖像圖經 Photoshop 鉛筆素描濾鏡處理過後

本論文的鉛筆素描系統，是參照人類實際作畫的習慣去模擬設計，在任一幅鉛筆素描畫中，通常是由各種不同性質的筆觸（濃淡、粗細、長短、方向）所構成，如圖 1-2 所示乃常見的斜線筆觸（hatching），與交叉筆觸（cross-hatching）。斜線筆觸為近乎平行的線條所構成，而交叉筆觸則為兩個方向以上筆觸交錯形成，再加上濃度深淺、方向的差異性，而建構出不同風格的鉛筆素描圖。而在每一筆的筆觸上也不會如機械式產生之圖像那般工整，電腦鉛筆素描既然要模擬人類作畫的效果，則一定要有這種不工整的筆觸效果存在。另外在做人物素描畫的時候，人物的輪廓、眼神的呈現，都是任何一幅素描圖像所講究的重點；這一點在許多的繪圖系統中以及所參考的論文文獻上並沒有特別講究到這點，所以往往讓整張素描圖像失去了神韻。如圖 1-3 拉斐爾（Raphael Santi）的素描作品”少女半身像”，從該圖中可完全看到以上所介紹的斜線筆觸、交叉筆觸、輪廓突顯、以及眼神的神韻表現，我們可發現，當”少女半身像”的主體眼神少了強調的話，該作品將會失去了作者想呈現的神采，而本論文所研究的重點效果較為類似該作品”少女半身像”的素描效果。

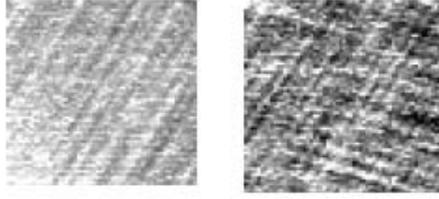


圖 1-2：(A) 斜線筆觸 (B) 交叉筆觸

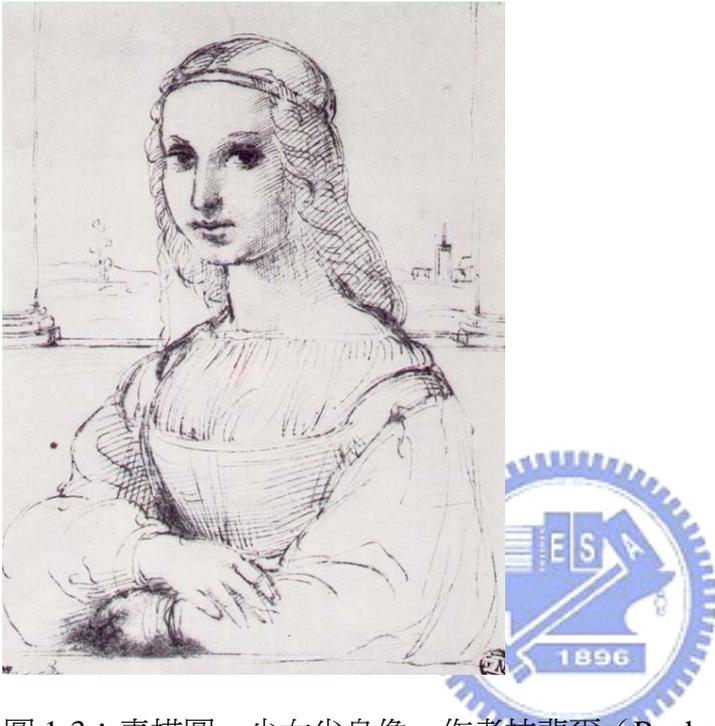


圖 1-3：素描圖—少女半身像，作者拉斐爾 (Raphael Santi)

本論文的目標在於對一張數位影像以全自動化的方式產生出鉛筆素描圖，讓使用者無須介入處理過程，並改良現有之商業軟體不足之處以及其他論文中所缺乏的神韻表現，透過數個階段處理，在品質與效率兼顧的平衡點上產生出令人滿意的鉛筆素描圖片。在接下來的章節中，除了第二章的相關研究外，將於第三章說明此篇論文所提方法之處理程序，第四章是實驗結果，最後第五章為結論。

第二章

相關研究

自動化鉛筆素描系統的相關研究以最近引用 LIC (Line Integral Convolution) 線積分迴旋法的架構較為常見，在 Imaging Vector Field Using Line Integral Convolution [9]這篇文獻中，提到了利用一張和影像大小一樣的向量圖 (vector field) 作出方向性模糊化的效果；如圖 2-1 代表某一影像的向量圖，是經由原圖每個像素計算顏色亮暗變化而產生，再以向量圖中各點 (x,y) 作為中心點，沿著正向與反向的向量算出一條曲線，計算該點特徵量對曲線上各點之貢獻，因此可自動產生出具有方向延展特性的結果圖。運用於貼圖合成方面，則呈現如梵谷畫風之效果，如圖 2-2 (A) 為輸入，2-2 (B) 為經過向量圖合成後的結果。

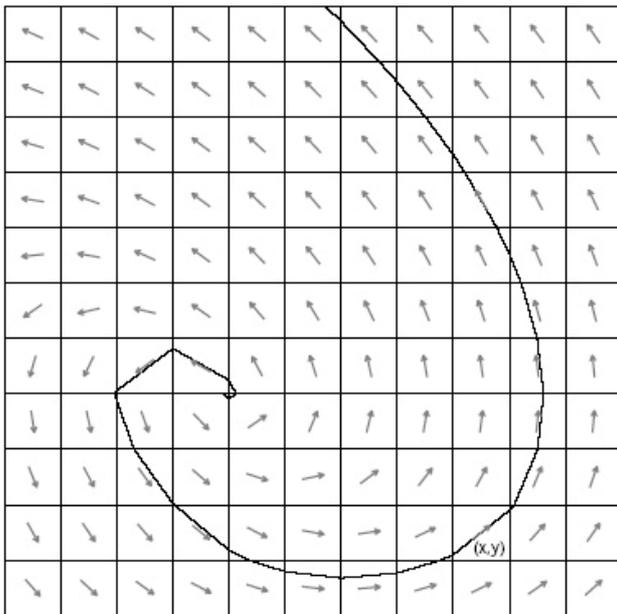


圖 2-1：文獻[9]中 LIC 演算法的範例圖



圖 2-2 : (A) 文獻[9]的範例圖



(B) 文獻[9]的結果



在 Automatic Generation of Pencil Drawing From 2D Images Using Line Integral Convolution [4]這篇文獻中，作者利用 LIC 為基礎，透過產生的雜訊圖 (white noise images) 和一張與原圖大小一樣的向量分析圖，產生出類似鉛筆筆觸的效果圖。圖 2-3 為文獻[4]的演算法流程圖。由於原作者先利用將原圖分成很多矩形小區塊，再利用色彩分佈將相似度接近的合併小區域，重複步驟最後形成數個大區域 (split and merge)，這個步驟是佔了整個流程中 90% 的時間。以 1024 乘以 768 的圖片來看，作者提及不算區塊分割的時間需要 1 分鐘 25 秒左右，也就是整張圖片的處理得花上十多分鐘。

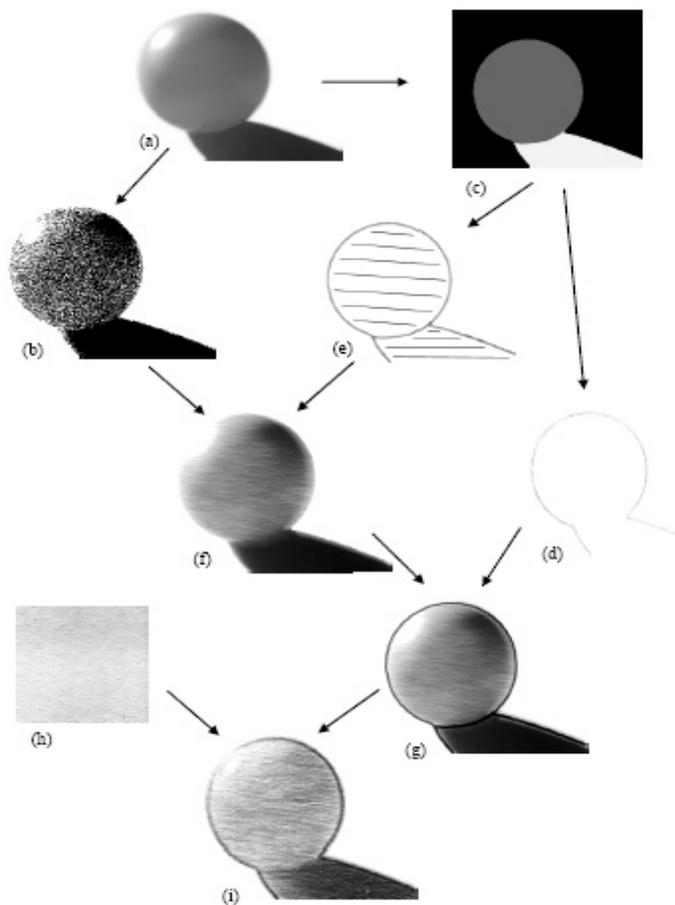


圖 2-3：(A) 原圖 (B) 雜訊圖 (C) 影像切割結果 (D) 輪廓偵測 (E) 向量圖 (F) 以 LIC 產生筆觸效果 (G) 合成輪廓 (H) 紙張材質 (I) 最後結果，擷取自文獻[4]

在 Enhanced LIC Pencil Filter[5]這篇文獻中，作者改良了文獻[4]的影像切割方式，轉而利用了亮度分層的方式將圖片分成最亮層、次暗層、最暗層來分別處理，利用文獻[4]中的 LIC 鉛筆素描法產生出素描結果，這個亮度分層的方式大幅改善了原先影像切割方法的效率問題，在實作上，也的確頗符合人類在素描時的特性，圖 2-4 為文獻[5]的演算法流程圖。

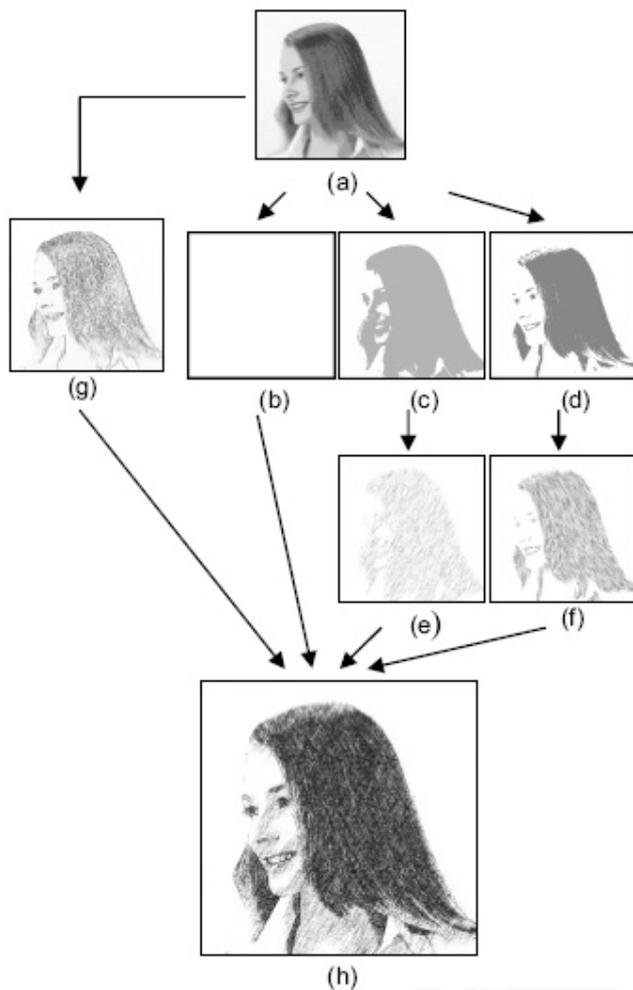


圖 2-4：(A) 原圖 (B) 最亮層 (C) 次暗層 (D) 最暗層 (E) 次暗層套用 LIC 演算法的素描結果 (F) 最暗層套用 LIC 演算法的素描結果 (G) 輪廓偵測 (H) 最後結果

在「相片中主體之突顯與素描」[10]這篇文獻中，作者以灰階分群的方式將影像分成數個區塊，並且分析原圖的色彩種類分佈，找出圖像中主體的分佈區域，將其他區域淡化處理，分群後不同的區域按照亮度與方向給予不同的筆觸貼圖，這樣的結果在比較複雜的圖像中，雖然達到了多種筆觸的效果，但也會造成相當混亂的筆觸結果，圖 2-5 為文獻[10]的流程圖。

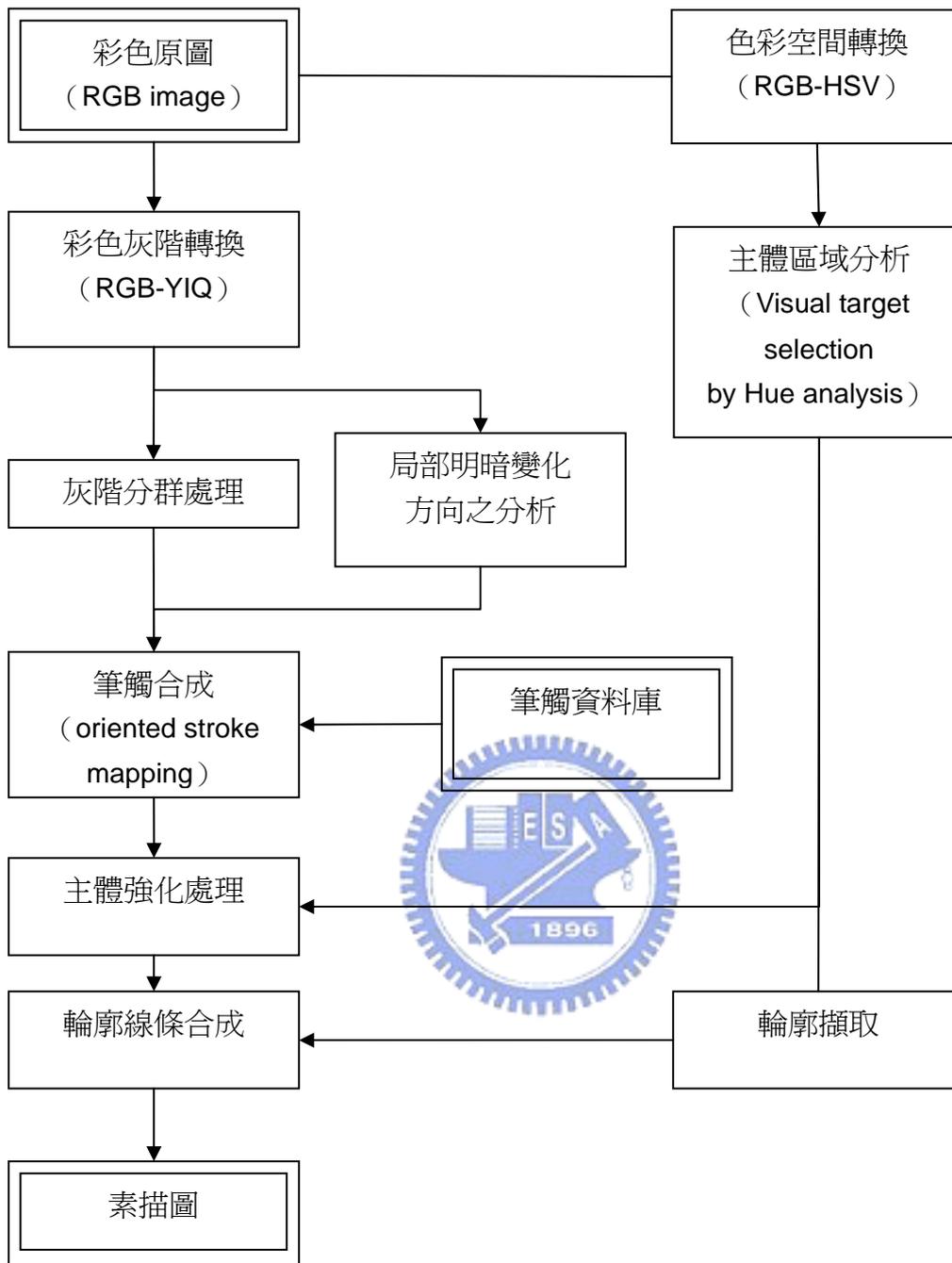


圖 2-5：文獻[10] 彩色圖像之素描呈現處理流程圖

在「相片之自動化鉛筆式素描顯像」[11]這篇文獻中，作者以文獻[5]的亮度分層為架構，以改良式的 LIC 鉛筆素描法，加上輪廓擷取和利用 Center-Off 演算法產生的輪廓透過一定的比重合成出鉛筆素描圖像，該作者為避免素描結果過度混亂而只採用最暗層來作 LIC 鉛筆素描法，並且改良一般常見邊緣偵測圖常有的臨界值

(threshold) 難以控制的問題。圖 2-6 為文獻[11]的流程圖。

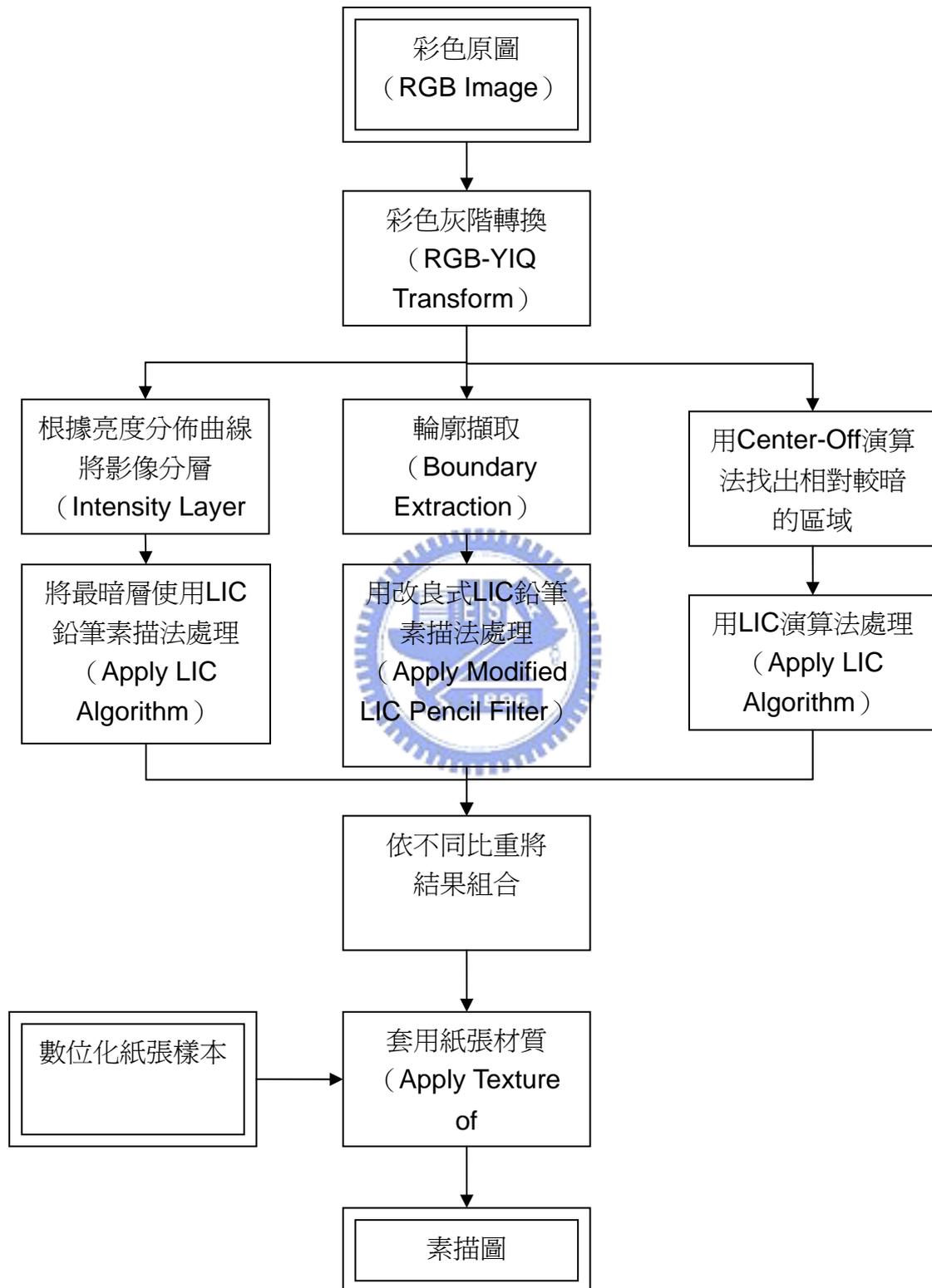


圖 2-6：文獻[11] 彩色圖像之素描呈現處理流程圖

第三章

處理方法

為達到輪廓與神韻加強的素描效果，本篇論文所提及之處理方法主要包含六個步驟。第一步驟：根據灰階亮度曲線分成三層。第二步驟：將暗層再區分出最暗層與次暗層。第三步驟：根據分層的結果在各分層產生方向互異之筆觸。第四步驟：將輪廓偵測的結果以較暗的筆觸顯示並且強化效果以達到神韻的加強。第五步驟：將輪廓強化的效果圖與分層素描筆觸效果圖合成。第六步驟：將紙張材質效應加入並加入輪廓。最後構成一張具有鉛筆素描視覺效果的圖片。



完整的鉛筆式素描處理流程如圖 3-1 所示，圖 3-2 則以國父圖像為例，說明在處理流程中各階段中所產生的處理效果。從一開始的彩色影像輸入，經過灰階轉換，接下來對輪廓、灰層、次暗層、最暗層四個重點區域使用 LIC 素描法呈現，並且經由強化輪廓結構圖來得到輪廓結構強化圖，經過組合後再套用紙張材質的效果，最後再合成輪廓結構圖的輪廓表現，產生出最終的鉛筆素描圖。本章接下來將對每個步驟作詳細介紹。

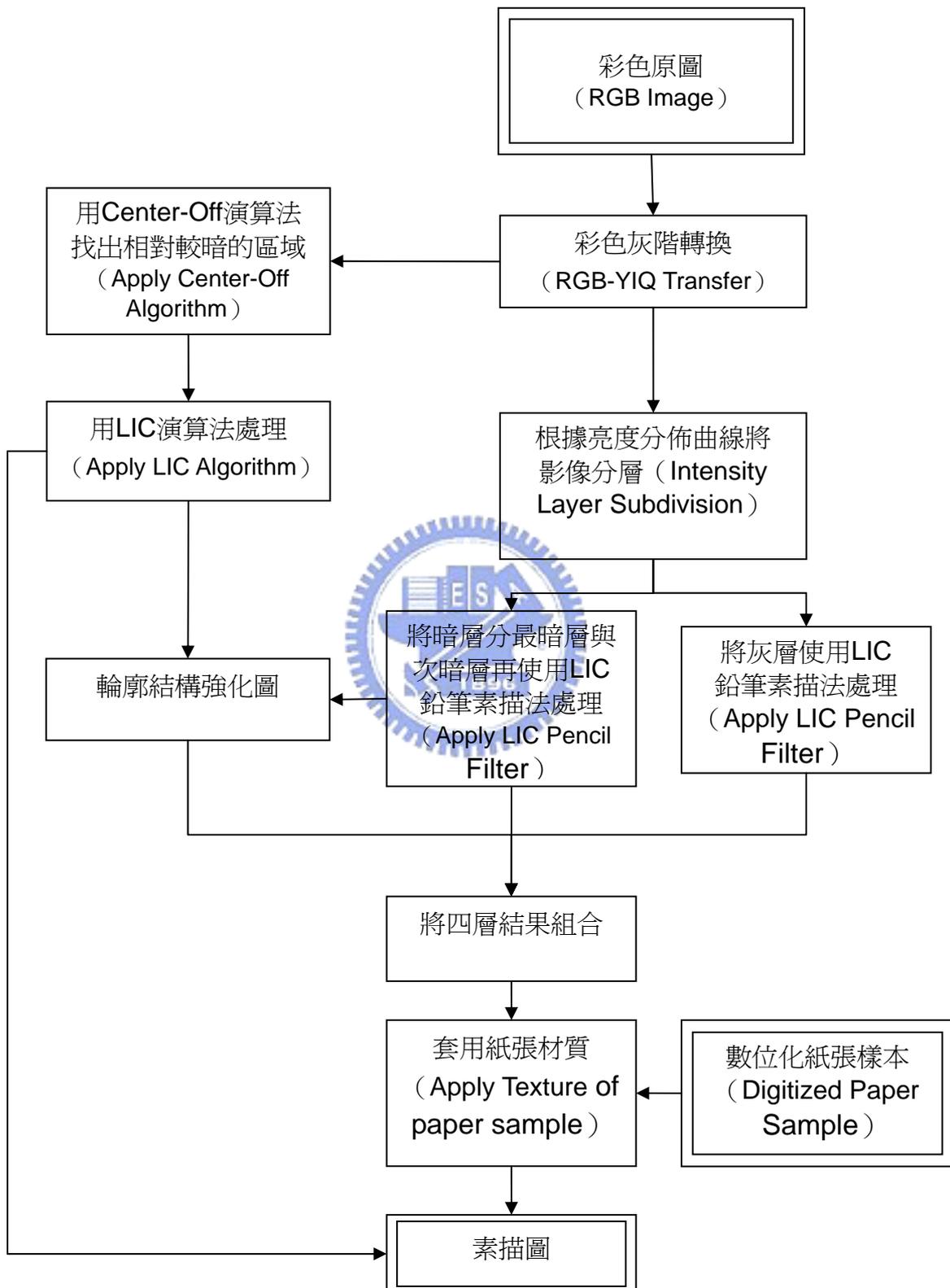


圖 3-1：彩色圖像之鉛筆素描法處理流程

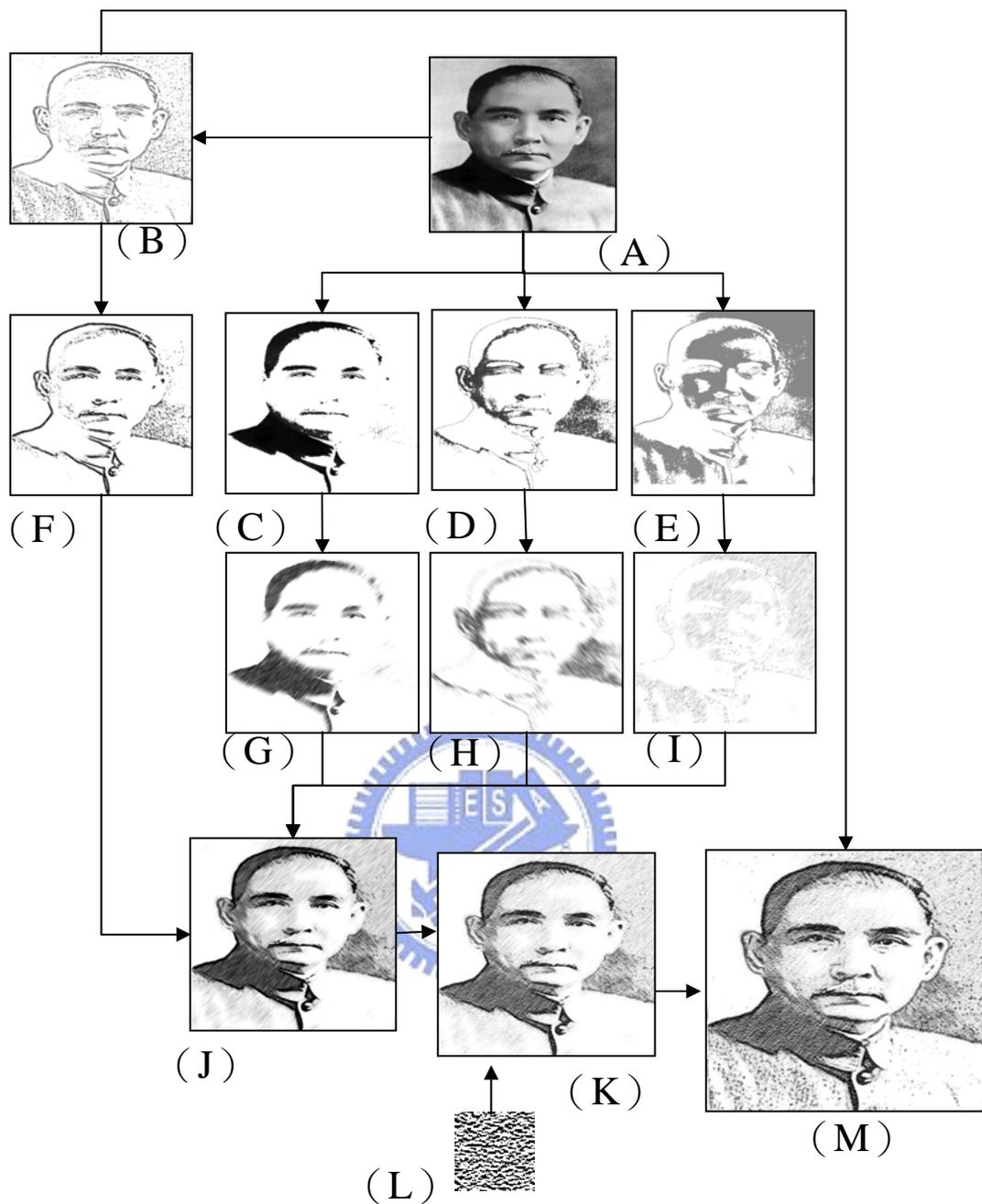


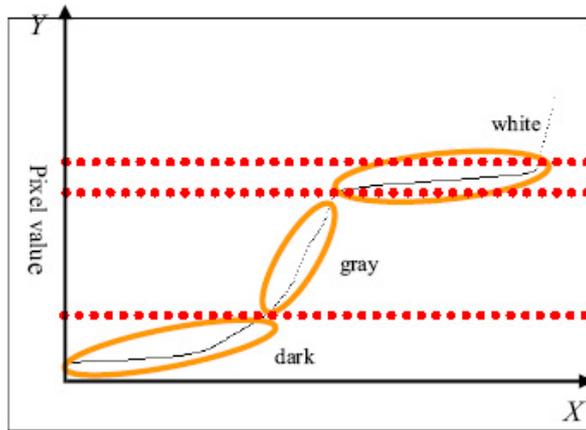
圖 3-2：圖像之素描呈現處理流程：(A) 灰階圖 (B) 輪廓結構圖 (C) 最暗層 (D) 次暗層 (E) 灰層 (F) 輪廓結構強化圖 (G) 最暗層使用 LIC 素描法的結果 (H) 次暗層使用 LIC 素描法的結果 (I) 灰層使用 LIC 素描法的結果 (J) 合成圖 (K) 引進紙張材質效果圖 (L) 數位化紙張材質 (M) 最終結果

3.1 依亮度分佈曲線改良式分層

此方法是引用 Enhanced LIC Pencil Filter[5]中的分層方式，該作者將原灰階圖作亮度分析，根據所有亮度由暗到亮的分佈曲線，找出平均斜率變化最大的兩點作為分界，可分出三段曲線，這三個區域就是該論文中三個主要的亮度層。如圖 3-3 中，(B) 是 (A) 的亮度分佈曲線圖。但是經過大量的圖片測試，吾人發現，最亮層的表現上對整體的鉛筆素描圖的影響功用不大，所以本論文只取暗層與灰層的圖層分別處理，而捨棄了最亮層的處理部份，也進而節省處理的時間。圖 3-4 是以圖 3-3 (A) 為輸入的後所得到的分層結果，3-4 (A) 的非白色區域為暗層，(B) 的非白色區域為灰層。



圖 3-3：(A) 文獻[5]中範例圖的灰階圖



(B) 上圖的亮度分佈曲線

在文獻[11]中該作者為避免素描結果線條過於雜亂而只選取暗層作為處理，但實際上只單一層的筆觸質感將使的鉛筆素描圖較為單調，也喪失了模擬人類作畫的特性。在測試多張數位影像之後，發現單純只有暗層的表现對當暗層佔圖片大部分的區域時，層次感的表現並不佳，為追求多層筆觸的效果，本論文中將暗層與灰層的分界點數值再除一半而得到一新分界點，使的暗層可再分成最暗層與次暗層兩種效果，如圖 3-4 (C) 為最暗層，(D) 為次暗層。以最暗層與次暗層和灰層的亮度層作為處理，也透過這三層的效果，使的結果圖的筆觸更為豐富，更能利用三層之不同筆觸建立出視覺之立體感。



圖 3-4 : (A) 暗層

(B) 灰層



(C) 最暗層



(D) 次暗層

3.2 改良式 LIC 鉛筆式素描演算法

改良式 LIC (Line Integral Convolution) 演算法是利用一張和輸入影像大小一樣的改良式向量圖 (vector field)，和產生的雜訊圖 (white noise image) 作出方向性模糊化的效果。雜訊圖的產生方式如下：

$$I_{noise} = \begin{cases} 255 & \text{if } P \geq T \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad P \in [0.0, 1.0]$$

$$T = k \left(1 - \frac{I_{input}}{255} \right) \quad K \in (0.0, 1.0]$$

上述 k 為一常數，控制該雜訊圖之明暗度， k 值越大越容易使的該點呈現黑色的機率大增，而 P 值則為介於 0 與 1 之間的亂數。則產生的雜訊圖中像素就只會有 255 與 0 兩種情形產生，也就是白與黑的像素雜訊圖。從以上公式來看，若原圖中像素的顏色越深，將會造成 T 值是較大的值，而亂數產生的 P 值要大於 T 值的機率則相對減

低，使得得到的雜訊圖的確會是比較偏向黑色的像素機率提高，也較為符合我們所希望得到的雜訊圖。

向量圖的產生方式是引用文獻[11]中的做法。首先用 Sobel 邊緣偵測(Sobel edge detector) 取得原圖中各點灰階的水平 and 垂直變化量，算出每個像素的亮度變化方向以及亮度變化值，當某個亮度變化值小於一個臨界值，表示該像素的向量不值得參考，而以預設之向量取代，表示筆觸的方向。圖 3-5 (A) 為最暗層套用 LIC 素描法之結果圖，(B) 為次暗層套用 LIC 素描法之結果圖。



圖 3-5 : (A) 最暗層亮度特徵著色

(B) 次暗層亮度特徵著色



(C) 灰層亮度特徵著色

3.3 輪廓擷取

輪廓的擷取上，我們利用了 Center-Off 演算法來作為本論文之細微輪廓圖層之產生工具。做法為以處理中的像素作為中心點，向外擴展選取一個 9 乘以 9 相素的遮罩，中間 5 乘以 5 設為 0，外圍設為 1，然後去計算原圖每個像素代表區域與這個遮罩的相關係數，如果相關係數大於一個臨界值則代表這個像素是我們需要的，將介於 0 到 1 的係數轉換到亮度變化 255 到 0，並設定為該像素之亮度；若該像素之係數小於等於臨界值，則把該像素亮度設為 255。然後把得到的像素圖再套用 LIC 可得到一較為平順之輪廓圖，臨界值設定為 0.1。如圖 3-6 (A) 為 3-3 (A) 利用 Center-Off 演算法得到之結果，而 3-6 (B) 為 3-6 (A) 經改良式 LIC 素描法所得之結果。

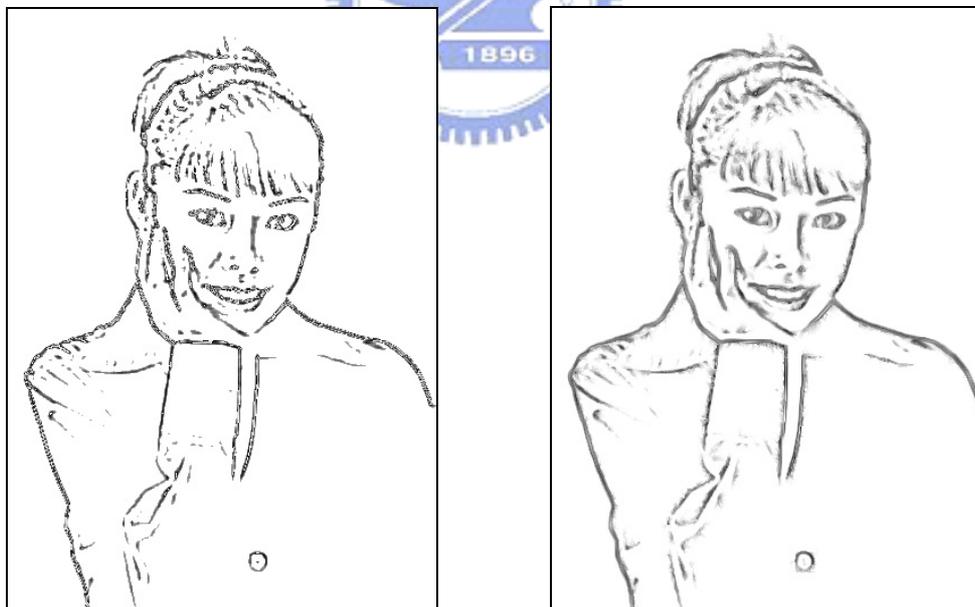
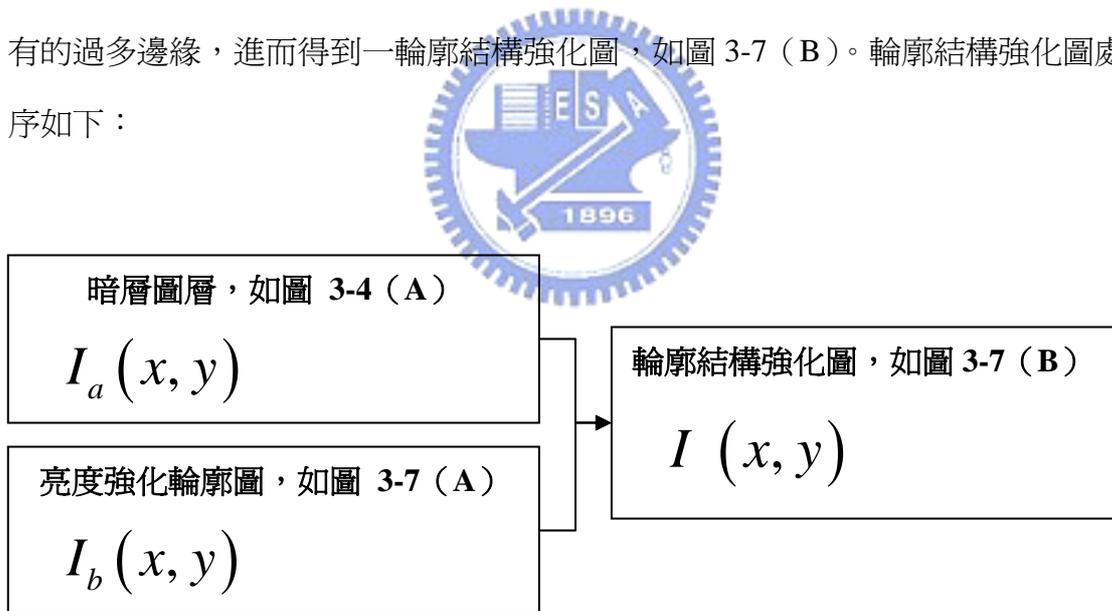


圖 3-6：(A) Center-Off 演算法的結果

(B) 左圖再套用 LIC 素描法之結果

3.4 輪廓結構強化圖

在測試多張數位影像後，以及從參考的文獻圖片中，可發現所產生之結果圖皆有霧化傾向；但是在做人物素描圖的時候眼神的表現銳利與否其實往往是一幅人物素描圖的神韻所在。吾人經驗顯示暗層的圖層其實含著將神韻表現出來的一個特質存在，有鑑於此我們將輪廓圖採用以下的做法，將輪廓圖的每個像素亮度數值乘以兩倍，然後將兩倍的數值扣除 255 設為該點像素的亮度值，如果所得的數值小於 0，則將該像素的亮度設為 0。如此一來可得到一張亮度強化的輪廓圖，如圖 3-7 (A)。但是這張效果圖卻有著相當多細微的輪廓不屬於暗層分佈之中，為將暗層的深度輪廓保留，吾人採用以強化的輪廓圖和暗層作各像素兩兩逐一比對，保留兩幅圖中較亮的像素，如此一來則會只保留暗層擁有的最深輪廓，而原本強化的輪廓圖可濾掉原本暗層所沒有的過多邊緣，進而得到一輪廓結構強化圖，如圖 3-7 (B)。輪廓結構強化圖處理程序如下：



$$I(x, y) = \begin{cases} I_a(x, y) & \text{if } I_a(x, y) > I_b(x, y) \\ I_b(x, y) & \text{otherwise} \end{cases}$$



圖 3-7：(A) 圖 3-6 (B) 經亮度強化的輪廓圖 (B) 輪廓結構強化圖

3.5 組合所需圖層及套用紙張材質、輪廓圖



此一階段將最暗層素描圖，次暗層素描圖，灰階素描圖以及輪廓結構強化圖結合。圖 3-8 (A) 為結合圖 3-5 (A)、圖 3-5 (B)、圖 3-5 (C)、圖 3-7 (B) 的結果圖。圖 3-9 (A) 則為結合圖 3-6 (B) 與圖 3-8 (A) 所得到一結果圖。

在大多數的論文文獻中加入紙張材質的效應都是在最後一個步驟處理，但是紙張材質的效應加入其實是破壞原先筆觸的方向性，使其造成方向性模糊化的效果，藉此模擬畫紙上凹凸的紙感，這樣的作法其實有個缺點，就是會破壞原先輪廓的完整性。例如圖 3-9 (C) 為輪廓加入後再處理紙張材質的結果圖。所以本論文在紙張材質的效應套用是在加入輪廓圖之前。引進畫紙紋路效應之作法為先讀入一數位化的紙張材質，將原本產生結果像素加上一定比例的材質像素值，以達到模擬的效果。在畫紙紋路模擬之後才將輪廓圖加入，如此一來在斜線筆觸和交叉筆觸的效果可擁有畫紙的質感，又不會破壞掉輪廓的完整性，如圖 3-9 (B)。比較圖 3-9 (B) 與圖 3-9 (C) 即

可明顯看出其差異所在。圖 3-10 (A) 為文獻[11]中的實驗結果，圖 3-10 (B) 為文獻 [5]中的實驗結果。最暗層和次暗層的做法導入，使的圖中女性衣服有著不同的層次感表現，而不再只是一整區單一筆觸的表現，亦可由此看出本論文處理程序得到之改進甚為明顯。



圖 3-8：最暗層素描圖、次暗層素描圖、灰層素描圖與輪廓結構強化圖組合後結果



圖 3-9：(A) 圖 3-8 結合輪廓圖之結果



(B) 套用紙張材質後再加入輪廓的結果 (C) 輪廓加入後再經過紙張材質處理



圖 3-10 : (A) 文獻[11]的結果

(B) 文獻[5]的結果

第四章

實驗結果

我們已將第三章所述的系統架構以 C++ 在 Windows 平台實作出來，本章節展示若干實驗結果；並透過若干共用圖例與文獻[4]，[5]，[10]，[11]與 Photoshop 之結果比較，以展現此系統之效能。

4.1 結果圖

第一個實驗是以國父肖像做為輸入，如圖 4-1。

圖 4-2 (A) 最暗層素描筆觸，(B) 次暗層素描筆觸，(C) 灰層素描筆觸 (D) 使用 Center-Off 演算法找出輪廓結構，(E) 輪廓結構強化圖，(F) 為組合 (A)、(B)、(C)、(E) 四層的結果，圖 4-3 (A) 為組合 4-2 (C) 與 (E) 的最後結果，圖 4-3 (B) 為採用文獻[11]中的方法產生的結果圖。

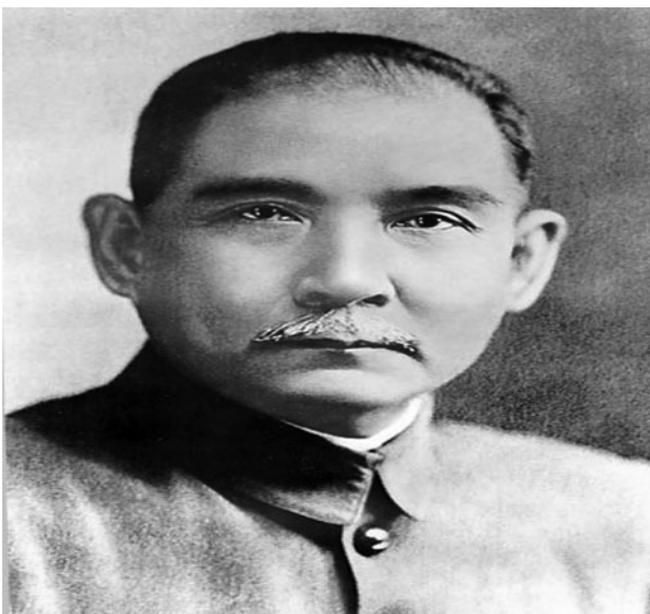


圖 4-1：國父肖像



圖 4-2 : (A) 最暗層素描筆觸



(B) 次暗層素描筆觸



(C) 灰層素描筆觸



(D) 輪廓結構 (Center-Off +LIC) 處理



(E) 輪廓結構強化圖



(F) 組合以上 (A)、(B)、(C)、(E) 四層的結果

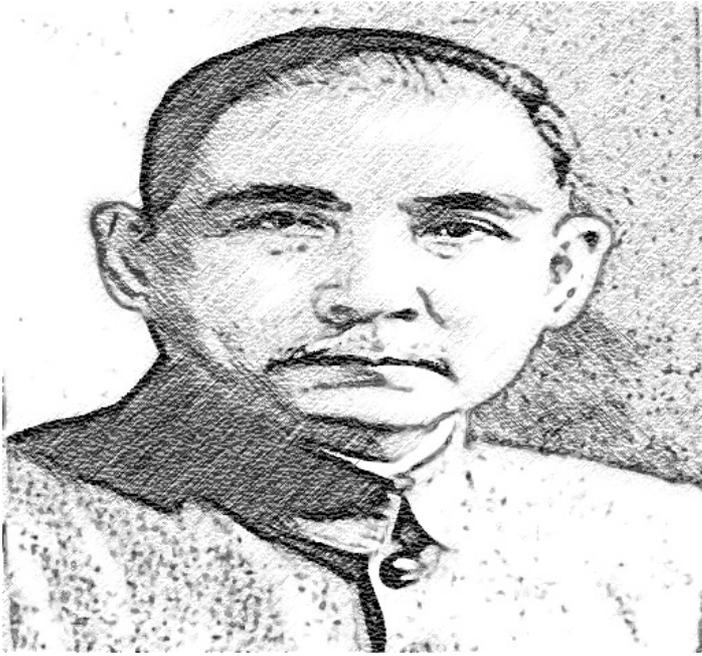


圖 4-3 : (A) 圖 4-1 最後素描結果



(B) 文獻[11]的方法產生的結果

第二個實驗是以文獻[10]中的另一個範例圖 4-4 (A) 為輸入，(B) 我們的最後素描結果，(C) 為文獻[10]的結果，(D) 為文獻[11]的結果，(E) 為 photoshop 處理的效果。

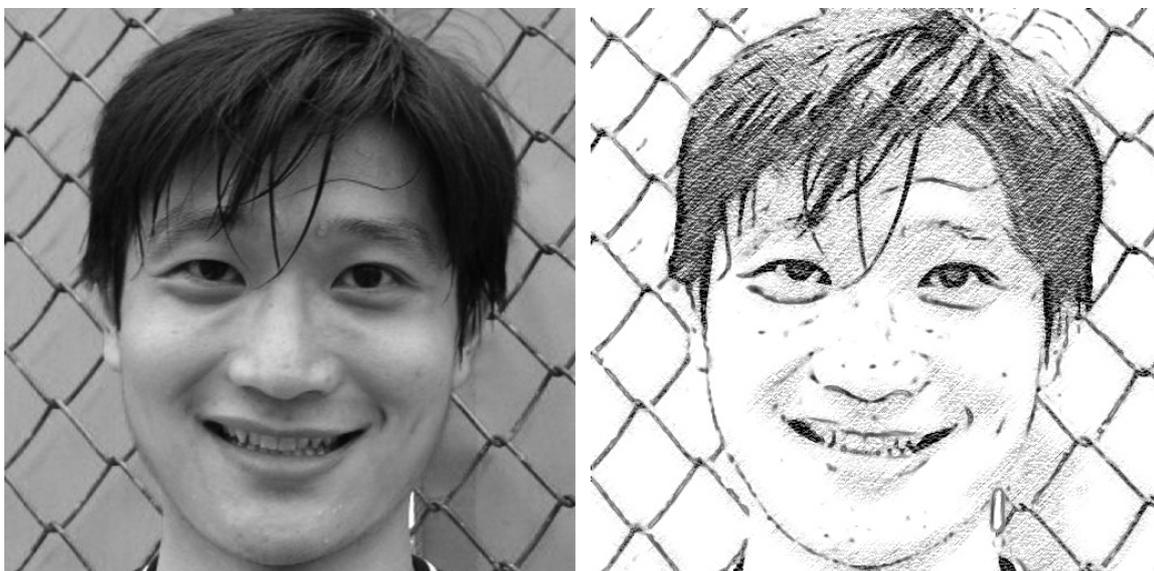


圖 4-4 : (A) 文獻[10]中範例 (B) 最後結果



(C) 文獻[10]中的結果

(D) 文獻[11]中的結果



(E) Photoshop 處理的結果



第三個實驗是以文獻[10]中的另一個範例圖 4-5 (A) 作為輸入，(B) 為我們的最後結果，(C) 為文獻[10]的結果，(D) 為文獻[11]的結果，(E) Photoshop 處理的結果。

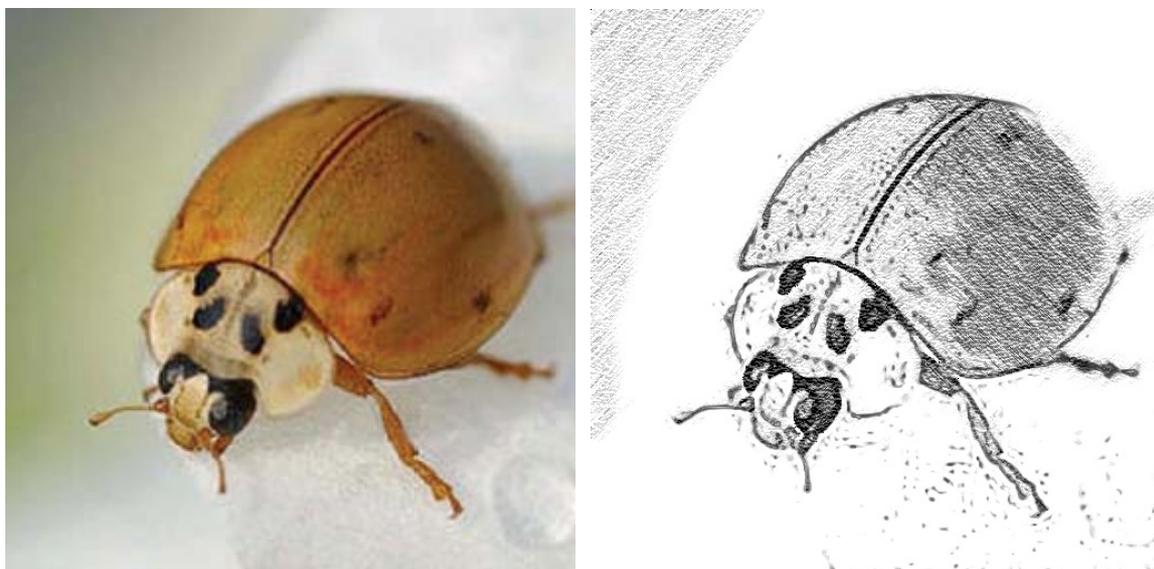


圖 4-5 : (A) 文獻[10]中範例 (B) 最後結果



(C) 文獻[10]中的結果



(D) 文獻[11]中的結果



(E) Photoshop 處理的結果



第四個實驗是以文獻[10]中的另一個範例圖 4-6 (A) 作為輸入，(B) 為我們的最後結果，(C) 為文獻[10]的結果，(D) 為文獻[11]的結果，(E) Photoshop 處理的結果。



圖 4-6 : (A) 文獻[10]的範例

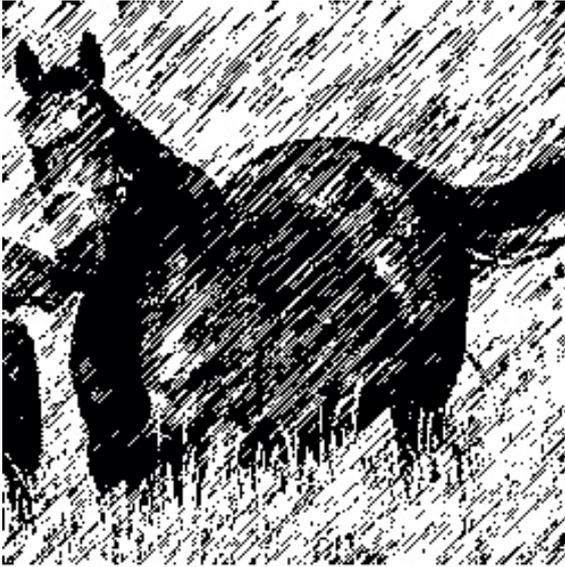
(B) 最後結果



(C) 文獻[10]中的結果



(D) 文獻[11]中的結果



(E) Photoshop 處理的結果



第五個實驗是以文獻[4]中的另一個範例圖 4-7 (A) 作為輸入，(B) 為我們的最後結果，(C) 為文獻[4]的結果，(D) 為文獻[11]的結果，(E) Photoshop 處理的結果。



圖 4-7 : (A) 文獻[4]的範例



(B) 最後結果



(C) 文獻[4]的結果



(D) 文獻[11]的結果



(E) Photoshop 處理的結果

第六個實驗是以文獻[5]中的另一個範例圖 4-8 (A) 作為輸入，(B) 為我們的最後結果，(C) 為文獻[5]的結果，(D) 為文獻[11]的結果，(E) Photoshop 處理的結果。

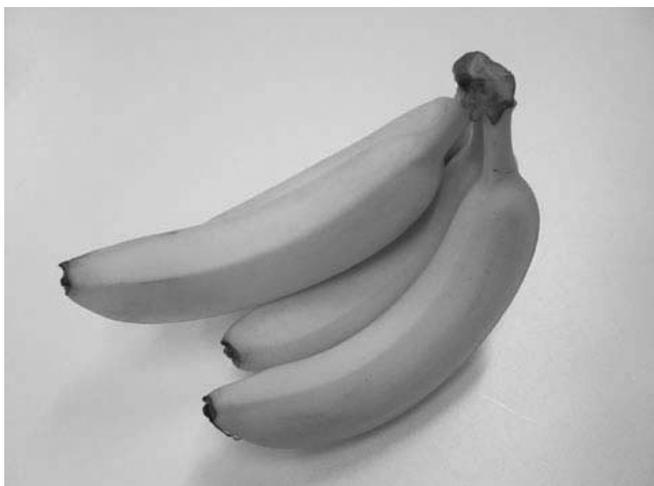
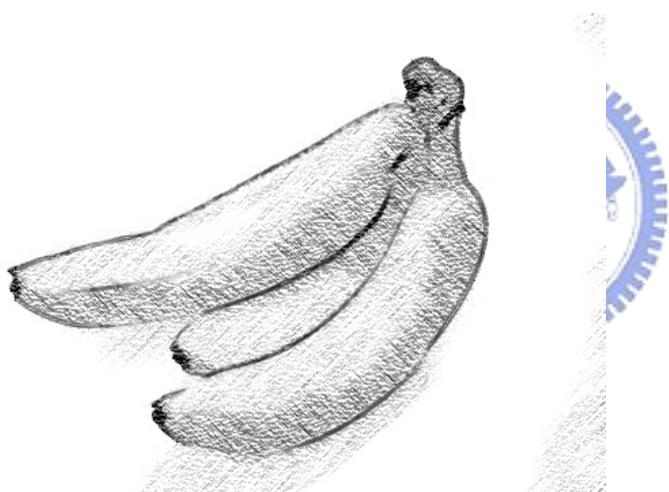


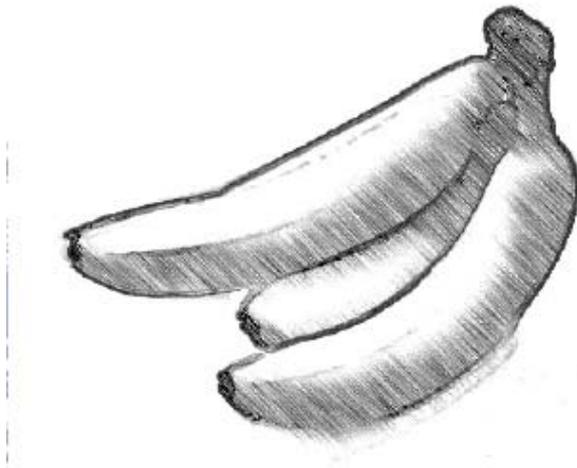
圖 4-8 : (A) 文獻[5]的範例



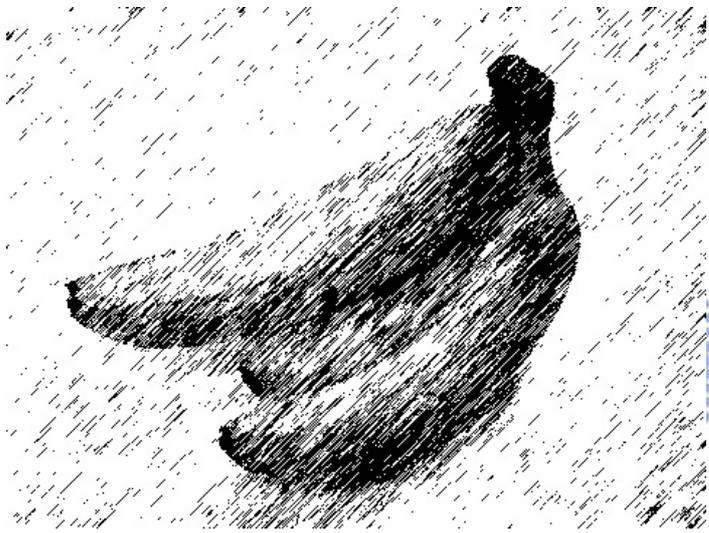
(B) 最後結果



(C) 文獻[5]的結果



(D) 文獻[11]的結果

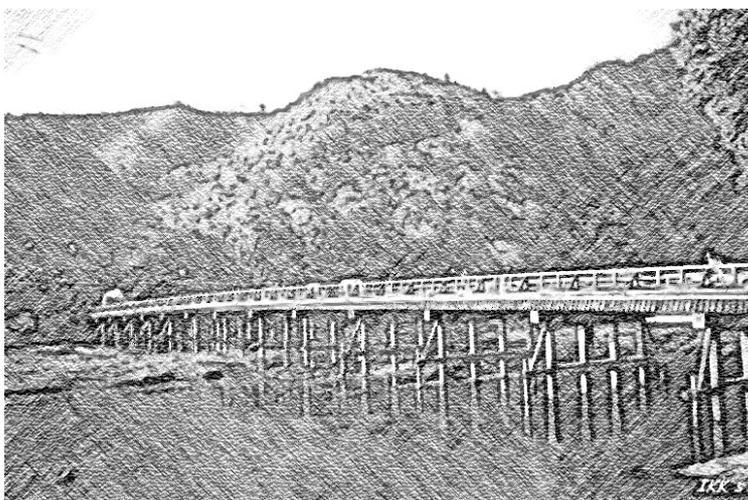


(E) Photoshop 處理的結果

第七個實驗是以文獻[4]中的另一個範例圖 4-9 (A) 作為輸入，(B) 為我們的最後結果，(C) 為文獻[4]的結果，(D) 為文獻[11]的結果，(E) Photoshop 處理的結果。



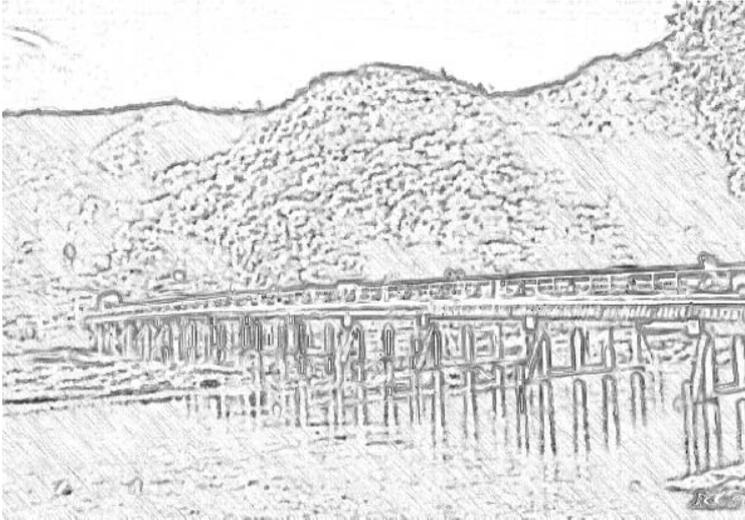
圖 4-9 : (A) 文獻[4]的範例



(B) 最後結果



(C) 文獻[4]的結果



(D) 文獻[11]的結果

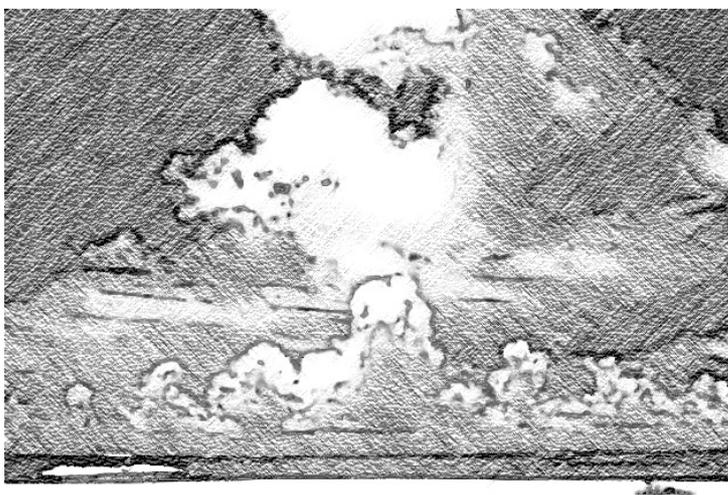


(E) Photoshop 處理的結果

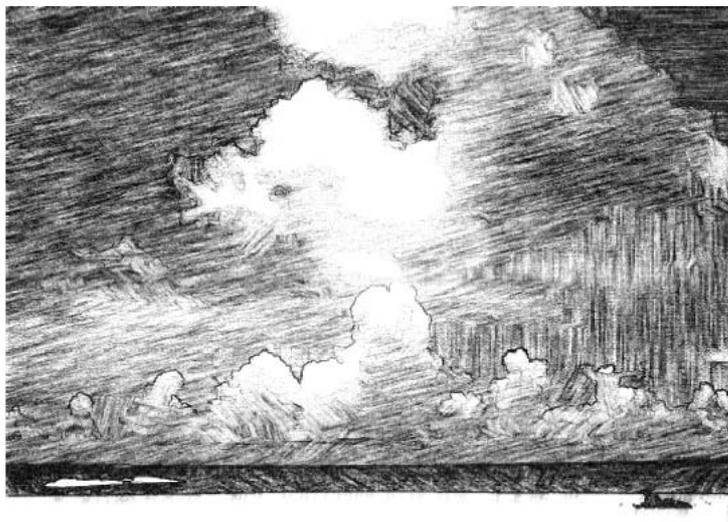
第八個實驗是以文獻[4]中的另一個範例圖 4-10 (A) 作為輸入，(B) 為我們的最後結果，(C) 為文獻[4]的結果，(D) 為文獻[11]的結果，(E) Photoshop 處理的結果。



圖 4-10 : (A) 文獻[4]的範例



(B) 最後結果



(C) 文獻[4]的結果



(D) 文獻[11]的結果

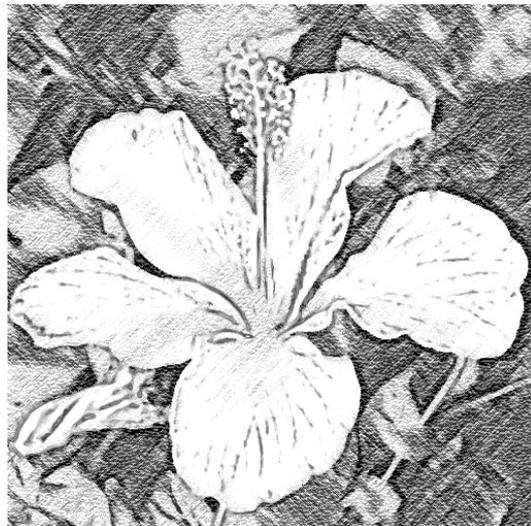


(E) Photoshop 處理的結果

第八個實驗是以文獻[10]中的另一個範例圖 4-11 (A) 作為輸入，(B) 為我們的最後結果，(C) 為文獻[11]的結果，(D) 為文獻[10]的結果，(E) Photoshop 處理的結果。



圖 4-11 : (A) 文獻[10]的範例



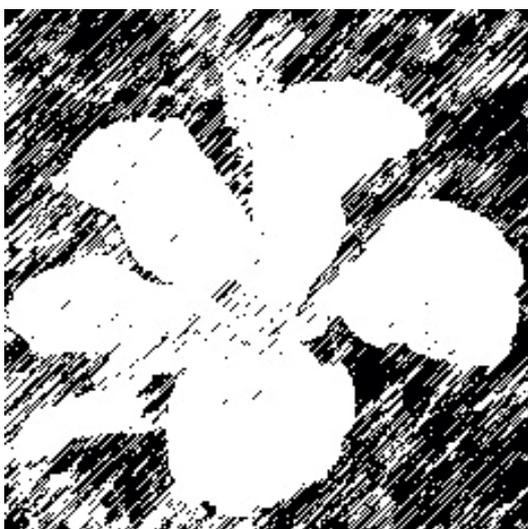
(B) 最後結果



(C) 文獻[11]的結果



(D) 文獻[10]的結果

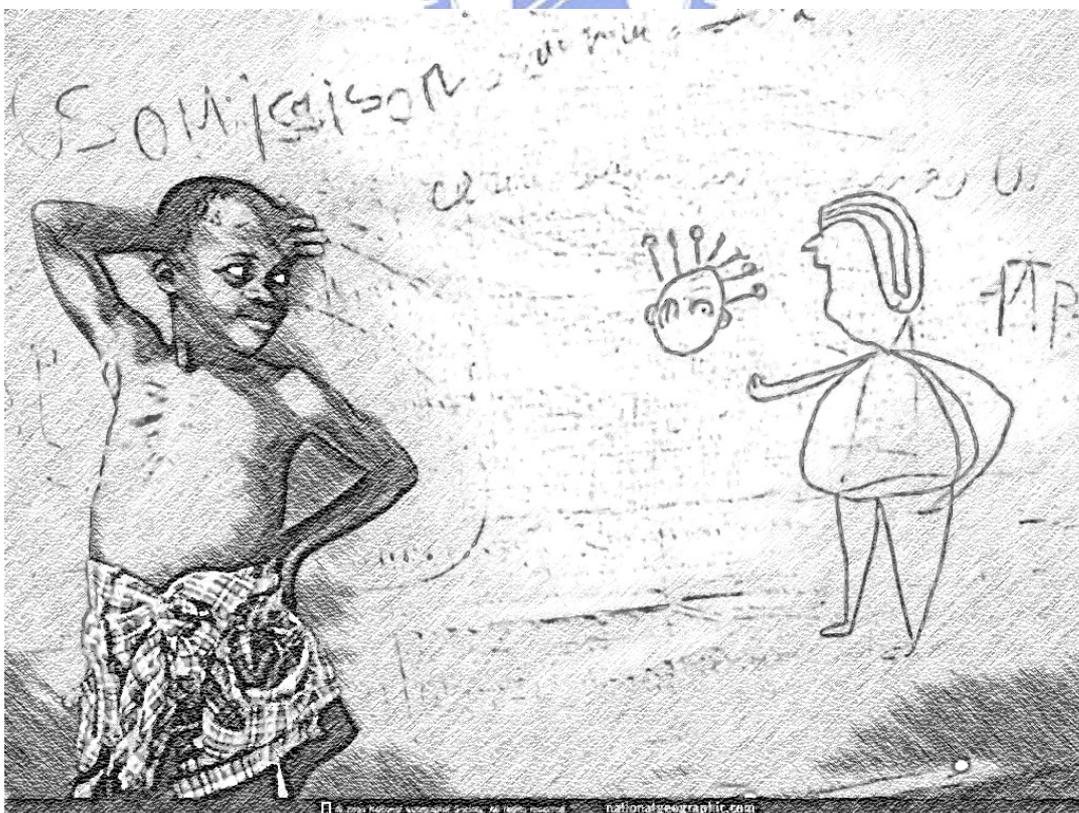


(E) Photoshop 處理的結果

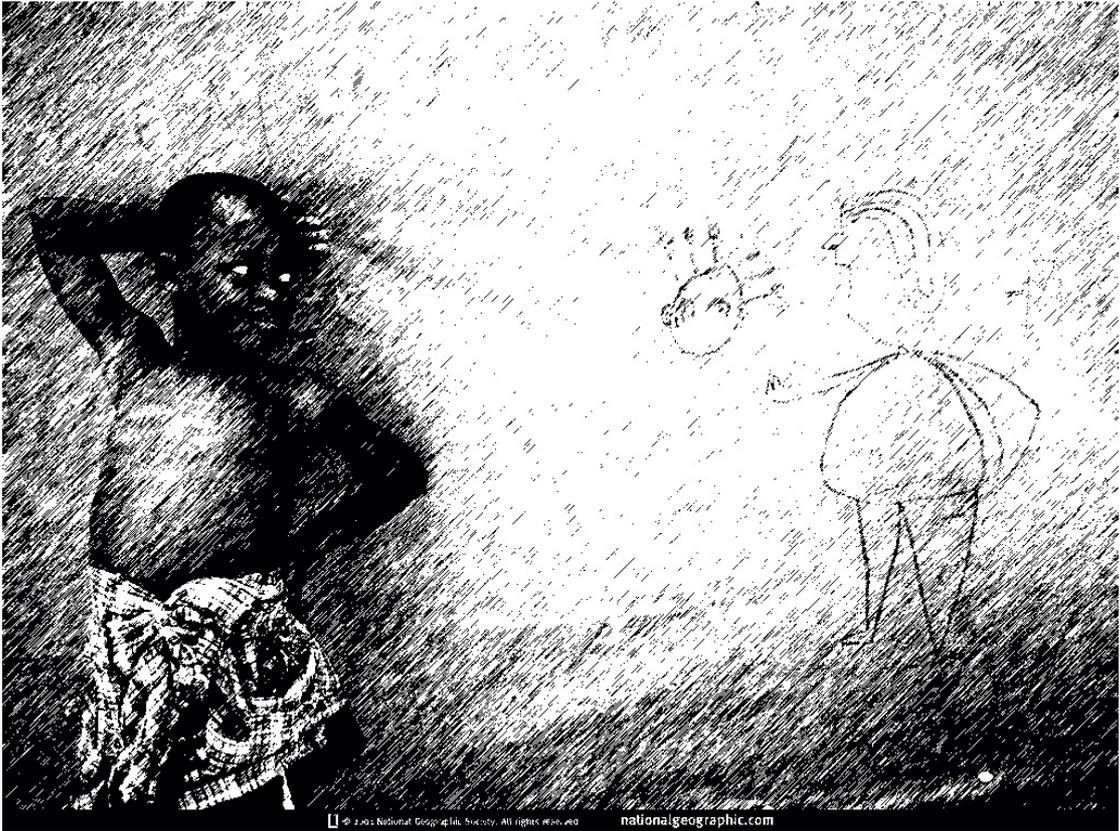
第九個實驗是以一黑人小孩拍攝的照片作為輸入，如圖 4-12 (A)。圖 4-12 (B) 為我們的最後結果，(C) Photoshop 處理的結果。



圖 4-12 : (A) 黑人小孩



(B) 最後結果



(C) Photoshop 素描結果



第十個實驗以女星網路寫真照片作為輸入，如圖 4-13 (A)。圖 4-13 (B) 為我們的最後結果，(C) 為 Photoshop 的結果。

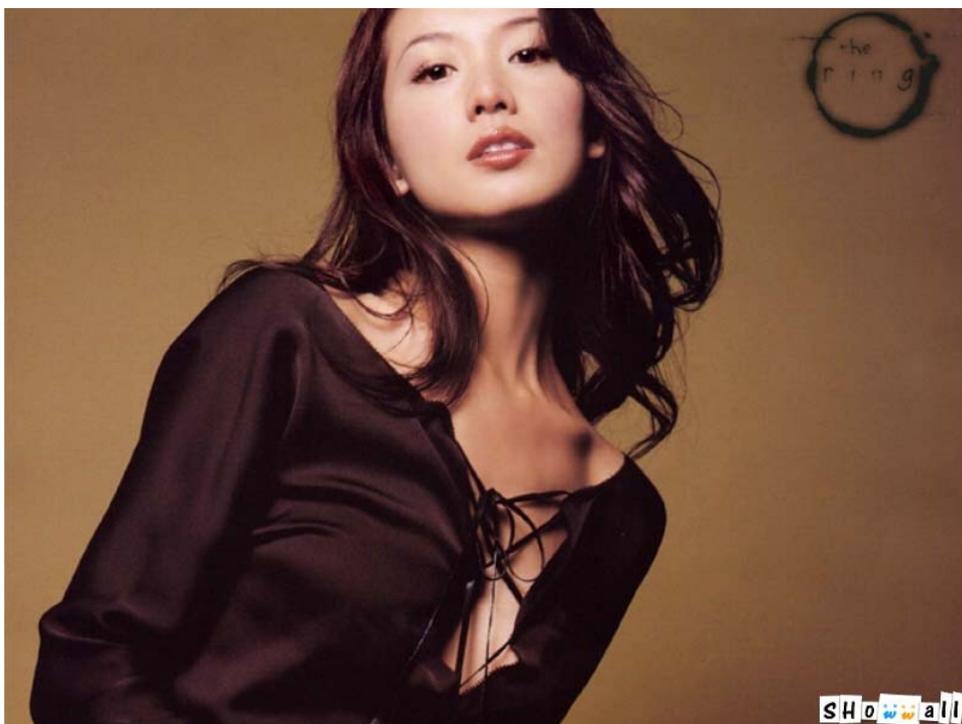
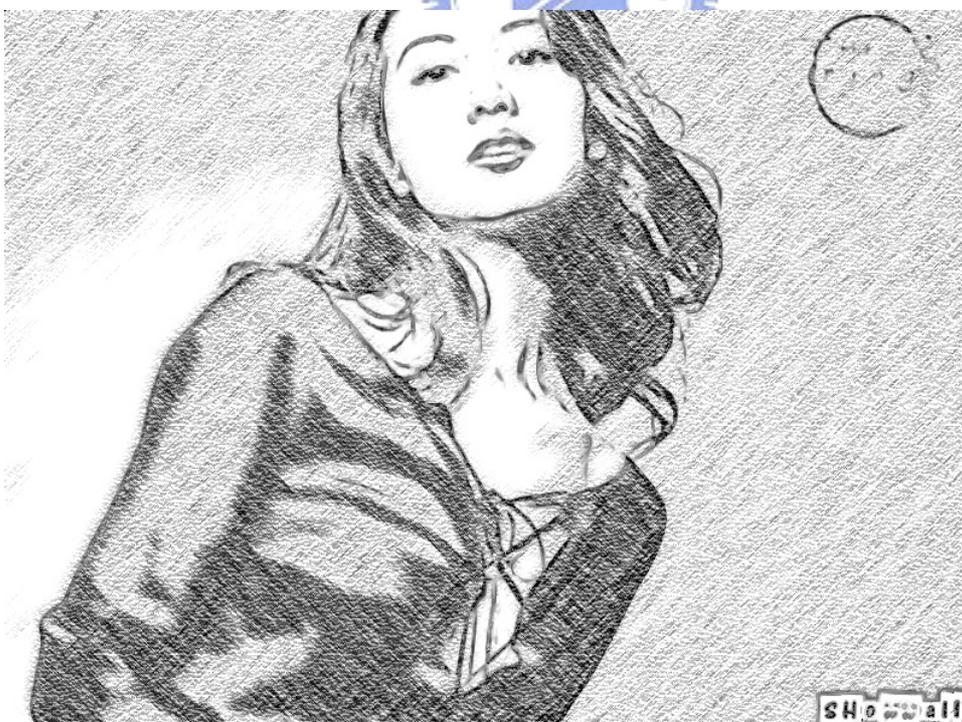
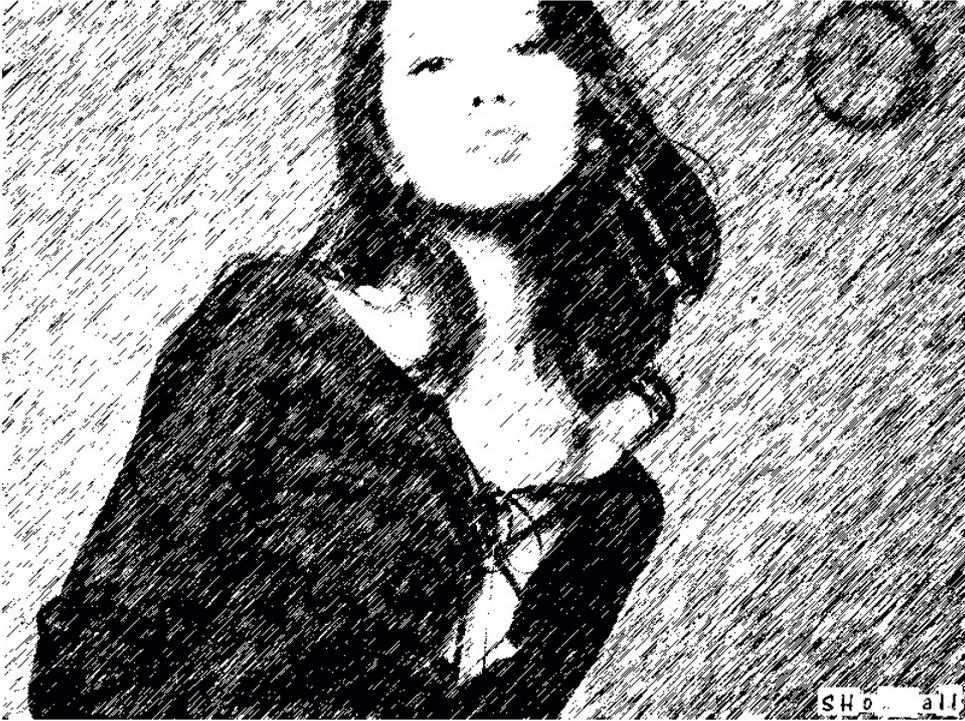


圖 4-13 : (A) 女星網路照片



(B) 實驗結果



(C) Photoshop 素描結果



第十一個實驗以女星 Grace Kelly 寫真照片作為輸入，如圖 4-14 (A)。圖 4-14 (B) 為我們的最後結果，(C) 為 Photoshop 的結果。



圖 4-14 : (A) 女星 Grace Kelly



(B) 實驗結果



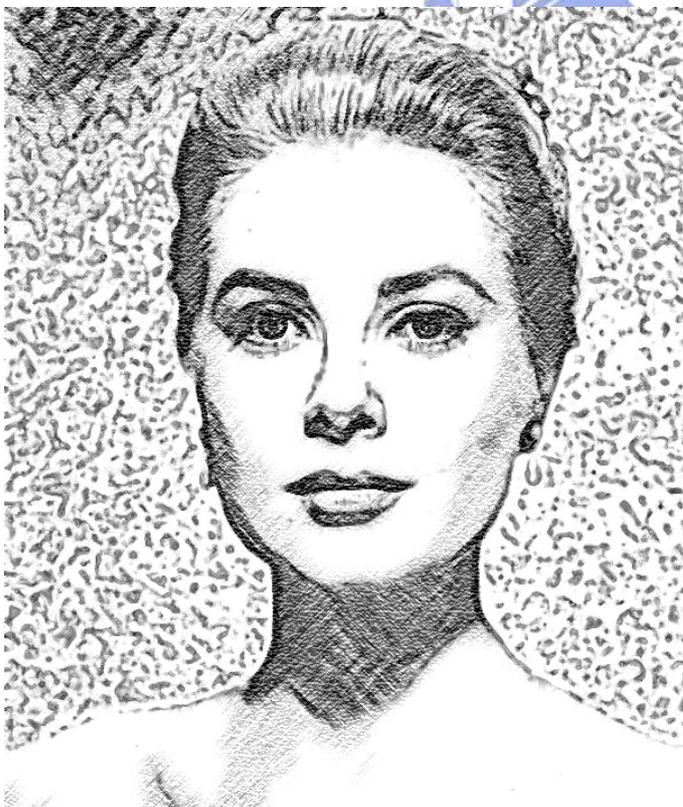
(C) Photoshop 素描結果



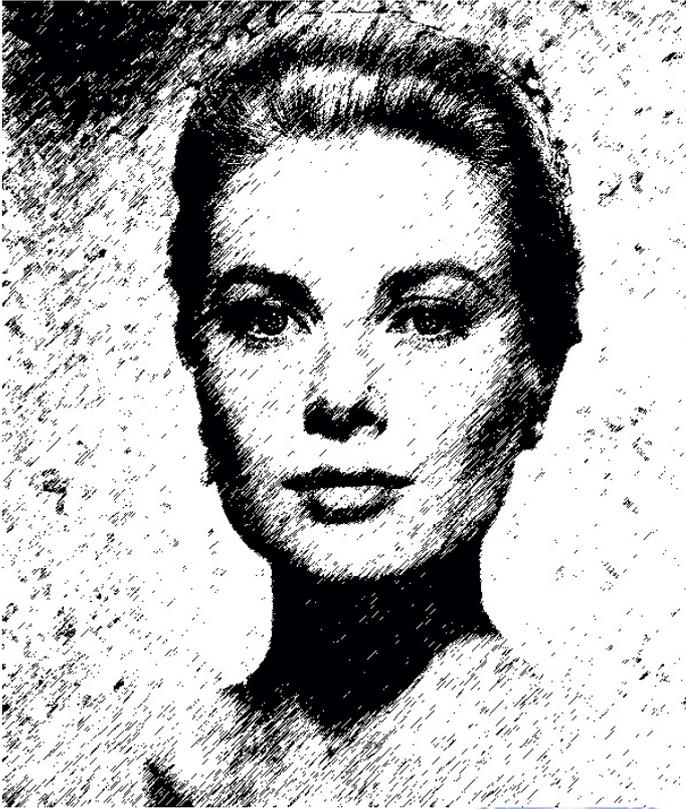
第十二個實驗以女星 Grace Kelly 寫真照片作為輸入，如圖 4-15 (A)。圖 4-15 (B) 為我們的最後結果，(C) 為 Photoshop 的結果。



4-15 : (A) 女星 Grace Kelly



(B) 最後結果



(C) Photoshop 素描結果



第十三個實驗以政治人物 Kennedy 照片作為輸入，如圖 4-16 (A)。圖 4-16 (B) 為我們的最後結果，(C) 為 Photoshop 的結果。



圖 4-16 : (A) 政治人物 Kennedy



(B) 實驗結果



(C) Photoshop 素描結果



第十四個實驗以汽車照片作為輸入，如圖 4-17 (A)。圖 4-17 (B) 為我們的最後結果，(C) 為 Photoshop 的結果。



圖 4-17 : (A) 汽車照片



(B) 實驗結果



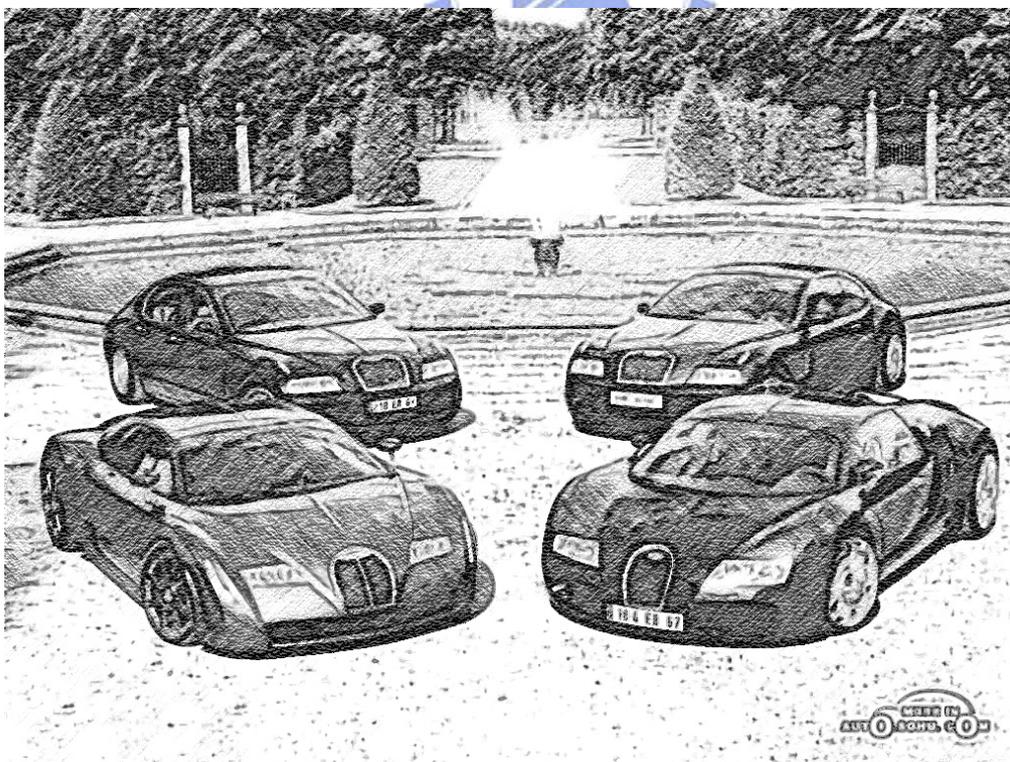
(C) Photoshop 素描結果



第十五個實驗以汽車照片作為輸入，如圖 4-18 (A)。圖 4-18 (B) 為我們的最後結果，
(C) 為 Photoshop 的結果。



圖 4-18 : (A) 汽車照片



(B) 實驗結果



(C) Photoshop 素描結果



第十六個實驗以 Bogie 劇照作為輸入，如圖 4-19 (A)。圖 4-19 (B) 為我們的最後結果，(C) 為 Photoshop 的結果。



圖 4-19 : (A) bogie 劇照



(B) 實驗結果



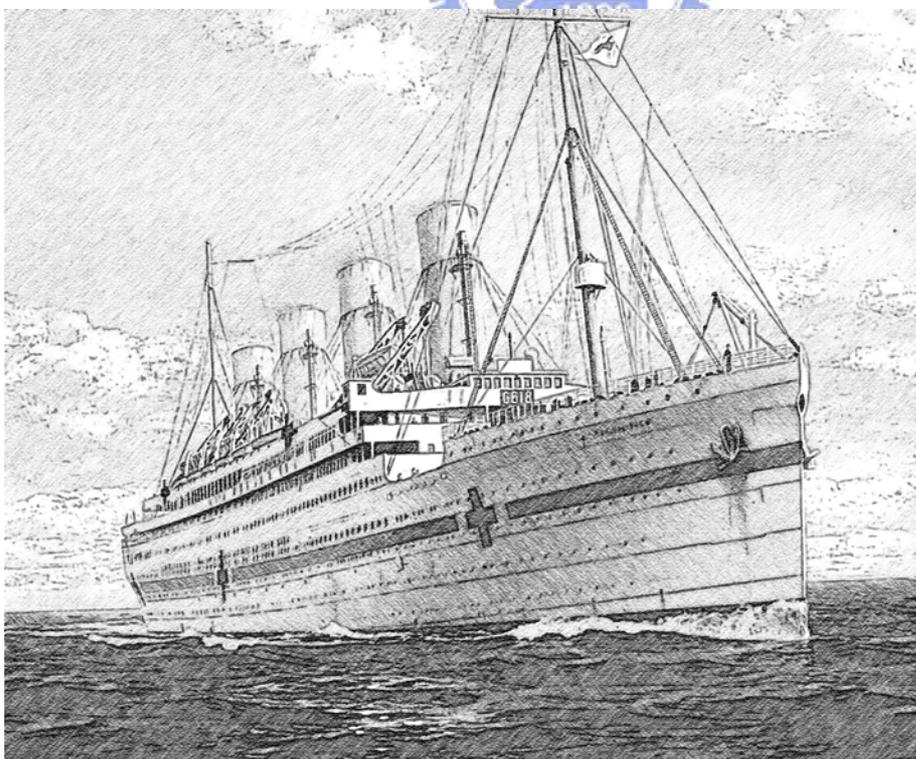
(C) Photoshop 素描結果



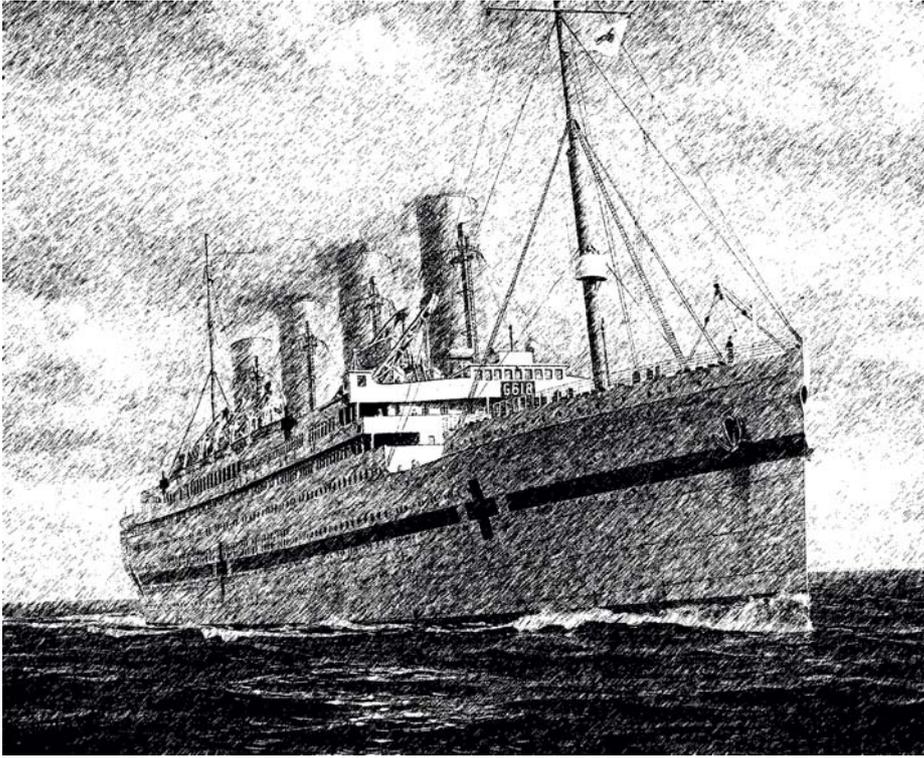
第十七個實驗以輪船照片作為輸入，如圖 4-20 (A)。圖 4-20 (B) 為我們的最後結果，
(C) 為 Photoshop 的結果。



圖 4-20 : (A) 輪船照片



(B) 實驗結果



(C) Photoshop 素描結果



第十八個實驗以輪船照片作為輸入，如圖 4-21 (A)。圖 4-21 (B) 為我們的最後結果，
(C) 為 Photoshop 的結果。

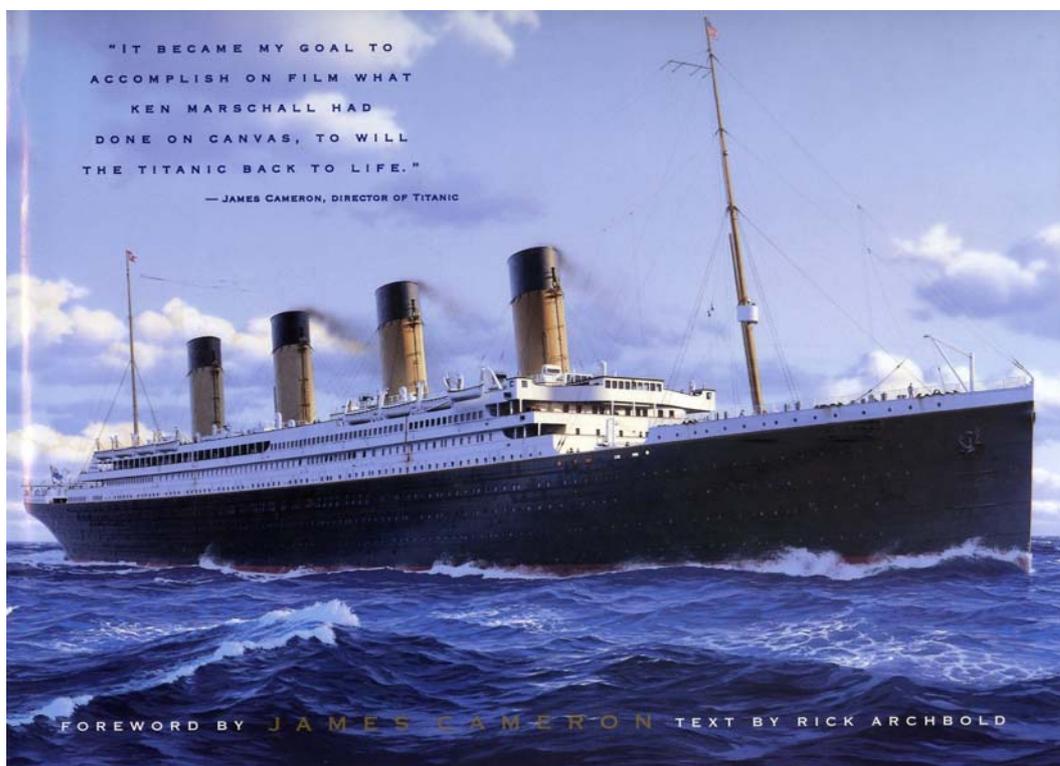
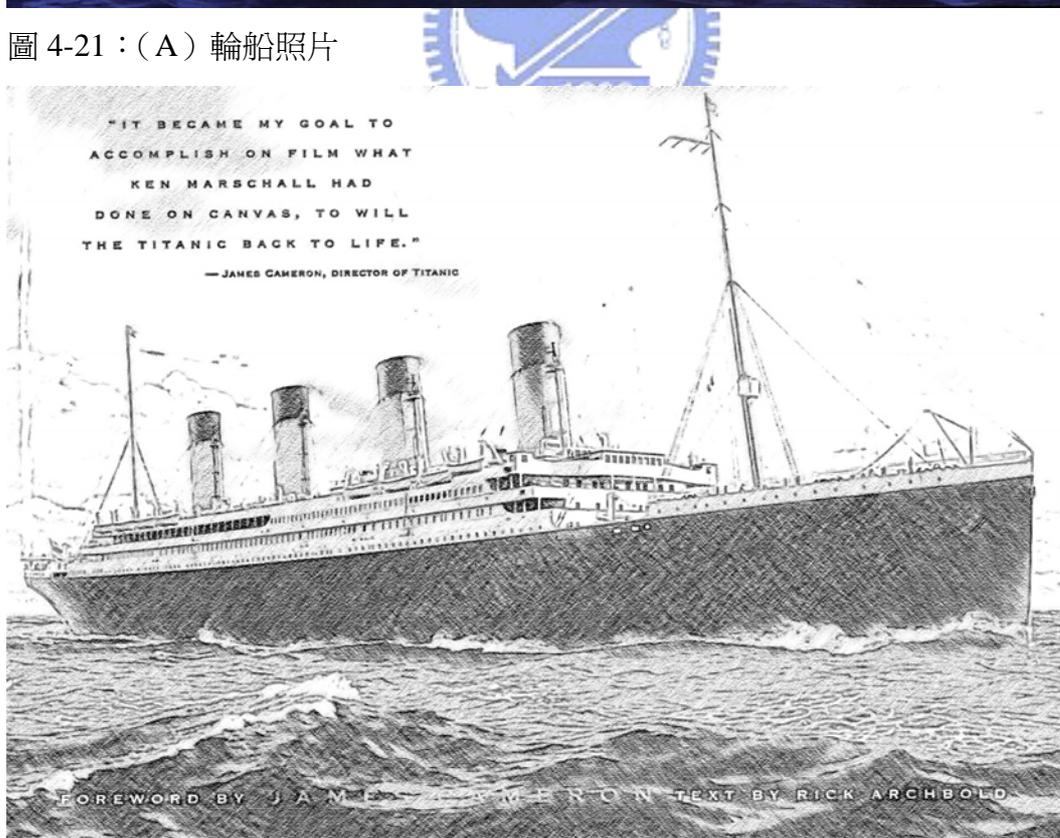
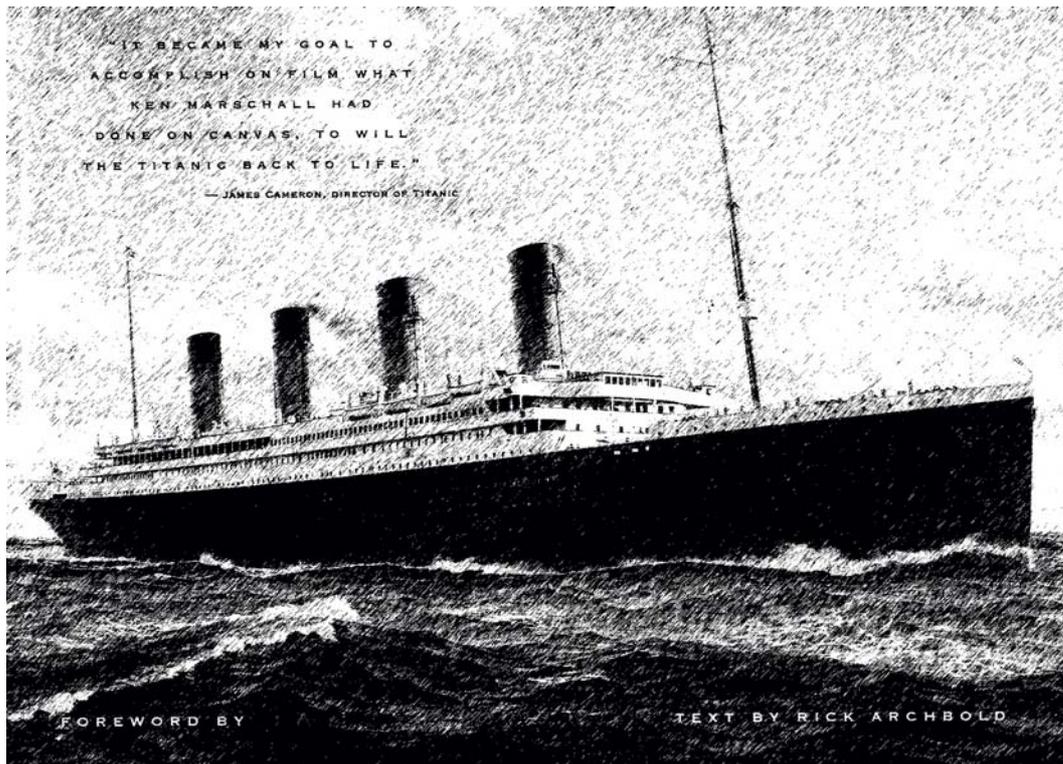


圖 4-21 : (A) 輪船照片



(B) 實驗結果



(C) Photoshop 素描結果



第十九個實驗以王建民照片作為輸入，如圖 4-22 (A)。圖 4-22 (B) 為我們的最後結果，(C) 為 Photoshop 的結果。



圖 4-22 : (A) 王建民照片



(B) 實驗結果



(C) Photoshop 素描結果



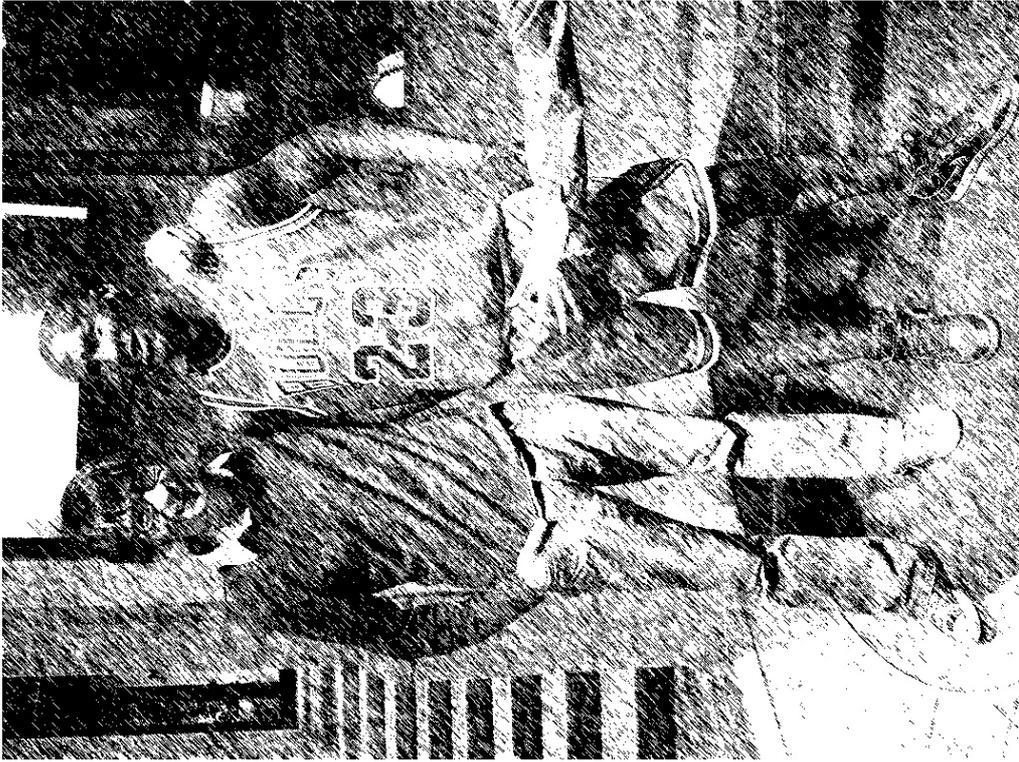
第二十個實驗以 Jordan 合照照片作為輸入，如圖 4-23 (A)。圖 4-23 (B) 為我們的最後結果，(C) 為 Photoshop 的結果。



圖 4-23 : (A) Jordan 合照圖片



(B) 實驗結果



(C) Photoshop 素描結果



4.2 結果與效能分析

從實驗結果來看，輸入的圖像畫質越高，主體與背景的對比越明顯，則素描的效果越好，在人物素描的圖像中，輪廓結構強化圖也將神韻的部分都完全的表現出來，輪廓的使用上，Center-Off 演算法所找出的輪廓結構也幾乎能涵括了所有筆觸較輕的輪廓表現，致使素描圖不但有深與淺的兩種輪廓表現，更有著兩層不同筆觸方向的質感，使其就整體表現而言，較諸前述文獻與 Photoshop 之結果更令人滿意，效果圖的立體感更強烈。數位紙質的效果也讓紙面凹凸感表現亦相當突顯。

在效能方面，在 CPU 1.8G、512MB 記憶體的環境下，以一張 640 乘以 480 的圖片來說，處理時間只需要 5 秒左右，佔最多處理時間的是 Center-Off 演算法，以及輪廓結構強化處理，約佔了 70% 的整體處理時間。



第五章

結論

此篇論文乃提出可自動化產生鉛筆筆觸素描圖的方法，且加入較深度的輪廓突顯素描圖的神韻，並讓結果圖有接近在畫紙作畫的效果，也完全避免輸入參數讓使用者更能簡易的使用，讓軟體完全自動化。此方法的結果是由五個特定區域的素描組合而成，第一：最暗層亮度特徵著色。第二：次暗層亮度特徵著色。第三：灰層亮度特徵著色。第四：輪廓結構強化圖。第五：輪廓結構圖。這五者皆可給予素描圖不同的視覺感覺，進而營造出層次感。

在經過大量圖片測試後，發現只取暗層一層的筆觸效果在表現上改進成將暗層再分出最暗層以及次暗層，讓暗層的層次更加突顯，對暗層的細節表現提升不少視覺效果，輪廓結構強化圖的引入也的確能將人物的神韻表現抓出，使的素描圖片更有生氣。而在未來規劃上，筆觸粗細、長短之變化，以及筆觸方向都可再作改良與進步，甚至引用更多不同紙質效應加入。亦可試著將此方法套用到彩色圖像上，讓鉛筆素描圖應用到彩色鉛筆或者蠟筆畫上，也希望能應用在需要影像處理的產品中，如一般的影像處理軟體，數位像機應用軟體上，甚至手機上，讓使用者有更多平台能方便的使用，增加產品的娛樂性，祈望能達成些許貢獻。

參考文獻

- [1] Michael P. Salisbury , Sean E. Anderson , Ronen Barzel , David H.Salesin ,
”Interactive Pen-and-Ink Illustration” , Computer Graphics Proceedings , pp.101~108 ,
1994.
- [2] G. Winkerbach , D. H. Salesin , “Computer-Generated Pen-and-Ink Illustration” ,
SIGGRAPH94 conference proceedings , pp. 91-100, 1994.
- [3]Oliver Deussen , Thomas Strothotte , “Computer-Generated Pen-and-Ink Illustration of
Trees” , Computer Graphics Proceedings , pp.13~18, 2000.
- [4] Xiaoyang Mao , Yoshiyasu Nagasaka and Atsumi Imamiya , “Automaic Generation of
Pencil Drawing From 2D Images Using Line Integral Convolution”
CAD/Graphics’ , pp.240~248,2001
- [5] Shigefumi Yamamoto , Xiaoyang Mao , Atsumi Imamiya , “Enhanced LIC Pencil
Filter” , IEEE Computer Graphics , Imaging and Visualization Proceedings ,
pp.251~256 , 2004.
- [6] Nan Li and Zhiong Huang , “A Feature-Based Pencil Drawing Method” , SIGGRAPH
conference proceedings , pp. 135 , 2003.
- [7] Kyoko Murakami , Reiji Tsuruno , and Etsuo Genda , "Multiple Illuminated Paper Textures
for Strokes" Computer Graphics International 2005 paper
- [8] Nan Li , Zhiong Huang , “A feature-based pencil drawing method” , Proceedings of the
1st international conference on Computer graphics and interactive techniques and South
East Asia , February 11-14 , 2003 , Melbourne, Australia
- [9]B.Cabral and C. Leedom , ”Imaging Vector Field Using Line Integral Convolution”
 , SIGGRAPH93 conference Proceeding , pp.263~270 , 1993.
- [10]馬紀哲、林正中, ”相片中主題之突顯與素描”, 碩士論文, 2004.
- [11]張彥佶、林正中, ”相片之自動化鉛筆式素描顯像”, 碩士論文, 2005.