

國立交通大學

資訊科學工程研究所

碩 士 論 文

鉛筆素描中寬筆觸、中筆觸、細筆觸之引用
判定與融合處理

The Use of Line Strokes of Various Width in Pencil Sketch

研 究 生：徐啟倫

指 導 教 授：林正中 博士

中 華 民 國 一 百 零 二 年 七 月

鉛筆素描中寬筆觸、中筆觸、細筆觸之引用判定與融合處理

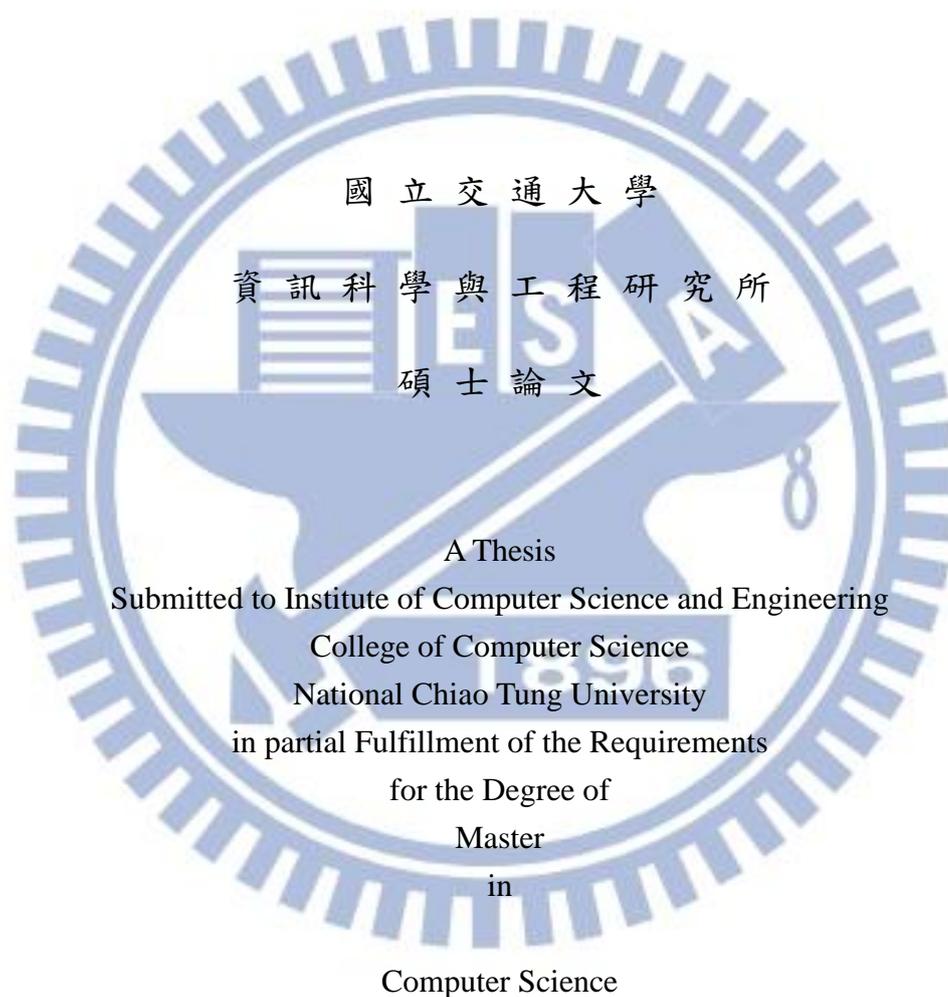
The Use of Line Strokes of Various Width in Pencil Sketch

研 究 生：徐啟倫

Student：Chi-Lun Hsu

指 導 教 授：林正中

Advisor：Cheng-Chung Lin



July 2013

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國一百零二年七月

鉛筆素描中寬筆觸、中筆觸、細筆觸之引用判定與融合處理

學生：徐啟倫

指導教授：林正中 副教授

國立交通大學資訊與工程研究所碩士班

摘要

在鉛筆素描之模擬範疇中，本論文旨在探討如何利用面積資訊來定義影像中寬筆觸、中筆觸和細筆觸的繪製。做法主要如下：1. 根據影像中各種不同的灰階度加以分層。2. 將亮度分層中的區塊大小做統計，區分出大面積區塊和小面積區塊。3. 依據面積區塊的大小決定筆觸的寬度，亮度資訊決定筆觸的濃淡，梯度資訊決定筆觸的方向。

本論文提出的方法以手繪素描真實筆觸呈現的角度切入，目的在於增加素描時筆觸的豐富性，使得素描時有個指標能夠選擇筆觸的種類，並佐以各種資訊來定義筆觸的參數探討其素描模擬結果。

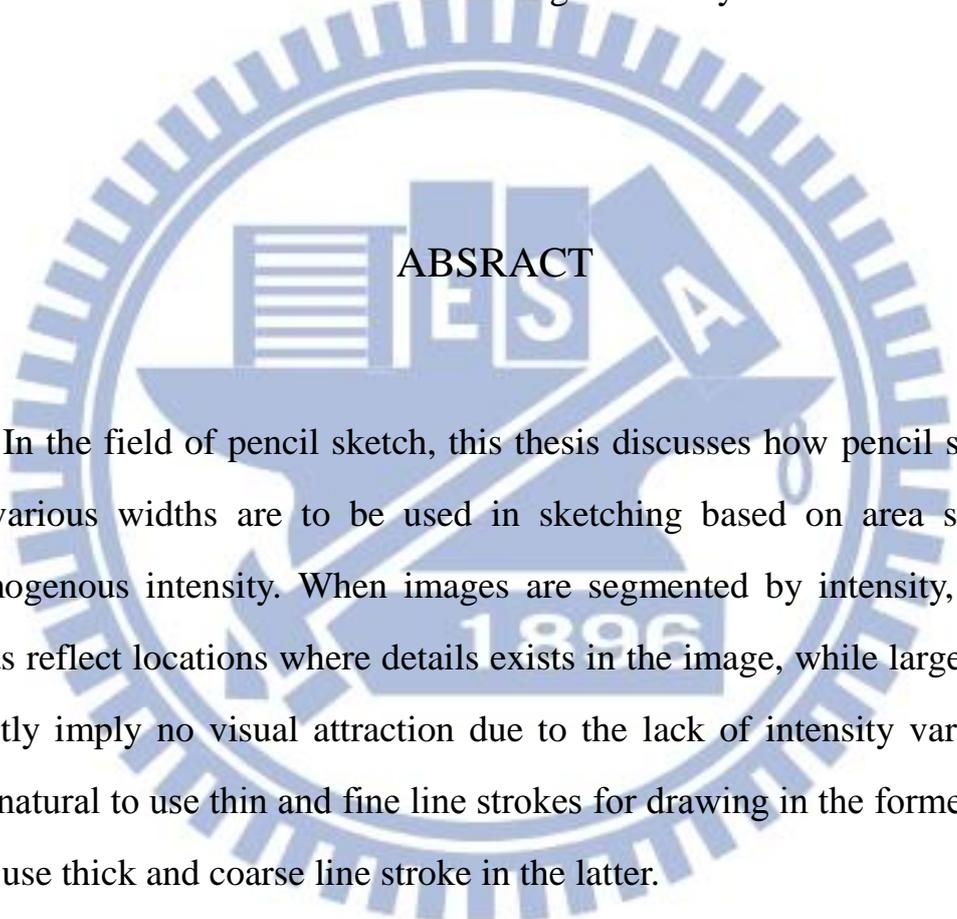
The Use of Line Strokes of Various Width in Pencil Sketch

Student : Chi-Lun Hsu

Advisor : Cheng-Chung Lin

Institute of Computer Science and Engineering

National Chiao Tung University

The watermark is a large, light blue circular emblem. It features a gear-like outer border. Inside, there are stylized representations of a book, a building, and a ship. The letters 'NCTU' are prominently displayed in the center, with '1896' at the bottom. The word 'ABSTRACT' is overlaid on the center of the emblem.

ABSTRACT

In the field of pencil sketch, this thesis discusses how pencil strokes of various widths are to be used in sketching based on area size of homogenous intensity. When images are segmented by intensity, small areas reflect locations where details exist in the image, while large areas mostly imply no visual attraction due to the lack of intensity variation. It's natural to use thin and fine line strokes for drawing in the former case and use thick and coarse line stroke in the latter.

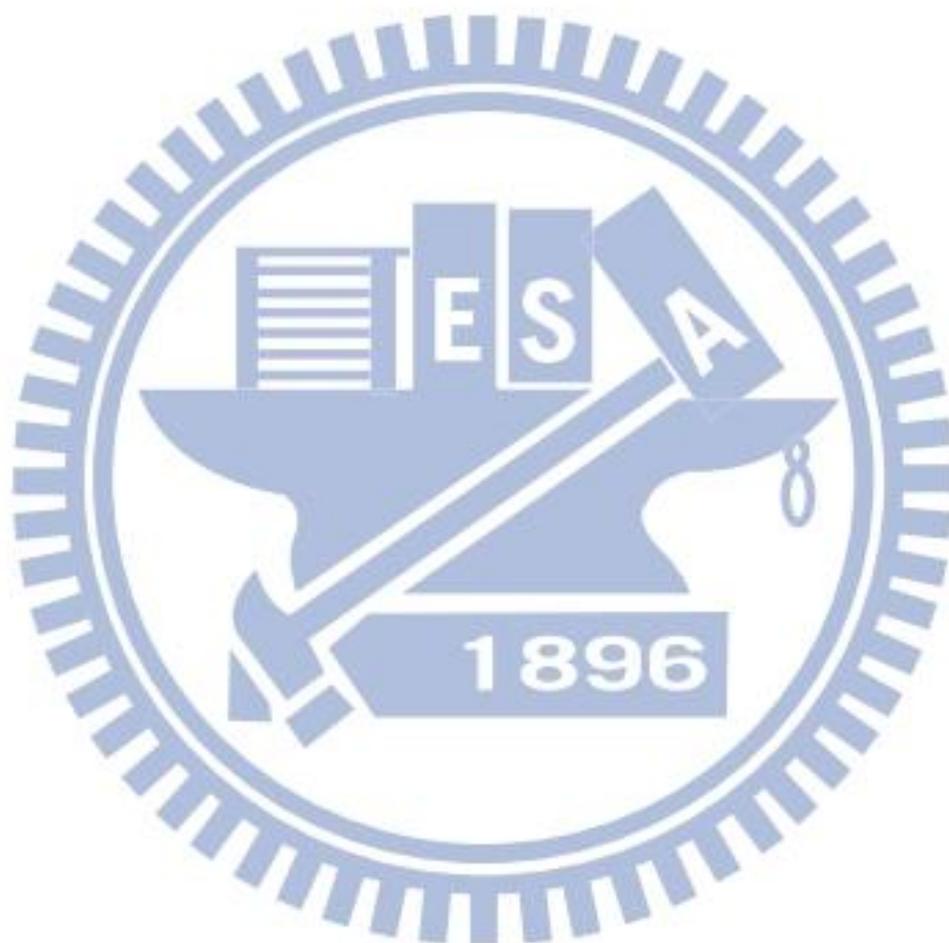
An automated system is implemented based on the idea aforementioned, bringing one more stroke attribute: the stroke width, to the sketching, in addition to such attributes as orientation, thickness already exploited in previous works of pencil sketching.

目 錄

摘 要.....	i
ABSTRACT	ii
目 錄.....	iii
圖片目錄.....	vi
第一章 簡介.....	1
1.1 參考文獻尚未嘗試之領域.....	5
1.1.1 筆觸的濃淡.....	5
1.1.2 筆觸的間距.....	5
1.1.3 筆觸的粗細.....	6
1.1.4 筆觸的長短.....	6
1.1.5 筆觸的方向.....	6
第二章 相關研究.....	8
2.1 輪廓捕捉.....	8
2.1.1 Sobel 運算子.....	8
2.1.2 Center-Off 演算法.....	10
2.1.3 FDoG 演算法.....	11

2.2 筆觸模擬	13
第三章 處理方法	17
3.1 前言	17
3.2 系統架構	17
3.3 灰階分層	21
3.4 筆觸模擬	24
3.4.1 寬筆觸及中筆觸	25
3.4.2 細筆觸	28
3.5 輪廓處理	30
3.6 面積區分	33
3.7 筆觸方向	39
3.8 筆觸融合	45
第四章 實驗結果	50
4.1 影像類型與結果分析	51
4.1.1 一般影像	51
4.1.2 同色系大面積影像	53
4.2 實驗結果圖	55

4.2.1 一般影像	55
4.2.2 同色系大面積影像	77
第五章 結論	105
參考文獻.....	106



圖片目錄

圖 1 - 1：顆粒濃密度低、線條間隔大、鉛筆寬度窄	3
圖 1 - 2：顆粒濃密度低、線條間隔大、鉛筆寬度中	3
圖 1 - 3：顆粒濃密度低、線條間隔大、鉛筆寬度寬	3
圖 1 - 4：顆粒濃密度中、線條間隔大、鉛筆寬度小	4
圖 1 - 5：顆粒濃密度中、線條間隔大、鉛筆寬度中	4
圖 1 - 6：顆粒濃密度中、線條間隔大、鉛筆寬度寬	4
圖 2 - 1：歐巴馬原圖及其 Sobel 運算後的結果	8
圖 2 - 2：9x9 像素遮罩	10
圖 2 - 3：Center-Off 及 Sobel 運算比較	11
圖 2 - 4：FDoG 與其他演算法結果的比較	12
圖 2 - 5：FDoG 迭代的結果	12
圖 2 - 6：FDoG 對雜訊的過濾	13
圖 2 - 7：分層示意圖，文獻[6]	14
圖 2 - 8：分層標記示意圖，文獻[6]	14
圖 2 - 9：筆觸軌跡標記點連結的順序，文獻[6]	15
圖 2 - 10：Catmull-Rom Splines 示意圖，文獻[14]	16
圖 3 - 1：本論文系統流程圖	19

圖 3 - 2：文獻[4]的影像分層效果和原圖	22
圖 3 - 3：文獻[7]的影像亮度分布圖	23
圖 3 - 4：動態與靜態分層的素描結果圖	24
圖 3 - 5：以文獻[6]的寬筆觸模組繪製圖例	25
圖 3 - 6：影像灰階分層及其標記點後的結果	26
圖 3 - 7：中筆觸及寬筆觸的連線方式	28
圖 3 - 8：不同 k 值所產生出之雜訊圖	29
圖 3 - 9：細筆觸結果	30
圖 3 - 10：9x9 像素遮罩	31
圖 3 - 11：不同 r 值所做出來 Center-Off 後的結果	32
圖 3 - 12：灰階分層後第 16 層之結果	33
圖 3 - 13：大面積區域再區分較大面積區域與較小面積區域(不考慮 全域指標)	36
圖 3 - 14：大面積區域再區分較大面積區域與較小面積區域(考慮全 域指標)	36
圖 3 - 15：面積區域分布圖(16 灰階分層區域加總)	38
圖 3 - 16：中、寬筆觸六個方向比較結果圖	40
圖 3 - 17：中筆觸及寬筆觸的筆觸方向圖	44
圖 3 - 18：面積區域分布圖	45

圖 3 - 19：單純依據面積區域分佈所產生的三筆觸融合圖	46
圖 3 - 20：中、寬筆觸結果圖中，影像留白的部分	47
圖 3 - 21：對留白的部分做處理與留白、非留白部分皆處理比較	48
圖 3 - 22：不同筆觸融合參數所做出來的結果圖	49
圖 4 - 1：歐巴馬肖像及其實驗結果圖	51
圖 4 - 2：汽車展示圖及其實驗結果圖	53
圖 4 - 3：鋼筆畫作品	54
圖 4 - 4：美國總統 Obama 肖像、本論文及文獻[4]的實驗結果.....	55
圖 4 - 5：國父肖像、本論文及文獻[4]的實驗結果圖.....	57
圖 4 - 6：嬰兒沙龍照、本論文及文獻[4]的實驗結果圖.....	59
圖 4 - 7：小孩生活照、本論文及文獻[4]的實驗結果圖.....	61
圖 4 - 8：女孩生活照、本論文及文獻[4]的實驗結果圖.....	63
圖 4 - 9：美國女星 Marilyn Monroe、本論文及文獻[4]的實驗結果圖	65
圖 4 - 10：劉德華肖像、本論文及文獻[4]的實驗結果圖.....	67
圖 4 - 11：美國女星 Grace Kelly 肖像、本論文及文獻[4]的實驗結果 圖	69
圖 4 - 12：美國女星 Grace Kelly 肖像、本論文及文獻[4]的實驗結果 圖	71
圖 4 - 13：美國政治家 Kennedy 肖像、本論文及文獻[4]的實驗結果	

圖	73
圖 4 - 14：中國女星李小路肖像、本論文及文獻[4]的實驗結果圖	75
圖 4 - 15：瓢蟲照片、本論文及文獻[4]的實驗結果圖	77
圖 4 - 16：駿馬照片、本論文及文獻[4]的實驗結果圖	79
圖 4 - 17：小狗照片、本論文及文獻[4]的實驗結果圖	81
圖 4 - 18：香蕉照片、本論文及文獻[4]的實驗結果圖	83
圖 4 - 19：輪船照片、本論文及文獻[4]的實驗結果圖	85
圖 4 - 20：車子照片、本論文及文獻[4]的實驗結果圖	87
圖 4 - 21：車子照片、本論文及文獻[4]的實驗結果圖	89
圖 4 - 22：車子照片、本論文及文獻[4]的實驗結果圖	91
圖 4 - 23：車子照片、本論文及文獻[4]的實驗結果圖	93
圖 4 - 24：車子照片、本論文及文獻[4]的實驗結果圖	95
圖 4 - 25：建築物照片、本論文及文獻[4]的實驗結果圖	97
圖 4 - 26：建築物照片、本論文及文獻[4]的實驗結果圖	99
圖 4 - 27：建築物照片、本論文及文獻[4]的實驗結果圖	101
圖 4 - 28：風景照片、本論文及文獻[4]的實驗結果圖	103

第一章 簡介

計算機繪圖對影像資訊之呈現大致可分為兩大類，一種是擬真像處理 (Photorealistic Rendering, PR) 以及非擬真顯像處理 (Non-Photorealistic Rendering, NPR)。在 PR 的領域中，希望追求的效果是能夠越貼近照片效果越好，但在 NPR 上面剛好相反。NPR 除了考慮影像品質外，更要求目標能夠突顯特徵或是忽略掉某些細節部分。而近年來，有關 NPR 的研究越來越多，由此可見人們對於 NPR 處理技術的重視程度日益增加。

就輸入分類而言，非擬真顯像大略可分為 2D 影像系統 (Image-based system) 與處理 3D 模型或場景的系統 (Geometry-based system)，而本論文著重於處理 2D 影像的素描系統。有別於其他繪畫素材如蠟筆、粉蠟筆、水彩筆等 NPR 處理技術，鉛筆素描少了顏色的表達，也因此更注重於線條的表現方式。以線條的粗細和間距來描述物體的明暗深淺，並且藉以留白的方式來表現光影。因為少了彩度的變化，因此畫家必須使用筆觸的長短、粗細、間距以及力道等方式來呈現影像的變化，並利用這些明暗變化來襯托出物品的立體感。由此可見，筆觸的表現對於鉛筆素描的影響是相當大的。

本論文主要是探討不同粗細的筆觸在影像中該如何呈現。筆觸的

控制因素大約可分為粗細、長短、濃淡、疏密和方向。吾人作畫時對於想加以特別突顯的部分會細膩的去著墨，而對於那些想忽略的部分，往往都是草草幾筆帶過。這種強調特徵，忽略某些細節的繪圖方式亦為本論文所嘗試處理之課題。

筆觸在素描領域之中扮演相當大的角色，縱使繪畫時使用同樣的筆觸寬度和下筆力道，若是筆觸的間距不同，則產生出的效果也會差異很大。或是使用相同的濃度和筆觸的間距，這使用不同粗細的筆觸也會使得整體感覺不一樣。本論文即是探討在素描繪畫時，該如何判定筆觸的寬度、濃度…等筆觸參數。因此也參考了一些關於研究筆觸參數的文獻，圖 1-1 到 1-6 為文獻[6]對於鉛筆素描中寬筆觸效應所做的實驗觀察結果圖。

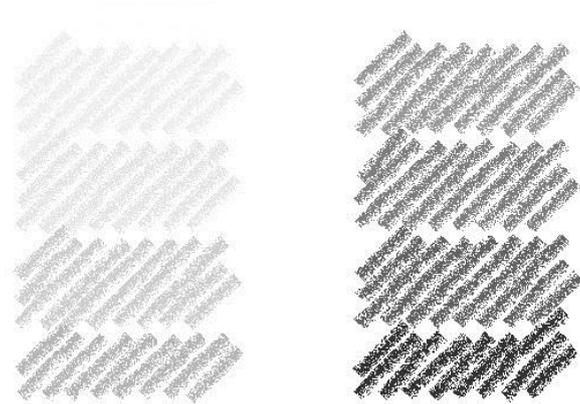


圖 1 - 1：顆粒濃密度低、線條間隔大、鉛筆寬度窄

圖 1-1:



圖 1 - 2：顆粒濃密度低、線條間隔大、鉛筆寬度中

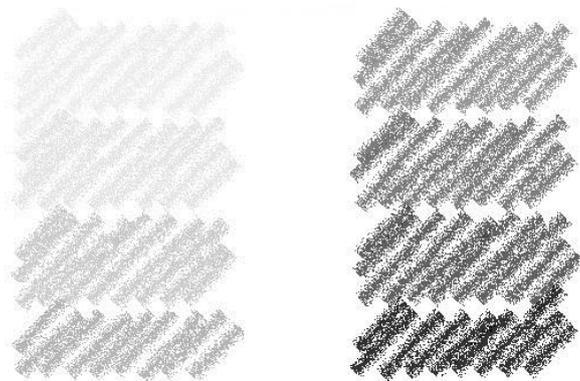


圖 1 - 3：顆粒濃密度低、線條間隔大、鉛筆寬度寬

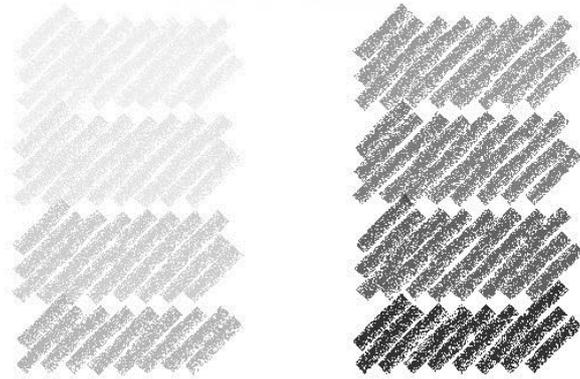


圖 1 - 4：顆粒濃密度中、線條間隔大、鉛筆寬度小

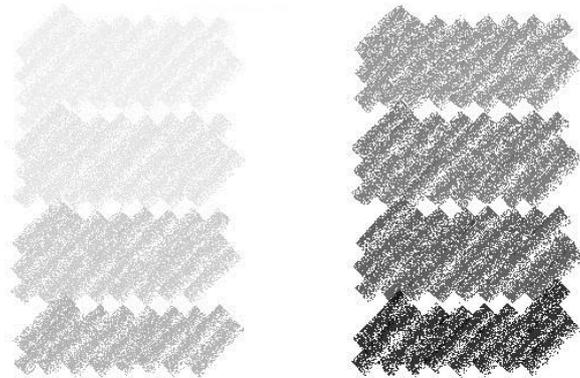


圖 1 - 5：顆粒濃密度中、線條間隔大、鉛筆寬度中

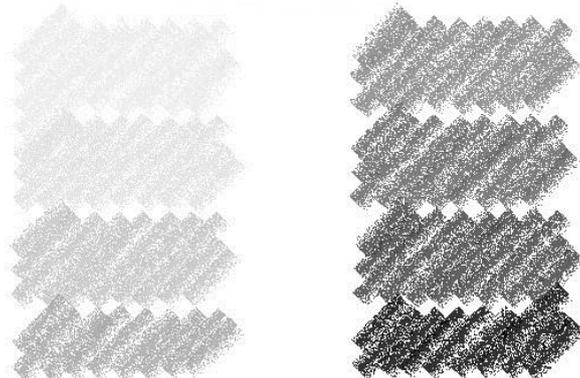


圖 1 - 6：顆粒濃密度中、線條間隔大、鉛筆寬度寬

1.1 參考文獻尚未嘗試之領域

一般而言，素描筆觸的控制參數約可分為濃淡、間距、粗細、長短、方向…等。在本論文的筆觸模擬系統中，將針對筆觸的濃淡、粗細、方向等參數做探討，後兩者是參考文獻中較少被提及的。

1.1.1 筆觸的濃淡

在筆觸的濃淡參數中，本論文先將原圖做灰階分層。分層的方式是以每十六個像數值為一個間距，將原圖灰階分為十六層。接著把每一層灰階平均值，定義成該分層筆觸的濃淡指標，而筆觸的分層將在本論文 3.3 節細述。

1.1.2 筆觸的間距

考慮到結果圖的效率以及品質，本論文將輸入的原圖調整成 $1200 \pm 300 \times 1200 \pm 300$ 的大小，超過此大小的圖片則不予以處理。而本論文的間距則設成一個固定值，實做中，由於筆觸方向若非 45 度角，會導致筆觸的間距變小，因此在制定筆觸時，間距會因筆觸方向不同而有所改變。中筆觸的方向若是 45 度角，間距設為 7，否則設為 11；寬筆觸的方向若是 45 度角，間距設為 15，否則設為 22。

1.1.3 筆觸的粗細

在定義完筆觸的濃淡度之後，本論文嘗試區分相同分層中不同大小的區塊，利用區塊面積大小來判定該區塊筆觸的粗細參數，關於面積區分演算法，將在本論文 3.6 節講解。

1.1.4 筆觸的長短

面積區分演算法所找出來的區域，不僅用來定義筆觸的粗細，亦拿來當作筆觸長短的依據。若是區分出來的區域越大，則結果圖所呈現的筆觸也就越長；否則就越短。這是由於本系統會在好的區域中尋找筆觸軌跡標記點，而尋找筆觸軌跡標記點的方式在 3.4.1 節有說明。由於筆觸軌跡標記點之間有固定的間距，若區域越大，則標記點相對會越多，結果圖所呈現的筆觸也會較長。本論文即是利用筆觸軌跡標記點的多寡來決定筆觸的長短。

1.1.5 筆觸的方向

當筆觸的濃淡、間距、粗細及長短參數決定之後，最後我們決定該筆觸的方向。本論文決定筆觸的方向是以原圖中的梯度資訊當做依據，利用原圖中梯度方向轉九十度後得到筆觸的方向，而筆觸方向的尋找將在本論文 3.7 節說明。

本論文的程式系統設計能夠讓使用者輸入圖片影像後並產生出具有素描風格的結果圖，而且無須使用者額外輸入任何參數。透過多次的實驗調整，使這種自動化生成素描圖的結果能夠讓使用者接受。本論文將在第二章介紹前人所做過的相關研究。第三章說明本論文的系統架構與流程和每一步驟的說明。第四章將會呈現實驗的結果和說明。第五章則為本論文的總結以及未來可以改進和發展的研究方向。



第二章 相關研究

不論是國內或是國外，目前已有許多以影像為基礎來產生出藝術風格圖像的相關論文。例如水墨畫[1]、色鉛筆[2]、漫畫風[3]以及本論文所研究的鉛筆素描畫[4][5][6][7][8]，其繪畫的結果都有各自的風貌。以下將介紹兩種常用的鉛筆素描模擬之處理方式，包括物體輪廓捕捉及繪畫筆觸。

2.1 輪廓捕捉

常用方法包括使用 Sobel、Center-off、FDoG 等邊緣偵測運算，茲略述如下。

2.1.1 Sobel 運算子

在鉛筆素描的模擬上面，輪廓偵測是相當重要的一環。一張影像的輪廓若處理得當，可以使得素描結果更有神韻。而在輪廓偵測中，最基本的方法就是使用索貝爾運算子(Sobel Filter)。這個運算包含兩個運算子如下：

$$D_1 = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}, D_2 = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{bmatrix}$$

G_x 和 G_y 分別是檢知影像中，X 方向以及 Y 方向的邊緣變化。使用

前著兩個運算子和圖像作平面卷積(Convolution)，即可分別的出橫向和縱向的亮度差分近似值。 G_x 和 G_y 的求法如下：

$$G_x = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} * A, \quad G_y = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{bmatrix} * A$$

其中 A 代表原始圖像中 3x3 的部份像素值。而圖像中每一個像素的梯度大小 G 可以由以下公式來結合：

$$G = \sqrt{G_x^2 + G_y^2}$$

並且利用下列公式來計算梯度方向：

$$\theta = \arctan\left(\frac{G_y}{G_x}\right)$$

圖 2 - 1：歐巴馬原圖及其 Sobel 運算後的結果



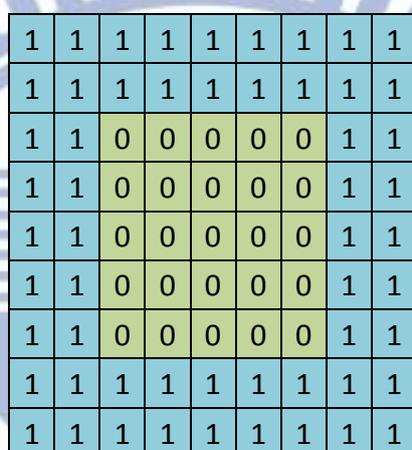
(A)原圖



(B)Sobel 運算後的結果

2.1.2 Center-Off 演算法

而在文獻[4][9]提到另一種稱為 Center-off 邊緣偵測演算法，此種演算法式模擬人類的視覺反應，將影像中相對周圍較暗的區域擷取出來，而這些相對周圍較暗的區域往往是影像中的邊緣結構所在之處。利用此演算法一樣能夠將邊緣給偵測出來，其運算子如下：

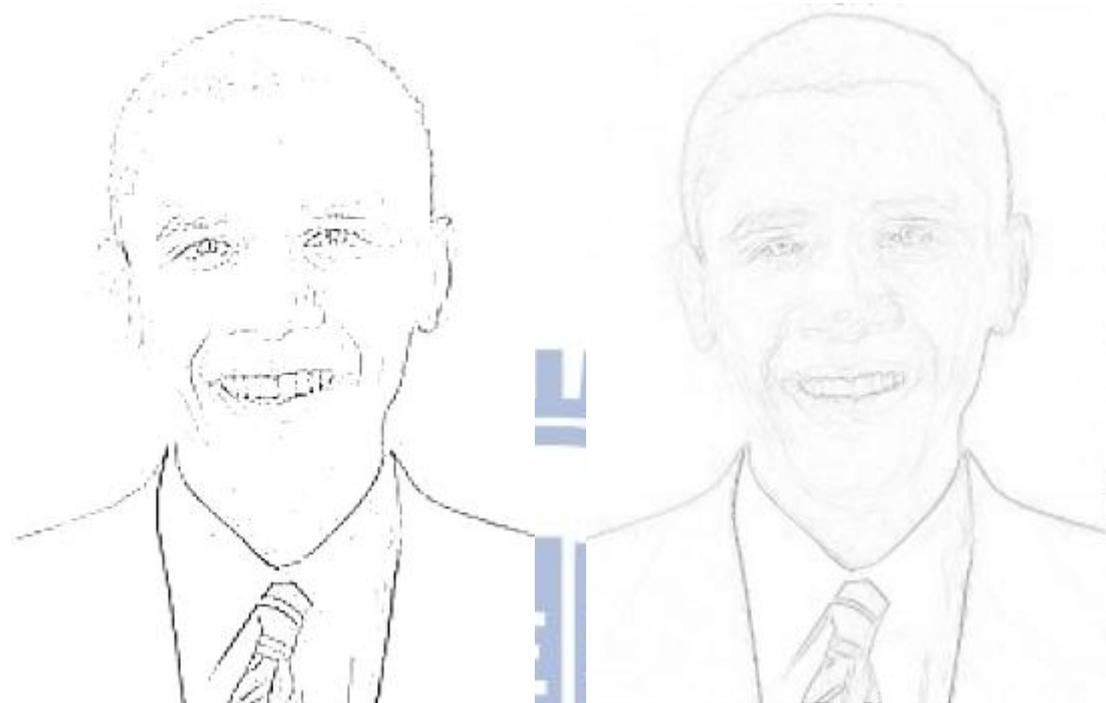


1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	0	0	0	0	0	1	1
1	1	0	0	0	0	0	1	1
1	1	0	0	0	0	0	1	1
1	1	0	0	0	0	0	1	1
1	1	0	0	0	0	0	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1

圖 2 - 2：9x9 像素遮罩

其運算方式是將處理像素周圍 9x9 範圍的像素值與此遮罩算出一個相關係數。若此相關係數大於一個臨界值，則表示該處理像素為我們所需要的像素；否則刪除。圖 2-3 分別為 Center-Off 的結果以及 Sobel 運算的結果

圖 2 - 3：Center-Off 及 Sobel 運算比較



(A)Center-Off 後的結果

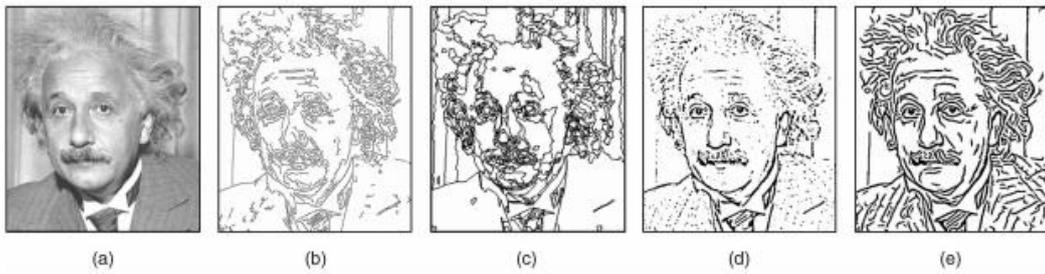
(B)Sobel 運算後的結果

2.1.3 FDoG 演算法

先前提到的兩種邊緣偵測方法，都是以運算子為基礎來處理該像素和遮罩的關係。而在文獻[10][11]上則提出了一種 ETF 向量流為基礎的邊緣偵測，稱之為 FDoG(flow-based difference-of-Gaussian)。FDoG 能夠產生比 Cammy edge detector[12]、mean-shift filter[13]和 DoG 更平滑及保留更多細節的邊緣偵測。圖 2-4 為 FDoG 與其他演算法結果的比較。FDoG 可增加其迭代的次數使得結果擁有更精美的邊緣，其迭代的成效如圖 2-5 所示。同時，FDoG 在雜訊的消除上亦有不錯的效果，圖 2-6 即可看出此種成效。但是這種較為複雜的演算法，

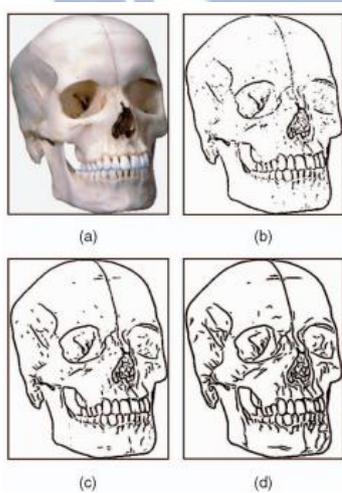
其處理起來所花費的時間，和前面所提到的 Sobel、Center-Off 比較起來也是相對長的。

圖 2 - 4：FDoG 與其他演算法結果的比較



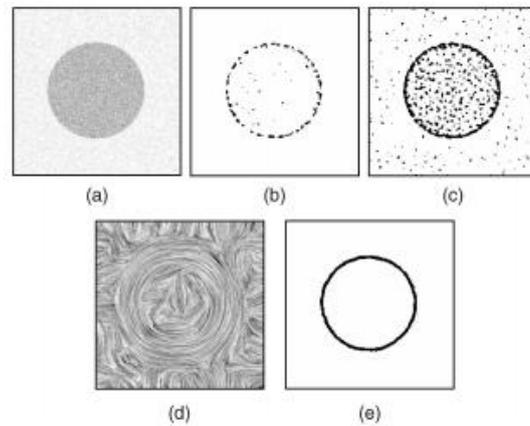
(a)輸入圖 (b)Canny (c)Mean shift (d)Isotropic DoG (e)FDoG 文獻[11]

圖 2 - 5：FDoG 迭代的效果



(a)輸入圖(b)Isotropic DoG(c)第一次 FDoG(d)第三次 FDoG 文獻[11]

圖 2 - 6：FDoG 對雜訊的過濾



(a)輸入圖 (b) Isotropic DoG ($\gamma=0.2$) (c) Isotropic DoG ($\gamma=0.7$) (d) ETF
(e) FDoG 文獻[11]

2.2 筆觸模擬

在筆觸模擬方面，本論文為了追求更豐富多元的筆觸，除了採用文獻[4] 所提到的改良式 LIC(Line Integral Convolution)演算法來模擬筆觸，也參考文獻[6]的方法來繪製較寬筆觸的部分。

文獻[6]首先將輸入影像依造灰階亮度以靜態的方式分層，如圖 2-7 所示。其中，K0 表示第一層，K1 表示第二層...以此類推。

	灰階值
K0	255
K1	226
K2	203
K3	180
K4	157
K5	134
K6	111
K7	88
K8	65
K9	40
	0

圖 2 - 7：分層示意圖，文獻[6]

接著文獻[6]在原圖上做每個灰階層的標記，標記的方式是將整張圖切割成 10x10 像素的區域，接著對每個 10x10 像素的區域做統計，若該 10x10 區域中某一灰階值超過一定的比例(文獻[6]設定為 25%)。則將該 10x10 區域做一個所屬灰階層的標記。

A	A	A	A	A	A	C	C	C	C
A	A	A	A	A	A	C	C	C	C
A	A	A	A	A	C	C	C	C	C
A	A	A	A	C	C	C	C	C	C
A	A	A	A	C	C	C	C	C	C
A	A	A	A	C	C	D	D	D	D
A	A	B	D	D	D	D	D	D	D
B	B	B	D	D	D	D	D	D	D
B	B	B	B	D	D	D	D	D	D
B	B	B	B	D	D	D	D	D	D

圖 2 - 8：分層標記示意圖，文獻[6]

如圖 2-8，在這 10x10 的區域之中，灰階值 A 有 30 個，灰階值 B 有 12 個，C 有 28 個，D 有 30 個。因 ACD 超過 25%，因此灰階值分層 ACD 中在這 10x10 像素區域都會被標記，由於這些被標記的點是本論文製作筆觸時的軌跡依據，因此本論文稱這些被標記的點為筆觸軌跡標記點。接著文獻[6]將這些標記點連結起來，如圖 2-9，黑點當做起點，以左下角為優先順序來尋找下一個標記點，若左下角沒有標記點，則尋找候補標記點的順序如下所示。找到第二個標記點後，再依照同樣的方法尋找下一個標記點。若優先及後補位置都沒有筆觸軌跡標記點，則視最後找到的筆觸軌跡標記點為筆觸終點，這也呼應前面 1.1.4 節談論筆觸長短時，所提的筆觸軌跡標記點越多，筆觸越長之說法。



圖 2 - 9：筆觸軌跡標記點連結的順序，文獻[6]

在連結處理中，若只是單純的將兩條線連接起來會顯得相當死板。

因此文獻[6]參考文獻[14]利用 Catmull-Rom Splines 來解決此問題。

Catmull-Rom Splines 是利用 4 點所定義的一元三次參數曲線，該曲線

以 4 點中的第二點做為起點，第三點作為終點，如圖 2-10。

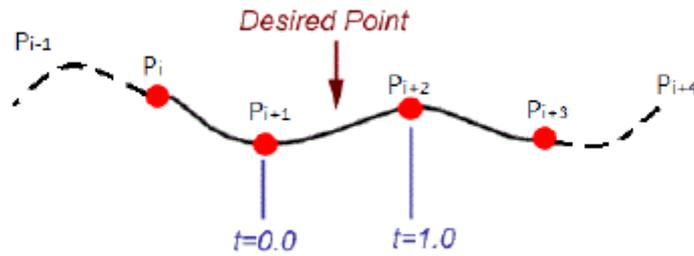


圖 2 - 10：Catmull-Rom Splines 示意圖，文獻[14]

Catmull-Rom Splines 的公式如下：

$$C(x(t),y(t)) = 0.5 \begin{bmatrix} 1 & t & t^2 & t^3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 & 2 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 1 & 0 \\ 2 & -5 & 4 & -1 \\ -1 & 3 & -3 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_i & y_i \\ x_{i+1} & y_{i+1} \\ x_{i+2} & y_{i+2} \\ x_{i+3} & y_{i+3} \end{bmatrix}$$

$$C(x(t),y(t)) = 0.5 \begin{bmatrix} 1 & t & t^2 & t^3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 & 2 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 1 & 0 \\ 2 & -5 & 4 & -1 \\ -1 & 3 & -3 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_i \\ P_{i+1} \\ P_{i+2} \\ P_{i+3} \end{bmatrix}$$

其中， t 為決定 P_{i+1} ， P_{i+2} 中間各點的參數值，若是輸入 0 則為 P_{i+1} ，輸入 1 則為 P_{i+2} ，輸入 0 到 1 之間的值，則可計算出分布於 P_{i+1} 與 P_{i+2} 之間各點的對應做標。從上列運算式可以發現， $C(x(t),y(t))$ 不僅受到 P_{i+1} 以及 P_{i+2} 影響，同時也會受到 P_i 與 P_{i+3} 影響，因此由這個方法所計算出來的曲線較為平滑、不突兀。

第三章 處理方法

3.1 前言

本論文希望藉由一套自動化的方法，來使一張彩色圖像轉換為具有素描風格的結果圖。而此種影像轉素描的相關研究也有不少，本論文將重點放在於使用更多樣筆觸在圖像呈現的效果。一般的影像素描系統，其筆觸的特質大多固定不變，因此所產生出來的素描圖效果較為單調。這也是為何本論文使用了三種筆觸特性來模擬素描，希望藉由這樣來使得結果圖上的筆觸較為多樣化。

3.2 系統架構

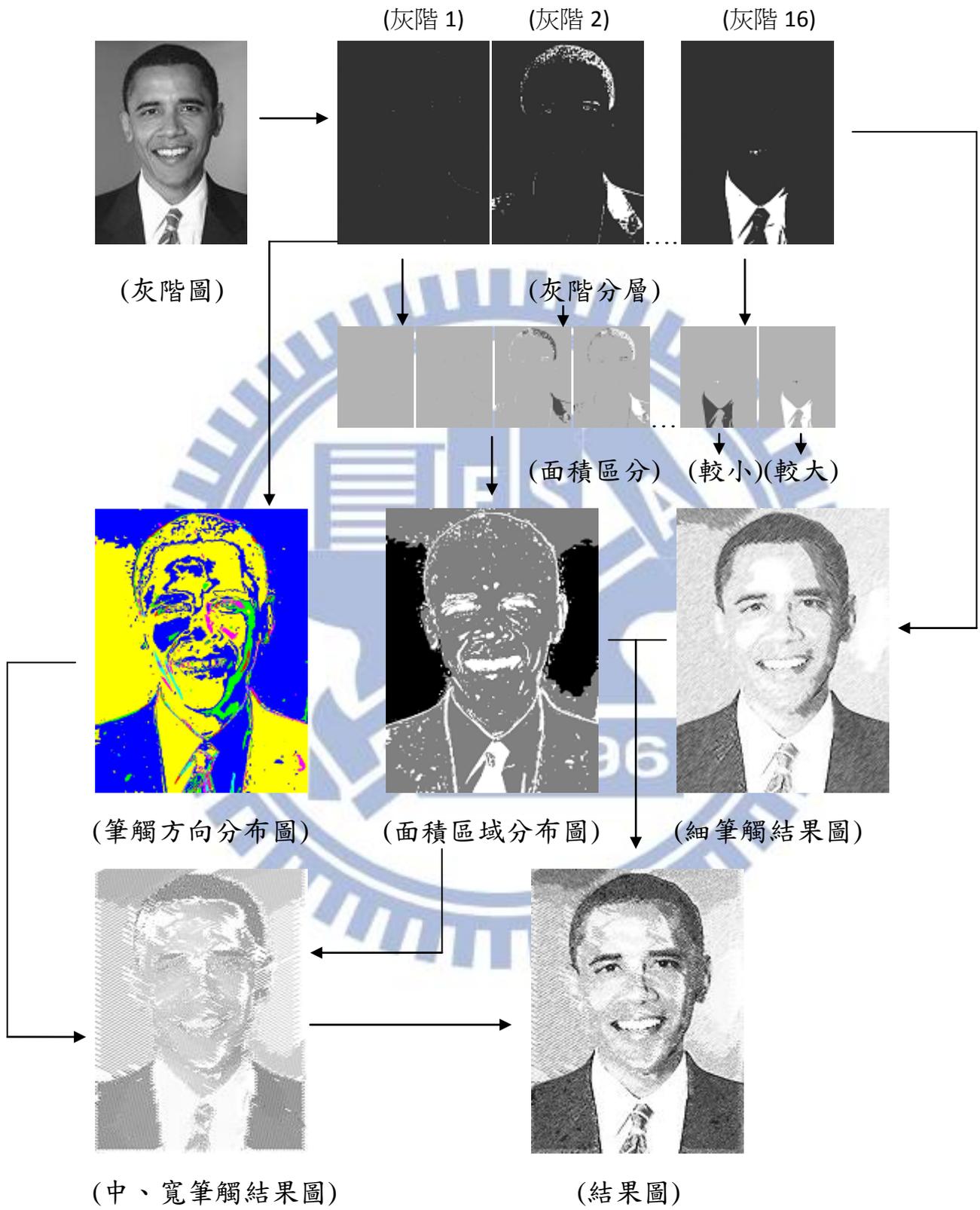
為了凸顯影像中細膩部分的重要性，以及處理人像時加強五官神韻的效果，本論文將系統主要區分為六個步驟。第一步驟：將輸入影像轉成灰階並做亮度分層，並且使用分層後的灰階值當作筆觸濃度。第二步驟，將亮度分層依照區域的面積大小，將分層的結果分成較大面積區域和較小面積區域，並且利用這些區塊大小決定筆觸的長度。第三步驟：算出區塊的梯度平均值，利用區塊中梯度方向的平均決定區塊內筆觸的方向，筆觸方向將在 3.7 節說明，第四步驟：使用第三步驟所得的筆觸方向資訊，模擬出中、寬筆觸含有方向性的筆觸模組

以及細筆觸。第五步驟：將三種筆觸，根據面積區域來做筆觸的分配，為了使得畫面看起來更自然，因此把寬、中筆觸和細筆觸做融合，其融合的方法將會在 3.8 節做說明。第六步驟：加入紙質效果，最後構成一張具有鉛筆素描效果的結果圖。完整架構圖如圖 3-1 所示。

在觀察其他研究和許多商業用的軟體之後，吾人發現一般軟體在處理素描的時候，方法都較為單調，產生出來的結果因此稍嫌平淡。所以吾人採用區域面積區分的方法，找出影像中，亮度一樣但面積大小卻不一樣的地方。舉例來說，眼睛和黑色衣服都是影像中亮度較低的地方，但眼睛一般是素描中需要強調的地方，因此希望用較細膩的筆觸去處理；而衣服若我們不是很想去強調他，通常只會使用幾筆畫來草草帶過。又換句話說，背景和臉部若是亮度差不多，我們希望不要強調背景而來選擇細畫臉部。這時我們就可以依據面積大小資訊來做取捨，選擇用寬筆觸來淡化大面積背景的重要性，而使用細筆觸處理小面積區域來加強五官的神韻。

本論文除了希望素描結果圖筆觸多樣化之外，也希望筆觸方向豐富一些，因此本論文中使用了六種方向的筆觸。在亮度分層上面，為了使結果圖的對比增加，吾人先前也嘗試使用動態分層，使得亮度分界點可以根據影像環境來設定。但使用動態分層的經驗顯示效果並未更佳，因此本論文最後決定使用了靜態分層。

圖 3 - 1：本論文系統流程圖



如圖 3-1 架構，我們將筆觸的參數分為粗細、濃淡、方向、間距及長短。在粗細上面的處理，本論文依據灰階分層做大面積區域與小面積區域的面積區分。利用面積區分所得的面積區域分布圖，在黑色代表之最大面積區域使用寬筆觸的處理，灰色代表之大面積區域使用中筆觸，白色代表之小面積區域使用細筆觸。定義完影像筆觸的粗細之後，本論文利用影像中的梯度資訊得到筆觸方向分布圖。在筆觸方向分布圖中有六個顏色，分別代表不同的筆觸方向。依據這些方向和面積區域分布資訊，以寬、中筆觸處理之後可以得到寬、中筆觸結果圖。而濃淡的參數我們參考灰階分層，本論文使用靜態的方式來做灰階分層，以每 16 個灰階做為一個階層，共可分成 16 層。若原圖灰階落在某灰階分層的上界與下界之間，則我們會把該灰階值重新計算成 $(\text{上界灰階值} + \text{下界灰階值}) / 2$ ，用此定義出筆觸的濃淡。而在筆觸間距的處理上面，本論文將欲處理的圖片調整成 $1200 \pm 300 \times 1200 \pm 300$ 的大小，調整的方法即是將原圖大小乘上兩倍，檢查是否某一邊長超過 1200，若有，則將圖片調整至該大小；否則乘以三倍，再繼續檢查，以此類推。當圖片大小固定在某一個範圍之後，本論文就可以給予筆觸間距一個固定值，在筆觸間距的設定上，中筆觸的方向若是 45 度角，間距設為 7，否則為 11；寬筆觸的方向若是 45 度角，間距設為 15，否則為 22。而最後筆觸的長短則是依據區塊大小來決定，

若是面積區分後的區塊越大，則所能尋找到的筆觸軌跡標記點就越多，相對筆觸的長度也就越大。因此筆觸的長短是依據區塊的大小來決定。

3.3 灰階分層

吾人參考文獻[4][5][7]，發現其素描系統分層的架構大多分為四層，即最暗層，次暗層、灰層和最亮層。吾人認為將影像分成四層，再對影像做處理，會導致結果圖不夠細膩，無法表現出素描中細膩的灰階變化。因此在本論文中，吾人也嘗試將分層數提高到十六層，希望能達到提升結果圖對比的效果。圖 3-2 為分層過後的結果及其原圖，該論文將最亮層做留白處理。

圖 3 - 2：文獻[4]的影像分層效果和原圖



(A) 原圖



(B) 最暗層



(C) 次暗層



(D) 灰層

文獻[4][5][7]使用的分層方式是屬於動態的方式，分層是依據亮度分布圖的曲率變化。如圖 3-3，該圖以曲率變化做大的地方當作分層的界線，以此分出暗層，灰層和亮層。

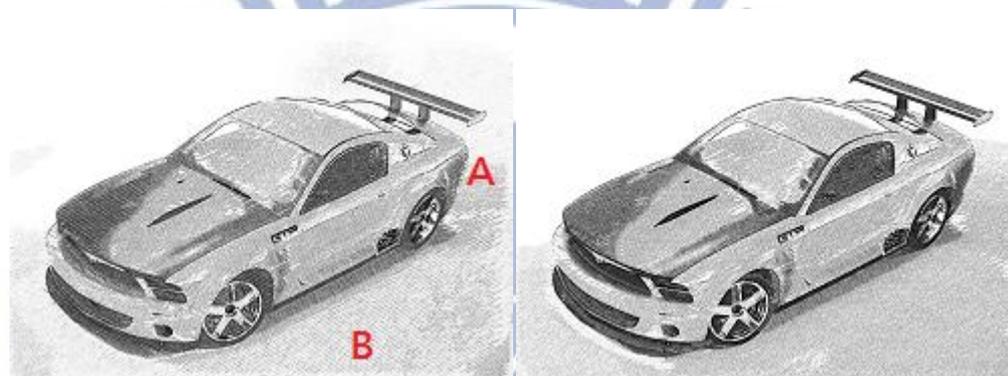


圖 3 - 3：文獻[7]的影像亮度分布圖

在吾人剛開始實驗的時候，也是希望利用灰階分佈曲率變化來當作分層的界線，希望能夠達到明亮度變化明顯的效果，但是實際操作之後，發現如此分層方式實際運作上會有些缺失。如果分界的間隔太過於大，有時會使得結果圖不自然，如圖 3-4(A)，在右下角的部分，若使用動態分層的方式，則會導致 A 區和 B 區的亮度落入不同分層，而如果使用靜態分層的方式，則情況會好一些，如 3-4(B)。靜態分層的方法也較為單純，吾人將層數分為十六層，每一層都差十六個亮度，如此即可包含影像亮度中 256 個亮度。

實則以灰階分佈曲率變化方式處理分層乃分層數不多(6 或 4 以下)的前提下所採之作為，因為每個分層之灰階範圍較廣，兩分層間之介線自有機動調整的空間。但分層數夠高(16 或以上)，已夠細膩，自然較無兩相鄰分層之界線位置判定問題。

圖 3 - 4：動態與靜態分層的素描結果圖



(A)動態分層的結果

(B)靜態分層的結果

3.4 筆觸模擬

在素描領域之中，筆觸往往是決定結果是否生動之關鍵，也因此筆觸的模擬成為相當重要的一環。而在本論文之中，在筆觸粗細之課題上使用了寬筆觸、中筆觸及細筆觸三種模組，在筆觸的構成上面較具多樣性。本節將探討三種筆觸的實做方法。

3.4.1 寬筆觸及中筆觸

本論文曾嘗試單獨用寬筆觸的方式來模擬繪製一張影像，效果如圖 3-5 所呈現。由下圖可以看出，若單純的使用寬筆觸來繪製圖像，

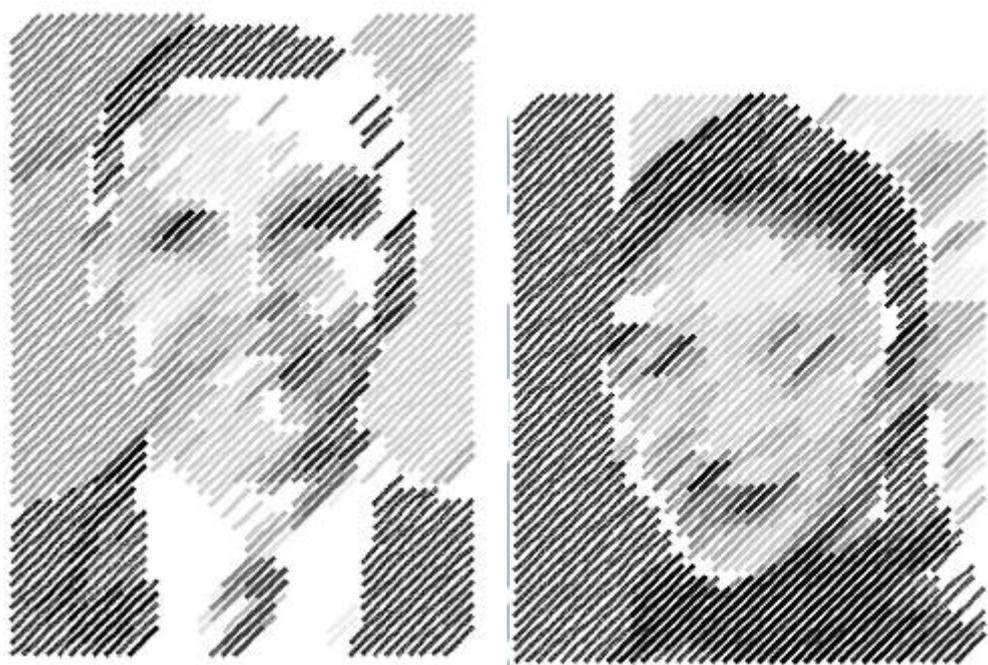


圖 3-5：以文獻[6]的寬筆觸模組繪製圖例

依舊能突顯影像的立體感，例如在上圖中仍可看出肖像五官的部份。在圖 3-5 中，我們將筆觸的寬度設為十個像素。但在本論文寬筆觸的實作上面，我們是將中筆觸和寬筆處的寬度分別設成三個像素和五個像素。

本論文使用 2.2 節所提到繪製寬筆觸的方法。首先在各分層中尋找筆觸軌跡標記點，依據 3.3 節分層的方法，第一層的像素值應落在 0~15 之間，第二層像素值落在 16~31...以此類推。訂定筆觸軌跡標記點的演算法如下，

```

L[i] = ix16, i = 0~15
For ( h = 0 ; h < H ; h+=S )
    For ( w = 0 ; w < W ; w+=S )
        For ( i = 0 ; i < 16 ; i++ )
            If ( Input[h][w] >= L[i] && input[h][w] < L[i+1] )
                output[h][w] = i*10

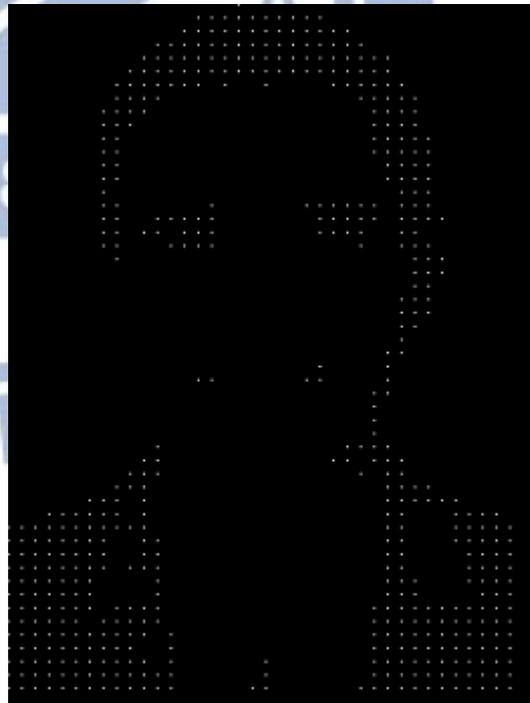
```

S 表示我們所取的筆觸間隔，因為在中、寬筆觸的模擬過程中，會因為筆觸過寬而導致兩筆的筆觸重疊，因此取一個間隔來防止筆觸的重疊，同時也可以模擬人們草草在畫筆觸的時候，筆觸和筆觸之間留白的情形。H 為圖高，W 為圖寬，Input 為輸入，Output 為輸出。圖 3-6(A) 為某一灰階分層的結果，圖 3-6(B) 為筆觸軌跡標記點分佈狀況。

圖 3 - 6：影像灰階分層及其標記點後的結果



(A) 灰階分層



(B) 標記點後的結果

在上例中，為了使結果圖清楚的呈現在論文上，因此設定筆觸軌

跡標記點的大小為 3x3，實做中則是設為 1x1。

標記點完之後便開始繪製寬筆觸，繪製的方式是從左至右，上到下開始尋找是否有標記點。若遇到標記點，則設定為筆觸起點(Stroke Start Point)，接著在筆觸起點周圍延伸 S 範圍內往筆觸方向找尋是否還有標記點。若有，則繼續在新尋獲的筆觸軌跡標記點周圍延伸 S 範圍內往筆觸方向尋找，以此類推；若無，則設定最後一個找到的點為筆觸終點(Stroke End Point)。其演算法如下：

```
C = 0;
For ( i = 0 ; i < 16 ; i++ ) {
    For ( h = 0 ; h < H ; h++ ) {
        For ( w = 0 ; w < W ; w++ ) {
            x = h, y = w;
            If ( Input[x][y] == i*10 ) {
                Set Stroke[C].start = Input[x][y]; // 起點
                Do { tempH = x, tempW = y; // 紀錄點
                    x = findNextX(x), y = findNext(y);
                    while(Input[x][y] == i*10 )
                Set Stroke[C].end = Input[tempH][tempW]; //終點
                C++;
            }
        }
    }
}
}
```

其中，C 代表是第幾條筆觸，Set Stroke[C].start 記錄筆觸的起點；Set Stroke[C].end 記錄筆觸的終點。

連線的方法是將起點和終點連接起來，但光只有兩點的連接所形

成的筆觸太細了。為了加寬筆觸的寬度，在中筆觸的做法是將起點左邊的點和終點上方的點相連，起點下方和終點右方相連；寬筆觸則除了中筆觸的相連外，額外再連四條線，詳細連線方法見圖 3-7。

圖 3-7：中筆觸及寬筆觸的連線方式

						*	o
					*	o	*
				*	o	*	
			*	o	*		
		*	o	*			
	*	o	*				
*	o	*					
o	*						

(A) 中筆觸的連線方式

				@	#		
			@	#	*	o	
		@	#	*	o	*	#
	@	#	*	o	*	#	@
@	#	*	o	*	#	@	
#	*	o	*	#	@		
	o	*	#	@			
		#	@				

(B) 寬筆觸的連線方式

o:中心筆劃 *:寬度一筆劃 #:寬度二筆劃 @:寬度三筆劃

3.4.2 細筆觸

在本論文中，吾人參考文獻[4]的方法繪製作細筆觸。該論文主要採用改良式 LIC(Line Integral Convolution)演算法來模擬筆觸。改

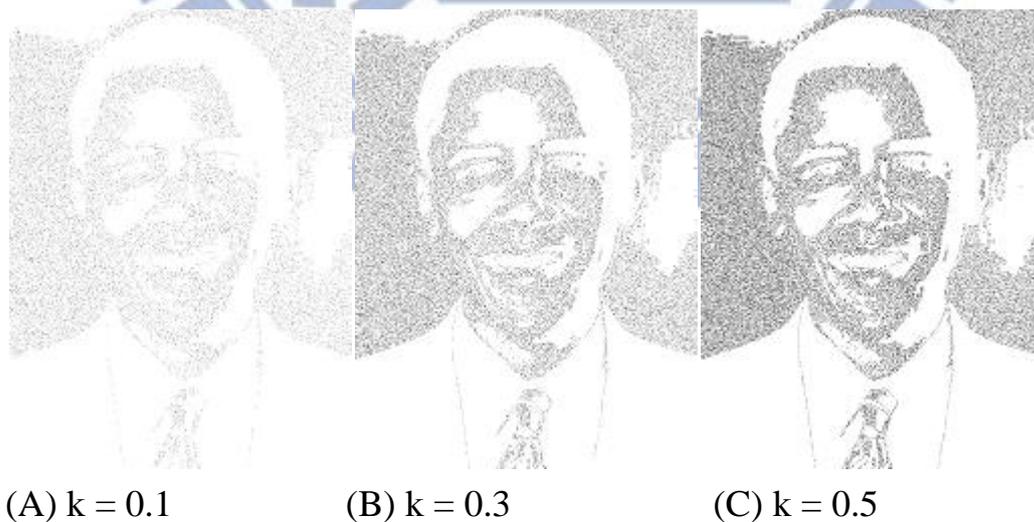
良式 LIC 演算法是使用一張和原圖大小一樣的改良式向量圖(vector field)和雜訊圖(white noise image)對輸入影像做出方向性模糊化的

效果。雜訊圖的產生方式如下：

$$\text{noise} = \begin{cases} 255 & \text{if } P \geq T \\ 0 & \text{else} \end{cases} \quad P = [0.0 \sim 1.0]$$
$$T = k \left(1 - \frac{\text{input}}{255} \right) \quad k = [0.0 \sim 1.0]$$

其中，k 值為一常數，用來控制雜訊圖的明暗程度。根據上述公式，若 k 值越大，會使得雜訊圖越多像素輸出為 0。而 P 值為介於 0 到 1 之間的亂數。本論文中將 k 值設為 0.3，圖 3-8 為不同 k 值所產生出的雜訊圖。

圖 3 - 8：不同 k 值所產生出之雜訊圖



向量圖的產生則是使用 Sobel 運算子(Sobel edge detector)計算出灰階原圖各點的水平 and 垂直變化量。當某個像素的亮度變化值小於一個臨界值，則該像素不予以考慮，並且使用預設向量取代之。圖 3-9 為套用 LIC 演算法之後所產生的細筆觸結果。



圖 3-9：細筆觸結果

3.5 輪廓處理

本論文參考文獻[4][9]的做法，在輪廓的擷取上採用 Center-Off 演算法。目的在於擷取周為相對較暗的區域，而這些區域通常為一影像的主要輪廓架構。做法是以處理中的像素為中心，向外擴張 9 乘 9 像素的遮罩。中間 5 乘 5 設為 0，其餘設為 1，如圖 3-10。

1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	0	0	0	0	0	1	1
1	1	0	0	0	0	0	1	1
1	1	0	0	0	0	0	1	1
1	1	0	0	0	0	0	1	1
1	1	0	0	0	0	0	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1

圖 3 - 10：9x9 像素遮罩

接著計算利用下列運算式計算出處理像素與這個遮罩的相關係數，如果這個相關係數大於一個臨界值，則表示這個像素是我們需要的。接著把原圖亮度對應到 0 和 1，若該像素計算後的相關係數小於臨界值，則設定像素亮度為 255；否則為 1。在本論文中，臨界值設定為 50。而圖 3-11 為不同臨界值所做出來的結果比較。

$$r = \sum_{i,j=-4}^4 (\text{mask}(i,j) - \overline{\text{mask}})(I(i,j) - \bar{I})$$

r : 輪廓指標

mask : 每個遮罩的係數

$\overline{\text{mask}}$: 9x9 的像素遮罩總和平均值

I : 遮罩所對應到的像素值

\bar{I} : 每個遮罩所對應到的像素值的總和平均值

圖 3 - 11：不同 r 值所做出來 Center-Off 後的結果



(A) 臨界值 = 0



(B) 臨界值 = 50



(C) 臨界值 = 100



(D) 臨界值 = 150

3.6 面積區分

在面積區分上，我們定義相同灰階層中，相互接連的像素點為一個區域(region)，如圖 3-11，白色部份即為相同色層。

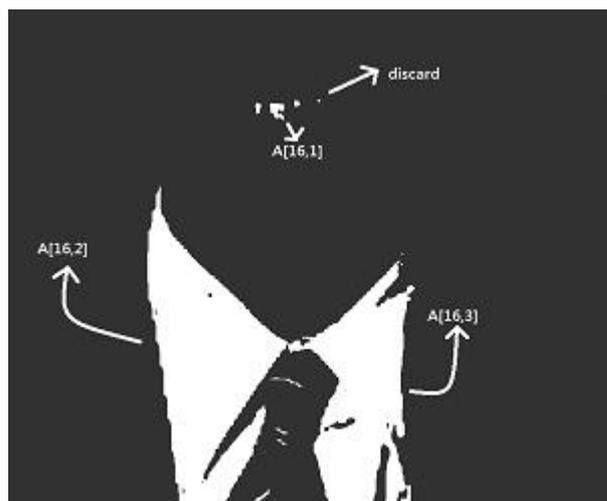


圖 3 - 12：灰階分層後第 16 層之結果

我們首先算出區域面積平均 (local area average, LAA)，和全域面積平均 (global area average, GAA)。區域面積平均是算出每一灰階分層中的面積總平均，且面積過小會被本論文所丟棄不計算，直接判定為小面積區域。區域面積平均計算方式如下列運算式：

$$LAA_i = \frac{1}{k_i} \sum_{j=1}^{k_i} A_{ij} \quad i=1\sim 16, A_{ij} > A_{ref}$$

LAA_i : 灰階分層中的第 i 層區域面積平均

k_i : 灰階分層第 i 層中，區域面積大於 A_{ref} 的區域個數

A_{ij} : 灰階分層第 i 層中，第 j 個區域的面積

A_{ref} : 面積參考值，小於 A_{ref} 的區域不考慮。

而本論文將面積參考值設為 10。全域面積平均和區域面積平均算法一樣，只是全域面積會將全部色階的區域面積加總起來在除以總區域個數(total region count，TRC)，即：

$$GAA = \frac{1}{\sum_{i=1}^{16} k_i} \sum_{i=1}^{16} \sum_{j=1}^{k_i} A_{ij} \quad A_{ij} > A_{ref}$$

其中，全域面積平均算法一樣須考慮參考值的問題。接著我們利用算好的全域面積平均和區域面積平均來區分影像中較大面積區域(larger area region)及較小面積區域(smaller area region)。面積區分的演算法如下。

```

if (  $A_{ij} \leq A_{ref}$  )            $S \leftarrow S \cup R_{ij}$ 
else {
  if (  $A_{ij} < GAA$  ) {
    if (  $A_{ij} < LAA_i$  )  $S \leftarrow S \cup R_{ij}$ 
    else {
      if (  $|A_{ij} - GAA| > |A_{ij} - LAA_i|$  )  $S \leftarrow S \cup R_{ij}$ 
      else  $L \leftarrow L \cup R_{ij}$  }
    }
  else {
    if (  $A_{ij} > LAA_i$  ) set  $R_{ij}$  to  $L$ 
    else {
      if (  $|A_{ij} - GAA| > |A_{ij} - LAA_i|$  )  $L \leftarrow L \cup R_{ij}$ 
      else  $S \leftarrow S \cup R_{ij}$  } }
  }

```

其中， R_{ij} 表示灰階分層第 i 層的第 j 個區域， L 表示大面積區域

集合， S 表示小面積區域集合。若選取面積大於全域和區域面積平均，則表此面積為一個較大面積區域；若小於全域和區域面積平均，則表此面積為一個較小面積區域。因此在此僅對小於全域面積平均卻大於區域面積平均，和大於全域面積平均卻小於區域面積平均做討論。判斷方法是比較目前區域的面積是離全域面積平均較遠，還是離區域面積平均較遠。若離全域面積較遠，表示此面積若以全域性來看，會有較大的差異，因此比較大小的依據將會以全域做為基準，否則反之。

然而依照上述演算法分下來的區域結果，在較大面積區域中仍然會存在一些看起來比較小的區塊。我們希望剔除掉這些存在較大面積區域中的小區塊，使得定義較大面積區域的條件較為嚴格。因此我們再另外計算較大面積區域的總平均，稱之為較大面積區域平均(Larger area region average, LARA)，並且對較大面積區域中的每一個區塊做比較。若區域面積小於較大面積區域平均的五十分之一，則把該區塊重新歸類於較小面積區域平均。圖 3-13 為不考慮全域面積平均的面積區分結果，圖 3-14 為考慮全域面積平均以及剔除較大面積區域中較小面積的結果。由圖 3-13 可發現，在不考慮全域面積平均的指標之下，圖例的左眉將會被歸類在較小面積區域；但考慮全域面積平均後，則兩隻眼睛都會被劃分在較大區域面積。

圖 3-13：大面積區域再區分較大面積區域與較小面積區域(不考慮全域指標)



(A) 較小面積區域(白色區塊) (B) 較大面積區域(白色區塊)

圖 3-14：大面積區域再區分較大面積區域與較小面積區域(考慮全域指標)



(A) 較小面積區域 (白色區塊) (B) 較大面積區域(白色區塊)

圖 3-13、3-14 中，黑、白部分表示灰階分層後的某一層區塊，灰色部分為其他區塊。白色部份是標示小面積區塊或是大面積區塊的所在。

由於我們希望在程式繪畫的過程中，能夠將超級大的大面積，以簡單且用寬筆觸的方式帶過幾筆，這樣能讓我們更凸顯其他地方。因

此在較大面積區域中，我們再定義出最大面積區域，表示這個面積是真的非常大的，需要使用寬筆觸的方式來繪畫。所以我們再去比較剩下的較大面積區域的每一個區塊，若某一個區塊大於 $(3*LARA)/2$ ，則將其歸類於最大面積區域。圖 3-15 表示面積區分完之後，最大面積區域、較大面積區域以及較小面積區域的分布情形。

圖 3-15 中，黑色部分為最大面積區域，灰色部分為較大面積區域，白色部份為較小面積區域。由於區分的時候是依照亮度分層後一層一層的去區分，然後最後再合成面積區域分布圖，因此才會導致灰色部分會比黑色部分來的大。從圖 3-15 可以看到，利用以上的面積區分方法已經可以將眉毛、眼睛...等五官歸類在較小面積區域，屆時繪畫的時候，能以細膩的筆觸呈現；其他部分則用中筆觸或是寬筆觸來繪畫。

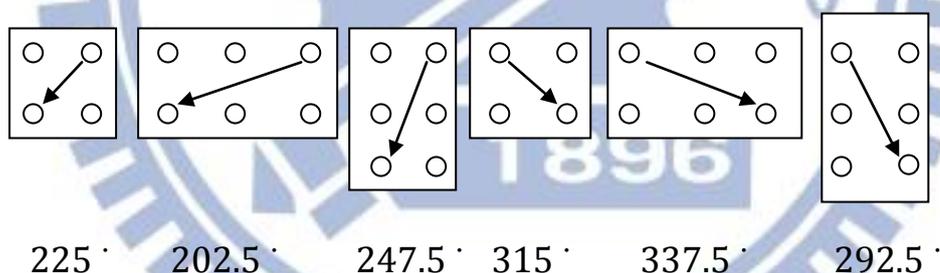


圖 3 - 15：面積區域分布圖(16 灰階分層區域加總)

{ 黑色部分：寬筆觸區域
{ 灰色部分：中筆觸區域
{ 白色部份：細筆觸區域

3.7 筆觸方向

一般人在畫素描的時候，常常以 225 度和 315 度當作主要的筆觸方向。所以一般的素描系統中，筆觸的方向也都多以這兩種方向為主。本論文為了使得筆觸方向看起來更多樣化，因此加入了 202.5 度、247.5 度、292.5 度和 337.5 度等方向。之所以不添加 180 度和 270 度這兩種方向，是因為個人在素描的時候，不常使用這種垂直或是水平的筆觸方向，這樣會使得素描看起來不太真實。根據在前面所提及的筆觸軌跡標記點尋找方法，吾人利用這些取出的點來定義方向。本論文將中、寬筆觸分為六個方向。其找下一個點的順序分別如下：



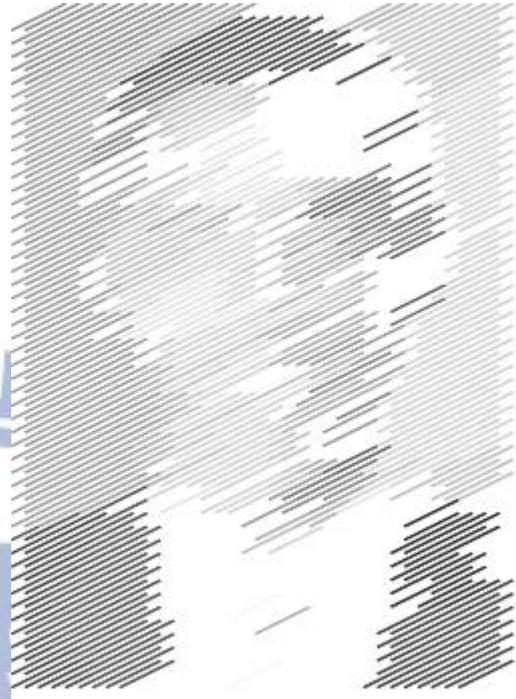
而吾人使用 3.6 節所提的面積區分方法，將原圖區分為若干個區域，並且將相同區域中各點的梯度方向算出來，並且求出平均值。本論文判斷上述六個筆觸方向何者較接近該區域的梯度方向平均值，則把最接近該區域梯度方向平均值的方向設定為該區域的筆觸方向。

下圖是吾人所做出來的筆觸方向，圖 3-16 為六個方向的中、寬筆觸比較結果。

圖 3 - 16：中、寬筆觸六個方向比較結果圖



(A)中筆觸 202.5 度



(B)寬筆觸 202.5 度



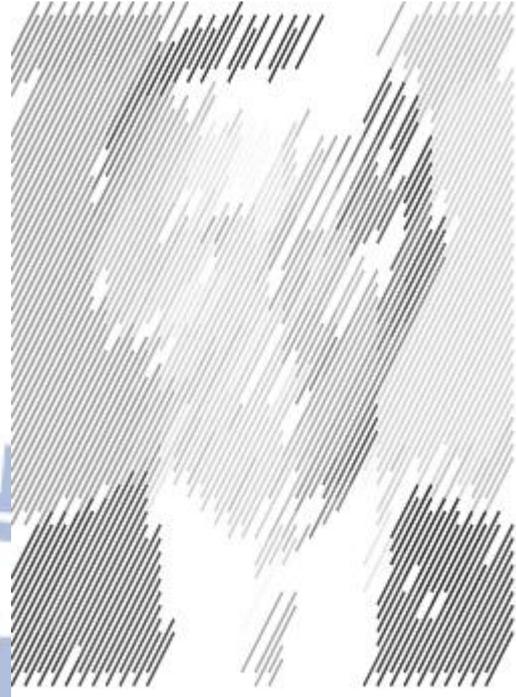
(C)中筆觸 225 度



(D)寬筆觸 225 度



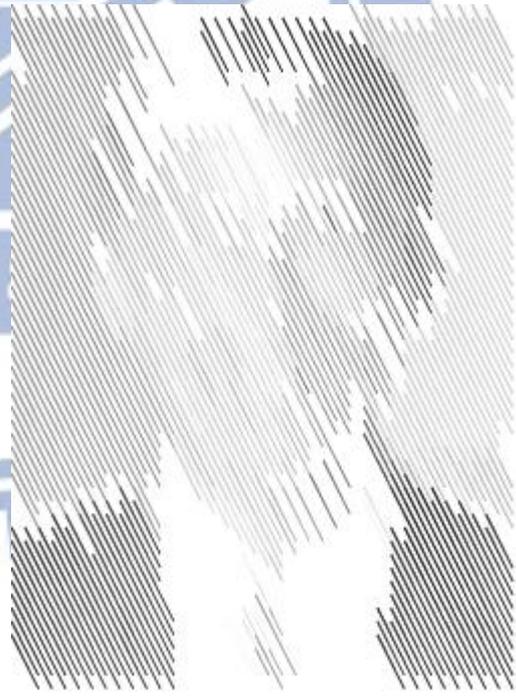
(E) 中筆觸 247.5 度



(F) 寬筆觸 247.5 度



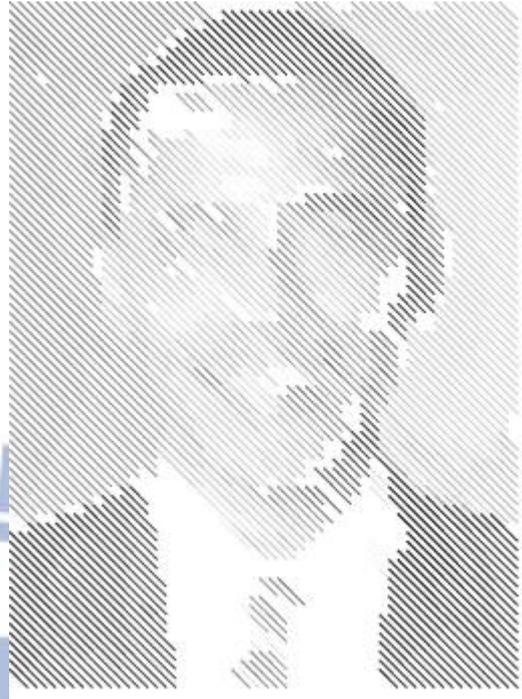
(G) 中筆觸 292.5 度



(H) 寬筆觸 292.5 度



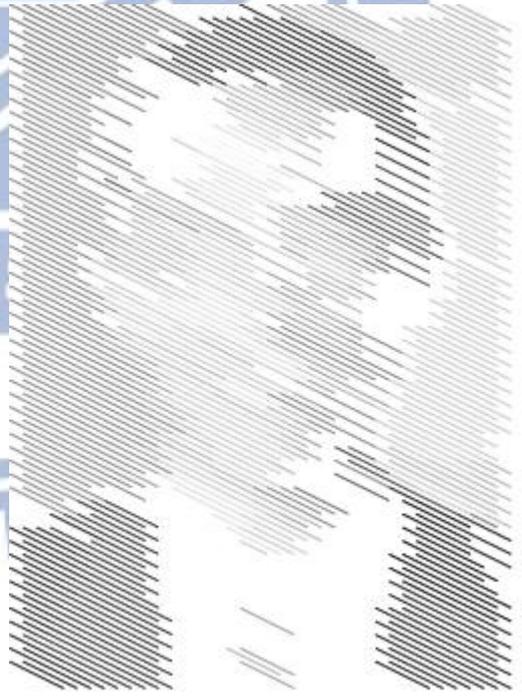
(I) 中筆觸 315 度



(J) 寬筆觸 315 度



(K) 中筆觸 337.5 度



(L) 寬筆觸 337.5 度

如同 3.5.2 節中向量圖的做法，吾人使用 Sobel 邊緣偵測(Sobel edge detector)計算筆觸方向。而在某些測試圖例中，某些點會沒有亮度變化方向，吾人將這些點重新賦予新的亮度變化方向。令 A 為一個在座標(x,y)沒有亮度變化的像素，則重新計算 A 的亮度變化為：

$$A(x,y) = (B(x,y-1)+C(x-1,y)+D(x-1,y-1))/3$$

其中，B 為 A 點上方的點，C 為 A 點左側的點，D 為 A 點左上方的點。若 A 點存在圖像的上方或左側邊界上，則令 A(x,y)等於 0。得到每一點的亮度變化之後，針對不同亮度分層內的各個區塊，去計算區塊的整體梯度方向。方法是將這個區域內所有點的像素亮度變化方向加總起來，並計算平均梯度方向。則區域的平均梯度方向即是判定這個區域的筆觸方向。圖 3-17 為計算完各個區域的平均梯度方向後，所得中筆觸及寬筆觸的筆觸方向圖。

圖 3 - 17：中筆觸及寬筆觸的筆觸方向圖



(A)中筆觸筆觸方向圖



(B)寬筆觸筆觸方向圖

3.8 筆觸融合

當模擬完寬筆觸、中筆觸和細筆觸之後，接著就是要將這些筆觸融合在一起。融合的方法首先參考之前在面積區分章節所產生的面積區域分布圖，如圖 3-18。在黑色的部分是面積區分中，占相當大面積的，因此我們會希望在這裡套用上寬筆觸的模組。白色的部分是影像中小面積區域，由圖 3-18 可以看出，小面積區域大致分布於眼睛、鼻子、嘴巴...等五官的地方，這些都是我們在做素描時，希望能夠細膩處理的部分。因此，在小面積區域的部分我們套用細筆觸處理，期望在小面積區域的細膩繪畫能夠與一般人素描時的習慣相符。灰色的部份我們套用中筆觸，用來增加筆觸的多樣性。



圖 3 - 18：面積區域分布圖

{ 黑色部分：寬筆觸區域
灰色部分：中筆觸區域
白色部份：細筆觸區域

而當我們單純的利用面積資訊來判定筆觸粗細，會發現筆觸的呈現太過於生硬、不自然，如圖 3-19。



圖 3 - 19：單純依據面積區域分佈所產生的三筆觸融合圖

在中、寬筆觸的線條中間，或是因為筆觸軌跡標記點不夠多的關係，使得筆觸方向圖的結果會出現留白的現象，如圖 3-20 中紅色框起的部份。為了使得中、寬筆觸在結果圖上看起來不會這麼突兀，我們讓這兩種筆觸與細筆觸做結合。

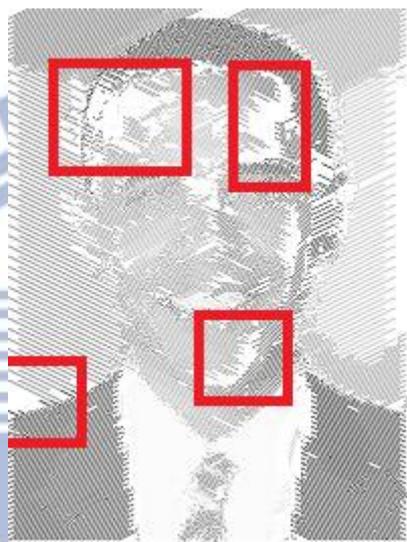


圖 3 - 20：中、寬筆觸結果圖中，影像留白的部分

為了減輕這樣的留白效果造成結果圖不自然的情形，我們將中、寬筆觸結果圖中留白的部分做處理。若留白的部分是中筆觸區域，則我們將中筆觸留白的部分和細筆觸亮度相加除以二。若留白的部分是寬筆觸區域，由於寬筆觸區域若是在影像中較暗的部份，則比較會造成我們視覺上的不自然感。為了減輕寬筆觸在較暗區域造成的影像，我們讓細筆觸的亮度變亮兩倍加上寬筆觸亮度除以三。最後，由於我們都對中、寬筆觸留白的部分做處理，這樣會使得中、寬筆觸沒有留白的部分和先前留白的部分接合不自然，如圖 3-21(A)。因此最後，

我們將非留白部分，全部和細筆觸亮度相加除以二，用來減輕留白部分和非留白部分接合的違和感。最後得到處理後三筆觸融合圖，圖 3-21(B)。

圖 3 - 21：對留白的部分做處理與留白、非留白部分皆處理比較



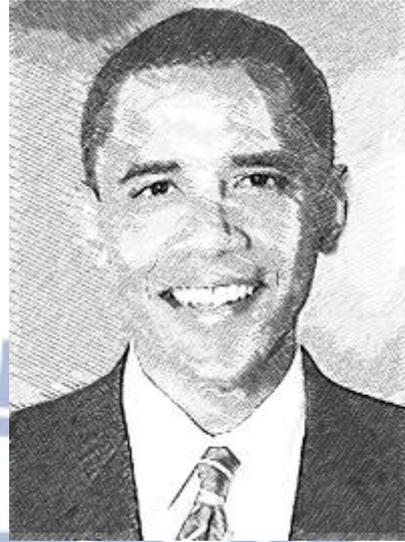
(A)對留白的部分做處理 (B)留白、非留白部分皆處理

系統處理最後階段我們融入畫紙的效果，對畫紙紋路的效應以及中細筆觸融合、寬細筆觸融合的各種參數做觀察。以下先對一些參數做命名，令 T 為細筆觸亮度， M 為中筆觸亮度， W 為寬筆觸亮度， TM 為細筆觸和中筆觸結合後的亮度， TW 為細筆觸和寬筆觸結合後的亮度。則依造我們上述的做法，中筆觸融合的公式應為 $TM = (T+M)/2$ ，寬筆觸融合的公式為 $TW = (2*T+W)/3$ 。圖 3-22 為結合畫紙的模組後筆觸合成時對各個參數變化所做的觀察。

圖 3 - 22：不同筆觸融合參數所做出來的結果圖



(A) $TM = (T+M)/2$, $TW = (2*T+W)/3$



(B) $TM = (2*T+M)/3$, $TW = (2*T+W)/3$



(C) $TM = (T+M)/2$, $TW = (3*T+2*W)/5$



(D) $TM = (2*T+M)/3$, $TW = (3*T+2*W)/5$

第四章 實驗結果

本章中將會把影像分為兩大類，第一類為一般肖像；第二類為汽車、建築等具同色系大面積影像及其他雜項類。分別探討寬筆觸、中筆觸、細筆觸在這兩類影像上呈現的效果為何，並對這兩類影像所呈現出來的結果做觀察。然後針對實驗結果進行分析(4.1 節)，並附上更多的實驗結果圖以及和其他系統產生出來的素描結果圖做比較(4.2 節)。



4.1 影像類型與結果分析

4.1.1 一般影像

圖 4-1：歐巴馬肖像及其實驗結果圖

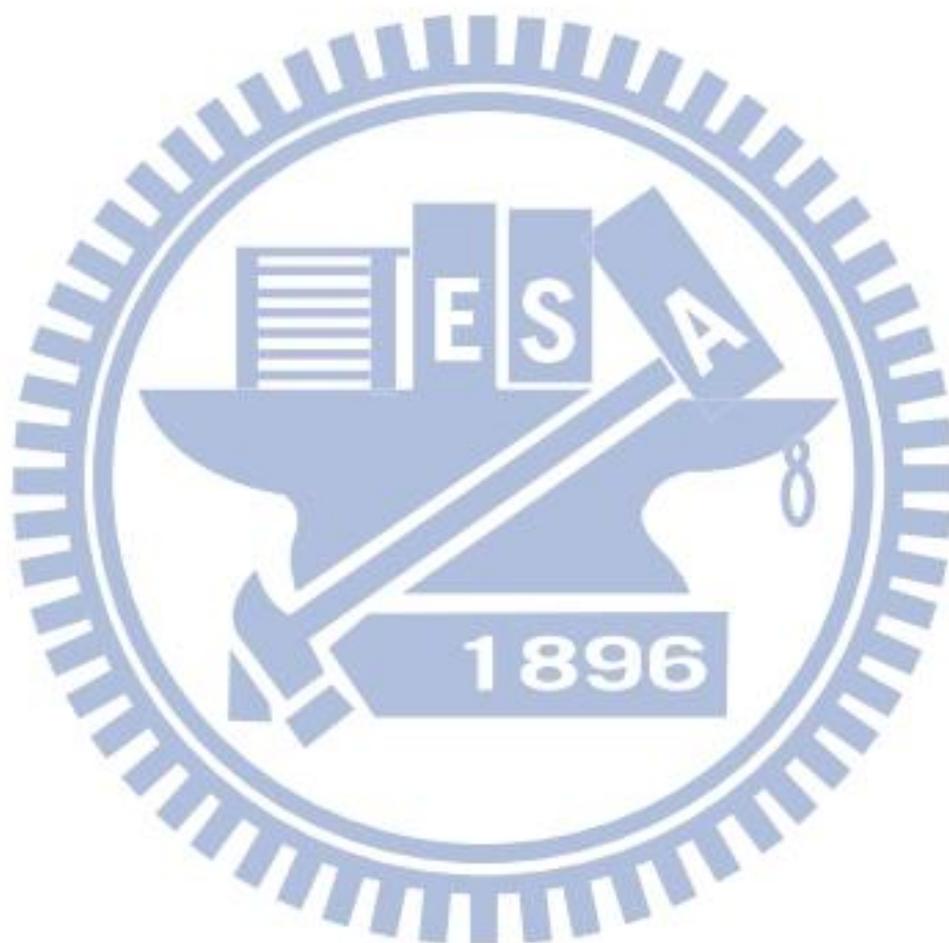


(A)歐巴馬肖像(850x1150) (B)實驗結果圖

圖 4-1 為歐巴馬肖像的原圖及實驗結果圖，此實驗結果圖中包含了三種筆觸。在例圖左側的背景，因為同色層的面積比其他色層的面積都還要大，因此系統會將此區域定義為寬筆觸的地方；而在臉部、衣服等部位，由於同色系面積比眼睛、眉毛等五官都還要來的大，但是又不會大到我們需要使用寬筆觸來淡化其重要性，因此系統會將其定義為中筆觸區域；最後眼睛、鼻子、眉毛等五官的部份，是同色系面積相對小且在人臉肖像上是素描時常需要強調的部位，因此系統會

將其定義為細筆觸區域。

在整體的呈現上，本系統和其他系統相比所產生出的筆觸較多元化，方向也較多變。且在肖像的處理上，能夠忽略掉不重要的背景，並且對於五官的部份加以著墨，這點與畫家在作畫時候的習慣較為相似。



4.1.2 同色系大面積影像

圖 4-2：汽車展示圖及其實驗結果圖



(A)汽車展示圖(1500x1002)



(B)實驗結果圖

圖 4-2 為汽車展示圖及其實驗結果圖。在此種類型的影像中，同色系大面積是占相當大的部份的。例如車身、引擎蓋、地板等。但由於寬筆觸的判斷是根據大面積中再區分超大面積來定義的；雖然影像中的面積都很大，但這些大區塊中，沒有一塊是特別大的，因此系統還是會將其判定為中筆觸區域。

在此種類型的影像中，由於筆觸的線條多且密，因此畫出來的感覺頗有一種鋼筆畫的風味，如圖 4-3：

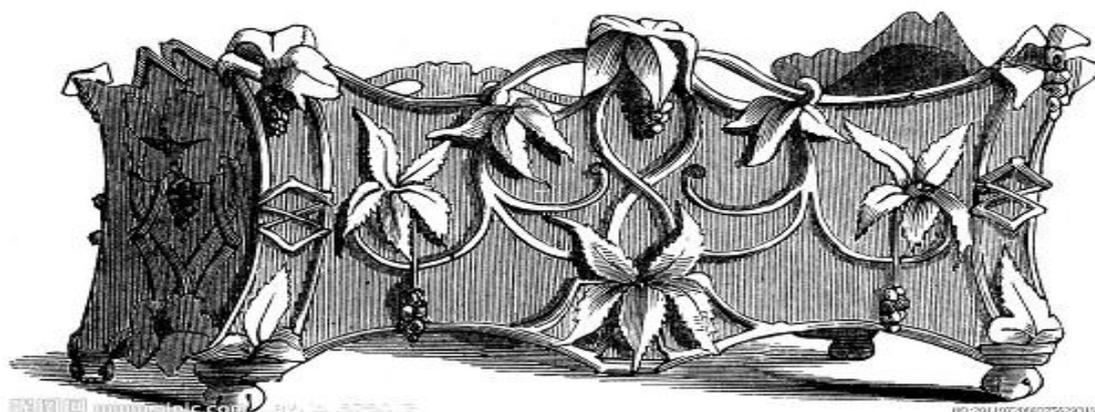


圖 4-3：鋼筆畫作品

(圖片來源- <http://www.nipic.com/show/2/27/4882362k314cea93.html>)

4.2 實驗結果圖

4.2.1 一般影像

圖 4 - 4：美國總統 Obama 肖像、本論文及文獻[4]的實驗結果圖



(A)原圖(850x1150)

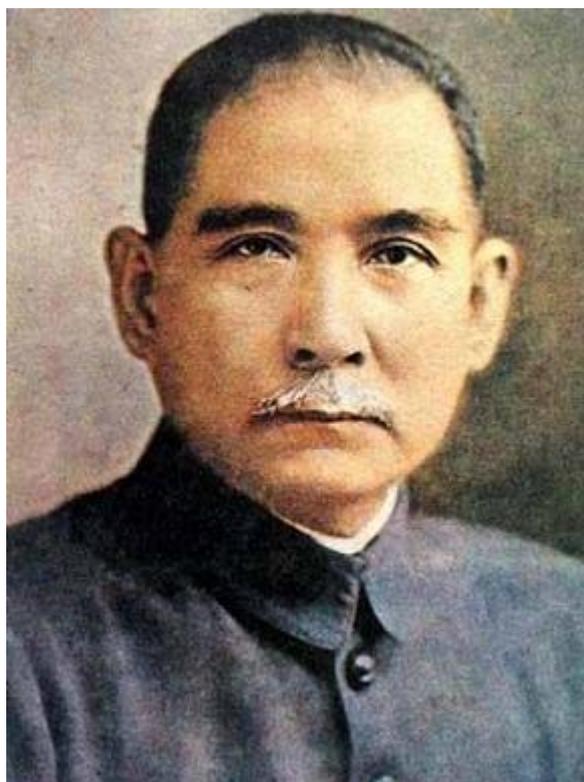


(B)本論文結果圖

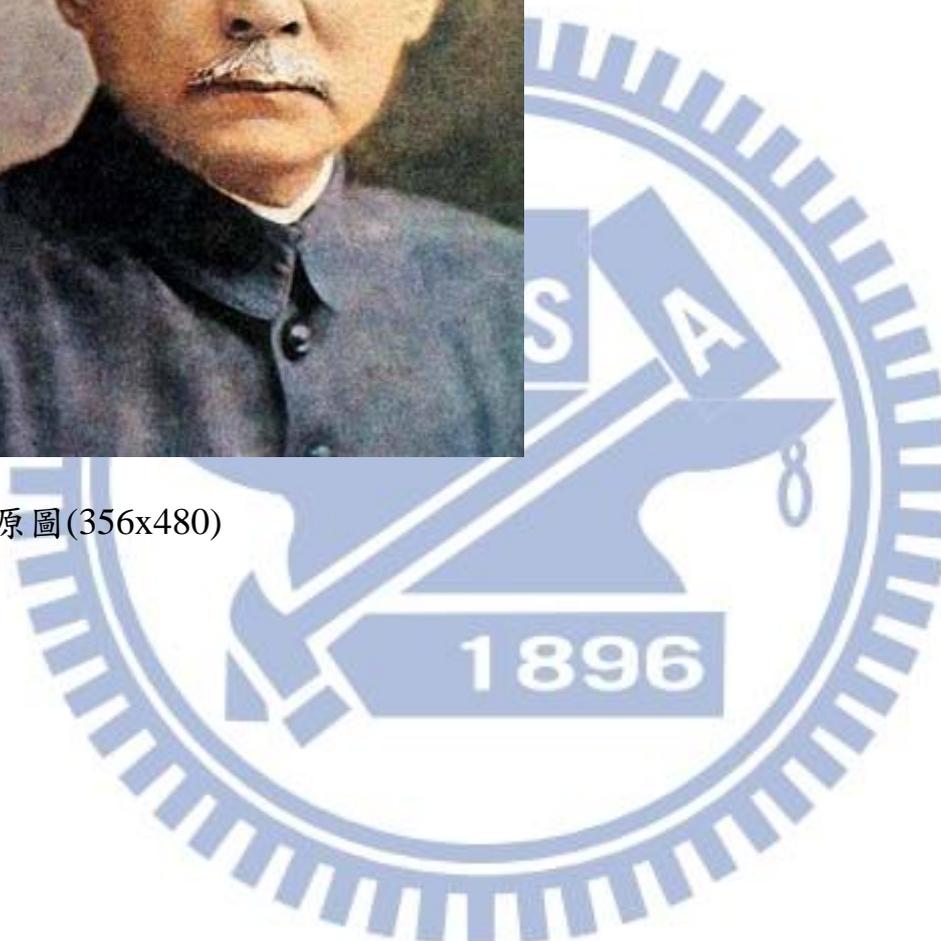


(C)文獻[4]結果圖

圖 4-5：國父肖像、本論文及文獻[4]的實驗結果圖



(A)原圖(356x480)





(B)本論文實驗結果圖



(C)文獻[4]實驗結果圖

圖 4 - 6：嬰兒沙龍照、本論文及文獻[4]的實驗結果圖



(A)原圖(493x396)





(B)本論文實驗結果圖



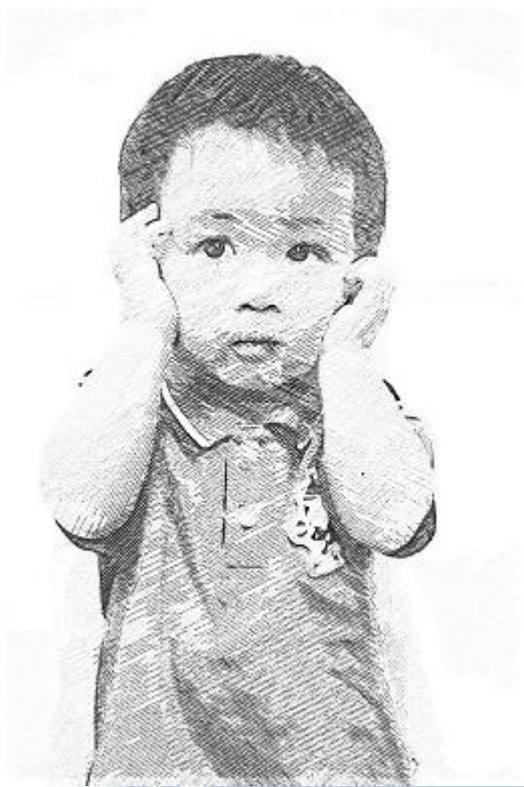
(C)文獻[4]實驗結果圖

圖 4 - 7：小孩生活照、本論文及文獻[4]的實驗結果圖



(A)原圖(427x640)





(B)本論文實驗結果圖



(C)文獻[4]實驗結果圖



圖 4-8：女孩生活照、本論文及文獻[4]的實驗結果圖



(A)原圖(579x748)



(B)本論文實驗結果圖



(C)文獻[4]實驗結果圖

圖 4 - 9：美國女星 Marilyn Monroe、本論文及文獻[4]的實驗結果圖



(A)原圖(1600x1200)





(B)本論文實驗結果圖



(C)文獻[4]實驗結果圖

圖 4 - 10：劉德華肖像、本論文及文獻[4]的實驗結果圖



(A)原圖(300x230)





(B)本論文實驗結果圖



(C)文獻[4]實驗結果圖

圖 4 - 11：美國女星 Grace Kelly 肖像、本論文及文獻[4]的實驗結果圖



(A)原圖(710x890)





(B) 本論文實驗結果圖



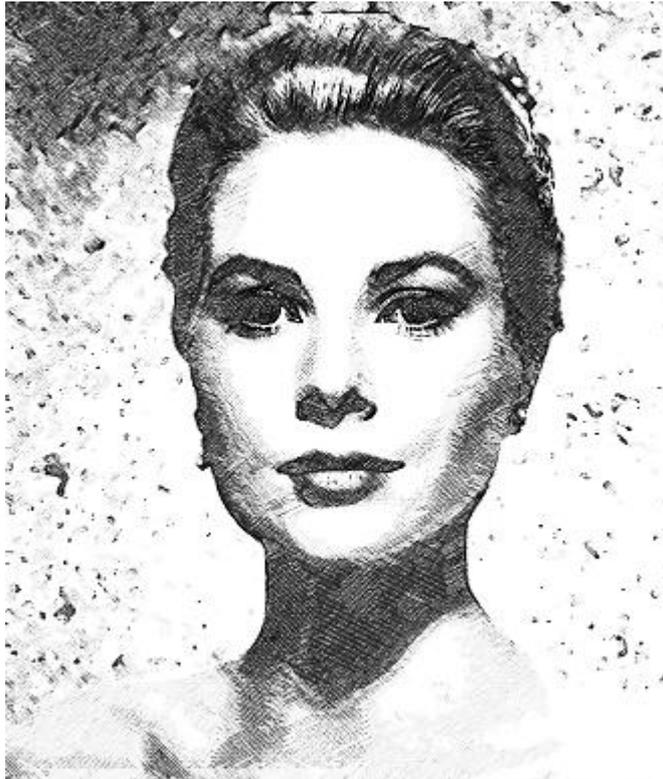
(C) 文獻[4]實驗結果圖

圖 4 - 12：美國女星 Grace Kelly 肖像、本論文及文獻[4]的實驗結果圖

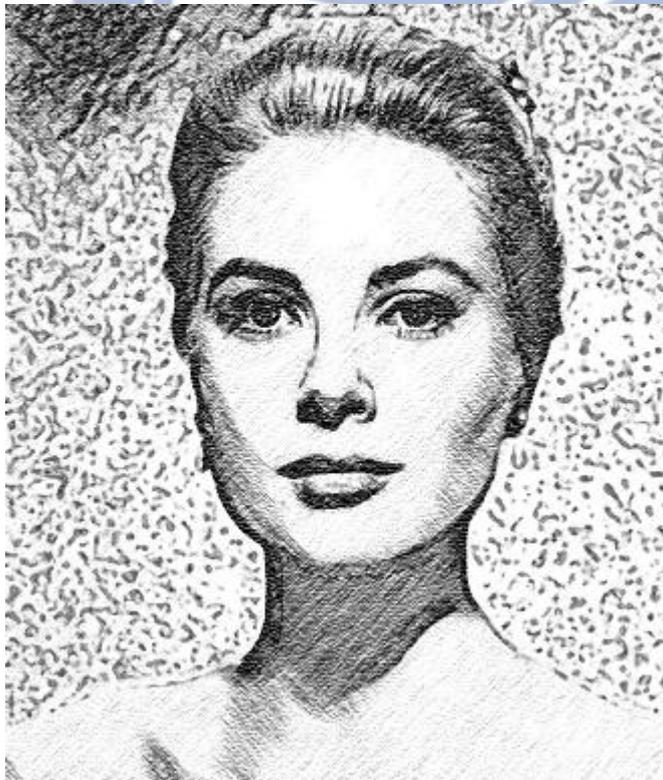


(A)原圖(604x715)





(B) 本論文實驗結果圖



(C) 文獻[4]實驗結果圖

圖 4 - 13：美國政治家 Kennedy 肖像、本論文及文獻[4]的實驗結果圖



(A)原圖(736x731)





(B) 本論文實驗結果圖



(C) 文獻[4]實驗結果圖

圖 4 - 14：中國女星李小路肖像、本論文及文獻[4]的實驗結果圖

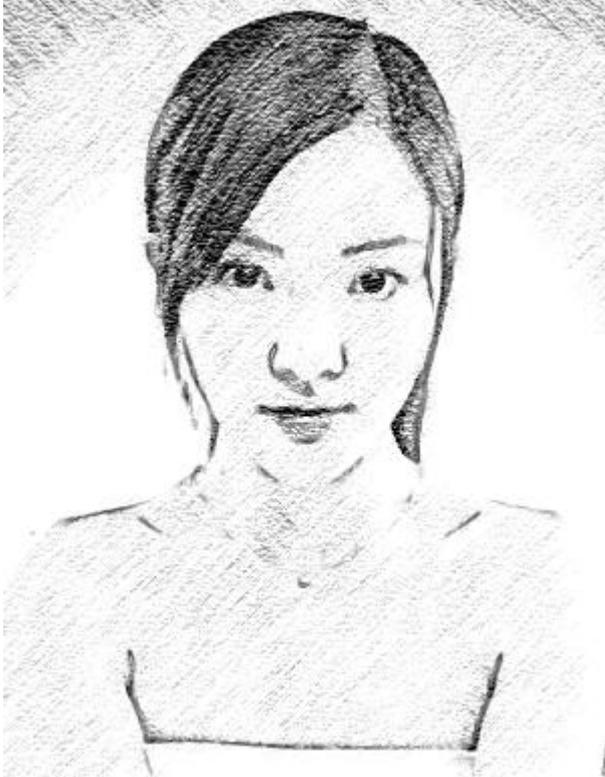


(A) 原圖(400x517)





(B)本論文實驗結果圖



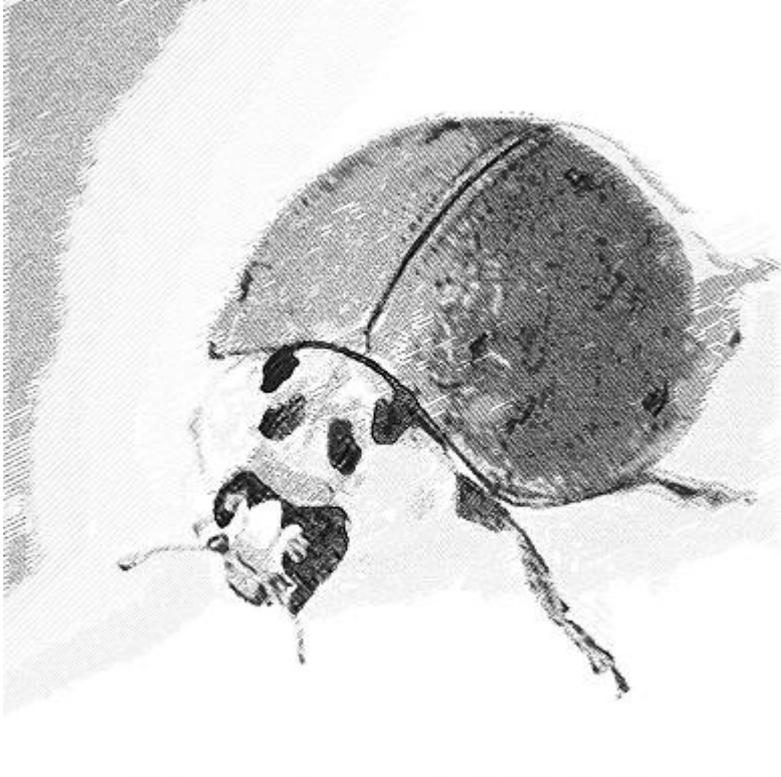
(C) 文獻[4]實驗結果圖

4.2.2 同色系大面積影像

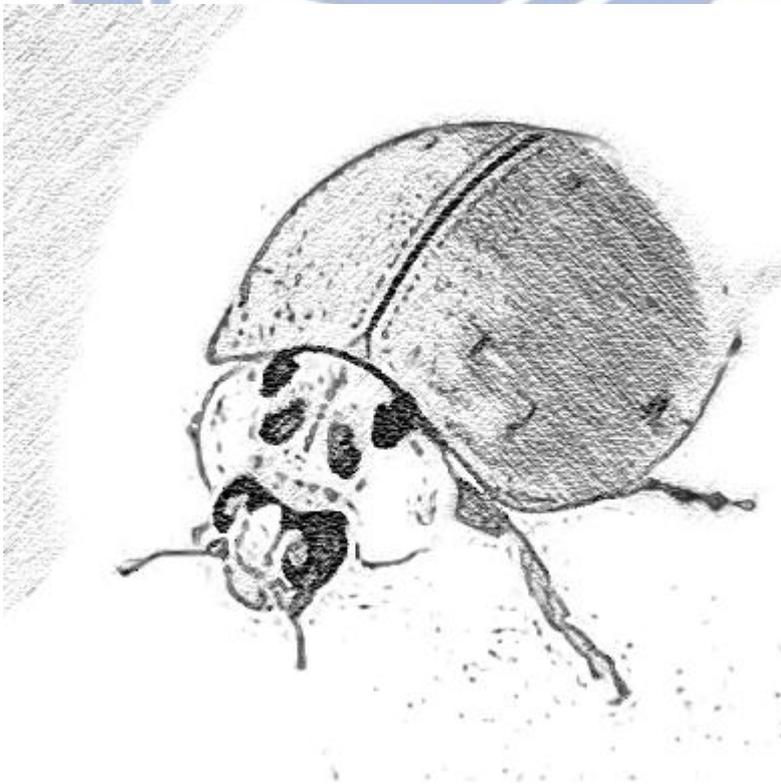
圖 4 - 15：瓢蟲照片、本論文及文獻[4]的實驗結果圖



(A)原圖(508x508)



(B)本論文實驗結果圖

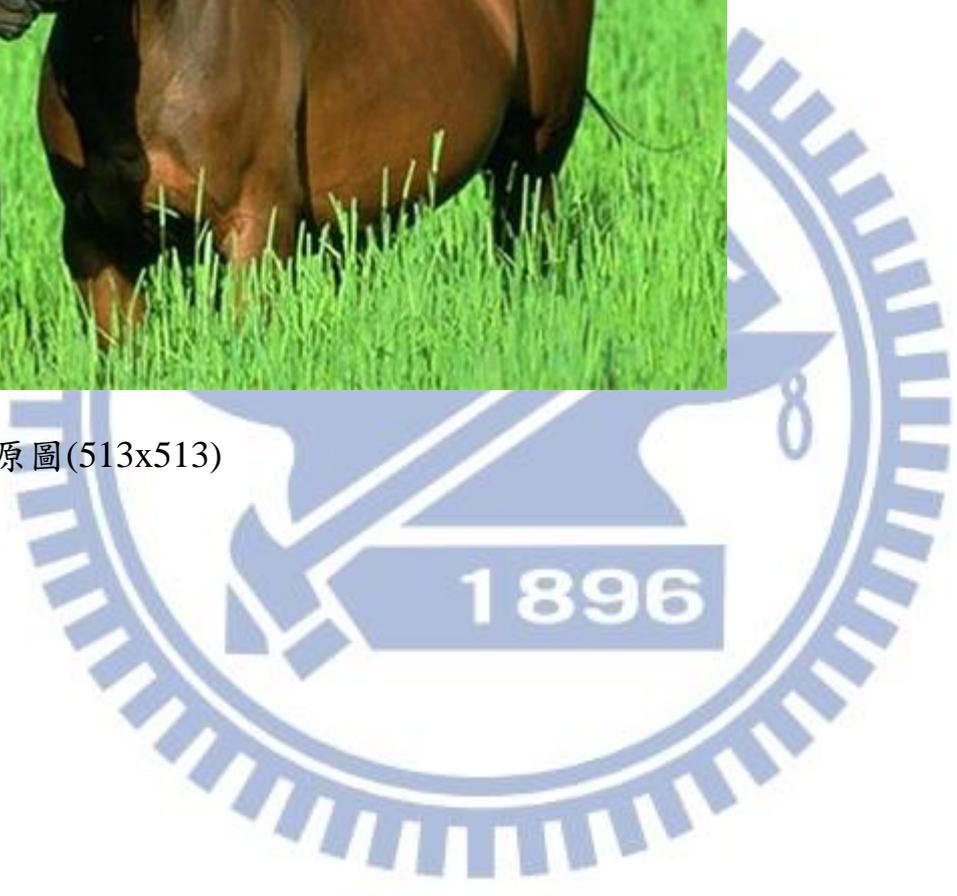


(C)文獻[4]實驗結果圖

圖 4 - 16：駿馬照片、本論文及文獻[4]的實驗結果圖

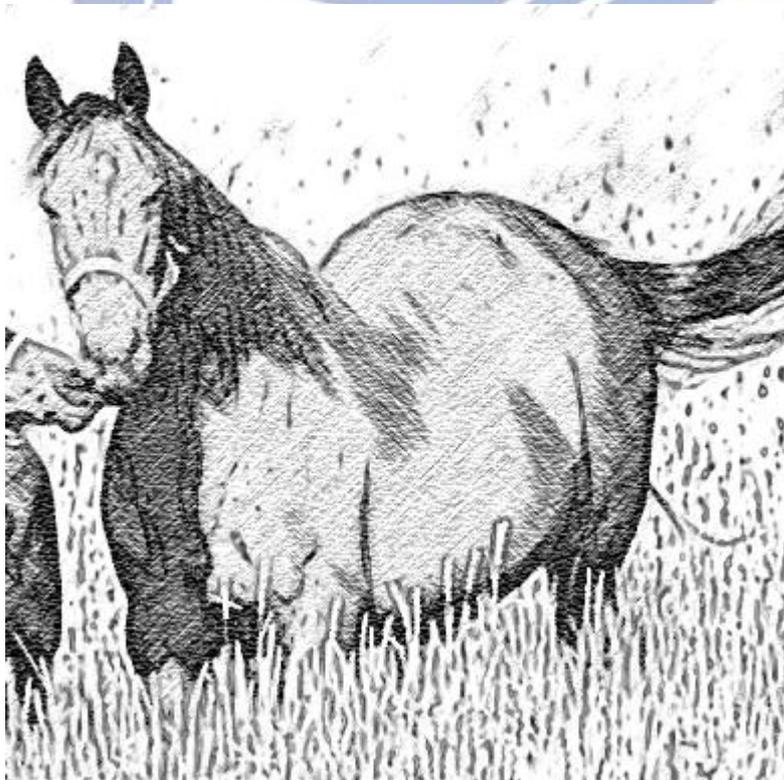


(A)原圖(513x513)





(B) 本論文實驗結果圖

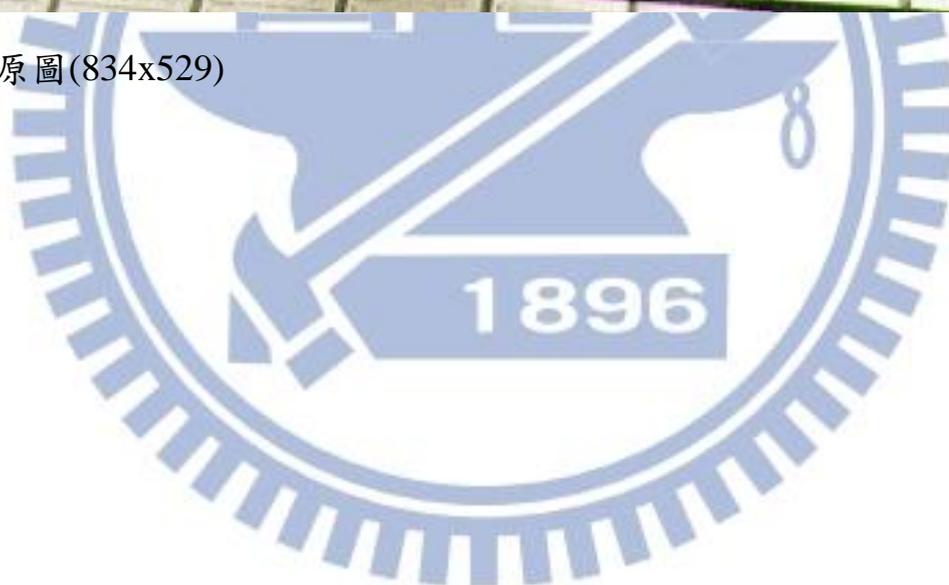


(C) 文獻[4]實驗結果圖

圖 4 - 17：小狗照片、本論文及文獻[4]的實驗結果圖



(A)原圖(834x529)



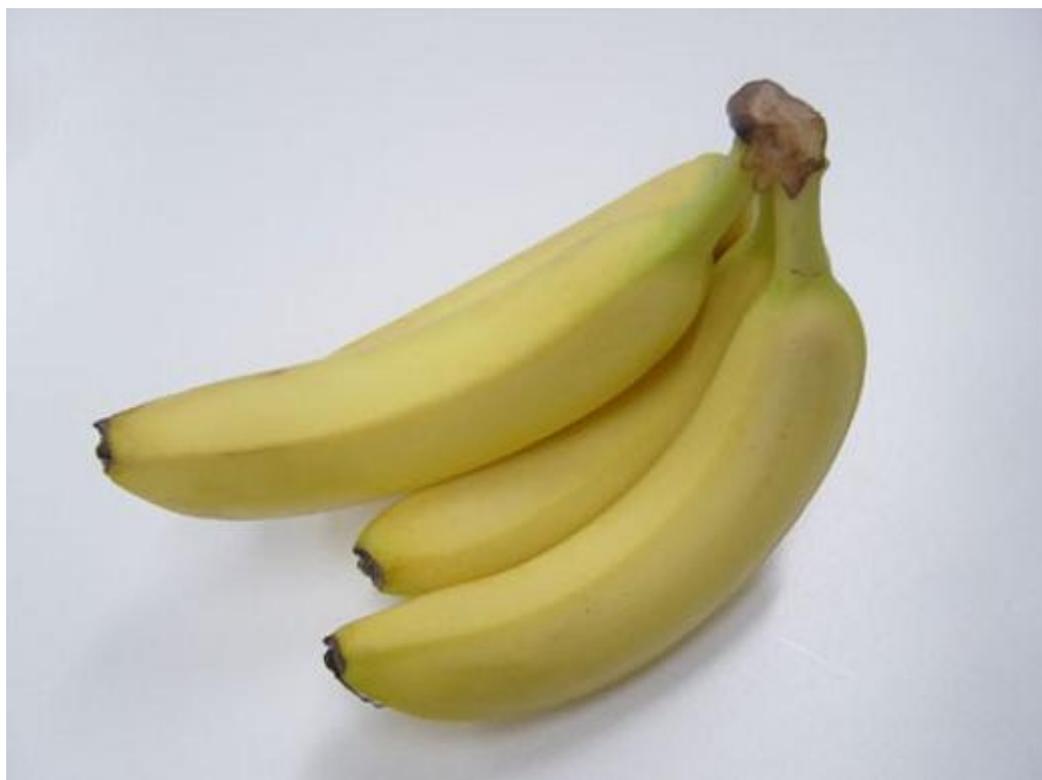


(B) 本論文實驗結果圖



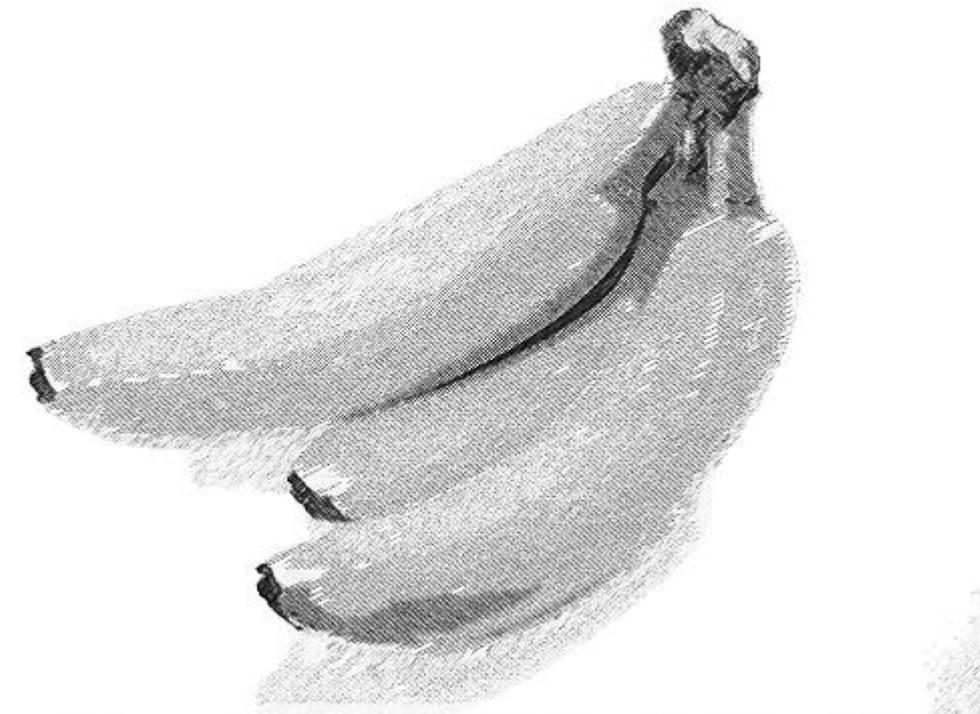
(C) 文獻[4]實驗結果圖

圖 4 - 18：香蕉照片、本論文及文獻[4]的實驗結果圖

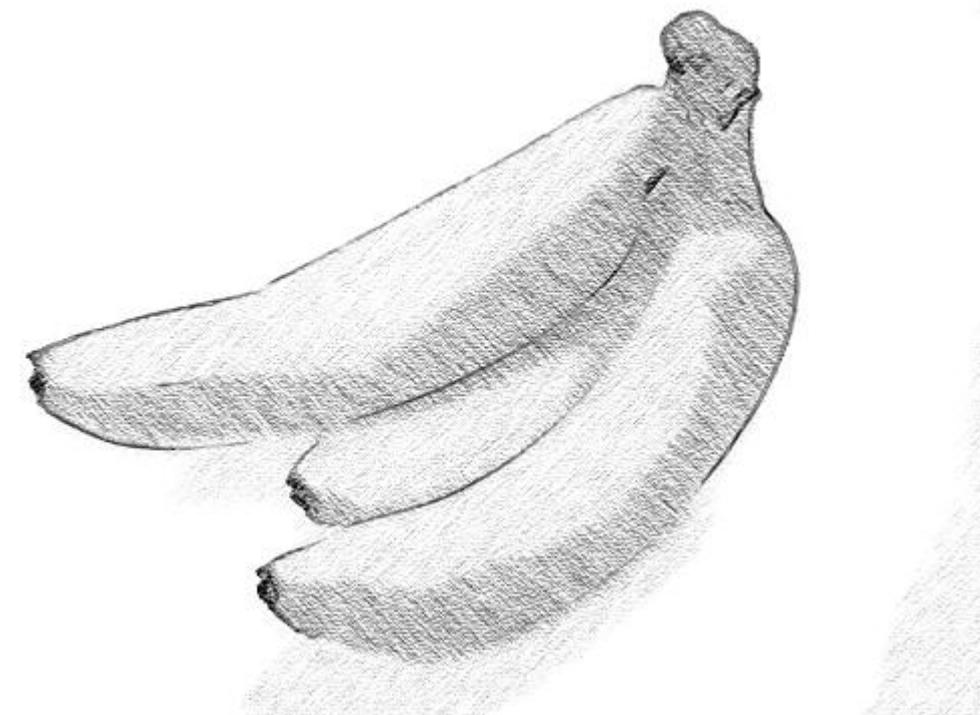


(A)原圖(932x698)





(B) 本論文實驗結果圖



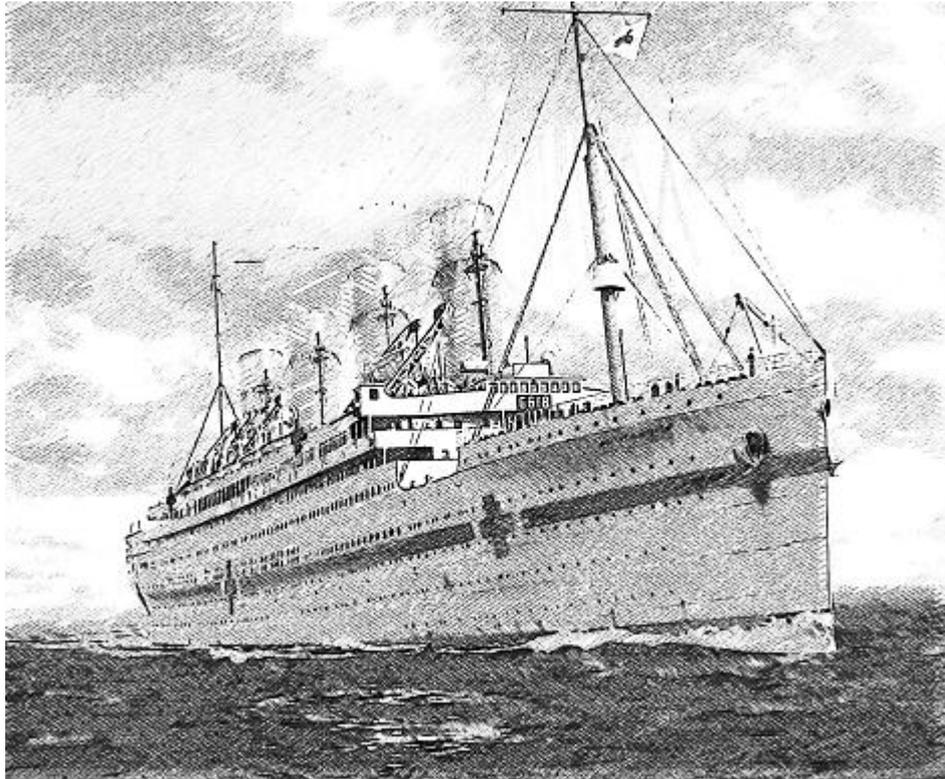
(C) 文獻[4]實驗結果圖

圖 4 - 19：輪船照片、本論文及文獻[4]的實驗結果圖

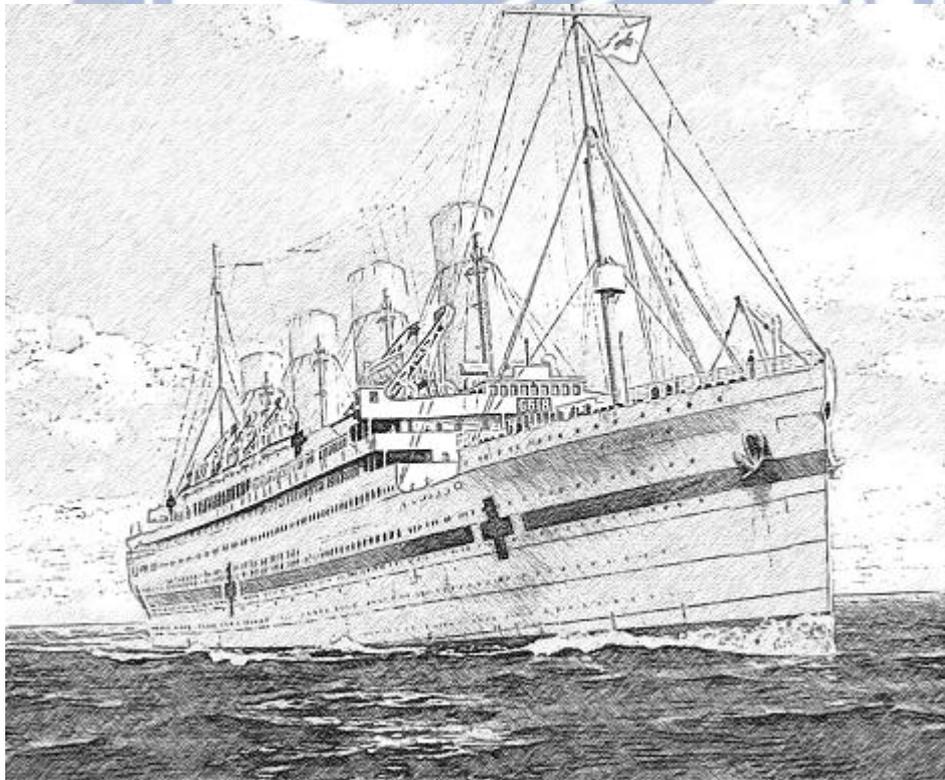


(A)原圖(1526x1261)





(B) 本論文實驗結果圖



(C) 文獻[4]實驗結果圖

圖 4 - 20：車子照片、本論文及文獻[4]的實驗結果圖



(A)原圖(1800x1197)





(B) 本論文實驗結果圖



(C) 文獻[4]實驗結果圖

圖 4 - 21：車子照片、本論文及文獻[4]的實驗結果圖



(A)原圖(450x300)





(B) 本論文實驗結果圖

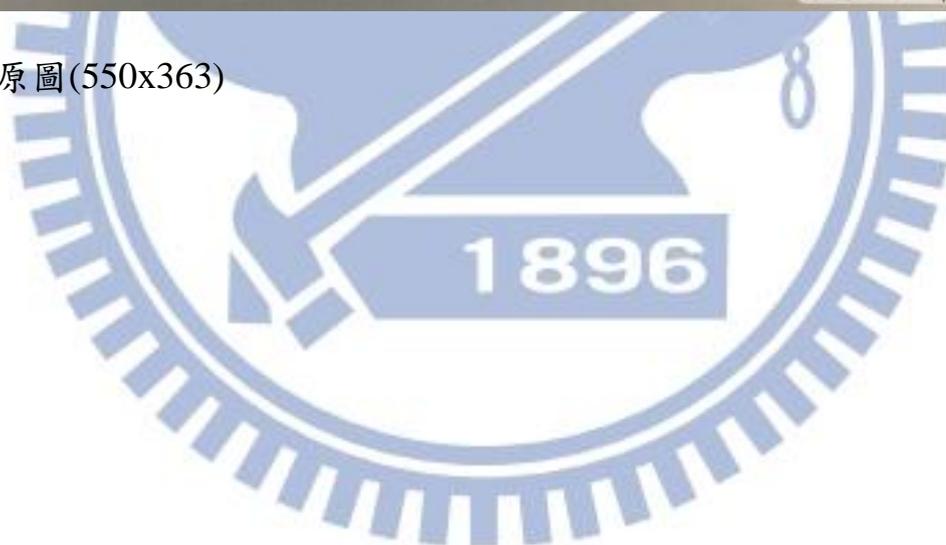


(C) 文獻[4]實驗結果圖

圖 4 - 22：車子照片、本論文及文獻[4]的實驗結果圖



(A)原圖(550x363)





(B) 本論文實驗結果圖

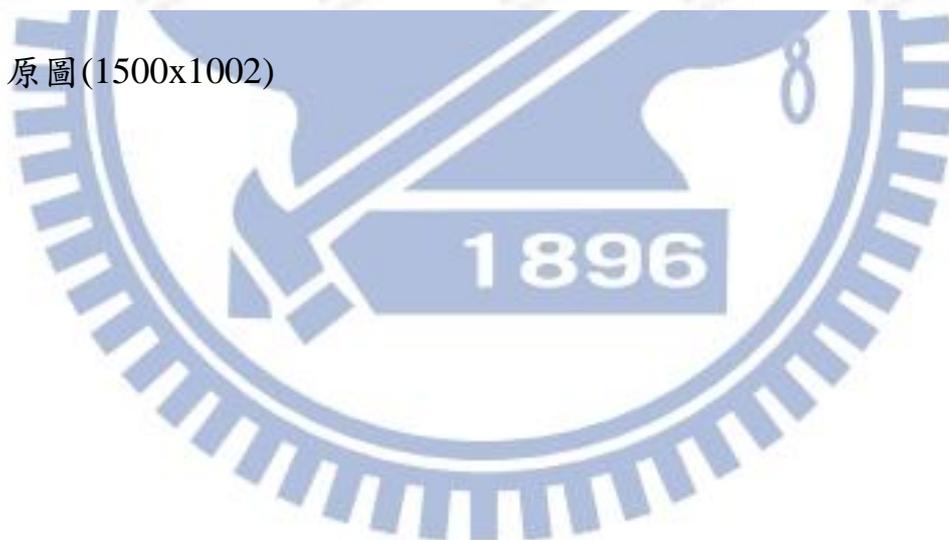


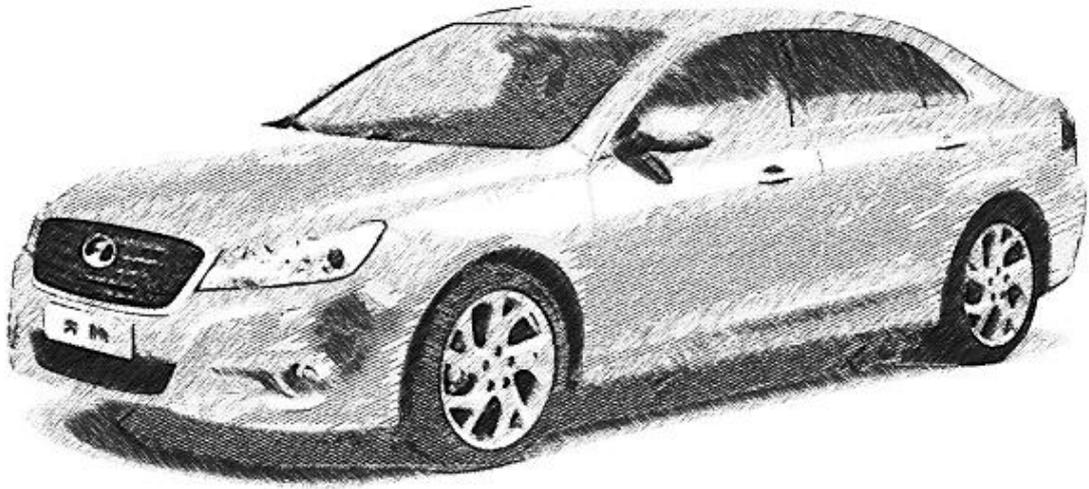
(C) 文獻[4]實驗結果圖

圖 4 - 23：車子照片、本論文及文獻[4]的實驗結果圖



(A) 原圖(1500x1002)





(B) 本論文實驗結果圖

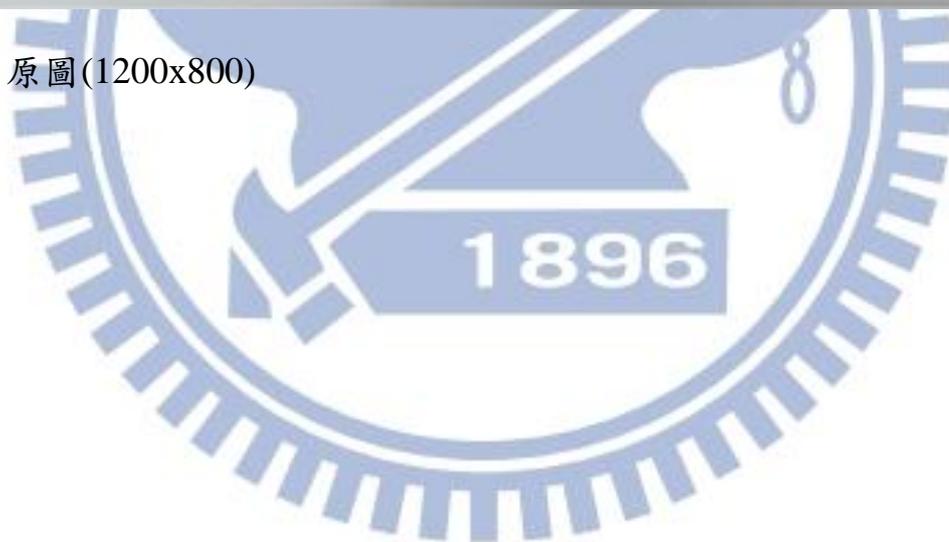


(C) 文獻[4]實驗結果圖

圖 4 - 24：車子照片、本論文及文獻[4]的實驗結果圖



(A) 原圖(1200x800)





(B) 本論文實驗結果圖



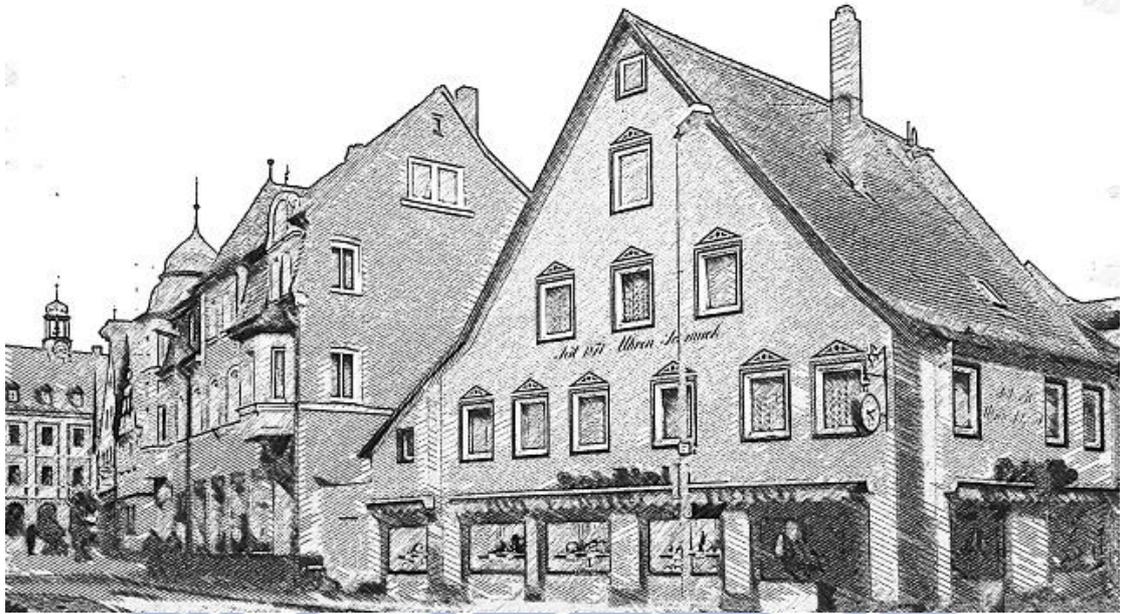
(C) 文獻[4]實驗結果圖

圖 4 - 25：建築物照片、本論文及文獻[4]的實驗結果圖



(A) 原圖(1962x1198)



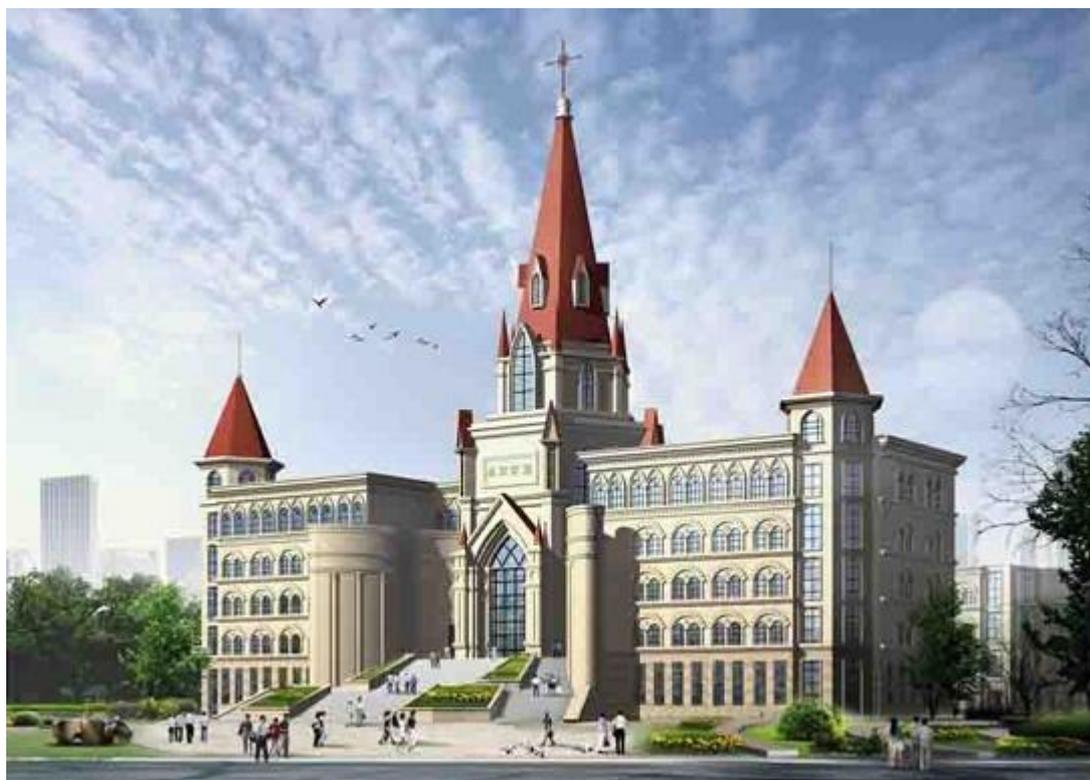


(B) 本論文實驗結果圖



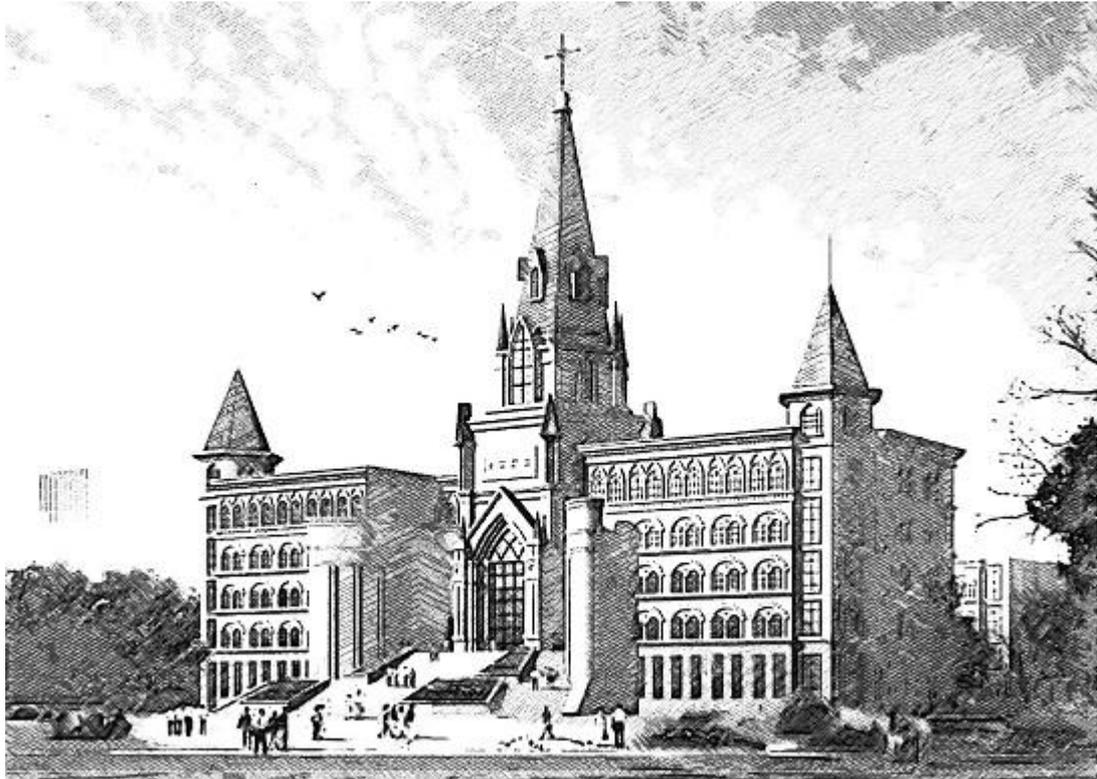
(C) 文獻[4]實驗結果圖

圖 4 - 26：建築物照片、本論文及文獻[4]的實驗結果圖

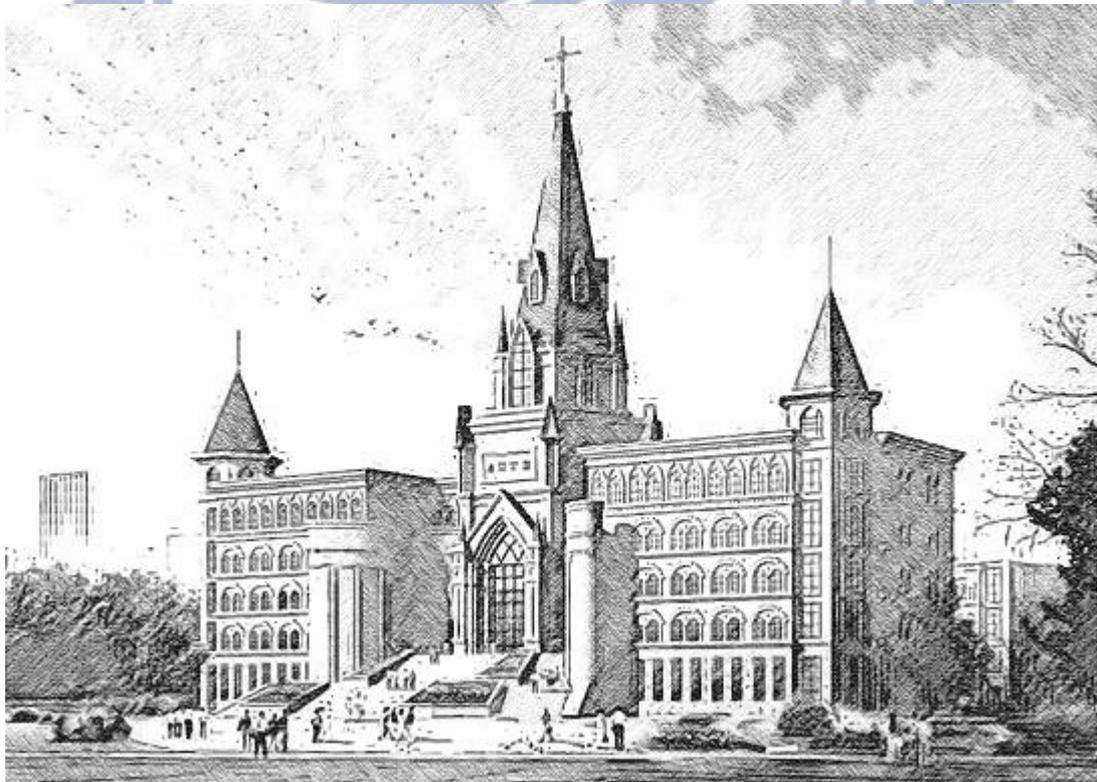


(A)原圖(1600x1148)





(B) 本論文實驗結果圖



(C) 文獻[4]實驗結果

圖 4 - 27：建築物照片、本論文及文獻[4]的實驗結果圖



(A)原圖(1257x910)





(B) 本論文實驗結果圖



(C) 文獻[4]實驗結果圖

圖 4 - 28：風景照片、本論文及文獻[4]的實驗結果圖



(A)原圖(1208x956)





(B) 本論文實驗結果圖



(C) 文獻[4]實驗結果圖

第五章 結論

我們產生繪圖效果的最終目標是能夠產生類似人類畫家的畫作，但那並非一件簡單的事情。因為人類作畫的時候考慮的因素太多，諸如明暗的深淺、筆處的變化。即使用同一支畫筆，也能表現出千變萬化的筆觸。人類對於作品會有情感的投射，考慮的地方太過於複雜。因此縱使我們能模擬出素描的風格，讓人一眼看出這是素描繪圖，但也無法達到真正畫家對於作畫時整個畫面設計的巧思。本論文希望藉由面積指標來模擬人類作畫時，對於強調的地方和非強調的地方筆觸的取捨，這也不單單能應用在素描繪畫之上。

在未來的規劃方面，吾人認為能夠改進的地方是可以加入亮度梯度的指標。人類作畫考慮的因素有許多，面積當然不是最重要的。雖然我們可以利用面積資訊來區分出相同色階但面積不同的地方，但是擁有色階、面積大小差不多的地方，可能需要用的筆觸也不同。例如黑色的衣服和頭髮，雖然在肖像之中所占的面積、亮度差不多。但我們會希望使用不同筆觸來繪製頭髮與衣服。這時就可以加入亮度梯度資訊來分辨頭髮和衣服。也希望未來有一天，電腦繪畫考慮的因素能夠越加越多，最後產生出來的結果能更趨近於人類作畫的效果。

參考文獻

- [1]何怡緯，"中國水墨工筆畫之花卉合成"，交大資科工所碩士論文，2005
- [2]楊明貴，"一種創新的色鉛筆畫作風格轉換技術"，交大資科工所碩士論文，2006
- [3]阮僑愷，"影像式漫畫肖像生成之研究"，交大多媒體所碩士論文，2009
- [4]陳紀丞，"鉛筆素描筆觸與畫紙紋路效應之自動合成"，交大資科工所碩士論文，2006
- [5]潘中浩，"鉛筆素描草圖筆觸之模擬"，交大資科工所碩士論文，2009
- [6]朱浩為，"鉛筆素描之寬筆觸效應實驗觀察"，交大資科工所碩士論文，2011
- [7]Shigefumi Yamamoto, Xiaoyang Mao, Kenji Tanii, Atsumi Imamiya, "Enhanced LIC Pencil Filter", IEEE Computer Graphics, Imaging and Visualization Proceedings, pp.251~256, 2004
- [8]Xiaoyang Mao, Yoshiyasu Nagasaka, Atsumi Imamiya, "Automatic Generation of Pencil Drawing From 2D Images Using Line Integral Convolution", CAD/Graphics, pp.240~248, 2001

[9]莊力文, "供人形機器人手臂繪製之人臉肖像產生系統", 台科大機械所碩士論文, 2009

[10]Henry Kang, Seungyong Lee, Charles K. Chui, "Coherent Line Drawing", Proc. ACM Symposium on Non-photorealistic Animation and Rendering, pp. 43~50, San Diego, CA, 2007

[11]Henry Kang, Seungyong Lee, Charles K. Chui, "Flow-Based Image Abstraction", IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, 15(1), pp. 62~76, 2009

[12]J. Canny, "A Computational approach edge detection", IEEE Trans. On Pattern Analysis and Machine Intelligence, 8(6), 679-697, 1986

[13]D. Comaniciu and P. Meer, "Mean Shift: A Robust Approach toward Feature Space Analysis", IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, 24(5), pp. 603-619, 2002

[14]K. Murakami, R. Tsuruno and E. Genda, "Multiple illuminated paper textures for drawing strokes" in Proc. Of Computer Grapgics Internation 05, pp. 156~161, 2005