

# 國立交通大學

## 多媒體工程研究所

### 碩士論文

鉛筆素描模擬中粗疏淡化筆觸於非描繪重點  
區域之引用與相關呈現處理

The Rendering of Subject-irrelevant Areas in Pencil Sketch  
Simulation with Wide, Sparsed and Light Strokes

研究生:陳至名

指導教授:林正中 副教授

中華民國 一 百 零 三 年 七 月

鉛筆素描模擬粗疏筆觸於非描繪重點區域之引用與相關呈現處理

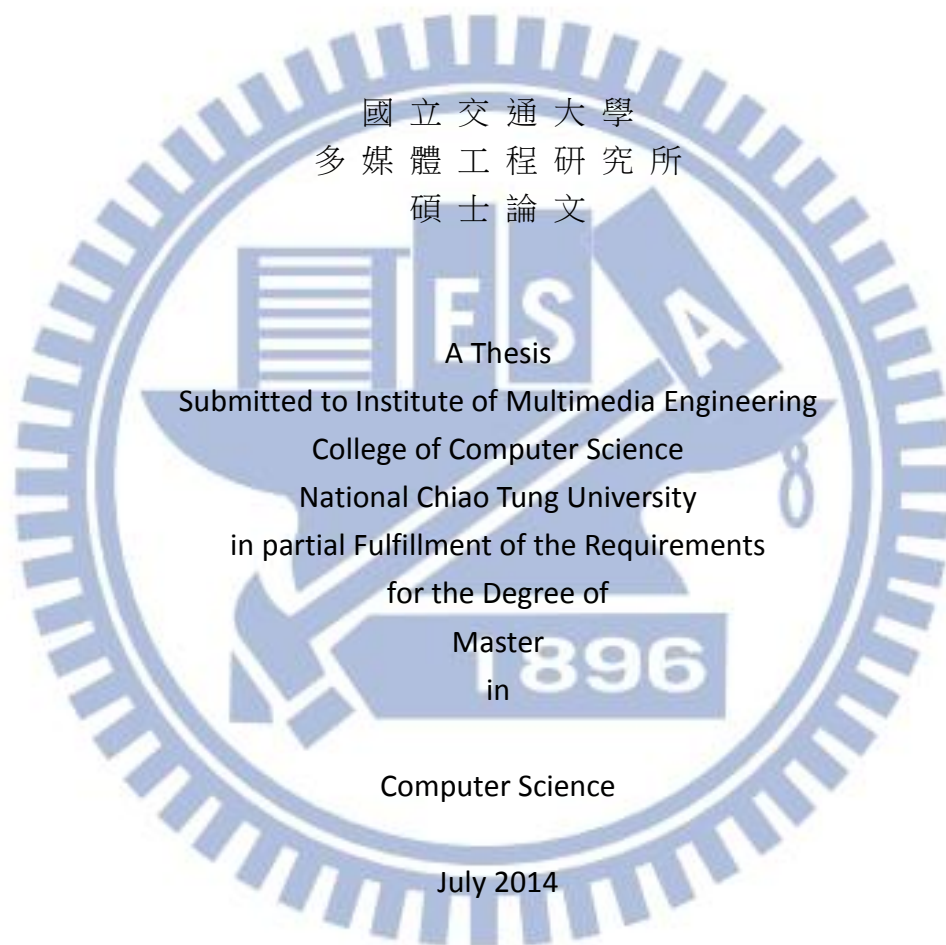
The Rendering of Subject-irrelevant Areas in Pencil Sketch Simulation with Wide,  
Sparsed and Light Strokes

研 究 生：陳至名

Student : Chi-Ming Chen

指導教授：林正中

Advisor : Cheng-Chung Lin



國立交通大學  
多媒體工程研究所  
碩士論文

A Thesis

Submitted to Institute of Multimedia Engineering

College of Computer Science

National Chiao Tung University

in partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of

Master

in

Computer Science

July 2014

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國一百零三年七月

# 鉛筆素描模擬中粗疏淡化筆觸於非描繪重點區域

## 之引用與相關呈現處理

學生：陳至名

指導教授：林正中 副教授

國立交通大學多媒體工程研究所碩士班

### 摘要

於鉛筆素描之模擬範疇中，本論文旨在探討如何處理影像中非描繪重點區域之筆觸模擬與相關處理。主要構想在於就影像中背景及大面積區域以粗疏而淡化之筆觸描繪，使整體視覺效果更為生動。本論文方法主要步驟如下：1. 根據灰階亮度曲線動態分層。2. 根據分層結果模擬粗細方向不同的筆觸。3. 依據亮度靜態分層結果得到的區塊資訊來做筆觸的分配和相關處理。4. 再加入輪廓強化圖和紙質效果。

本論文實作系統除了省去了人工參數的設定，並以真實手繪的角度切入，增加筆觸的變化與豐富度和非重點描繪區域之處理，使模擬出來的效果更具有手繪素描之風格。

# The Rendering of Subject-irrelevant Areas in Pencil Sketch Simulation with Wide, Sparsed and Light Strokes

Student : Chi-Ming Chen

Advisor : Cheng-Chung Lin

Institute of Multimedia Engineering  
National Chiao Tung University



## ABSTRACT

In the field of pencil sketch simulation, this thesis addresses how various pencil strokes are to be used in sketching and how the subject-irrelevant areas are to be rendered, particularly the latter issue. Regarding the rendering of subject-irrelevant areas, criteria are proposed to identify large regions in the image of low intensity contrast wherein specifically devised wide, sparsed and light strokes are deployed.

An automated system is implemented accordingly, and the final outcome is considered to be visually satisfactory in mimicking hand-drawn pencil sketching .

## 目 錄

摘 要.....	i
ABSTRACT.....	ii
目 錄.....	iii
圖片目錄.....	iv
<b>第一章 簡介.....</b>	<b>1</b>
<b>第二章 相關研究.....</b>	<b>7</b>
<b>第三章 處理方法.....</b>	<b>13</b>
3.1 前言.....	13
3.2 系統流程架構.....	14
3.3 依亮度分佈曲線改良式分層.....	17
3.4 筆觸模擬.....	19
3.4.1 產生雜訊圖.....	19
3.4.2 筆觸方向與粗細種類.....	21
3.4.3 細筆觸處理.....	23
3.4.4 中筆觸處理.....	26
3.4.5 粗筆觸處理.....	32
3.4.6 背景筆觸處理.....	37
3.5 輪廓結構處理.....	40
3.6 面積區分及區塊處理.....	44
3.7 合成過程.....	48
<b>第四章 實驗結果.....</b>	<b>55</b>
4.1 實驗結果與文獻[1]結果比較.....	55
4.2 實驗結果與文獻[2]結果比較.....	74
4.3 背景筆觸處理方式之改善空間.....	89
4.4 實驗結果圖.....	107
<b>第五章 結 論.....</b>	<b>117</b>
參考文獻.....	118

## 圖片目錄

圖 1-1: 原圖.....	2
圖 1-2: Photo to Sketch v4.0 結果圖 .....	2
圖 1-3: 美圖秀秀網頁板結果圖.....	2
圖 1-4: 文獻[1]結果圖 .....	4
圖 1-5: 文獻[2]結果圖 .....	5
圖 1-6: 文獻[4]結果圖 .....	5
圖 2-1: 文獻[8]中 LIC 演算法的範例圖.....	7
圖 2-2: 原圖.....	8
圖 2-3: 文獻[1]結果圖 .....	8
圖 2-4: 文獻[1]處理流程圖 .....	9
圖 2-5: 文獻[2]結果圖 .....	10
圖 2-6: 文獻[2]處理流程圖 .....	11
圖 2-7: 美元鈔票富蘭克林蝕刻像.....	12
圖 3-1: 系統流程圖.....	15
圖 3-2: 文獻[1]的影像亮度分布圖 .....	17
圖 3-3: 分層結果.....	18
圖 3-4: 灰層.....	18
圖 3-5: 次暗層.....	18
圖 3-6: 最暗層.....	18
圖 3-7: 灰層雜訊圖.....	20
圖 3-8: 次暗層雜訊圖.....	20
圖 3-9: 最暗層雜訊圖.....	20
圖 3-10: 灰層雜訊圖模擬細筆觸，方向 180 度筆觸.....	24
圖 3-11: 灰層雜訊圖模擬細筆觸，方向 202.5 度筆觸.....	24

圖 3-12: 灰層雜訊圖模擬細筆觸，方向 225 度筆觸.....	24
圖 3-13: 灰層雜訊圖模擬細筆觸，方向 247.5 度筆觸.....	24
圖 3-14: 灰層雜訊圖模擬細筆觸，方向 270 度筆觸.....	25
圖 3-15: 灰層雜訊圖模擬細筆觸，方向 292.5 度筆觸.....	25
圖 3-16: 灰層雜訊圖模擬細筆觸，方向 315 度筆觸.....	25
圖 3-17: 灰層雜訊圖模擬細筆觸，方向 337.5 度筆觸.....	25
圖 3-18: 單純使用 3*3mask，225 度。.....	26
圖 3-19: 使用 3*3mask，225 度筆觸修正之處理。.....	26
圖 3-20: 單純使用 3*3mask，202.5 度。.....	27
圖 3-21: 使用 3*3mask，202.5 度筆觸修正之處理。.....	28
圖 3-22: 使用 3*3mask，337.5 度筆觸修正之處理。.....	29
圖 3-23: 使用 3*3mask，247.5 度筆觸修正之處理。.....	29
圖 3-24: 使用 3*3mask，292.5 度筆觸修正之處理。.....	29
圖 3-25: 灰層雜訊圖模擬中筆觸，筆觸方向 180 度.....	30
圖 3-26: 灰層雜訊圖模擬中筆觸，筆觸方向 202.5 度.....	30
圖 3-27: 灰層雜訊圖模擬中筆觸，筆觸方向 225 度.....	30
圖 3-28: 灰層雜訊圖模擬中筆觸，筆觸方向 247.5 度.....	30
圖 3-29: 灰層雜訊圖模擬中筆觸，筆觸方向 270 度.....	31
圖 3-30: 灰層雜訊圖模擬中筆觸，筆觸方向 292.5 度.....	31
圖 3-31: 灰層雜訊圖模擬中筆觸，筆觸方向 315 度.....	31
圖 3-32: 灰層雜訊圖模擬中筆觸，筆觸方向 337.5 度.....	31
圖 3-33: 使用 5*5mask，225 度筆觸修正之處理。.....	32
圖 3-34: 使用 5*5mask，202.5 度筆觸修正之處理。.....	33
圖 3-35: 使用 5*5mask，337.5 度筆觸修正之處理。.....	34
圖 3-36: 使用 5*5mask，292.5 度筆觸修正之處理。.....	34
圖 3-37: 使用 5*5mask，247 度筆觸修正之處理。.....	34
圖 3-38: 灰層雜訊圖模擬粗筆觸，方向 180 度筆觸.....	35
圖 3-39: 灰層雜訊圖模擬粗筆觸，方向 202.5 度筆觸.....	35
圖 3-40: 灰層雜訊圖模擬粗筆觸，方向 225 度筆觸.....	35
圖 3-41: 灰層雜訊圖模擬粗筆觸，方向 247.5 度筆觸.....	35

圖 3-42: 灰層雜訊圖模擬粗筆觸，方向 270 度筆觸.....	36
圖 3-43: 灰層雜訊圖模擬粗筆觸，方向 292.5 度筆觸.....	36
圖 3-44: 灰層雜訊圖模擬粗筆觸，方向 315 度筆觸.....	36
圖 3-45: 灰層雜訊圖模擬粗筆觸，方向 337.5 度筆觸.....	36
圖 3-46: 使用 11*11mask，225 度筆觸修正之處理.....	38
圖 3-47: 灰層雜訊圖模擬背景筆觸，方向 225 度，亮度對比壓縮前.....	39
圖 3-48: 灰層雜訊圖模擬背景筆觸，方向 225 度，亮度對比壓縮後.....	39
圖 3-49 : 9x9 像素遮罩.....	40
圖 3-50: 輪廓圖經 3*3median-filter 處理前.....	41
圖 3-51: 輪廓圖經 3*3median-filter 處理後.....	41
圖 3-52: 平順輪廓圖.....	42
圖 3-53: 輪廓結構強化圖.....	43
圖 3-54: 面積區分圖.....	45
圖 3-55: 筆觸方向分布圖.....	47
圖 3-56: 依亮度分佈曲線分層圖.....	48
圖 3-57: 筆觸模擬圖.....	50
圖 3-58: 文獻[1]結果圖.....	52
圖 3-59: 本論文實驗結果圖.....	52
圖 3-60: 文獻[1]結果圖.....	52
圖 3-61: 輪廓與筆觸合成圖.....	52
圖 3-62: 數位化紙張材質.....	53
圖 3-63: 本論文實驗結果圖.....	54
圖 4-1: 狗-原圖.....	55
圖 4-2: 狗-文獻[1] 結果圖.....	56
圖 4-3: 狗-本論文實驗結果圖.....	56
圖 4-4: 馬-原圖.....	57
圖 4-5: 馬-文獻[1]結果圖.....	57
圖 4-6: 馬-本論文實驗結果圖.....	57



圖 4-7: 瓢蟲-原圖 .....	58
圖 4-8: 瓢蟲-文獻[1]結果圖 .....	58
圖 4-9: 瓢蟲-本論文實驗結果.....	58
圖 4-10: 國父-原圖 .....	59
圖 4-11: 國父-文獻[1]結果圖 .....	59
圖 4-12: 國父-本論文實驗結果圖.....	59
圖 4-13: Lena-原圖 .....	60
圖 4-14: Lena-文獻[1]結果圖 .....	60
圖 4-15: Lena-本論文實驗結果.....	60
圖 4-16: 女星-原圖 .....	61
圖 4-17: 女星-文獻[1]結果圖 .....	61
圖 4-18: 女星-本論文實驗結果.....	61
圖 4-19: 嬰兒-原圖 .....	62
圖 4-20: 嬰兒-文獻[1]結果圖 .....	62
圖 4-21: 嬰兒-本論文實驗結果.....	62
圖 4-22: 人像-原圖 .....	63
圖 4-23: 人像-文獻[1]結果圖 .....	63
圖 4-24: 人像-本論文實驗結果.....	63
圖 4-25: 女星-原圖 .....	64
圖 4-26: 女星-文獻[1]結果圖 .....	64
圖 4-27: 女星-本論文實驗結果.....	64
圖 4-28: 黑人小孩-原圖 .....	65
圖 4-29: 黑人小孩-文獻[1]結果圖 .....	65
圖 4-30: 黑人小孩-本論文實驗結果.....	65
圖 4-31: 劇照-原圖 .....	66
圖 4-32: 劇照-文獻[1]結果圖 .....	66
圖 4-33: 劇照-本論文實驗結果.....	66

圖 4-34: 風景-原圖 .....	67
圖 4-35: 風景-文獻[1]結果圖 .....	67
圖 4-36: 風景-本論文實驗結果.....	67
圖 4-37: 風景-原圖 .....	68
圖 4-38: 風景-文獻[1]結果圖 .....	68
圖 4-39: 風景-本論文實驗結果.....	68
圖 4-40: 建築-原圖 .....	69
圖 4-41: 建築-文獻[1]結果圖 .....	69
圖 4-42: 建築-本論文實驗結果.....	69
圖 4-43: 建築-原圖 .....	70
圖 4-44: 建築-文獻[1]結果圖 .....	70
圖 4-45: 建築-本論文實驗結果.....	70
圖 4-46: 車子-原圖 .....	71
圖 4-47: 車子-文獻[1]結果圖 .....	71
圖 4-48: 車子-本論文實驗結果.....	71
圖 4-49: 車子-原圖 .....	72
圖 4-50: 車子-文獻[1]結果圖 .....	72
圖 4-51: 車子-本論文實驗結果.....	72
圖 4-52: 船-原圖 .....	73
圖 4-53: 船-文獻[1]結果圖 .....	73
圖 4-54: 船-本論文實驗結果 .....	73
圖 4-55:長頸鹿-原圖 .....	74
圖 4-56: 長頸鹿-文獻[2]結果圖 .....	75
圖 4-57: 長頸鹿-本論文實驗結果.....	75
圖 4-58: 狼-原圖 .....	76
圖 4-59: 狼-文獻[2]結果圖 .....	76
圖 4-60: 狼-本論文實驗結果 .....	76

圖 4-61: 豹-原圖 .....	77
圖 4-62: 豹-文獻[2]結果圖 .....	77
圖 4-63: 豹-本論文實驗結果 .....	77
圖 4-64: 海豚-原圖 .....	78
圖 4-65: 海豚-文獻[2]結果圖 .....	78
圖 4-66: 海豚-本論文實驗結果.....	78
圖 4-67: 歐巴馬-原圖 .....	79
圖 4-68: 歐巴馬-文獻[2]結果圖 .....	79
圖 4-69: 歐巴馬-本論文實驗結果.....	79
圖 4-70: 王建民-原圖 .....	80
圖 4-71: 王建民-文獻[2]結果圖 .....	80
圖 4-72: 王建民-本論文實驗結果.....	80
圖 4-73: 長城-原圖 .....	81
圖 4-74: 長城-文獻[2]結果圖 .....	81
圖 4-75: 長城-本論文實驗結果.....	81
圖 4-76: 風景-原圖 .....	82
圖 4-77: 風景-文獻[2]結果圖 .....	82
圖 4-78: 風景-本論文實驗結果.....	82
圖 4-79: 車子-原圖 .....	83
圖 4-80: 車子-文獻[2]結果圖 .....	83
圖 4-81: 車子-本論文實驗結果.....	83
圖 4-82: 賽車-原圖 .....	84
圖 4-83: 賽車-文獻[2]結果圖 .....	84
圖 4-84: 賽車-本論文實驗結果.....	84
圖 4-85: 靜物-原圖 .....	85
圖 4-86: 靜物-文獻[2]結果圖 .....	85
圖 4-87: 靜物-本論文實驗結果.....	85

圖 4-88: 劇照-原圖 .....	86
圖 4-89: 劇照-面積區分圖 .....	87
圖 4-90: 劇照-亮度分層圖 .....	87
圖 4-91: 劇照-文獻[1]結果圖.....	88
圖 4-92: 劇照-本論文實驗結果.....	88
圖 4-93: 甘迺迪-原圖 .....	89
圖 4-94: 甘迺迪-面積區分圖 .....	89
圖 4-95: 甘迺迪-亮度分層圖 .....	89
圖 4-96: 甘迺迪-文獻[1]結果圖.....	90
圖 4-97: 甘迺迪-本論文實驗結果.....	90
圖 4-98: 王建民-原圖 .....	91
圖 4-99: 王建民-平順輪廓圖.....	91
圖 4-100: 王建民-面積區分圖 .....	91
圖 4-101: 王建民-亮度分層圖.....	91
圖 4-102: 王建民-文獻[1]結果圖 .....	92
圖 4-103: 王建民-本論文實驗結果 .....	92
圖 4-104: 籃球員-原圖 .....	93
圖 4-105: 籃球員-平順輪廓圖.....	93
圖 4-106: 籃球員-面積區分圖 .....	93
圖 4-107: 籃球員-亮度分層圖.....	93
圖 4-108: 文獻[2]結果圖 .....	94
圖 4-109: 本論文實驗結果.....	94
圖 4-110: 衛兵-原圖 .....	95
圖 4-111: 衛兵-平順輪廓圖.....	95
圖 4-112: 衛兵-面積區分圖 .....	95
圖 4-113: 衛兵-亮度分層圖 .....	95
圖 4-114: 衛兵-文獻[2]結果圖.....	96
圖 4-115: 衛兵-本論文實驗結果 .....	96

圖 4-116: 影星-原圖 .....	97
圖 4-117: 影星-平順輪廓圖 .....	97
圖 4-118: 影星-文獻[2]結果圖 .....	98
圖 4-119: 影星-本論文實驗結果 .....	98
圖 4-120: 街景-原圖 .....	99
圖 4-121: 街景-面積區分圖 .....	99
圖 4-122: 街景-亮度分層圖 .....	99
圖 4-123: 街景-文獻[2]結果圖 .....	100
圖 4-124: 街景-本論文實驗結果 .....	100
圖 4-125: 老虎-原圖 .....	101
圖 4-126: 老虎-面積區分圖 .....	101
圖 4-127: 老虎-亮度分層圖 .....	101
圖 4-128: 老虎-文獻[2]結果圖 .....	102
圖 4-129: 老虎-本論文實驗結果 .....	102
圖 4-130: 船-原圖 .....	103
圖 4-131: 船-面積區分圖 .....	103
圖 4-132: 船-亮度分層圖 .....	103
圖 4-133: 船-文獻[1]結果圖 .....	104
圖 4-134: 船-本論文實驗結果 .....	104
圖 4-135: 香蕉-原圖 .....	105
圖 4-136: 香蕉-平順輪廓圖 .....	105
圖 4-137: 香蕉-面積區分圖 .....	105
圖 4-138: 香蕉-亮度分層圖 .....	105
圖 4-139: 香蕉-文獻[1]結果圖 .....	106
圖 4-140: 香蕉-本論文實驗結果 .....	106
圖 4-141: 狐狸-原圖 .....	107
圖 4-142: 狐狸-本論文實驗結果 .....	107

圖 4-143: 企鵝-原圖 .....	108
圖 4-144: 企鵝-本論文實驗結果 .....	108
圖 4-145: 女星-原圖 .....	109
圖 4-146: 女星-本論文實驗結果 .....	109
圖 4-147: 女星-原圖 .....	110
圖 4-148: 女星-本論文實驗結果 .....	110
圖 4-149: 士兵-原圖 .....	111
圖 4-150: 士兵-本論文實驗結果 .....	111
圖 4-151: 風景-原圖 .....	112
圖 4-152: 風景-本論文實驗結果 .....	112
圖 4-153: 比薩斜塔-原圖 .....	113
圖 4-154: 比薩斜塔-本論文實驗結果 .....	113
圖 4-155: 直升機-原圖 .....	114
圖 4-156: 直升機-本論文實驗結果 .....	114
圖 4-157: 靜物-原圖 .....	115
圖 4-158: 靜物-本論文實驗結果 .....	115
圖 4-159: 花盆-原圖 .....	116
圖 4-160: 花盆-本論文實驗結果 .....	116

# 第一章 簡介

在科技迅速的進步下，人們的需求也隨著提高，因此在計算機繪圖中除了擬真顯像(Photorealistic Rendering, PR)這領域為了追求顯示品質更高的表現為目標外，也有非擬真顯像(Non- Photorealistic Rendering, NPR)的領域為了追求各種風格影像的表現方式。除了在藝術方面，如鉛筆素描、蠟筆、水墨、水彩等等，在實用方面上也是很廣泛的應用。例如在醫學教學方面，有時我們需要的並不是栩栩如生的畫面，而是能清楚傳達資訊的抽象概念。因此近年來有關 NPR 的研究越來越多，依此可見人們對 NPR 領域的需求與要求都更加重視。

而關於鉛筆素描的相關研究也是相當多的，但在探討相關研究前，由於市面上已經有許多將影像轉為具有素描風格影像的軟體，因此先來觀察市面上的軟體的效果如何並探討其缺點，以下為兩個市面上軟體之成果。



圖 1-1:原圖

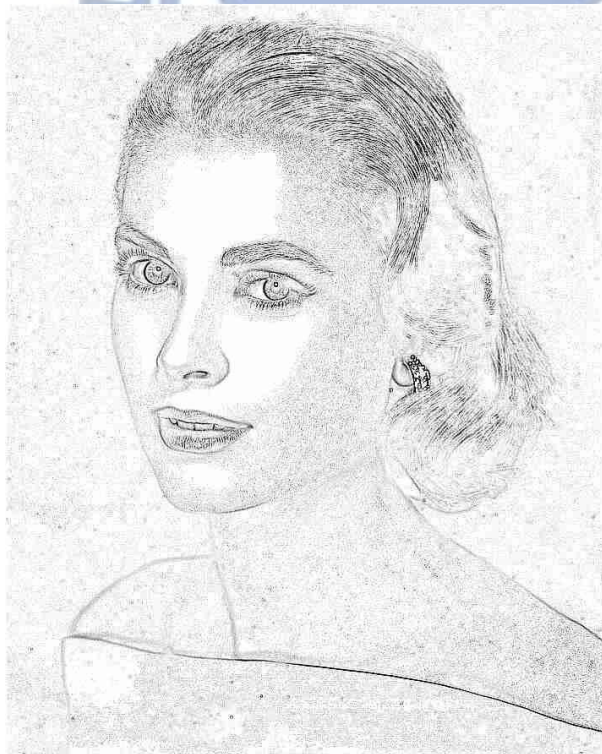


圖 1-2: Photo to Sketch v4.0 結果圖

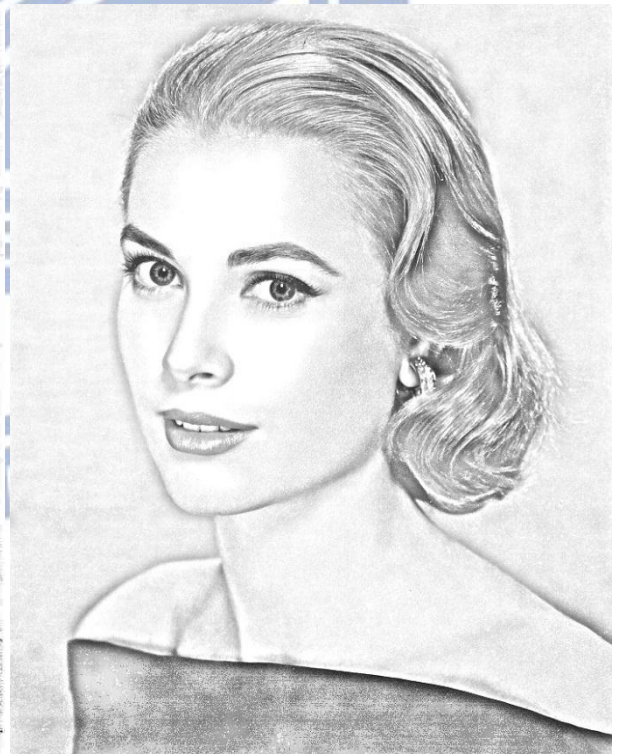


圖 1-3:美圖秀秀網頁版結果圖



在圖 1-2 中，可以觀察到此影像與手繪素描的感覺相差甚遠，在眼睛等細節部分以留白處理，根本不像鉛筆素描，此影像比起鉛筆素描更像是輪廓圖。

而在圖 1-3 中，其結果也不盡理想，看不出具有鉛筆素描的感覺，整體觀察下來，除了灰階值有改變外其他部分似乎看不出變化，使得效果更接近黑白相片的感覺。

要如何將影像轉換為具有鉛筆素描風格的影像，首先要考慮的即是如何表現鉛筆素描繪畫的感覺，在此將之稱為筆觸。

在文獻[1]中，作者利用 LIC(Line Integral Convolution)為基礎做出了具有鉛筆素描筆觸的感覺。但其缺點在於筆觸的變化性太少，在粗細長短上並沒有任何變化皆為細且短筆觸的感覺，方向上除了只有兩個方向外並且沒有依照手繪習慣決定筆觸方向，而是依照灰階值來決定其筆觸方向。以下為文獻[1]結果圖。



圖 1-4:文獻[1]結果圖

在文獻[2]中，作者引用文獻[1]之結果並利用面積區分之概念再加入中筆觸和粗筆觸，並且加入方向和筆觸間距的概念。但其細筆觸由於為引用文獻[1]因此在筆觸方向之處理方面同文獻[1]，只具有兩個方向且其方向為依照灰階值決定，而此舉並不符合手繪習慣。而中筆觸和粗筆觸方面，具有六個方向並且依照其區塊梯度變化去判斷，但其模擬的中筆觸和粗筆觸效果並不佳，其中筆觸和粗筆觸為單純的一條單色直線並沒有變化因此看起來較為生硬並沒有以鉛筆素描去繪畫的感覺，以下為文獻[2]結果圖。



圖 1-5:文獻[2]結果圖

在文獻[4]中，作者旨在探討鉛筆素描之寬筆觸效應並且模擬出了效果較佳的鉛筆素描寬筆觸感覺。但作者並沒有將此寬筆觸結果應用於將影像轉為素描風格中，僅有模擬筆觸結果。以下為文獻[4]其中之一的結果圖。

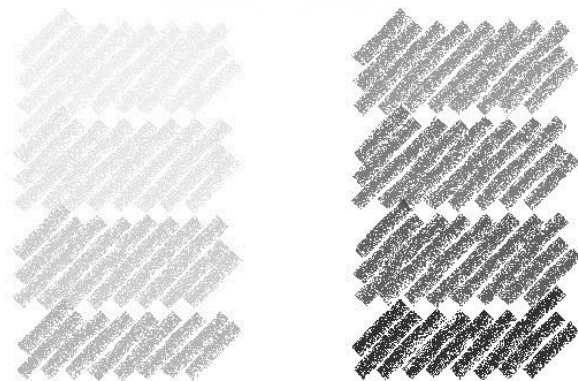


圖 1-6:文獻[4]結果圖

而本篇論文主在探討 2D 影像中鉛筆素描風格之處理。為了將影像轉換為具有真實手繪鉛筆素描的風格，在筆觸方面將在濃淡、粗細、長短、方向做處理。而除了模擬更擬真和變化性更多的筆觸外，本論文以真實手繪的習慣角度去切入，判斷在影像中何處為非描繪重點區域，並且對該區域做特殊處理使整張影像更具有真實手繪的感覺，細節將在 3.4 中做說明。

本論文系統以全自動化的方式產生，讓使用者無須了解本論文系統架構和設定不清楚的參數，也不需要任何的相關知識也能夠馬上使用。

接下來第二章會介紹一些相關的鉛筆素描研究。第三章將說明此篇論文實驗的方法和細節說明。第四章呈現實驗結果和相關探討。最後第五章為結論。

## 第二章 相關研究

在鉛筆素描中，如何表現筆觸的效果一直是個重要的課題。其中相關研究以引用 LIC(Line Integral Convolution)線積分迴旋法的架構較為常見。

在文獻[8]中，提到利用經由原圖每個像素計算顏色亮暗變化而產生的向量圖如圖 2-1，再以向量圖中各點為中心沿正向與反向的向量算出曲線計算該點特徵量對曲線上各點之貢獻，產生方向性模糊化的效果。

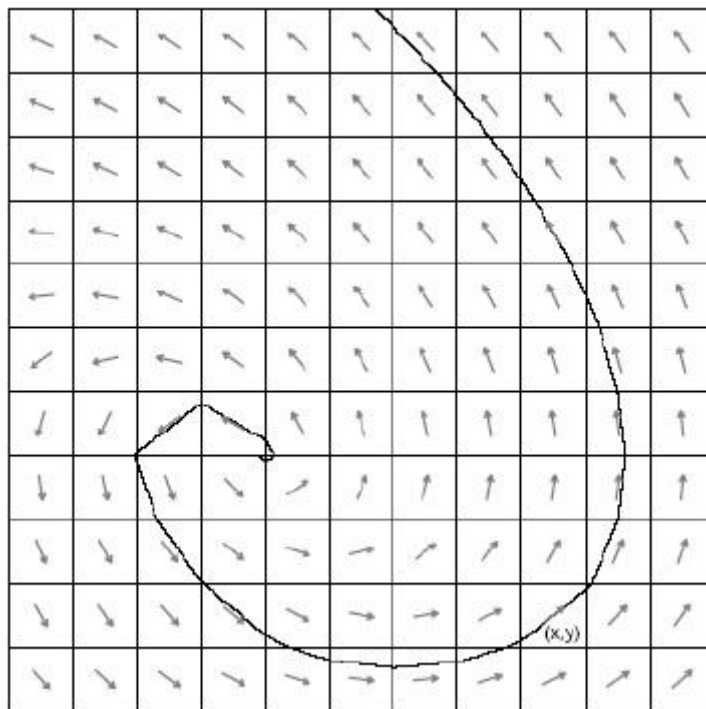


圖 2-1:文獻[8]中 LIC 演算法的範例圖

在文獻[1]這篇文獻中，作者利用 LIC 為基礎並透過亮度分層和各別的雜訊圖，再加上輪廓結構強化圖來產生突顯輪廓並具有素描筆觸的結果圖。



圖 2-2:原圖

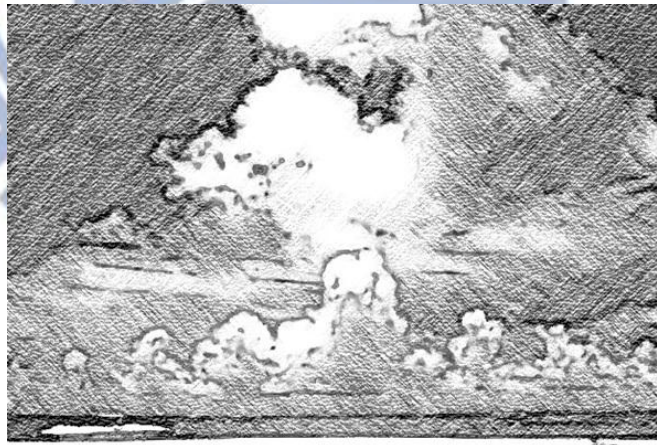


圖 2-3:文獻[1]結果圖

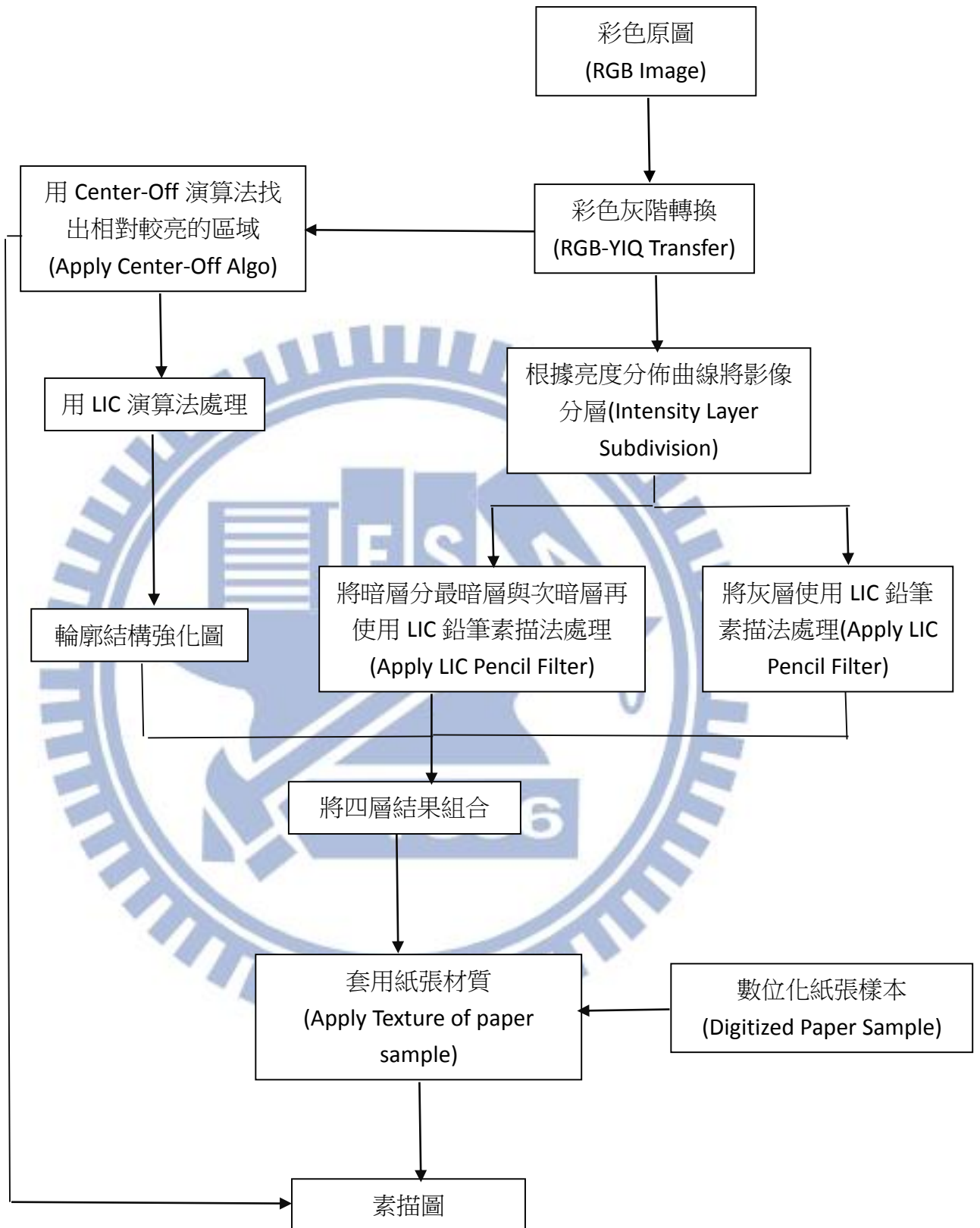


圖 2-4: 文獻[1]處理流程圖

在圖 2-3 中，我們可以觀察到整張圖中的筆觸方向只有往左下角和右下角 45 度這兩個方向，並且在筆觸上皆為較短且細緻的筆觸，整張圖中筆觸並沒有粗細或其他方面的變化。

而在文獻[2]這篇文獻中，引用了文獻[1]的結果並加入了中筆觸、粗筆觸和面積區分的概念。

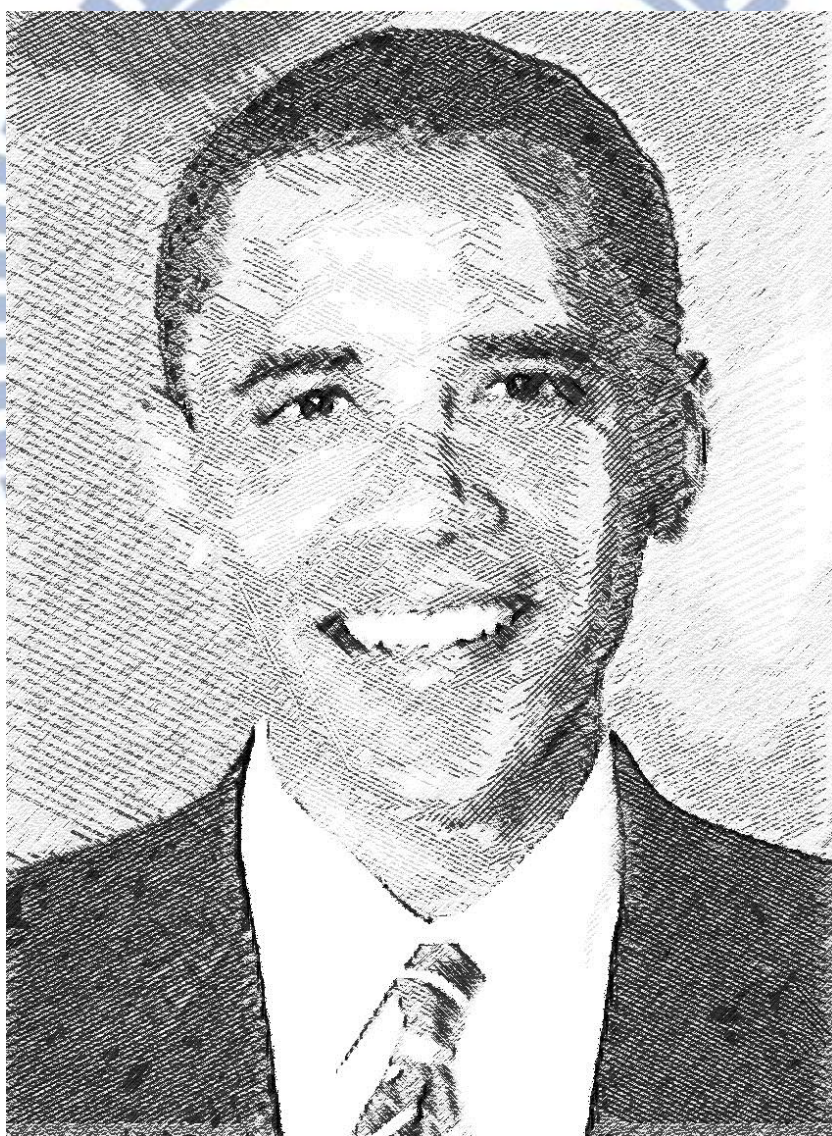


圖 2-5: 文獻[2]結果圖



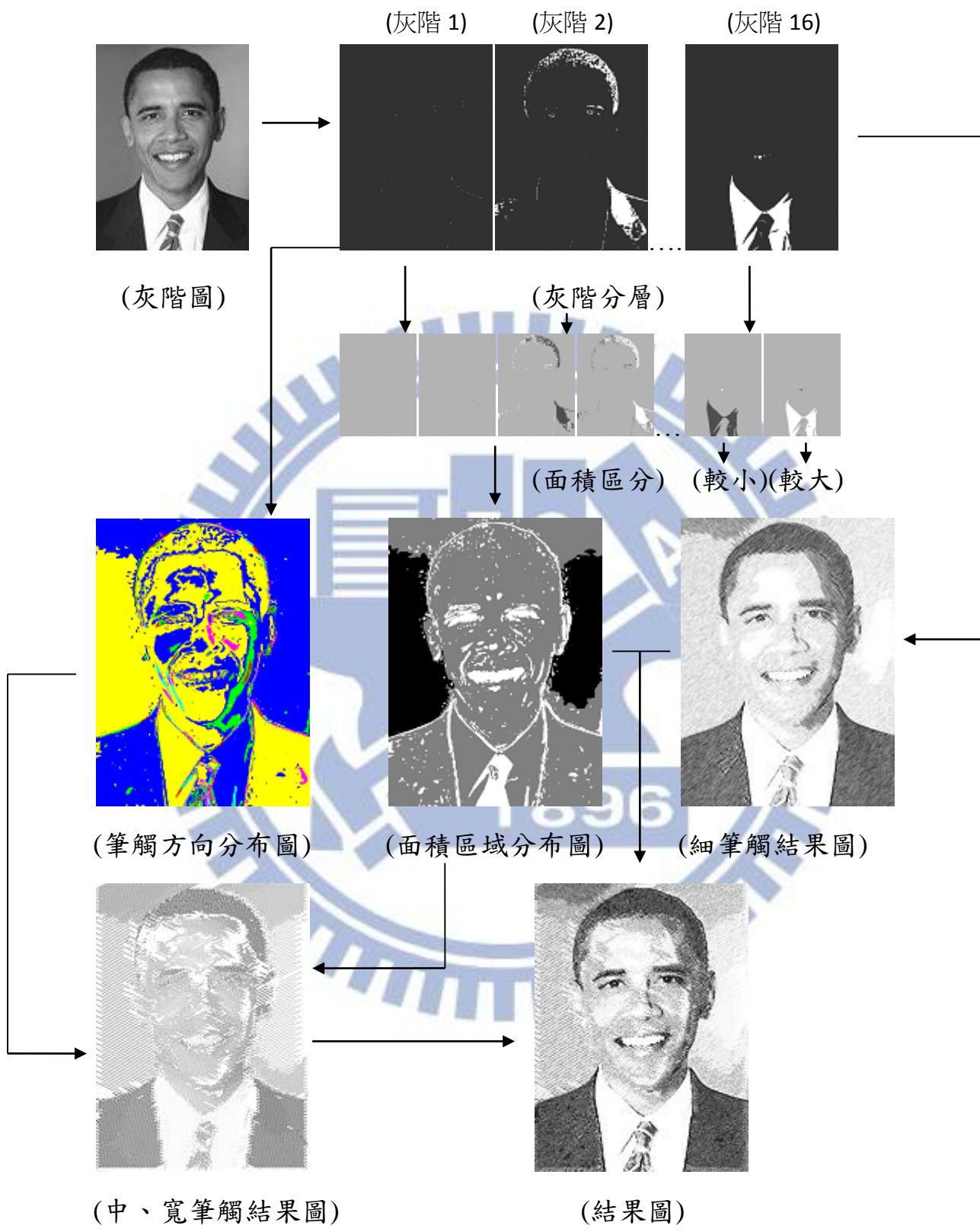


圖 2-6: 文獻[2]處理流程圖

在此文獻[2]的結果圖中，我們可以發現筆觸的方向和粗細變化性增加了，但是此文獻所模擬的中寬筆觸結果感覺較生硬，使得融合後的結果比起素描更像是銅版畫的感覺。



圖 2-7: 美元鈔票富蘭克林蝕刻像

## 第三章 處理方法

### 3.1 前言

在文獻[1]中，作者僅有模擬細筆觸，在方向上也僅有兩種方向且其方向是以灰階為依據而此並不符合手繪習慣。除此之外在輪廓的擷取上會有許多並不需要的雜點，並且在合成輪廓時會有不符素描常例的突兀現象發生。而在文獻[2]中，雖然加入了中筆觸及粗筆觸但其效果並不佳且其細筆觸為引用文獻[1]之結果因此在細筆觸的表現上也有和文獻[1]相同的問題。

本論文希望建構一套自動化系統，讓使用者能夠將輸入的彩色影像轉為一張具有素描風格的影像。並且在筆觸模擬上使方向和粗細有更豐富的層次變化和更有手繪的感覺，另外能以真實手繪的習慣的角度去考慮非描繪重點區域的處理，使影像更具真實手繪素描的感覺。而直覺上非描繪重點區域通常為背景部分或面積較大的部分，而此部分通常在亮度上沒有明顯之變化，因此本論文將具有此種特性的區塊視為非描繪重點區域。接下來將詳細說明實驗步驟和流程。

## 3.2 系統流程架構

完整的系統流程如圖 3-1 所示，首先將原圖轉為灰階，接著依此灰階圖做各種處理。首先是依亮度曲線分層，將原圖分為亮層、灰層、次暗層、最暗層，並對各層做相對應之處理並模擬筆觸。接著依灰階圖做出輪廓強化圖。再來是將灰階簡化後做區塊大小的區分和區塊相關資訊的處理，藉著區塊的大小來區分筆觸的粗細。之後再依區塊資訊和亮度分層結果找出非描繪重點區域並做相關處理。最後再加入輪廓強化圖和紙質效果得到最終的結果圖，詳細做法將在後面小節說明。

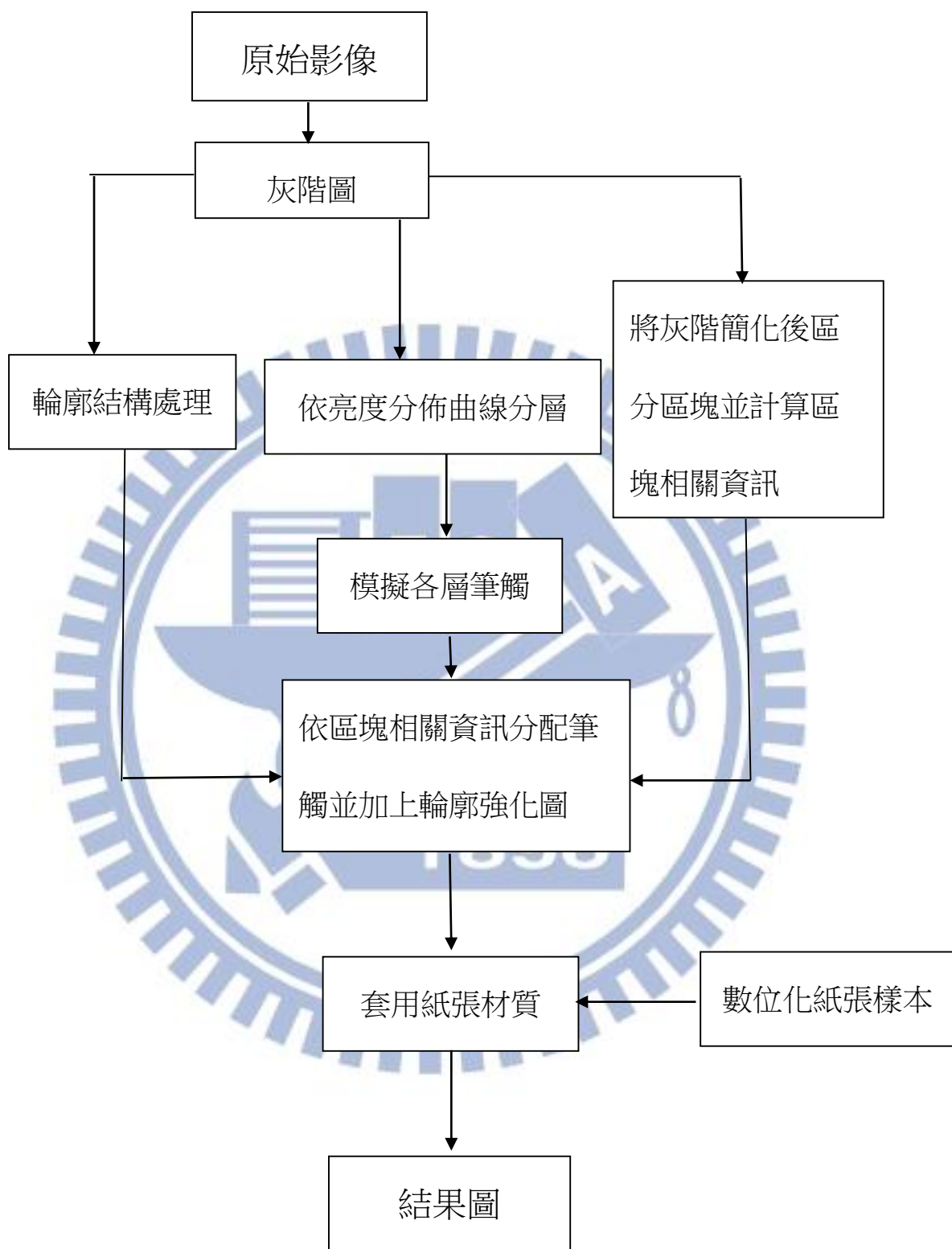
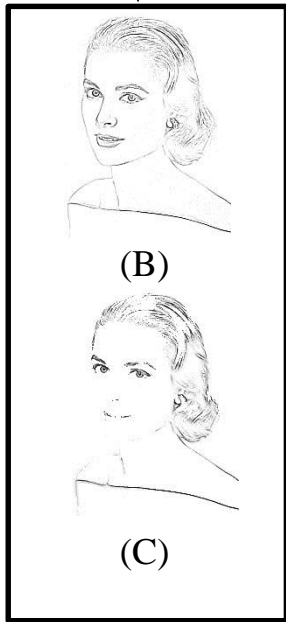


圖 3-1:系統流程圖

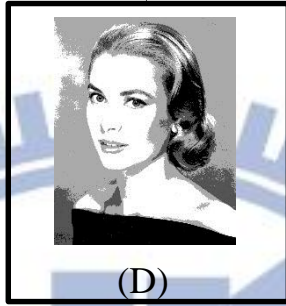


(A)

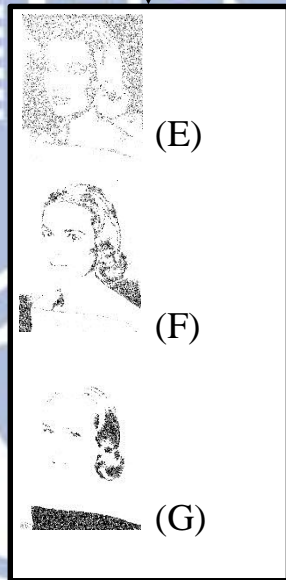


(B)

(C)



(D)



(E)

(F)

(G)

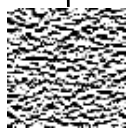


(H)

(I)



(J)



(K)



(L)

上圖為流程處理呈現圖: (A) 灰階圖 (B)平順輪廓圖 (C)輪廓結構強化圖 (D) 依亮度分佈曲線分層結果 (E) 灰層雜訊圖 (F) 次暗層雜訊圖 (G) 最暗層雜訊圖 (H) 區塊面積區分圖 (I) 區塊筆觸方向分布圖 (J) 合成圖 (K) 數位化紙張材質 (L) 結果圖

### 3.3 依亮度分佈曲線改良式分層

此方法為引用文獻[1]中的分層方式，將原圖灰階圖做亮度分析，總共分為亮層、灰層、次暗層、最暗層。根據亮度由低到高的分佈曲線找出平均斜率變化最大的兩點做暗層、灰層、亮層的分界點，再將暗層和灰層的分界點再除以一半，使暗層分為次暗層和最暗層。而亮層的部分通常為留白區域因此不做特別處理。

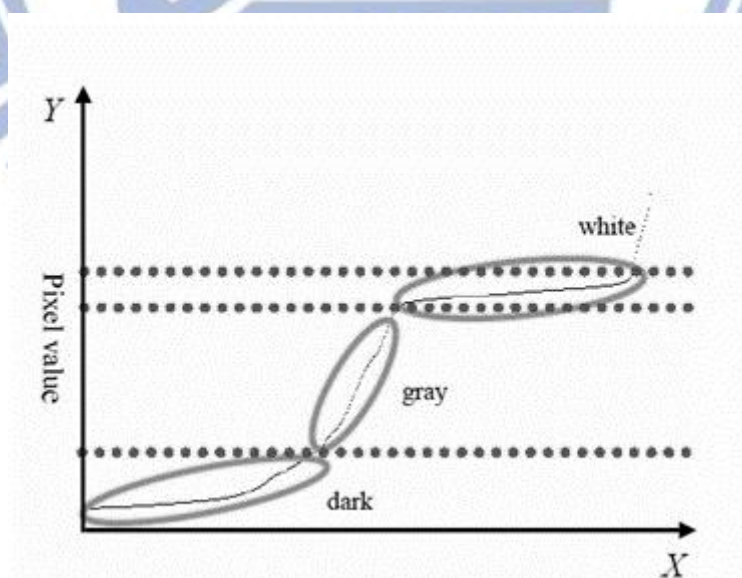


圖 3 -2：文獻[1]的影像亮度分布圖



圖 3-3:分層結果。白色區域(亮層)、淺灰色區域(灰層)、深灰色區域(次暗層)、黑色區域(最暗層)。



圖 3-4:灰層

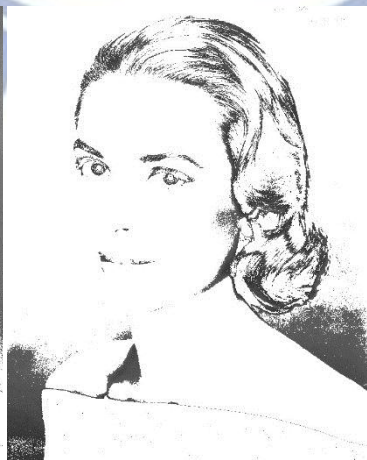


圖 3-5:次暗層



圖 3-6:最暗層



## 3.4 筆觸模擬

### 3.4.1 產生雜訊圖

在筆觸模擬方面，參考文獻[1]的方法，首先利用上述的各個分層圖產生各自的雜訊圖，再做出方向性模糊化的效果來模擬筆觸。

雜訊圖的產生方式如下：

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

上述公式中  $k$  為一常數， $k$  值越大則使該點呈現黑色的機率越大，反之，本論文使用  $k=0.75$ 。而  $P$  為介於 0 到 1 之間的亂數。從以上的公式可觀察到，當原圖中的像素亮度越低，則  $T$  越大，因此造成  $P$  大於等於  $T$  的機率越低，結果使得到為亮度為 0 得機率越高，因此符合我們所期望得到的雜訊圖。



圖 3-7: 灰層雜訊圖



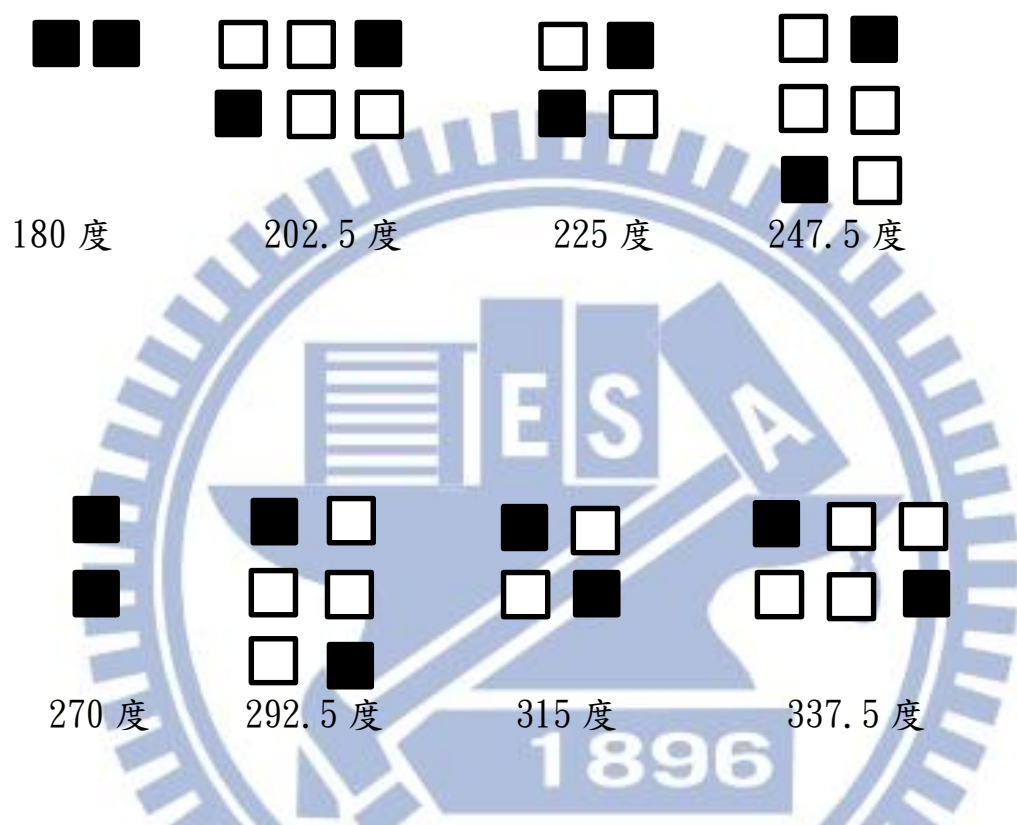
圖 3-8: 次暗層雜訊圖



圖 3-9: 最暗層雜訊圖

### 3.4.2 筆觸方向與粗細種類

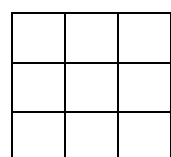
接著依據雜訊圖來模擬筆觸效果，本論文為增加筆觸的豐富性，共有 8 個方向 4 種粗細的變化。其中 8 個方向為：



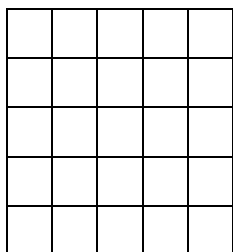
而粗細的部分分別採用 1\*1，3\*3，5\*5，11\*11 四種 mask 大小為一個處理單位。



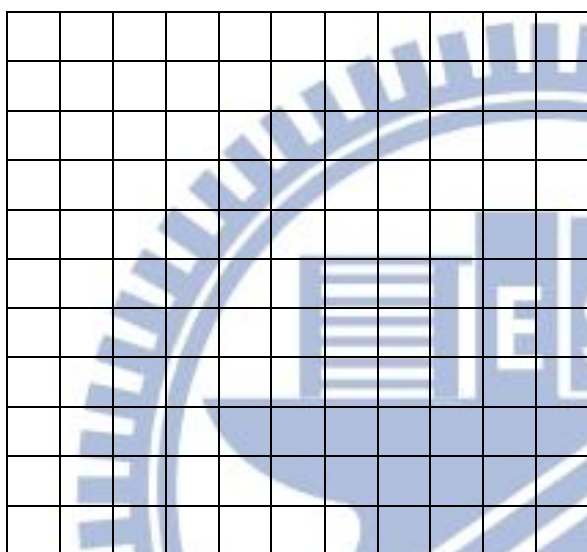
1\*1



3\*3



5\*5



11\*11

以下將採用 1\*1 為一個處理單位的稱為細筆觸，3\*3 為一個處理單位的為中筆觸，5\*5 為一個處理單位的為粗筆觸，11\*11 為一個處理單位的為背景筆觸。

### 3.4.3 細筆觸處理

筆觸模擬中，各層的筆觸模擬將參考各自的雜訊圖來產生。而在筆觸模擬中，每個處理單位的灰階值將由筆觸方向兩邊的若干個處理單位內的像素灰階值決定(本論文採用 7 個處理單位)。

在此假設  $noise[i][j]$  為雜訊圖中座標  $(i, j)$  的灰階值， $I(i, j)$  為筆觸模擬圖座標  $(i, j)$  的灰階值，其中  $(i, j)$  分別為影像縱橫座標，以  $1 \times 1, 180$  度為例，則筆觸模擬方法如下：

$$I[i][j] = \sum_{k=0}^{7*1} (1 - 0.05 * k) * noise[i][j \pm k] / \sum_{k=0}^{7*1} (1 - 0.05 * k)$$

其中若  $(1 - 0.05 * k)$  小於 0.05 則設為 0.05。

如此對雜訊圖處理即可得到具有方向性筆觸效果的影像，以下為對灰層雜訊圖模擬細筆觸各個方向之結果圖。

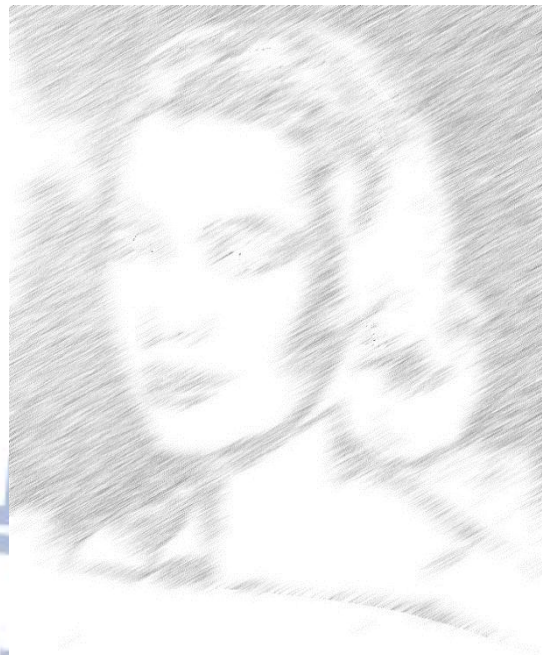


圖 3-10:灰層雜訊圖模擬細筆觸，圖 3-11:灰層雜訊圖模擬細筆觸，  
方向 180 度筆觸。 方向 202.5 度筆觸

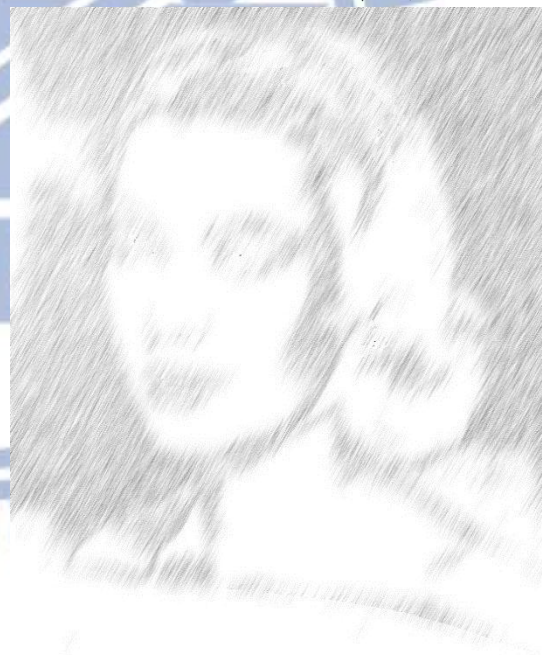
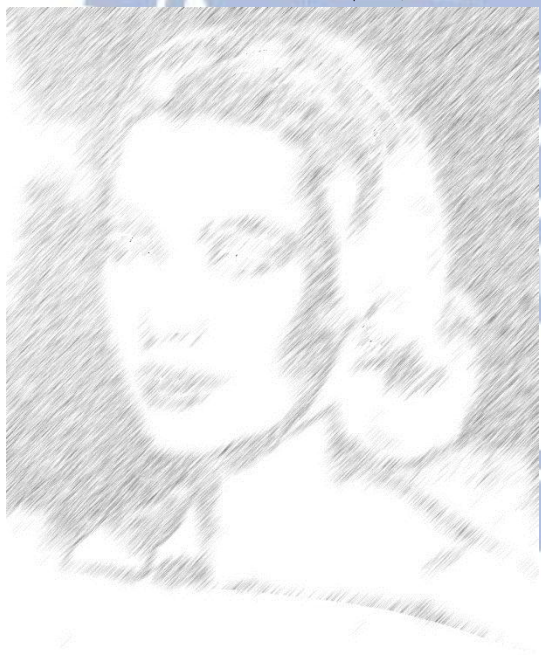


圖 3-12:灰層雜訊圖模擬細筆觸，圖 3-13:灰層雜訊圖模擬細筆觸，  
方向 225 度筆觸 方向 247.5 度筆觸

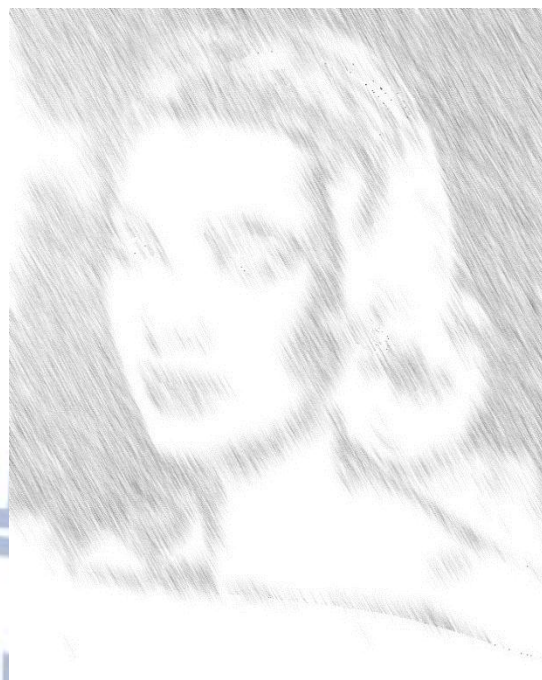


圖 3-14:灰層雜訊圖模擬細筆觸，圖 3-15:灰層雜訊圖模擬細筆觸，

方向 270 度筆觸

方向 292.5 度筆觸

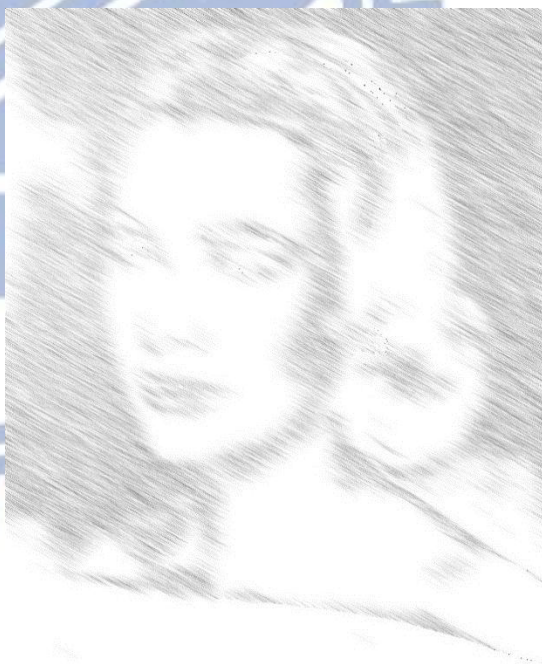


圖 3-16:灰層雜訊圖模擬細筆觸，圖 3-17:灰層雜訊圖模擬細筆觸，

方向 315 度筆觸

方向 337.5 度筆觸

### 3.4.4 中筆觸處理

而在模擬中筆觸使用 3\*3 的 mask 並以中心點為代表時，會使筆觸在除了水平和鉛直以外的方向產生不自然而具有方塊感的線條。

因此還需要做一些修正的處理，使具有線條的感覺。

以下以 3\*3mask，225 度為例。

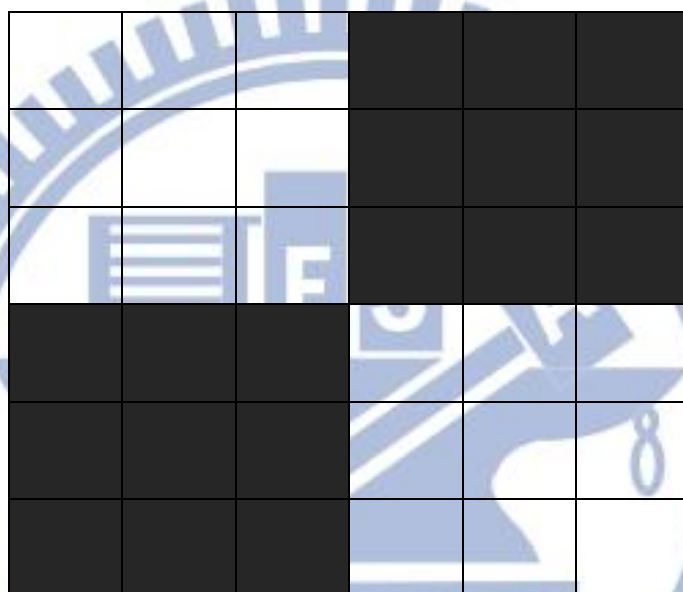


圖 3-18: 單純使用 3\*3mask，225 度。

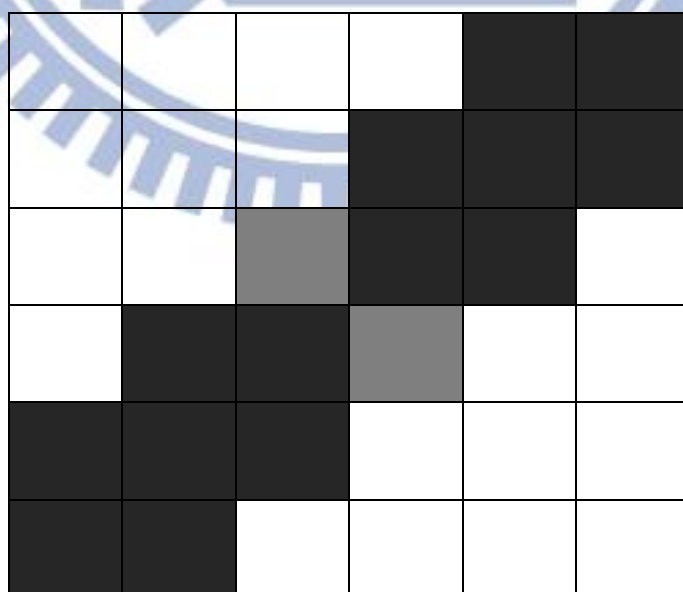


圖 3-19: 使用 3\*3mask，225 度筆觸修正之處理。



圖 3-19 中，灰點的灰階值將為兩個 mask 中心點灰階值的平均。  
 在 225 和 315 度時可以很直觀用以上方法修正，但剩下四個角度處理起來就比較需要探討一下該如何修正，以下以 202.5 度為例。

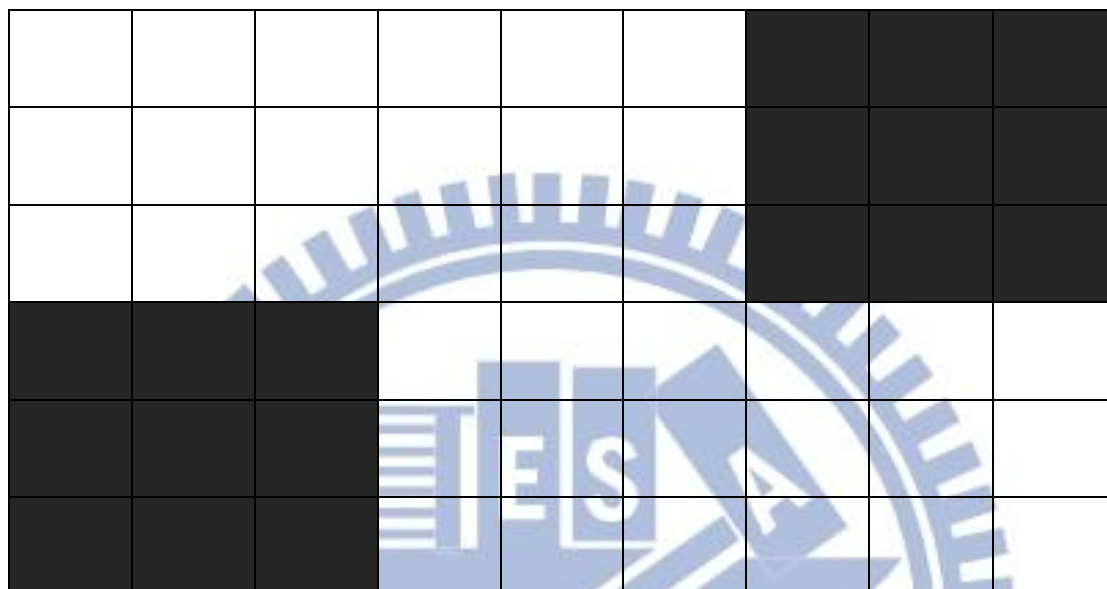
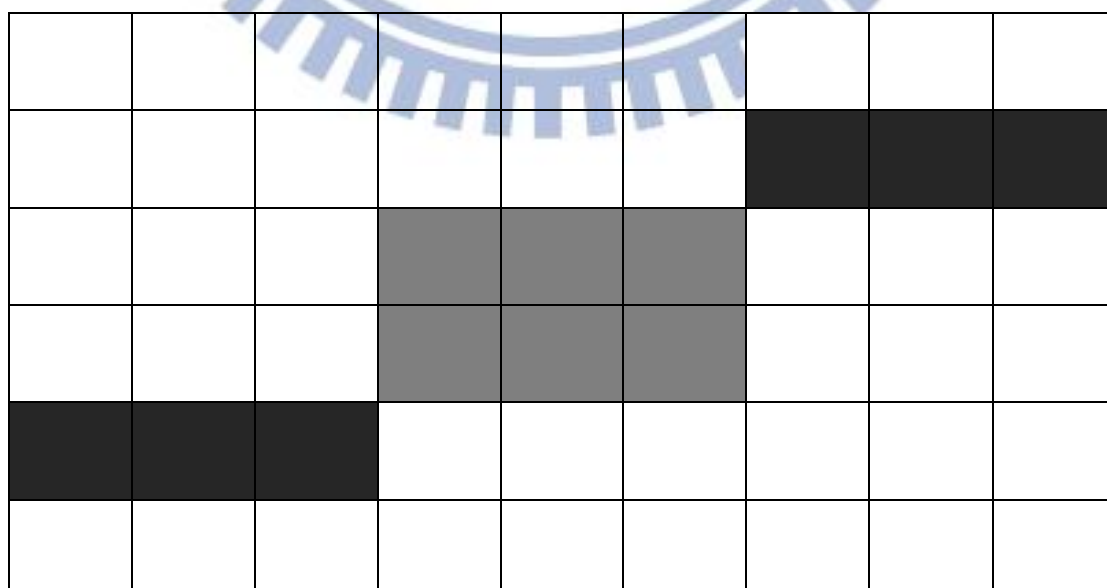


圖 3-20: 單純使用 3\*3mask，202.5 度。

要如何使這兩個區塊產生連續性筆觸的效果，本人曾實作過兩種方法。

方法 1:



方法 2:

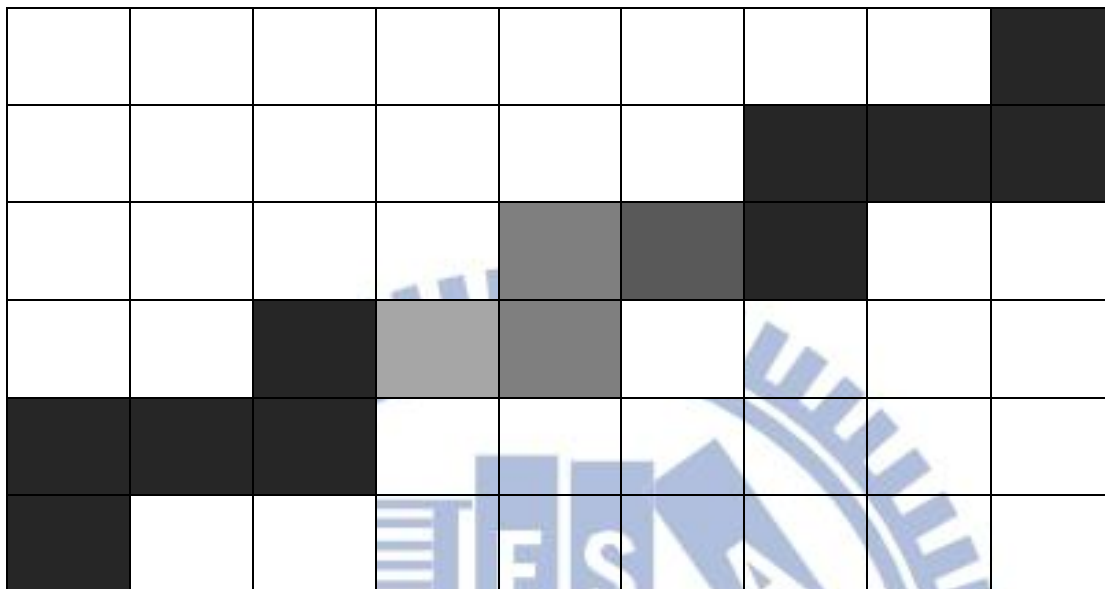


圖 3-21:使用 3\*3mask，202.5 度筆觸修正之處理。

在此假設左下角 mask 中心點的灰階值為  $m_1$ ，右上角 mask 中心點的灰階值為  $m_2$ ， $G$  為灰點的灰階值， $L$  為淺灰點的灰階值， $B$  為深灰點的灰階值，則修正公式如下：

$$G=(m_1+m_2)/2。$$

$$L=(2*m_1+m_2)/3。$$

$$B=(m_1+2*m_2)/3。$$

經過多數實驗結果發現方法 2 的效果感覺較佳，因此本論文採用方法 2 來實作。剩下的三個方向以類似方法處理。

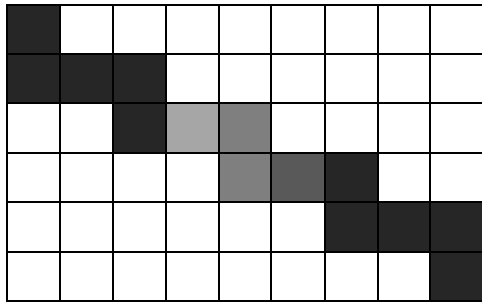


圖 3-22: 使用 3\*3mask, 337.5 度筆觸修正之處理。

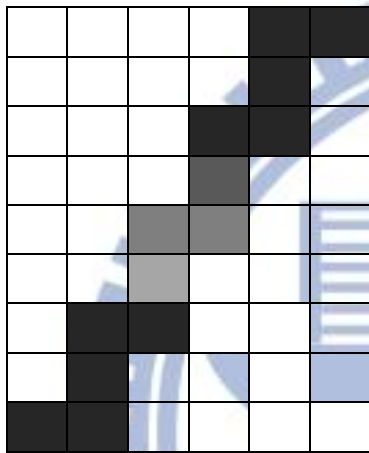


圖 3-23: 使用 3\*3mask, 247.5 度筆觸修正之處理。

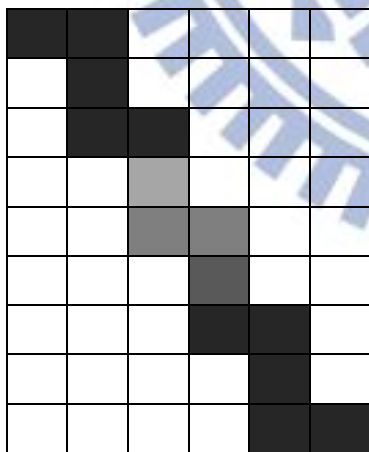


圖 3-24: 使用 3\*3mask, 292.5 度筆觸修正之處理。

以下為對灰層雜訊圖模擬中筆觸各個方向之結果圖。



圖 3-25:灰層雜訊圖模擬中筆觸，

方向 180 度筆觸



圖 3-26:灰層雜訊圖模擬中筆觸，

方向 202.5 度



圖 3-27:灰層雜訊圖模擬中筆觸，

方向 225 度



圖 3-28:灰層雜訊圖模擬中筆觸，

方向 247.5 度

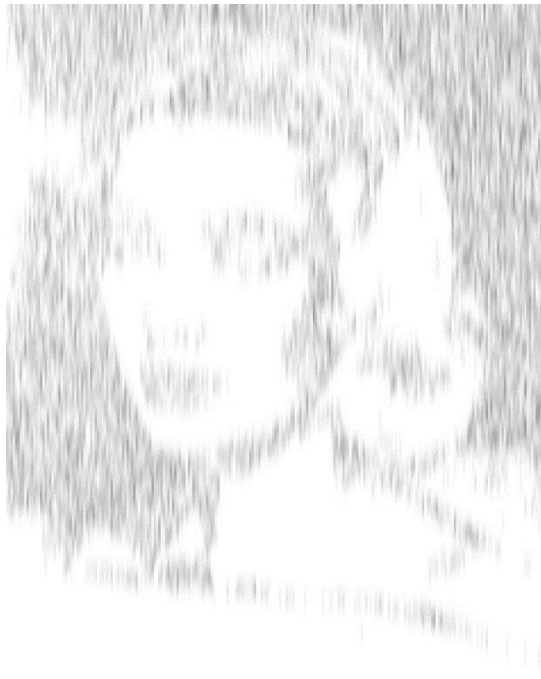


圖 3-29:灰層雜訊圖模擬中筆觸，圖 3-30:灰層雜訊圖模擬中筆觸，  
方向 270 度 方向 292.5 度

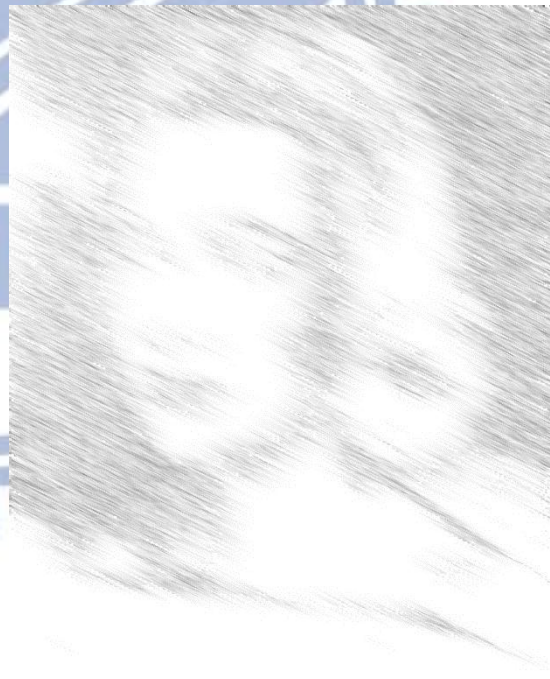


圖 3-31:灰層雜訊圖模擬中筆觸，圖 3-32:灰層雜訊圖模擬中筆觸，  
方向 315 度 方向 337.5 度

### 3.4.5 粗筆觸處理

在粗筆觸模擬中，因為使用  $5 \times 5$  mask 做為處理單位，因此也有相同的問題，在本論文中將以類似處理中筆觸的修正方法來處理粗筆觸不自然的問題。以下為修正後的示意圖。

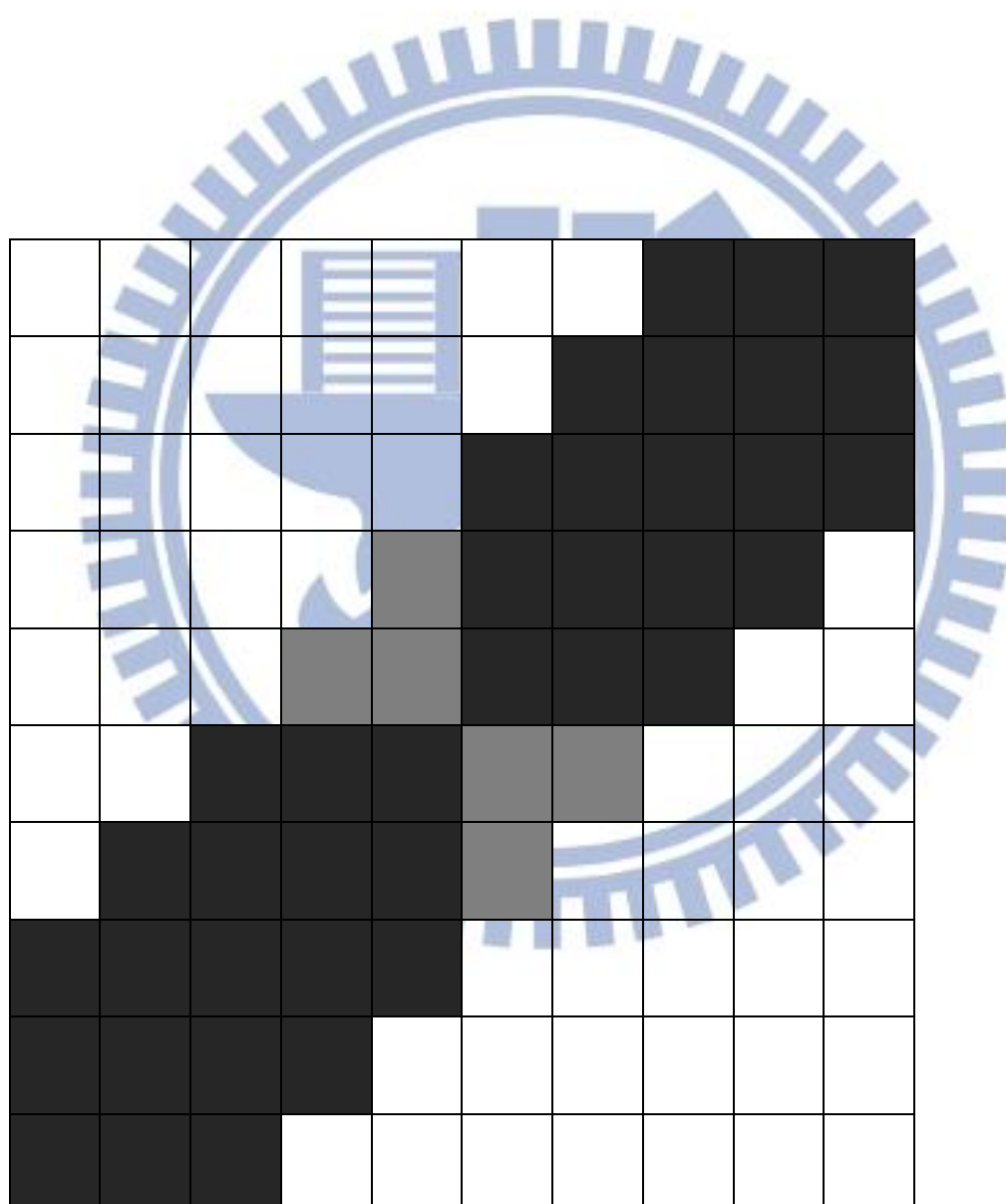


圖 3-33: 使用  $5 \times 5$  mask，225 度筆觸修正之處理。

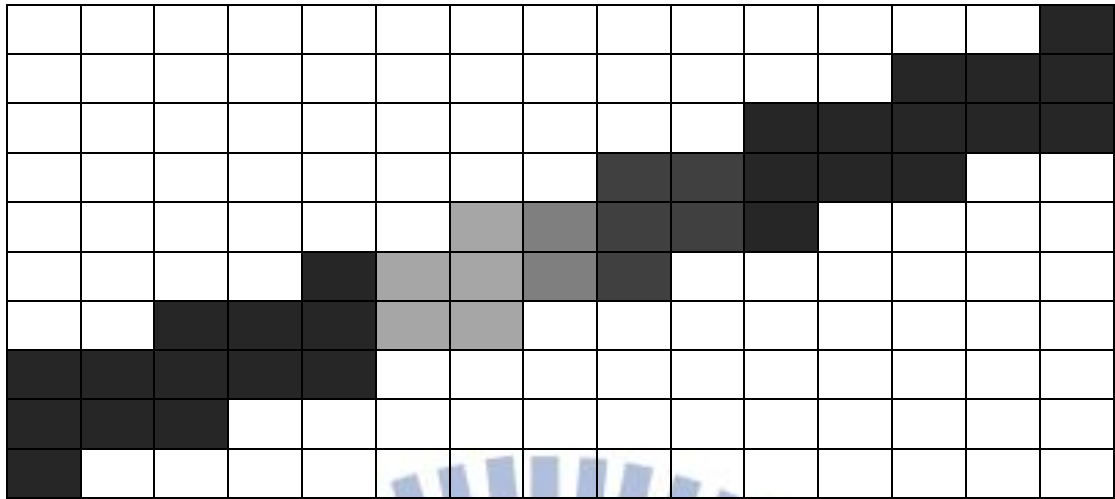


圖 3-34: 使用 5\*5mask, 202.5 度筆觸修正之處理。

以上兩圖中，在此假設左下角 mask 中心點的灰階值為  $m_1$ ，右上角 mask 中心點的灰階值為  $m_2$ ， $G$  為灰點的灰階值， $L$  為淺灰點的灰階值， $B$  為深灰點的灰階值，則修正公式如下：

$$G = (m_1 + m_2) / 2。$$

$$L = (2 * m_1 + m_2) / 3。$$

$$B = (m_1 + 2 * m_2) / 3。$$

水平及鉛直方向不需進行修正，315 度方向類似 225 度方向修正方式，剩下的三個方向以類似 202.5 度方向方式修正。

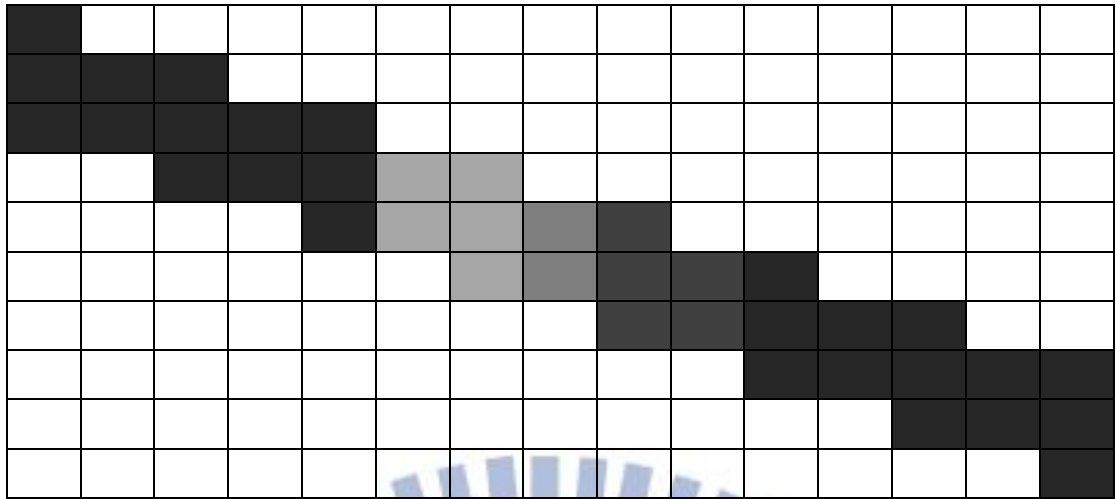


圖 3-35：使用 5\*5mask，337.5 度筆觸修正之處理。

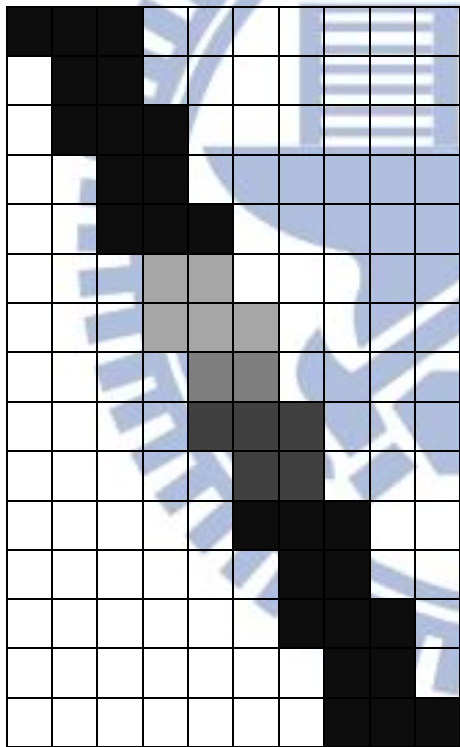


圖 3-36：使用 5\*5mask，  
292.5 度筆觸修正之處理。

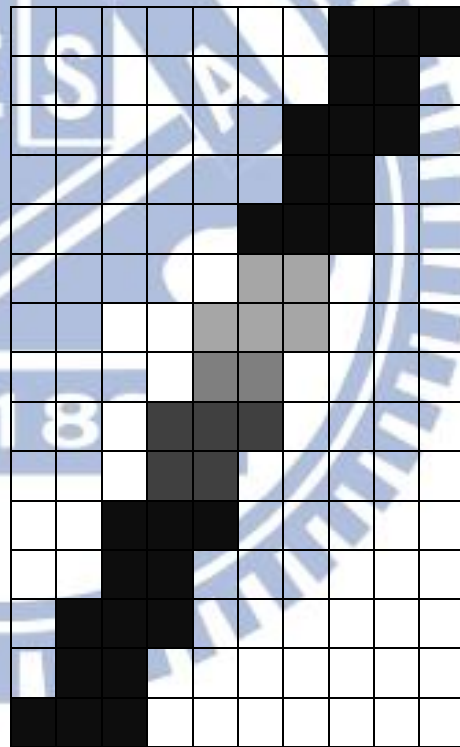


圖 3-37：使用 5\*5mask，  
247.5 度筆觸修正之處理。

以下為對灰層雜訊圖模擬粗筆觸各個方向之結果圖。



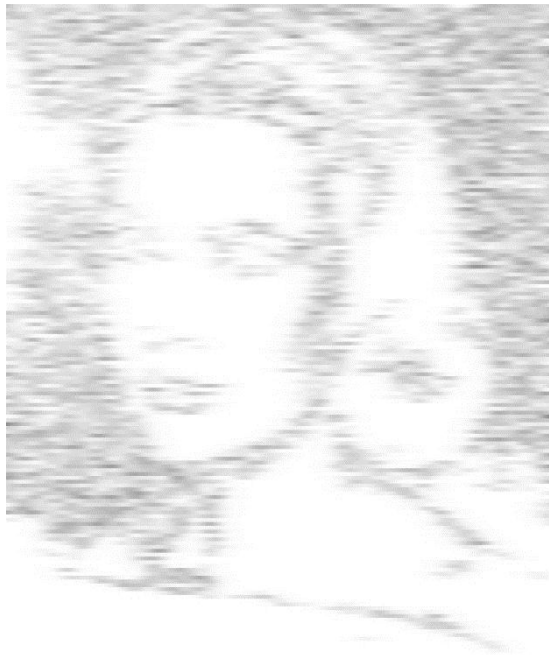


圖 3-38:灰層雜訊圖模擬粗筆觸，

方向 180 度



方向 202.5 度



圖 3-40:灰層雜訊圖模擬粗筆觸，

方向 225 度



方向 247.5 度

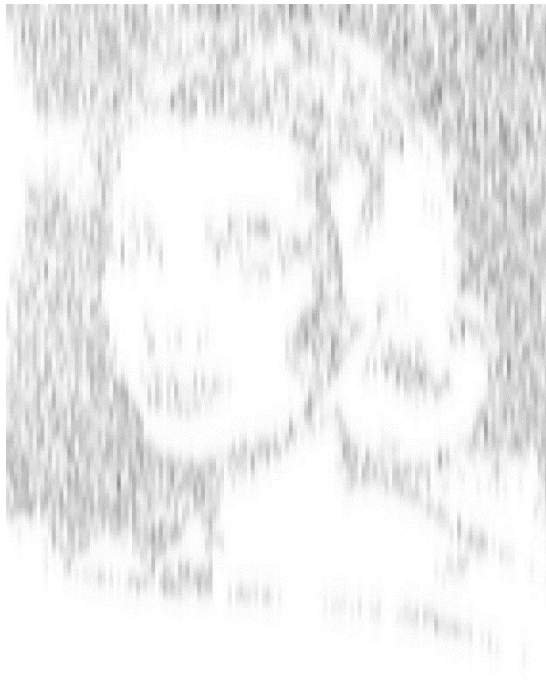


圖 3-42:灰層雜訊圖模擬粗筆觸，圖 3-43:灰層雜訊圖模擬粗筆觸，

方向 270 度

方向 292.5 度

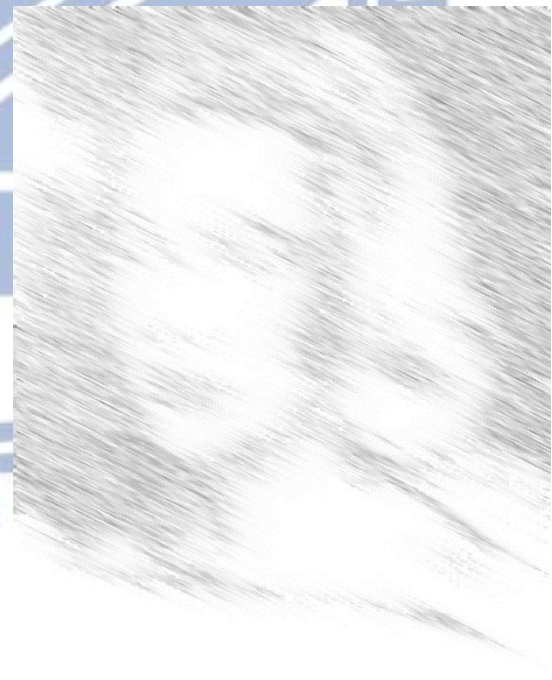


圖 3-44:灰層雜訊圖模擬粗筆觸，圖 3-45:灰層雜訊圖模擬粗筆觸，

方向 315 度

方向 337.5 度

### 3.4.6 背景筆觸處理

在一張影像中，通常非重點描繪區域的亮度變化較為緩和，以背景而言亮度多半為非暗即亮，因此在處理背景筆觸時系統並未對次暗層做筆觸模擬。

本論文為處理非描繪重點區域因此增加了以  $11 \times 11$  的 mask 來模擬粗而疏的筆觸分佈，而因為在除了 225 和 315 度以外的角度，在修正筆觸時會造成筆觸寬度在視覺上變窄，同時這是非描繪重點區域，所以並不需要太精準的方向，基於以上這兩點原因本論文只實作 225 度和 315 度這兩個方向。並且在依照上述方法將模擬筆觸修正後，因為在素描時對非描繪重點區域的處理，會再對筆觸做亮度對比壓縮，使得筆觸上亮度的變化減少，藉此達到類似手繪以粗筆帶過的感覺，以下為處理細節說明。

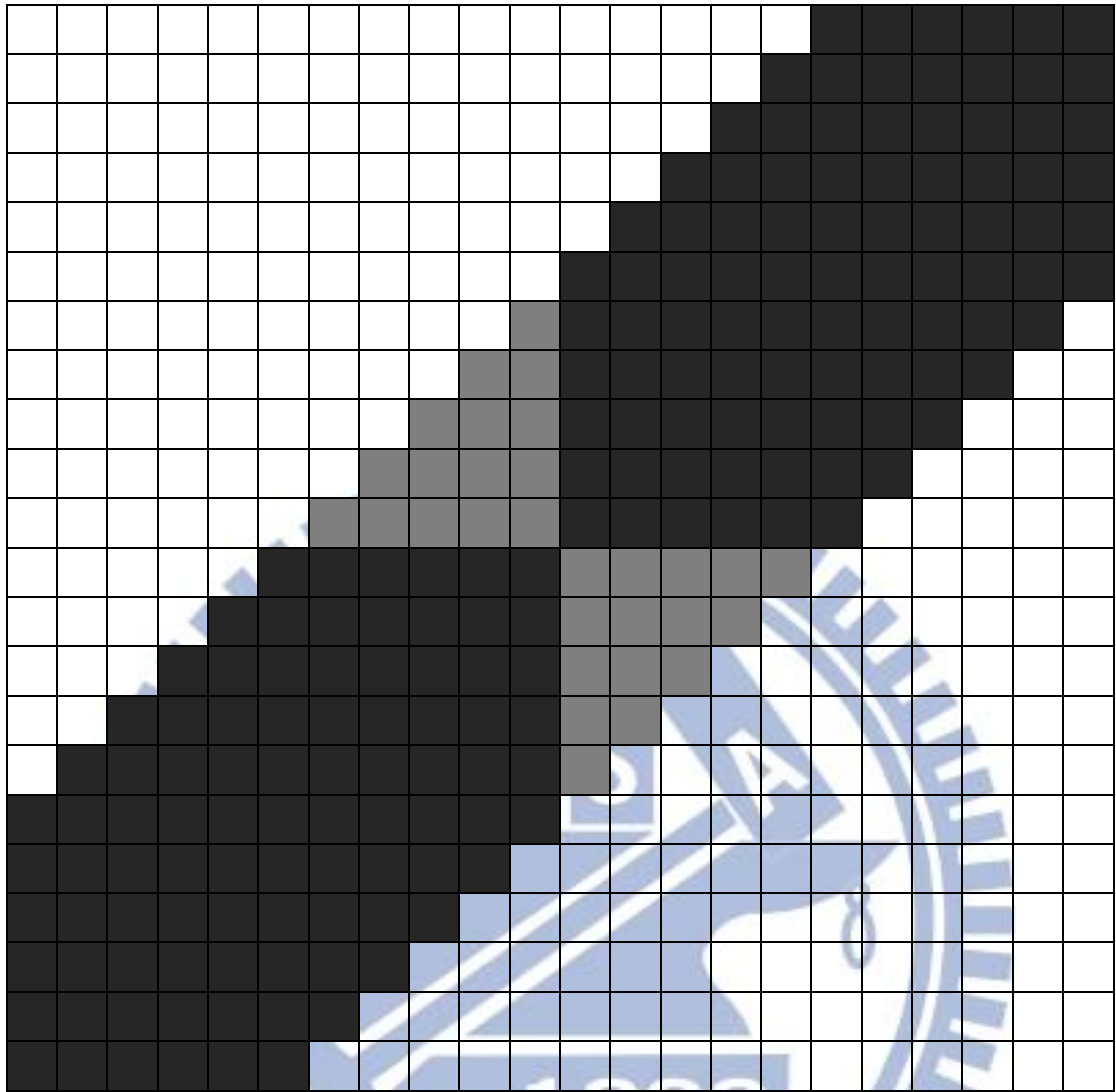


圖 3-46: 使用 11\*11mask，225 度筆觸修正之處理

在此令筆觸點的灰階值為 $I_{old}$ ，所有筆觸點的灰階值平均為 $I_{avg}$ ，新的筆觸點灰階值為 $I_{new}$ ，則亮度對比壓縮處理方法如下：

$$I_{new}=(3*I_{old}+2*I_{avg})/5。$$

以此方法處理後，每個點的灰階值都會向平均值靠近，因此可以達到使整體亮度差別縮小但不改變亮暗大小關係的效果。而以手繪習慣考慮，並不會將此區域畫的飽滿，因此之後在合成時會再將此區域亮度提升，細節將在 3.7 節說明。



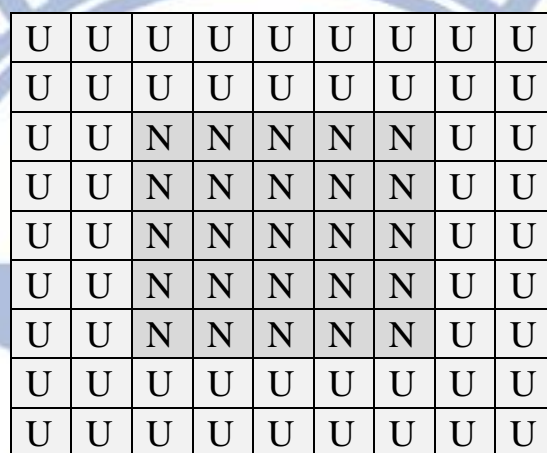
圖 3-47:灰層雜訊圖模擬背景筆觸，方向 225 度，亮度對比壓縮前



圖 3-48:灰層雜訊圖模擬背景筆觸，方向 225 度，亮度對比壓縮後

### 3.5 輪廓結構處理

本論文參考文獻[1]的做法，在輪廓的擷取上採用 Center-Off 演算法。目的在於擷取周圍相對較亮的區域，而這些區域通常為一影像的主要輪廓架構。做法為以處理中的像素為中心，向外擴張 9 乘 9 像素的遮罩。在此令  $N = -1 + [(5*5)/(9*9)]$ ， $U = [(5*5)/(9*9)]$ 。



U	U	U	U	U	U	U	U	U
U	U	U	U	U	U	U	U	U
U	U	N	N	N	N	N	U	U
U	U	N	N	N	N	N	U	U
U	U	N	N	N	N	N	U	U
U	U	N	N	N	N	N	U	U
U	U	N	N	N	N	N	U	U
U	U	U	U	U	U	U	U	U
U	U	U	U	U	U	U	U	U

圖 3 -49：9x9 像素遮罩

接著按以下公式計算原圖每個像素與其遮罩的相關係數(輪廓指標)，如果這個相關係數大於一個臨界值，則表示這個像素很可能是輪廓。令輪廓的的灰階值為  $I$ ，相關係數為  $r(x,y)$ ，本論文臨界值設定為 35，則公式如下：

$$I = 255 - r(x,y) \quad \text{if } r(x,y) > 35$$
$$I = 255 \quad \text{else}$$

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

$r(x,y)$  : 像素(x,y)之輪廓指標

$\text{mask}(i,j)$ : 每個遮罩對應的係數

$I()$  : 遮罩所對應到的灰階值

$\bar{I}$  : 遮罩所有像素所對的灰階值的平均值

但此種方法容易將圖中的雜點也納入輪廓圖中，而這並不是我們想要的，因此系統會在得到輪廓圖後，執行去除雜點的工作，採用的方法為使用 Median Filter(3\*3 遮罩)，此種方法能有效消除雜點。在圖 4-11 與圖 4-12 比較後可發現有顯著的效果。



圖 3-50:輪廓圖經 3\*3

Median-filter 處理前



圖 3-51:輪廓圖經 3\*3

Median-filter 處理後

消除雜點的作法如下:以像素為中心使用 3\*3 的遮罩，將此 9 點依亮度大小排序，並將中間值設為此點新的灰階值。此種方法通常用來做於去雜訊，在此也能有效的達到系統需要的效果。

接著會再對得到的輪廓圖做 LIC 處理後即可得到較為平順之輪廓圖。



圖 3-52:平順輪廓圖

在一張影像中有些輪廓結構是我們想要特別強調的，例如說眼睛的部分，因此輪廓結構強化圖部分，仍依舊參照文獻[1]的做法，在此令平順輪廓圖像素的灰階值為 $I_{old}$ ，新的像素灰階值為 $I_{new}$ ，則:

$$I_{new}=(2*I_{old})-255。$$



如此可得到一張輪廓強化圖，但此輪廓強化圖有許多細微輪廓不屬於暗層而這通常並不是想要強調的細節，為了將暗層的深度輪廓保留，會將此輪廓強化圖和暗層逐一比對，保留兩圖中較亮的像素，如此即可得到只保留暗層的輪廓效果，及可得到輪廓結構強化圖。在此令次暗層和灰層的分界點為  $B$ ，原圖灰階值  $R$ ，輪廓強化圖灰階值為  $S$ ，輪廓結構強化圖灰階值為  $I$ 。則處理方法如下：

$$I = \begin{cases} \max(S, R) & \text{if } S \leq B \\ 255 & \text{else} \end{cases}$$



圖 3-53:輪廓結構強化圖

### 3.6 面積區分及區塊處理

在面積大小區分上，本篇論文採用靜態灰階分層來對影像中的灰階值做分層，並以此分層做為劃分區塊的依據。不同的是文獻[2]將 0~255 分為 16 層，而本論文分為 8 層。原因為分為 16 層可能會造成亮度灰階值相近區塊過於零碎，造成筆觸不連續的效果。

之後以分層為依據，使用 BFS 搜尋相鄰且灰階值屬於相同層的點並且做為同一區塊。在分完區塊後，將要區分區塊的大小，本論文將區塊分為四種大小尺度以便四種筆觸之應用。區分方法如下：首先計算所有區塊的平均面積，GAA( global area average)。本論文系統並未採用文獻[2]中引入各層區塊的平均面積做為參考，因為各層的區塊變數較大，很有可能造成面積區分上的誤差，取而代之的是引入占整張圖的比例大小來當做參考。令整張圖面積為 A，區塊面積為 a，小區塊集合為 S，中區塊集合為 M，大區塊集合為 L，背景區塊為 XL。則分類方法如下：

If( $a < GAA$ )	$S \leftarrow S \cup a$
else if( $a < A/100$ )	$S \leftarrow S \cup a$
else if( $a < 3A/100$ )	$M \leftarrow M \cup a$
else if( $a < 10A/100$ )	$L \leftarrow L \cup a$
else	$XL \leftarrow XL \cup a$

如此即可得到區塊具有四種大小的面積區分圖。並以此為依據來決定筆觸的寬度。



圖 3-54:面積區分圖

上圖中四種顏色代表四種不同的區塊分類。白色表示小區塊，淺灰色表示中區塊，深灰色表示大區塊，黑色表示背景區塊。白色區域使用細筆觸，淺灰色區域使用中筆觸，深灰色區域採用粗筆觸，黑色區域若為次暗層則採用粗筆觸否則使用背景筆觸。原因如上述所說背景亮度多半非暗即亮。

而在筆觸的方向部分，本論文參考文獻[5]中的方法。首先說明梯度方向代表由暗到亮的變化方向，剛好與筆觸的方向垂直，所以目標為算出梯度方向並旋轉 90 度即可以得到筆觸方向，本論文中使用 Sobel Filter 來計算梯度方向。Sobel Filter 有兩個方向的亮度變化遮罩，分別是偵測水平方向和偵測垂直方向之亮度變化。Sobel Filter 用這兩個遮罩對圖像中每個像素做迴旋積便可得到每個像素之水平及垂直的梯度近似值  $G_x$  和  $G_y$ 。有了  $G_x$  和  $G_y$  便可以求出該點的梯度方向。

$G_x$  和  $G_y$  算式公式：

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

梯度方向公式：

$$\theta = \tan^{-1}(G_y/G_x)$$

在算出每像素的梯度方向之後，區塊的筆觸方向將由區塊內佔有最多方向像素各數的梯度方向旋轉 90 度決定。

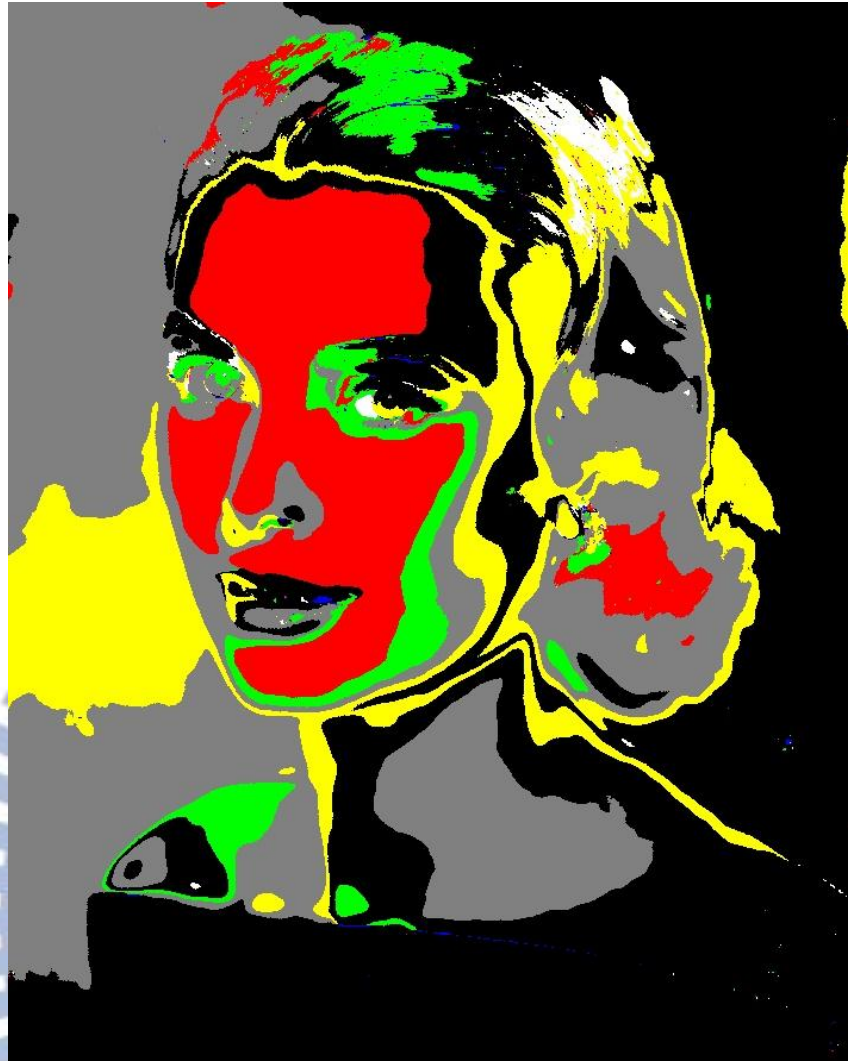


圖 3-55:筆觸方向分布圖

藍色區域(180 度)。綠色區域(202.5 度)。紅色區域(225 度)。

灰色區域(247.5 度)。紫色區域(270 度)。黃色區域(292.5 度)。

白色區域(315 度)。黑色區域(337.5 度)。

### 3.7 合成過程

最後在合成的處理方面，本論文除了依據面積區分圖和筆觸方向分布圖外，也加入了當初依亮度分佈曲線分層的結果做為參考。



圖 3-56: 依亮度分佈曲線分層圖

如此筆觸的濃淡，粗細，方向皆可以上述三張圖做為參考並模擬出來。

本論文將大區塊和背景區塊的灰層和最暗層列為非描繪重點區域，因為背景亮度多半非暗即亮。首先大區塊和背景區塊通常為背景和手繪時習慣以粗筆觸帶過的部分。除了筆觸較粗以外，以真實

手繪的角度去考量，在非描繪重點區域並不會將區塊畫得很飽滿，因此在這合成非描繪重點區域時會再將亮度做提升。令原灰階值為  $I$ ，亮度提升後為  $I'$ ，系統提升亮度作法如下：

小區塊				
中區塊				
大區塊		$I' = (2 * I + 255) / 3$		$I' = I + 48$
背景區塊		$I' = (2 * I + 255) / 3$		$I' = I + 48$
	亮層	灰層	次暗層	最暗層

灰層與最暗層灰階提升方式不一樣的原因考慮在於原本灰層亮度值就很高，若同樣增加固定亮度值很容易使有些點亮度值達到 255，如此即會產生影像被白油漆滴到的不自然感，因此在這邊不使用增加固定亮度值。



圖 3-57:筆觸模擬圖

筆觸模擬圖完成後，必須先後合成平順輪廓圖及輪廓結構強化圖(圖 3-52 與 3-53)，在文獻[1]中採用的方法為暗度相加，此種方法會造成輪廓部分過於突兀因而產生不自然的現象，本論文系統將會修正此問題。



處理輪廓突兀之作法如下:令筆觸模擬圖灰階值為 $R_{old}$ ，要合成的圖灰階值為 $S$ ，合成後的結果圖灰階值為 $R_{new}$ ，次暗層與灰層的邊界為 $B$ 。

文獻[1]之作法為

$$R_{new}=(R_{old} + S)-255。$$

$$\text{If } R_{new}<0, R_{new} = 0$$

本論文系統作法為

If  $S=255$   $R_{new} = R_{old}$  (如圖 3-50 與圖 3-51，留白部分不為輪廓)

else if( $S<B$ )  $R_{new} = (2 * R_{old} + S)/3$

else  $R_{new} = (R_{old} + 2 * S)/3$

此種方法核心概念為過暗的輪廓以較小的比重加上去，而較亮的輪廓以較大的比重加上去，如此將可避免過黑的突兀輪廓，在圖 3-58 與圖 3-59 對照中可看出明顯差異。



圖 3-58: 文獻[1]結果圖



圖 3-59: 本論文實驗結果圖



圖 3-60: 文獻[1]結果圖



圖 3-61: 輪廓與筆觸合成圖

由圖 3-58 與圖 3-59 之比較及圖 3-60 與圖 3-61 之比較，可發現輪廓突兀現象確有大幅度改善。例如女星黑禮服上沿及狗背部之黑框均不復存在，更多圖例將在第四章呈現。

最後引入數位化紙張材質，藉此模擬在圖畫紙上作畫會有凹凸的視覺效果，即得到本論文結果圖。



圖 3-62: 數位化紙張材質(灰階值為 0~255,長和寬皆為 64 個 pixel)

作法乃利用重複貼上數位化紙張材質的方法來對整張圖加入紙質效果，令合成圖座標(x,y)的灰階值為 S(x,y)，數位化紙張材質座標(x,y)的灰階值為 P(x,y)，結果圖座標(x,y)的灰階值為 R(x,y)。則合成公式如下：

$$R(x,y)=S(x,y)+PScoef*(255-P(x\%64,y\%64)),$$
$$PScoef=0.2+k*0.025$$

其中 PScoef 為一係數，此係數將會隨著影像的大小而改變，首先計算影像的長和寬比 500 個 pixel 多多少個 pixel，取較多的當參考，多出來的 pixel 個數除以 100 得到 k，由於數位化紙張材質無法隨輸入圖片做變更，因此當圖片尺寸較大時紙質效果較不明顯，因此在這將依圖片大小改變紙質係數以達到較佳的紙質效果。



圖 3-63:本論文實驗結果圖

## 第四章 實驗結果

本章中將展現實驗結果，4.1 節將和文獻[1]之結果圖做比較及分析，探討其中之差異。4.2 節將和文獻[2]之結果圖做比較及分析，探討其中之差異。4.3 節則列舉若干圖例，探討本實作系統為處理非描繪重點區域之筆觸所引用之作法而衍生的若干有違素描常例現象，以作後續改進之參考。4.4 節附上更多實驗結果圖。

### 4.1 實驗結果與文獻[1]結果比較

與文獻[1]相比，本論文除了在非描繪重點區域有背景筆觸之特別處理外，筆觸的粗細方面本論文有四種，文獻[1]僅有一種。筆觸的方向本論文為八種，文獻[1]僅兩種且並沒有使用恰當的依據。另外在輪廓的表現上，文獻[1]除了有不必要的雜點外，也有輪廓過黑突兀的現象。以下為圖例：



圖 4-1:狗-原圖



圖 4-2: 狗-文獻[1] 結果圖



圖 4-3: 狗-本論文實驗結果圖

由以上兩圖比較可清楚發現文獻[1]結果圖中，狗的黑色身軀之輪廓過於突兀。



圖 4-4: 馬-原圖

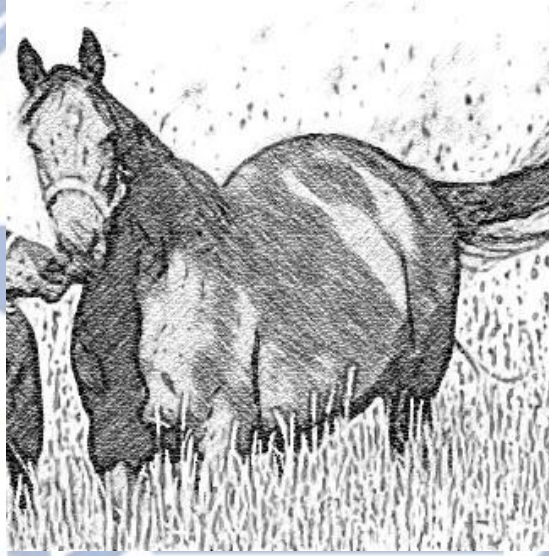


圖 4-5: 馬-文獻[1]結果圖



圖 4-6: 馬-本論文實驗結果圖



圖 4-7: 瓢蟲-原圖

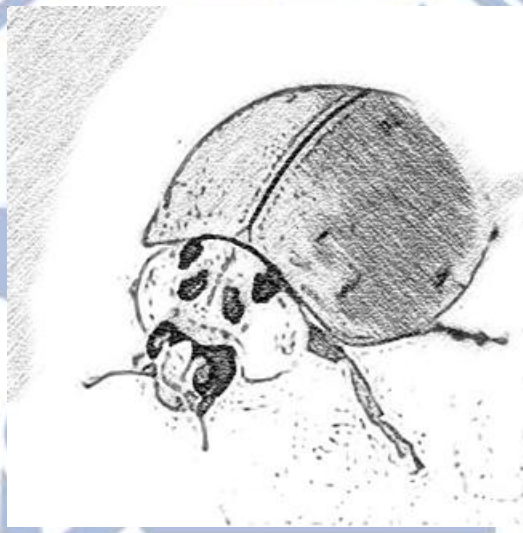


圖 4-8: 瓢蟲-文獻[1]結果圖



圖 4-9: 瓢蟲-本論文實驗結果





圖 4-10: 國父-原圖



圖 4-11: 國父-文獻[1]結果圖

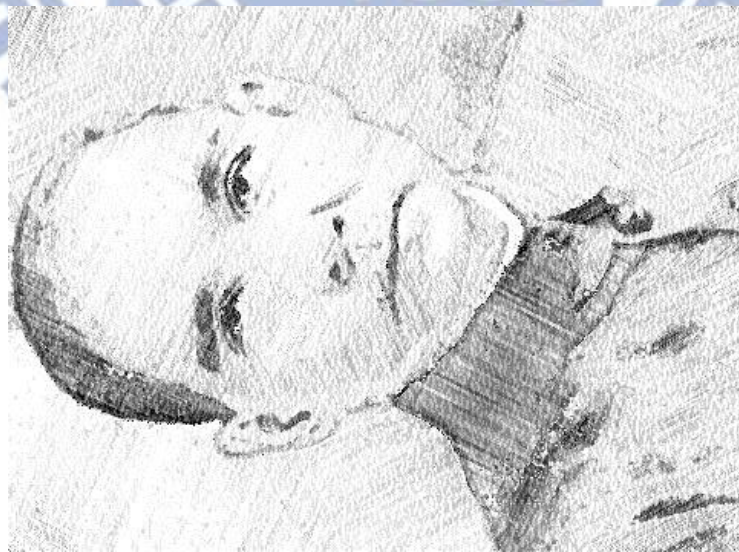


圖 4-12: 國父-本論文實驗結果圖

此圖例可看明顯觀察出文獻[1]過多雜點的現象。



圖 4-13:Lena-原圖



圖 4-14: Lena-文獻[1]結果圖

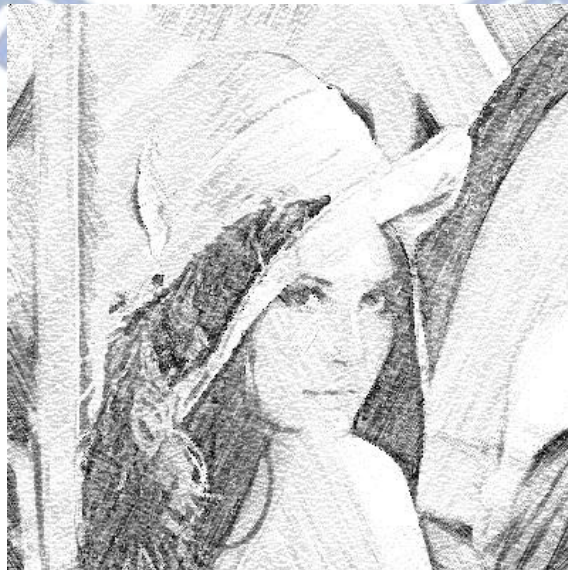


圖 4-15: Lena-本論文實驗結果



圖 4-16: 女星-原圖

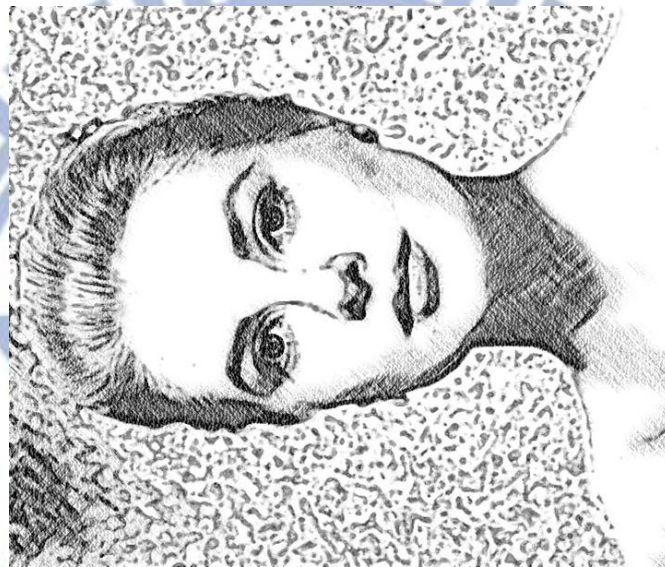


圖 4-17: 女星-文獻[1]結果圖



圖 4-18: 女星-本論文實驗結果

由以上兩圖比較，本論文實驗結果背景之淡化甚為理想。



圖 4-19: 嬰兒-原圖

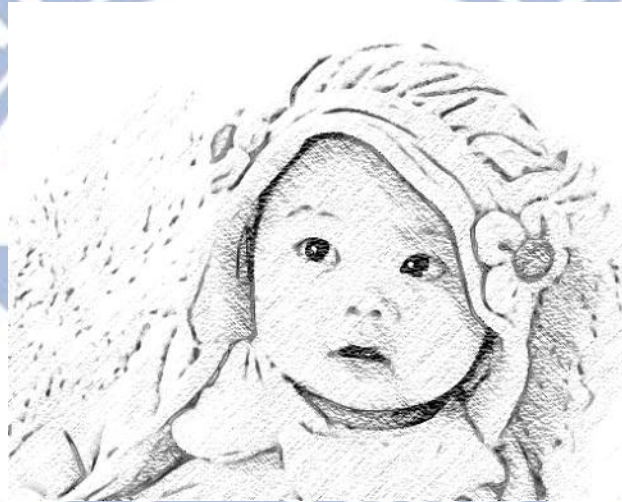


圖 4-20: 嬰兒-文獻[1]結果圖



圖 4-21: 嬰兒-本論文實驗結果



圖 4-22:人像-原圖



圖 4-23: 人像-文獻[1]結果圖



圖 4-24: 人像-本論文實驗結果



圖 4-25: 女星-原圖



圖 4-26: 女星-文獻[1]結果圖



圖 4-27: 女星-本論文實驗結果

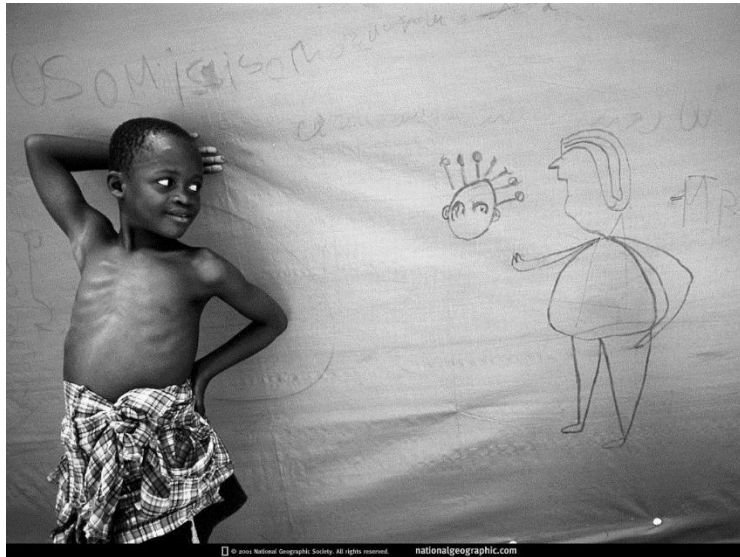


圖 4-28: 黑人小孩-原圖

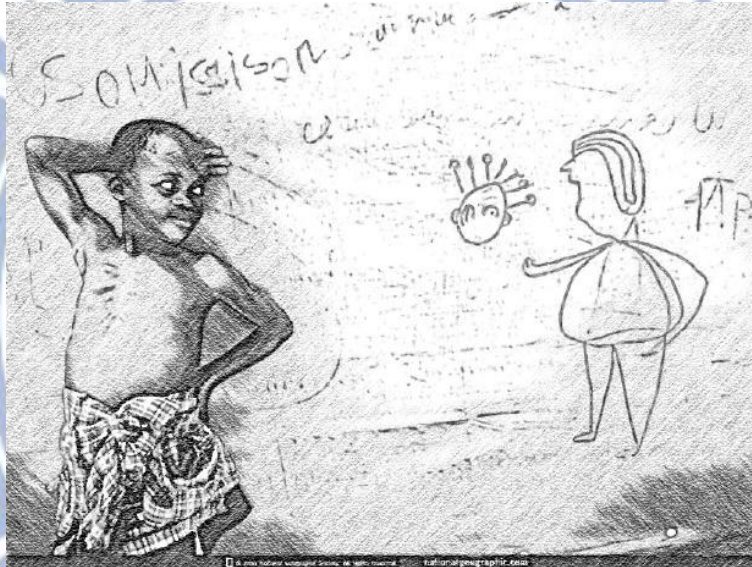


圖 4-29: 黑人小孩-文獻[1]結果圖



圖 4-30: 黑人小孩-本論文實驗結果



圖 4-31:劇照-原圖



圖 4-32: 劇照-文獻[1]結果圖



圖 4-33: 劇照-本論文實驗結果





圖 4-34: 風景-原圖



圖 4-35: 風景-文獻[1]結果圖

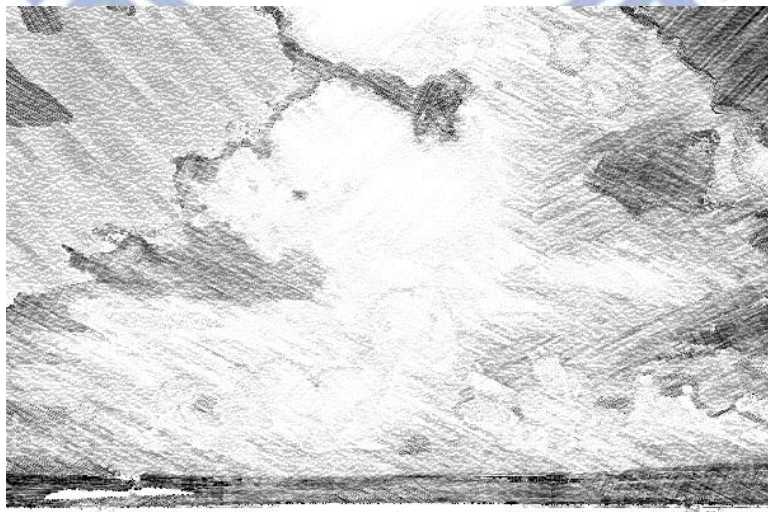


圖 4-36: 風景-本論文實驗結果



圖 4-37: 風景-原圖



圖 4-38: 風景-文獻[1]結果圖

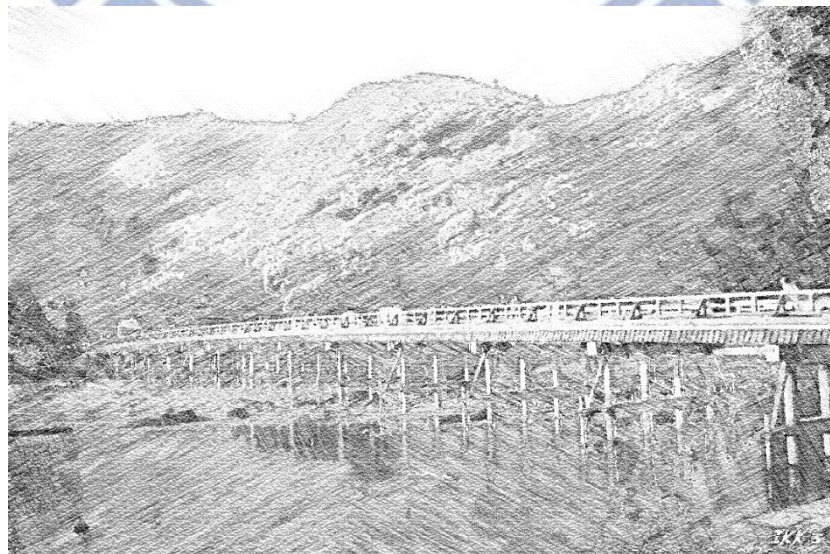


圖 4-39: 風景-本論文實驗結果

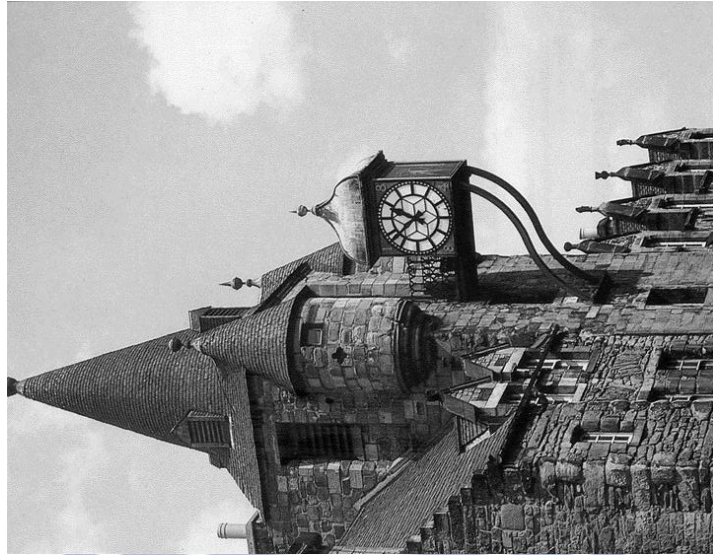


圖 4-40: 建築-原圖

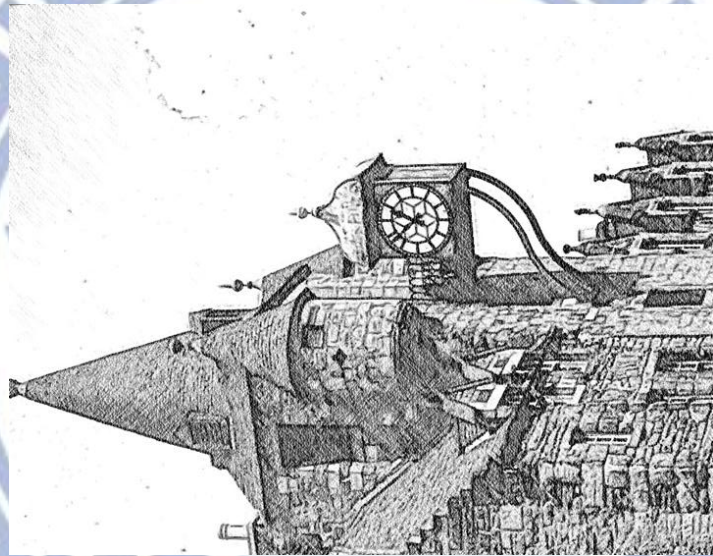


圖 4-41: 建築-文獻[1]結果圖

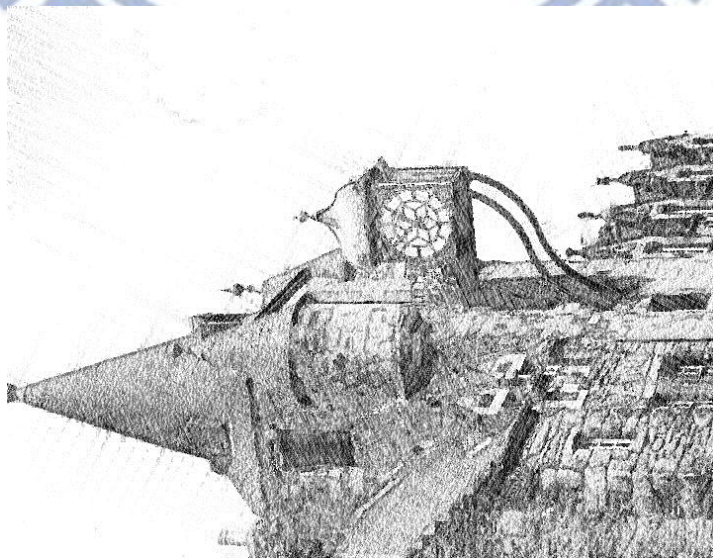


圖 4-42: 建築-本論文實驗結果



圖 4-43：建築-原圖



圖 4-44：建築-文獻[1]結果圖



圖 4-45：建築-本論文實驗結果



圖 4-46: 車子-原圖

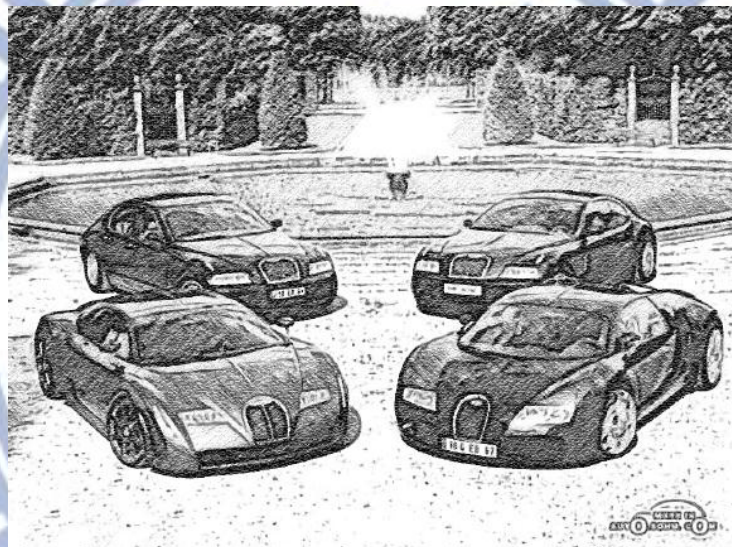


圖 4-47: 車子-文獻[1]結果圖



圖 4-48: 車子-本論文實驗結果



圖 4-49：車子-原圖



圖 4-50：車子-文獻[1]結果圖



圖 4-51：車子-本論文實驗結果

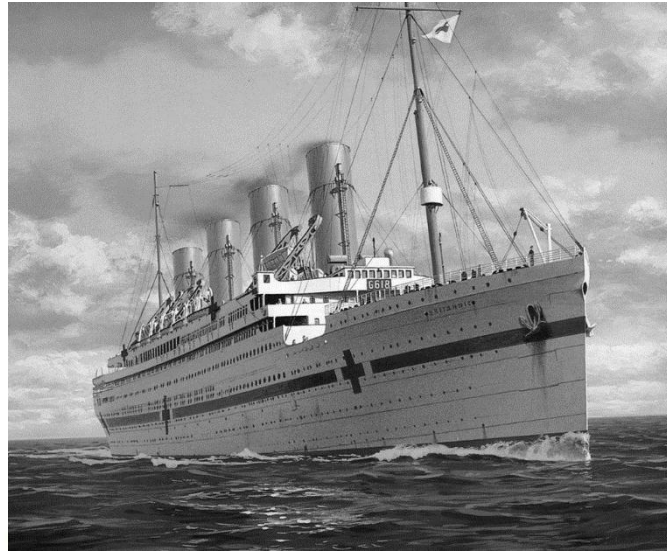


圖 4-52: 船-原圖

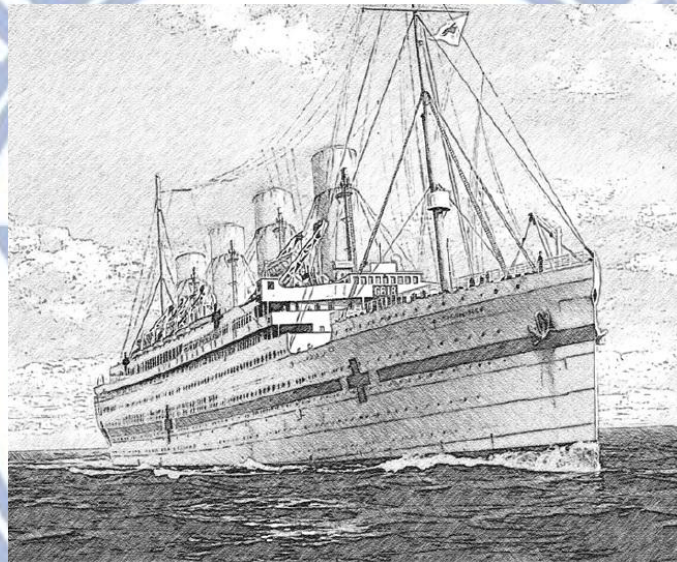


圖 4-53: 船-文獻[1]結果圖

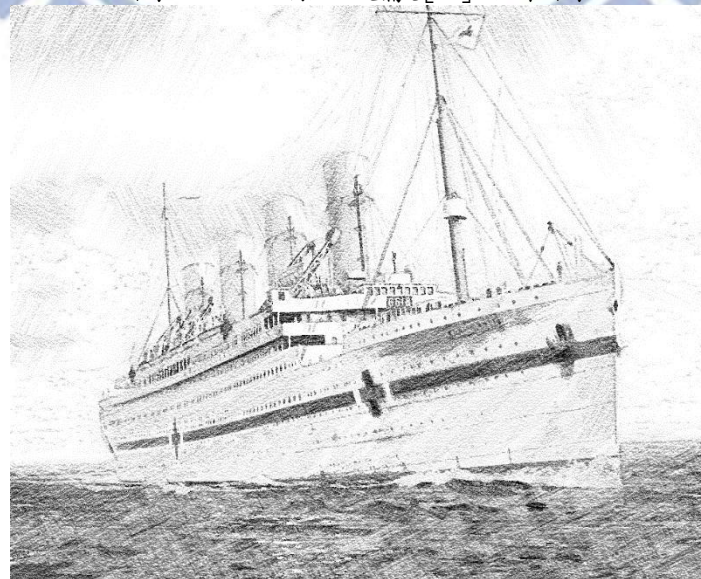


圖 4-54: 船-本論文實驗結果

## 4.2 實驗結果與文獻[2]結果比較

與文獻[2]相比，除了在非描繪重點區域有背景筆觸特別處理外，筆觸的粗細方面本論文有四種，文獻[2]為三種。筆觸的方向本論文為八種，文獻[2]中筆觸和粗筆觸六種，細筆觸為兩種且同文獻[1]，在引用時並沒有恰當的依據。主要在中筆觸和粗筆觸的表現上不同，文獻[2]的中筆觸及粗筆觸感覺較生硬。以下為圖例：



圖 4-55:長頸鹿-原圖





圖 4-56：長頸鹿-文獻[2]結果圖



圖 4-57：長頸鹿-本論文實驗結果



圖 4-58: 狼-原圖



圖 4-59: 狼-文獻[2]結果圖



圖 4-60: 狼-本論文實驗結果



圖 4-61: 豹-原圖

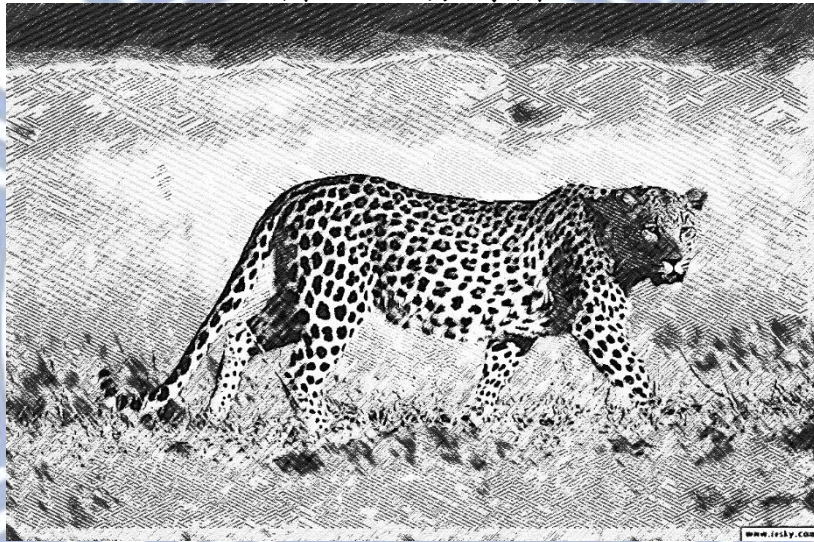


圖 4-62: 豹-文獻[2]結果圖

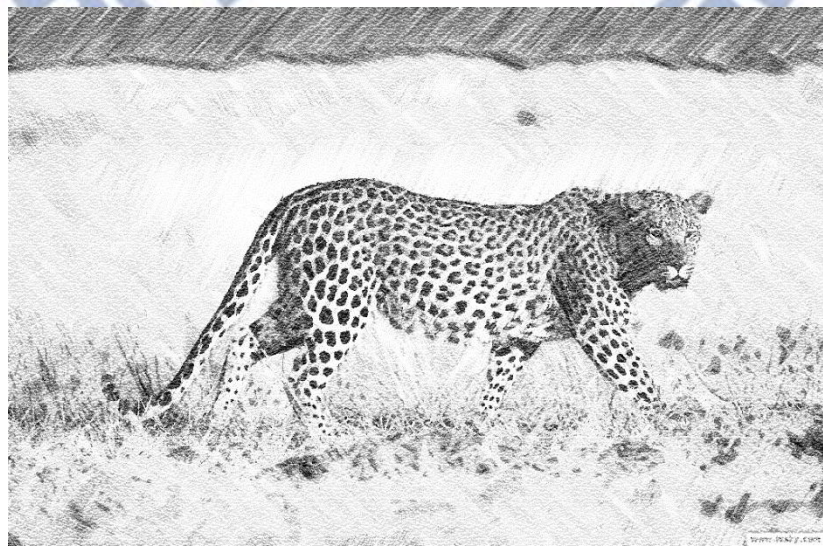


圖 4-63: 豹-本論文實驗結果



圖 4-64: 海豚-原圖



圖 4-65: 海豚-文獻[2]結果圖

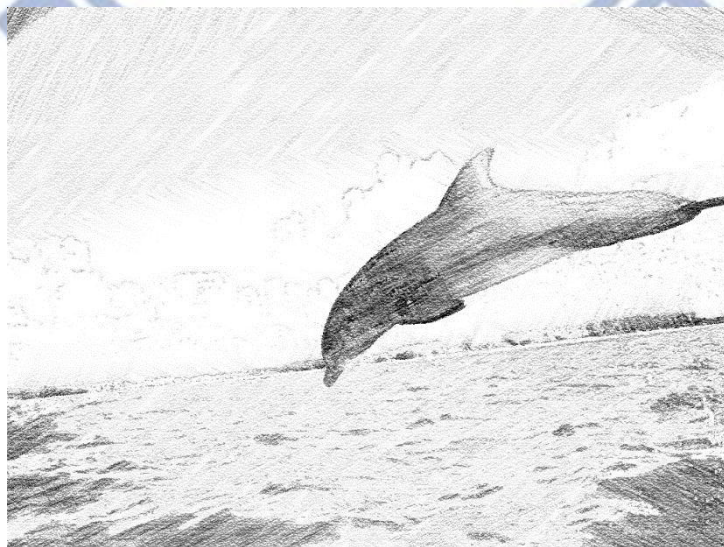


圖 4-66: 海豚-本論文實驗結果



圖 4-67: 歐巴馬-原圖



圖 4-68: 歐巴馬-文獻[2]結果圖



圖 4-69: 歐巴馬-本論文實驗結果



圖 4-70: 王建民-原圖



圖 4-71: 王建民-文獻[2]結果圖



圖 4-72: 王建民-本論文實驗結果

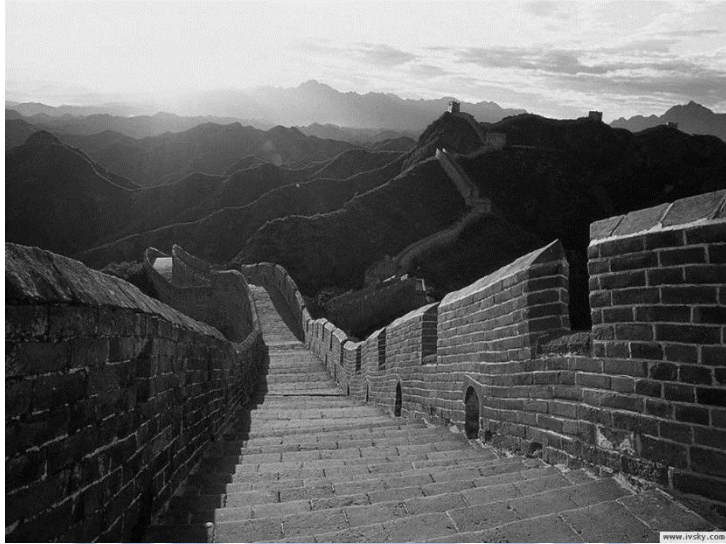


圖 4-73: 長城-原圖



圖 4-74: 長城-文獻[2]結果圖



圖 4-75: 長城-本論文實驗結果



圖 4-76: 風景-原圖



圖 4-77: 風景-文獻[2]結果圖



圖 4-78: 風景-本論文實驗結果





圖 4-79: 車子-原圖



圖 4-80: 車子-文獻[2]結果圖



圖 4-81: 車子-本論文實驗結果



圖 4-82: 賽車-原圖

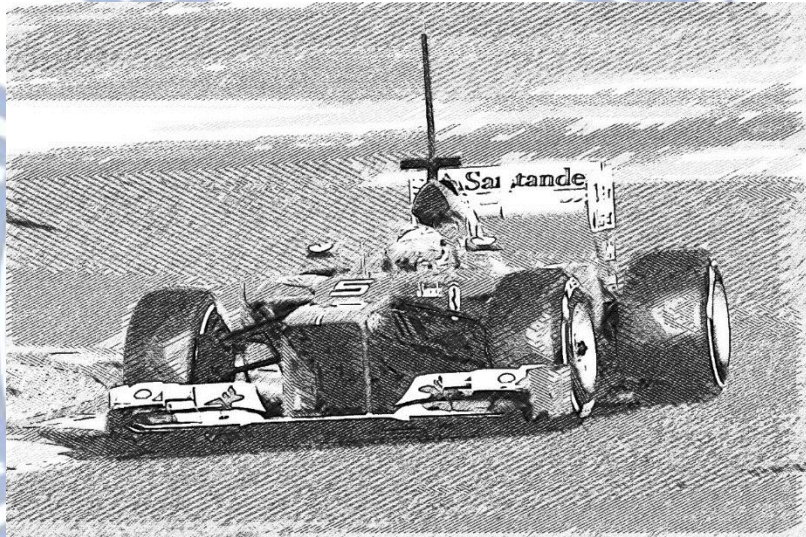


圖 4-83: 賽車-文獻[2]結果圖



圖 4-84: 賽車-本論文實驗結果



圖 4-85: 靜物-原圖



圖 4-86: 靜物-文獻[2]結果圖



圖 4-87: 靜物-本論文實驗結果

### 4.3 背景筆觸處理方式之改善空間

本實作系統在處理背景區域施予背景筆觸(淡化之11\*11粗筆觸)，需將影像依灰階面積切割成背景區塊、大區塊、中區塊與小區塊。背景與大區塊視其特定灰階分層而作不同之亮度提升。若依素描慣例，應以同一筆觸手法處理之區域(同方向、亮度、粗細等)經系統劃歸不同區塊，則筆觸描繪結果有可能產生有違素描手法之狀況。

此外為改善舊有輪廓處理所引發之問題(斑點現象及突兀輪廓)，本實作系統之解決方式基本上乃採壓抑輪廓合成強度之形式；在若干測試圖例中會導致過度抑制輪廓，而使素描模擬生動程度不足。

當兩者副作用同時呈現時，則本實作系統呈現的是一個過於淡化明亮的結果。請參考下列測試圖例。



圖 4-88:劇照-原圖



圖 4-89: 劇照-面積區分圖



圖 4-90: 劇照-亮度分層圖

此圖例反應本論文系統為處理非重點描繪區域所做區分區塊與提升亮度之副作用，圖例中戴帽者之深色西裝之描繪本系統結果不及文獻[1]結果理想，原因在於影像切割時，其西裝區域系統化分成背景區塊與中區塊因此導致使用不同的筆觸去描繪，並且因所屬亮度分層不同使得亮度提升有所不同，呈現出有違素描常例之結果如下。



圖 4-91:劇照-文獻[1]結果圖



圖 4-92:劇照-本論文實驗結果



圖 4-93:甘迺迪-原圖



圖 4-94:甘迺迪-面積區分圖



圖 4-95:甘迺迪-亮度分層圖

此圖例中由圖 4-95 亮度分層圖中可見背景與衣服和部分頭髮皆屬於最暗層，並且在圖 4-94 面積區分圖中可見衣服與部分頭髮被分類為背景區域，因此呈現出有違素描常例之結果，結果圖如下。



圖 4-96: 甘迺迪-文獻[1]結果圖



圖 4-97: 甘迺迪-本論文實驗結果





圖 4-98:王建民-原圖

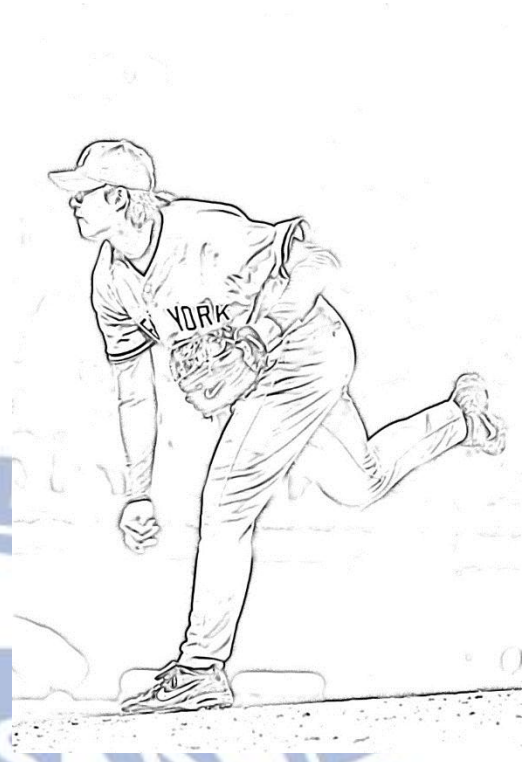


圖 4-99:王建民-平順輪廓圖



圖 4-100:王建民-面積區分圖

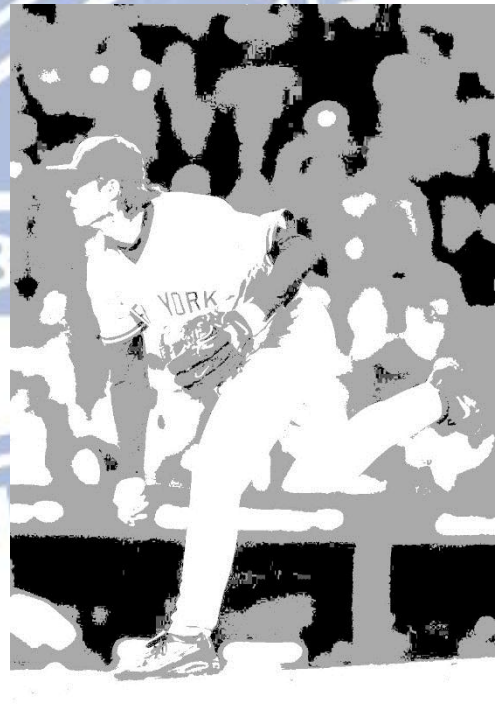


圖 4-101:王建民-亮度分層圖

本圖例中背景區塊及大區塊占多數，且均獲亮度提升處理；輪廓圖亦遭過度壓抑，造成整張圖過於明亮，結果圖如下。



圖 4-102:王建民-文獻[1]結果圖



圖 4-103:王建民-本論文實驗結果



圖 4-104: 籃球員-原圖



圖 4-105: 籃球員-平順輪廓圖



圖 4-106: 籃球員-面積區分圖



圖 4-107: 籃球員-亮度分層圖

本圖例中，由圖 4-106 中可觀察在背景區域中混雜著小區域的區塊，導致在背景區域中出現不一致的現象；此外輪廓圖亦遭過度壓抑，結果圖如下。



圖 4-108:文獻[2]結果圖



圖 4-109:本論文實驗結果



圖 4-110:衛兵-原圖



圖 4-111:衛兵-平順輪廓圖



圖 4-112:衛兵-面積區分圖



圖 4-113:衛兵-亮度分層圖

本圖例中，衛兵制服部分被分類為大區塊，並且又依亮度分層的不同導致提升的亮度不一，並且於最右側柱子處，有部分由於屬於暗層因此並沒有提升亮度造成不符常例之現象，結果圖如下。



圖 4-114:衛兵-文獻[2]結果圖



圖 4-115:衛兵-本論文實驗結果



圖 4-116:影星-原圖



圖 4-117:影星-平順輪廓圖

本圖例中，由於輪廓突遭過度壓抑，導致臉部細節呈現不足，  
結果圖如下。



圖 4-118:影星-文獻[2]結果圖

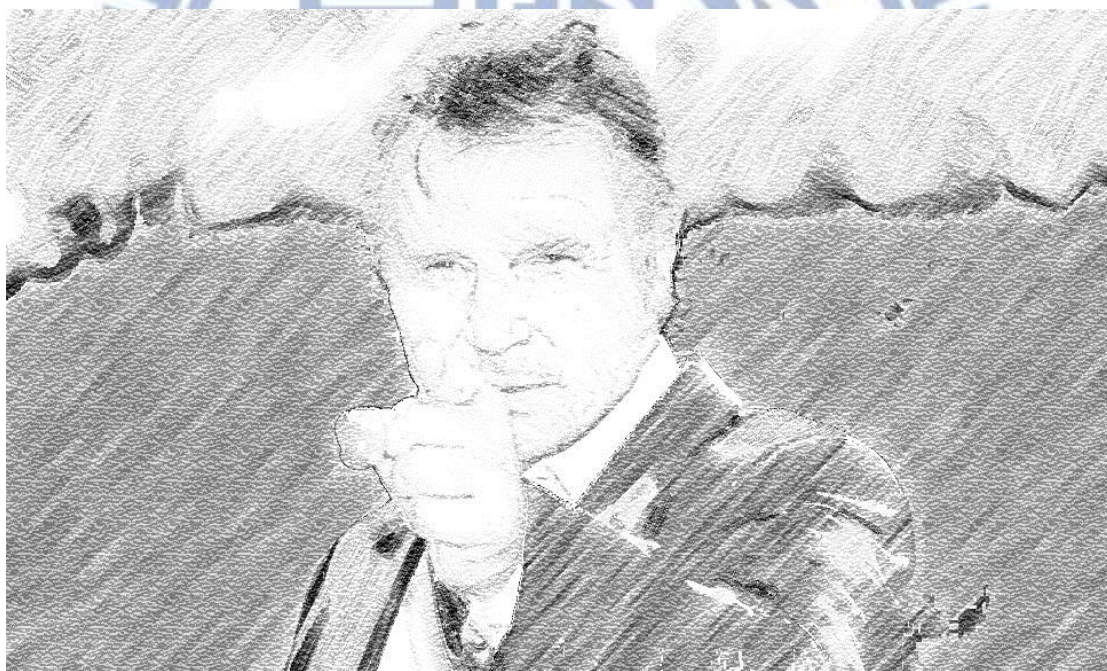


圖 4-119:影星-本論文實驗結果





圖 4-120:街景-原圖



圖 4-121:街景-面積區分圖



圖 4-122:街景-亮度分層圖

本圖例中由圖 4-121 與 4-122 可觀察出畫面下方行人與部分街景為背景區域與最暗層，因此本系統將之視為背景區域而加以淡化處理，導致有違實際素描慣例的現象，結果圖如下。

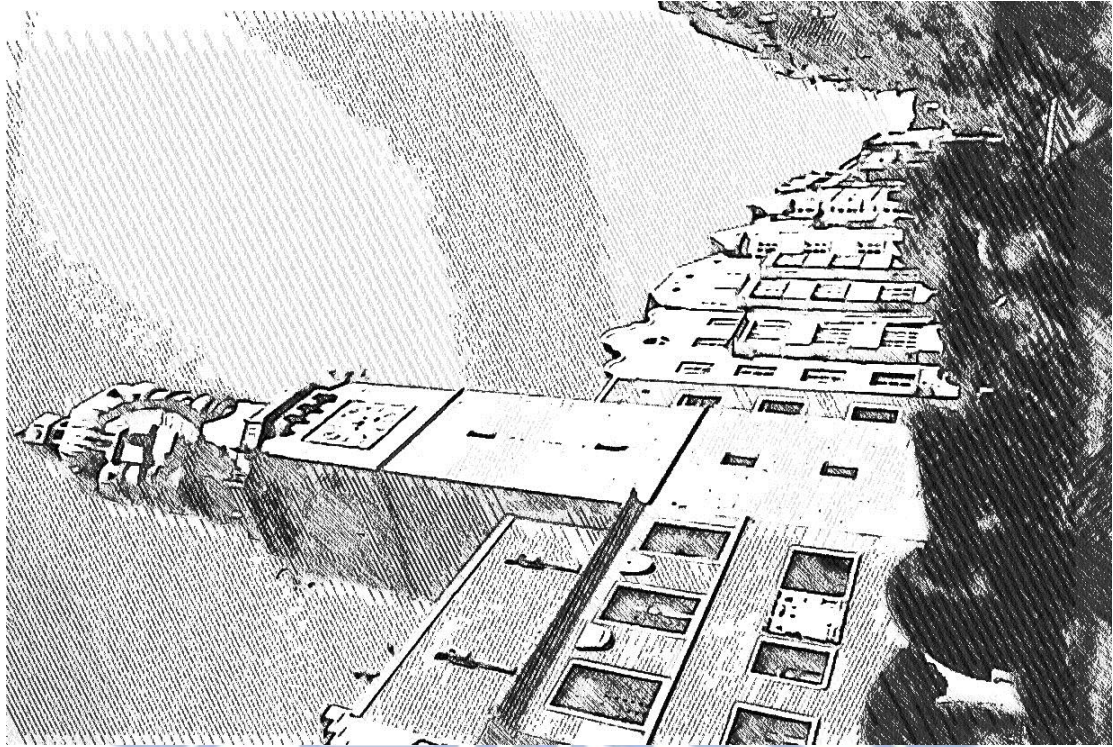


圖 4-123:街景-文獻[2]結果圖

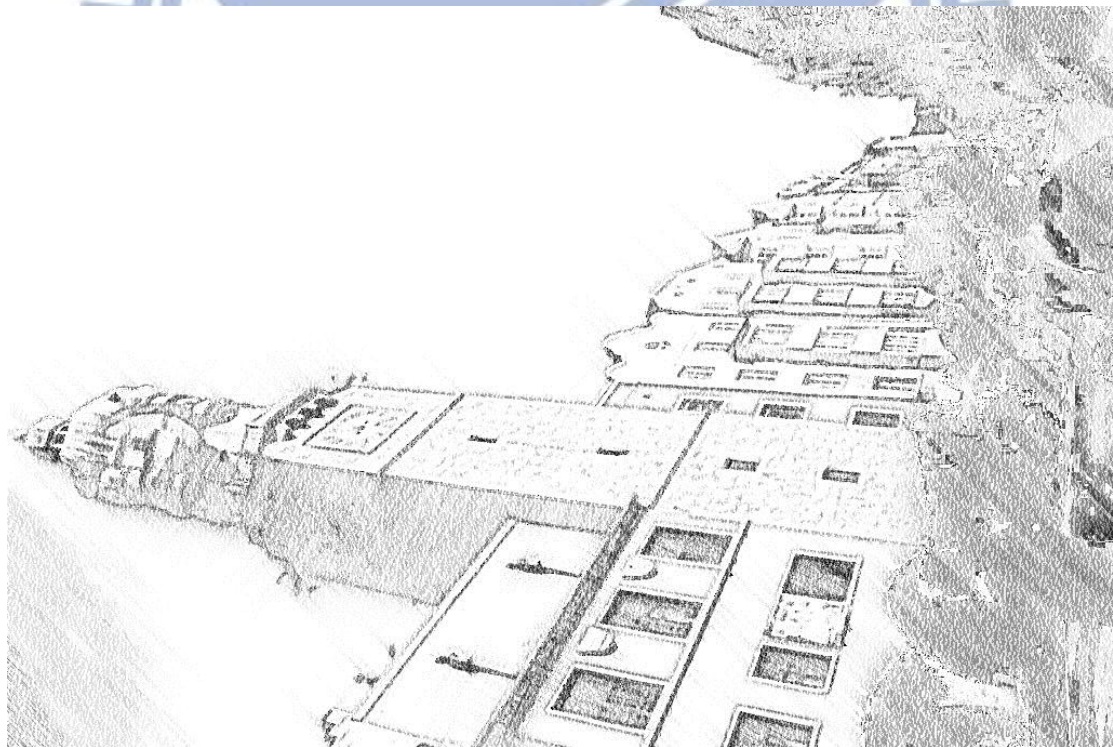


圖 4-124:街景-本論文實驗結果



圖 4-125:老虎-原圖

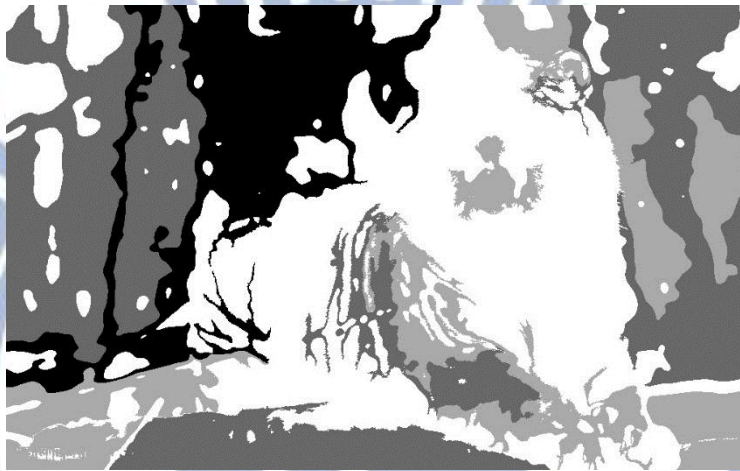


圖 4-126:老虎-面積區分圖



圖 4-127:老虎-亮度分層圖

本圖例中只偵測出部分背景區域，並且在影像中偏左方的大區域屬於次暗層因此本系統不對之提升亮度，導致此區域在背景區域較為突兀，結果圖如下。



圖 4-128:老虎-文獻[2]結果圖



圖 4-129:老虎-本論文實驗結果

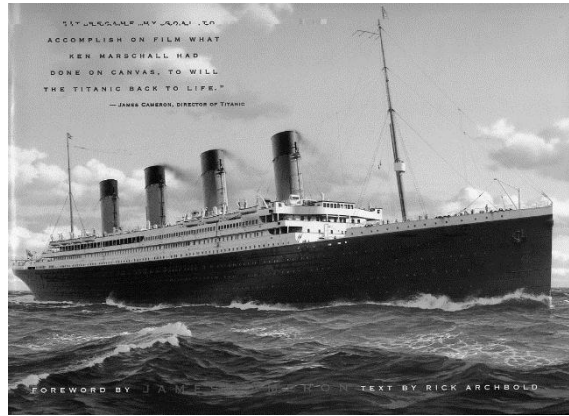


圖 4-130: 船-原圖

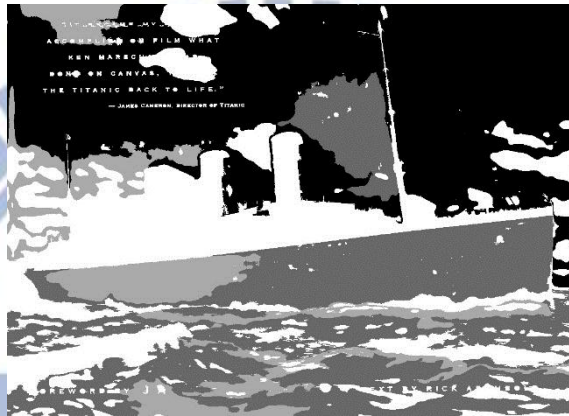


圖 4-131: 船-面積區分圖

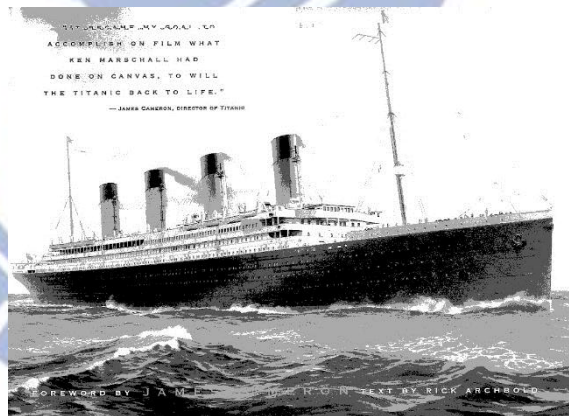


圖 4-132: 船-亮度分層圖

此圖例中，由圖 4-131 可觀察到船身前段與後段並未歸類為同一區塊，導致船身提升亮度不一，結果圖如下。

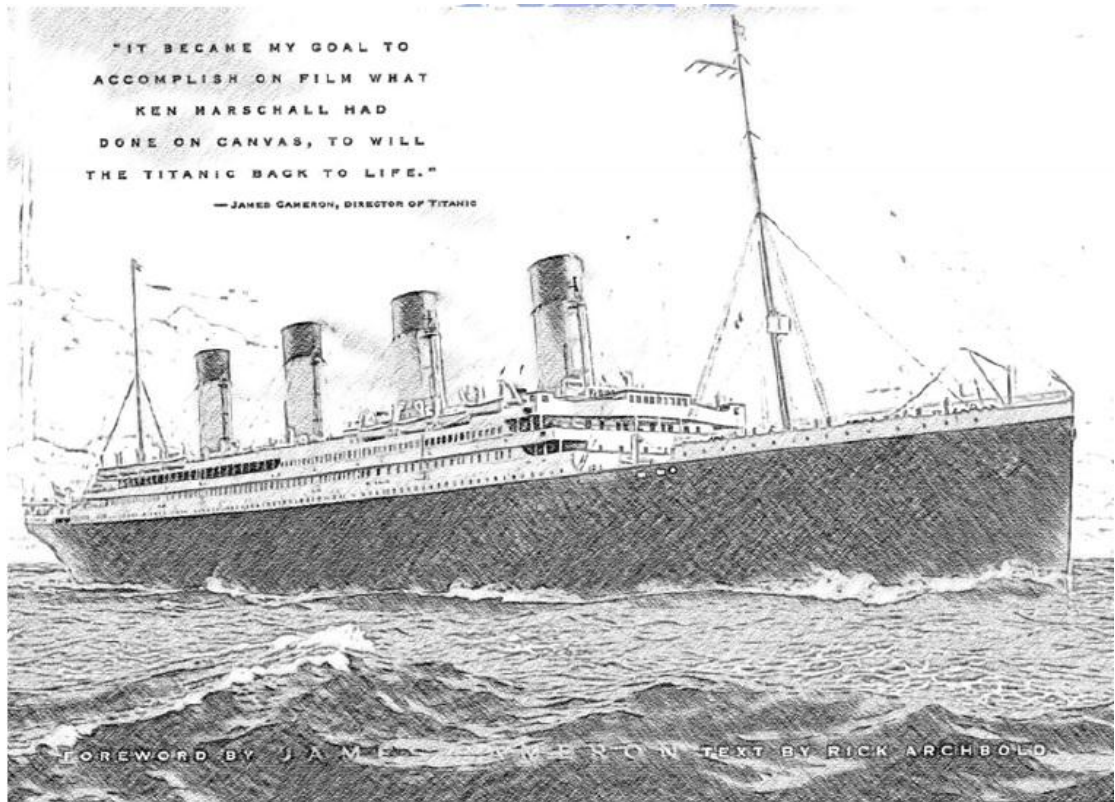


圖 4-133:船-文獻[1]結果圖

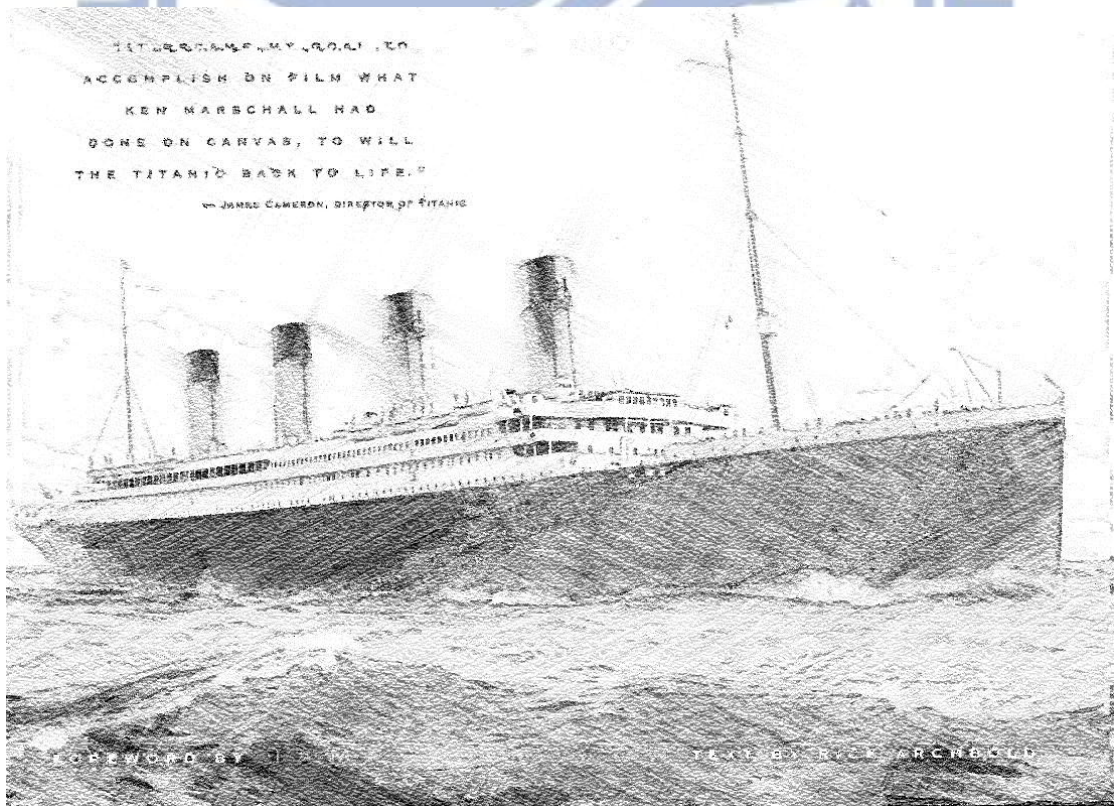


圖 4-134:船-本論文實驗結果

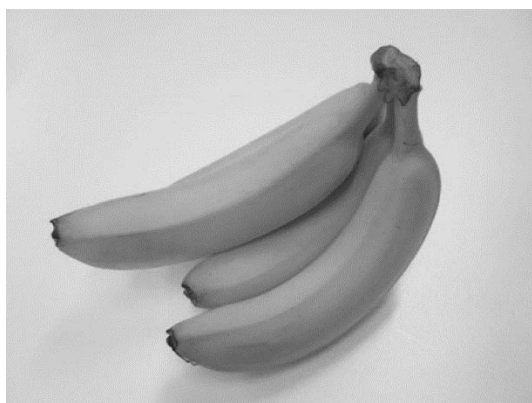


圖 4-135:香蕉-原圖

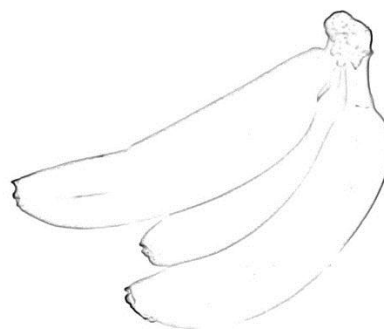


圖 4-136:香蕉-平順輪廓圖



圖 4-137:香蕉-面積區分圖

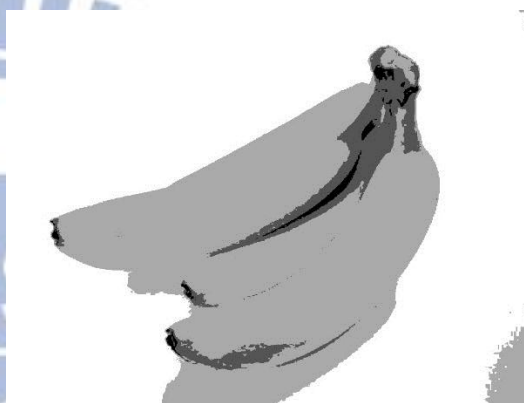


圖 4-138:香蕉-亮度分層圖

本圖例中由圖 4-137 中可見第一根香蕉與第三根香蕉下半較深色的部分被分類為背景區域，因此導致系統提升亮度，使得香蕉對比感消失造成整張圖過於明亮，結果圖如下。

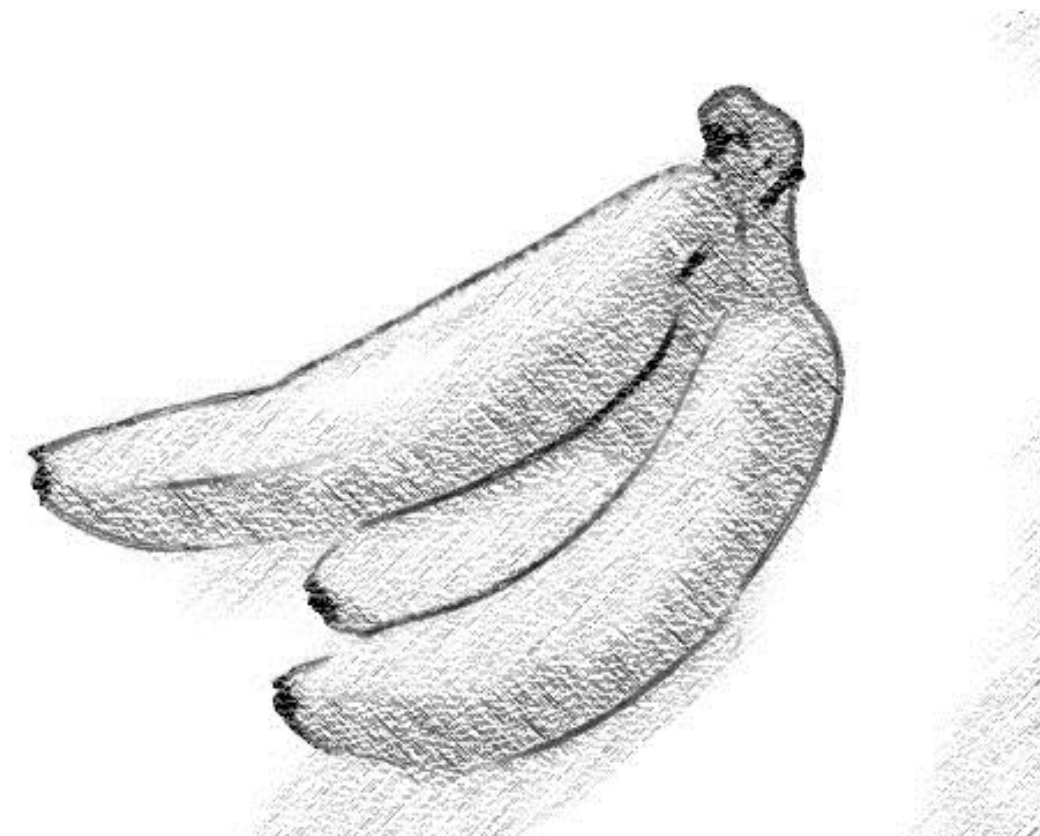


圖 4-139:香蕉-文獻[1]結果圖



圖 4-140:香蕉-本論文實驗結果



#### 4.4 實驗結果圖



圖 4-141:狐狸-原圖

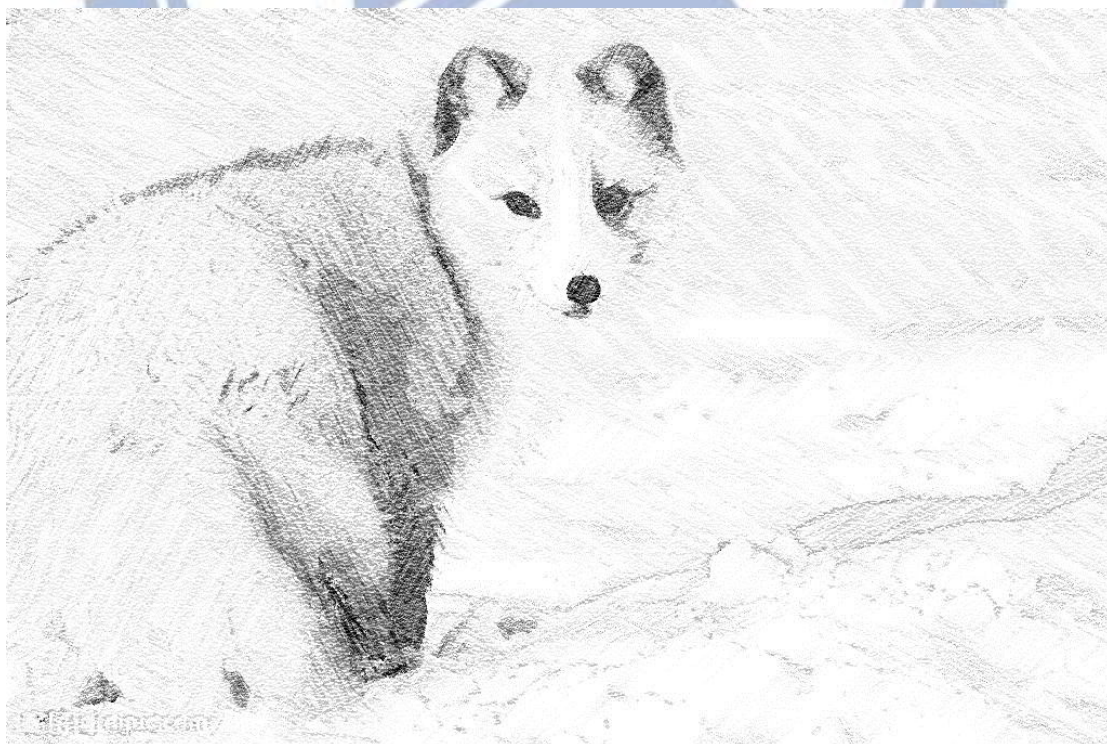


圖 4-142:狐狸-本論文實驗結果



圖 4-143:企鵝-原圖

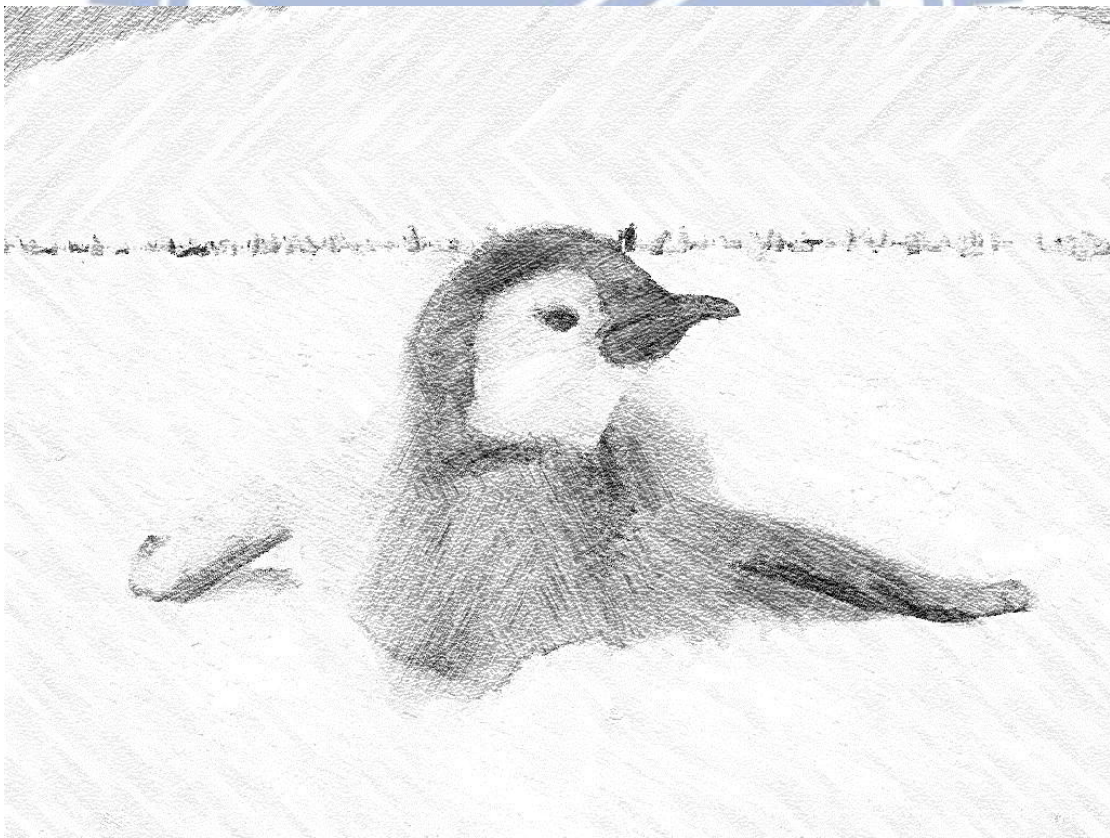


圖 4-144:企鵝-本論文實驗結果



圖 4-145: 女星-原圖

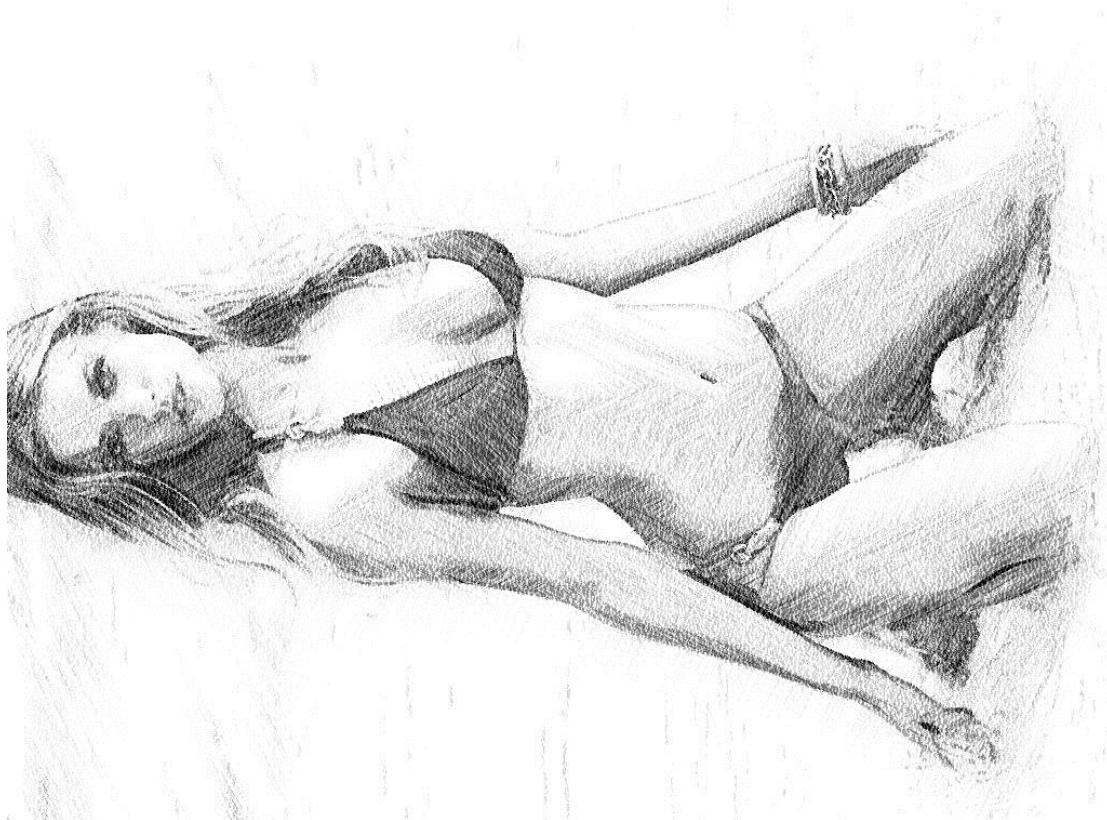


圖 4-146: 女星-本論文實驗結果



圖 4-147:女星-原圖

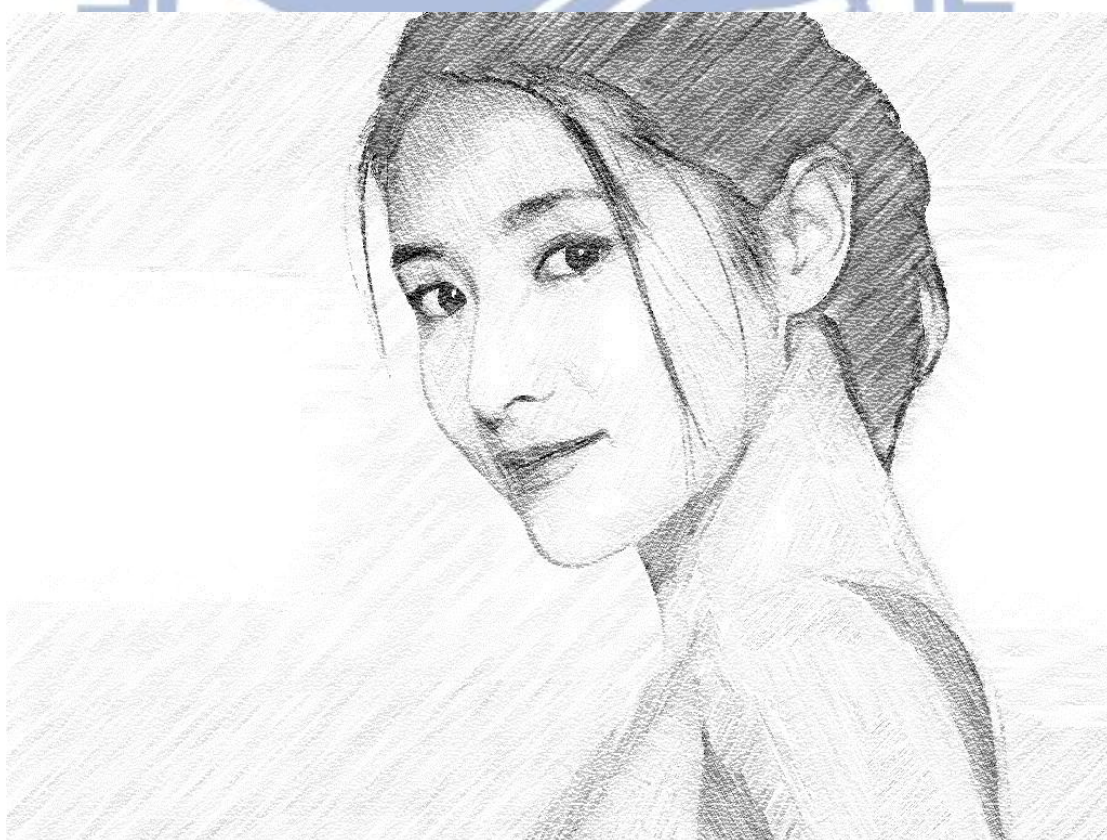


圖 4-148:女星-本論文實驗結果



圖 4-149:士兵-原圖



圖 4-150:士兵-本論文實驗結果



圖 4-151:風景-原圖



圖 4-152:風景-本論文實驗結果



圖 4-153:比薩斜塔-原圖

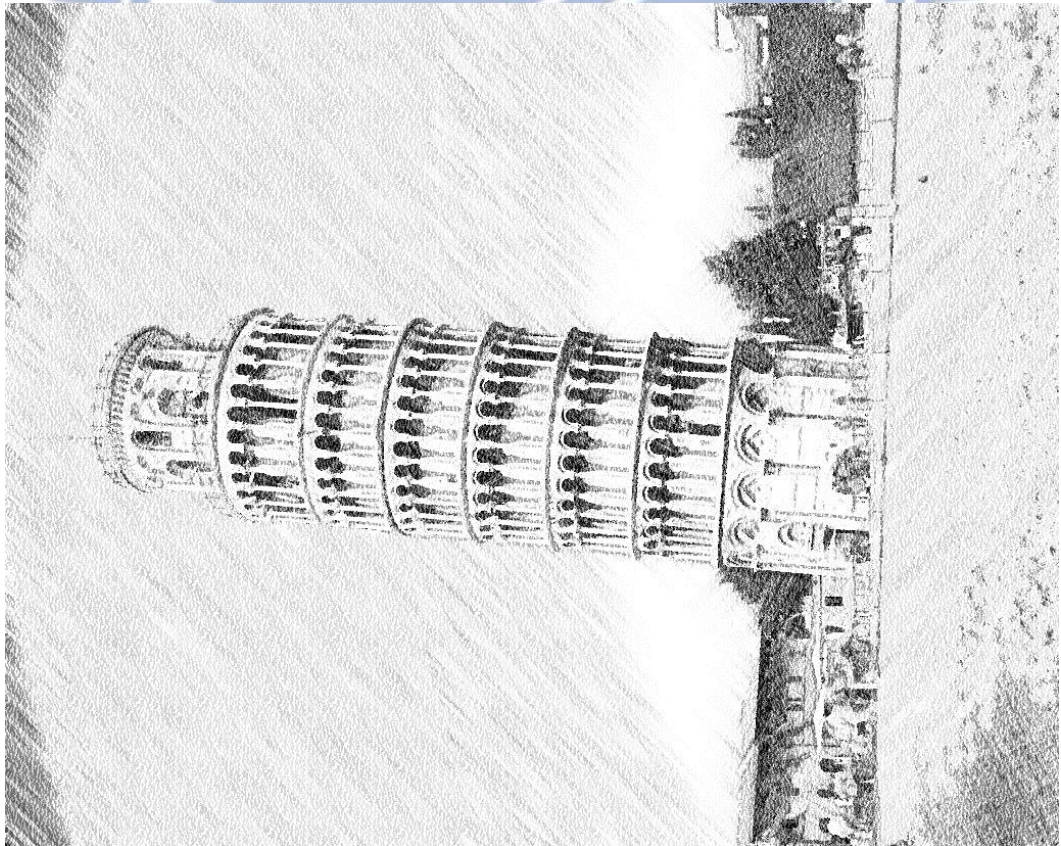


圖 4-154:比薩斜塔-本論文實驗結果



圖 4-155:直升機-原圖



圖 4-156:直升機-本論文實驗結果





圖 4-157:靜物-原圖



圖 4-158:靜物-本論文實驗結果



圖 4-159:花盆-原圖



圖 4-160:花盆-本論文實驗結果

## 第五章 結論

本論文目標為使影像素描模擬有真實手繪素描的感覺，但在上述圖例中有些區塊呈現結果並不和真實手繪的習慣吻合。例如圖 4-97，因為影像本身的亮度區分並不明顯，因此當以亮度值來區分大小區塊時將主體的一部分和背景融合在一起。而在圖 4-124 中，以本論文實驗方法區分畫面中下方的區塊為非描繪重點區域，但在真實手繪上並不會將此區塊以粗筆觸草草幾筆帶過。

因此在未來規劃方面，可予再改進的部分為：

- (1) 加入其他因素來判斷是否為非描繪重點區域。原因如上述所敘，以亮度值來分層後的影像切割結果並不完全代表此區塊是否為非描繪重點區域。
- (2) 非重點描繪區域之灰階亮度提升與對比壓縮(及筆觸之淡化)處理，仍有待繼續著墨。
- (3) 筆觸方面，或許可以加入其他因素來使筆觸可以彎曲或者產生不規則的現象，或藉由面積區塊大小或其他因素加入筆觸間距的效果。

## 參考文獻

- [1] 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
- [2] 徐啟倫，"鉛筆素描中寬筆觸、中筆觸、細筆觸之引用判定與融合處理"，交大資訊科學研究所碩士論文，2013
- [3] 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
- [4] 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
- [5] 林瑋宸，"重筆觸塗抹之粉蠟筆繪圖風格模擬"，交大資科工所碩士論文，2011
- [6] 馬紀哲，"相片中主體之突顯與素描"，交大資訊工程系碩士論文，2004
- [7] 劉季昌，"筆觸參數於局部與大域之擾動控制與效應觀察"，交大媒體工程研究所碩士論文，2009
- [8] B. Cabral and C. Leedom, "Imaging Vector Field Using Line Integral Convolution", SIGGRAPH93 conference Proceeding, pp. 263~270, 1993