

國立交通大學

資訊科學工程研究所

碩士論文

霍夫轉換與影像中規律排列圓形區域之偵測

Detecting Imagery Patterns of Circular Disks in Regular
Formation by Hough Transform

研究生：劉信宏

指導教授：鍾崇斌 教授

中華民國 一 百 零 三 年 十 一 月

霍夫轉換與影像中規律排列圓形區域之偵測
Detecting Imagery Patterns of Circular Disks in Regular Formation by Hough
Transform

研究生：劉信宏

Student : Hsin-Hung Liu

指導教授：鍾崇斌

Advisor : Chung-Ping Chung



November 2014

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國一百零三年十一月

摘要

在規則排列的圓形中，觀察每個圓形，可以發現其邊緣是由上、下、左、右四個相等大小之弧形構成。而每一排的圓形其上方弧形及下方弧形分別呈共線狀態(可排成一系列虛線)，而左方及右方的弧形亦然。

本論文主旨是藉由霍夫轉換偵測影像中規律分布之圓形，其動機源自於觀察規律排列之圓形，其影像經由邊緣偵測後會有許多相同方向之片段結構，這些片段結構會連成一條相同方向之虛線。本論文亦會對各種規律排列的非圓影像進行測試。

偵測流程分成五個步驟，如下所示：

- (1) 以邊緣偵測擷取影像中水平及垂直結構，取出兩組不同角度且包含圓弧分布的邊緣線段結構圖。
- (2) 兩組角度分別對應到霍夫空間後，在霍夫空間中利用閾值將可能為弧形所連成之直線代表點找出來。
- (3) 接著將這些在霍夫空間的點，對應回原影像之直線，就各直線所經之邊緣線段之長短判斷後捨棄非目標之過長線段。
- (4) 接著利用霍夫轉換對兩組結構圖執行第三步驟之處理，直到去除所有非目標線段。
- (5) 合併兩種處理過之結構圖並標記出圓形可能的所在區塊。

在本研究中，對於有較高對比及較近距離的斑點或圓型服飾通常都可以偵測出來，但對於中間對比度或相對低對比度、較長線段及城市中之建築物並無法有效的偵測出來。

Abstract

Consider the case where a circular boundary consists of 4 equal-sized arcs, the upper/lower and left/right ones, derived from an array of circular disks lying horizontally in equal distance. It's readily observed that all upper-arcs "lie" in the same line, as "lie" all lower-arcs in another. The same phenomenon exists for left/right arcs on vertically distributed disks.

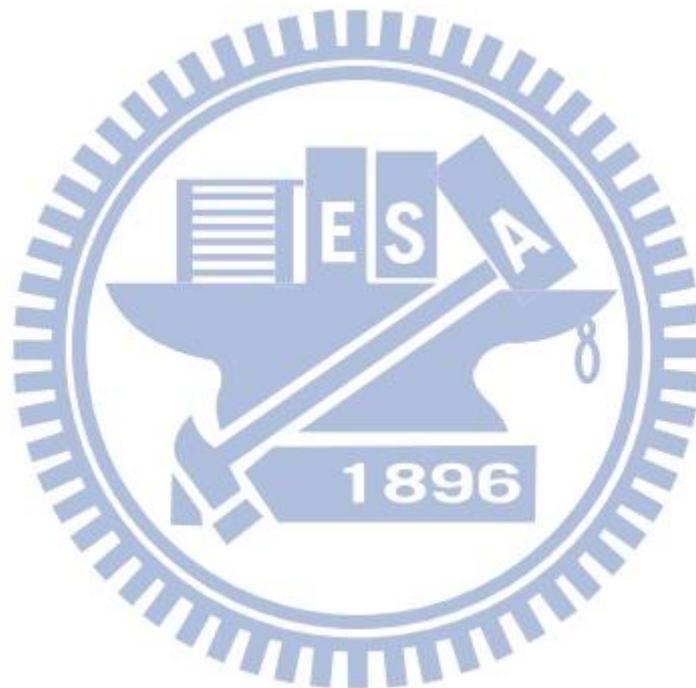
The thesis addresses the subject of detecting imagery patterns of somewhat regularly distributed circular disks via Hough transform. The conception arises from the observation that the oriented-fragments in an edge-map derived from an image of circular disks in quasi-regular formation appear to lie on a same line in the very same orientation. A prototype system was setup for a series of detecting task in which quite some images of repetitive patterns, besides circles, are examined.

The detecting process takes five steps as follows.

- (1) Extraction of horizontal and vertical arcs from disks in the input image, resulting in 2 arc maps;
- (2) Derivation of counterparts in Hough-space of the 2 arc maps, followed by proper threshold;
- (3) Inverse-transform of the 2 Hough-space maps for lines of arc-in-line in the 2 arc maps, followed by the discard of "flawed-arcs" which are unlikely to be parts of circles;
- (4) Hough-transform of the 2 refined arc maps in (3), followed by Inverse Hough-transform and subsequent flaw-arc removal as done in (3);
- (5) Congregation of the 2 refined arc maps for identifying the image regions where

quasi-circular patterns exist.

The initial results shown by the pilot system are deemed as satisfactory for images with spotted or circular patterns on people's clothing where high contrast and tight spacing is generally found. For repetitive patterns accompanied with medium or relatively low contrast and in relatively large distance, as already being encountered in images of buildings in urban scene, a similar line of process as deployed in the prototype could be applied, though not yet implemented.



章節目錄

chap1 緒論.....	1
1.1 簡介.....	1
1.2 論文架構.....	3
chap2 實驗動機及相關研究.....	4
2.1 實驗動機.....	4
2.2 相關研究.....	5
chap3 處理流程.....	10
3.1 簡介與系統流程架構.....	10
3.2 水平、垂直結構偵測.....	12
3.3 霍夫轉換.....	14
3.3.1 霍夫轉換介紹.....	14
3.3.2 本研究之霍夫空間介紹.....	16
3.4 線段選取及整合.....	18
3.4.1 偵測角度限制.....	18
3.4.2 局部極大值.....	19
3.4.3 忽略長線段之誤判.....	20
3.4.4 單一角度選擇.....	21
3.4.5 線段分群及整合.....	22
3.5 結構圖之改善.....	27
3.5.1 線段結構的判定.....	28
3.5.2 長線段結構的移除.....	30
3.5.3 合併兩種結構.....	33
3.6 改善後之實驗結果.....	35
chap4 實驗結果.....	38
4.1 簡介.....	38
4.2 規律排列之圓形.....	39
4.2.1 相距較遠之小圓.....	39
4.2.2 相距較近之小圓.....	50
4.2.3 大圓.....	58
4.3 規律排列之非圓形.....	68
4.3.1 碎花.....	68
4.3.2 格紋.....	74
4.3.3 建築物.....	83
chap5 結論.....	89
文獻參考.....	91

圖表目錄

圖 1.1 原圖	圖 1.2 圓與圓之間形成兩條對稱虛線	1
圖 1.3 霍夫空間反應較強烈之點	圖 1.4 轉換回來後之線段	2
圖 1.5 實驗結果圖		3
圖 2.1 文憲[7] 影像轉鉛筆素描		4
圖 2.2 一點對應至三圍霍夫空間示意圖		5
圖 2.3 三圍霍夫空間累加示意圖		6
圖 2.4 任三點決定一圓之示意圖		7
圖 2.5 文獻[3] 結果圖		8
圖 2.6 爬山法分群示意圖		9
圖 3.1 基本流程圖		10
圖 3.2 改善後流程圖		11
圖 3.3 文獻[4] ISOTROPIC SOBEL MASK		12
圖 3.4 灰階影像		13
圖 3.5 水平結構	圖 3.6 垂直結構	13
圖 3.7 X-Y 平面	圖 3.8 A-B 平面	14
圖 3.9 文獻[5] 直線轉換至霍夫空間		15
圖 3.10 文獻[5] 累加情況		15
圖 3.11 文獻[5] X-Y 平面與 (R, θ) 平面轉換示意圖		16
圖 3.12 影像空間	圖 3.13 霍夫空間	17
圖 3.14 水平結構	圖 3.15 垂直結構	17
圖 3.16 水平結構的霍夫空間	圖 3.17 垂直結構的霍夫空間	17
圖 3.18 水平結構線段偵測示意圖(不分角度)		18
圖 3.19 水平線段角度選擇		18
圖 3.20 有較高值之點集中於某區塊		19
圖 3.21 霍夫空間的塊狀區域	圖 3.22 對應回影像空間	19
圖 3.23 固定遮罩及其在局部極大值矩陣 MLM 之示意圖		20
圖 3.24 限制角度局部極大值之點	圖 3.25 標記於局部極大值矩陣 MLM	20
圖 3.26 過長線段範例		21
圖 3.27 MLM 中相同角度且已被標記之點	圖 3.28 對應到霍夫空間之值	21
圖 3.29 水平線段偵測結果	圖 3.30 垂直線段偵測結果	22
圖 3.31 連結串列		22
圖 3.32 拜訪順序及距離計算		23
圖 3.33 依距離分群示意圖	圖 3.34 刪除點數過少之群示意圖	23
圖 3.35 群之上下界示意圖		24
圖 3.36 水平線段分群結果	圖 3.37 垂直線段分群結果	24
圖 3.38 合併結果圖		24

圖 3.39 灰階影像	25	
圖 3.40 水平結構	圖 3.41 垂直結構.....25	
圖 3.42 水平線段	圖 3.43 垂直線段	
圖 3.44 合併結果	26	
圖 3.45 長線段之直線	圖 3.46 不同角度之影響.....27	
圖 3.47 紅框(圖 3.45) 藍框(圖 3.46)	28	
圖 3.48 扭曲線段圖	圖 3.49 三組(R, θ).....28	
圖 3.50 不連續線段	29	
圖 3.51 忽略小斷裂之範例	29	
圖 3.52 左上紅框(圖 3.45) 下方紅框(圖 3.47).....	29	
圖 3.53 線段判定(三列偵測)	30	
圖 3.54 刪除範圍(五列刪除)	30	
圖 3.55 原圖	圖 3.56 刪除一次之結果	
圖 3.57 刪除二次之結果	圖 3.58 刪除三次之結果.....31	
圖 3.59 原圖	圖 3.60 刪除一次之結果	
圖 3.61 刪除二次之結果	圖 3.62 刪除三次之結果	
圖 3.63 水平結構	圖 3.64 垂直結構	圖 3.65 交集
圖 3.66 刪除長線段後之水平結構	圖 3.67 刪除長線段後之垂直結構.....	34
圖 3.68 交集合併結果	圖 3.69 配予權重合併之結果	34
圖 3.70 兩種遮罩.....	35	
圖 3.71 水平線段	圖 3.72 垂直線段	36
圖 3.73 水平線段取上下界	圖 3.74 垂直線段取上下界.....	36
圖 3.75 最後合併之結果	37	
圖 4.1 相距較遠之小圓(1)	40	
圖 4.2 相距較遠之小圓(2)	41	
圖 4.3 相距較遠之小圓(3)	43	
圖 4.4 相距較遠之小圓(4)	45	
圖 4.5 相距較遠之小圓(5)	47	
圖 4.6 相距較遠之小圓(6)	49	
圖 4.7 相距較近之小圓(1)	51	
圖 4.8 相距較近之小圓(2)	53	
圖 4.9 相距較近之小圓(3)	55	
圖 4.10 相距較近之小圓(4)	57	
圖 4.11 大圓(1)	59	
圖 4.12 大圓(2)	61	
圖 4.13 大圓(3)	62	
圖 4.14 水平結構	圖 4.15 刪除長線的水平結構.....	63
圖 4.16 中對比之水平結構.....	63	

圖 4.17 大圓(4)	65	
圖 4.18 大圓(5)	67	
圖 4.19 碎花(1)	69	
圖 4.20 碎花(2)	71	
圖 4.21 碎花(3)	73	
圖 4.22 格紋(1)	75	
圖 4.23 格紋(2)	77	
圖 4.24 水平結構	圖 4.25 刪除長線段的水平結構.....	78
圖 4.26 格紋(3)	80	
圖 4.27 格紋(4)	82	
圖 4.28 水平結構	圖 4.29 刪除長線段的水平結構.....	82
圖 4.30 建築物(1)	83	
圖 4.31 建築物(2)	84	
圖 4.32 建築物(3)	85	
圖 4.33 水平結構	圖 4.34 刪除長線的水平結構.....	86
圖 4.35 中對比之水平結構.....	86	
圖 4.36 建築物(4)	87	
圖 4.37 水平結構	圖 4.38 僅偵測長線段之結果.....	88



chap1 緒論

1.1 簡介

人們生活中四處可見規則排列的物件，例如大樓窗戶、壁磁磚…等等，而人們的服飾的圖案更是五花八門，這類物件的排列往往會有一定的格式。在觀察各種圖形後發現，圓形沿其邊緣偵測的對比強弱幾乎是一致的，如此特性有利於偵測其結構，故本文選擇以規則排列之圓形之偵測為主題，藉由兩種互相垂直之角度進行處理，以便偵測出可能有規律排列圓形之區塊。

影像中，規則排列之物件往往會讓人想到條狀排列，而霍夫轉換正是一種可以拿來偵測線段一種演算法。基於此演算法之偵測類型，筆者採用單一方向之邊緣偵測以降低其他角度之干擾，圓在單一方向之邊緣偵測後會留下兩條互相對稱之弧線，圓與圓之間彼此會連成兩條對稱虛線(如圖 1.2 所示)，再藉由霍夫轉換將此線偵測出來。(圖 1.3 及 1.4)

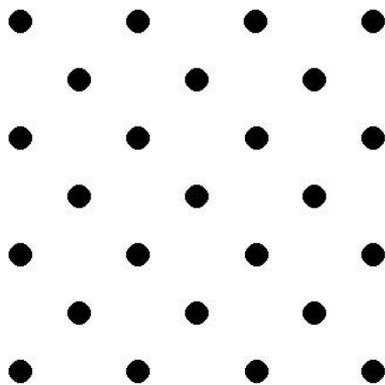


圖 1.1 原圖

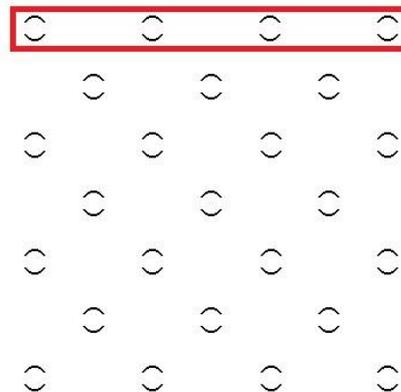


圖 1.2 圓與圓之間形成兩條對稱虛線

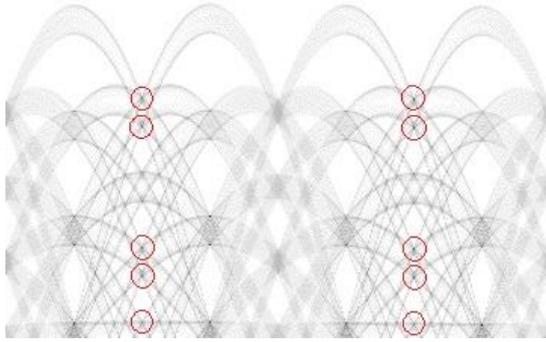


圖 1.3 霍夫空間反應較強烈之點

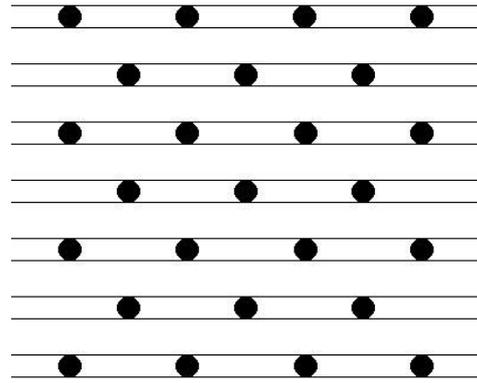


圖 1.4 轉換回來後之線段

即使圓與圓之間相距甚遠，霍夫轉換亦可將圓之邊緣所連成的虛線偵測出來。也因為距離相距較遠，所以此類圖形較難以觀察圖形與圖形之間的關係而發現排列之情況，這便是本論文採用霍夫轉換的主要原因。

在上述的處理當中，由於霍夫轉換會把超過門檻值、各個方向的線段都找出來，所以其結果相當混亂，因此筆者僅取特定角度之線段出來處理，以降低個角度造成的混亂現象。而筆者也發現霍夫轉換後的線段會密集出現在邊緣偵測後反應強烈之區域，這樣過於混亂的資訊不利於後段的處理，因此在霍夫空間取局部極大值來減少線段密集現象。

經處理後發現影像中會有物件之邊框等長線段，此種情況會干擾目標線段的判定。因此在結構圖中將此類線段其去除後，筆者利用兩種方法合併水平結構及垂直結構偵測之結果，最後利用線段與線段之間的距離來分群，並計算各群之點數，篩選過後的剩餘區域即為最後之結果。

1.2 論文架構

本篇論文主要分為五個章節，第一章是簡介，第二章研究動機及介紹相關研究，第三章是本論文的實驗流程，第四章是實驗結果，最後，第五章是結論及未來研究方向。



圖 1.5 實驗結果圖

chap2 實驗動機及相關研究

2.1 實驗動機

在現今的計算機繪圖處理中，除了為追求真實細膩影像的擬真顯像 (Photorealistic Rendering, PR) 外，也有為追求特殊表現及風格之非擬真顯像 (Non-Photorealistic Rendering, NPR)。

在非擬真顯像中，繪畫風格的處理是其中一個重點，例如鉛筆素描、蠟筆、水彩…等等。而其呈現往往與真實影像不同，其中一個不同點就在於重點區域之突顯，像是人臉、動物、服裝、建築物…等等，皆有可能是繪畫欲突顯之主體。



圖 2.1 文憲[7] 影像轉鉛筆素描

但藉由電腦將影像轉素描的流程中，機器並不像人有直覺能直接觀察出影像的主體，因此只能利用光影對比的變化、規律排列等性質將此類區域偵測出來，而本論文之目的正是偵測規律排列之圓形。

2.2 相關研究

物件辨認及規則性分佈偵測皆為存在已久的議題，為達到研究之目的，在此筆者參考了幾份文獻，並將其優缺點列入參考。

文獻[1]是介紹利用霍夫轉換偵測影像中線段及曲線，在此篇論文中，作者提出了一種搜尋圓形之演算法。一般偵測直線之霍夫轉換是將 (x,y) 轉到 (r,θ) ，其轉換方程式為： $r = x \cos \theta + y \sin \theta$ 。而偵測圓形之霍夫轉換是將 (x,y) 轉到 (a,b,r) 的三維霍夫空間，其轉換方程式為：

$$f((x,y), (a,b,r)) = (x-a)^2 + (y-b)^2 - r^2$$

此方程式可以將 $X-Y$ 平面上一點 (x,y) 對應到 (a,b,r) 空間中的一個圓錐。

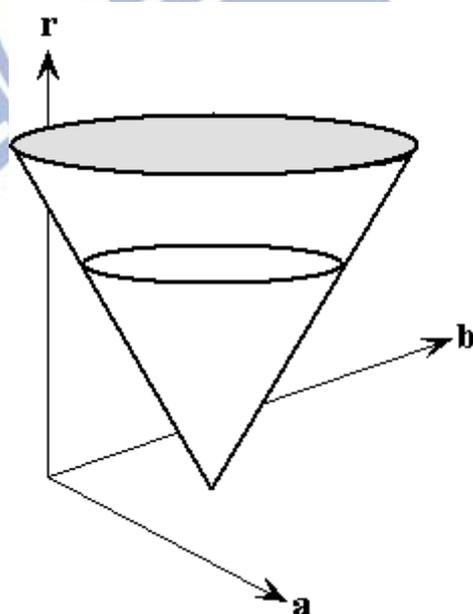


圖 2.2 一點對應至三圍霍夫空間示意圖

若影像中兩點位於同一圓之軌跡，則此兩點對應霍夫空間之圓錐面將會相交於一條曲線。利用類似找直線之霍夫轉換所以用之累加方式對 (a, b, r) 空間進行累加，其累加值較大之點 (a', b', r') 所組成之方程式即有可能在 (x, y) 平面形成一個圓。

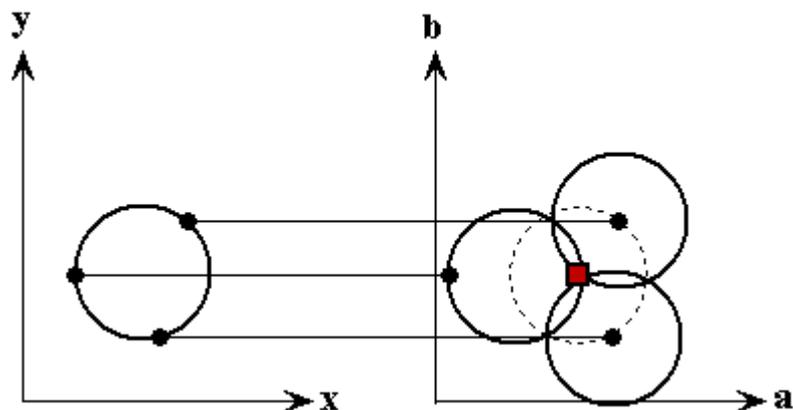


圖 2.3 三圓霍夫空間累加示意圖

但此方法存在兩個嚴重的缺點，第一個是因為其對應之空間 (a, b, r) 是三維空間，所以空間複雜度從原本霍夫轉換的二維空間變成三維空間。第二個則是時間複雜度亦從 n^2 變成 n^3 。

而文獻[2]則是改進文獻[1]之空間複雜度及時間複雜度，此篇文獻提出一個隨機式霍夫轉換來偵測圓形及圓弧。因為在平面中，任取三點可以決定一個圓，此文獻即是基於此概念，在影像中任取三點，判斷其圓心可能之位置，如此重複處理進而找到目標區域。(如圖)

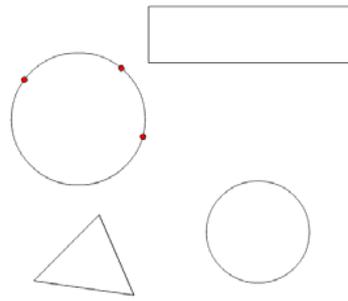


圖 2.4 任三點決定一圓之示意圖

但此方法不適合應用在較複雜的影像上，因為在較複雜的影像上要找到任三點在同一圓上的機率比較低，但真實影像通常是極為複雜之情況，因此，此法並不適用於我們的研究中。

在文獻[3]中，作者是針對特徵區域與其他區域互相比對來擷取相似的區域，並在同樣的區域上標上相同的顏色用以區別。其內容主要為擷取到的特徵區域相互的比較，檢視是否相似，並對每個特徵區域進行投票，將最多相似的特徵區域標記起來。

此系統使用投票的方式，故能擷取出的特徵區域數目是固定的，若影像中存在多棟建築物，則很有可能只能擷取出一兩棟建築物的特徵區域，而忽略掉其它的建築物。又此輸入影像易受外部因素干擾，所以其抓取效果不甚理想。

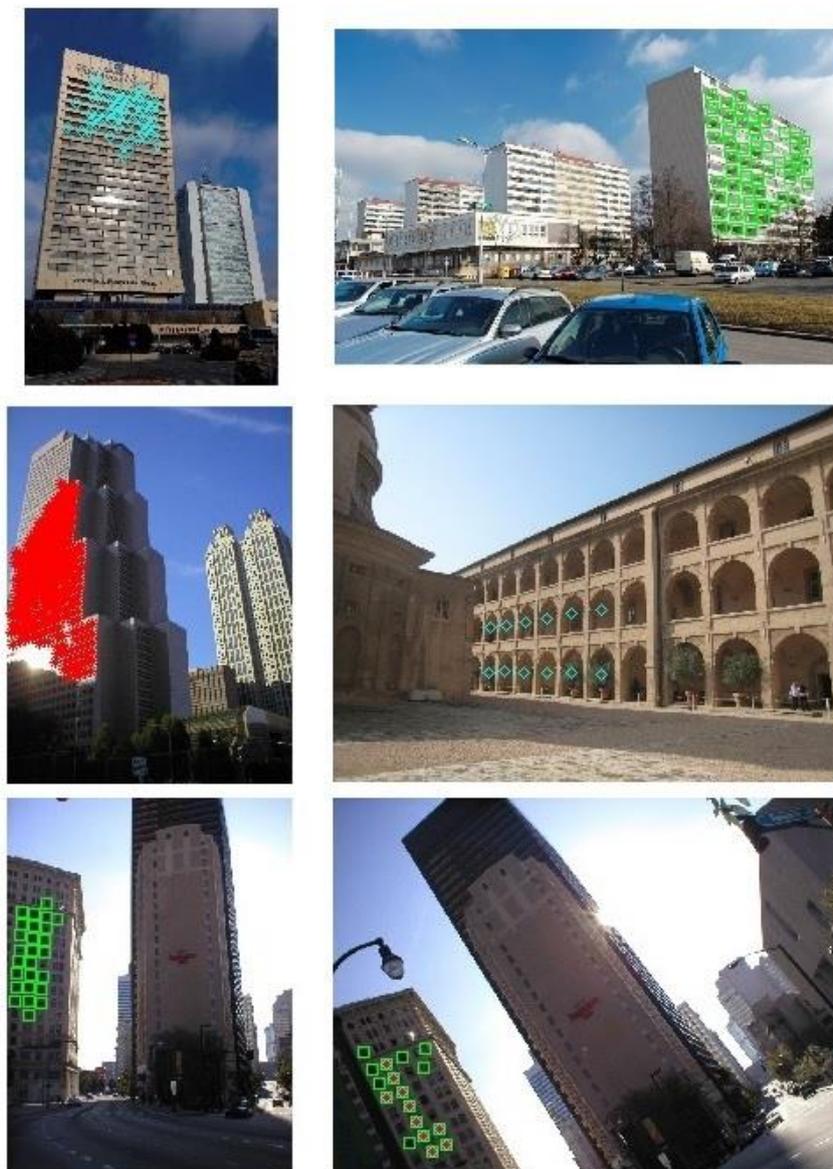


圖 2.5 文獻[3] 結果圖

另外，本論文亦有參考分群演算法中的爬山法(Peak-climbing method)。將每一點與其四周八個點做比較，若中心點大於其他八個點，則此點及為群中心，否則找出其餘八點中值最大之點，並劃一條箭頭指向該點。對每個點執行上述動作後，將箭頭反向，於各個群中心出發，拜訪所以其指向的區塊，其可拜訪之區塊皆是以該點為群中心的同一群。

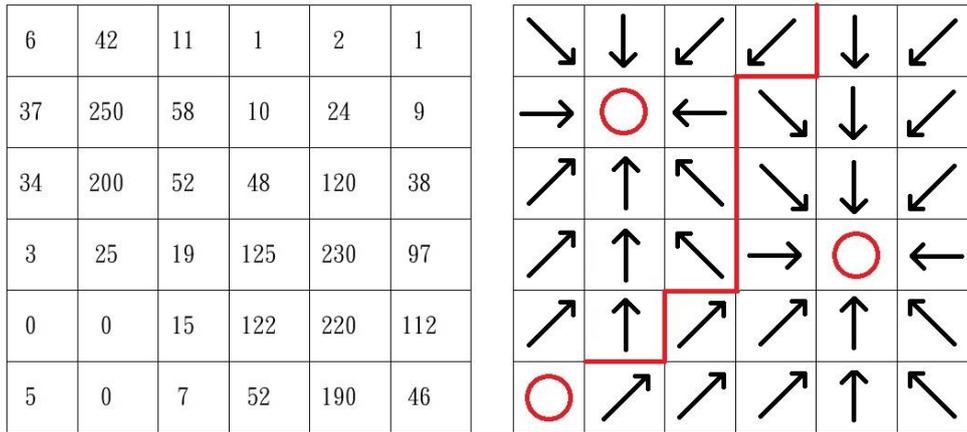


圖 2.6 爬山法分群示意圖

筆者參考此分群方法，建立一個可調大小之遮罩，由中心點跟遮罩內所有點做比較，若該點大於遮罩內所有其他點，則代表此點即為局部極大值，否則不對該點做處理。



chap3 處理流程

3.1 簡介與系統流程架構

本章將會介紹本論文霍夫轉換與影像中規律排列圓形區域之偵測流程，其中包括各程序的內容、達到之效果及各參數之設定等，都會詳細的逐一介紹。

一開始會先介紹基本的構想與流程，從 3.2 節開始介紹結構偵測、3.3 節的霍夫轉換、3.4 節的線段分群及整合之結果。觀察其結果後發現可改進之處，因此提出 3.5 節的改善方法，並在 3.6 節展示改善後的結果。

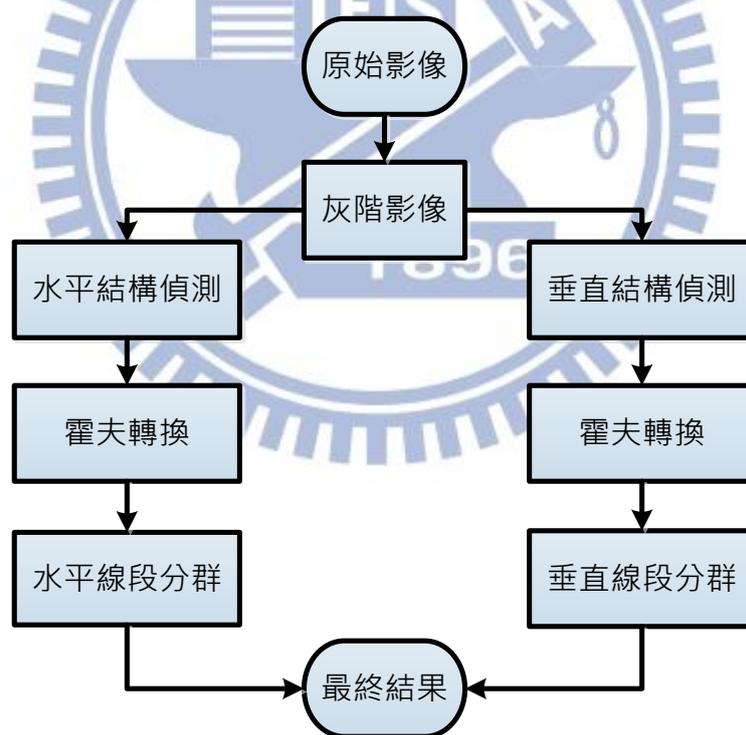


圖 3.1 基本流程圖

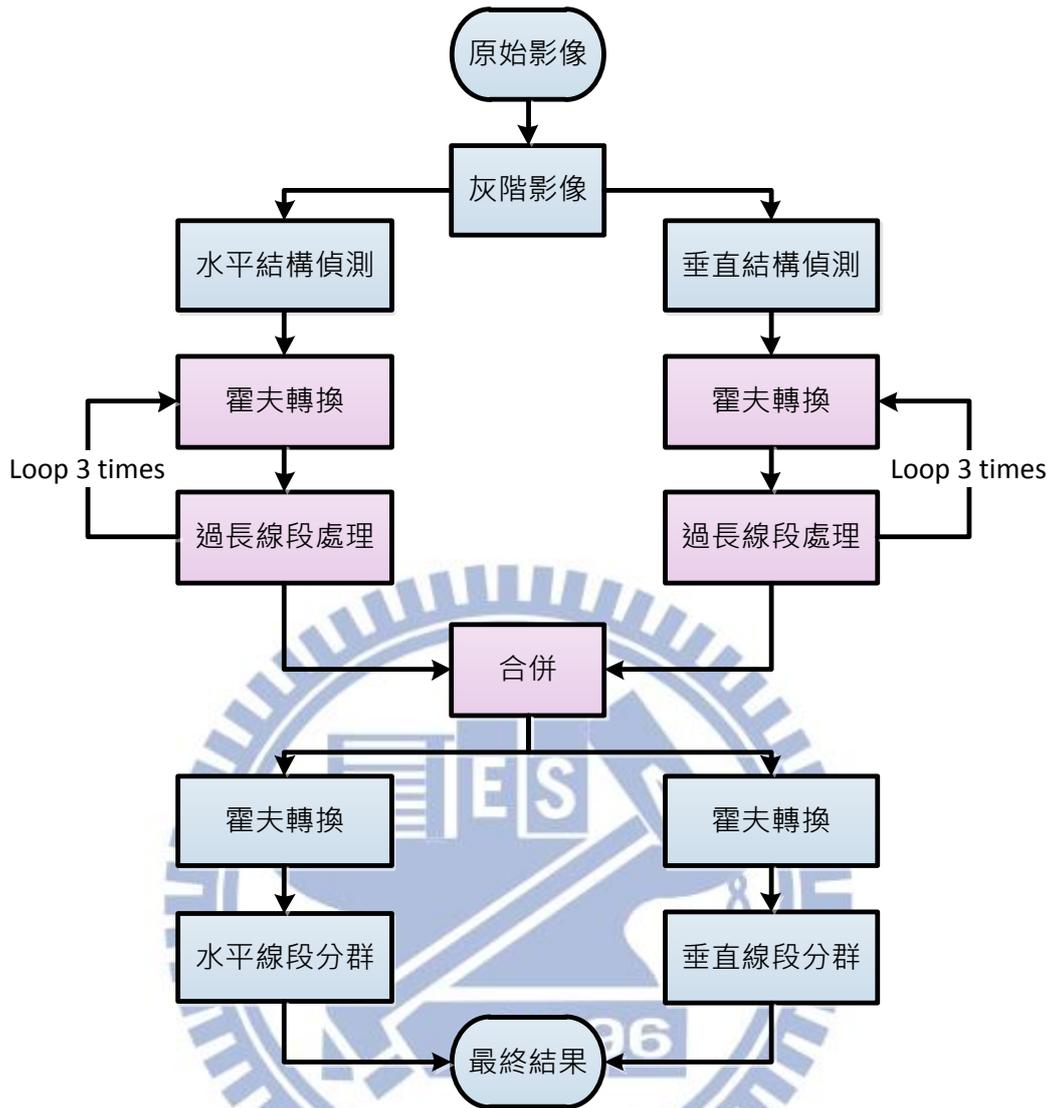


圖 3.2 改善後流程圖

3.2 水平、垂直結構偵測

了解目標的結構是影像偵測一開始的基礎步驟之一，本論文亦是從此當初發點。考慮到之後的處理方式，筆者不採用梯度(gradient)[8][9]來抓取影像之結構，而是採取邊緣偵測(edge detection)的方法。

現行邊緣偵測已有完善的偵測方式供大眾使用，由於之後的處理方式僅需要圓對稱兩邊之弧形結構即可，因此選擇能偵測單一角度的 Sobel mask[6]。而 Sobel mask 的另一種形式 Isotropic Sobel mask，在偵測對比相近但是方向不同之邊緣時會更加精準。經筆者比較後確認，Isotropic Sobel mask 偵測之結果具有較完整之圓弧以及較少之雜點。因此本研究是採用 Isotropic Sobel mask 來偵測邊緣。

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

水平遮罩 垂直遮罩

$$G_{45} = \begin{bmatrix} \sqrt{2} & 1 & 0 \\ 1 & 0 & -1 \\ 0 & -1 & -\sqrt{2} \end{bmatrix} * A \quad G_{135} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & \sqrt{2} \\ -1 & 0 & 1 \\ -\sqrt{2} & -1 & 0 \end{bmatrix} * A$$

45°遮罩 135°遮罩

圖 3.3 文獻[4]Isotropic Sobel mask

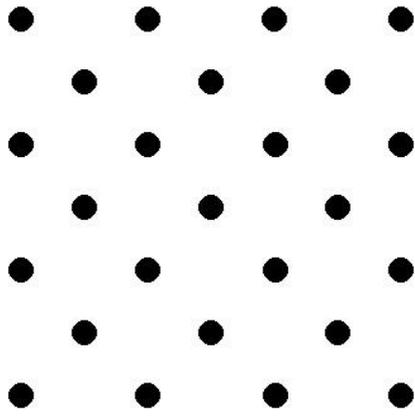


圖 3.4 灰階影像

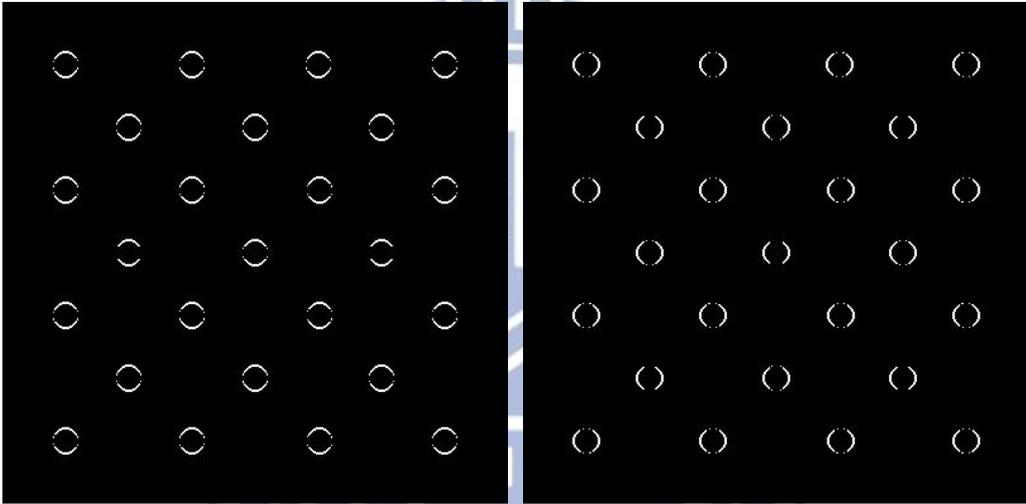


圖 3.5 水平結構

圖 3.6 垂直結構

3.3 霍夫轉換

經由 3.2 節之處理，產生了一個二值化的邊緣偵測結果，接著筆者會利用霍夫轉換來偵測影像的線段。在本節筆者會先介紹霍夫轉換的原理，之後才會介紹本研究的詳細內容。

3.3.1 霍夫轉換介紹

本節演算法引用自[1]，影像存在於水平 X 軸及垂直 Y 軸之歐幾里德空間中，均有其對應之座標(x,y)，建立一個通過某點之直線方程式為 $y = ax + b$ ，其中 a 為斜率，b 為截距，此點對應到水平 a 軸及垂直 b 軸之歐幾里德空間中會是一條直線。將此式視為互相限制條件的映射關係，意思一組(x,y)可以映射至多重參數(a,b)，而一組(a,b)亦可以映射至多重參數(x,y)。

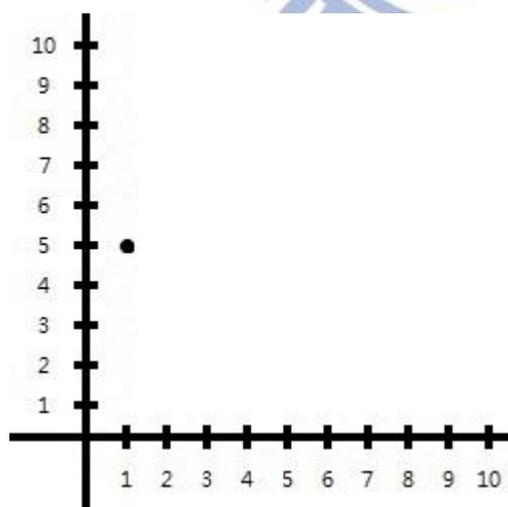


圖 3.7 X-Y 平面

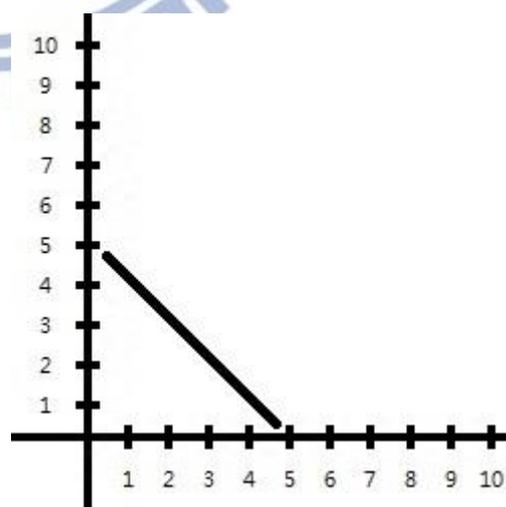


圖 3.8 a-b 平面

因此，X-Y 平面上的一條線對應至 a-b 平面將會是無數條交於一點的直線(圖 3.9)，將每一條直線在 a-b 平面進行累加(圖 3.10)，累加值最高之點(a,b)即是在 X-Y 平面上直線之方程式 $y = ax + b$ ，藉由這種方式即可找出影像中反應較強烈之線段。

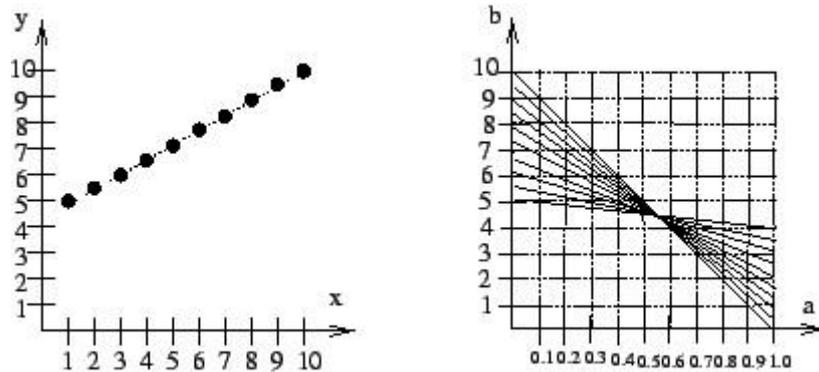


圖 3.9 文獻[5]直線轉換至霍夫空間

10	2									
9	3	2								
8	3	4	3							
7	3	3	5	4						
6	2	2	4	5	6					
5										
4		1	1	2	4	10	5	2	1	1
3							7	5	3	2
2								3	4	3
1									2	4
										2

圖 3.10 文獻[5]累加情況

以上為霍夫轉換的演算法構想，但以實作之角度而言，當斜率趨近於無限大的時候，a 之值會太大而無法計算，因此採用 (r, θ) 的極座標空間。其映射方程式更改為 $r = x \cos \theta + y \sin \theta$ ，在 X-Y 空間中任一點對應至 $r - \theta$ 空間皆會產生 $\sin \theta$ 與 $\cos \theta$ 之合成波，如此可避免直線方程式中斜率無限大的問題，如圖 3.11 所示。

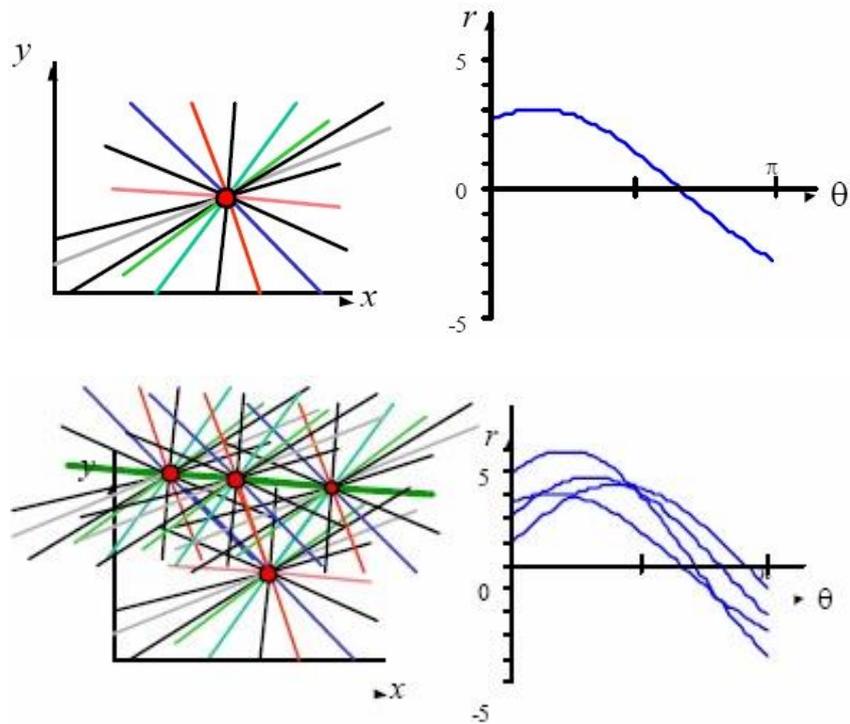


圖 3.11 文獻[5]X-Y 平面與 (r, θ) 平面轉換示意圖

3.3.2 本研究之霍夫空間介紹

本節將定義本研究使用之霍夫空間，不同於現有的霍夫轉換函式，筆者在此建立一個較為直觀且可供使用的霍夫轉換空間以便觀察及使用。本研究之霍夫轉換空間如圖 3.12 及圖 3.13 所示，為避免 r 會出現負值，因此角度使用了 360° ，詳細內容如下：

1. 影像空間中的基準點是在 $(\frac{X}{2}, \frac{Y}{2})$ ， X 為影像寬度， Y 為影像高度。
2. 霍夫空間的 θ 是由 0° 至 359°
3. 霍夫空間的 r 是由 0 到 $\sqrt{(\frac{X}{2})^2 + (\frac{Y}{2})^2}$ ， $0 \leq x \leq X$ ， $0 \leq y \leq Y$

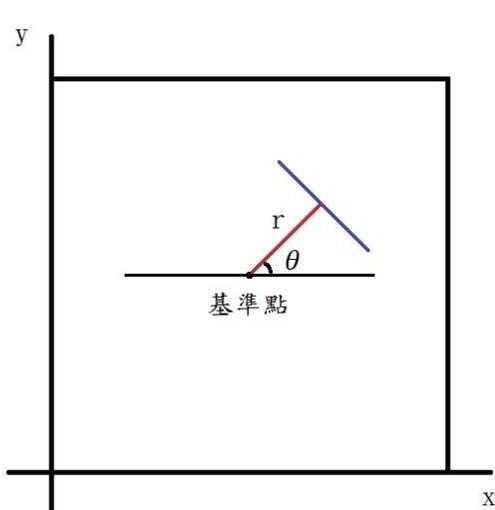


圖 3.12 影像空間

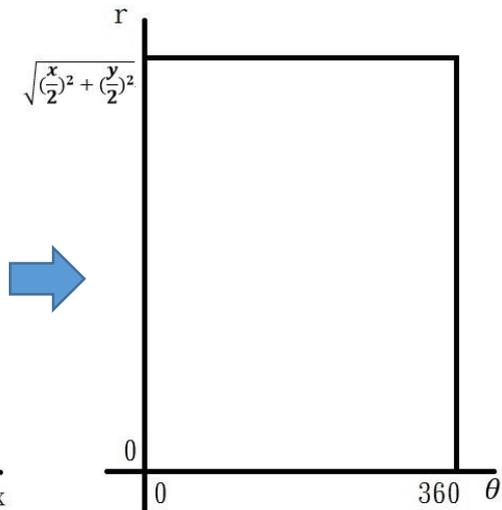


圖 3.13 霍夫空間

霍夫轉換結果如下：

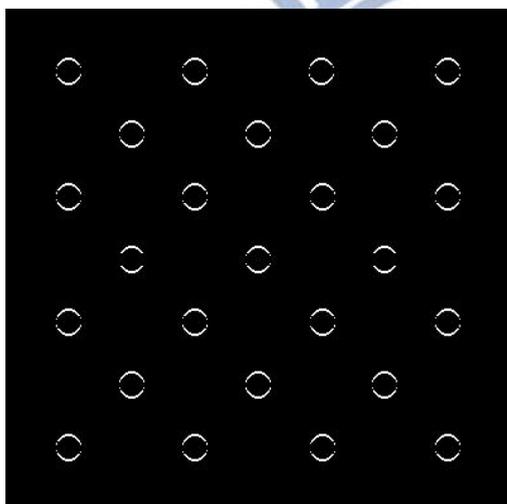


圖 3.14 水平結構

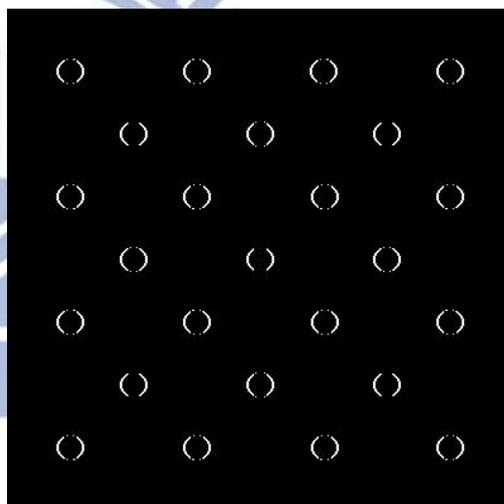


圖 3.15 垂直結構

$\theta = 90^\circ$

$\theta = 270^\circ$

$\theta = 0^\circ$

$\theta = 180^\circ$

$\theta = 360^\circ$

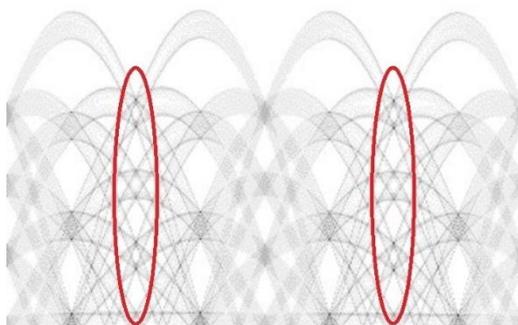


圖 3.16 水平結構的霍夫空間

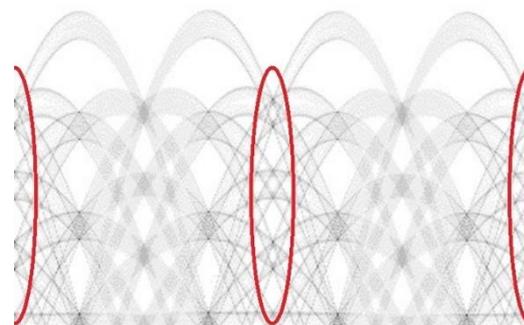


圖 3.17 垂直結構的霍夫空間

3.4 線段選取及整合

一般而言，經過霍夫轉換後都是設定一個閾值來區分出長直線，但如此處理並無法擷取出理想中的目標線段，因此筆者在此節提出一些處理流程，讓處理結果更加趨近於理想情況。

3.4.1 偵測角度限制

圖 3.16 及 3.17 之霍夫空間若不就特定角度篩選，而於全域設定閾值進行篩選，結果發現會有非目標角度之線段亦被偵測出來。(如圖 3.18)

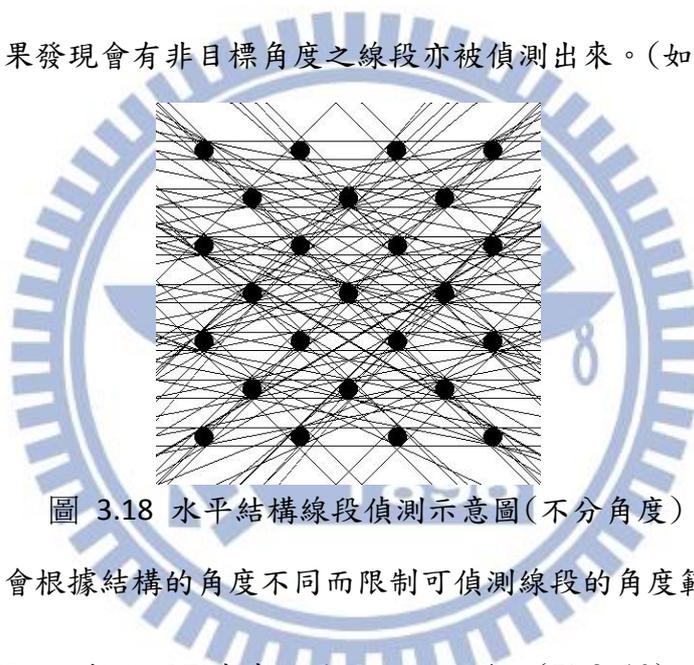


圖 3.18 水平結構線段偵測示意圖(不分角度)

因此我們會根據結構的角度不同而限制可偵測線段的角度範圍，筆者是設定正負 10° ，此數值可因未來之需要而做改變。(圖 3.19)

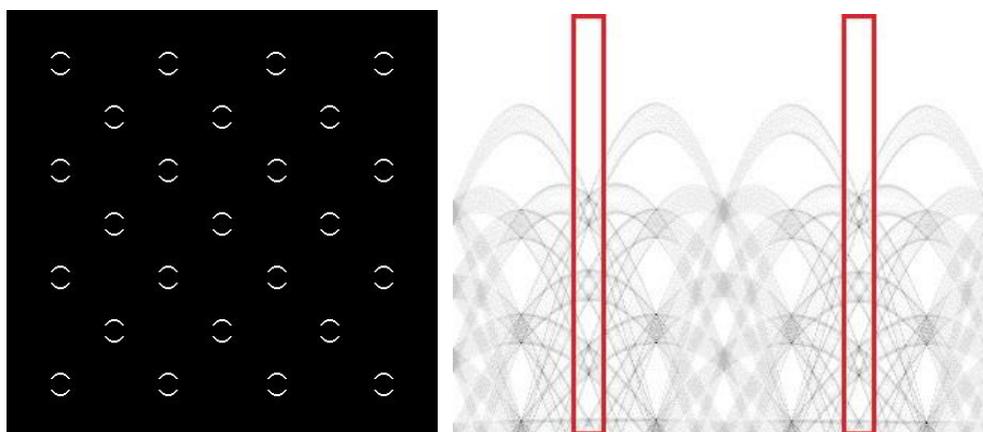


圖 3.19 水平線段角度選擇

3.4.2 局部極大值

因為反應強烈之區域往往都是塊狀反映，並非是我們預想中的規律排列，若只是訂定閾值，則會造成線段密集存在於某些區塊，如此會影響後面的分群處理。(如圖 3.20、3.21、3.22)

10	2																		
9	3	2																	
8	3	4	3																
7	3	3	5	4															
6	2	2	4	5	6														
5																			
4		1	1	2	4	10	5	2	1	1									
3							7	5	3	2									
2								3	4	3									
1										2	4								
											2								

圖 3.20 有較高值之點集中於某區塊

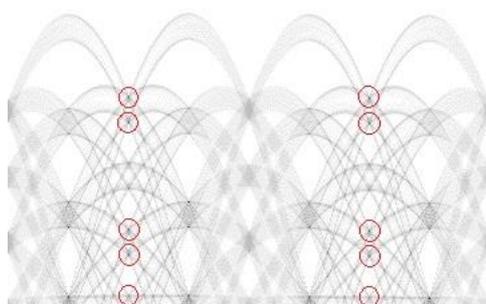


圖 3.21 霍夫空間的塊狀區域

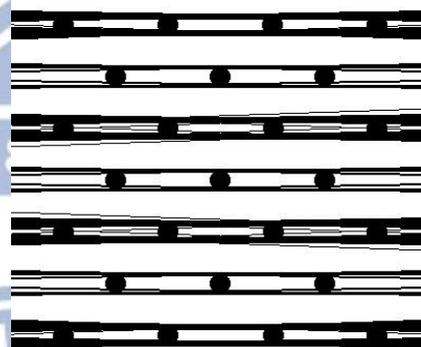


圖 3.22 對應回影像空間

因此筆者藉由一個遮罩來計算局部極大值(圖 3.23)，目前其大小為 $h = 3$ 、 $w = 7$ 的 7×15 矩陣，將遮罩中心點與此遮罩內所有點比較，如果此點之值大於其他所有點之值，並且此點亦大於筆者設定的閾值平均值加一倍之標準差，則代表此點可能是我們要找的目標，便使用一個與霍夫空間相同

大小的局部極大值矩陣 M_{LM} 將目標線段之 (r, θ) 標記(圖 3.24 3.25)，上述

步驟對每個點做相同處理後，即完成本節之處理。

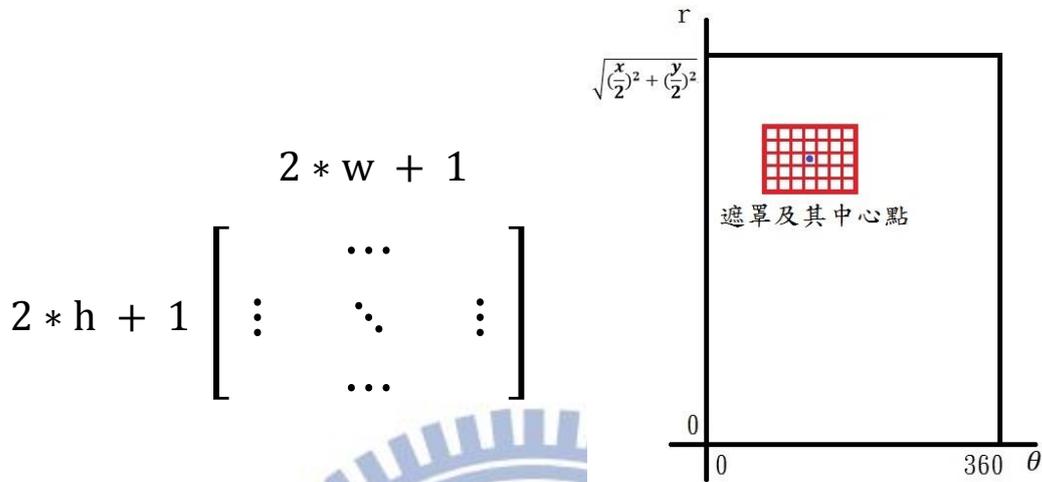


圖 3.23 固定遮罩及其在局部極大值矩陣 M_{LM} 之示意圖

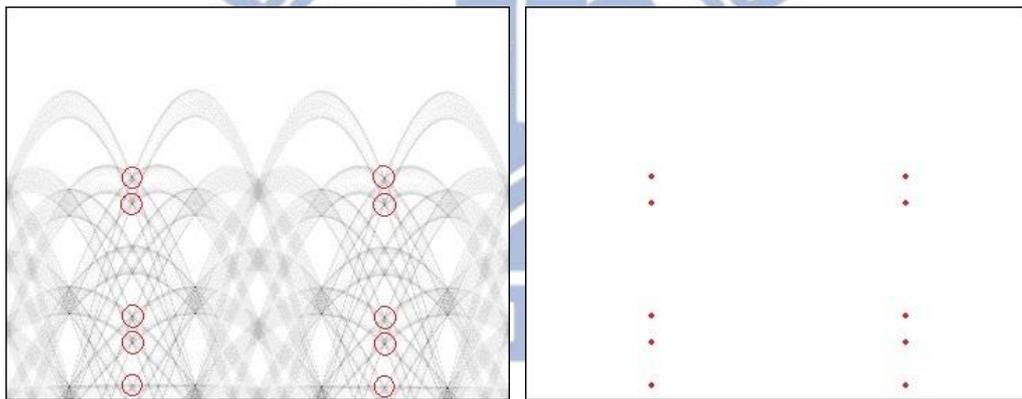


圖 3.24 限制角度局部極大值之點 圖 3.25 標記於局部極大值矩陣 M_{LM}

3.4.3 忽略長線段之誤判

在本節筆者會對所有標記在局部極大值矩陣 M_{LM} 之點 (r, θ) 做評檢，判斷此點對應之線段是否由短線段組合而成。首先將 (r, θ) 轉換回直線後，計算此線上所經過線段的所有點數以及最長線段的點數，接著判斷如果最長線段的點數大於此線所有點數的三分之一，代表這條線可能並非是我們的目標線段，而是因為擁有長線段而被偵測出來，便將其局部極大值矩陣 M_{LM} 中之標記移除。

如圖 3.26，線段總點數為 42，最長線段點數為 30，因為 $30 > 42/3$ ，所以此現被判定為因為擁有長線段而被標記之誤判情況，因此在局部極大值矩陣 M_{LM} 中將此線之標記移除。

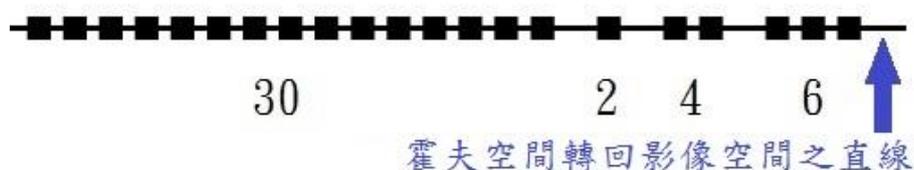


圖 3.26 過長線段範例

3.4.4 單一角度選擇

在本節會計算出最有可能代表排列情況的角度。首先依序讀取限制角度內局部極大值矩陣 M_{LM} ，將相同角度且已被標記之點(圖 3.27)對應到霍夫空間之值(圖 3.28)取出後相加，得到此角度代表點之累加值。接著對限制角度內各個角度分別做相同累記處理，並找出擁有最大累加值的角度，則此角度即有可能是線段排列情況的角度。

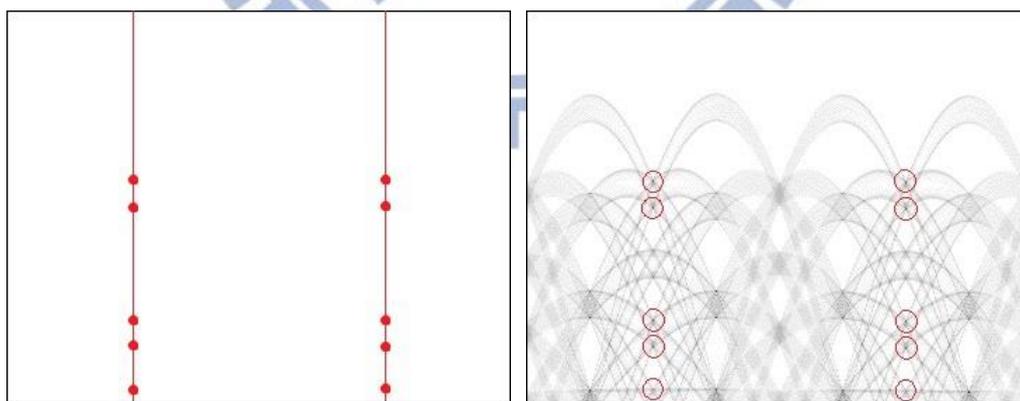


圖 3.27 M_{LM} 中相同角度且已被標記之點 圖 3.28 對應到霍夫空間之值

經由 3.4.1~3.4.4 節之處理後結果如圖 3.29 與 3.30 所示，因為 3.4.3 節之處理，所以只有三個點的線段被判定為非目標線段。

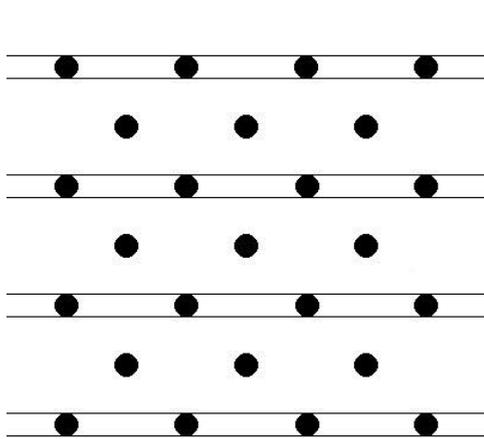


圖 3.29 水平線段偵測結果

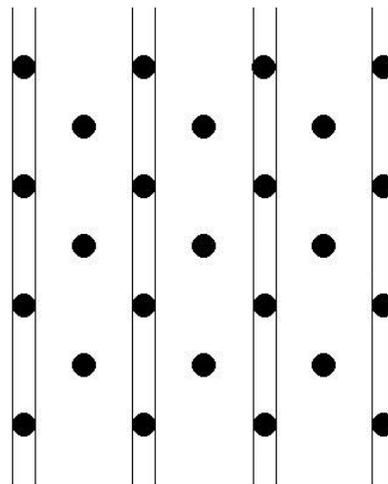


圖 3.30 垂直線段偵測結果

3.4.5 線段分群及整合

首先，筆者定義一個連結串列(linked list)，此連結串列各節點紀錄 r 、 θ 、distance、group、bounded 共五筆參數(圖 3.31)，參數意義會在稍後做說明。將 3.4.4 節找出之角度內的所有被標註之點的 (r, θ) 值依序存入連結串列中，同時計算線段與線段間的距離後一併存入連結串列中，以便後續處理使用。

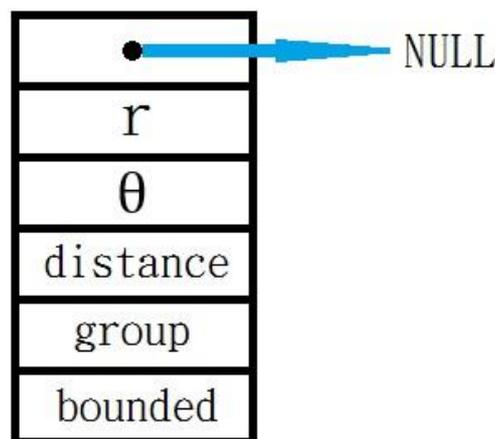


圖 3.31 連結串列

距離計算如圖 3.32 所示，選擇出最有可能為排列情況之角度後，從該角度 θ 之最高點開始逐一檢視至該角度最低點，再從 $\theta + 180^\circ$ 之最低點檢視到

該角度最高點，檢視的時候紀錄點與點之間的r值變化量，此變化量即是記錄在連結串列的各節點中 distance 之值。

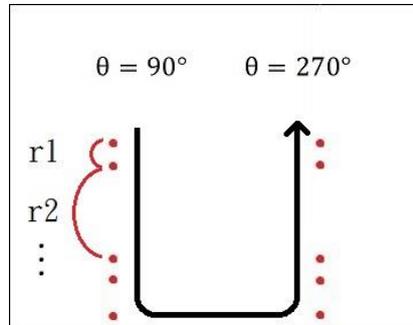


圖 3.32 拜訪順序及距離計算

依據連結串列中點與點之間的距離，計算其平均值與標準差後，以此當閾值進行分群(圖 3.33)，並記錄在連結串列中 group 參數項裡。接著計算各群點數，若某群之點數小於各群點數平均值的二分之一，則此群會被判定點數過少，便不會在最後結果顯現出來(圖 3.34)。最後，點數夠多之群會把上界及下界儲存在連結串列中裡 bounded 並畫出來(圖 3.35)，並且合併水平及垂直之結果，便完成目前之處理流程。

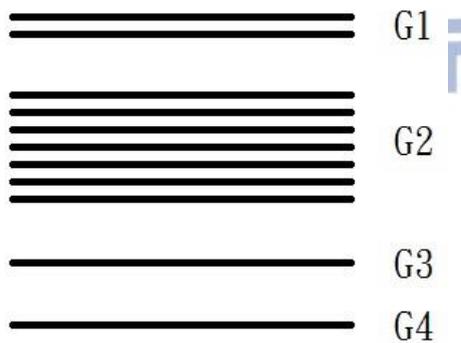


圖 3.33 依距離分群示意圖

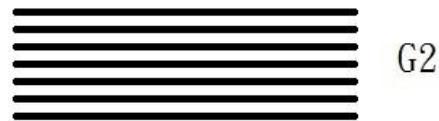


圖 3.34 刪除點數過少之群示意圖



圖 3.35 群之上下界示意圖

圖 3.38 乃對標準影像分群、取上下界、合併之結果：

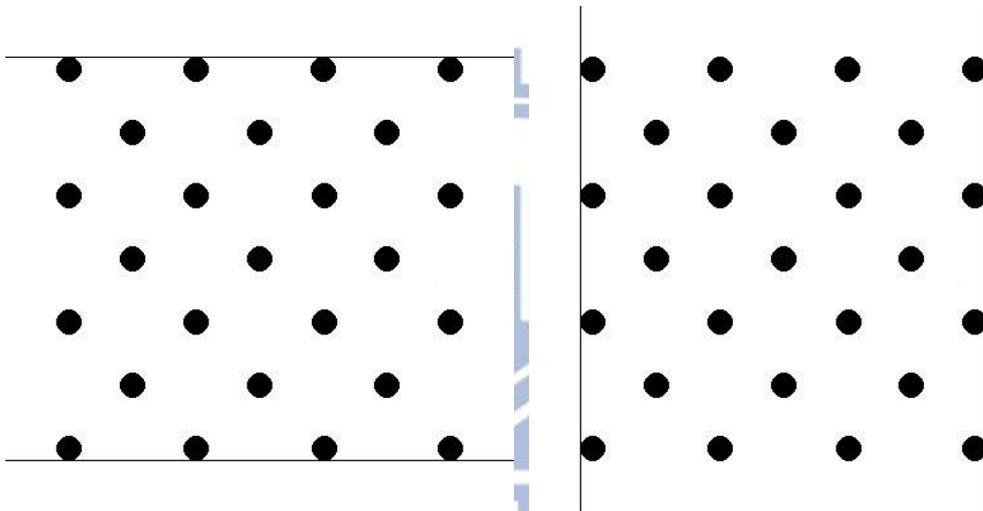


圖 3.36 水平線段分群結果

圖 3.37 垂直線段分群結果

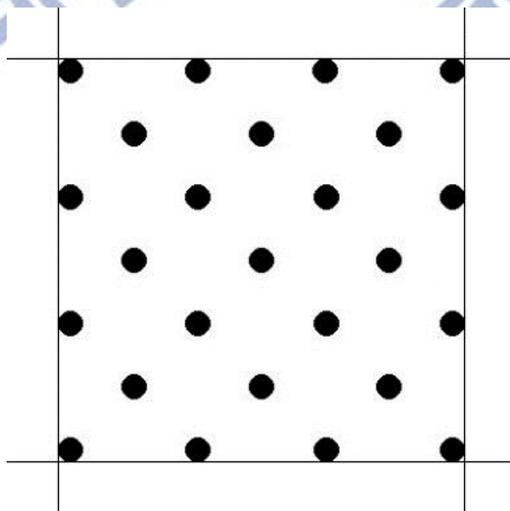


圖 3.38 合併結果圖

實際影像偵測過程及結果圖：



圖 3.39 灰階影像



圖 3.40 水平結構



圖 3.41 垂直結構



圖 3.42 水平線段



圖 3.43 垂直線段



圖 3.44 合併結果

3.5 結構圖之改善

原 3.4.3 節在局部極大值矩陣 M_{LM} 中，就各角度逐一檢視所屬標記點，並移除合於篩濾條件者(在影像空間對應中，含有長線段之直線)(圖 3.45)。此一標記點刪除處理係於各角度獨立進行，並未考慮分屬不同角度的兩個標記點在影像空間之關聯(圖 3.47)。

圖 3.45 之紅框為被濾除的長線段直線。圖 3.46 之藍框為無長線段之直線，但其結構未經濾除造成後續分群困擾。圖 3.47 為霍夫空間之情況，可以看出紅框區域內因為是長線段，故其局部極大值標記被移除，而藍框區域並非是長線段，因此會通過篩選。

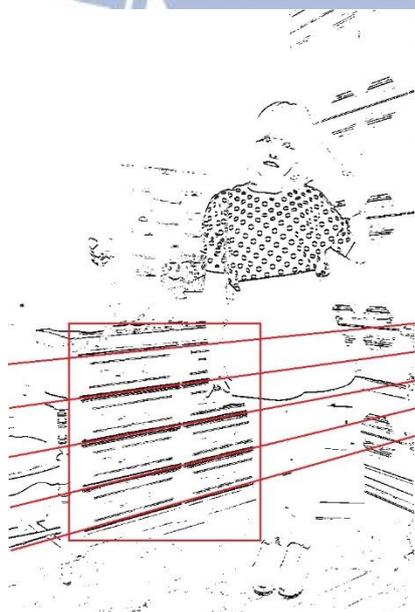
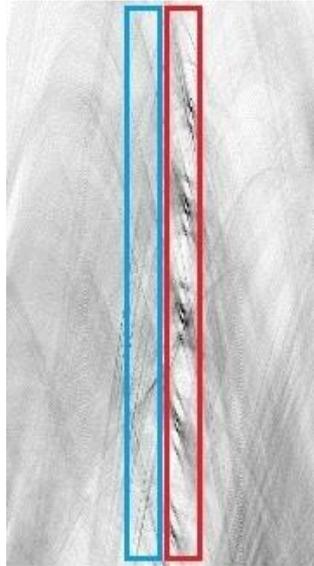


圖 3.45 長線段之直線



圖 3.46 不同角度之影響



270° ± 10°

圖 3.47 紅框(圖 3.45) 藍框(圖 3.46)

3.5.1 線段結構的判定

觀察許多真實影像的水平結構及垂直結構後，筆者發現影像中的看似為直線段並不與想像中的直線段一樣完美(以下稱偽直線段)，所以筆者使用兩種方法加以處理。

- (1) 影像中的直線經由邊緣偵測後，其偵測之結果可能並非是純直線，而有可能是扭曲歪斜之情況(圖 3.48)。



圖 3.48 扭曲線段圖

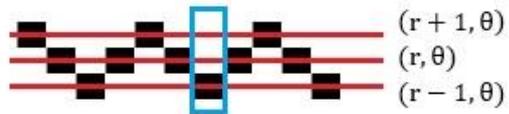


圖 3.49 三組 (r, θ)

因此筆者會檢視此線段兩測之分布情況，將直線從霍夫空間轉回影像空間時，同時轉換該點與該點距離最近的兩條線 $(r-1, \theta)$ 、 (r, θ) 、 $(r+1, \theta)$ ，總共三組 (r, θ) ，轉換成三條直線方程式後(圖 3.49 三條紅線)，

並依序將 x 值代入後依序求得三組座標 (x, y_1) 、 (x, y_2) 、 (x, y_3) ，再判斷結構圖中這三組座標對應之點是否有其一有值(圖 3.49 藍色框框)，否則代表 (r, θ) 轉成之直線方程式對應的座標 (x, y_2) 並無點存在。

(2) 影像中的直線經由邊緣偵測後，其直線可能並非完全連續，只是因為影像解析度問題造成看似偽短線段之情況(圖 3.50)。因此筆者在計算線段長度時忽略這種小型的斷裂情況。



圖 3.50 不連續線段

如圖 3.51 所示，忽略長度為 1 之斷裂後可分成兩條長度為 9 及 7 的線段。

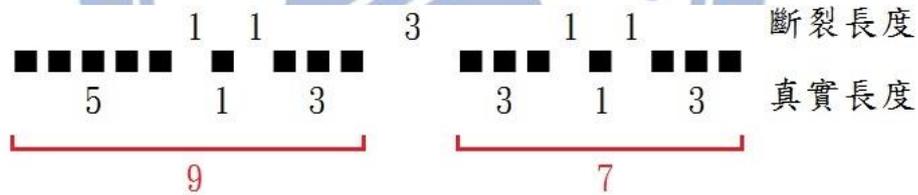


圖 3.51 忽略小斷裂之範例

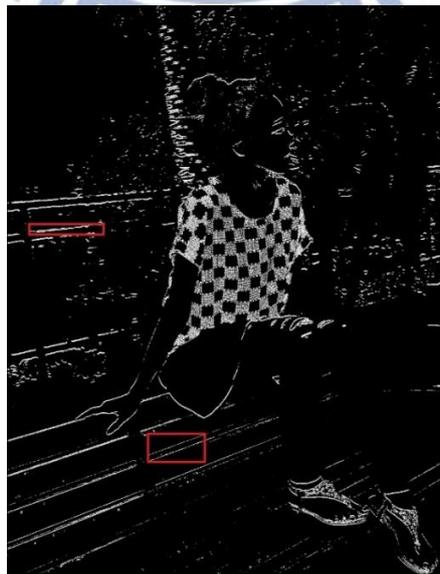


圖 3.52 左上紅框(圖 3.45) 下方紅框(圖 3.47)

3.5.2 長線段結構的移除

在進行本節的處理之前，須先整合前幾章節之方法來偵測線段。首先，經由邊緣偵測得到結構後，利用閾值及 3.4.2 節提出的固定遮罩(圖 3.23)在霍夫空間中找出局部極大值並存入局部極大值矩陣 M_{LM} ，再配合 3.5.1 節的處理方式(如圖 3.53)，對局部極大值矩陣 M_{LM} 中已被標記之點的 (r, θ) 所對應之線段進行點數計算，記錄每一條線上所有點數以及最長線段的點數。

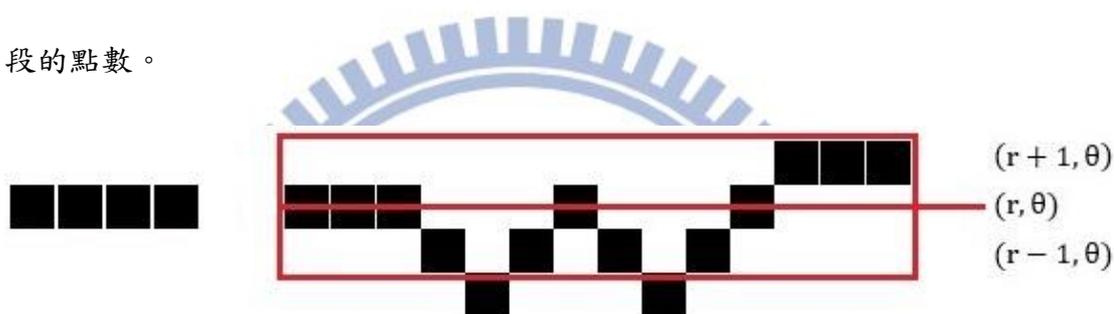


圖 3.53 線段判定(三列偵測)

如果最長線段的點數大於所有點數的三分之一(圖 3.26)，就進行刪除線段的程序。經測試後，刪除線段之施行範圍以此線兩側各兩格為最佳，意即會轉換五組 $(r-2, \theta) \sim (r+2, \theta)$ 成五條直線方程式進行刪除。(圖 3.54)

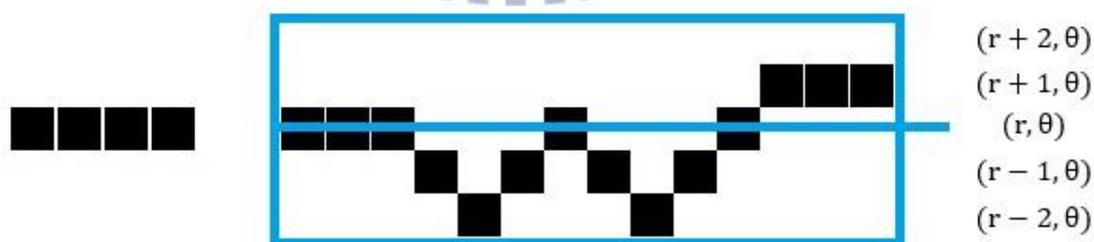


圖 3.54 刪除範圍(五列刪除)

因為是刪除最長線段的點數大於有效點數的三分之一的線段，所以重複上述的步驟三次後即會達到筆者所希望之效果。如此即可將水平結構與垂直結構中的長線段移除。



圖 3.55 原圖



圖 3.56 刪除一次之結果



圖 3.57 刪除二次之結果



圖 3.58 刪除三次之結果



圖 3.59 原圖



圖 3.60 刪除一次之結果

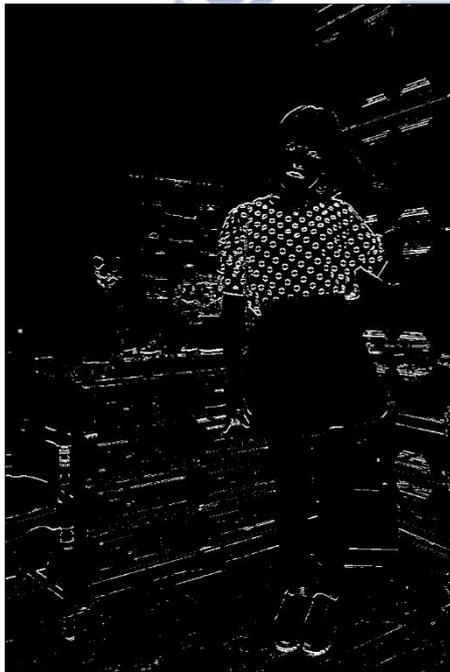


圖 3.61 刪除二次之結果



圖 3.62 刪除三次之結果

3.5.3 合併兩種結構

經過 3.5.2 節之處理後得到了較為乾淨的水平結構及垂直結構，但為得到更為理想之結構圖，筆者觀察圓的兩種結構，發現這兩種結構圖在目標區塊往往彼此相鄰，甚至有重疊之情況(圖 3.65)，因此採用兩種不同的合併方法做為比較。

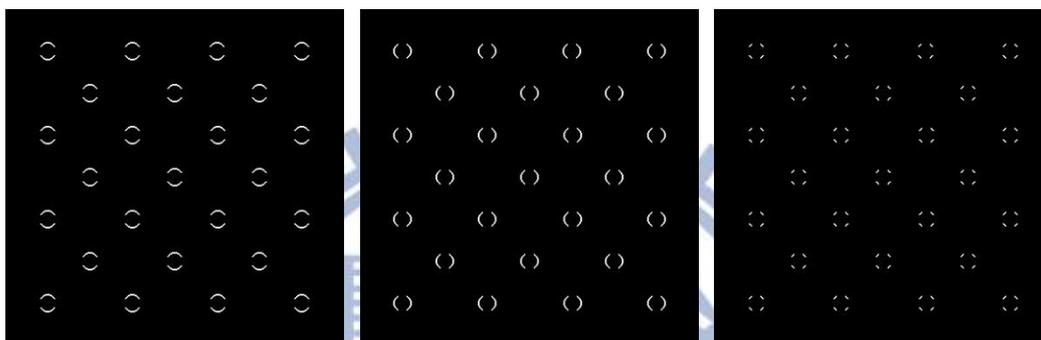


圖 3.63 水平結構

圖 3.64 垂直結構

圖 3.65 交集

- (1)將水平結構與垂直結構做交集之處理。儘管這個方法相當直觀，但由於目標區域是圓形排列，所以這個方法的成效並不差。
- (2)使用一個長寬約為原結構圖五十分之一大小之遮罩，同時掃描水平與垂直兩結構圖，計算遮罩內兩圖之累加值。掃描時將兩結構圖在遮罩內的分布分成：兩種結構均無、僅存在一種結構及兩種結構均存在這三種情況，分別給予權重值 0、1、8，將遮罩內所有點配予權重值後相加代表此點之值。再利用各點之平均值加一倍標準差當作閾值，將圖轉成二值化影像。

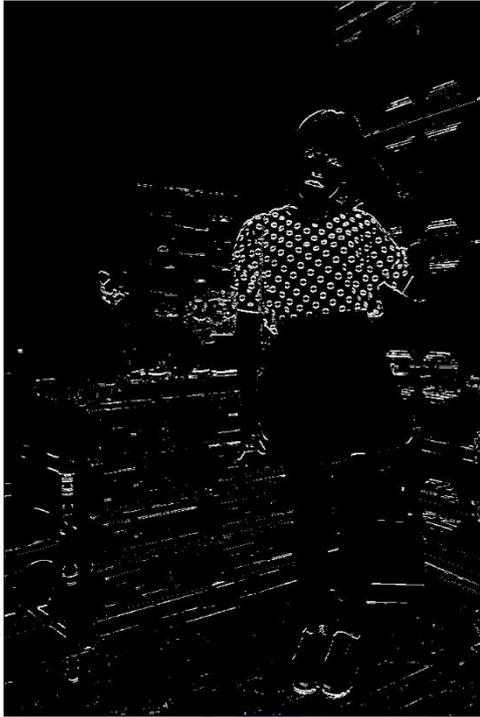


圖 3.66 刪除長線段後之水平結構



圖 3.67 刪除長線段後之垂直結構



圖 3.68 交集合併結果

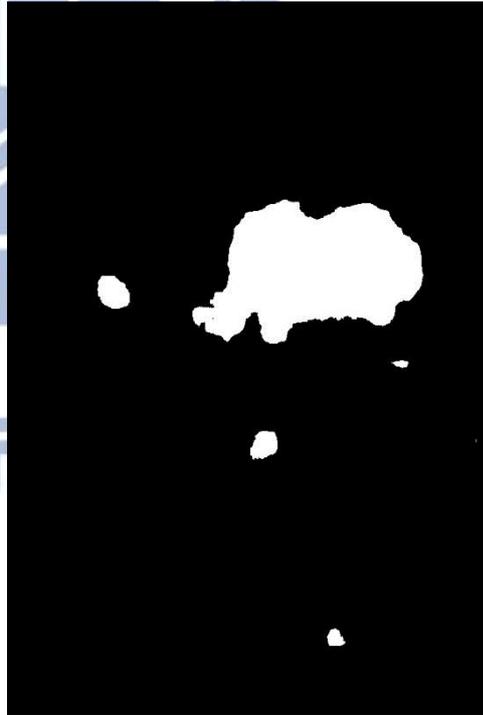


圖 3.69 配予權重合併之結果

3.6 改善後之實驗結果

在 3.5 節得到了較為乾淨之結構圖，再對此結構圖分別執行霍夫轉換與水平線段偵測及垂直線段偵測，也就是 3.3 節與 3.4 節的流程後，即可得到改善後之實驗結果，流程圖如圖 3.2 所示。

但在搜尋局部極大值時，固定遮罩(圖 3.23)會根據 3.5.3 節合併之方法不同而不同。第一種方法因較不需要考慮角度產生之問題，故採用 $h=1$ 的 3×1 之遮罩。第二種方法因為彼此間幾乎都是相連，故使用 $h = 1$ 、 $w = 1$ 的 3×3 一般正方形之遮罩。

合併方式一之遮罩：

合併方式二之遮罩：

$$\begin{array}{c}
 1 \qquad \qquad \qquad 2 * w + 1 \\
 2 * h + 1 \left[\begin{array}{c} \vdots \end{array} \right] \qquad 2 * h + 1 \left[\begin{array}{ccc} \dots & & \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \dots & & \dots \end{array} \right]
 \end{array}$$

圖 3.70 兩種遮罩

最後結果圖如下：



圖 3.71 水平線段



圖 3.72 垂直線段



圖 3.73 水平線段取上下界



圖 3.74 垂直線段取上下界



圖 3.75 最後合併之結果



chap4 實驗結果

4.1 簡介

實驗結果大致分成兩個章節，偵測規律排列之圓形以及規律排列之非圓形，詳細內容如下：

(1) 規律排列之圓形其特性為

- 小點、彼此之間距離遠
- 小點、彼此之間距離近
- 大點

(2) 規律排列之非圓形

- 碎花
- 格紋
- 建築物



本實驗之結果圖均會附上五種圖，如下：

- 原圖
- 水平與垂直線段結構交集之結果圖
- 上述方法之結果圖
- 水平與垂直線段結構配予權重值之結構圖
- 上述方法之結果圖

4.2 規律排列之圓形

4.2.1 相距較遠之小圓



原圖



交集之結構圖

結果圖



配予權重值之結構圖

結果圖

圖 4.1 相距較遠之小圓(1)





原圖



交集之結構圖

結果圖



配予權重值之結構圖

結果圖

圖 4.2 相距較遠之小圓(2)



原圖



交集之結構圖



結果圖



配予權重值之結構圖

結果圖

圖 4.3 相距較遠之小圓(3)





原圖



交集之結構圖

結果圖

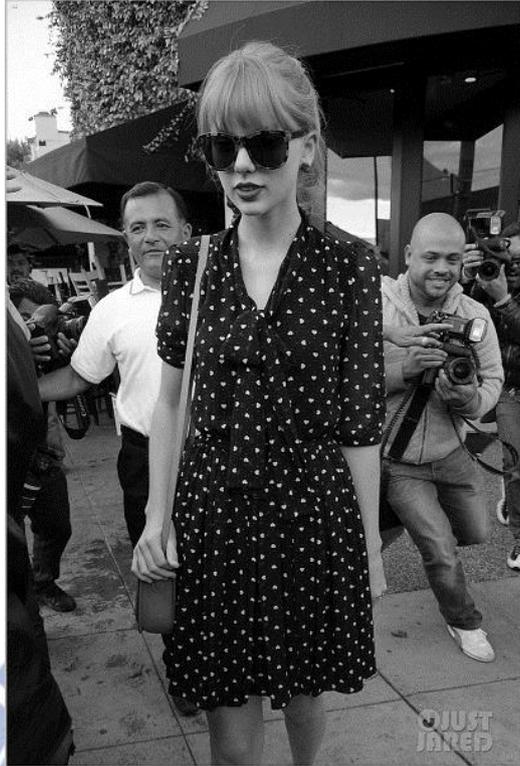


配予權重值之結構圖

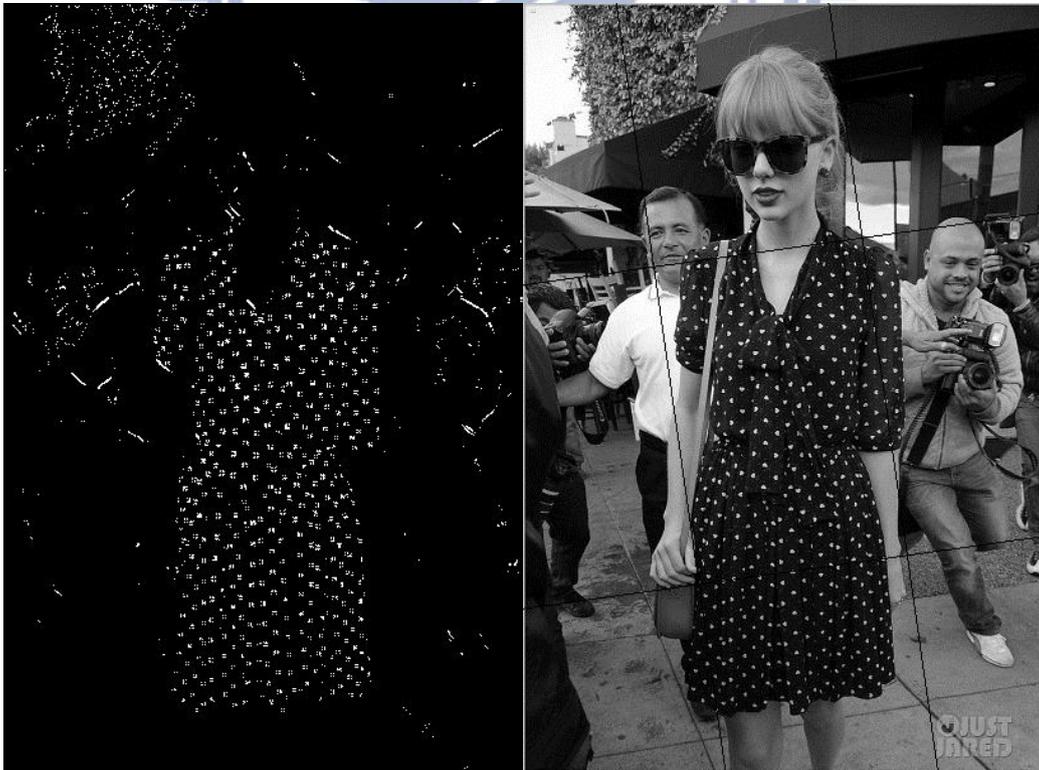
結果圖

圖 4.4 相距較遠之小圓(4)





原圖



交集之結構圖

結果圖



配予權重值之結構圖

結果圖

圖 4.5 相距較遠之小圓(5)

由圖 4.5 可觀察出，在圓點過小時，較易受非目標區域之結構干擾，如左上之樹葉的不規則散亂情況，以及後方人物有無法刪除的短線段結構，這些結構均會影響目標區域的判定。



原圖



交集之結構圖

結果圖



配予權重值之結構圖

結果圖

圖 4.6 相距較遠之小圓(6)



4.2.2 相距較近之小圓

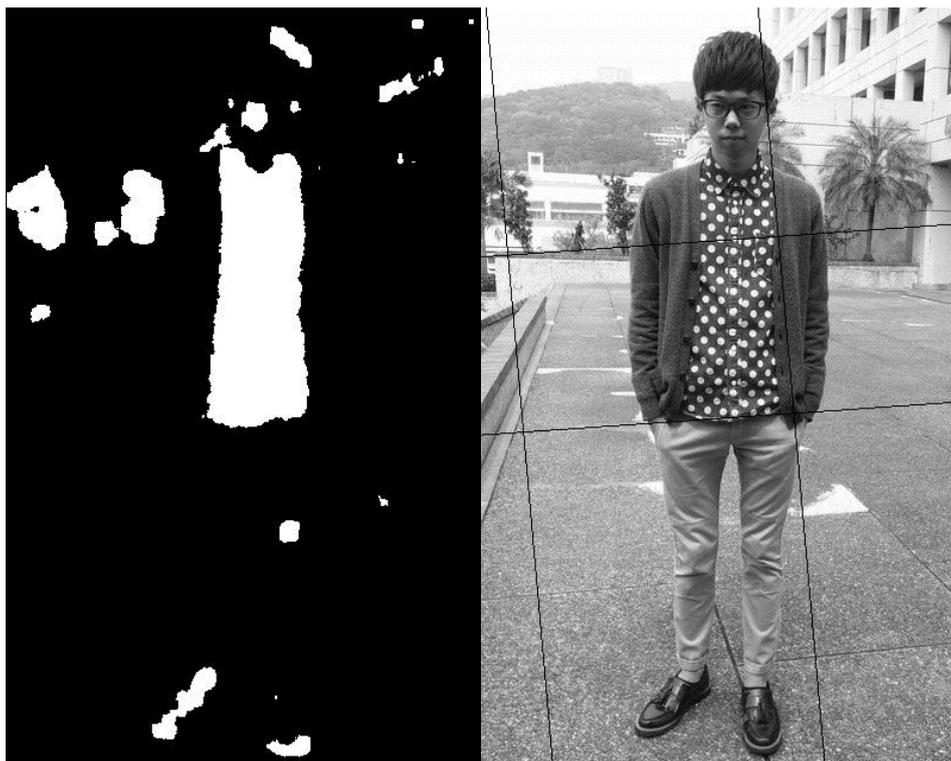


原圖



交集之結構圖

結果圖

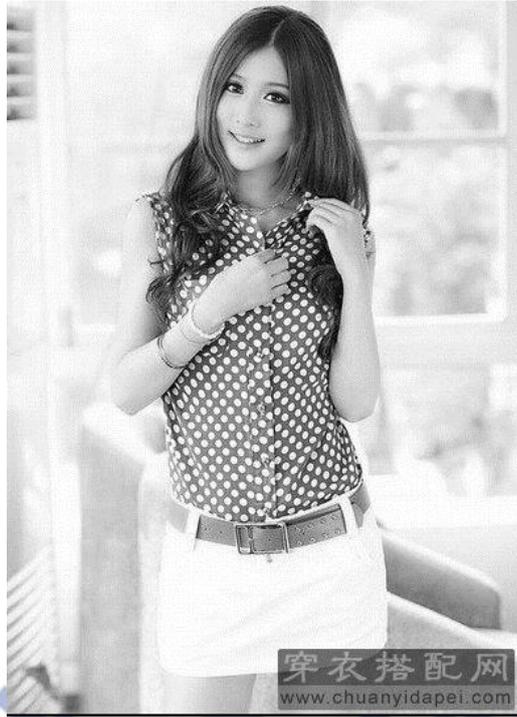


配予權重值之結構圖

結果圖

圖 4.7 相距較近之小圓(1)





原圖



交集之結構圖

結果圖



配予權重值之結構圖

結果圖

圖 4.8 相距較近之小圓(2)





原圖



交集之結構圖

結果圖



配予權重值之結構圖

結果圖

圖 4.9 相距較近之小圓(3)





交集之結構圖

結果圖



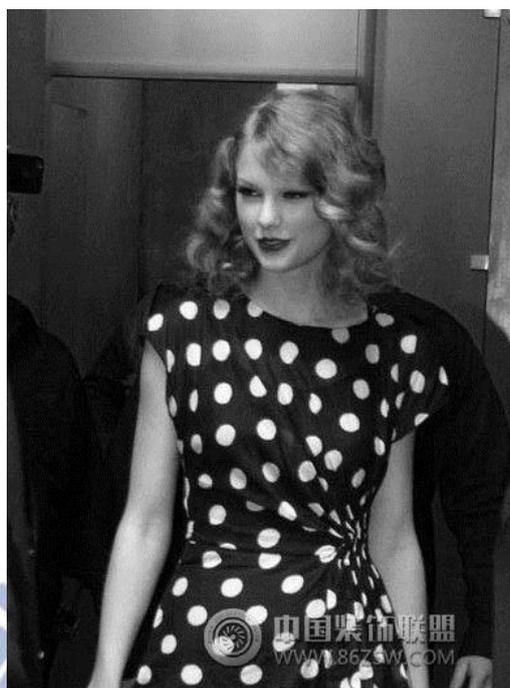
配予權重值之結構圖

結果圖

圖 4.10 相距較近之小圓(4)



4.2.3 大圓

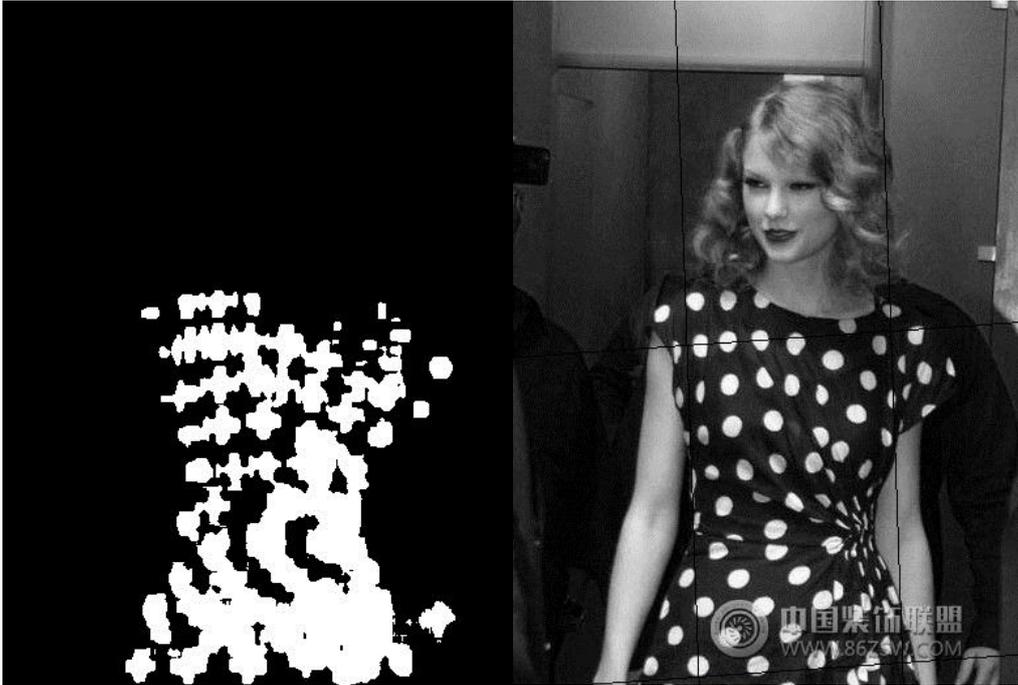


原圖



交集之結構圖

結果圖



配予權重值之結構圖

結果圖

圖 4.11 大圓(1)





原圖



交集之結構圖

結果圖



配予權重值之結構圖

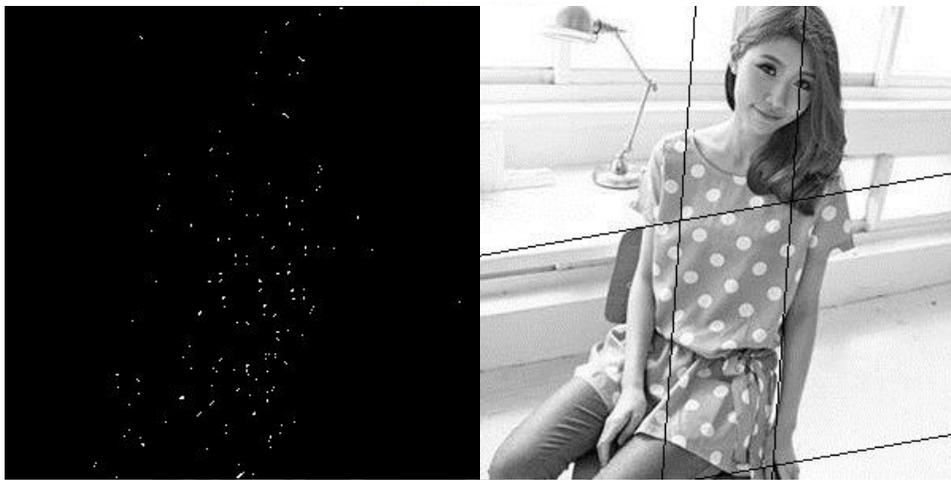
結果圖

圖 4.12 大圓(2)



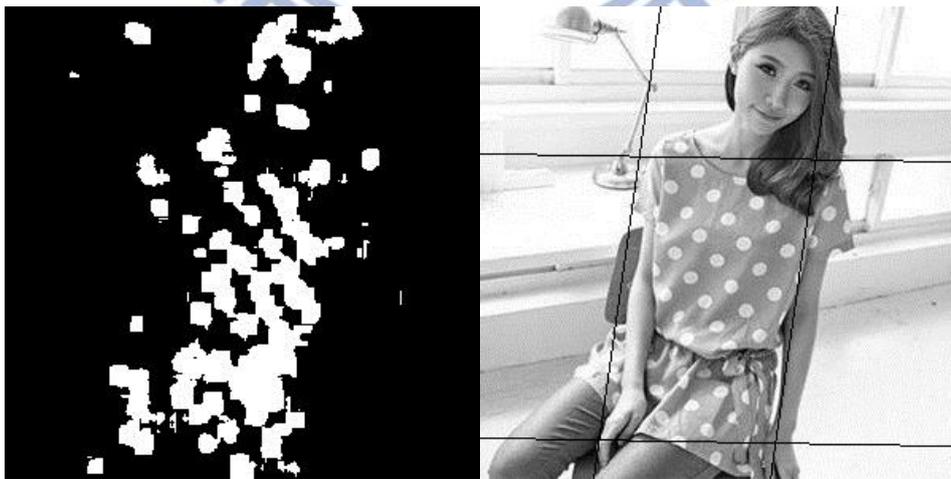


原圖



交集之結構圖

結果圖



配予權重值之結構圖

結果圖

圖 4.13 大圓(3)

圖 4.13 為對比較低之圖例，可以發現因為對比較低之關係，其交集之結果僅剩零星點數。由此可看出本研究對於目標區塊對比度相對低之情況處理較不佳。



圖 4.14 水平結構



圖 4.15 刪除長線的水平結構



圖 4.16 中對比之水平結構

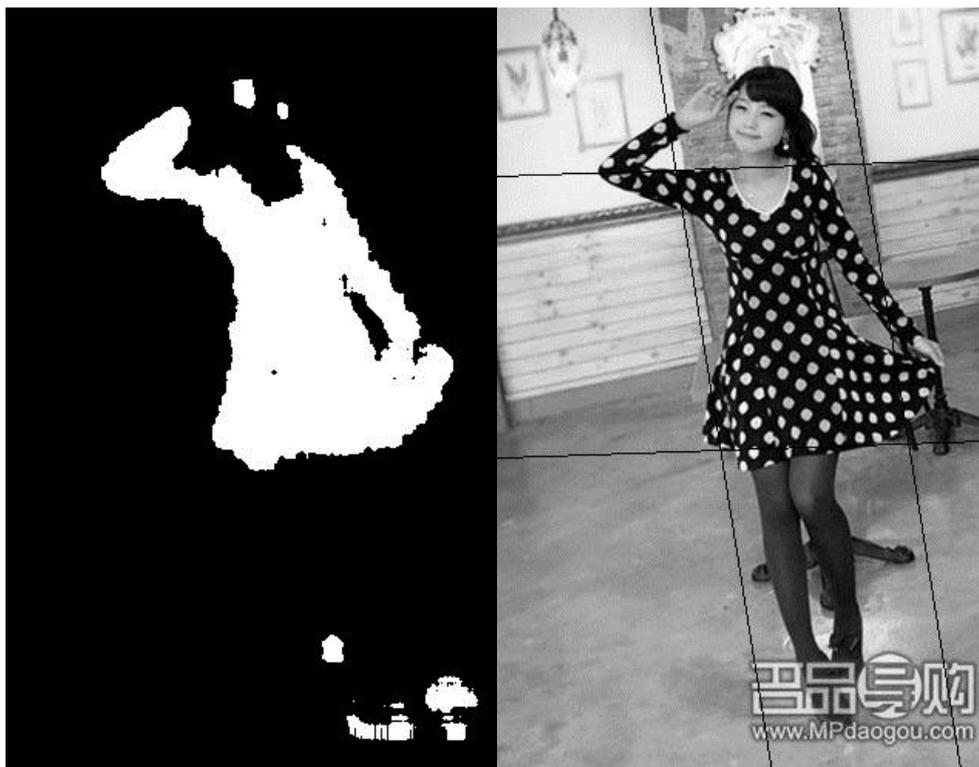


原圖



交集之結構圖

結果圖



配予權重值之結構圖 結果圖

圖 4.17 大圓(4)





原圖



交集之結構圖

結果圖



配予權重值之結構圖

結果圖

圖 4.18 大圓(5)

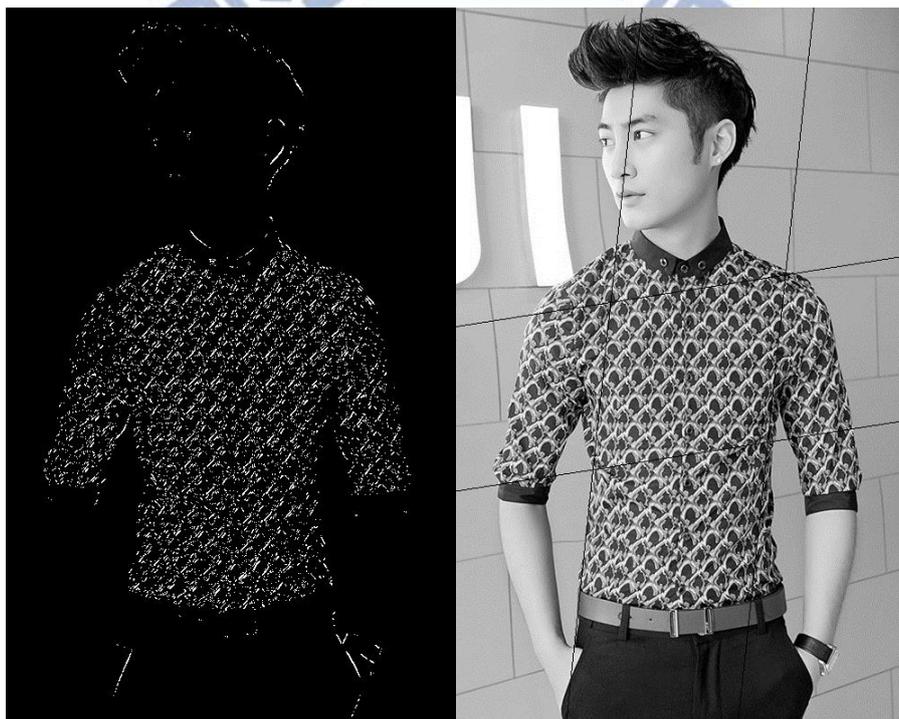
由於衣服上圓點反光，而造成反光之圓點對比度較低，因此在抓取輪廓的時候，右邊反光區塊的輪廓抓取並不理想。

4.3 規律排列之非圓形

4.3.1 碎花



原圖 396



交集之結構圖

結果圖



配予權重值之結構圖

結果圖

圖 4.19 碎花(1)





原圖



交集之結構圖

結果圖



配予權重值之結構圖

結果圖

圖 4.20 碎花(2)





原圖



交集之結構圖

結果圖



配予權重值之結構圖

結果圖

圖 4.21 碎花(3)

由圖 4.21 可以看出，人物的服飾以及手提包包是兩塊由短線段構成的區塊，在經由霍夫轉換偵測垂直線段時，這兩塊區域均會被偵測出來，以致於後續分群處理時擴大了上下界的範圍判定。

4.3.2 格紋



原圖



交集之結構圖

結果圖

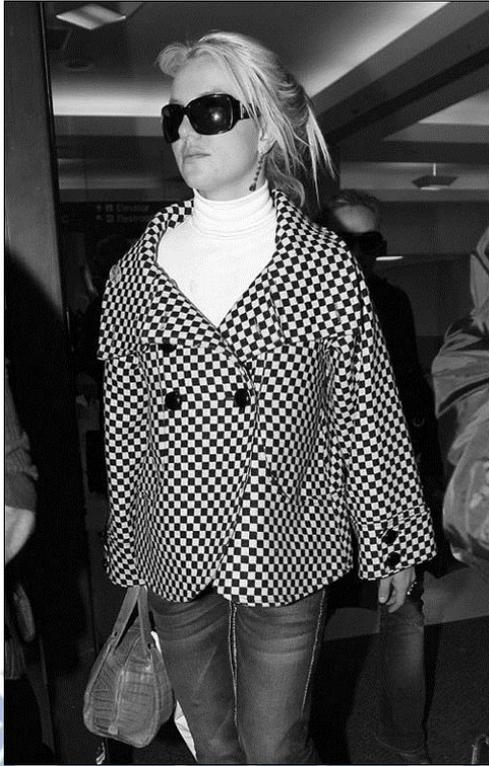


配予權重值之結構圖

結果圖

圖 4.22 格紋(1)





原圖



交集之結構圖

結果圖



配予權重值之結構圖 結果圖

圖 4.23 格紋(2)

3.5 節之處理會移除間隔只有 1 之小型斷裂現象的長線段，如圖 4.25 所示，下方之格紋經由 3.5 節的處理被移除，加上交集處理並無法有效的合併水平及垂直這兩種結構，導致後續分群時的判定結果不佳。



圖 4.24 水平結構



圖 4.25 刪除長線段的水平結構





原圖



交集之結構圖

結果圖



配予權重值之結構圖

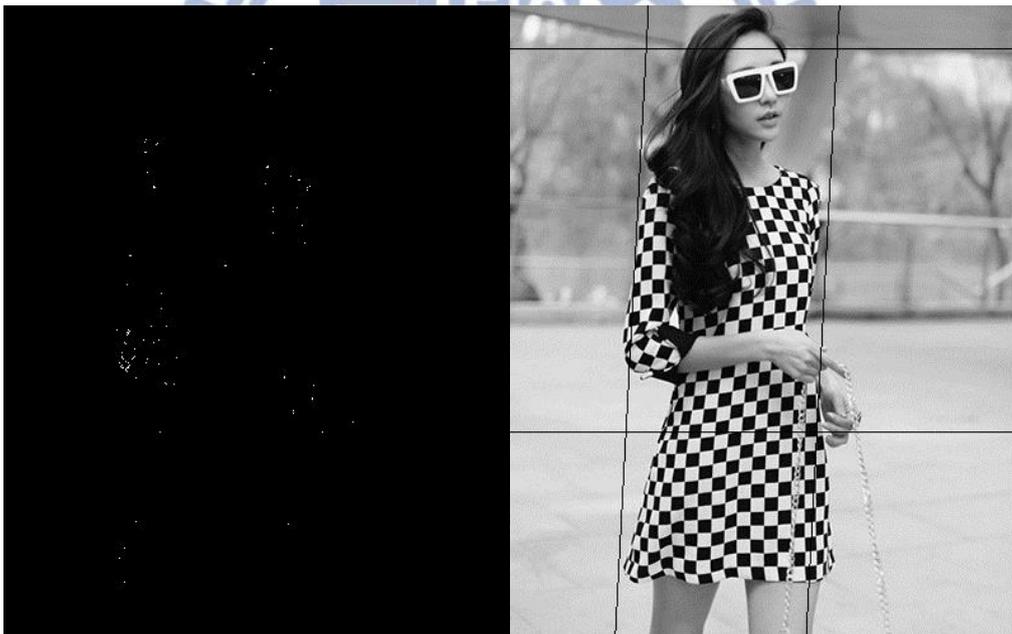
結果圖

圖 4.26 格紋(3)





原圖



交集之結構圖

結果圖



配予權重值之結構圖

結果圖

圖 4.27 格紋(4)

此圖與圖 4.23 之情況雷同，而且在結構處理時的情況更糟。如圖 4.28 及圖 4.29 所示，透過 3.5 節的處理將線段部分去除了，再經由交集合併處理後，幾乎看不出其結構(圖 4.27 交集之結構圖)。

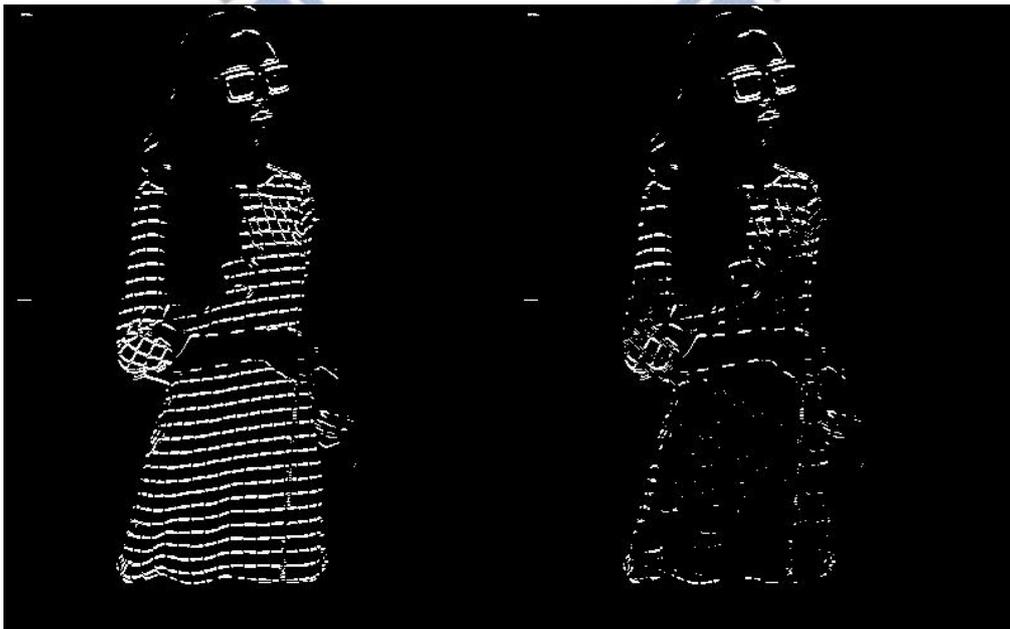


圖 4.28 水平結構

圖 4.29 刪除長線段的水平結構

4.3.3 建築物



原圖



交集之結構圖

結果圖



配予權重值之結構圖

結果圖

圖 4.30 建築物(1)



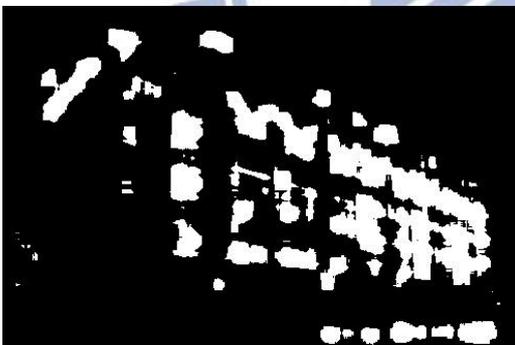
原圖



交集之結構圖



結果圖



配予權重值之結構圖

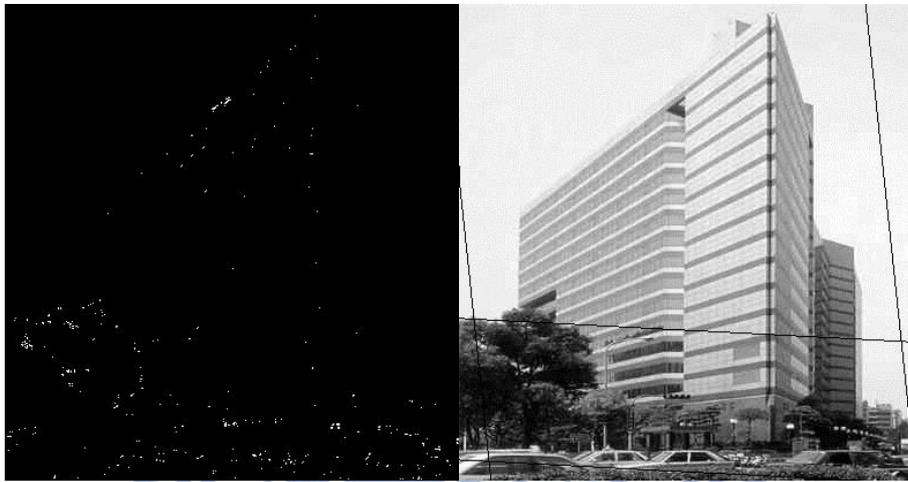


結果圖

圖 4.31 建築物(2)



原圖



交集之結構圖

結果圖



配予權重值之結構圖

結果圖

圖 4.32 建築物(3)

圖 4.32，目標為對比較低之重複性長線段，是本論文目前未予處理的一種情形。在結構偵測時可以分成高對比及中對比兩種結構，再配合長線段偵測保留工具，也許對於這類圖例就會有較好的偵測結果。

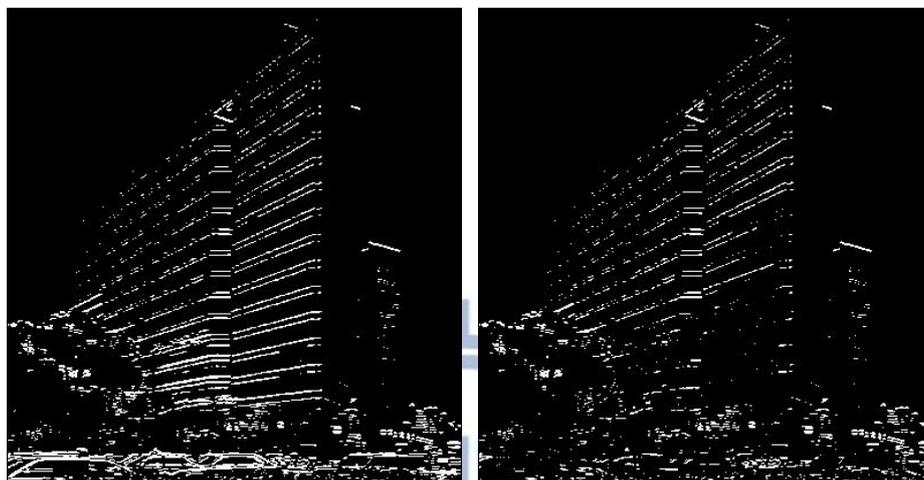


圖 4.33 水平結構

圖 4.34 刪除長線的水平結構



圖 4.35 中對比之水平結構



原圖



交集之結構圖

結果圖



配予權重值之結構圖

結果圖

圖 4.36 建築物(4)

圖 4.36 建築物目標區為對比度較高之長線段，在此僅呈現水平結構及只偵測長線段的結果。

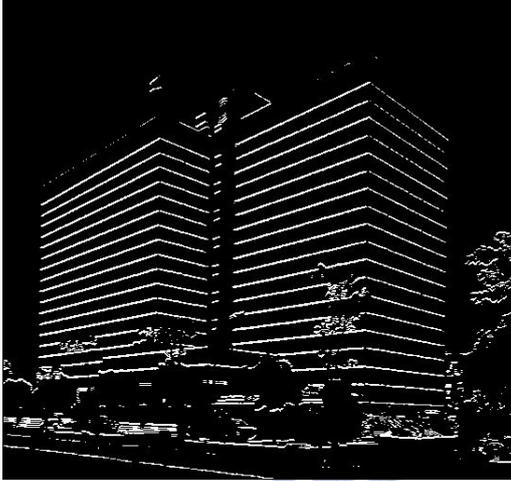


圖 4.37 水平結構



圖 4.38 僅偵測長線段之結果



chap5 結論

本論文提出了以霍夫轉換偵測規則排列圓形之邊緣的流程，並且嘗試引用在非圓形之圖像中，觀察期結果後發現幾個不如預期的地方：

- 非規則排列之散亂區域(圖 4.5)

儘管將含長線段之非目標區域加以剔除，但非規則散亂之區域仍會影響本論文之結果。筆者觀察後認為，若放寬 3.4.5 節的框選標準，再將框選出之區塊提出處理，對於此類造成之結果可以達到一定的抑制效果。

- 兩個以上的區塊會彼此影響(圖 4.21)

因為霍夫轉換無法辨認線段出現之區塊，因此多個目標區塊互相影響後會導致框選區域過大或過小。筆者認為此種情況之處理方式與非規則排列之散亂區域的處理方式雷同。

- 過於密集的圖像會被判定成長線而刪除(圖 4.23 4.27)

因為實驗系統會忽略只有一格的小斷裂，因此若圖像過於密集可能會被判定彼此相連，進而被刪除。筆者認為可以配合長線段之偵測來判定此類區塊。

未來之研究方向會朝偵測任何規則排列之圖形發展，因此筆者提出幾個可當作研究起點的主要目標：

- 對比低之短線段 (圖 4.12 4.13)

- 對比高之長線段(圖 4.36)
- 對比低之長線段(圖 4.32)



文獻參考

- [1] DUDA, Richard O.; HART, Peter E. Use of the Hough transformation to detect lines and curves in pictures. *Communications of the ACM*, 1972, 15.1: 11-15.
- [2] CHIU, Shih-Hsuan; LIAW, Jiun-Jian. A proposed circle/circular arc detection method using the modified randomized Hough transform. *Journal of the Chinese Institute of Engineers*, 2006, 29.3: 533-538.
- [3] DOUBEK, Petr, et al. Image matching and retrieval by repetitive patterns. In: *Pattern Recognition (ICPR), 2010 20th International Conference on*. IEEE, 2010. p. 3195-3198.
- [4] SOBEL, Irwin; FELDMAN, Gary. A 3x3 isotropic gradient operator for image processing. *a talk at the Stanford Artificial Project in*, 1968, 271-272.
- [5] 陳慶瀚, "Ch8 Hough Transform", from I-Shou University, Web site: <http://www2.nkfust.edu.tw/~wenh/2008/multimedia/slides/Hough.pdf>
- [6] 邱承縉、林正中, "都會區建築物偵測", 碩士論文, 2013.
- [7] 陳至名、林正中, "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", 碩士論文, 2014.

[8] 薛智仁、林正中, "視覺對稱區域之梯度分佈結構", 碩士論文, 2012.

[9] 何明鴻、林正中, "透過梯度資訊偵測影像主體之對稱性", 碩士論文, 2011.

