

地籍圖之線條重建

林佑錚 方瓊瑤 林水成 陳世旺

國立臺灣師範大學資訊教育所

目前地政單位之地籍圖大多繪於紙上，在經過長時間供人查閱使用以來，資料都漸漸有了折痕與污損，使得圖形清晰度與圖形品質越來越差。而且，這種紙上資料在其維護與更新上都有相當的難度。本研究嘗試將紙上地籍圖資料以量化的方式存入電腦。如此將可享受電腦的快速處理與大量的儲存空間等優點，然而將類比資料轉換成數位資訊必然會造成資料的損失，如何在地籍圖數位化過程中盡量保留資料的完整，為此研究的主要目的。

關鍵詞：地籍圖、影像處理、模糊集合理論、模糊量測、線段重建

簡介

目前世界各國正積極推展國家資訊通信基本建設 (National Information Infrastructure, NII)，希望藉日益精進的電腦與通訊技術，將龐大的國家建設資料庫轉換成數位資訊，達到大量的資料處理、儲存、傳送的功能。預期 NII 計畫將可為各國帶來如下的效益：

- 建設成資訊化國家。用四通八達的資訊高速網路連通家庭、辦公室、工廠與學校，並發展各式各樣的網路應用系統，使工作、生活與學習都能更便利。
- 開發新技術，支援新一代資訊通信產業發展。全力開發多媒體與通信技術，開創新一代的資訊與通信產品，進一步拓展資訊及通信產業的發展。
- 提升國人的生活福祉。積極發展網路應用系統，使政府對民衆的服務都能更方便迅捷，休閒娛樂、醫療服務、交通運輸的品質都能大幅提升。
- 創造良好的人文社會環境。促使國內文化相關資訊的流通與知識的傳播更為迅速便捷，有效提升國人的人文素養，提升社會發展的層次。

國內對 NII 的發展至少可以包括：地政、戶政、稅務、保險、金融、教育等資料庫的整合使用，每一領域的資料庫建立均為龐大的工作。本研究著重於地政方面有關國土資訊系統的建立，其中包括自然環境基本資料庫、自然資源與生態資料庫、社會經濟資料庫、區域與都市計畫資料庫、公共管線資料庫、基本地形圖資料庫、土地基本資料庫等。而本文將只著重在地籍圖資料的重建。目前舊有地籍圖的資料幾乎全為紙上資料，此紙上資料若以掃描方式直接存入電腦中，而不加以區分圖中的線段部份、文字部份、以及空白部份的資訊，則電腦將不易對此圖做一些自動化的處理工作，例如：計算土地面積、尋找相鄰區域、修改圖中的線段或文字資料等等其他應用。另外，這種直接存入電腦的方式也有不少其他缺點，例如將圖形放大時會出現鋸齒狀的線條、圖形所佔記憶空間太大等。本研究試圖發展一套藉由掃描舊有地籍圖，並辨識出圖中的線條部份、空白部份與文字部份，然後分析其拓樸結構，再以數位化的方式將地籍資料存入電腦中。如

此建立的地籍圖資料庫與現有繪於紙上的地籍圖在儲存與管理上之比較有以下的優點：

1. 消除雜訊增進圖形品質：在地籍圖數位化的過程中，程式可以先判別有意義的資料，若不是則消除。地籍圖中所謂有意義的資料主要包括連續線段與文字，而在地籍圖的影印資料中常可發現單獨的線段與一點一點的雜訊存在，我們可以利用影像處理技術在數位化的地籍圖，將雜訊有效的消除。

2. 圖形維護容易，節省大量的儲存空間：現有地籍圖都是儲存在一間有專人管理的儲藏室中，這種紙上的資料不但要擔心其隨著時間可能產生的化學變化，還要防止蟲咬與老鼠、黴菌或其他生物的破壞。若利用電腦儲存這些資料則只需要用到幾個硬碟、一部電腦、和一位操作員便能達成所有的儲存與管理工作。

3. 地籍圖查詢與列印更方便容易：現有的地籍圖資料若需要調閱查詢，則需先填寫資料再等待服務人員將原地籍圖資料加以影印複製才能獲得。常常一個查詢動作便需耗費相當多的人力與等待時間，若能將地籍圖資料存入電腦則所有查詢與列印工作

將可依使用者的需求很快的由電腦來達成。

4. 可輕易的修改地籍圖或加入其他資訊：若想要修改原來地籍圖上的一條線段，往往要大費周章的將所有地籍圖加以重繪方能達成。然而，地籍圖的資料若為數位化後的資料，則可輕易的對每一個線段單獨處理，如此僅需要極少的動作便能做到地籍圖的修改。

5. 可加設線上查詢系統，甚至連上網路，方便一般民衆使用：地籍圖資料若經過數位化，則可利用現有的網路，方便民衆的查詢。

本節中我們已先對地籍圖重建做了基本介紹，在第二部份中我們將對本論文整個地籍圖重建的流程加以敘述，並詳細說明影像處理的幾個前處理步驟。接著我們將說明本論文中所提到的一些理論，其中第三部份敘述如何利用模糊集合理論對影像做二元化的處理工作。而本文重點的線段重建與哈福轉換 (Hough transform) 則放在第四部份說明。第五部份則是實驗的結果展示與說明。最後第六部份為論文做一總結與探討未來可能的研究方向。

地籍圖重建之基本概念

地籍圖重建系統，以往已經有不少的研究論述提出 [Lee96] 王景裕 (1994)、洪志和 (1993)、張國森 (1991)、吳志成 (1989)、[Boa92]，但是由於各國的地籍圖有其不同的表示方式與特徵，所以在技術發展上存在著或多或少的差異，本篇論文以中文地籍圖為主要的研究對象。

在第一部份中，我們曾談及在地籍圖重建的過程，若爲了要提高地籍圖影像掃描的品質，則建議採用高解析度的掃描器。但高解析度掃描影像所佔的空間極爲龐大，爲了要彌補這種缺失，我們可以先將一張完整的地籍圖分割成幾個部份，然後各別作掃描與處理，待處理完再將它們整合爲完整的地籍圖資料。但是圖形整合本身就不是一件容易的事，

還可能因此引進誤差。本文考慮採用低解析度的掃描器，爲要能一次將整張地籍圖掃描入電腦。然而低解析度的影像，必然有一些不良的影響，例如，線段和文字相連的情形，以及文字模糊不清等問題。

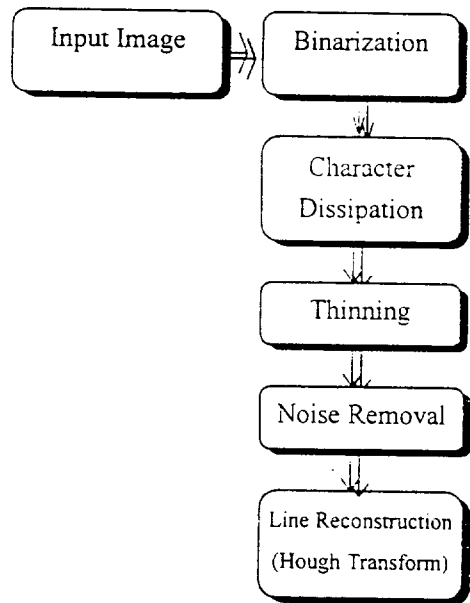
圖一顯示我們所提出的地籍圖重建方法，其中包括三個主要步驟：影像處理、物件偵測，以及物件表式。每個步驟還包含有一些子步驟。圖二展示一例子用來說明所提地籍圖重建技術之中間步驟的處理結果。其中圖 (a) 爲一地籍圖的掃描影像。圖 (b) 爲其二元化的結果，圖 (c) 爲將圖 (b) 中之影像的文字區塊作稀釋，使其分解成碎塊，以便在下一步細線化 (圖 (d)) 時，形成類似雜訊的斑點，而與真正的雜訊隨後一起除掉 (圖 (e))。此時將只

留下一些不完美的線段，我們再利用 Hough transform (HT) (請參考 Zhang (1996), Lo (1995), Luo (1995), Guil (1995), Yu (1993), Kang (1991), Deans (1981), Duda (1972)) 的技術將線段重建 (圖 (f)) 起來，最後才考慮文字的辨識問題。本章以下各節將對上述的步驟做較詳細的說明。

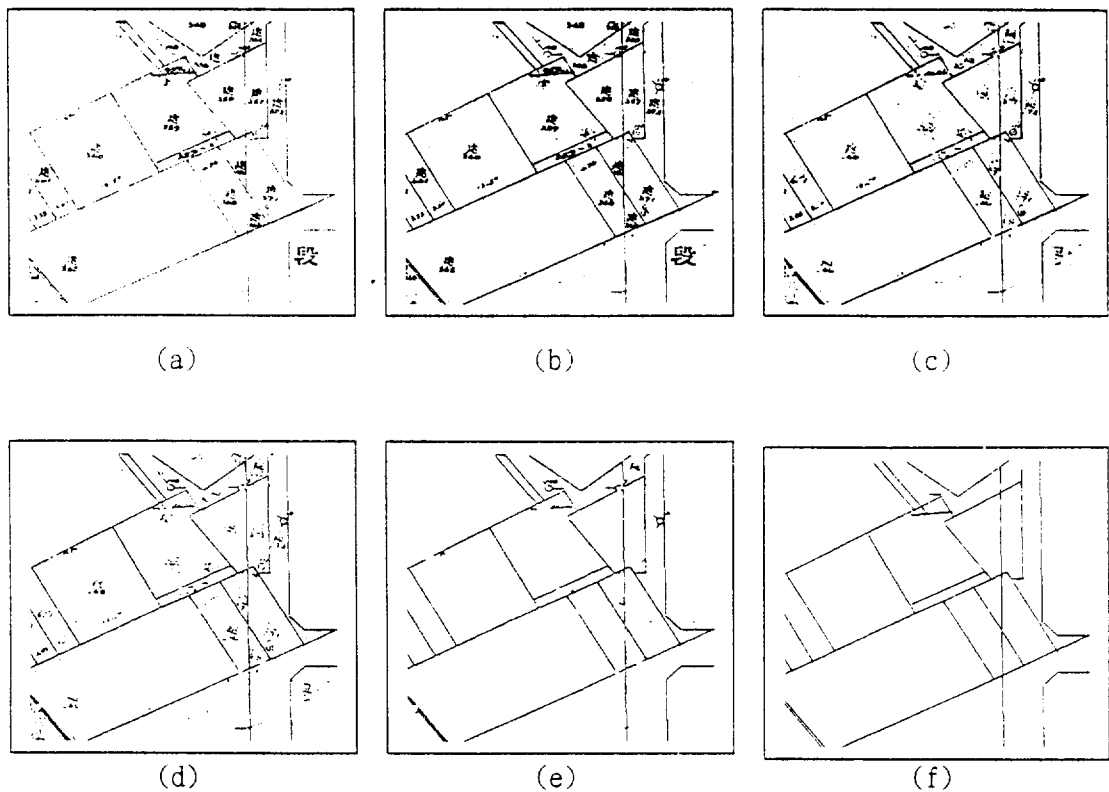
影像處理步驟包括下列幾個子步驟：影像二分化、文字區塊的稀釋、細線化，以及雜訊消除。

一、影像二分化

參考圖二，由於地籍圖經掃描入電腦後為一張灰階影像，其灰階值分佈在 0 到 255 之間。這裡我們所使用的掃描解析度為 100dpi。圖二 (a) 顯示一張地籍圖的灰階影像。由於我們只對地籍圖中的線條和文字有興趣，這些物件在影像中對應於灰階值較小 (亦即較黑) 的像元，而其餘部份 (亦即背景)



圖一 地籍圖重建流程



圖二 依例子來說明所提地籍圖重建技術之中間步驟的處理結果
 (a)原圖 (b)二分化圖 (c)文字稀釋的結果 (d)細線化的結果
 (e)雜訊消除的結果 (f)線段重建後的結果

則對應灰階值較大的像元。如果我們為地籍圖影像繪製 histogram，則分佈曲線大致呈現雙峰走勢。

影像二元化的目的是要將影像單純化，也就是使影像中的像元，如果它的灰階值大於某一門檻值 (threshold) 則令其為 1 (白)，否則令其為 0 (黑)。前面我們說過，地籍圖影像的 histogram 大致呈現雙峰走勢，很容易藉其決定出適當的門檻值 (通常在 histogram 曲線谷底的位置)。本文採用一種 Fuzzy-set theoretic thresholding 技術來決定影像的最佳門檻值。此法將在第三章有較詳細的說明。

地籍圖影像在二元化後，線條和文字部份即可被清楚地彰顯出來。圖二 (b) 為圖二 (a) 影像的二元化結果，其上存在有些雜訊。這裡我們沒有事先利用平滑 (smooth) 技術將其去除，主要是唯恐線條和文字也會同時被模糊化。雜訊將在其後的步驟中加以去除。

二、文字的稀釋

由圖二 (b)，我們可以看出文字部份相當地模糊，而且文字還有與線條相連接的情形。如果此時即從事文字的分離與辨識工作。則因線條的干擾，文字的萃取不易，必會影響到將來文字辨識的結果。因此我們決定先處理線條部份，之後再分離文字與線條，如此使線條對文字的干擾減至最低。

爲了要截取線條，我們首先將文字區塊稀釋，使其分解成爲碎塊。如此在經過細線化處理後，會成爲類似雜訊的斑點，而與真正的雜訊在後面的步驟中一併消除。這裡我們用來稀釋文字區塊的方法如下，首先對每一個像元設定一個視窗 (4x4)，在此視窗中計算其中的圖形點個數，如果個數大於某個預設值 (實驗時取 13)，則視窗中的圖形點將全部被移去 (亦即由黑點變爲白點)。如此可以使文字區塊斷裂，但能保留大部分線條的完整。雖然鄰近於文字的線條可能多多少少遭到破壞，但整體來說其破壞的比率並不大，對將來線條的重建工作，不致有太大的影響。圖二 (c) 顯示文字區塊被稀釋

後的結果。

三、線條細線化

由於地籍圖影像中的線條，其寬度通常並非只有一個像元的寬度，在這裡細線化的目的有二，一方面是希望將線條變成一個像元寬，另一方面是爲了要將稀釋過後的文字碎塊縮小下來，以利在其後的雜訊去除步驟時，將文字徹底除去。本文採用 Zhang (1988) 所提出的細線化方法。他們的方法不會消除線段的端點，但和一般細線化演算法一樣，他們的方法也會造成王景裕 (1994) 所提到的 forks, pseudo junctions 與 redundant points 等問題，由於我們在線段重建時使用哈福轉換 (Hough transform, HT) 技術，HT 能克服部份上述的缺點。附錄 A 描述 Zhang and Wang 的細線化演算法。

四、雜訊消除

文字碎塊在經過細線化後，碎塊收縮成小點或小線段，看起來和雜訊沒有兩樣。本文採用一種遞迴演算法，類似 connected component 演算法，可以尋找出任意大小相連著的聚塊。當我們給予一門檻值時，演算法會自動將小於此值的點聚塊去除掉，包括單獨點，小短線，以及小區塊等。附錄 B 描述此雜訊消除演算法。圖二 (e) 爲將圖二 (d) 影像中的雜訊去除後的結果。

五、線條重建

在地籍圖影像經過雜訊消除後，線條會出現斷裂的情形。線條斷裂的起因有二：一部份是在影像二元化時即存在，只是沒有那麼明顯而已，當在雜訊消除後，斷裂的部位因擴大而彰顯出來。另一部份則在稀釋文字區塊時，若文字與線條相連，則線條極可能因稀釋而斷裂。此外我們也發現在消除雜訊後有些類似卷毛的東西依附在線條旁。參考圖二 (e)，在右上方處有三、四個地方存在著像卷毛的東西連附於線條上。這種現象主要是因爲文字區塊

與線條相連接著，而在文字區塊被打散後，有些碎塊仍與線條相連，細線化後使它們看起來像從線條上長出來的毛。線條重建的目的即希望能將斷裂的部位連接起來，同時卷毛的情形也能被清除掉。

本文採用的技術為基礎來重建地籍圖上的線條。理論上 HT 在得知線條的參數值後即可完整地重建線條，而達到修補斷裂的目的。但是地籍圖上的線條有一定的長度，我們必須能決定出他們的起點與終點，才能正確地將線段重建起來。然而如果線條

斷裂的部位過大，則很難判斷是線條的斷裂點或是它們的端點。此外，HT 在重建線段時，會忽略短的線段，這種特性雖然對雜訊和前述的捲毛現象之消除有所幫助，但是對於有用的短線也一樣會被去除。要能同時滿足斷線的修補，雜訊與捲毛的去除之目的，其實並非易事。我們將在第四章中引進一些策略可以幫我們達到上述的目標。圖二 (f) 為圖二 (a) 中的地籍圖有關線條重建的結果。

模糊集合理論之二元化

本章描述一種基於模糊集合理論所發展出來的一套技術可以用來從事影像的二元化處理。這種技術主要藉著對一事先定義好的模糊量測 (measure of fuzziness)，在求其極化的過程中決定出一影像的最佳門檻值 (threshold value)。不同的模糊量測定義可以被用來達成上述的目的，例如 entropy, indices of fuzziness and nonfuzziness, compactness of fuzziness，以及 index of area converge [Pal 94]。本文採用 Shannon 的函數來定義一種稱為 entropy 的量測以及 Yager 所定義的距離量測來作為我們影像二元化的模糊量測。除了影像二元化，許多的影像處理相關問題，例如平滑、細線化、線條偵測等，均可藉定義不同涵意的模糊量測，經極化來求得最佳解 (參考 Arakawa(1996))。

一、模糊影像

首先我們定義一影像的模糊影像。當給予一影像 I，其上的像元灰階值構成了一字集 (universal set) X。對此一字集 X 我們可以針對不同的性質 P_i 's 定義出各種不同的模糊集合 \tilde{X}_i 's。每一 \tilde{X}_i 和其隸屬函數 (membership function) μ_i 即構成一所謂的模糊影像 (fuzzy image)， $\tilde{I}_i = (\tilde{X}_i, \mu_i)$ ，其中 $\mu_i: X \rightarrow [0,1]$ 。由於在這裡我們考慮的是影像二元化的問題。因此有關性質 P_i 可以描述為一“當取 t_i 為門檻值時，

像元在二元化影像中和它們所屬類別 (0 或 1) 的親近情形”。由於 t_i 有各種不同的選擇，因此就有許多不同的性質 P_i 可以定義。對於每一 P_i ，我們形成了一對應的模糊集合 \tilde{X}_i ，其隸屬函數 $\mu_i: X \rightarrow [0,1]$ 可以根據 [Hua 95] 定義為：

$$\mu_i(x_{mn}) = \begin{cases} \frac{1}{1 + |x_{mn} - a_b| / C} & \text{if } x_{mn} \leq t_i \\ \frac{1}{1 + |x_{mn} - a_f| / C} & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3.1)$$

其中 $C = x_{\max} - x_{\min}$ ， x_{\max} 和 x_{\min} 分別為影像中最大與最小的灰階值。又

$$a_b = \frac{\sum_{g=0}^{t_i} gh(g)}{\sum_{g=0}^{t_i} h(g)}, \quad a_f = \frac{\sum_{g=t_i+1}^{L-1} gh(g)}{\sum_{g=t_i+1}^{L-1} h(g)} \quad (3.2)$$

為背景與圖形灰階值的平均數，其中 L 為不同的灰階度，而 $h(\cdot)$ 在此為 histogram 函數。

(3.1) 式說明當一像元它的灰階值若小於目前所選的門檻值 t_i 時，則此像元隸屬於背景的程度為式中的上項所控制，否則隸屬於圖形點的程度由下項所控制。此兩控制項具有類似的形式，因此有相同的解釋。亦即像元的灰階值與它所隸屬的區域之灰階值平均若相差越大，表示隸屬於該區域的程度就越低，所以式中此差值與隸屬程度值之間呈反比的關係。當差值為零時隸屬程度值為 1，而在最差的情形時因 C 項的原故，值最低為 1/2。

二、模糊量測

當定義好各種不同性質的模糊影像 $\tilde{I} = (i, \mu_i)$ 後，我們接下來計算它們的模糊量測。一模糊子集的模糊量測描述該集合的模糊程度。當利用模糊量測來選取結果時，我們希望選取的結果具有最小的模糊量測，也就是和我們所考慮的性質具有最明確的關係。本文採用的模糊量測有兩種，一種是根據 Shannon 函數所定義的 entropy 量測， $H(\tilde{X})$ 。另一種則是 Yager 所提出的距離量測， $Y_p(\tilde{X})$ 。此兩種量測均滿足下述的性質。假設 E 為某一量測代表一模糊集合的模糊程度， E 的函數關係為 $E: F(X) \rightarrow R$ ，其中 $F(X)$ 表定義在宇集 X 上所有的模糊子集合，則

- $0 \leq E \leq 1$ ；
- $\forall \mu(x_{mn}) = 0$ 或 1 ，則 $E = 0$ ；
- $\forall \mu(x_{mn}) = 0.5$ ，則 $E = 1$ ；
- $E(\tilde{X}) \leq E(\tilde{X}')$ 則 \tilde{X} 比 \tilde{X}' 明確；
- $E(\tilde{X}) \leq E(\tilde{X}')$ ，其中 \tilde{X}' 為 \tilde{X} 的互補 (complement)。

根據 [Pal94]，entropy 量測的定義如下：

$$H(\tilde{X}) = \frac{1}{MN \ln 2} \sum_m \sum_n S(\mu(x_{mn})), \quad (3.3)$$

其中 $S(\mu(x_{mn})) = -\mu(x_{mn}) \ln[\mu(x_{mn})] - [1 - \mu(x_{mn})] \ln[1 - \mu(x_{mn})]$ ，而 M, N 為輸入影像的列與行的數目。Entropy 這個名詞起源於熱力學。當我們考慮一個密閉的箱子，裡面充有某種氣體。在我們對箱子加溫時，箱內氣體的能量會增高。氣體能量的增高將反映在氣體分子的運動上，隨著溫度的增高氣體分子的速度跟著增加。由於氣體是被限制在有限的空間中，氣體分子的速度增加，整個氣體的混亂程度也增加。Entropy 其實是一種亂度的量測值，反映系統的整體能量。當 entropy 的觀念用在資訊理論時，entropy 值反映資訊系統或事件的資訊量。不同的參數代入 entropy 的計算式（如 (3.3) 式）所得的值有不同的解釋，這裡我們以一模糊集合的隸屬

函數值代入，計算出來的 entropy 值描述的是該集合的模糊程度。

至於 Yager 的距離量測則定義如下：

$$Y_p(\tilde{X}) = 1 - \frac{D_p(\tilde{X}, \tilde{X})}{|MN|^{1/P}}, \quad (3.4)$$

其中 $D_p(\tilde{X}, \tilde{X}) = [\sum_m \sum_n |\mu(x_{mn}) - \bar{\mu}(x_{mn})|^p]^{1/P}$ ， $\bar{\mu}(x_{mn}) = 1 - \mu(x_{mn})$ ， P 為一正整數。 $D_p(\tilde{X}, \tilde{X})$ 在這裡評估一模糊集合和其互補集合之間的差異，根據 (3.4) 式，如果差異值 D 小則 Y_p 值大，表示 \tilde{X} 的模糊程度高，反之則趨近於明確。

三、最佳門檻值

現在我們可以來考慮如何藉著影像的各種不同量測來決定其最佳的門檻值。當輸入一影像 $I(X)$ ，並根據一些門檻性質 P_1, P_2, \dots, P_ℓ （分別對應於門檻值 t_1, t_2, \dots, t_ℓ ）定義出模糊影像 $\tilde{I}_1(\tilde{X}_1, \mu_1), \tilde{I}_2(\tilde{X}_2, \mu_2), \dots, \tilde{I}_\ell(\tilde{X}_\ell, \mu_\ell)$ 後。我們接下來計算它們的模糊量測值 E_1, E_2, \dots, E_ℓ 。於是最佳門檻值 t^* 的決定方式如下：假設 E^* 為對應於 t^* 的 X 模糊量測值，則 E^* 必須滿足

$$E^* = \min_{1 \leq i \leq \ell} E_i. \quad (3.5)$$

四、演算法

假設影像灰階值分佈在 0 和 255 之間，我們將上述利用模糊量測來決定一輸入影像 I 的最佳門檻值之過程歸納如下：

- 1：求影像 I 的 histogram $h(\cdot)$ ，同時決定出影像中最小 x_{\min} 和最大 x_{\max} 的灰階值；
- 2：令門檻值 $t = x_{\min}$ ；
- 3：求模糊量測
 - 3.1. 根據 (3.2) 式求背景 a_b 和圖形 a_f 之灰階平均值；
 - 3.2. 根據 (3.1) 式求隸屬函數 $\mu(\cdot)$ ；
 - 3.3. 根據 (3.3) 式求 entropy 量測 H 值或根據 (3.4) 式求 Yager 的距離量測 Y_p 值 (p 為自然數)。

4：令 $t=t+1$ ，重複步驟 3，直到 $t=x_{\max}$ ；

5：根據 (3.5) 式決定最佳門檻值 t^* 。

上述的演算法可以改進其處理的速度。由於最佳門檻值必定發生在 histogram 的分布曲線之谷底位置，因此沒有必要逐一對 x_{\min} 和 x_{\max} 中的灰階值計算它們所對應的模糊量測值。我們只需要對其間可能谷底的灰階值測試即可；如此可以大量減少計算的時間。

又由於在演算法一開始的時候，我們即計算了影像的 histogram 函數 $h(\cdot)$ ，因此可以利用 $h(\cdot)$ 來簡化一些式子，例如 (3.3) 式的 entropy 量測可以改為

$$H(\tilde{X}) = \frac{1}{MN \ln 2} \sum_{g=x_{\min}}^{x_{\max}} s(u(g))h(g)。$$

如此我們不需要掃描整張影像才能計算出 H 值。

又 (3.4) 式中的 D_p 值可改由下式計算，

$$D_p(\tilde{X}, \tilde{X}) = \left[\sum_g |\mu(g) - \bar{\mu}(g)|^p h(g) \right]^{1/p}。$$

如此加速 Yager 模糊量測 Y_p 的計算。

另外我們也可以事先將每一灰階值的隸屬函數值及模糊量測值分別計算儲存好，不必每次在重複使用時須再計算一次。

本章所描述基於集合理論所發展的一套技術，對於影像二元化的處選整張圖形的混亂度最低為前提下，找出最適當的門檻值。期望能藉此技術對自動二元化的處理有更合理更好的結果。

物件偵測

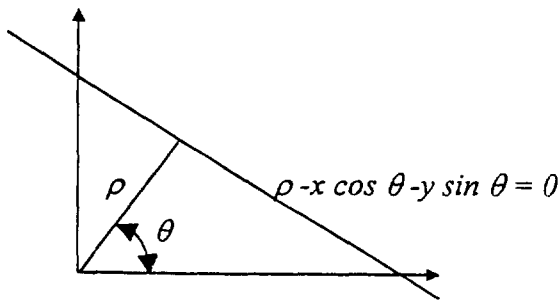
線段重建的步驟，主要是將地籍圖中標示區域的線段找出來。我們選擇用 Hough transform (HT) 技術作為辨識線段的理由有二：1. HT 對雜訊有高的容忍度，2. HT 可將斷線修補起來。只是實際運作時短線與雜訊很難區分，而斷線與端點也常不易事先知道。過去已有不少人提出各種 HT 的修正版本為了解決上述的問題。例如 Kang (1991) 利用整張圖形的旋轉，來求得圖中線段的起點與終點，這種作法最後所費的時間與記憶體空間仍相當大。Zhang (1996) 提出利用小視窗來觀察圖形中局部的情形，將 HT 運用在小視窗中尋找線段。這種方法須結合局部短線條來重建整張圖的長線條，其結果常會因短線條若有誤差，重建出來的長線段便會有所偏差，這對於精確度要求甚高的地籍圖重建工作不是很合適。Guil (1995) 所提的 faster Hough transform 雖然可以在速度上增進不少，但也因為在連接斷線上無法有好的效果，所以也不適用於地籍圖的重建。本文提出多種策略，希望能在速度、記憶體空間、以及精確度上有所突破。以下我們先來複習一下傳統 HT 的原理。

一、傳統的 HT

HT 是一種常被用來偵測分析圖形中直線或曲線的技術。首先它將直線或曲線以方程式來描述。方程式中有些參數，一旦參數可以決定出來則整條直線或曲線即可重建起來。而估計參數所需要的資料則取自圖形中的點。由於參數此時是未知數，所有可能的參數值形成一參數空間，它常被分割成一矩陣。其中藉著圖形點的資料經由投票累加決定出最佳的參數值。有了參數值，線條即可在圖中重建。

由於本文只考慮地籍圖中直線的重建，我們採用斜截式 (slop-intercept representation) 來描述直線，亦即 $f((\rho, \theta), (x, y)) = \rho - x \cos \theta - y \sin \theta = 0$ 。參見圖三，其中 (x, y) 為某一圖形點， ρ 為通過此點的直線與原點間的截距 ($\rho \in \mathbf{R}$)， θ 為此直線與 x 軸的夾角 ($\theta \in [0, \pi]$)。當給予一圖形點 (x_i, y_i) ，代入前面的直線方程式可得 $\rho - x_i \cos \theta - y_i \sin \theta = 0$ ，此式在參數空間 (ρ, θ) 中描述一曲線。HT 沿著該曲線將所通過的矩陣元素都加上 1。如果一群圖形點有形成一直線的傾向，則它們在參數空間中的曲線在

理論上會交於一點。因此當 HT 進行時，此點上的累計值會逐漸增大，最後形成局部性高值。HT 會選擇此種點所對應的參數值來重建直線。由於這是整條線的重建，因此可以填補原線條中的斷裂區。但在另一方面 HT 無法事先得知線條端點。故無法得知真正的線段在哪裡。此外，HT 忽略具有小累計值的參數，雖然這樣可以去除圖中的雜訊，但也忽略了小的短線。又 HT 必須計算參數空間中曲線的位置，然後沿著曲線去累加計數值，搜尋的過程相當花時間。加以參數矩陣本身也很佔空間。以下我們將針對這些缺點提出一些改進的策略。



圖三 ρ_1, θ_1 直線表示式

二、點對選取

在傳統的 HT，每次選取一圖形點，將其轉換成參數空間的一曲線，然後沿曲線去累加參數矩陣的元素。這裡我們每次選出兩點 [Yue 93]，代入直線方程式求其參數 (ρ, θ) 值。假設選出的兩點為 $P_1 = (x_1, y_1)$ 和 $P_2 = (x_2, y_2)$ 將它們代入直線方程式，我們可得兩參數的方程式為

$$x_1 \cos \theta + y_1 \sin \theta = \rho,$$

$$x_2 \cos \theta + y_2 \sin \theta = \rho,$$

兩個方程式解兩個未知數 (ρ, θ) ，可得

$$\theta = \tan^{-1} \frac{x_1 - x_2}{y_2 - y_1},$$

$$\rho = x_1 \frac{y_2 - y_1}{\sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2}} + y_1 \frac{x_1 - x_2}{\sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2}}.$$

當求得參數值後，我們可以在圖中依計算出來的參數值建構一假想的線。沿著這條線的周圍在原圖中檢視是否通過很多的圖形點。如果是的話則這條線幾可確定是一條地籍圖的線。只是目前還不知道其端點在哪裡。我們將在下節提出尋找線段端點的策略。事實上，如果我們能夠事先找出線段的端點，則在選取點對時，可以限制只從那些端點中去選，如此可大量降低計算量。又一旦確定一條地籍圖線段，可立即消除線條周圍的圖形點，如此可减少點對測試的數目。

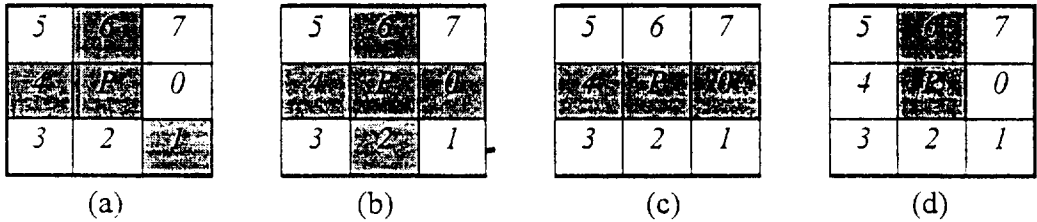
三、端點的決定

由於傳統的 HT 在決定一直線的參數後，只知道直線的位置和方向，並不知線段的端點。這裡我們參考 [王景裕 94] 中的作法，但須一些修正以便適合我們的應用。在這篇論文中，作者對每一圖形點順時鐘沿著它的 8 個鄰近點計算從白（背景）到黑（圖形）的轉換次數，稱為該圖形點的 **degree**，於是定義了各種不同 **degree** 的特徵點（參考圖四）。之後由特徵點再根據它們的 **degree** 判斷可能的線段端點，這些點仍需在後面進一步確認為端點。本文則對特徵點的定義作了些微的改變：若圖形中的某點為 n 條直線的交點，則我們說此點的 **degree** = n 。

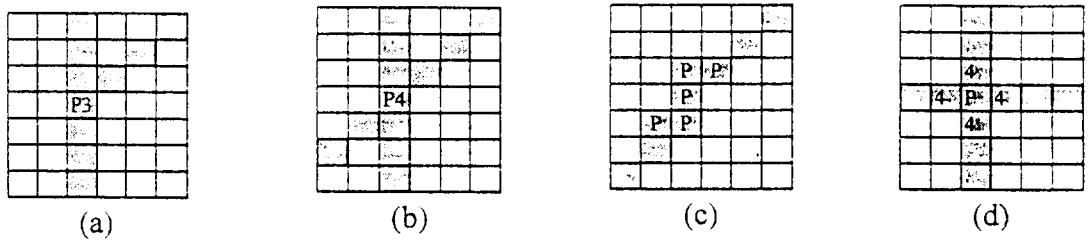
在實作時，我們先計算一圖形點的相鄰圖形點個數，然後暫時以此個數作為該點的 **degree** 值。讓我們來看一例子，參考圖五，其中每個視窗的中心黑點為我們正在考慮它的 **degree** 的圖形點。在圖 (a) 中相鄰中心黑點的圖形點個數有 3，圖 (b)、(c)、和 (d) 則分別為 4、4、4。但是根據我們對一圖形點 **degree** 的定義，圖 (a)、(b)、(c)、(d) 中心點的 **degree** 應分別為 3、4、2、4。這和前述計算鄰近點的 **degree** 所得的 3、4、4、4 有些不同。這是因為中心點附近若有點聚集的情形就很

難判斷它到底為幾條線的交點。於是我們用一個較大的視窗（本文採用 7x7）來追蹤視窗邊緣順時鐘方向白至黑的轉換次數，如此可避免上述的誤判。我們之所以又計算鄰近點個數又用大視窗來決定圖形點的 degree，主要是因為當遇到有 degree=2 的點時，它有可能是個 corner。我們必須兩者都使用

來確定它是否真為一 corner。另外我們還需要解決 degree=4 候選者的群聚情形，由於真正 degree=4 的點會由 4 個 degree=4 候選者所包圍，這時候我們只要將這四個候選人消除，即可得到真正 degree=4 的點。



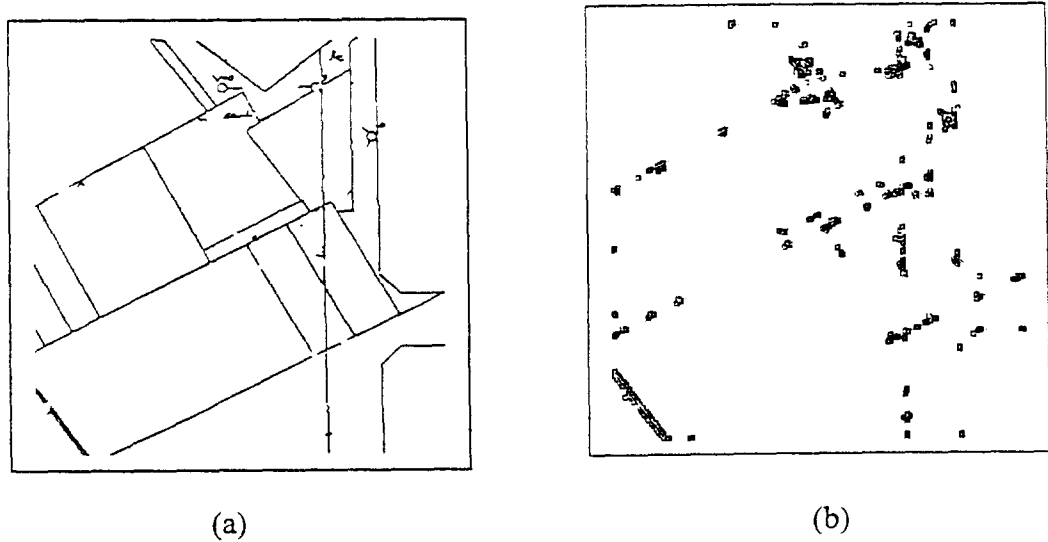
圖四 各種不同 degree 的特徵點
(a) degree=3, (b) degree=4, (c) degree=2, (d) degree=1.



圖五 特徵點 degree 的決定
採用未經過改良的方法無法正確辨識 (a) degree=3 的情形 (b) degree=4 的情形；
(c) degree=2 時，特徵值群聚的情形 (d) degree=1 時特徵值群聚的情形。

當決定好每個圖形點的 degree 後，若一點它的 degree=1 時表此點為線段的終止點，degree=2 時需判斷是否為 corner。而當 degree ≥ 3 時，其為線段的交點。上述的這些點我們通稱它們為端點。圖六顯示一例子，其中圖六 (a) 為地籍圖經細線化和雜訊消除後的結果，亦即圖二 (e) 的結果。圖六

(b) 為利用此節所討論有關端點決定的方法由圖六 (a) 中所獲得的端點。除了在圖中左下角部份有一系列的端點被偵測到，這是由於原圖 (a) 左下角部份有一粗格線所造成的結果。除此之外，其餘尚稱合理。我們將在下面的步驟處理上述一系列端點的問題。



圖六 將細線化後地籍圖取出端點的結果

點 - 對 HT

在找到線段端點後，我們每次選取一對端點 (p_i, p_j) ，並計算它們之間的距離 $d(p_i, p_j)$ 。如果距離太近（小於 n 個像元）則再選另一對端點。我們放棄距離較短的端點，主要是因為我們以端點建構一假想的線。如果端點彼此很近，其中一有誤差時，所建構的線條即會產生相當大的偏差。此外我們故意將門檻值 n 設大一點（例如 20），主要的目的是要先將較長的地籍線建立起來。之後再考慮較短的線。

在建立較短線的時候，最大的困難就是如何區別短線與雜訊。本文提出點 - 對 HT 技術來重建短線。在應用此技術之前，我們先以前面建立的長線段，將細線化二元影像中鄰近長線段的圖形點消除掉。如此影像中將只留下和短線與雜訊。此時應用 HT 技術會較有效率，因已有大部分的點被移去。

點 - 對 HT 每次選取兩圖形點，計算通過它們的直線之參數，將此參數存放在一矩陣中。實際上在存放之前我們將目前計算來的參數和已經放在矩

陣中的參數一一比較，如果有發現極為相近的，則和它作平均後存放起來。平均的方式如下：假若目前計算的參考值為 q 而和其相近的參數值 q' 為由先前 n 個參數所平均的結果，則現在加入 q 的新平均值為 $q' = \frac{n}{n+1} q' + \frac{q}{n+1}$ 記錄此新平均值後，我們還需同時記錄增加一對，亦即 $n+1$ 。注意在比對時，因參數 (ρ, θ) 的性質不同，一為長度，一為角度，須分別比較，才能確定兩組參數是否相近。

點 - 對 HT 並沒有在所有點對都檢查完後，才來選取點對計數高的參數重建其線段。事實上在 HT 執行的過程中，即隨時去察看那個參數的計數已經夠高了。如果發現此種參數，則 HT 會先建立此參數的線段，在確認有地籍線段後立即將影像中鄰近該線段的圖形點移除，如此在下面的計算中可減少要檢查的點對個數。

本文所提的 HT 技術，除了有上述即時建線除點的機制外，它所使用的參數空間屬於連續性的，因此可以避免 truncation error。此外它並不需要搜尋參數空間以便在適當的參數位置上累計點 - 對的數目，這對計算的速度有很大的幫助。

五、線段重建

本文所提的線段重建方法，可以填補某種程度的斷裂，而且雜訊與不相關線條也可大部分被消除。本節將所提的方法歸納如下。此處我們假設輸入的影像 I 為一已經過細線化之二元影像，其上黑點為圖形點，白點為背景點。我們的 HT 過程執行如下：

1. 找出線段端點 $\{P_1, P_2, \dots, P_n\}$ ；

2. 對每一對距離夠大的端點 (P_i, P_j)
 - 2.1. 建構一連接 P_i 和 P_j 之假想線；
 - 2.2. 確認沿著假想線的方向是否有地籍圖線；
 - 2.3. 如果有地籍圖線被確認，則在影像 I 中將確認的地籍圖線附近之圖形點消除；
 - 2.4. 重複步驟 2；
3. 利用點 - 對 HT 技術求取 I 中的小短線。

實驗

在此實驗中，我們已經將所有的步驟建立成模組，並可經由一個主程式呼叫所有的模組而成為一個完整的地籍圖重建系統，在此系統中，我們只需要事先將共用變數設定，或完全使用內定值，即可將已掃描進入電腦的地籍圖自動重建，以現有的配備重建一張 400x400 的地籍圖時間約 21 秒，只是我們還未做程式最佳化，不然相信可以得到更滿意的執行時間。完整的程式架構圖如（圖十四）所示。

本實驗主要在 Sun 工作站上完成，詳細軟硬體設備說明如下：

主機與作業系統：

Manufacturer	Sun (Sun Microsystems Incorporated)
System Model	SPARCstation 20
Main Memory	64 MB
Virtual Memory	69 MB
ROM Version	2.19
App Architecture	sun4
Kernel Architecture	sun4m
OS Name	SunOS
OS Version	4.1.4
Compiler	gcc, g++ - GNU project C and C++ Compiler (v2.7)

掃描器：

形 式	DEXTRA DF-1200T@
最高解析度	600dpi
解析度設定	100 dpi
顏色設定	256黑白灰階

地籍圖：

來 源	台北市大安地政事務所
土地標示	台北市 大安段 二小段273地號
比 例 尺	1 : 500
地圖謄字號	15156
影印謄本日期	民國八十五年6月3日

除了先前的完整地籍圖重建範例外，我們也對其他八張地籍圖用相同參數和程式本身的自動調整能力重建了這八張地籍圖（如圖七到圖十四所示），如此方能測試出程式自動化執行能力。實驗結果也顯示，圖十和圖十二的結果相當令人滿意，其他的幾張圖的結果各有一些小缺失，我們留在後面在予以討論這些缺陷發生的原因。另外為了實驗上的簡便我們的地籍圖原圖準備了相同大小九張 400X400 的 PGM 圖形檔格式。

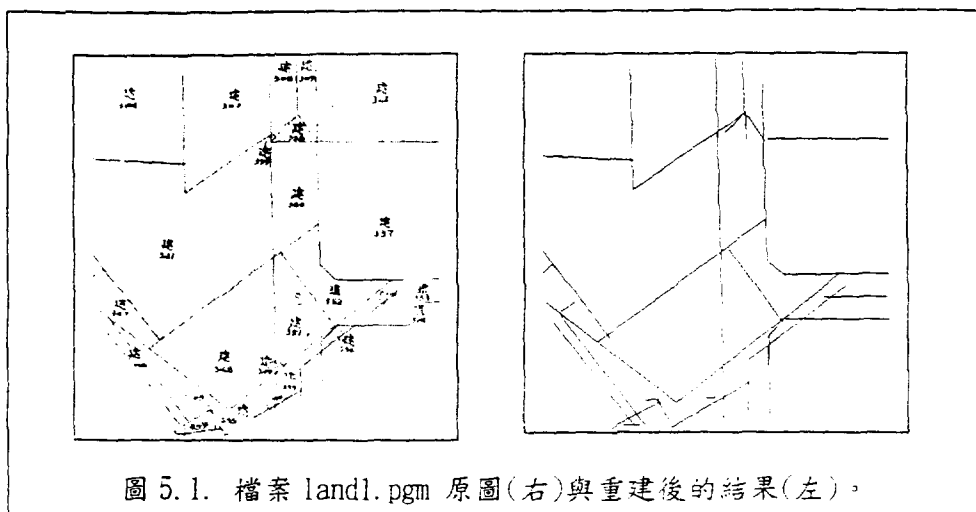


圖 5.1. 檔案 land1.pgm 原圖(右)與重建後的結果(左)。

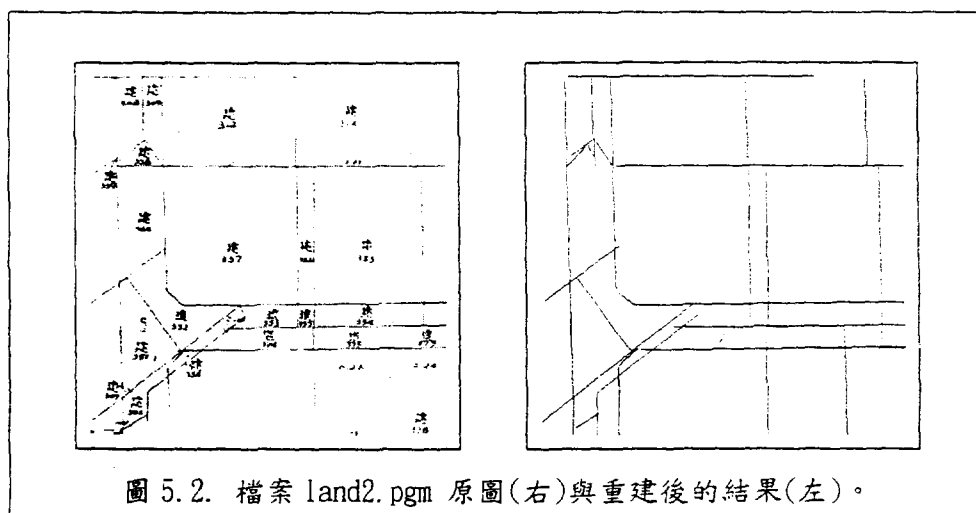


圖 5.2. 檔案 land2.pgm 原圖(右)與重建後的結果(左)。

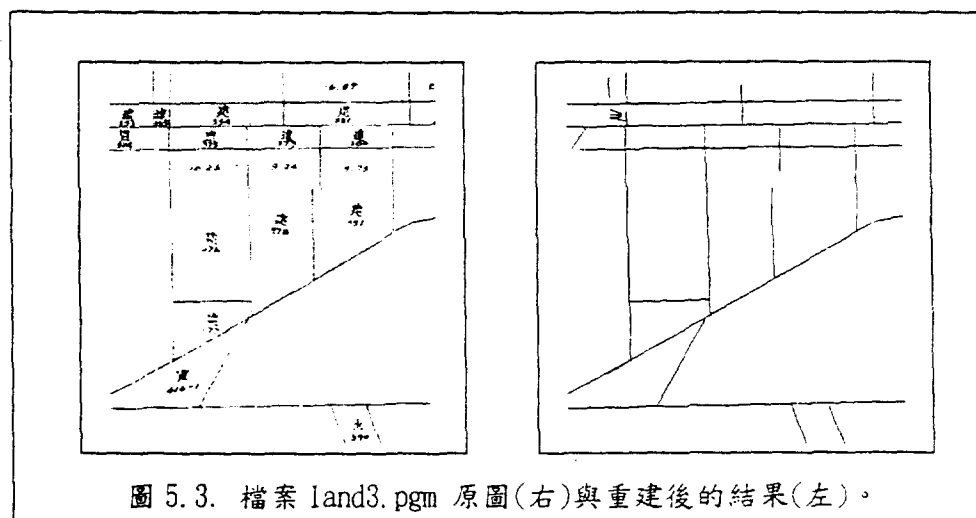
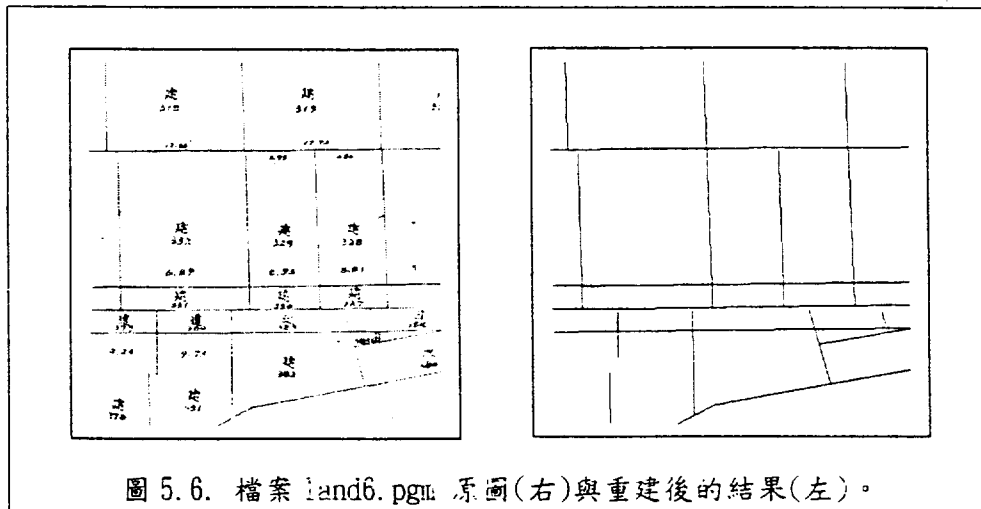
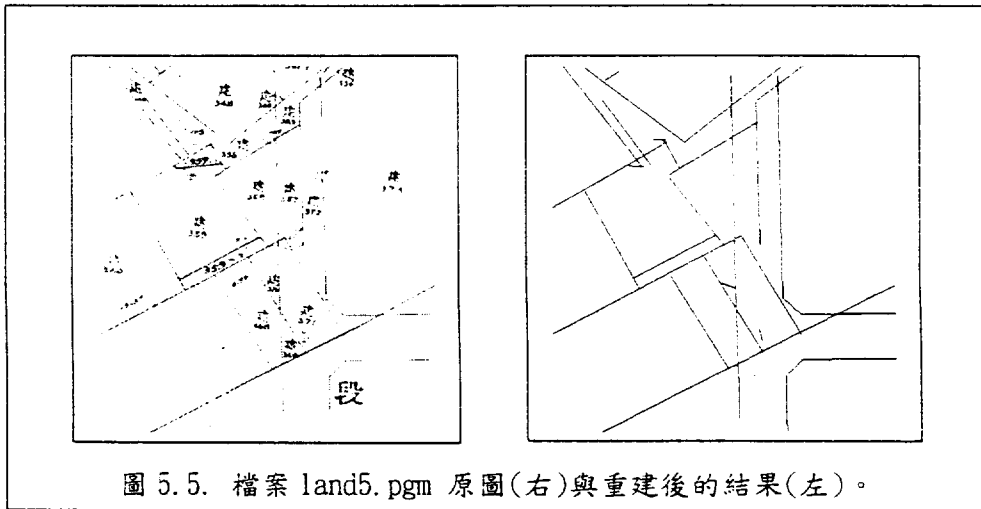
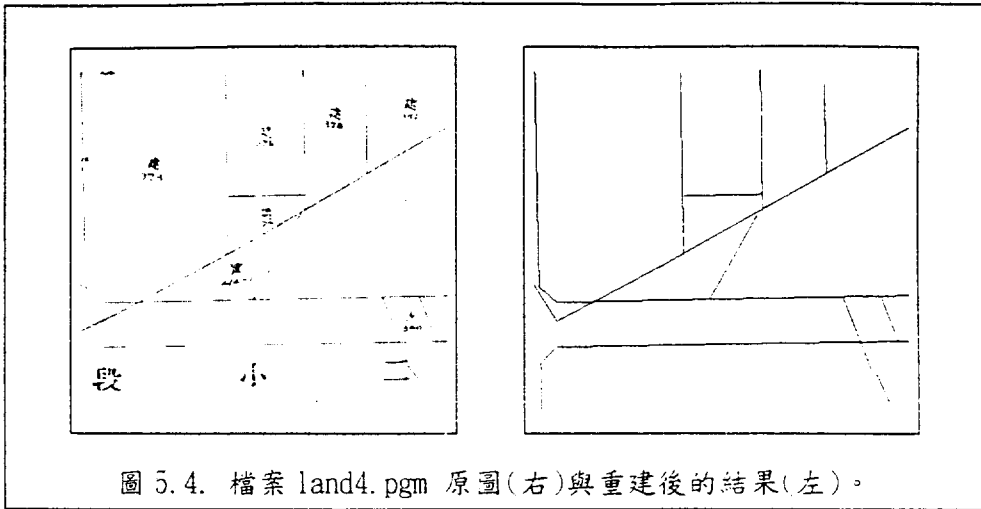


圖 5.3. 檔案 land3.pgm 原圖(右)與重建後的結果(左)。



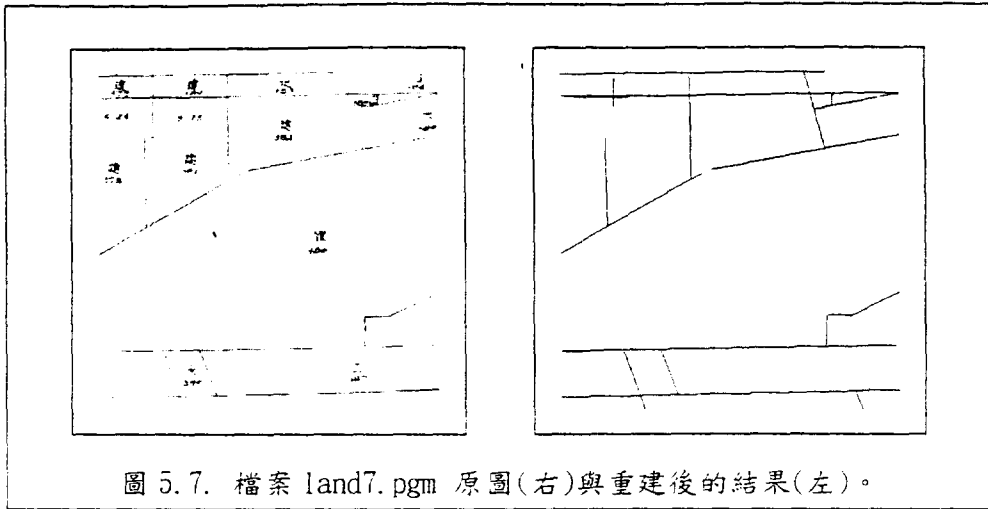


圖 5.7. 檔案 land7.pgm 原圖(右)與重建後的結果(左)。

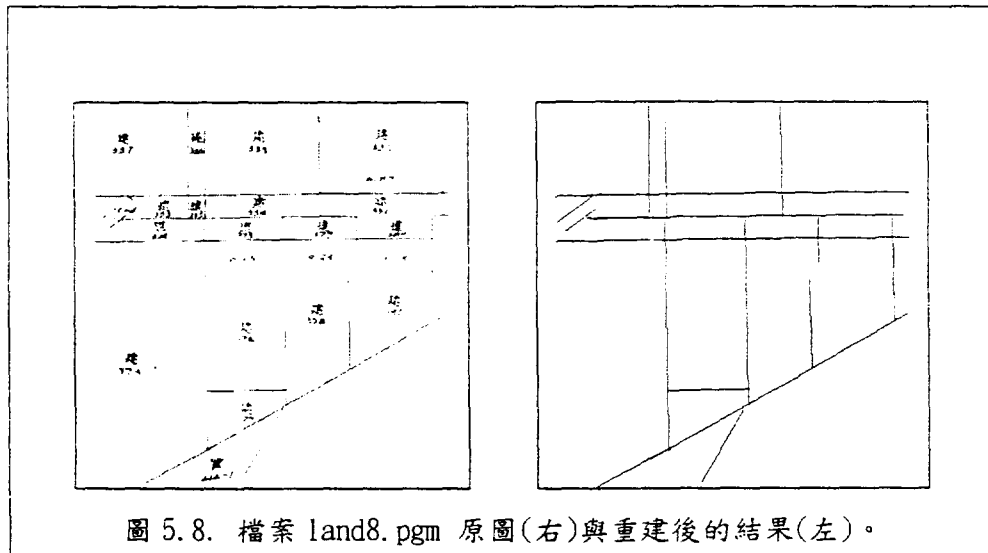


圖 5.8. 檔案 land8.pgm 原圖(右)與重建後的結果(左)。

在線段重建的過程中，我們遇到不少的問題。首先在選擇二元化的方式上，為了能適應各個不同時期繪製的地籍圖，我們採用能依圖形性質而自動選出最佳門檻值得技術，剛開始我們用矩量保持法來自動分析影像最佳二元化的門檻值，接著我們又用了模糊理論的技術來找出較佳的門檻值。最後我們選用較合理、且處理結果較好的後者。在重建線段方面，剛開始我們沒有先將文字去除，而直接重建線段，這樣的重建方式誤判的情況非常嚴重，經分析的結果，必須先將文字去除，才能讓我們能更

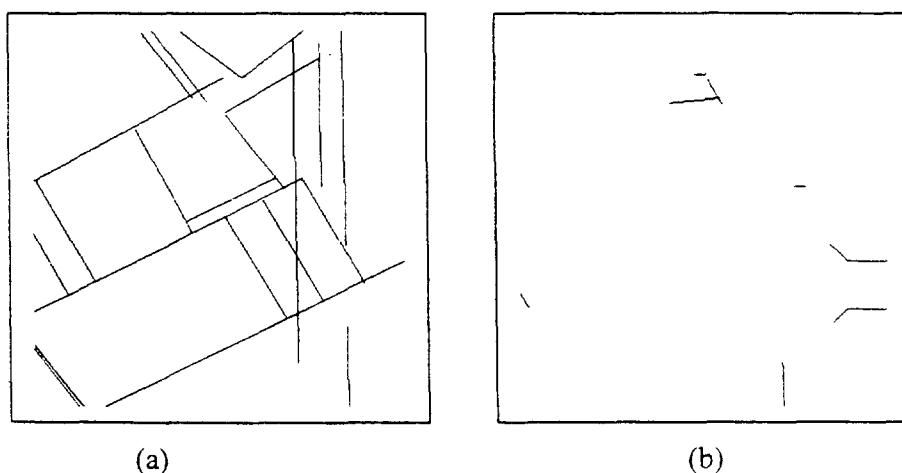
專心於線段的重建。但選擇去除文字方面，若使用較複雜的演算法分離文字區塊，將使研究方向於此停留，而且很難避免將線段也不小心刪除。所以我們想是否有方法將文字部份當成雜訊，然後再和一般的雜訊一並去除。所以我們提出執行時間短、且不會同時除去整個線段的稀釋文字方法。當我們將文字稀釋後，大部分稀釋後的文字，很容易就能在下一步驟去除雜訊時完全除去。最後留下了圖二(e)的結果時，還有一些未消除的文字部份所造成的小短線，而且一些線段也被打斷了，這也是造成圖十

一到圖十四的重建結果無法完美的主要原因。但沒有文字干擾的情況下，重建地籍圖線段可以說容易多了。

在我們研究重建地籍圖線段的初始，我們採用傳統的 HT 作為線段重建的主要方法，傳統 HT 需要建立一個參數投票空間，而參數投票空間中，一個原圖中的線段參數將在此空間形成一個局部高峰，想分析出哪一個為最適當的參數是一件不容易的事情，而且分析出來的參數值若不正確我們也將錯過了原本應該正確重建的地籍圖線段，所以勢必要在分析此空間時下不少工夫；另外，對於此空間中較短的線段所產生的局部高峰也很容易被忽略，所以一開始的重建工作可以說遇到了越來越多的困

難，直到我們採用點對 H-T 後，才有了更樂觀的方向與結果。

於是我們重建地籍圖的方法採用兩階段式的重建法，第一階段先利用第四部份中所提的方法，建立特徵點的資料後。此時隨機取兩個特徵點，假若這兩個特徵點的距離夠遠，我們再判斷此兩個特徵點是否構成地籍圖中的一條直線。至於選點的次數，可依特徵點個數的線性關係來決定，此階段的重建結果可將大部份長線段重建，如圖十五 (a) 所示。剩下的短線我們用點 - 對 HT 的方式重建的結果如圖十五 (b) 所示，若將圖十五 (a) 圖十五 (b) 此兩圖的結果相疊合即為圖二 (f) 所示的重建結果。



圖十五 重建線段的兩階段執行結果

在圖二 (e) 中我們可以看到不少的斷線存在，不論在利用特徵點重建，或使用點 - 對 HT 的過程中，我們都將面對這些斷線，唯有將這些斷線都連接起來，線段的重建才算完整。所以我們必須對這兩階段個別設定最長斷線的連接門檻值，此值若設的太大則很容易將不該連的線段連接；但若設太小，

則很多線段接無法完整的重建。還有在點 - 對 HT 使用時，對於能辨視的最短線斷也要設定一個門檻值。這兩個門檻值的設定是必要的，但也因這兩個門檻值的設定造成圖七到圖十四中，不該有線段的部份多出了一些小短線，而原圖中應有的小短線卻被遺漏了的情形。

結論

本研究建立了一個完整的地籍圖重建系統，我們先將紙上的資料掃描成 PGM 圖形檔之後，接著將檔案輸入處理程式中。由於地籍圖的資料主要為黑色的線條與文字部份，其餘的皆為白色的背景部份，所以我們先將地籍圖的資料二元化，在此研究中我們採用模糊集合理論來將文字、線條的黑色部份，與背景的白色部份分離，實驗結果也顯示了採用的模糊理論來作二元化是很合適的。接著我們做去除雜訊的工作，在重建的初步，除了直線之外的部份我們先視為雜訊（例如：文字、單獨的線段與黑點、超過一個像元寬的線條）先加以去除，如此方能順利的將線條重建。去除雜訊的步驟為 1. 先將文字稀釋；2. 將線條細線化；3. 去除雜訊（即去除被獨立的小線段）；經過這三個步驟之後，我們將

可更輕易的將地籍圖的線段重建。線段重建的部份，我們以基本的 Hough Transform 的技術為藍本，進而發展了一套點 - 對 HT 的技術，此技術不但使得地籍圖重建的更加準確，也節省大量的節省了程式執行時所需要的記憶體空間，另外配合特徵點重建長線段，將使得程式執行的時間上，也有很出色的表現。

本研究的結果，已可將地籍圖的直線正確的重建，然而整張地籍圖有意義的資料除了線段外，還包括地籍圖上的文字資料。若要完成這地籍圖的重建工作，則必須將這些地籍圖中的文字也能辨識出來才算完整，這也是我們下一步研究的重點，期待最後地籍圖重建工作能成為真正實際應用的系統。

參考文獻

- 王景裕 (1994)：地籍圖自動化處理系統。國立中央大學碩士論文。
- 洪志和 (1993)：一個應用於地籍圖之地理資訊系統雛形。國立中央大學碩士論文。
- 張國森 (1991)：地籍圖自動化處理系統。國立中央大學碩士論文。
- 吳志成 (1989)：地籍圖電腦之自動處理。國立中央大學碩士論文。
- Arakawa, K. (1996). Median Filter Based on Fuzzy Rules and Its Application to Image Restoration, *Fuzzy Sets and Systems*, vol. 77, pp. 3-13.
- Boatto, L., Consorti, V., Buono, M. D., Zenzo, S. D., Eramo, V., Esposito, A., Melcarne, F., Meucci, M., Morelli, A., Mosciatti, M., Scarci, S., and Tucci, M., (1992). An Interpretation System for Land Register Maps, *IEEE Computer*, vol. 25, pp. 23-33.
- Deans, S. R. (1981). Hough transform from the Radon transform, *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.*, vol. 3, pp. 185-188.
- Duda, R. O. and Hart, P. E. (1972). Use the Hough Transform to Detect Lines and Curves in Pictures. *Comm. Assoc. Comput.*, vol. 15, pp. 11-15.
- Gader, P. and Keller, J. M. (1995). A Fuzzy Logic System for the Detection and Recognition of Handwritten Street Numbers, *IEEE Trans. on Fuzzy System*, vol. 3, pp. 83-95.
- Guil, N., Villalba, J. and Zapata, E. L. (1995). A Fast Hough Transform for Segment Detection, *IEEE Transactions on Image Processing*, vol. 4, pp. 1541-1548.
- Huang, L. K. and Wang, M. J. J. (1995). Image Thresholding by Minimizing the Measure of Fuzziness, *Pattern Recognition*, vol. 28, pp. 41-51.
- Kang, C. W., Park, R. H. and Lee, K. H. (1991). Extraction of Straight Line Segment Using Rotation Transformation: Generalized Hough Transformation, *Pattern Recognition*, vol. 24, pp. 133-641.
- Lee, L. H. and Su, T. T. (1996). Vision-Based Image Processing of Digitized Cadastral Maps, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, vol. 62, pp. 533-538.
- Liu, X., Tan, S. and Ong, S. H. (1996). Fuzzy Pyramid Scheme for Distorted Object Recognition Maps, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, vol. 62, pp. 533-538.
- Lo, R. C. and Tsai, W. H. (1995). y-Sacle Hough Transform for Thick Line Detection in Gray-Scale Im-

- ages, *Pattern Recognition*, vol. 28, pp. 647-661.
- Luo, D., Smart, P. and Macleod, J. S. (1995). Circular Hough Transform for Roundness Measurement of Objects, *Pattern Recognition*, vol. 28, pp. 1745-1749.
- Pal, S. K. (1994). Fuzzy Sets in Image Processing and Recognition, in *Fuzzy Logic Technology and Applications*, Ed. By Marks II, R. J. IEEE Inc., NEW York City, pp. 33-40.
- Sheu, H. T. and Hu, W. C. (1996). A Rotationally Invariant Two-Phase Scheme for Corner Detection, *Pattern Recognition*, vol. 29, pp. 819-828.
- Wilson, C. L., Grother, P. J. and Barnes, C. S. (1996). Binary Decision Clustering for Neural-Network Based Optical Character Recognition, *Pattern Recognition*, vol. 29, pp. 425-437.
- Yu, S. S. and Tsai, W. H. (1990). A New Thinning Algorithm for Gray-Scale Images by the Relaxation Technique, *Pattern Recognition*, vol. 23, pp. 1067-1076.
- Yuen, S. Y. K., Lam, T. S. L. and Leung, N. K. D. (1993). Connective Hough Transform, *Image and Vision Computing*, vol. 11, pp. 295-301.
- Zhang, Y. Y. and Wang, P. S. P. (1988). A Modified Parallel Thinning Algorithm, *Int. Conf. on Pattern Recognition*, vol. 21, pp. 1023-1025.
- Zhang, Y. and Webber, R. (1996). A Windowing Approach to Detecting Line Segments Using Hough Transform, *Pattern Recognition*, vol. 29, pp. 255-265.

收稿日期：87年1月17日

修正日期：87年4月20日

接受日期：87年4月22日

Line Reconstruction of Cadastral Map

Y.J. Lin C.Y. Fang S.C. Lin S.W. Chen

National Taiwan Normal University
Department of Information and Computer Education

Abstract

Most of the currently available cadastral maps conserved in the Land Administration Office are drawn on paper. They are apparently ineffective for both maintenance and updating. Moreover, after constant consultations the maps would become mutilated and blotted gradually. In this paper, we develop techniques for transformations of cadastral maps from analog signal into digital data. There are substantial advantages with the resultant maps including effective storage, easy maintenance, expeditious retrieval, and fast computation. These advantages can be further extended by connecting the databases of maps to the networks or incorporating the databases into GIS systems. There are potential challenges to our tasks. It is inevitable that pieces of information may be lost during map transformation. Furthermore, it is demanded that the transformed maps would preserve as faithfully as possible the information of the original maps. The experimental results demonstrate the applicability of the proposed techniques.

Keywords: cadastral maps, image processing, Hough transform, line reconstruction, Fuzzy theoretic thresholding

附錄 A：細線化演算法

Zhang and Wang[9] 首先定出消除點的幾個原則：

1. 消除點不會消去線條的端點。
2. 刪除點不會中斷線條的連接。
3. 對有凹陷的區域，細線化的結果儘量保持其原形走勢。

P ₉	P ₂	P ₃
P ₈	P ₁	P ₄
P ₇	P ₆	P ₅

圖 A.1.

根據上述原則，他們訂出了兩個消除點的條件。參考圖 A.1. 令 $N(P_1)$ 的鄰近像元之集合，亦即 $N(P_1) = \{P_2, P_3, \dots, P_9\}$ 。又令 $S(P_1)$ 為沿著 $N(P_1)$ 中的像元計算其 0 到 1 的遞移次數。則兩消除條件定義如下：

條件一：

- (a) $2 \leq N(P_1) \leq 6$
- (b) $S(P_1) = 1$
- (c) $P_2 \cdot P_4 \cdot P_6 = 0$
- (d) $P_4 \cdot P_6 \cdot P_8 = 0$

條件二：

- (d) $2 \leq N(P_1) \leq 6$
- (e) $S(P_1) = 1$

$$(f) P_2 \cdot P_4 \cdot P_8 = 0$$

$$(g) P_2 \cdot P_6 \cdot P_8 = 0$$

當像元 P_1 滿足兩條件中的認一條，則 P_1 點即可被消去。我們將 Zhang 和 Wang 的演算歸納如下：

- (1) 掃描影像，將符合條件一的點標記為要刪除。
- (2) 將影像中標記的點刪除。
- (3) 再掃描影像，將符合條件二的點標記為要刪除。
- (4) 將影像中標記的點刪除。
- (5) 若有任何一點被刪除，則回到步驟(1)，否則結束程式執行。

附錄 B：去除雜訊之演算法

1. 掃描圖形，若掃描完畢則結束。
2. 若遇到黑點且此點未掃描過則繼續步驟 3，否則回到步驟 1。
3. 設此點已拜訪。
4. $Adj\# = Adj\# + 1$ 。（ $Adj\#$ 為相連接的黑點數累計）
5. 尋找 8- 臨邊中是否有沒拜訪過的黑點。若有則以此點為基準遞回呼叫步驟 3。
6. 是否 ($Adj\# > 0$) 且 ($Adj\# < \text{最大相連雜訊點數的臨界值}$)，若有則進行步驟 7，否則回到步驟 1。
7. 將此點消除。
8. 尋找 8- 臨邊中是否有黑點，若有則以此點為基準遞回呼叫步驟 7。
9. 回到步驟 1。