地籍測量，20(3):1-18

細化演算法比較

A Comparison of Thinning Algorithms

廖振偉[1]、史天元[2]、張崑宗[3]

Joen-Woei Liaw　Tian-Yuan Shih　Kuen-Tzung Chang

摘要

細化是由影像中萃取線形之常用步驟，本研究探討中軸轉換法、剝皮法、及吹氣球法等三類細化演算法之優缺點。其中剝皮法包含 Stentiford & Mortimer [1983]、Zhang & Fu [1984]、及 Holt, et al. [1987]等方法。從是否能夠克服典型細化問題、細化後是否形變或造成斷線、及有無良好的執行效率的角度出發，探討各種方法的優缺點，並提出可能的解決方案。本研究以航照影像經邊緣線偵測萃取之影像及網格向量化之掃描影像進行測試。就計算效率而言，Zhang & Fu [1984]所提方法執行效率最高，最差者為中軸轉換法；就細化品質而言，吹氣球法細化後易產生偏移，中軸轉換法斷線情況嚴重；而剝皮法中，以 Zhang & Fu [1984]方法為基礎，配合 Holt 處理鋸齒狀像元之方法(稱為 Z-S+Holt 法)對細化常遭遇的問題可獲得較佳結果；此外，由細化差異分析結果顯示，Stentiford 法雖與 Zhang & Fu [1984]為基礎之方法無明顯差異，惟 Stentiford 法在一些交叉點位置會產生一些小迴圈；從保留文字辨識中重要筆畫而言，以 Z-S+Holt 法之處理結果較佳。

ABSTRACT

This research discusses the advantages and disadvantages of three kinds thinning algorithms. These algorithms include the Medial Axis Transform, Ballooning Approach and Peeling Approach. In the Peeling Approach, there are several different schemes proposed by Stentiford & Mortimer [1983], Zhang & Fu [1984] (the Zhang & Suen method), and Holt, et al. [1987]. This study investigates different schemes from the aspects of overcoming classic thinning artifacts, geometric

[1] 國立交通大學土木工程研究所測量組碩士

[2] 國立交通大學土木工程學系教授

[3] 明新技術學院土木工程學系助理教授

distortion, break-line problems, computational performance, and finally proposes probable solutions to these problems. Numerical experiments include scanned maps for vectorization, and scanned aerial photographs. In general, Peeling scheme proposed by Zhang and Fu [1984] provides the best efficiency. MAT gives the worst. For the thinning quality, Ballooning method suffers geometric distortion, and MAT has serious break-line problem. Experiments indicate that Peeling based method, e.g. Z-S and Holt combined schemes can handle thinning problems very well. But Stentiford scheme has several thinning artifacts. The best result can be derived with Z-S and Holt combined scheme.

關鍵字：骨架化(skeletonizing)、線圖徵擷取(Linear Feature Extraction)

一、前言

細化(thinning)又稱骨架化(skeletonizing)，應用於二元化之影像，其操作目的是將影像中之線條圖徵，約化成一個單位解析力寬的線；經由細化後的線圖徵，仍能保留原影像中線條圖形的所有結構性資訊，如線條的位置、方向和長度。具有亮度灰階之影像，可以使用局部最大值追蹤方法萃取線條，或以二元化之程序，如採用門檻值，轉化為二元化影像(劉育儒，1992)。骨架品質及骨架所代表之意義，如物體形狀、結構特徵等，為本研究中探討細化功能之重要量度項目。

細化是萃取足以表達物體形狀之像元的方法，為電腦視覺系統用來萃取影像中物體特徵的首要工作之一。下列三件事值得注意：

1. 並非所有物體均可以或應該細化，細線化較適合由線組成的物體，如圓環，但實心圓則不適合細化。
2. 任何一種細化方法均無法適用所有情況。
3. 細化是找骨架之作業，其所得之骨架需具有實質意義，而非由使用之演算法來定義骨架；細化應不只是一種剝除外層像元的循環處理。

本研究主要探討三類細化演算法，分別是中軸轉換法、剝皮法、及吹氣球法。其中剝皮法討論 Stentiford & Mortimer [1983]、Zhang & Fu [1984]、及 Holt, et al. [1987]等方法。

在實際測量應用方面，細化常應用於類比圖籍經掃描後進行向量化，及由影像中萃取線圖徵，兩類型工作中使用。故本研究除了使用網格向量化處理之掃描測試影像外，並以經邊緣線偵測的航照影像為例，從是否能夠克服典型細化問題、細化後是否產生形變或斷線、有無良好的執行效率角度出發，就各類細化演算法之成效進行探討。須說明的是，細化之使用，並非前述兩類型工作之唯一或經常性最佳之選擇。以地籍圖之數化為例，由於所著重者為界址點，其性質為點圖元，而且現有類比地籍圖圖面狀況不佳，雜訊甚多，故以現有之考慮較為單純之自動或半自動之向量化作業，其效率往往不及人工點選。以下先介紹這三類細化演算法。

二、細化演算法

（一）中軸法(The Medial Axis Approach)

Blum 於 1967 定義 MAF(Medial Axis Function)函數，提出中軸轉換法(Medial Axis Transformation, MAT)[Gonzalez & Woods, 1992]。MAF 視所有物件邊界像元為點波源，這些邊界上每一個像元會觸發相鄰的像元，觸發時間的間隔與距離成反比，當兩波相遇會彼此抵消，即產生所謂的角(corner)。所謂的中軸就是這些角的軌跡，也是物件的骨架。實作上此法經由兩次掃描，按照由左至右、由上而下，及由右至左、由下而上的順序給予每一非零像元（即線上點）一數值代表距離像元值為零之點位（即非線上點）的最短距離，找尋在線所涵蓋的範圍內距所有邊緣最遠的點，以這些點組成線的中軸位置。距離之計算可以採用 4 鄰接(4-connected)，8 鄰接(8-connected)、或歐氏距離，採用不同的距離會影響結果，見圖 1。此法提出較早且廣為人知，亦是很多細化演算法的基礎。

中軸轉換缺點有五，一是計算時間很長；二是影像的解析度要非常高，否則歐氏距離應當相等時，而計算結果卻不相等的情況會突顯出來，導致骨架像元的遺失；三是當物件的像元只有少許的差異會產生截然不同的骨架，見圖 2；四是面臨轉彎處、或線條交叉處都有斷線的可能，無法保證線條連續性；五是因處理過程必需遵照掃描順序，以致於無法使用平行處理技巧。

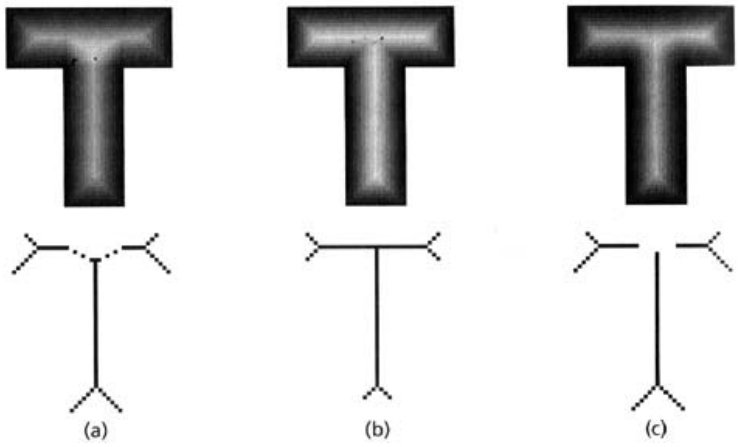


圖 1　不同的距離函數對中軸的影響[Parker, 1999]

(a) 4 鄰接 (b)8 鄰接 (c)歐氏距離

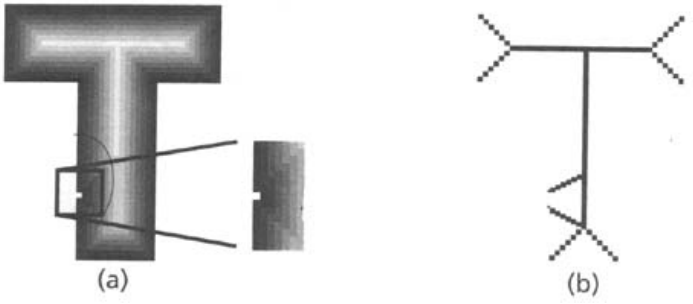


圖 2　中軸轉換的缺點[Parker, 1999]

(a) 一個像元的差異 (b)產生贅餘物件骨架

（二）剝皮法(The Peeling Approach)

又稱迭代形態法(Iterative Morphological Methods)，以非零像元（代表線資料存在的位置）與其鄰近像元之間關係決定此像元是否位於線的邊緣。若是則捨去（將值以 0 取代）；以這種類似剝皮的方式由線條兩邊依次縮減，直到剩下一個像元寬，並且保持線的連接狀態。實作上以模板匹配(template-matching)方式進行。通常是以中心像元與其八-鄰接或四-鄰接像元的連接情況作為取捨之依據。此法具有平行化處理之能力，線段交接處經細化後仍能保存完整及總線段長對執行時間只有極小影響等優點。但因每次只去除線兩側各一像元，因此線條寬度對執行效率有很大影響，故其計算效率有待提升；若線段一側受到誤差干擾，會造成結果呈波浪狀(wave)或形成小圓圈情況；線若太寬，轉彎或接合處均很難找到真正中心線位置，且易造成原線條縮短情況發生。

(a).Stentiford 細化演算法

Stentiford & Mortimer [1983]提出使用四個 3*3 模塊(templates)表示鋸齒狀像元，M1、M2、M3、M4 模塊參見圖 3，圖中●表示黑色像元，○表示白色像元，×則為非骨架像元。倘若影像中只要符合此模塊者，即刪除中間像元。演算法如下(所得之骨架以黑色像元表示，其值為 0)：

(1) 找到符合模塊 M1 的像元位置(i, j)

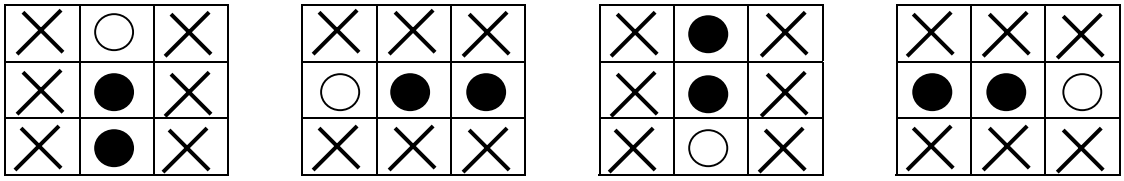
(2) 若中心像元非端點(endpoint)，即 8 個方向上只有一個黑色像元，且連結數為 1，標記該像元，待會刪除之。

(3)重覆(1)、(2)步驟，求得所有符合 M1 的像元位置。

(4)以 M2、M3、M4 模塊重覆 (1)、(2)、(3)步驟。

(5)刪除所有符合模塊之像元(刪除即設該像元為白色，其值為 1)。

(6)在上一步驟中，若有像元刪除，從第(1)步驟再迭代一次，否則停止。



(a) M1 模塊　(b) M2 模塊　(c) M3 模塊　(d) M4 模塊

圖 3　Stentiford 細化演算法使用之 3*3 模塊 [Parker, 1999]

M1 移除物件上方的邊，移動方向是左到右、上到下。M2 移除物件左方的邊，移動方向是下到上、左到右。M3 移除物件下方的邊，移動方向是右到左、下到上。M4 移除物件右方的邊，移動方向是上到下、右到左。上述的作法確保像元的移除是對稱的，而且沒有產生嚴重的方向誤差。

連結數(Connectivity number) 為一像元可能連接的物件數，以 N1、N2…N8 的順序計算由 0 變成 1 的總次數作為連結數，3*3 罩窗的編號 N0、N1…N8 參見圖 4。

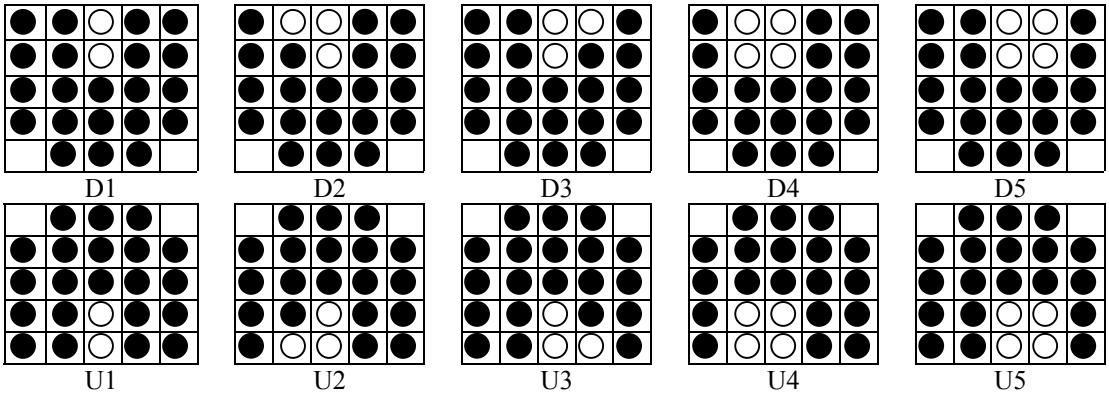
N6	N7	N8
N5	N0	N1
N4	N3	N2

圖 4　3*3 罩窗的編號

此法具有頸部化和贅餘線段的問題，Stentiford & Mortimer [1983]建議以預處理方式解決：

(1)因為微小的不規則變化導致產生贅餘線段，用平滑化的步驟解決。如刪除二個或較少黑色相鄰像元或連結數少於 2 的像元。

(2)頸部化的現象解決方案是用銳角強化(acute angle emphasis)，符合圖 5 任一模板的中心像元，即予以標記，在後續作業中刪除。



D1　D2　D3　D4　D5

U1　U2　U3　U4　U5

圖 5　用於銳角強化預處理的模板[Parker, 1999]

(b).Zhang-Suen 演算法

Zhang & Fu [1984]提出本方法。此法為目前應用最普遍者且常引用為新方法比照之參考。流程中有二個子迭代(sub-iteration)，影像中若有像元符合下述每一條件才刪除：

(1)連結數=1

(2)至少有二個、不超過六個零像元（代表線資料存在的位置）。

(3) I(i, j+1)、I(i-1, j)、I(i, j-1)中至少有一個像元是背景像元（即白色點）

(4) I(i-1, j)、I(i+1, j)、I(i, j-1)中至少有一個像元是背景像元

在迭代運算最後，刪除標記的像元；再進行下一個子迭代，其步驟如同第一次子迭代，除了上述(3)、(4)條件替換成下二式：

(1) I(i-1, j)、I(i, j+1)、I(i+1, j)中至少有一個像元是背景像元

(2) I(i, j+1)、I(i+1, j)、I(i, j-1)中至少有一個像元是背景像元

同樣地，刪除所有標記像元。若二次子迭代後，均無像元被刪除，則停止判斷。

此法優點為速度快，程式碼易於實作，為平行運算演算法(parallel method)，可用於多處理器的平行運算。然而，Z-S 演算法仍有頸部化和贅餘線段的問題，Parker [1999]認為加上 Stentiford & Mortimer [1983]預處理可避免這個問題。

(c).Holt 演算法

Holt et al. [1987]提出改善 Zhang-Suen 演算法，因方法中不涉及子迭代，以邏輯式(logical expression)表示，且合併成一式，故方法運算速度快。經邏輯判斷處理完後，還要刪除符合鋸齒狀(staircase)模塊的像元，使用之模塊如圖 6 所示。其邏輯式如下所示

$v(C) \wedge (\sim edge(C) \vee (v(E) \wedge v(S) \wedge (v(N) \vee v(W))))$ 第一次迭代的邏輯表示式

$v(C) \wedge (\sim edge(C) \vee (v(W) \wedge v(N) \wedge (v(S) \vee v(E))))$ 第二次迭代的邏輯表示式

$$v(C) \wedge (\sim edge(C) \vee (edge(E) \wedge v(N) \wedge v(S)) \vee (edge(S) \wedge v(W) \wedge v(E)) \vee (edge(E) \wedge edge(SE) \wedge edge(S)))$$

合併第一次和第二次迭代的邏輯表示式

每一個邏輯表示式意即中心像元 C 在邏輯運算後是否保留，v 函數表像元的值，1 為真，表物件像元，0 為假，表背景像元。當中心像元 C 位於物件的邊緣上時，edge 函數為真；E、S、N、W 則是以中心像元為基準之東南北西方向的

相對應位置。

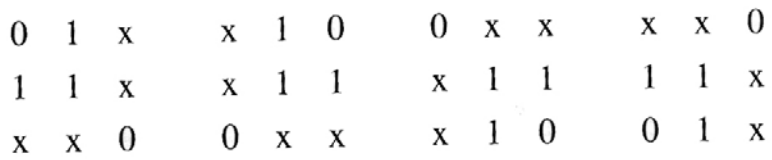


圖 6　鋸齒狀模塊

Parker [1999]則結合上述三種剝皮演算法的優點，其混合作法步驟如下：1. Stentiford 預處理；2. Z-S 演算法；3. 依據 Holt 法刪除符合鋸齒狀模塊的像元。

（三）吹氣球法(The Ballooning Approach)

此法如同吹氣球一般，將線之間所圍多邊形逐漸增長，直到兩個鄰接多邊形接觸無法再增長為止。處理的對象不是線本身，邏輯上恰好與剝皮法相反。由於處理的是線之間多邊形，當多邊形越大，則處理時間相對增加；且每次只能處理線條的某一邊，故最後獲得之線條位置常造成偏移現象。

三、細化演算法的特性比較

典型細化問題有三：

a.頸部化(necking)：兩線交界處的點會被拉成一短線段；

b.尾端化(tails)：兩線以銳角相交會過度細化；

c.贅餘線段(或稱 hairs 或稱 line fuzz)：產生額外的線段，最為常見。

這些細化後典型問題參見圖 7。

形變就是產生節點位置不精確的現象，從以往研究測試當中，這三種方法均會導致不同程度之型變。如剝皮法會在轉角處、兩線交叉點、及分支點產生錯誤的連接，如圖 8a 所示；而中軸法經常在交叉處因找不到平行線對，而無法確定中心點位置，故骨架化後資料常呈現斷續的現象，如圖 8b 所示。而吹氣球法因每次只處理線條的一邊，故節點位置亦有偏移現象。除此之外，線條本身資料的不完整性也會造成斷線的產生；由於線資料本身完整性及其寬度對於骨架化處理之效率及結果品質造成影響，特別是線越寬，在兩線交會、線轉折處都會造成形狀變形的狀況產生[Drummond, et al., 1991; Hori, et al., 1993]。

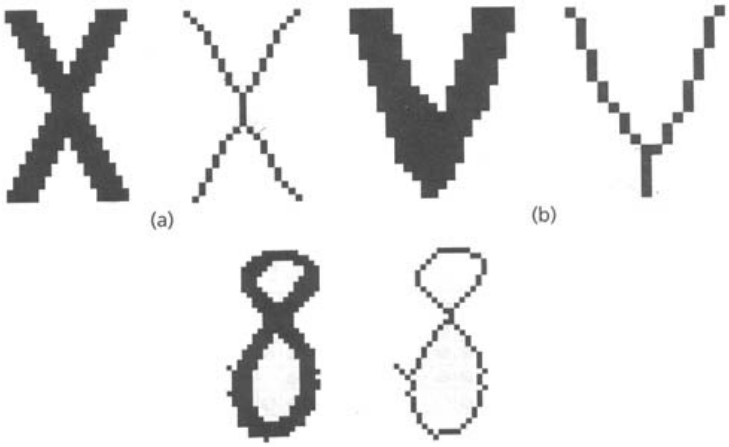


圖 7　典型細化的問題[Parker, 1999]

(a)頸部化 (b)尾端化 (c)贅餘線段

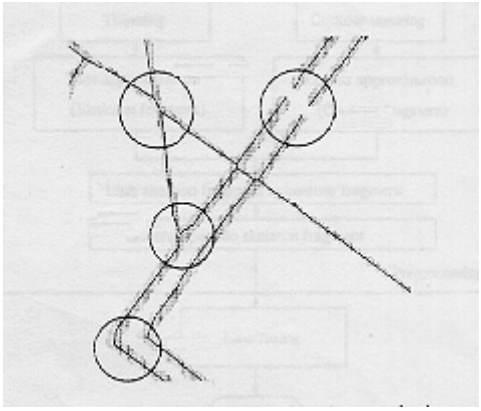


圖 8a、剝皮法骨架化結果

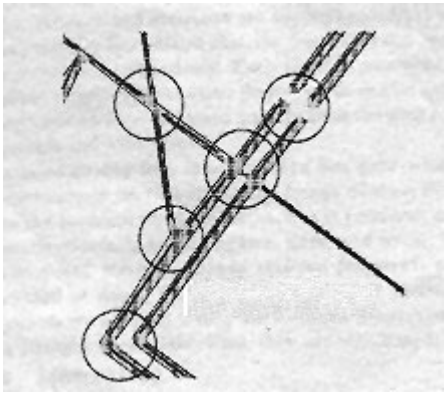


圖 8b、中軸法骨架化結果

四、實驗分析

（一）實驗例一

本研究所採用的實驗影像為 ISPRS Commission III Working Group 3 所提供的測試影像，有四組不同地物分布的影像資料，分別為 remstal、glandorf、flat、suburb，採用其中 suburb 影像中的一棟建物如圖 9h，先經 Sobel 運算元偵測房屋邊緣線，再分別應用不同的細化演算法，結果如圖 9 所示。

細化的主要目的是為了下一步的處理所做的準備，是否符合需求視不同的應用而定。對於如本例之航照影像萃取出邊緣線來說，最希望達成之目標為房屋邊緣線經細化處理後仍可以保留下來。Canny 邊緣線偵測元其理論定義三個準則中的對應性(Response)有細化的效果，故以此特性為比較標的，Canny 邊緣線偵測結果如圖 9g。經 Sobel 運算元進行邊緣線偵測後的線寬幾乎均為 1 像元寬，導致

各種細化方法效果差異不大(從圖 9b、圖 9d、圖 9e 可看出)，甚至使得一般視為最佳的細化演算法和含預處理的 Stentiford 演算法因為包含預處理的步驟，去除較多的邊緣線，連房屋邊緣線也去除，如圖 9a、圖 9c 所示。此外，中軸轉換沒有保留任何邊緣線，情況最糟，如圖 9f 所示。

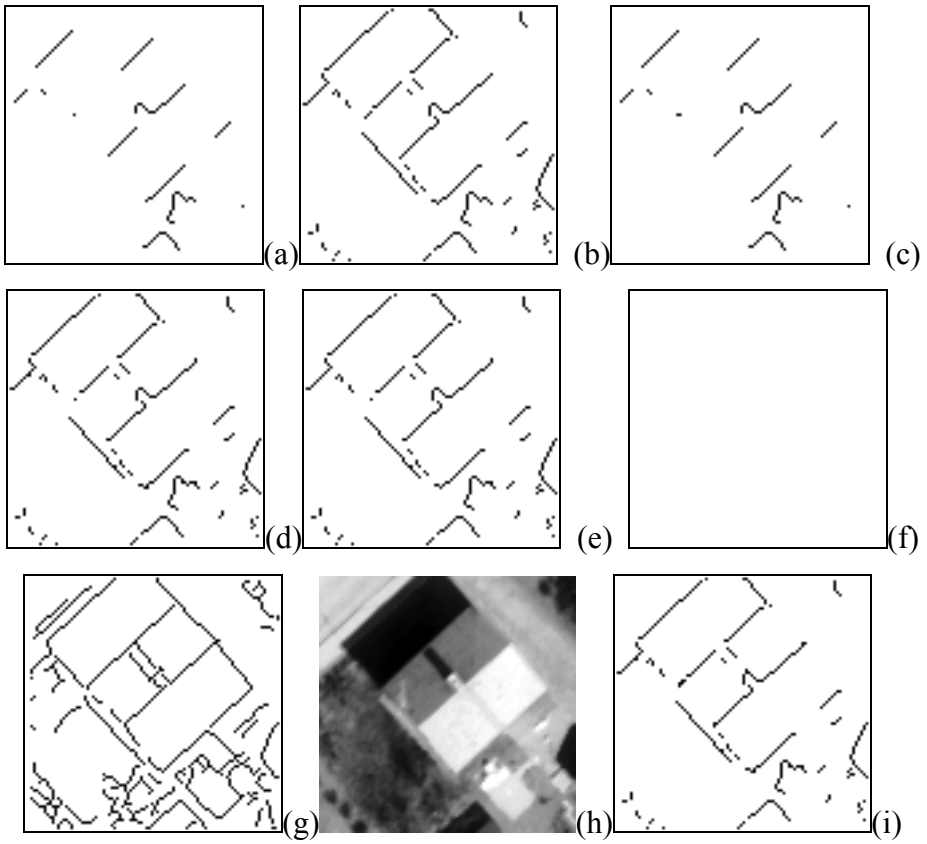


圖 9　不同的細化演算法對房屋邊緣的影響

(a) Stentiford 預處理+ Z-S 演算法+ Holt 刪除鋸齒狀像元

(b) Stentiford 細化演算法

(c) 含預處理的 Stentiford 細化演算法

(d) Z-S 演算法

(e) Z-S 演算法+ Holt 刪除鋸齒狀像元

(f) 中軸轉換(所有的邊緣線都不見)

(g) (h)影像直接經 Canny Edge 邊緣偵測結果

(h) ISPRS 的 Suburb Dataset 影像中的一棟建物

(i) (h)影像經 Sobel 運算元的結果

（二）實驗例二

採用 MapScan 軟體(United Nations, 1999)所提供的 meta_ctr.pcx 為測試影

像，該圖的內含為線及文字圖徵，原影像及分別經過 contourh(屬於吹氣球法)、MAT(八鄰接中軸轉換)、與其他四種剝皮法為基礎之 Stentiford、Zhang & Suen(簡稱 Z-S)、Z-S+Holt(鋸齒狀像元處理)、Stentiford 預處理+Z-S+Holt(Parker [1999]所提混合作法；以 bestzs 表示)細化結果如圖 10(a)-(g)所示。由圖 10 中可看出，contourh 法產生具有嚴重毛邊、文字未細化完全之情形；MAT 法在圖徵分布重疊區域(如圖中交叉點與十字符號重疊區)，線段無法連接。餘四法對毛邊問題均能有效解決、線條連接性也很好，但細微處可能有些許差異。因此，將這六張細化影像二二相減後，得差異影像如圖 11、12 所示。圖 11(a)-(g)分別表示 bestzs 與其他五種方法之差異，及 Stentiford vs. Z-S，Stentiford vs. Z-S+Holt 結果。另圖 12(a)-(g)則是表示 Stentiford 與 contourh、MAT 法之差異，contourh 與 Z-S、Z-S+Holt、MAT 法之差異，MAT 與 Z-S、Z-S+Holt 法之差異。

從圖 11(a)及圖 12(a)、(c)-(e)中均可明顯看出除了上半部資料兩者較吻合外，下半部資料相減後結果並未互相抵銷，顯示 contourh 法所得結果與其餘五種方法差異較大，由於 contourh 法細化原理是以邊緣線為依據，故細化結果偏向一邊，與中心線間有位移現象。另外 MAT 法(中軸轉換)與 bestzs 法(剝皮法為基礎者)最大差異在於交叉點部位，MAT 法對於此位置，無法確認其中軸位置，此結果亦可從圖 11(b)、圖 12(b)、(e)-(g)中明顯看出；同時 MAT 法較易受雜訊影響，若線條邊緣因雜訊導致有缺陷或不平滑，則細化結果將形成斷線情形。

此外，同樣以剝皮法為基礎之 Stentiford、Z-S、Z-S+Holt、bestzs 法結果無明顯差異，惟 Stentiford 法在一些交叉點位置會產生一些小迴圈，這是此法之缺點；以 Zhang 和 Suen 所提方法為主要架構之三種方法考慮因素不一，就差異結果而言，bestzs 法與 Z-S 法結果較接近，bestzs 法僅在交叉點形變改正上有所助益，如圖 11((d)所示。

另就文字辨識而言，雖然 Z-S 或 bestzs 法可校正文字形狀，但有些短線段(就文字辨識來說是重要筆畫)因此而消失，或可視為缺陷，如 Ceuta、Weifang、Erode 中的『t』、『f』、『o』。由圖 10 中細化結果可知，Z-S+Holt 法對於文字辨識之處理較為有利。

為獲得各方法之執行效率，將 Mapscan 軟體中提供之測試資料，如 contour、katmandu、meta_ctr、metaland、sec81、sec82、sri 七組資料，分別經過 bestzs、Stentiford、Z-S、Z-S+Holt、contourh、MAT 法細化，執行平台為一台 Pentium

III-500MHz 個人電腦，統計其時間如表 1 所示。從表中這六種方法平均執行時間顯示 Z-S 法執行效率最高，Z-S+Holt 法或 bestzs 法次之，其次是 Stentiford 法，再來為 contourh 法，執行效率最差者為 MAT 法。同時 contourh、MAT 法所需執行時間變動性較大，可從其時間標準差結果看出。此結果是因線條資料複雜性增加而造成。

五、結論與建議

由實驗一、二結果並歸納上述三類細化方法之特性可獲知，若快速計算為最重要之考慮因子，可採用 Z-S 演算法；若品質才是唯一的考量，可以採用 Z-S+Holt 法。實驗顯示 Z-S+Holt 法對細化常遭遇的問題可獲得較佳結果，但交叉點形變問題以及斷線(因原影像雜訊之干擾所形成)就必須額外的再處理，如交叉點形狀誤差(Hazard Location)，除了以交談式人工編輯向量化資料[Hsieh, et al., 1994]以外，也可以在細線化過程中加入正確交叉點之判定[Drummond, et al., 1991]；或細化之後，再以線條密合方式改正線條形狀[Hori, et al., 1993]。Musavi, et al. [1988]提出向量式作法，藉線條追蹤、簡化程序改正線條形狀。上述這些骨架化方法各有優缺點，均無法完全達到維持線條連續性、保持原線條之端點位置、無方向偏差地找到中心線位置、在寬線條之交接處仍能精確取得中心線位置這四項要求。只能依據方法之特性，依使用者對空間資料網格向量化之線條萃取精度及操作時間等要求決定使用何種方法。綜合上述實驗及討論，若細化的應用對象是掃描地圖上線條圖徵，則 Z-S+Holt 法、或 Parker [1999]所提出混和性方法是建議可以採用的方法。

六、致謝

本文承蒙兩位評審指正，並惠與潤飾，謹此致謝。

七、參考文獻

劉育儒，1992。由二元化影像繪製線畫圖之研究，成大航空測量研究所碩士論文，民國八十一年。

Drummond, J., R. V. Essen, and P. Boulerie, 1991, Some Considerations on Vectorization Algorithms, ITC journal, No. 3, 153-157.

Gonzalez, R. and Woods, R., 1992, Digital Image Processing, Addison-Wesley Publishing Company.

Holt, C. M., Stewart, A., Clint, M. and R. H. Perrott, 1987, An Improved Parallel Thinning Algorithm. Communications of the ACM, 30(2):156-160.

Hori, O. and S. Tanigawa, 1993, Raster-to-vector Conversion by Line Fitting Based on Contours and Skeletons, Document Analysis and Recognition, The second International Conference, 353-358.

Hsieh, C. C., Y. L. Wu, and P. H. Shih, 1994, Map Vectorization by Double Run-length Thinning, IPPR conference on computer vision, graphics, and image processing, 69-75.

Musavi, M. T., M. V. Shirvaikar, E. Ramanathan, and A. R. Nekovei, 1988, A Vision Based Method to Automate Map Processing, Pattern Recognition, 21(#4) : 319-326.

Parker, J. R, 1999, Algorithm for Image Processing and Computer Vision, Wiley Computer Publishing，176-188.

Stentiford, F.W. M. and R. G. Mortimer., 1983, Some New Heuristics for Thinning Binary Handprinted Characters for OCR. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics. 13(1):81-84.

United Nations, 1999. Mapscan for Windows Software Package for Automatic Map Data Entry User's Guide and Reference Manual. New York.

Zhang, S. and K. S. Fu., 1984, A Thinning Algorithm for Discrete Binary Images. Proceedings of the International Conference on Computers and Application. Beijing, China. 879-886.

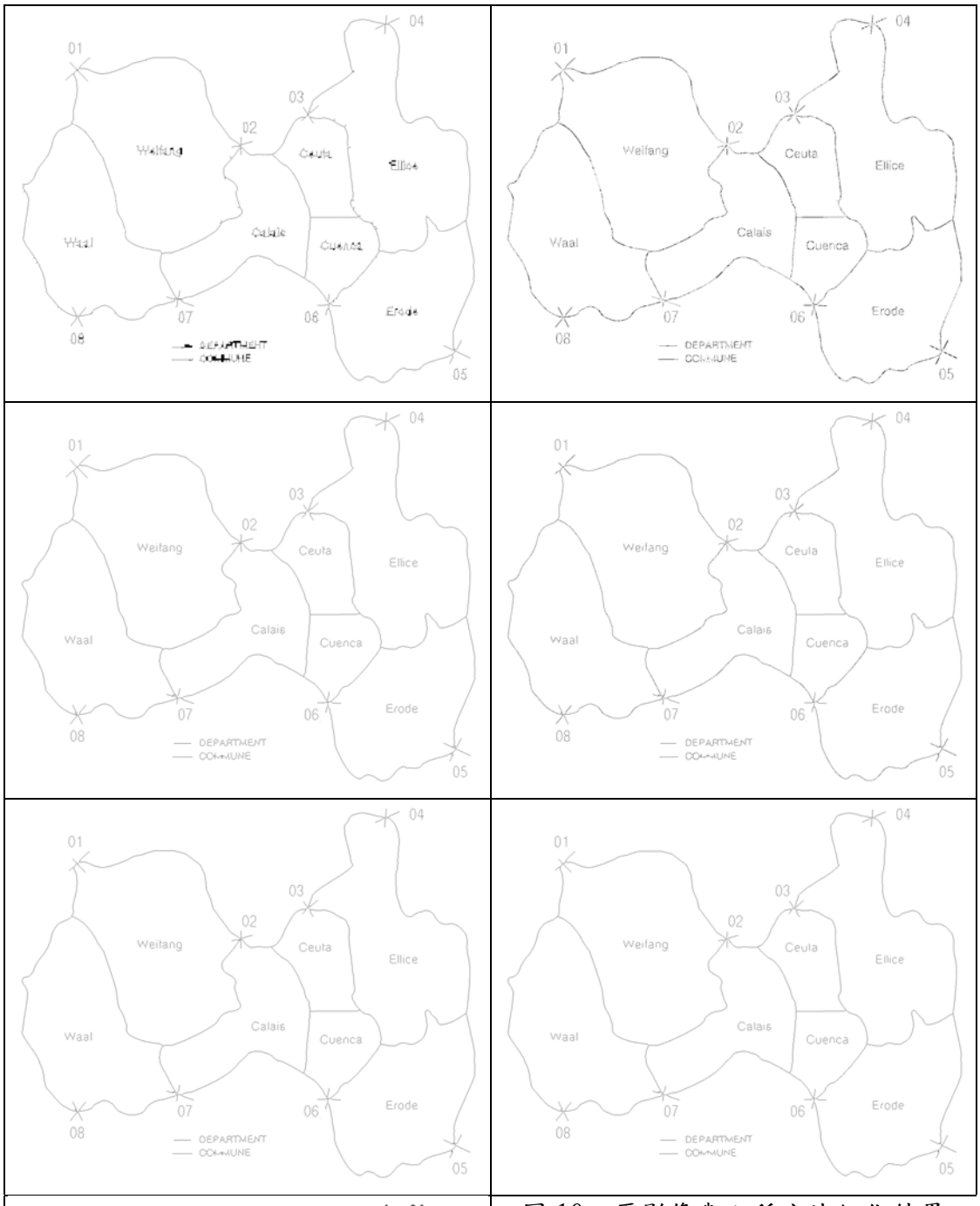


圖 10、原影像與六種方法細化結果

(a)contourh 法細化結果	(b)mat 法細化結果
(c)Stentiford 法細化結果	(d)Z-S 法細化結果
(e)Z-S+Holt 法細化結果	(f) Parker 提出之混合細化法結果
(g)meta_ctr.pcx 測試影像	

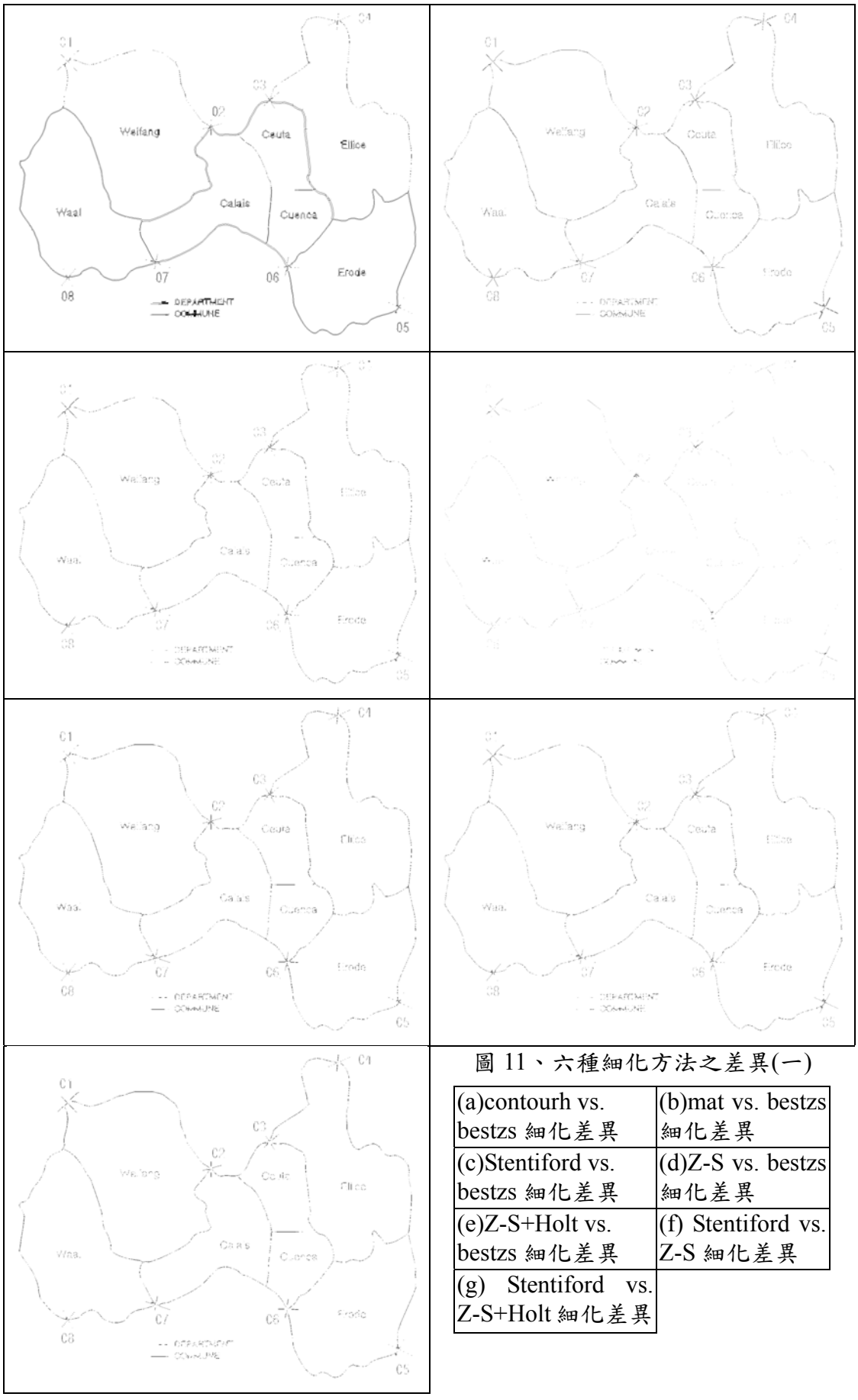


圖 11、六種細化方法之差異(一)

(a)contourh vs. bestzs 細化差異	(b)mat vs. bestzs 細化差異
(c)Stentiford vs. bestzs 細化差異	(d)Z-S vs. bestzs 細化差異
(e)Z-S+Holt vs. bestzs 細化差異	(f) Stentiford vs. Z-S 細化差異
(g) Stentiford vs. Z-S+Holt 細化差異	

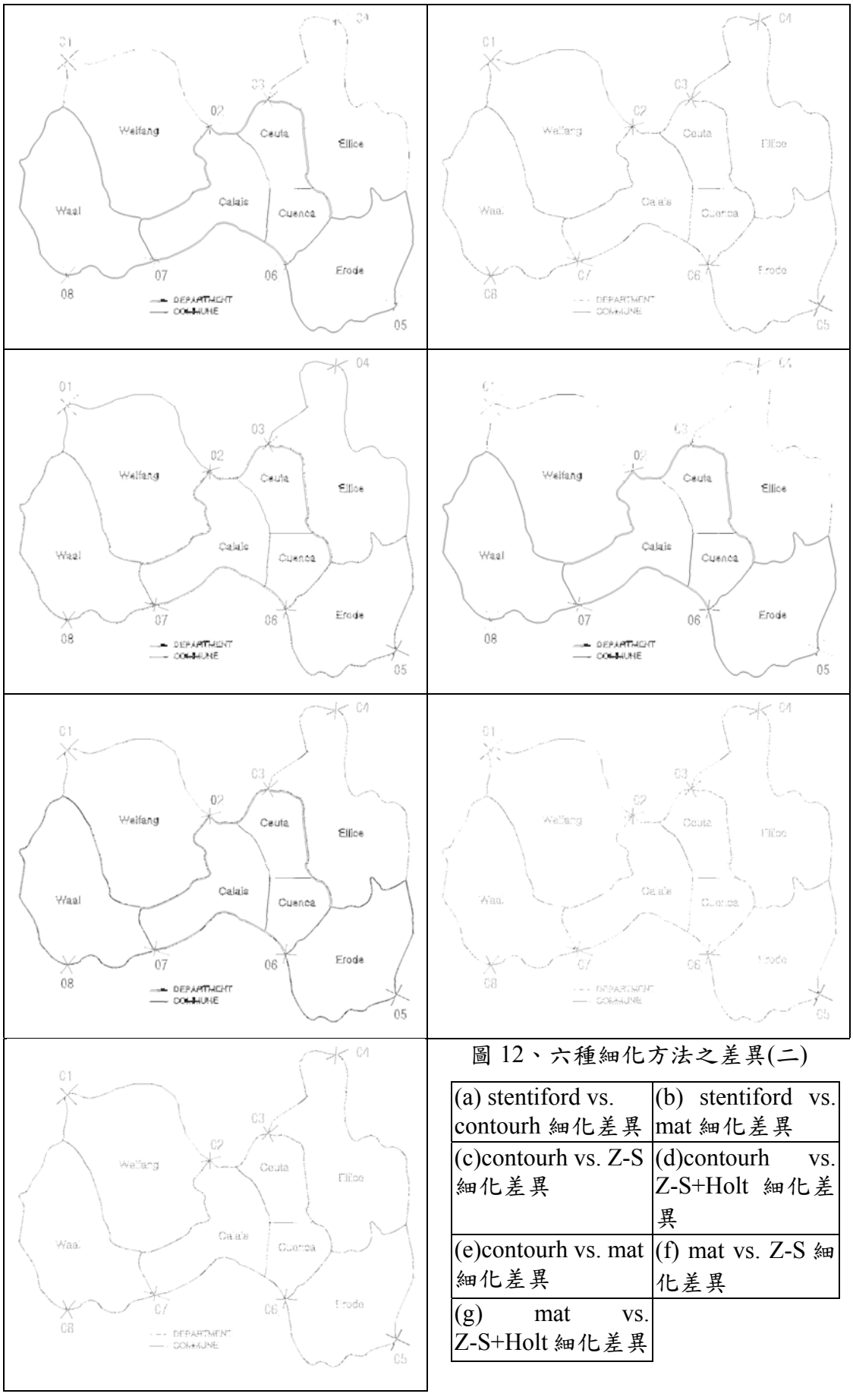


圖 12、六種細化方法之差異(二)

(a) stentiford vs. contourh 細化差異	(b) stentiford vs. mat 細化差異
(c)contourh vs. Z-S 細化差異	(d)contourh vs. Z-S+Holt 細化差異
(e)contourh vs. mat 細化差異	(f) mat vs. Z-S 細化差異
(g) mat vs. Z-S+Holt 細化差異	

表 1、六種細化方法執行效率

實驗區	影像大小		細化方法					
			bestzs	Stentiford	Z-S	Z-S+Holt	contourh	MAT
Contour	1723	1150	19	17.9	13.51	15.54	15.6	38664.5
Katmandu	3056	2256	50.31	56.9	44.54	47.84	43.94	5747.24
Meta_ctr	1736	1432	19.28	29.44	16.65	20.87	22.74	1705.49
Metaland	1736	1432	16.2	27.19	14.83	16.42	105.18	1655.46
Sec81	2451	2557	43.23	61.02	39.6	41.97	51.08	152.2
Sec82	1994	2543	34	48.06	30.65	37.51	34.49	999.58
sri	1776	2952	33.18	44.66	29.66	30.98	33.67	6967.91
平均時間			30.7428	40.7385	27.0628	30.1614	43.8142	7984.63
執行時間標準差			13.1411	16.19841	12.40963	12.881443	29.5763	13765.4

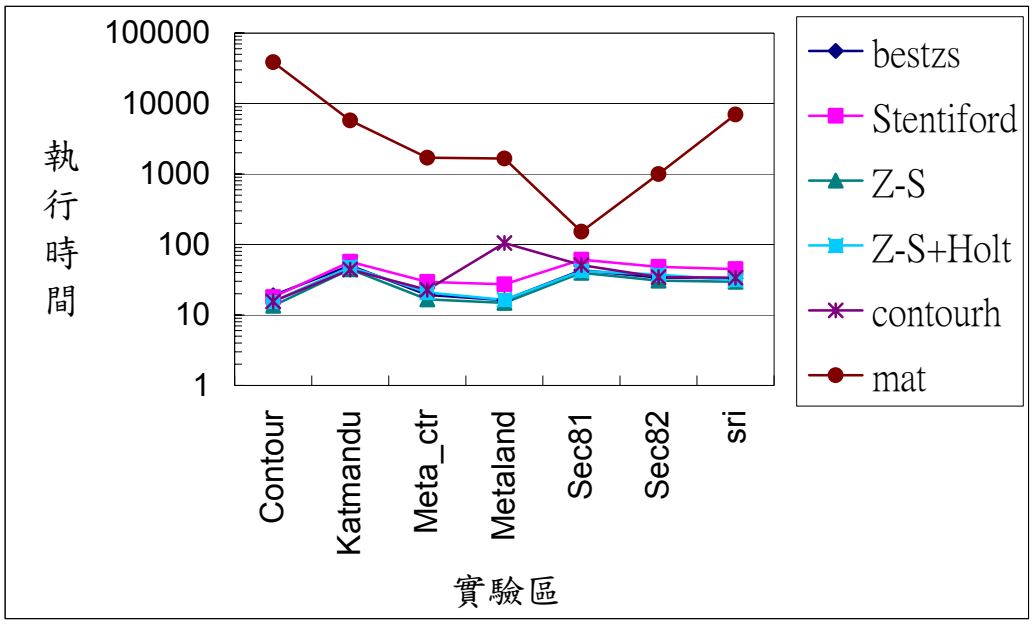


圖 13、六種細化方法執行效率比較