

山脊或山谷地形軸線的循序侵蝕辨識法

張逸中

致遠管理學院電腦與通訊學系助理教授，E-mail: ycc@dwu.edu.tw

摘 要

在地理資訊領域中，山脊或山谷地形軸線的自動化辨識與擷取是個重要的研究議題。緣於數位地形資料與數位影像格式的相似性，本研究以影像處理領域中主要用於字元辨識的細線化處理程序為基礎，使其中的影像侵蝕程序能循序的參考地形資訊進行，最終得到山脊或山谷地形的軸線。

關鍵字：山脊、山谷、地形、辨識、循序、侵蝕、細線化

96 年 11 月 12 日	收稿
96 年 12 月 11 日	修正
96 年 12 月 18 日	接受

A Sequential Erosion Algorithm for Ridge and Valley Axes Automatic Recognition

Yet-Chung Chang, Assistant Professor

Department of Computer and Communication, Diwan College of Management

Abstract

The recognition of ridge and valley axes is an important issue in geographic information science. Based on the similarity of digital topographic and image data structure, this paper provides a new algorithm for this purpose, which is basically deduced from the thinning algorithm used in Optical Character Recognition in the field of image processing. The erosion procedure in the thinning algorithm has been modified to sequentially consider the topographic information as a guide. As a result, the axes of ridge or valley axes can be recognized automatically and correctly by the new approach, which is also faster in execution speed and briefer in operation procedure than most existed algorithms for similar purpose.

Key words: Ridge, Valley, Topographic, Recognition, Sequential, Erosion, Thinning

壹、研究背景介紹

在地形資訊的分析處理中，山脊通常代表地質活動的範圍或人文地理區域的界線，山谷則與流域分佈等水文資訊分析高度相關，要進一步運用這些資訊，山脊與山谷軸線的辨識就是一個重要的工作。截至目前，此類工作仍然以傳統的目視手動方式進行居多，但是因為需要耗費大量人力，且品質難以保持一致，許多自動化辨識的研究應運而生。其中包括以等高線為基礎的辨識(如 Aumann, et. al., 1991[2]; Thibault and Gold, 2000[12])以及網格化的數位地形資料(Digital Elevation Model, DEM)為基礎的辨識(如 Mark, 1984[9]; Chang, et.al. 1998[5])，其中後者已經成為主流的方式。

在辨識方法上，目前多數學者採用虛擬水流的方式(如 Chorowitz, et. al., 1992[7]; Martz and Garbrecht, 1992[10])，但是這僅適用於有連續下坡特徵的河流辨識，對於辨識不保證連續下坡的山脊或非水流侵蝕的山谷並無幫助。另一種方法的嘗試是連結所有可能的山脊或山谷目標點形成網絡，並設計運算法簡化此網絡成為樹枝狀軸線(Chang, et. al. 1998[5]; Chang and Sinha, 2007[6])，這種方法可以同時用在山脊或山谷的地形，但是目前仍有目標點定義困難、斜線方向辨識不合理以及計算時間太長等缺點。

另一方面，在影像辨識的領域中也有許多辨識影像線條或骨架的研究(Arcelli and Ramella, 1995[3]; Hu, et. al. 1996[8]; Wong, et. al. 2005[13])，這些方法對於字元辨識(Optical Character Recognition, OCR)以及機器視覺來說是重要的基礎。張(Chang, 2007[1][4])並將類似方法應用於地形灰階影像，配合數位地形的空間濾波(Sonka, et. el. 1998[11])、影像二值化及細線化(Thinning)程序，可以快速分析出可能的山脊與山谷軸線。但其方法仍有一些缺陷，包括：空間濾波與二值化過程都需要操作者的主觀判斷，有損其自動化的程度；細線化的影像侵蝕過程中並未參考地形的高度資訊，因此軸線位置不確定為山脊剖面的最高點。

本研究仍以字元辨識中的細線化處理運算法為基礎，使其依據地形標高由低向高循序進行資料點侵蝕，遇到線狀高凸的地形會以保持連續線條的邏輯保留其最高處的軸線，最終可以得到僅一個資料點寬度的山脊地形線；如果將地形高低反轉亦可得到山谷軸線。為了簡化在實務應用上不必要的，過於細小或短促的地形線，接下來並使用 Chang 等人(Chang, et. al. 1998[5])提出的多邊形拆解(Polygon Breaking)以及分支縮減(Branch Reduction)等運算法，依據使用者需求將軸線網絡簡化到需要的程度。

貳、方法設計

此方法使用的分析資料是網格化的數位地形，與一般的數位影像相似，每個資料點都有唯一的水平與垂直座標，地形的標高在此對等於數位影像中各點的顏色資訊。在字元辨識的細線化運算過程中，會反覆侵蝕某個目標顏色區塊（文字）的邊緣像素，直到剩下單一像素寬度的軸線，也就是目標字元的骨架。在此我們保留其不截斷線狀特徵的運算邏輯，但是侵蝕點的處理次序不以其是否為區塊邊緣決定，而是以各點的地形標高排定。這個次序準則使得最後剩下的軸心線確定會是相對地形最高的山脊；相對的，原來的侵蝕運算法找到的軸線會是目標區（山脈）的幾何中心位置(Chang, 2007[1] [4])，不保證為山脊高點。

簡言之，在此設定的侵蝕法則是：一、依據資料點的標高由低而高進行侵蝕與否的運算；二、任一點的刪除若會中斷或者縮短已呈線狀的特徵，則不刪除。實作程序設計如下：

1. 選定資料區內未處理的最低標高資料點(C)。

2. 檢視 C 點週遭 8 個鄰點目前的刪除狀態

甲、計算總共未刪除點數(A)

乙、計算總共未刪除點形成的分支數(B)

1. 狀況分析與決策：

甲、 $A=1$ and $B=1$ ：線端點→不刪除

乙、 $A>1$ and $B>1$ ：連接點($B=2$)或分岔點($B>2$)→不刪除

丙、其餘狀態→刪除

2. C 標示為已處理，重複步驟 1~3，直到所有點處理完畢。

圖 1 展示出四種可能的鄰點分布狀態，可以進一步說明以上的邏輯判斷條件。灰色點表示未刪除，白色點表示已刪除，分析結果如下：

(a) $A=1$ and $B=1$ → 端點，不應刪除

(b) $A=2$ and $B=2$ → 線連接點，不應刪除

(c) $A=3$ and $B=3$ → 三路分岔點，不應刪除

(d) $A=3$ and $B=1$ → 一般邊緣點，應刪除

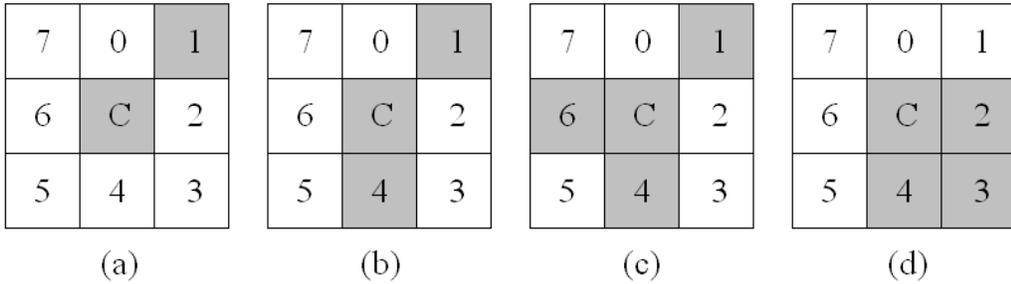


圖 1 鄰點分布狀況範例圖

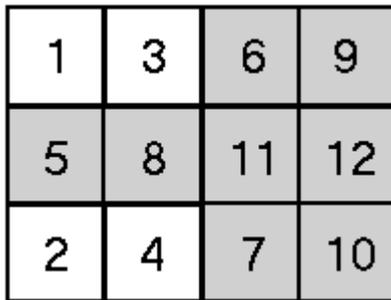


圖 2 潛在山脊軸線形成示意圖

圖 2 為一個山脊軸線辨識過程示意圖，每一方塊代表一個地形點，其中數字正比於其高度。我們可以依照上述的運算法則依序刪除點 1~4，但是在考慮第 5 點時它已經成為一個端點，一段山脊線的起點出現，必須保留；接下來繼續可以刪除 6~7 點，但點 8 屆時已是連接點，必須保留。最終，圖中的點 5, 8, 11 與 12 應會成為此項侵蝕運算留下的山脊軸線。

參、成果展示

圖 3 為台灣中部南投縣埔里附近 100X100 網格點的區域地形資料灰階影像圖，深色為低，淺色為高。圖 4 為根據上述法則分析的結果，各未刪除的資料點與其最近鄰點以紅線相連接。與背景的地形影像比較，可以看出運算結果相當合乎目視人為判斷的預期。

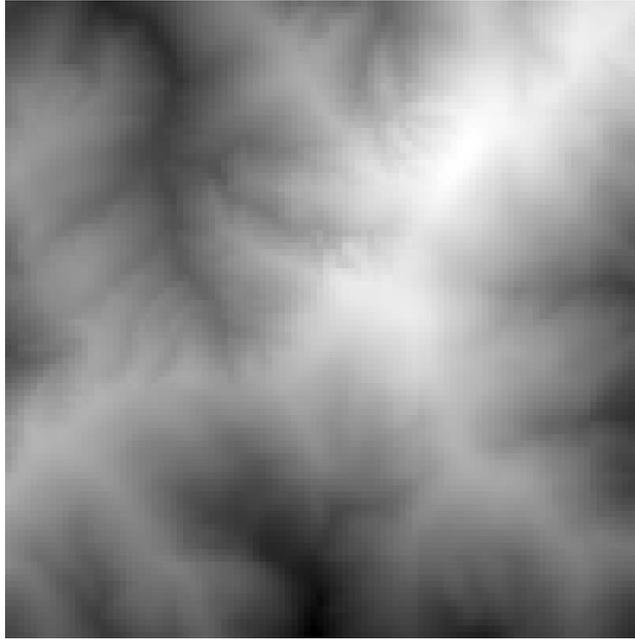


圖 3 原始地形影像圖

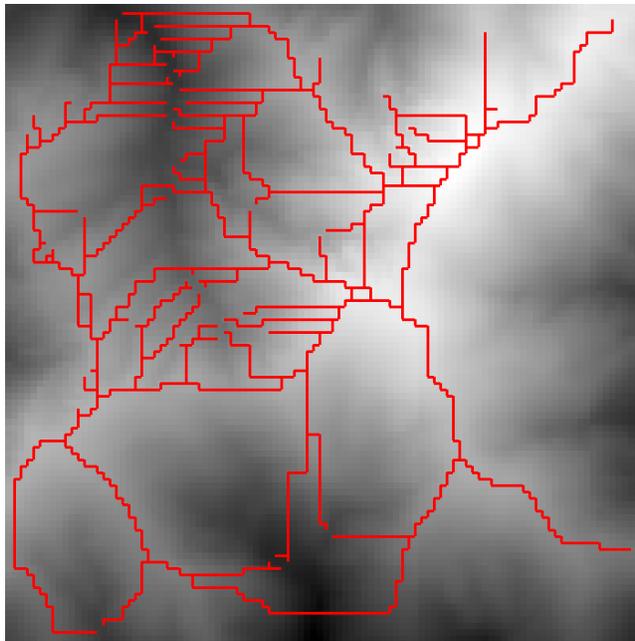


圖 4 循序侵蝕法演算結果圖

圖 4 分析結果雖然合乎數學邏輯，但對於一般使用者來說，許多過於短促的山脊分支實質意義不大，卻妨害了讀者對於全圖資料的閱讀與理解。在 Chang 等人(1998[5])的著作中對此有具體的解決方案，首先是使用多邊形拆解法，將線段群形成的各個封閉曲線中最不重要（在此就是標高最低）的一個線段刪除，結果如圖 5。這將使得所有的線段群成為徹底的樹枝狀 (Dendritic) 型態，每個端點對應於一個分支的末梢或獨立線段的一個端點。

此時分支縮減程序可以追蹤每個端點延伸到另一個端點（分支根部或者另一端點）的長度，依使用者的需求刪除某長度以下的分支，圖 6 為分支縮減 10 點長度以下分支後的結果，可以看到短分支與孤立的短線段都可以一併成功清除。

圖 7 是將地形辨識目標反轉獲得的山谷軸線圖，基本上山谷地形都能被標示出來，但是與一般人對於河流定義的認知尚有差距，譬如『分水嶺』並未將線段切割；以及接近邊界的點因為缺少周邊參考點，因此刪除狀況不太正常。換言之，此項分析方法若需要合理使用為『自動化流域擷取』(Automatic Drainage Extraction)的工具，還需要作進一步的流域特性條件設定，在此不再深入討論。

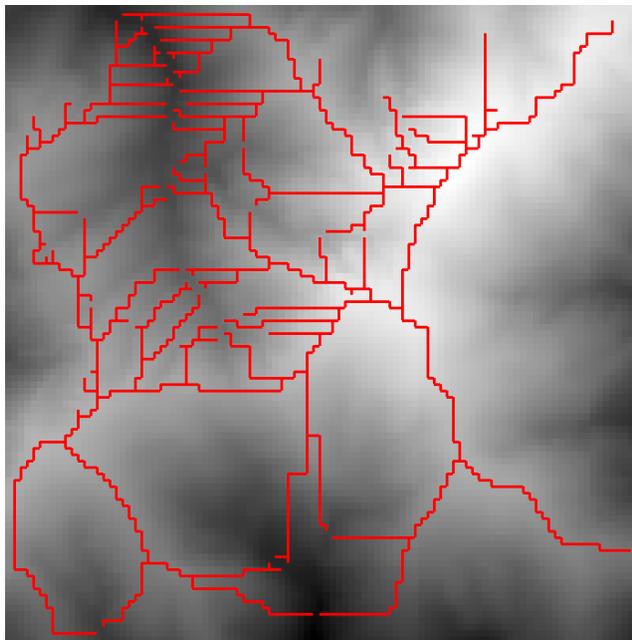


圖 5 多邊形拆解演算結果圖

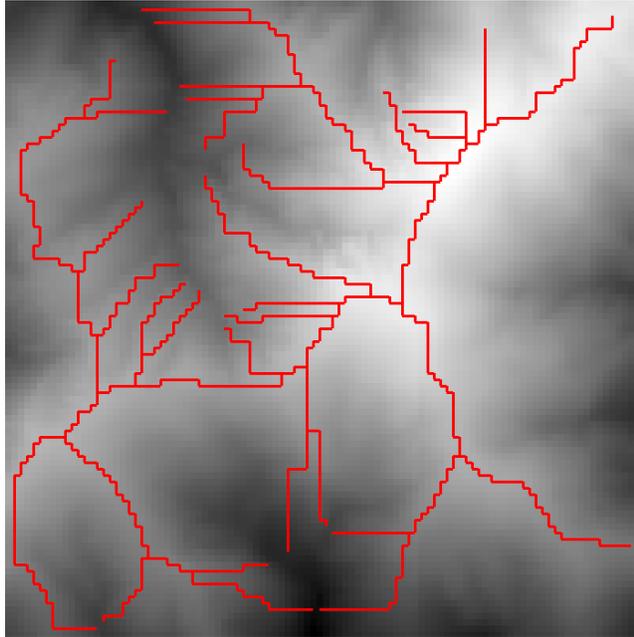


圖 6 清除 10 點長度以下分支的演算結果圖

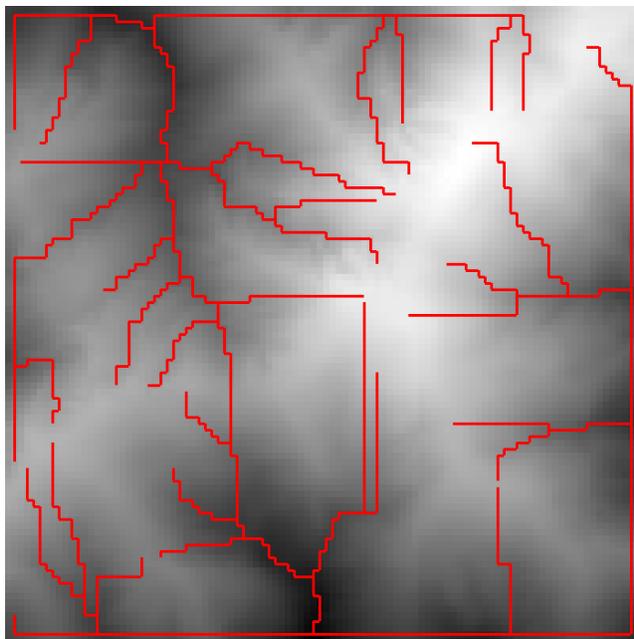


圖 7 山谷軸線辨識結果圖

肆、討論

山脊與山谷軸線的辨識對於地形資訊的進階使用相當重要，如地質構造的解釋、地理區的劃分乃至流域集水區的範圍界定等等。但截至目前為止，多數此類工作仍仰賴人為操作，自動分析方法的效能仍處於研究探索的階段。

以地形資料為基礎的自動分析方法中，除作者之前的研究(1998[5];2007[6])之外，皆以虛擬水流概念為基礎(Chorowitz, et. al., 1992[7]; Martz and Garbrecht, 1992[10])，根據水往下流的原則，依地形坡度計算流向路徑，進而獲得各資料點的水流流經機率。不過這類方法只能處理山谷或河流地形，對於不保證連續下坡的山脊軸線則無分析能力；另一方面，虛擬水流提供的運算結果是各點水流集中與否的統計值，並無直接依據地形資訊可以獲致的目標辨識準則，通常必須參考衛星、航照影像或現地調查等額外資訊才能界定河流的軸線目標。

作者之前(1998[5])提出了稱為 PPA(Profile recognition and Polygon breaking Algorithm)的運算法，可以完全依據地形資訊同時完成山脊與山谷的辨識。但是其方法中的目標點模糊辨識(Profile Recognition)雖然解決了軸線連續性的問題，卻也造成目標位置的不確定性，對於後續處理造成許多困擾，尤其在網格斜角方向會出現不合理的平行山脊線。雖然後續的研究(Chang and Sinha, 2007[6])解決了部份的問題，但也使資料處理程序趨於複雜，效能也更不易評估。此外，PPA 主要的運算程序『多邊形拆解』運算邏輯仍然過於複雜，且運算耗時，間接影響了新方法的後續研究與使用。

本研究的原始動機是認知到影像辨識的『細線化處理』與 PPA 的『多邊形拆解』運算之目的與過程皆十分相似，但後者以線段群為運算基礎，複雜度遠高於以資料點為運算基礎的前者。如果能以細線化的點運算達成類似多邊形拆解的功能，必可大幅簡化辨識理論與方法，同時提高效率。

兩運算法的一個主要差異是：多邊形拆解依序由標高低的線段處理至高的線段，過程中同時考慮平面（多邊形形狀）與垂直資訊（地形）；細線化處理過程中，資料點侵蝕與否則僅參考平面資訊（是否為邊緣點），垂直向的（顏色）資訊則被極度簡化（像素值只有黑白之分）。因此本研究的首要步驟是將完整的垂直資訊（地形標高）加入細線化的運算邏輯之中。過程中作者發現細線化必須的二值化前置處理在此可以省略；且多數細線化程序考慮到侵蝕不均勻的情況，必須將侵蝕方向加以限制，程式邏輯因此變得複雜，在此也可以省略。依據自然標高進行細線化侵蝕程序自然會收斂到山脊的軸線位置，無需限制方向。

簡言之，在成功測試與建立本運算法則之後，作者發現其程式邏輯不僅比原有的 PPA 運算

法簡化許多，也比多數字元辨識方法中的細線化處理程序精簡。更重要的，此方法沒有如 PPA 的模糊辨識產生的軸線位置不確定的問題，即使是斜向的山脊線也都能收斂為單一的資料點寬度（圖 4~圖 7）。

伍、結論

本研究提出一個稱為『循序侵蝕辨識法』的新運算程序，基本上修改自影像處理字元辨識領域的細線化運算法，但強調侵蝕像素點的次序除依據目標區塊的幾何形狀之外，也同時參考地形高度。此程序證實可以成功的在數位地形資料上進行山脊山谷地形軸線的自動化辨識。

參考文獻

- [1] 張逸中, (2007), 「以影像處理技術為基礎的山脊山谷軸線辨識」, 2007 年台灣地理資訊學會年會暨學術研討會, 論文編號 A116GY, 摘要集第 20 頁。
- [2] Aumann, G., Ebner, H., Tang, L., (1991), "Automatic derivation of skeleton lines from digitized contours," *ISPRS J. Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol.46; p.259-268.
- [3] Arcelli, C., Ramella, G., (1995), "Finding grey-skeletons by iterated pixel removal." *Image and Vision Computing*, Vol.13; No.3, p.159-167.
- [4] Chang, Y.C., (2007), "A Program For Ridge And Valley Axes Extraction Based on Image Processing Techniques," submitted to *Computers & Geosciences*.
- [5] Chang, Y.C., Hsu, S.K., Song, G.S., (1998), "Automatic extraction of ridge and valley axes using the profile recognition and polygon breaking algorithm," *Computers & Geosciences*, Vol.24; No.1, pp.83-93.
- [6] Chang, Y.C., Sinha, G., (2007), "A Visual Basic program for ridge axis picking on DEM data using the Profile-Recognition and Polygon-Breaking Algorithm," *Computers & Geosciences*, Vol.33; No.2, pp.229-237.
- [7] Chorowitz, J., Ichoko, C., Riazano, S. and Kim, Y. J. (1992), "A combined algorithm for automated drainage network extraction," *Water Resources Research*, Vol.28; pp.1293-1302.
- [8] Hu, Y.-J., Lin, C.S., Chang, R.-S. (1996), "A new thinning algorithm and its applications," *Journal of Optics (India)*, Vol.25; No.2, pp.133-146.
- [9] Mark, D.M., (1984), "Automated detection of drainage networks from digital elevation models," *Cartographica*, Vol.21, pp.168-178.
- [10] Martz, L.W., Garbrecht, J. (1992), "Numerical definition of drainage network and subcatchment areas from digital elevation models," *Computers & Geosciences*, Vol.18; No.6, pp.747-761.
- [11] Sonka, M., Hlavac, V., Boyle, R. (1998), "Digital Image Processing, Analysis and Machine Vision," *Academic Press, International Thomson Publishing Company*, pp.59-83.

- [12] Thibault, D., Gold, C.M.(2000), "Terrain reconstruction from contours by skeleton construction," *GeoInformatica*, Vol.4; No.4, pp.349-373.
- [13] Wong, W., Shihb, F. Y., Sua, T. (2005), "Thinning algorithms based on quadtree and octree representations," *Information Sciences*, Vol.176; No.10, pp.1379-1394.