

國立臺灣大學海洋研究所博士論文

指導教授：宋國士 博士

二維地球物理資料之自動化線型描繪

Automatic extraction of linear features on 2-D
geophysical data

研究生：張逸中 撰

學號：D80210009

中華民國八十六年六月

摘 要

對於大多數的二維地球物理資料而言，其中蘊含的地質訊息常以一些線型特徵呈現。如地形圖上的山脊峻線、谷軸或斷崖邊緣常代表構造活動之軸線或地形區的邊界；震測剖面中的反射層面通常代表地下地層的交界或不整合面；衛星影像中的輪廓線常能顯示線型地形之走向或地表岩性變化的交界；重力或磁力值的線型變化常代表地下火成岩體的邊界等等。

傳統上，資料解釋者如需直接標示此類特徵之軸線，多以手繪方式進行，此舉除耗費較多人力外其客觀性亦常受質疑。目前於各類資料領域中已有學者提出數種可自動化執行此項工作的方法，但尚未為學界廣泛使用。本研究之目的即為整理既有之自動化線型描繪文獻，分析其資料處理過程，提供一可廣用於各類線型描繪的處理架構，並依此設計一程式 ALEP(Automatic Line Extraction Program)。相較於之前的研究，ALEP 於技巧上較為妥善的擴大了程式決定連線的視野，使分析結果更為接近資料解釋者的期望。本文中將以地形、衛星影像、震測剖面及模擬之磁力資料為例介紹其描繪線型之能力，以及在不同資料間的通用性。

Abstract

The linear features on most kinds of 2D geophysical data generally provide important information to help the geological interpretation. For example, the ridge and valley axes, or the edge of linear cliffs within an orogenic area can reveal the direction of crust deformation; the reflector lines on a seismic profile can show the contacts of the subsurface strata; the lineaments on a satellite image generally imply the strikes of linear topographic features or the contact of different rock types on the surface and the abruptly change of gravity or magnetic field are usually the edge effect of the subsurface volcanic bodies.

In most cases, the linear features are extracted manually by the interpreters. The drawbacks of manual process come from the tedious line tracing tasks and the results can not be always objective. So far, some automated line extraction processes had been developed for data like seismic profile or digital image. In this paper, the author construct a general processing procedure for all kinds of line extraction on 2D geophysical data and design a program ALEP (Automatic Line Extraction Program) which can be employed to accomplish many kinds of line extraction jobs, including the features on topography, seismic profile, digital image and magnetic data.

目 錄

中文摘要	1
英文摘要	2
目 錄	3
圖表目錄	5
第一章 緒論	7
1-1 目標特徵產生的物理過程及地質意義	7
1-1-a 地形特徵	7
1-1-b 數位影像輪廓	9
1-1-c 震測剖面中的反射層面	10
1-2 線型特徵之辨認函數	12
1-2-a 山脊或谷軸的辨識	12
1-2-b 斷裂地形的辨識	13
1-2-c 數位影像輪廓的辨識	13
1-2-d 震測反射層面的定義	14
1-2-e 二維圖幅上的多方向目標辨認	14
1-3 連線的決定	15
第二章 ALEP 之原理及主要步驟	18
2-1 資料轉換	18
2-2 目標辨認	21
2-3 線段聯結	23
2-4 雜訊處理	24
2-4-A 低加權點排除	24
2-4-B 多邊形拆解	24
2-4-C 低加權線段排除	24

2-4-D 尾端縮減.....	24
2-4-E 短分枝清除.....	27
2-4-F 小線段群清除.....	27
2-5 連線平滑化.....	27
2-6 ALEP 中必要的參數與選取原則.....	31
第三章 ALEP 對山脊軸線之描繪.....	34
3-1 資料轉換.....	34
3-2 目標辨識及聯結.....	34
3-3 多邊形拆解.....	37
3-4 雜訊處理及連線平滑化.....	38
3-5 有關廣域洞察力的測試.....	38
第四章 ALEP 對多種線型特徵之描繪.....	45
4-1 山谷谷軸與自動化流域粹取.....	45
4-2 斷裂地形邊緣.....	47
4-3 數位影像之輪廓.....	55
4-4 震測剖面之層面.....	58
4-5 模擬地下磁體之邊界描繪.....	62
4-6 ALEP 應用於海底地形分析的實例.....	65
4 - 7 資料點分佈對分析結果的影響.....	70
第五章 討論.....	76
5-1 連線處理的技術.....	76
5-2 平面加權與傳統運算.....	77
5-3 ALEP 的彈性及通用架構.....	77
5-4 廣域洞察力的增進.....	78
5-5 ALEP 的改進發展空間.....	79

第六章 結論.....	80
參考資料.....	81
附錄 A：路徑搜尋之程式設計.....	85
附 錄 B : A L E P 原 始 程 式.....	87

圖表目錄

圖 1-1 台灣北部陸地及東北外海地形區圖	8
圖 1-2 衛星影像之圖例	10
圖 1-3 震測剖面之圖例	11
圖 2 - 1 A L E P 之 資 料 處 理 流 程	19
圖 2-2 平面加權運算之參考平面及方向分區示意圖	20
圖 2-3 剖面辨識之示意圖	22
圖 2-4 ALEP 之鄰點編號示意圖	22
圖 2-5 尾端縮減示意圖	26
圖 2-6 短分枝清除示意圖	28
圖 2-7 小線段群清除示意圖	29
圖 2-8 連線平滑化示意圖	30
圖 3-1 山脊描繪測試區之位置及地形加權影像圖	35
圖 3-2 山脊目標辨認及線段聯結圖	36
圖 3-3 多邊形搜尋及拆解示意圖	37
圖 3-4 圖 3-2 經多邊形拆解之結果	39
圖 3-5 圖 3-4 經尾端縮減及短分枝清除後之結果	40
圖 3-6 圖 3-5 經連線平滑化處理之結果	41
圖 3-7 台灣全島山脊軸線圖	42
圖 3-8 局部高點山脊辨識造成之不合理線段聯結	43
圖 4-1 台灣全島山谷軸線圖	46
圖 4-2a 宜蘭地區地形影像圖	48
圖 4-2b 宜蘭地區谷軸連線圖	49
圖 4-2c 宜蘭地區河流水系圖	50
圖 4-3a 斷裂地形辨認公式之示意圖	52
圖 4-3b 斷裂地形的剖面實例	52
圖 4-3c 斷裂地形辨認公式執行之結果	52

圖 4-4a 台灣東北外海斷裂狀地形之加權影像圖.....	53
圖 4-4b 台灣東北外海斷裂狀地形之線型描繪圖.....	54
圖 4-5a 圖 1-2 數位影像之線型特徵加權影像圖.....	56
圖 4-5b 數位影像之線型描繪圖.....	57
圖 4-6a 模擬之一維震波.....	59
圖 4-6b 震波到達點辨認公式之運算結果.....	59
圖 4-7a 圖 1-3 之加權值影像圖.....	60
圖 4 - 7 b 排除 50% 加權點之加權值影像圖.....	60
圖 4-7c 反射層面線型描繪圖(9 點直徑之參考平面).....	61
圖 4-7d 反射層面線型描繪圖(20 點直徑之參考平面).....	61
圖 4-8a 模擬之地下磁體及其磁力分佈.....	63
圖 4-8b 磁體邊緣強化之處理結果.....	64
圖 4-8c 磁體邊緣之線型描繪.....	64
圖 4-9a 台灣西南沿海之棚裂地形線型描繪.....	66
圖 4-9b 台灣西南沿海之三個海底地形剖面.....	67
圖 4-10a 台灣北部外海的斷裂地形加權值分佈圖.....	68
圖 4-10b 台灣北部外海的斷裂地形線型描繪圖.....	69
圖 4-11a 台灣北部外海測深航線分佈圖.....	72
圖 4-11b 龜山島周邊之 3-D 斷裂地形線型描繪圖.....	73
圖 4-11c 合理網格間距決定之線型描繪.....	74
圖 4-11d 網格間距過小時的線型描繪.....	75

第一章 緒論

對於大多數的二維地球物理資料而言，其中蘊含的地質訊息常以一些線型特徵呈現。如地形圖上的山脊峻線、谷軸或斷崖邊緣；震測剖面中的反射層面；衛星影像中的輪廓線等等。如何明確客觀的標示此類線型特徵的軸線及走向常為地質解釋工作的一個基本步驟，這也是自動化線型描繪研究的主要目的。

在二維圖幅上進行線型描繪的主要步驟可概分為：一、了解各目標特徵在資料圖上所以存在的物理過程及地質意義；二、決定該特徵的數學定義以辨認或凸顯它們；三、以連線方式描繪特徵之軸線。其中一、二兩項隨資料種類的不同而有相當的差異，第三項則與資料種類關連較小。以下分別以地形、數位影像及震測剖面為例說明自動化線型描繪的一般過程。

1-1 目標特徵產生的物理過程及地質意義

1-1-a 地形特徵

常見於地形圖上的線型特徵包括山脊、谷軸及斷裂地形(斷崖)等三類。通常擠壓性的構造活動易於產生垂直其應力方向的山脈或谷地；而張裂性的構造活動或侵蝕作用則易於產生斷裂地形或山谷。因此地形上的線型特徵於地質解釋上的意義包括：一、於擠壓性活動區內以山脊或谷軸呈現應力之方向或分佈；二、於張裂性活動區內以谷軸顯示可能的張裂軸，以斷裂地形顯示其影響的邊界；三、以谷軸連線的分佈表現可能的河流水系，或以斷裂地形表達侵蝕活動的範圍。

以台灣北部陸地以至東北外海的地形為例(圖 1-1)，此區的陸上地形以造山運動形成的山脈為主體，山脈走勢略呈東北—西南向。從這些山脊的線型分佈，可以呈現出造山運動在此區的擠壓應力接近西北—東南走向。

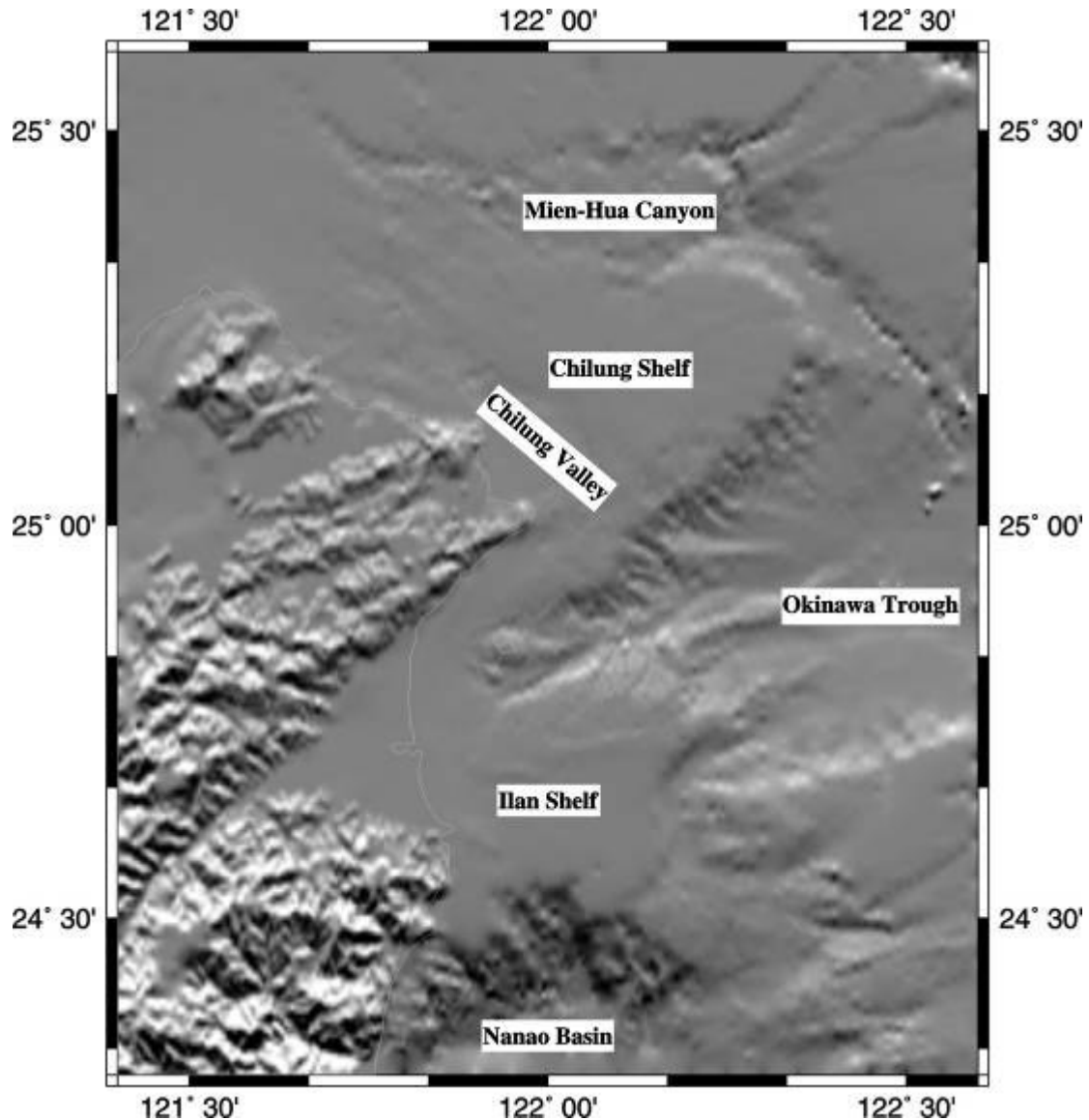


圖 1-1 台灣北部陸地及東北外海地形區圖，照明光源來自正北方。

在海底地形方面，此區內包含了東面的沖繩海槽(Okinawa Trough)，北面的棉花峽谷(Mien-Hua Canyon)、基隆陸棚(Chilung Shelf)、基隆海谷(Chilung Valley)及南面的宜蘭陸棚(Ilan Shelf)、南澳海盆(Nanao Basin)等多個地形單元。可以看出這些地形單元中山脊狀的地形線並不顯著，但各地形區的邊界多為明顯的斷裂狀地形，如沖繩海槽與兩個陸棚間的棚裂地形，以及棉花峽谷、基隆海谷的谷緣等等。因此若能明確標示這些斷裂地形所構成的線型特徵，便可完成地形分區的大半工作。

1-1-b 數位影像輪廓

數位影像是由許多不同亮度或色彩的像素(pixel)所組成，其上主要的線型特徵為亮度對比較為強烈的輪廓線。以衛星拍攝之地表影像為例(圖 1-2，摘自 Koike,1995)，影響各像素點亮度的主要因素包括：

- (1)地形因素：越是與入射光源接近垂直的地形面，其入射角越高，也可以產生較強的反射，在數位影像中形成亮的像素；反之，背光或光線由低角度入射之地形則較為陰暗。此項因素通常使坡度改變最大的山脊或谷軸成為明顯的輪廓線。但線型之明顯程度也受到光源入射方向(azimuth)的影響較大，走向與光源接近垂直的線型將較為凸顯。
- (2)地表性質的因素：因地表質地的不同產生的散射(scattering)或光線吸收(absorption)等效應亦可使衛星影像產生不同的亮度，此類效應產生的相對亮度變化較不受光源入射方向的影響。以地質研究的角度而言，因此而產生的亮度變化，代表的通常是地表岩性的不同，而其亮度的輪廓則代表不同岩層在地表的交界線。

一般而言，在地形坡度變化較大的地區亮度主要受地形控制；而在地形平坦處則受岩性變化影響較大。如圖 1-2 因所攝對象為山區，明暗對比的輪廓線基本上對應於地形上的山脊或谷軸。本文第 4-3 節將以此圖為例描繪其光影的輪廓線。



圖 1-2 數位化衛星影像圖。(摘自 Koike et al., 1995)

1-1-c 震測剖面中的反射層面

震測剖面是由多條在時間序列(time series)上記錄的一維震測訊號並排繪製而成。其上最明顯的線型特徵通常是由地層界面的反射訊號側向排列形成的反射層面，如圖 1-3 所示之震測剖面即可看出許多可能為反射層面之線型特徵。震測的基本過程是由地表(或水面)附近產生一有限長度之震波波串，此波串陸續穿透各個地層時，部份能量會由地層的交界面反射回地表而由儀器加以接收記錄。因此一條理想的震波記錄(trace)，是由多個與入射波串波形類似、但到達時間不一的波串相疊而成。

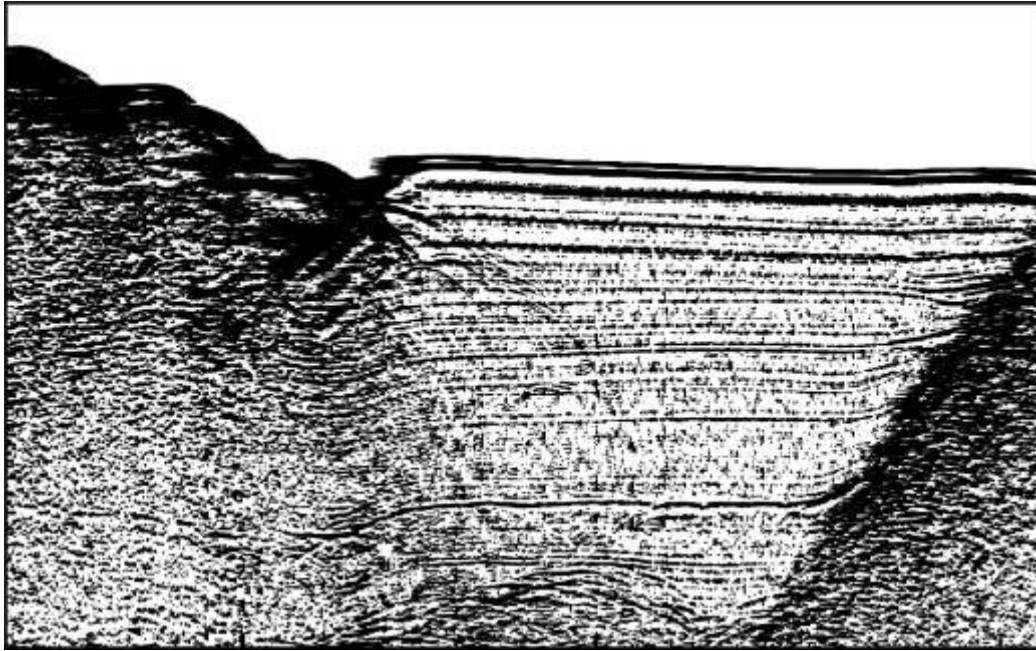


圖 1-3 震測剖面圖之實例

當然在實際的震測過程中尚有許多因素，如背景雜訊、震波繞射、複反射、折射波等，使所得的訊號變得模糊或夾雜了許多並非來自單純地層反射的訊號。這些複雜的情況多數可由傳統的震測資料處理技術加以改進，在此不擬深入討論。但如何以連線表達反射訊號的排列走向，則是我們研究的重點。

簡言之，震測剖面上的反射層面代表的是地層界面離地表的相對深度，若能正確辨認個別的反射訊號並向側面連結成線則可以顯示各地層的深度變化及延伸狀況。而我們需在圖上加以辨認的目標特徵就是與入射波串相似的反射訊號。

1-2 線型特徵之辨認函數

在了解各類目標特徵的型態、成因及地質意義之後，自動化線型描繪的程序需要一個明確的數學公式，以便定性的辨認目標點或定量的衡量各資料點是否與目標特徵相似。

一般而言，既稱為「線型」特徵，通常表示此目標在延本身走向上型態變化較小，但在垂直走向的方向則有較明顯的變化（如山脈或河谷）。此一特點使得線型特徵雖然處身於二維圖幅之中，但在辨認時僅需一個約略垂直於其走向的一維剖面即可。因此各個辨認函數基本上可以設計為單純的一維函數。但另一方面因為我們無法預知線型特徵的走向，因此必須將一維的函數在資料點四周作多方向的運算。以下分別介紹以一維剖面為基礎概念設計的各種線型特徵辨認函數，以及如何作多方向的一維辨識。

1-2-a 山脊或谷軸的辨識

以網格點的尺度而言，山脊或谷軸的一維函數定義非常單純：中心點高於兩側者為山脊；低於兩側者為谷軸。但在人為的線型描繪工作中，我們的最終目的是將一山脈或山谷的連續軸線繪出，如果一山脊峻線的某處偶而出現一平頂的狀況，我們不會刻意中斷此連線。其間的差異在於人為判斷時不但採取一較大的剖面尺度去判斷山脊，同時也考慮著較大資料範圍內線型的連續性。

另一方面，即使是一個實際上完美無缺並無平頂的山脊，一旦網格化後，因為網格點不可能總是落於真實的峻線上，於是因為網格化產生的假性平頂隨時可能出現使山脊線中斷。因此即使我們對地形圖做了低通空間濾波(spatial low-pass filter)，使得地形變化較接近人類視覺的空間尺度，也無法保證連線不會被不當的中斷。

在本文中我們採取了直接增長辨識剖面的方式（詳見 2-2 節）以解決此問題，使剖面長於三個網格點，並允許山頂的辨識有一至兩點的模糊度。換言之，一條山脊線在此法辨識下將由兩列以上的目標點代表，最後再由連線處理的步驟沿著這帶狀目標點選擇最可能的單一連線。至於谷軸的辨識，在本文中基本上只是將地形高低反轉再作山脊辨識而已。

1-2-b 斷裂地形的辨識

斷裂地形的基本特徵是在其兩側的坡度一側平坦一側陡峭，兩者坡度之差越大越可能是斷裂地形的轉折點。以數學運算來說，此點是一個二次微分或稱曲率(curvature)值較高的點，但山脊或谷軸目標卻通常是曲率更高的點。因此我們需要的是一個能顯示地形曲率，卻同時可以抑制或排除山脊或谷軸目標的公式。

斷裂地形與山或谷的基本差異在於它必須有一側的坡度近似乎緩，而山脊或谷地兩側則皆為陡坡。因此以一維剖面的觀點而言，剖面之兩翼是否有一側坡度平緩便是抑制山或谷地目標的重要準則。在本文中使用的辨識加權公式基本上是將「較陡坡坡度絕對值」減去「較緩坡坡度絕對值」。此情況下兩側坡度絕對值相似的山脊或谷軸點可被壓抑為加權低值，而較緩坡須趨近平緩才能得到較高的加權值。經過上述的辨識加權運算後，可能的斷裂地形轉折點將成為加權高值，而我們所需的目標點即是此加權值平面上的山脊狀目標。

1-2-c 數位影像輪廓的辨識

代表影像輪廓的目標點，基本上是在其兩側亮度值變化較大的點。以一維剖面的觀點而言，將資料點置於剖面中央，兩側資料點平均亮度的差值便是很好的目標點加權值。差值越大，其為輪廓點的可能性越高。與斷裂地形辨識相似，輪廓點的決定便是將資料點的原始值轉換為加權值後，選取加權值剖面上的山頂目標作為輪廓點。

1-2-d 震測反射層面的定義

震測剖面中的目標特徵如前所述(見 1-1-c)是沿著時間序列上許多與入射波串相似的訊號。不同於前述幾種目標特徵的是它在二維震測剖面上的方向是固定的，也就是說目標特徵的辨認基本上只

需沿著時間序列的方向進行，不需作多方向的目標辨識。但另一方面，相對於其他幾種特徵，它的複雜度及變化幅度卻是最大的一種。也因此辨識震測反射訊號的相關研究相當豐富(Lu, 1982; Keskes et al., 1982, 1983; Le and Nyland, 1987; Huang, 1987; Love and Simaan, 1984; Chen and Moore, 1988)。

一般的情況下，震測作業時並不會刻意測量入射波串的波形或震幅。於是在衡量訊號波串是否為反射波時，通常只是比較相鄰的震測記錄中時間相近的波串之相似性(Lu, 1982)。如果相鄰記錄中有極為相似的波串則兩波串極可能來自同一反射面，便可視為反射訊號加以相連表示一反射層面。而所謂「相似性」的衡量可來自波形、頻率、震幅、相位或能量等性質(Lu, 1982; Lu and Cheng, 1990)。

在本文中採取了一個較為簡單的概念，亦即：「訊號波串到達點的特徵是在此時刻之前能量甚低，在此之後則能量大增。」因此我們沿時間序列作一個一維剖面，將目標點置於中心，若其後方的能量（震幅之平方和）越是大於前方，則此點越可能是一反射訊號的到達點（詳見 4-4 節）。同樣的，加權值剖面上的山頂目標就是我們期望的反射點。

1-2-e 二維圖幅上的多方向目標辨識

前文提到所謂的「線型」特徵基本上只需以一維剖面即可辨識，但因我們通常無法預知線型的走向，故需多方向的加以衡量。一個簡單的方式就是以資料點為中心多方向的作一維的加權辨識，取各方向中最大的一個加權值為此點的加權值。理論上，如果資料平面為連續函數時其剖面方向並無限制，但一般的數位資料基本上都是以直角座標為基礎的網格化資料點，各方向的資料點密度或間距並不均勻。這使得各方向的剖面加權值運算基礎不一，例如某些任意定出的方向上可能根本沒有資料點可供運算；又或者某些方向所含資料點遠多於另一個方向。

基本上要解決方向不均勻的問題可有兩個思考方向：一是以內差的方式模擬連續函數；一是遷就網格點的分佈以決定方向數及剖面長度。前者是以網格資料為基礎，不論剖面方向為何都在等長度的剖面上內差一群等間距的新資料點進行運算。雖然許多繪圖軟體皆可提供此類產生新剖面的服務，但基於運算時間或效率上的不經濟，在資料處理領域內類似的應用甚為罕見。

至於後者，最常見的應用方式是以九點的網格單元為基礎，作四個方向每個剖面各三點的資料運算(e.g., Blakely and Simpson, 1986)。如果希望運算的視野或方向數大於此架構則必須擴大運算矩陣，如 Koike 等人(1995)的研究中便將矩陣擴張為 11X11，方向數也增為 16 個。在本文中我們提出了一個稱為平面加權(Plane Weighting)運算的架構，此架構基本上是以一圓形參考平面為基礎(詳見 2-1 節，圖 2-2)，將它劃分為八個副區，每區資料的平均值視為此區的特徵值。在運算時則以中心點和八個特徵值模擬九個網格點，作四個方向各為三點剖面的運算。此法基本上可以達到運算簡潔但視野擴張的效果。

1-3 連線的決定

此步驟的目的是將目標點以線段連結，使目標特徵以線條的形式呈現。在人為的線型描繪中，最常見的兩個工作程序是：(1)先將鄰近的目標點聯結為許多或長或短的線段；(2)再根據這些線段在圖幅上分佈的連續性或加權強度，聯結或剔除某些線段，使連線群清晰可讀，彰顯較重要的線型特徵。在現有的自動化程序中，步驟(1)通常可以順利完成(Lu and Cheng, 1990; Koike et al., 1995; Raphavan et al., 1994,1995)，但步驟(2)的線段整理，則因牽涉較複雜的廣域洞察力，在處理上較為困難。

通常程式設計者在線段整理的過程中所使用的資訊包括：目標點的強度及線段的連續性。如 Lu and Cheng(1990)抑制雜亂線段的

方式是先聯結相關性在某一強度以上的反射訊號，使震測剖面形成幾個封閉區間，而下一波較弱的目標點聯結時則受限於這些區間之中。這可以使顯示層面的相對重要性次序井然。如果線段的連續性較受重視，則可以考慮聯結端點接近，且走向類似的線段，以及剔除孤立而短的小線段等等(Koike et al., 1995；Raphavan et al., 1994,1995)。

一般而言，連線處理的技術在地球物理資料處理領域內尚處於起步階段。除以上幾個例子之外，多數的線型特徵粹取(Extraction)研究僅止於凸顯特徵或標定目標點，並未真正執行將目標點連線的動作(Little and Deborah, 1996; Pratson and Ryan, 1996; Blakely and Simpson, 1986; Chorowitz et al., 1992; O'Callaghan and Mark, 1984)。即使是已有的幾例中，其處理方式基本上亦相當簡略，如 Lu and Cheng(1990)、Koike et al.、(1995)以及 Raphavan et al.(1994,1995)等，皆未處理連線分叉的狀況。值得注意的是連線處理基本上是各種線型描繪的共同步驟。換言之，一套良好的自動化連線處理程序可以廣用於各種的線型描繪，具有極高的研究發展價值。

相較於目標辨認過程，對於複雜的連線狀況，程式也必須有較廣的視野或洞察力以協助其作出合理的決定。不同於前者的是它必須處理的對象是一群互相聯結、分叉或孤立的線段群，而不是等距分佈的一群網格點。基本上程式必須具備測知各線段的長短、指向、相對強度及分叉狀況等能力，這與目標辨認時所需的運算過程並不相同。在本文中筆者發展了多種以路徑搜尋為基礎，可處理線段聯結、分叉及考慮線段加權值的連線整理工具。這些程式工具基本上可使連線整理的工作具有接近人為繪線的彈性，但不失自動化處理的客觀性。

概括而言，在現有的自動化線型描繪研究中，於目標辨認或訊號增強方面已有許多研究成果；相對的，可通用於各類線型描繪工

作的連線處理技術發展卻十分有限。本文中筆者自行發展一稱為 ALEP (Automatic Line Extraction Program) 的自動化線型描繪程式，期能以適切而具有廣域洞察力的方式，執行各種目標辨認及連線處理的工作。

此程式的基本架構為：一、針對不同的線型特徵設計一個一維的剖面辨識公式；二、將辨識公式多方向運用於各資料點找出最大的加權值為資料點的加權值；三、標定加權值平面上的山脊狀目標為目標點；四、以連線處理工具程式聯結並整理線段群成為合理的連線。此架構中的第一項基本上可取法於各資料領域中已有的研究文獻，而其後的幾個步驟原則上與資料種類較無關連。相對於之前的相關研究，本文的主要貢獻在於處理複雜連線的能力較為深入。以下章節中將針對 ALEP 之原理、操作步驟及應用實例加以介紹。

第二章 ALEP 之原理及主要步驟

ALEP 全名為 Automatic Line Extraction Program。其原始程式由 FORTRAN 語言撰寫，詳見於附錄 B。程式之主要資料處理步驟包括（見圖 2-1）：(1)資料轉換(Data Transformation)；(2)目標辨認(Target Recognition)；(3)線段聯結(Segment Connection)；(4)雜訊處理(Noise Control)及(5)連線平滑化(Line Smoothing)。在本章中，筆者將詳述各步驟設計之基本原理及執行時的主要原則。至於各處理程序在實際資料上執行之效果於第三及第四章將有較詳盡的介紹。

2-1 資料轉換

此步驟之目的在將資料點之原始值以平面加權的運算轉換成一加權值(Weight)，顯示其與目標特徵的相似性或成為目標點的可能性。經此運算，可能存在之目標點將成為新的資料(加權值)平面上的局部高點，其後之目標辨認步驟只需確認此新平面上的山脊狀目標。因此資料轉換基本上可視為目標辨識工作的一部份或稱為目標加權運算(Target Weighting)。

對於後續的處理步驟而言，任何能夠使代表線型特徵的資料點成為加權高值的運算都可引用在此，且符合此項要件的運算法在各種地物資料處理程式中隨手可得。但本文介紹的平面加權運算可使目標辨認的過程具有較寬廣而彈性的視野。

本研究中設計之平面加權運算方式為：先設定一圓形對稱之參考平面，再將此範圍內之網格點劃分為若干個區域(如圖 2-2)，根據分析目標的不同計算每一方向分區的特徵值。而中心點之加權值即由這些特徵值與中心點原始值的相關運算決定。其運算法視所須辨認目標而異，將在稍後之相關章節中詳述。

此項運算的一個主要特點是它的多方向分區可彈性模擬多方向

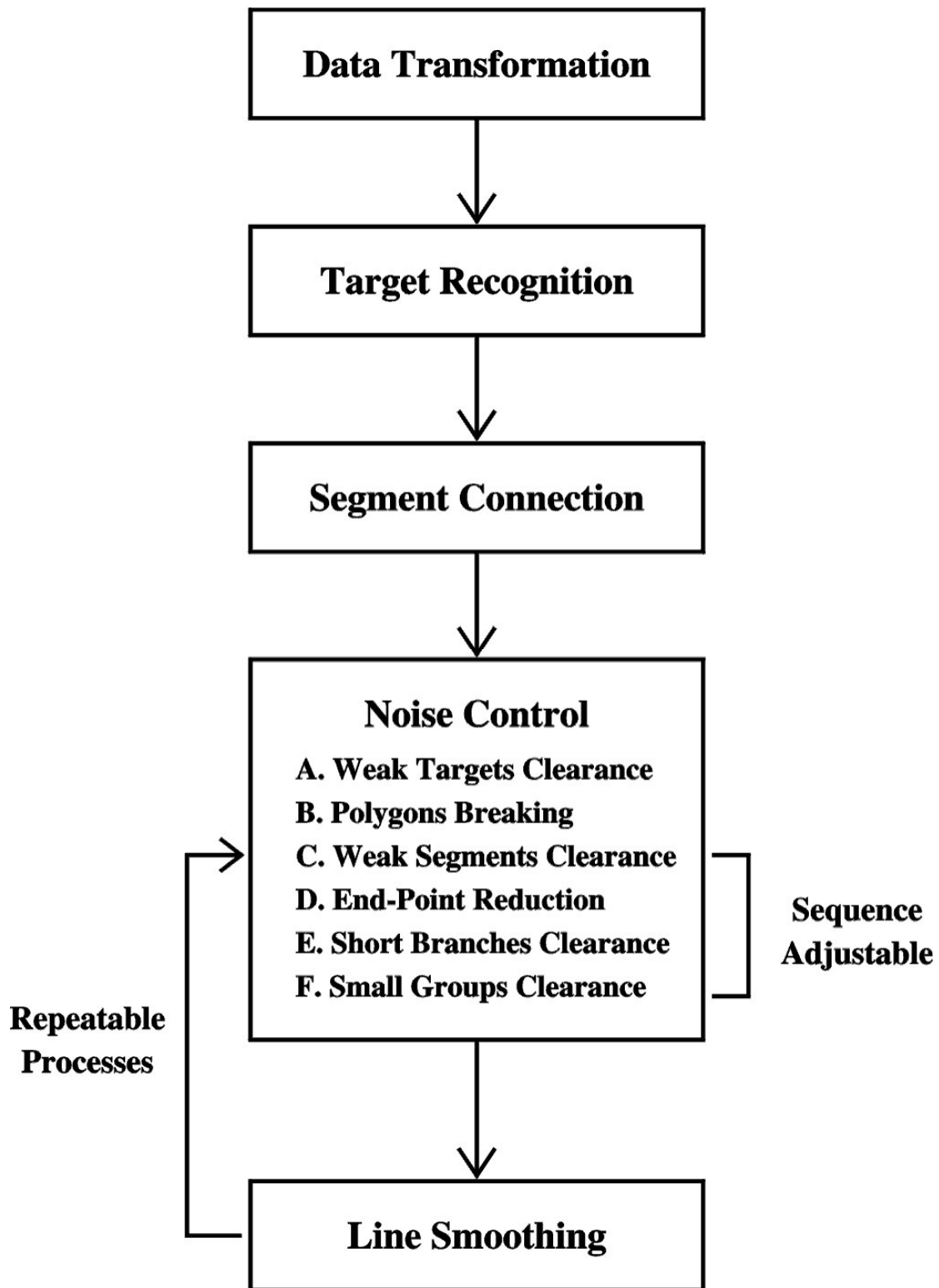


圖 2-1 ALEP 之資料處理流程。除主流程外，圖右側標示可自由調整處理次序的四個步驟，圖左側標示可反覆測試執行的五個步驟。

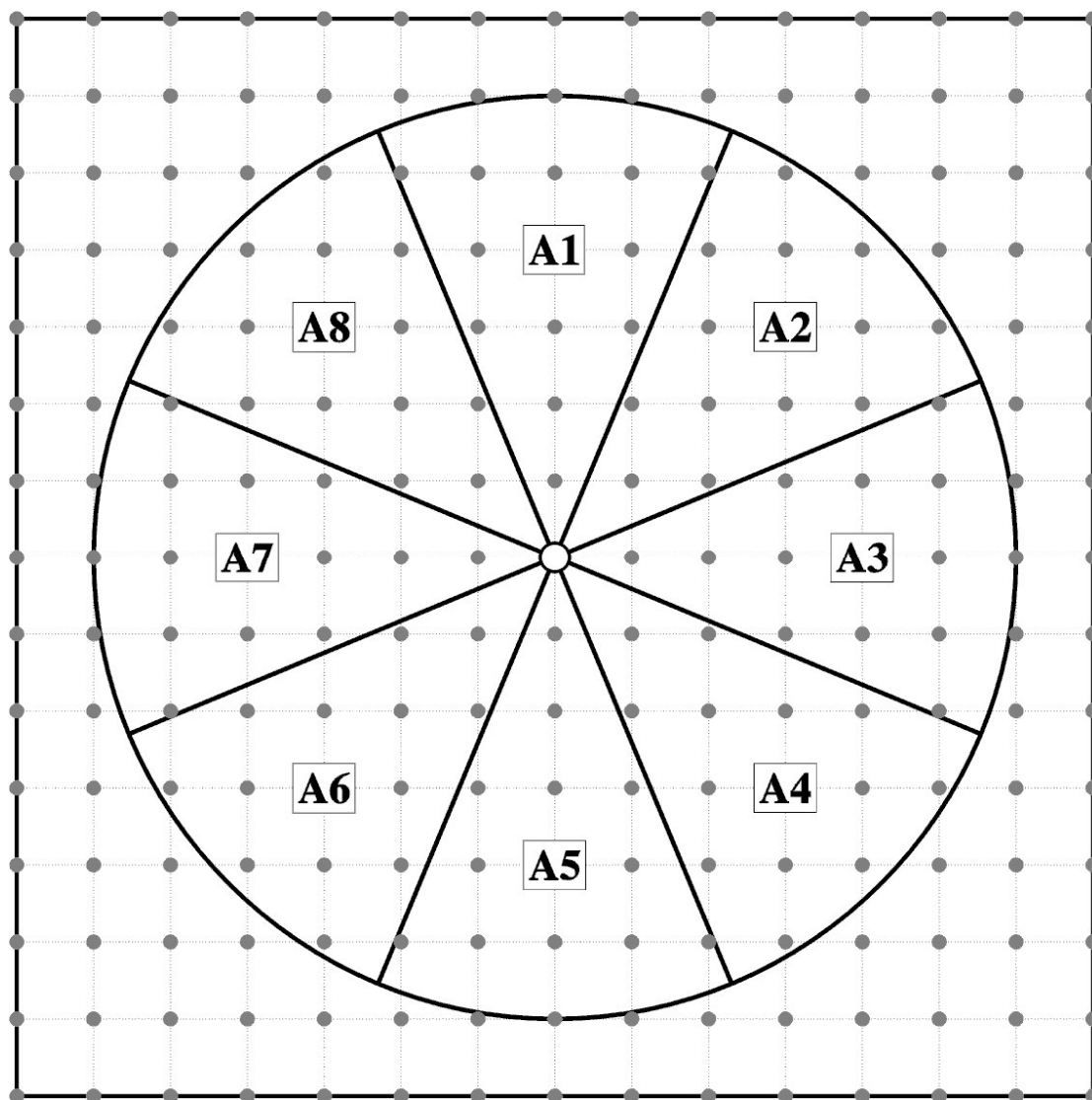


圖 2-2 平面加權運算之參考平面及八個方向分區的示意圖。背景為網格點的分佈，圓形實線代表參考面範圍，直線為分區間隔。

的一維剖面，辨識各方向的目標，而不需作較複雜的座標旋轉運算。這與 Koike 等人(1995)在 STA 中對影像辨識所設計的運算架構相當類似，但後者的參考平面為一方形矩陣。平面加權的圓形參考面在方向均勻性上有較大的優勢。另一方面，在多方向運算中我們也可以得知目標點走向(Strike，如山脊延伸方向)及指向(Orientation，如懸崖面向哪一方向)等資訊作為後續處理之參考。

2-2 目標辨認

此步驟以資料轉換所得之新資料平面為處理對象，辨識其上之山脊狀目標點作為連線的基礎。為避免偶然可能遇到的平頂山脊等模糊狀況，在此採取一稱為剖面辨識(Profile Recognition)的寬鬆辨認過程，使部份模糊之目標點亦能加入後續之線段聯結，避免因偶發情況導致線型特徵的中斷。

剖面辨識的過程為定義一剖面長度，以一資料點為中心，順著四個網格點排列的方向(通常為 N-S, E-W, NE-SW 及 NW-SE)觀察鄰近點。若從剖面之兩翼皆可找到至少一點低於中心點，則此中心點即被視為一目標點。可以想見剖面若長於三個網格點時，除了中心之高點，鄰近山脊之資料點亦可能被視為目標(圖 2-3)；另一方面，若剖面恰好定義為三個網格點，則與簡單的局部高點辨識無異。

這種增長辨識剖面的動作，以另一角度而言也是擴張程式視野的一種方式。其正面效果是保障了線型特徵在平面上的連續性；但同時也使線型特徵本身變得較寬，位置較不明確。通常在資料品質較差，而我們又希望連線的連續性較好時會傾向選擇較長的辨識剖面。在本文中爾後所展示的例子皆以五點的剖面進行剖面辨識，對於一般的資料而言，這個長度已足以彌補絕大多數偶發的不連續。

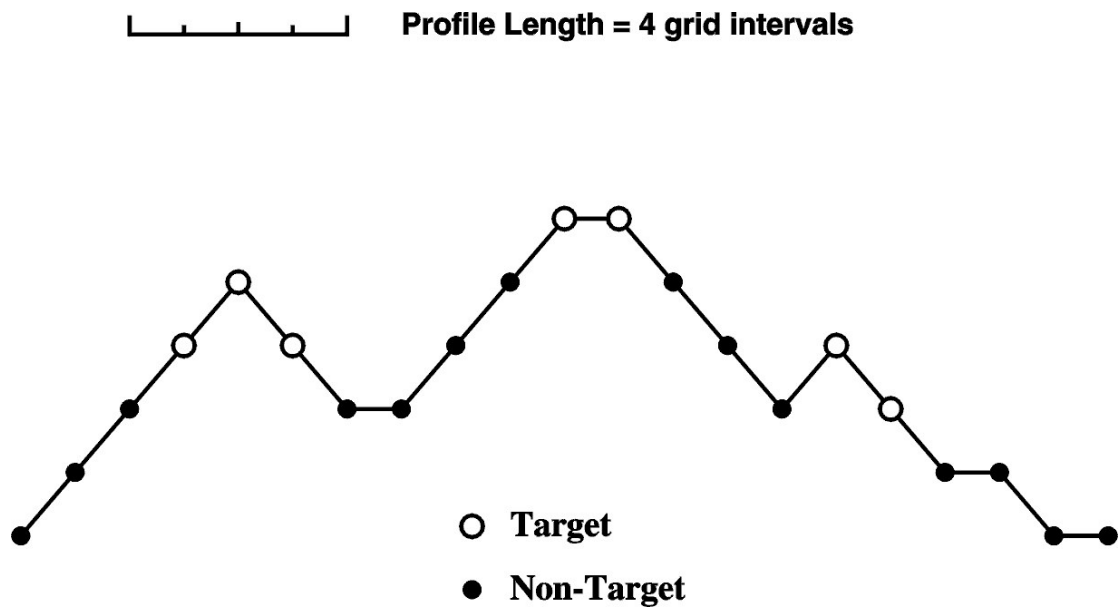


圖 2-3 剖面辨識的示意圖。此例中剖面長度定義為五點，任一點若能在其兩側的各兩點中分別發現至少一個低於它本身的點，則被視為目標點（空心圓）；反之則為非目標點（實心圓）。

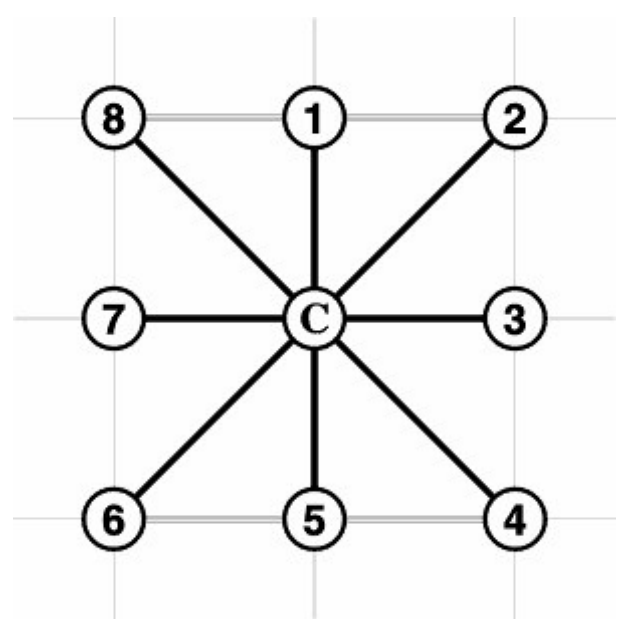


圖 2-4 ALEP 之鄰點編號示意圖。C 為中心點，1 至 8 為鄰點序號。

2-3 線段聯結

此步驟之目的在將已辨認的目標點初步聯結成為許多線段。在本程式中僅允許鄰點間的線段聯結，而每一網格點各有八個鄰點(圖 2-4)。各點與鄰點間的聯結與否由程式中的矩陣加以登錄。為方便說明，本文在此之後提及之「線段」皆指這種鄰點間相連的短線段；而由這些「線段」連成的較長線段則稱為「連線」。

只允許鄰點相連的設計可使後續的雜訊處理都建立於一簡單的路徑搜尋(Route Tracing)的基礎上(見附錄 A)。反之，若允許各點跨越鄰點相連(Koike et al.,1995)，其複雜度將使線段整理很難進行。此設計的一項缺點是許多長而連續的連線往往因為偶然出現的模糊目標點而中斷，這也是我們需要一個較鬆弛的剖面辨識的主要原因。

在此步驟中，原則上儘可能聯結所有相鄰的目標點成為線段群，使最終要呈現之連線能完全涵蓋於這些線段之中。其中不予聯結的例外情況有二：一是當斜向聯結之線段互相交叉時，僅登錄加權值較大之線段(線段加權值定義為其二端點加權值之和)。因為若允許線段交叉，許多連線之分叉點將不在網格點上，使後續處理變得複雜許多；其二是目標特徵若為不對稱(如數位影像之輪廓線)時，與目標點指向(Orientation)平行之鄰點不予聯結。其原因是連線的最終目的在描繪線型特徵的走向(Strike)，而特徵之走向與指向通常互相垂直，換言之，與指向平行的線段不可能是走向連線的一部份，可以確定的加以事先排除。

2-4 雜訊處理

傳統上，一般資料解釋者對於此項處理要求甚高，且基於不同之分析目的，其要求的方式也十分多樣化。即使以手繪的方式進行線型描繪，執行至此也不免要一改再改。因此在 ALEP 中筆者儘可

能設計多樣化而具有彈性的雜訊處理單元，並允許使用者任意組合大多數的處理步驟及反覆測試。這使得 ALEP 的雜訊處理有接近手工繪線的靈活性，所不同者是自動化處理只接受操作者的處理原則，不接受對特定目標的個別處理，任一原則皆公平的適用於全圖，處理的公正性無庸置疑。

在此項工作中，雜訊評估的主要依據是目標點或線段本身的相對強度(在此以加權值代表)以及連線的連續性。包含的程式單元有：A. 低加權點排除 (Weak Targets Clearance)；B. 多邊形拆解 (Polygon Breaking)；C. 低加權線段排除 (Weak Segments Clearance)；D. 尾端縮減 (End-Point Reduction)；E. 短分枝清除 (Short Branch Clearance) 以及 F. 小線段群清除 (Small Groups Clearance) 等 (見圖 2-1)。其詳細內容介紹如下：

2-4-A 低加權點排除

此步驟可允許操作者在平面加權運算之後，將某一門檻值以下的加權值定義為零。這些成為零的網格點將可以確定不會成為目標點而參與線段聯結。這個動作之主要目的是清除背景雜訊，並減少後續處理的無謂運算。此程式單元會輸出其結果供加權值影像的繪製，並可反覆試驗不同門檻值所得的加權值分佈情況，取得最佳的效果。以圖 4-7a 為例，此圖為圖 1-3 震測剖面之加權影像，若排除 50% 的低加權點之後其影像將如圖 4-7b，可以看出圖中的主要反射層面更形突出。

一般而言，要排除多少低加權值，基本上決定於低加權值排除後，所餘的加權值分佈是否足以顯示我們所希望描繪的線型特徵。在此基本要求下，排除的門檻值越高越易於得到明確的連線。以圖 1-3 的震測圖為例，我們可以逐步升高門檻值並繪出所餘的加權值分佈情況，直到我們希望顯示的反射層面變窄卻不致中斷為止。

2-4-B 多邊形拆解

在 ALEP 程式中，目標辨認及聯結的條件相當寬鬆，因此初步聯結之線段群中會有相當多的封閉曲線(多邊形)。通常此類多邊形只是聯結過程中並未考慮廣域資料趨勢以決定較佳連線的結果。因此我們首先以此程式單元拆除所有多邊形中加權值最小的一邊。此舉可使連串的多邊形簡化為許多樹枝狀的結構，進入後續處理不需輸入任何參數。由於此程式單元可追蹤任何大小或形狀的多邊形，在增加視野的方式及處理效果上有其獨特之處。其詳細步驟及執行效果將於下一章(3-3 節)中詳述。此項處理因為與後續的多項雜訊處理有相當的關連性，目前被設定為程式中必要的執行步驟。

截至目前的 2-4-A 及 2-4-B 兩項處理在程式中的執行順序是固定的，但以下的 C 到 F 幾個步驟則可視操作者之需任意調整、重覆執行或復原為多邊形拆解後的線段聯結狀態，重新處理(參考圖 2-1)。在處理過程中亦可隨時選擇輸出當時的線段聯結狀況於一輸出檔，如有多視窗的工作環境，操作者可以另一程式繪製該檔案所載之現階段處理成果，決定下一處理步驟，無須從頭執行整個程式。

2-4-C 低加權線段排除

於 ALEP 中，低加權值之線段代表其明確度或可靠性較低。此程式單元可由使用者選定需排除的線段加權值門檻(Threshold of Segment Weight)，低於此門檻值之線段聯結登錄將被取銷。此項處理基本上與低加權點排除的功能類似，但在程式中可以和以下幾個步驟互相組合反覆測試其效果。

2-4-D 尾端縮減

此單元可在不破壞連線連續性的前題下縮短連線的尾端。執行方式為先搜尋全圖中的端點，再逐一取銷其聯結(見圖 2-5)，此動作可依使用者之需要重覆多次。其效果包括清除主幹線兩側之許多短小分枝，及長線尾端較不確定之過度延伸。

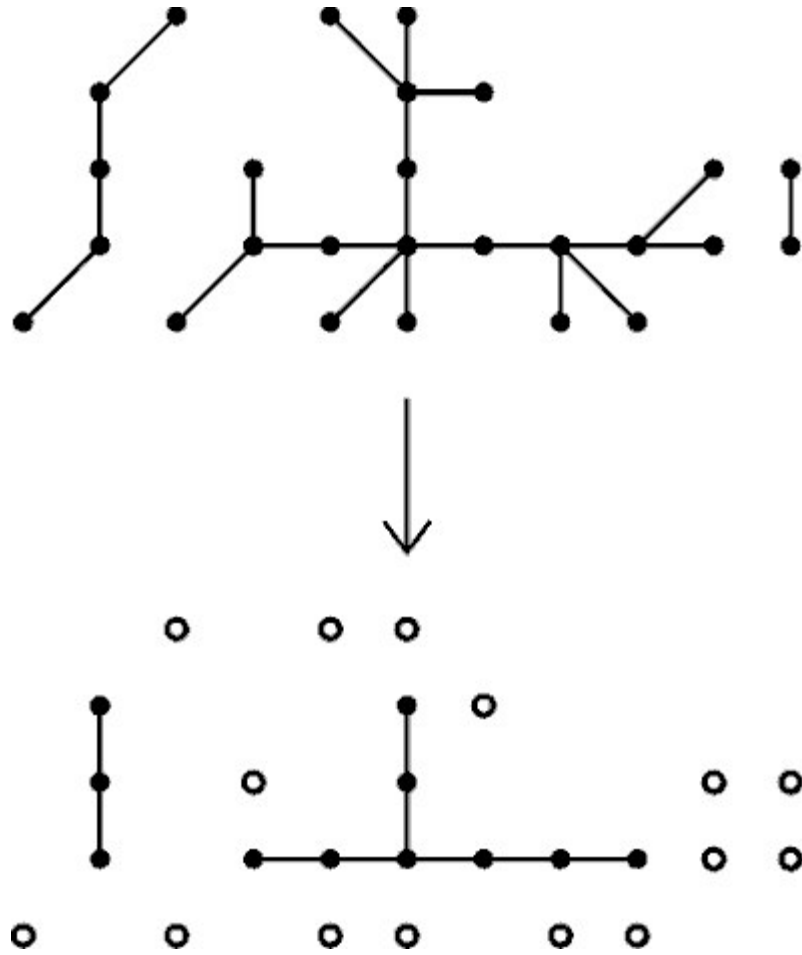


圖 2-5 尾端縮減示意圖。圖上方為未處理之線段群，下方為經一次尾端縮減的結果。

2-4-E 短分枝清除

此單元為一更審慎保持長線段並清除短分枝的程式段落。對於每一分枝點(與三個以上鄰點相連的點)其最短而加權值低的分枝先被清除，直到此點不再是分枝點，或其所有的分枝皆長於須清除之長度為止。這意謂著如果一三叉點俱有兩個相同長度之短分枝，一旦其中加權較輕者被清除，另一分枝將相對被延長而可能留存下來(見圖 2-6)。這使得所有圖上延伸較遠的長線儘可能被保存，不因清除短枝而遭縮減。

2-4-F 小線段群清除

在線型分析圖上，孤立而延伸不遠的小線段群通常無益於解釋工作，本程式單元可追蹤各獨立線段群所含之線段聯結總數，並依使用者之需清除較小線段群內部之聯結(見圖 2-7)。通常此項動作配合前述低加權點排除的處理，具有消除背景雜訊的效果。

2-5 連線平滑化

以聯結網格點所形成的連線群在連線並非落於網格點排列方向時，通常會以較粗糙的鋸齒狀折線呈現。這種情況基本上起因於數位資料的密度及排列方向的有限性。換言之，若將資料圖幅視為一個二維的連續函數，這種折線情況應不致出現。因此以某些準則使目標點的排列更為平滑連續，應為一使線型更趨近事實的步驟。類似之處理亦可見於重磁資料的邊界描繪(Blakely and Simpson, 1986)。

本程式在此之前的處理可以決定許多相聯結的網格點以表達線型特徵，在本步驟中我們將每一點的網格座標與其相聯結的鄰點座標作一加權平均(Weighting Average)，作為此點的新位置。這種作法可使輸出點的排列位置更趨近一平滑的連續函數；且因為它僅是相鄰點座標的平均，其實際離開原有網格點之距離不會超越一個網格間距，不致違背前述步驟中根據網點資料運算的結果(見圖 2-8)。

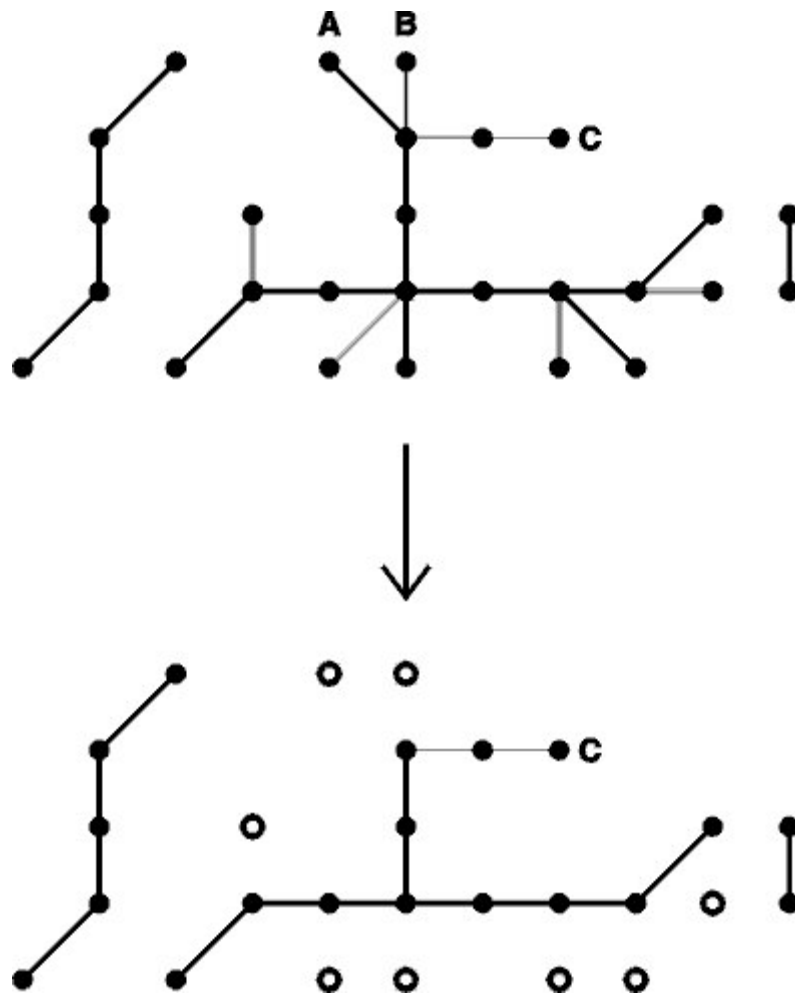


圖 2-6 短分枝清除示意圖。圖上方為原始線段群，下方為清除短於兩個線段的分枝後所得的結果。較細的實線代表加權值較低的線段。值得注意的是上圖中 A,B,C 三個分枝中，此項處理會保留細而長的 C 分枝，卻排除短而粗的 A 分枝。顯示此項處理重視連續性甚於線段的加權值。

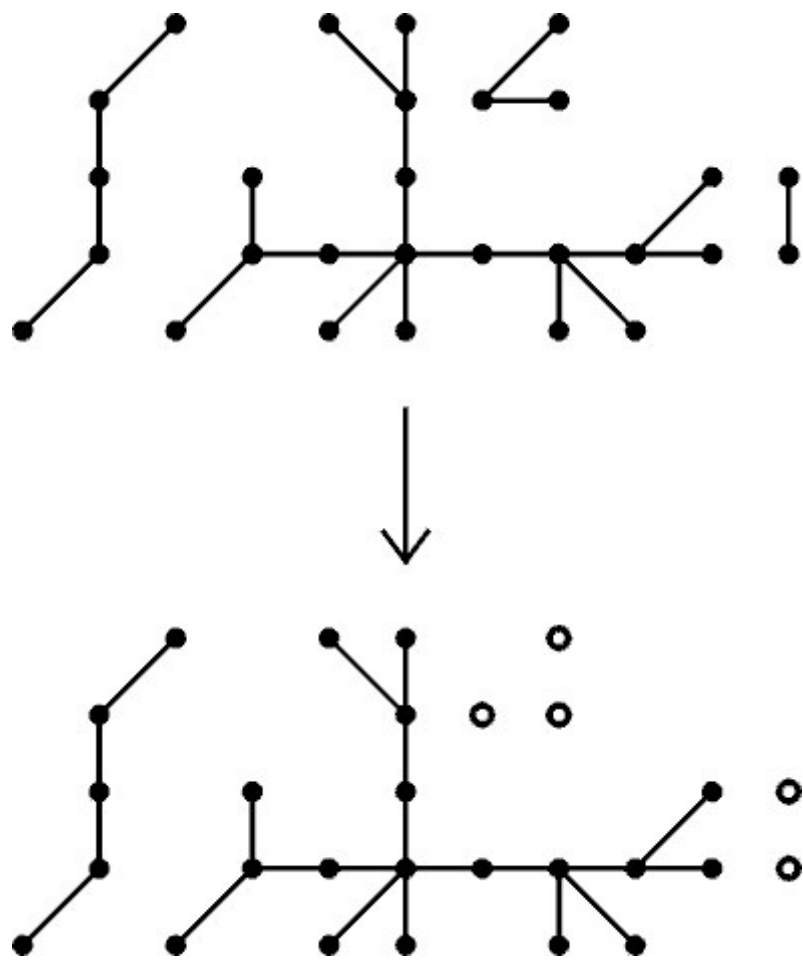


圖 2-7 小線段群清除示意圖。圖上方為原始線段群，下方為清除小於三個線段的線段群後所得結果。

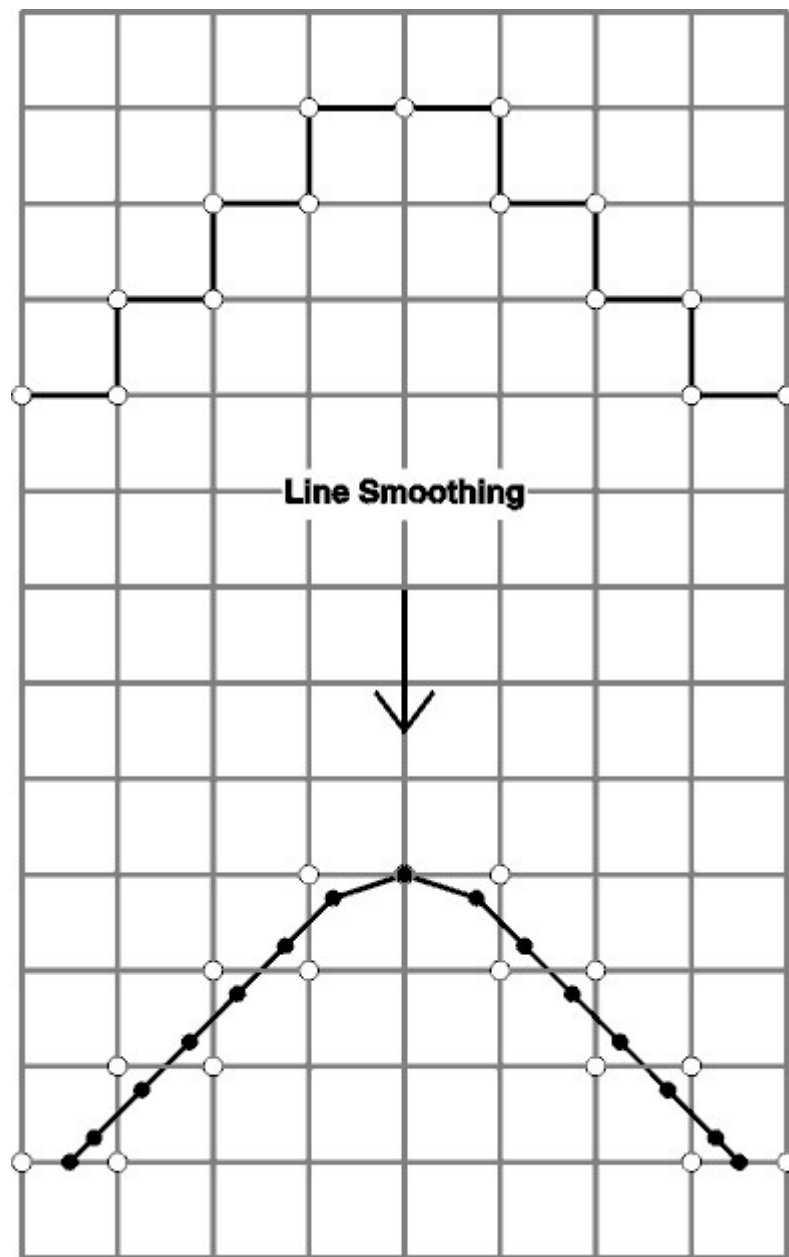


圖 2-8 連線平滑化示意圖。圖上方為原始連線，下方為平滑化處理的結果。

此項處理之執行順序固定於線段資料輸出之前，如果操作者選擇不作平滑處理，則線段之端點直接定義為網格點之原始座標。對於不對稱之線型特徵，如大陸棚邊緣之棚裂線，讀圖者除了軸線之

外通常也希望能得知地形之指向。因此我們在此項處理中也增加了是否需要方向指標的選項，如果選擇此項功能，程式將於軸線兩側中加權值較低的一側加上短指標線，指示此特徵的指向。

2-6 ALEP 中必要的參數與選取原則

基於使資料處理過程保持靈活及彈性的考慮，本程式的多數步驟都有可供操作者自行決定的參數，但如何決定這些參數以得到理想的分析結果，可能成為另一個使用上的障礙。因此在本章最後我們將程式執行中必須用到的重要參數及選取原則加以整理介紹如下：

1. 分析目標的種類

ALEP 基本上是以能廣用於各種地物資料為其設計架構，但不同的線型特徵其辨認公式自然不同，所以程式要求的第一個參數便是目標特徵的種類。這個參數會被用來在資料轉換的步驟中選取相對應的公式作平面加權運算。目前程式已可處理的目標種類包括：山脊、谷軸、斷裂地形、影像對比線及震測剖面之反射層面等。

2. 輸入資料檔的資訊

這些資訊包括 X 及 Y 座標之極小值、網格點間距及輸入資料檔的檔名。之後程式會讀入資料檔將資料置入最接近的網格點中。

3. 平面加權運算的範圍

如前所述，平面加權運算中圓形參考平面的大小可以彈性調整。程式要求輸入的是此參考面的直徑，單位是網格點的點數。這個參數值基本上可以視為辨識目標特徵所需的剖面長度，例如在震測圖上當我們要解析的反射波串長約為 10 個網格點時，理想的參考面直徑應為 20 點左右；當我們的目標是棚裂地形時，我們可以試著在原始地形圖上估計，要幾個網格點的剖面恰可涵蓋足夠長的

大陸棚和大陸斜坡，使我們可以確認一個棚裂地形。

很明顯的，最後選擇的點數與資料點的密度或目標的明確與否有關。較密集的資料點或較模糊的目標需要較多的點數。此參數的作用與空間濾波有相似的效果，如果選擇得過大會使目標特徵的位置較為模糊，小尺度的特徵則被壓抑；相對的選擇了較小的範圍可使目標點位置較明確，但高頻雜訊也相對增加。

4. 低加權目標點排除之門檻值

這個參數的決定基本上與使用者認定的背景雜訊強度有關。如前節所述，我們的建議是嘗試不同的門檻值，使加權值的分佈能涵蓋主要的目標特徵。此門檻值設定過低時並不致影響運算的結果，但因參與運算的點數較多，運算時間會較長；但相對的如果選擇過高，許多線型特徵可能被不當的截斷。

5. 尾端縮減的執行次數

此選項雖可由使用者自行決定。但因為在此之前使用的剖面辨識會在線型特徵軸線的兩側加入一些較不明確的目標點，使主軸兩側產生許多假性的短分枝。因此在執行更細膩的分枝處理前，先直接清除一些短分枝成了必要的一個動作。理論上如果我們執行了五點長度的剖面辨識，會在線型特徵主軸之一側增加一個不確定的目標點，也就是多了一個僅一個線段長的短分枝，因此必須至少作一次尾端縮減。同理，對於長度為 N 點的剖面辨識，至少應作 $(N-3)/2$ 次的尾端縮減。在目前版本的 ALEP 中，辨識剖面已自動設定為五點，所以尾端縮減必須至少執行 1 次。

6. 須清除的短分枝線段數

理論上，在執行了相對應於剖面辨識長度的尾端縮減後，所餘的線段群都代表著事實存在的線型特徵。此項處理及小線段群清除，事實上只是排除操作者認為相對不重要的一些小規模連線，使

主要的線型特徵更為凸顯。因此，要保留多長的分枝全視操作者的喜好或分析目的而定。例如在流域分佈的分析中，通常分枝會儘量保留以顯示支流的分佈；相對的，在震測分析時，主要的目標通常是長而連續的反射層面，短分枝便可大幅度清除。

7. 須清除的小線段群線段總數

如前所述，這也是一個相對性的雜訊處理，多大的線段群應被保留選定原則與短分枝清除相似。

8. 平滑化處理之參數

此處可以選擇作或不作平滑化處理，以及是否加上方向指標。如果目標特徵基本上沒有指向，如對稱的山脊或谷軸，方向指標也不會發生作用。程式在接受此項參數後會立即寫出一代表各線段端點的輸出檔。此輸出檔也同時包括各線段的加權值，繪製線型圖時可參考加權值對較重要的線段作適當的凸顯。

第三章 ALEP 對山脊軸線之描繪

ALEP 對各種線型特徵的處理方式為將其以平面加權運算轉換成加權高值，再以簡單的山脊辨認方式標定其軸線。故本章中先以台灣山區之地形為例，展示本程式描繪山脊軸線之過程與能力。選定測試區域的位置見圖 3-1，資料解析度為每 0.01 度一個網格點。本文中之圖例皆以 GMT 軟體(Smith and Wessel, 1990; Wessel and Smith, 1995)繪製。為表現線段的相對重要性，所有線段根據其加權值(Weight)區分為八個等級，每一等級之線段聯結數大略相等，並以不同粗細或顏色深淺之線段繪於線型圖上。以下概略依據處理步驟介紹測試過程及結果。

3-1 資料轉換

對於單純山脊地形的描繪，ALEP 所作的資料轉換步驟為：(1) 平移標高值，使其皆為正值；(2)使其規格化(Normalized)落於一定範圍內。以本程式之基本運算原理而言，此二動作並非絕對必要，但此設計可使後續程式中有關加權值運算的動作簡化許多。圖 3-1 為測試區內之加權值影像圖，深色代表低加權值或較低海拔高度，左下角小圖標示此區在台灣島上的位置。

3-2 目標辨識及聯結

圖 3-2 為以五點之剖面辨識(Profile Recognition)所得到的目標點，及線段聯結的結果。圖中顯示可能為山脊之區域(淺色之高區)皆佈滿許多目標點(小空心圓)及線段，這些線段並形成許多大小不等之封閉多邊形。此步驟的基本目的即在於使所有可能之山脊皆有線段群通過，而由線段群中選擇最佳連線的工作則由後續步驟執行。

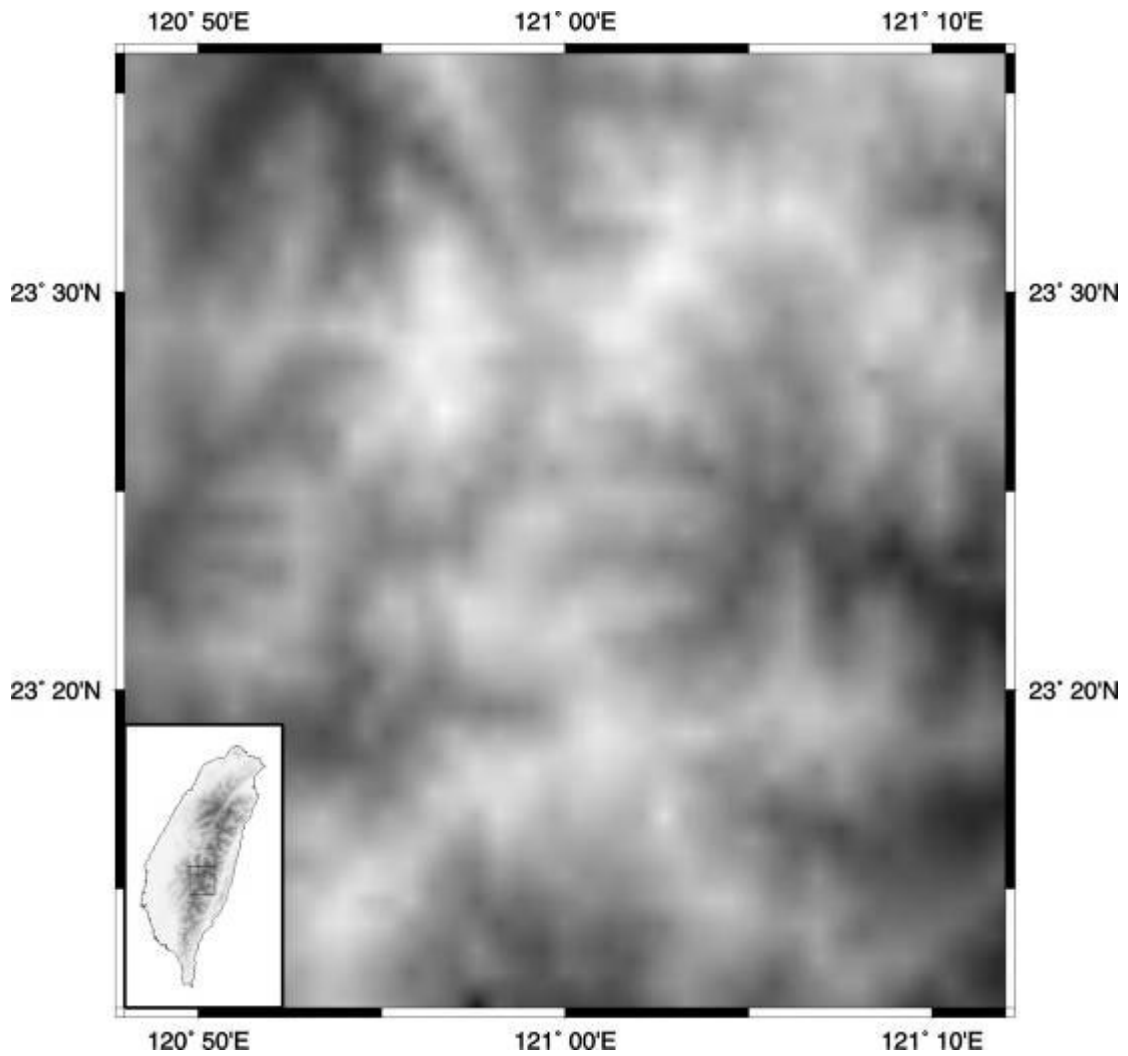


圖 3-1 山脊描繪測試區之位置及地形加權值影像圖。淺色代表地形高區，左下方小圖顯示此地形區在台灣島上的位置。

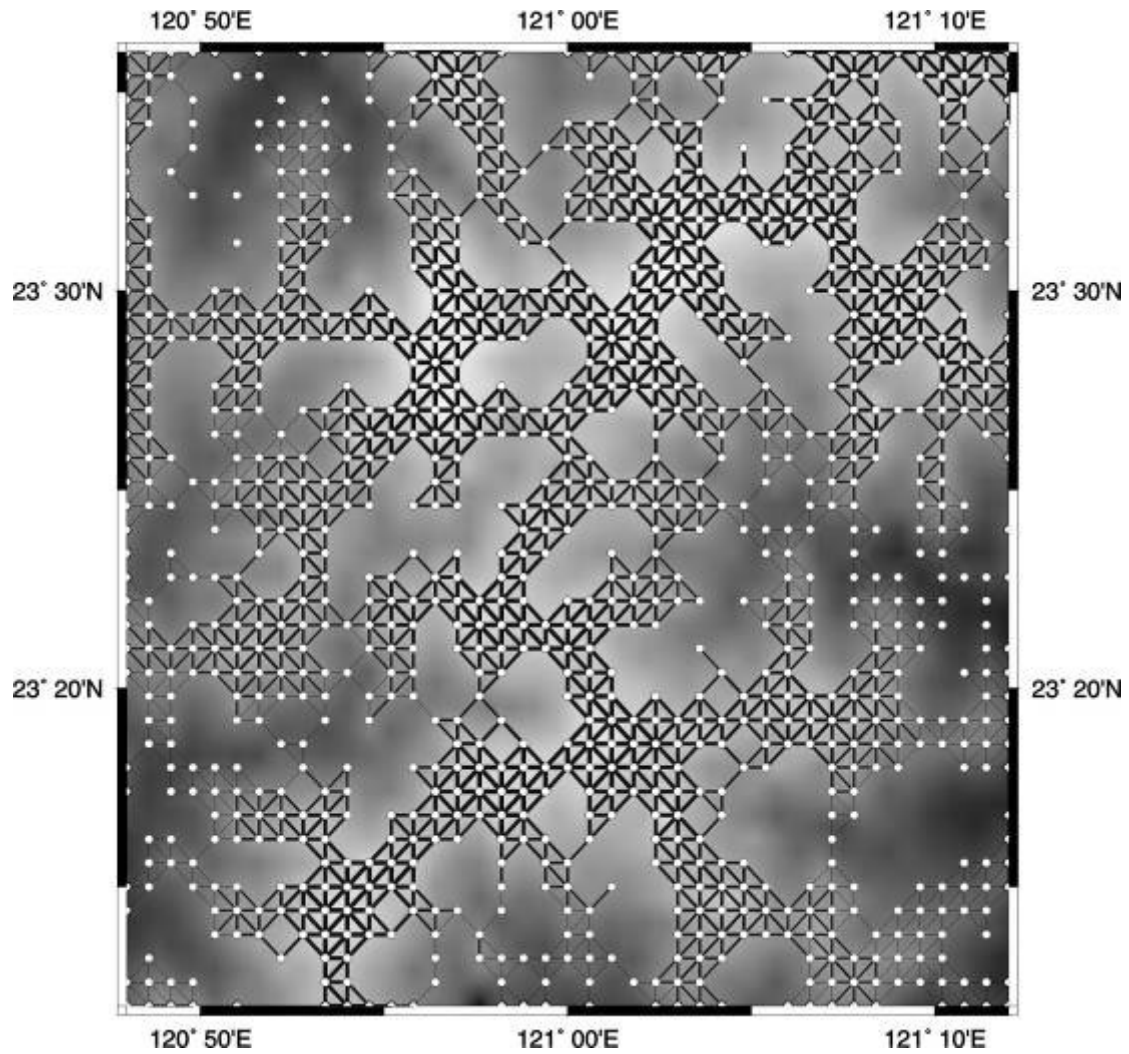


圖 3-2 山脊目標辨認及線段聯結圖。粗實線代表高加權值線段，空心圓點代表剖面辨識所得之山脊目標點。

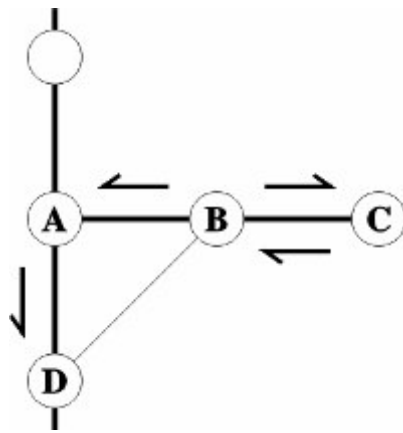


圖 3-3 多邊形搜尋及拆解示意圖。空心圓代表目標點，粗實線代表高加權值線段，箭頭所指為以 B 為起點的兩個搜尋路徑。

3-3 多邊形拆解

本步驟在 ALEP 的原理及執行過程中皆為非常關鍵的部份。在原理上，它以不同於傳統的方式達到擴張程式視野的目的；在過程上，後續的雜訊處理步驟多以它的處理結果為基礎。其實際執行之動作以圖 3-3 為例介紹如下：

1. 選定圖中加權值最小之線段。如圖中之 B-D 線段。
2. 以此線段之一端點為搜尋封閉曲線之起點。如 B 點。
3. 以順時針方向搜尋。路徑為 B-C-B，回到起點(B 點)，無封閉曲線。
4. 以逆時針方向搜尋。路徑為 B-A-D，到達線段另一端(D 點)，證實 B-D 為一封閉多邊形(DBAD)中之一邊，且加權值必為最小，取銷 B-D 間的聯結。
5. 若線段不處於任何封閉曲線，聯結保留。
6. 重覆動作 1 到 5。

為避免重覆的搜尋動作，程式中的聯結狀態與須搜尋的路徑實際上是分別處理的。其運作原則如下：

1. 線段原始登錄值為 2，表示線段聯結且搜尋路徑暢通。

- 2.若線段聯結被取銷登錄值改為 0，表示無聯結且路徑不通。
- 3.若線段已證實不屬於任何封閉曲線登錄值改為 1，表示聯結存在但路徑不通無須搜尋。

這種設計可以保證在程式執行過程中，不論其實際聯結是否被取消，須搜尋的路徑都會逐步減少，最後完全消失，使得程式單元可以知道何時該停止搜尋而進入下一步驟。圖 3-4 為圖 3-2 經多邊形拆解之結果。

3-4 雜訊處理及連線平滑化

如前章所述，本程式除多邊形拆解外也包含了低加權線段排除、尾端縮減、分枝清除及小線段群清除等多樣化的雜訊處理功能，基本上使用者可以自由的決定處理的次序，及其中須設定之門檻值，以達到使用者所需的效果。至於參數不同造成的效果及選取原則的一些討論可參考前一章的 2-6 節。在本例中，圖 3-4 在視覺效果上，主要的缺點是分枝過多及折線太明顯。以清除分枝為目的，經一個點數的尾端縮減及清除小於三節的分枝後其結果如圖 3-5。再經平滑化處理後，其結果則如圖 3-6。其準確性可由背景影像得到印證。圖 3-7 則為全島山脊地形之分析結果。

3-5 有關廣義洞察力之測試

前文曾提及本程式設計之主要著眼點為模擬人類對二維資料之廣域洞察力。在此例中，這種能力主要展現在剖面辨識及多邊形拆解兩個步驟。首先我們若捨棄剖面辨識，以傳統的三點剖面決定目標點，再進行線段聯結及多邊形拆解所得結果如圖 3-8。

根據背景影像顯示之地形趨勢，圖中標示 A 處的聯結截斷了一明顯為山谷的地形，而標示 B 處應為山脊卻未聯結，都不是很恰當的決定。其原因是在嚴格的局部高區目標辨識下，標示 B 處恰好遇

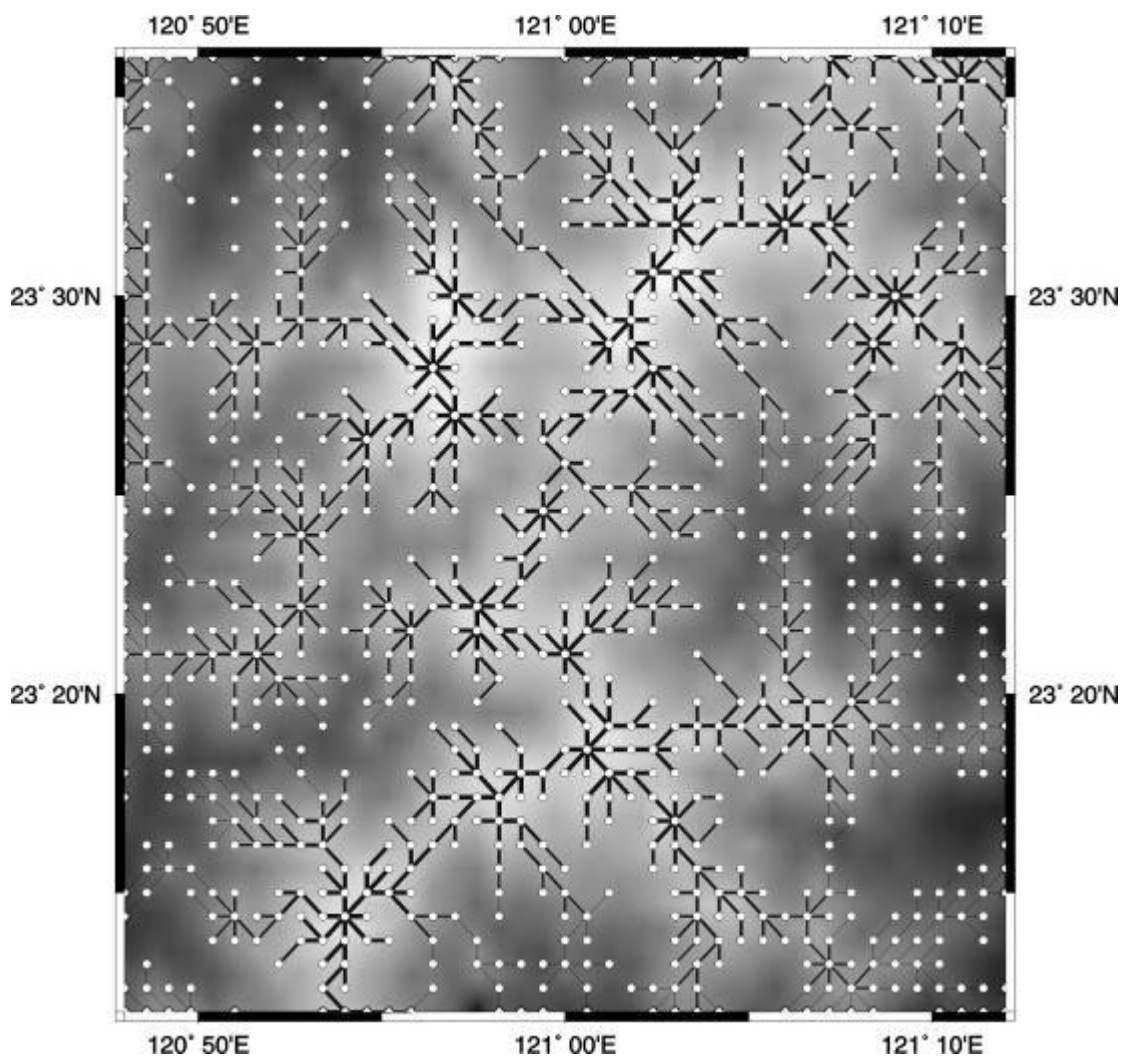


圖 3-4 圖 3-2 經多邊形拆解之結果。線段群成為樹枝狀的分佈。

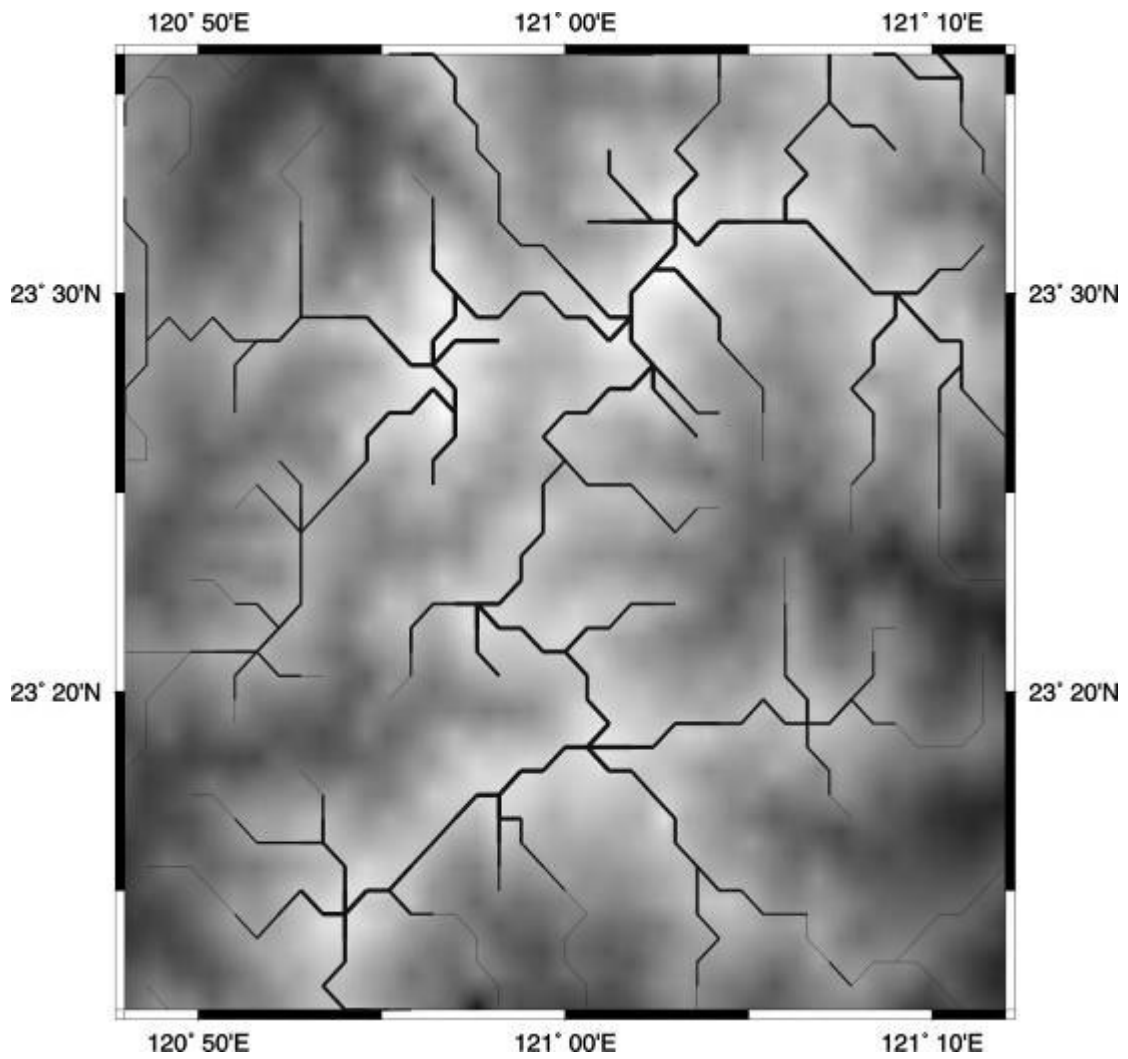


圖 3-5 圖 3-4 經一次尾端縮減及清除小於三個線段分枝的結果。

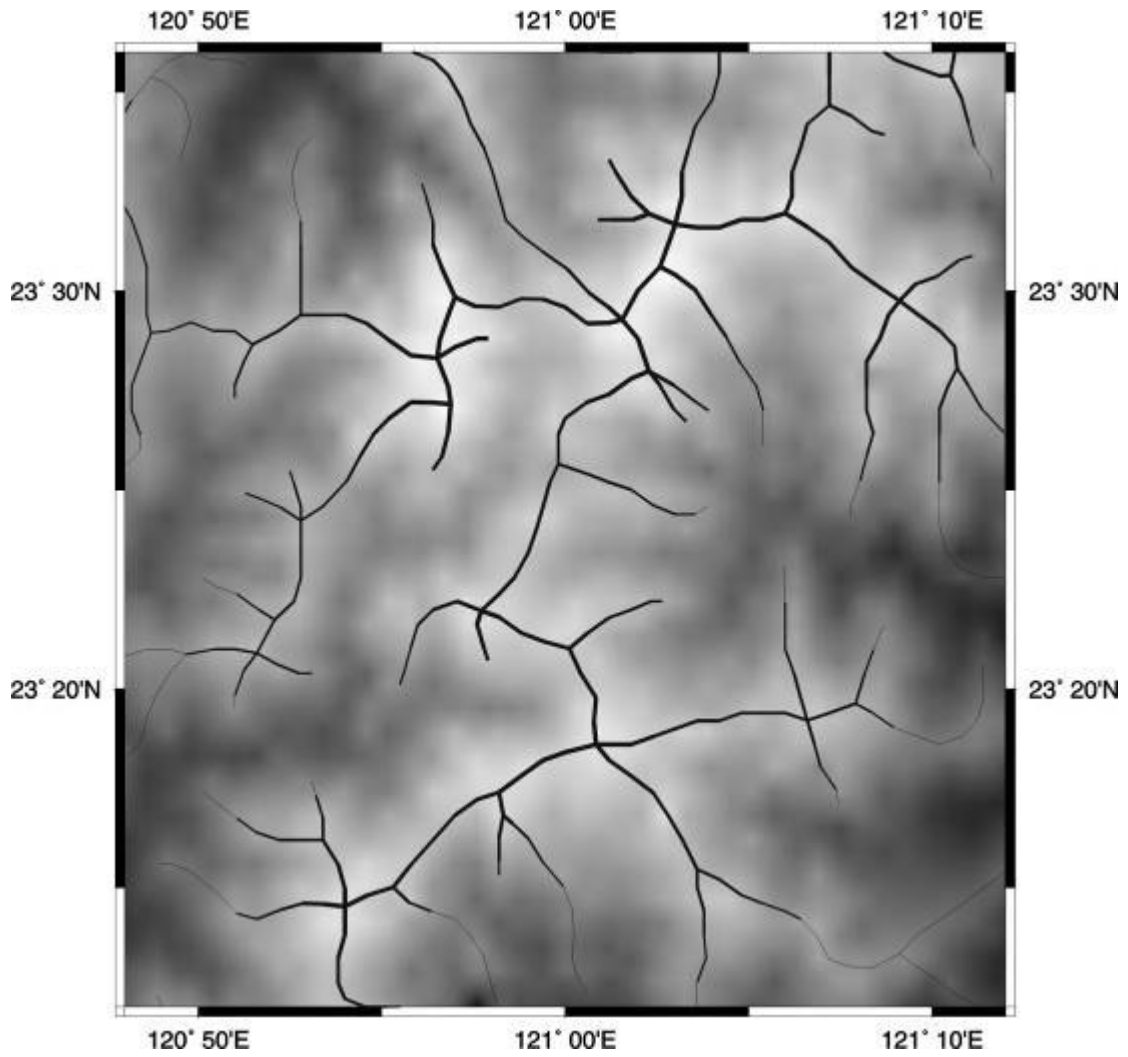


圖 3-6 圖 3-5 經連線平滑化處理之結果。

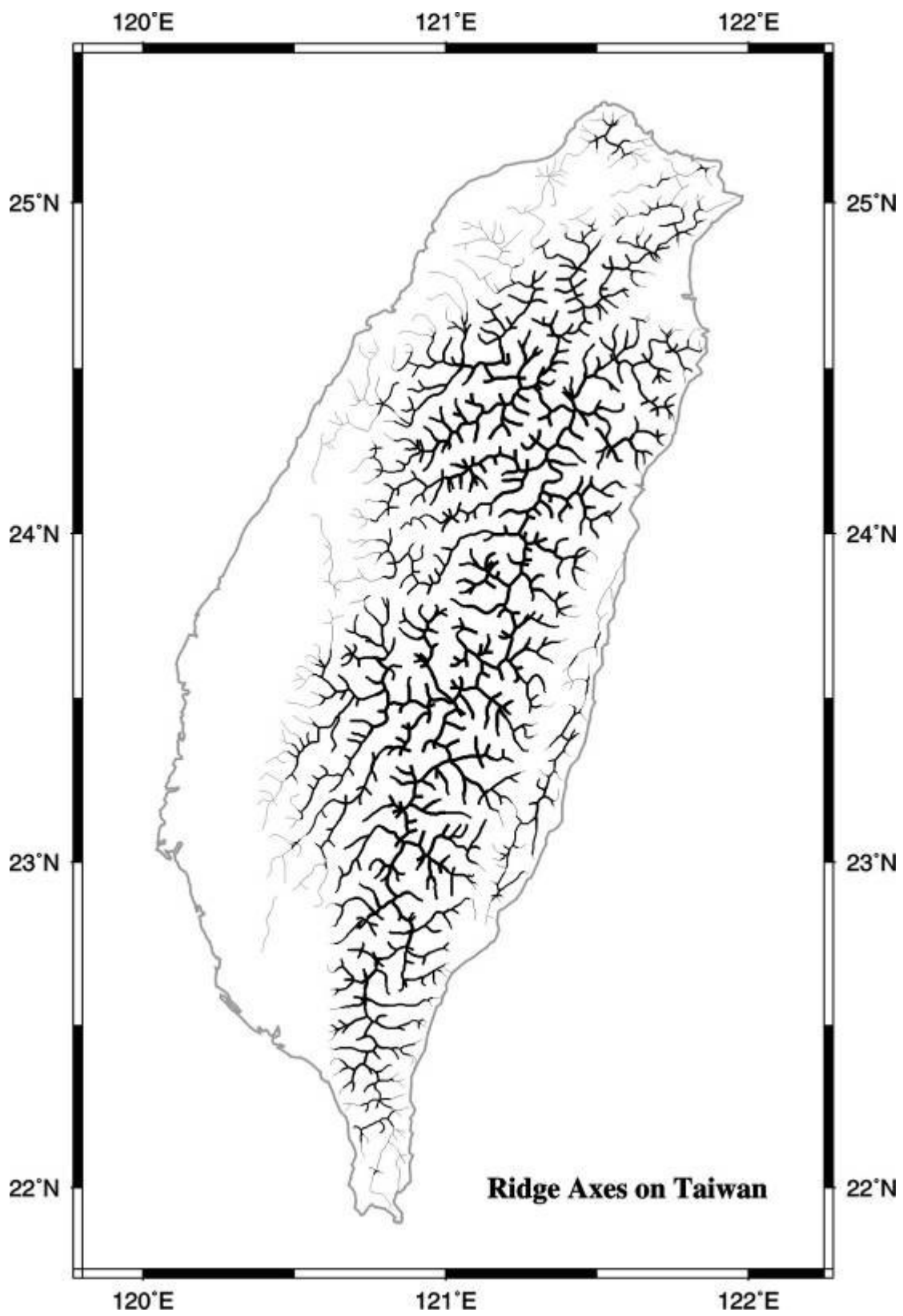


圖 3-7 台灣全島山脊軸線描繪圖。資料處理過程與圖 3-6 相同。

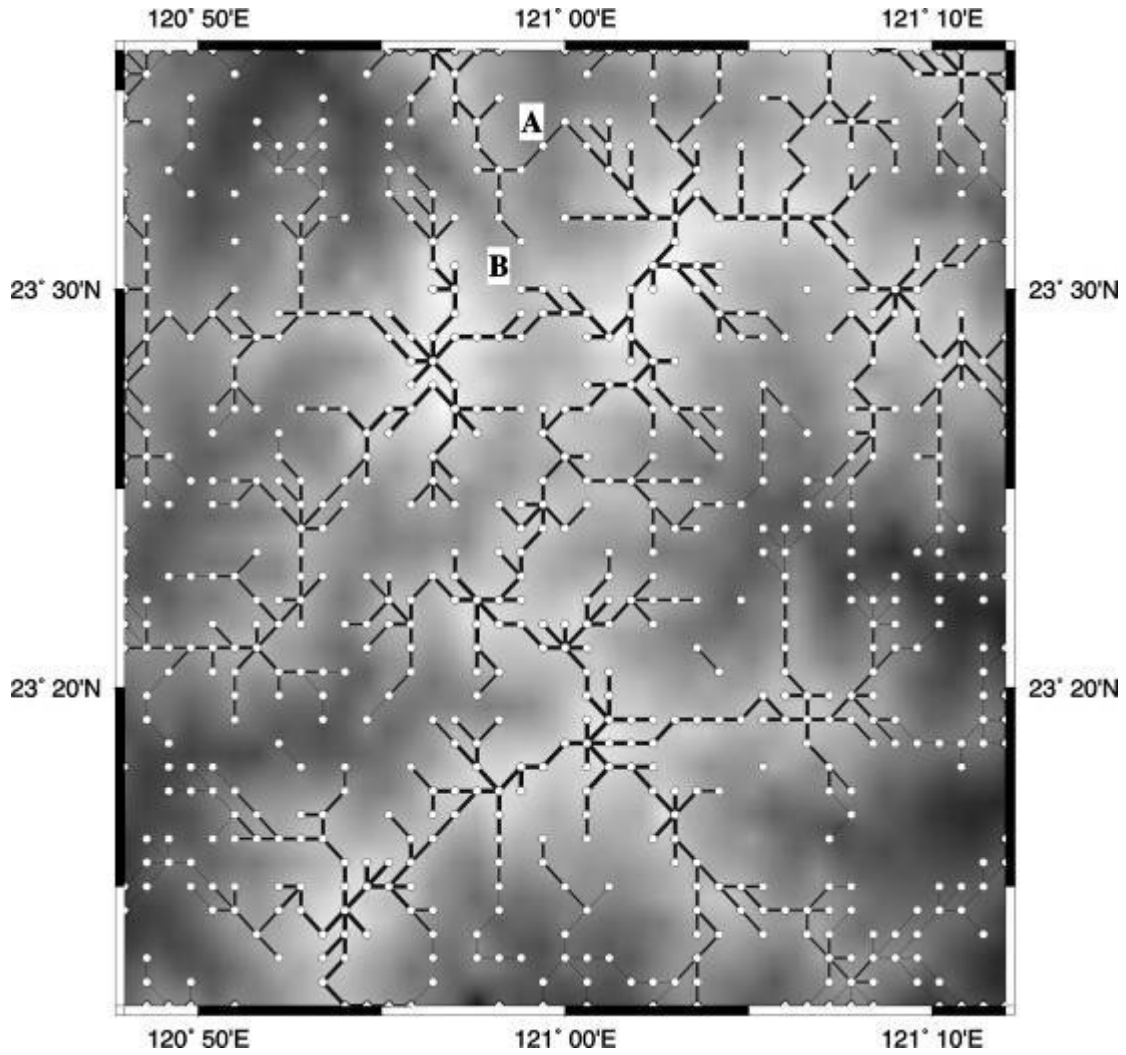


圖 3-8 局部高點（辨識剖面長為三點時）山脊辨識造成之不合理線段聯結。根據背景影像所示，A 處之聯結截斷了一明顯的山谷地形；而 B 處之山脊反而沒有線段聯結。

上一平頂的狀況而不被認為是一山脊點(雖然以較大尺度而言，它的確是山脊)；反之在小尺度下，標示 A 處卻恰好在某方向可成為一相對高點。這些情況在網點資料中並非罕見，卻足以造成許多大尺度上明顯不合理的連線抉擇。

ALEP 對此類情況的處理方式是先增長辨識目標之剖面，使大尺度下可視為山脊的目標點也參與聯結，再以多邊形拆解等處理拆除不合理的聯結。如圖 3-2 即為以五點剖面辨識目標的結果。在此操作下不論三點或五點尺度之山脊目標都會被確認，於標示 B 處便不再有遺珠之憾(見圖 3-2)。以此為基礎再進行多邊形拆解則標示 A 處的聯結便可解除，繪出較合理的連線(見圖 3-4，3-5 及 3-6)；反之若標示 B 處未被聯結，則 A 處之線段將不會成為封閉曲線的一部份，多邊形拆解對它也就無能為力。

事實上，我們所以認為 B 處比 A 處更應聯結的原因是我們有足夠寬的視野，可以同時考慮涵蓋兩處的地形趨勢，這正是前文中多次提及的所謂廣域洞察力。而 ALEP 能決定解除 A 處聯結的原因是：程式本身的運作使此處的線段可以成為一圍繞山谷源頭(包括 B 處)的多邊形之一邊，且此線段又位於最低處而必須被拆解。這代表 ALEP 亦根據一來自可涵蓋 A，B 範圍的廣域資訊作出拆除 A 聯結的決定。

由前述幾節的介紹可知，自多邊形拆解以至線段平滑化處理都與前文提到的路徑搜尋(Route Tracing)技巧有關(見附錄 A)。以廣域洞察力的角度而言，它有延著聯結的線段群無限延伸視野的效果。基本上，在一個人為的線段處理過程中，人類的廣域洞察力主要運用於了解線段的連續或分佈等等資訊。這很難以傳統上擴張或旋轉運算矩陣的方式(Koike and others, 1995; Raghavan and others, 1995)加以模擬；但路徑搜尋卻是個十分適切的答案。

第四章 ALEP 對多種線型特徵之描繪

本章將介紹 ALEP 在面對多種線型特徵描繪工作時，所相應調整的處理程序及其效果。其中包括：1.山谷谷軸描繪與自動化流域粹取；2.斷裂地形辨識；3.數位影像線型分析；4.震測剖面之層面分析 5.模擬磁力資料之磁體邊界描繪等。如前文所述，ALEP 面對不同目標特徵處理時的主要調整是改變資料轉換步驟中加權值的運算公式，使各類型的目標點經此轉換後成為加權高值；再以山脊描繪的方式進行連線處理。

對於使用者而言，如果不擬深入資料處理的細節，基本上 ALEP 可以直接使用於各類原始資料獲得可用的線型分析圖。另一方面，為了特定分析目的或更好的處理效果，亦可直接修改 ALEP 中的資料轉換公式或先行將資料轉換後再輸入 ALEP 程式，以山脊描繪的方式執行連線處理。

以 ALEP 的運算架構而言，資料轉換的目的基本上與傳統的邊緣強化 (edge detection) 資料處理極為類似。因此，任何處理只要其結果能將目標點轉變成相對高值，其後續的連線工作都可由 ALEP 接手完成。換言之，ALEP 也可以視為一單純的連線處理工具，廣泛使用於各種傳統資料處理的結果。本章末節所述之磁體邊界描繪便是一例。

4-1 山谷谷軸與自動化流域粹取

ALEP 對山谷谷軸的資料轉換步驟，除將地形上下反轉之外，與山脊的處理完全相同。圖 4-1 為 ALEP 所描繪之台灣全島的谷軸連線。因山谷谷軸也常是地表河流遵循的軸線，二者的分佈通常極為類似。雖然 ALEP 的谷軸連線並未直接以地表水流動時連續下坡的特性為運算原則，但因為處理過程中各線段的加權值被定義為反比於地形高度，在多邊形拆解時位在高處的線段會被優先拆除。這個

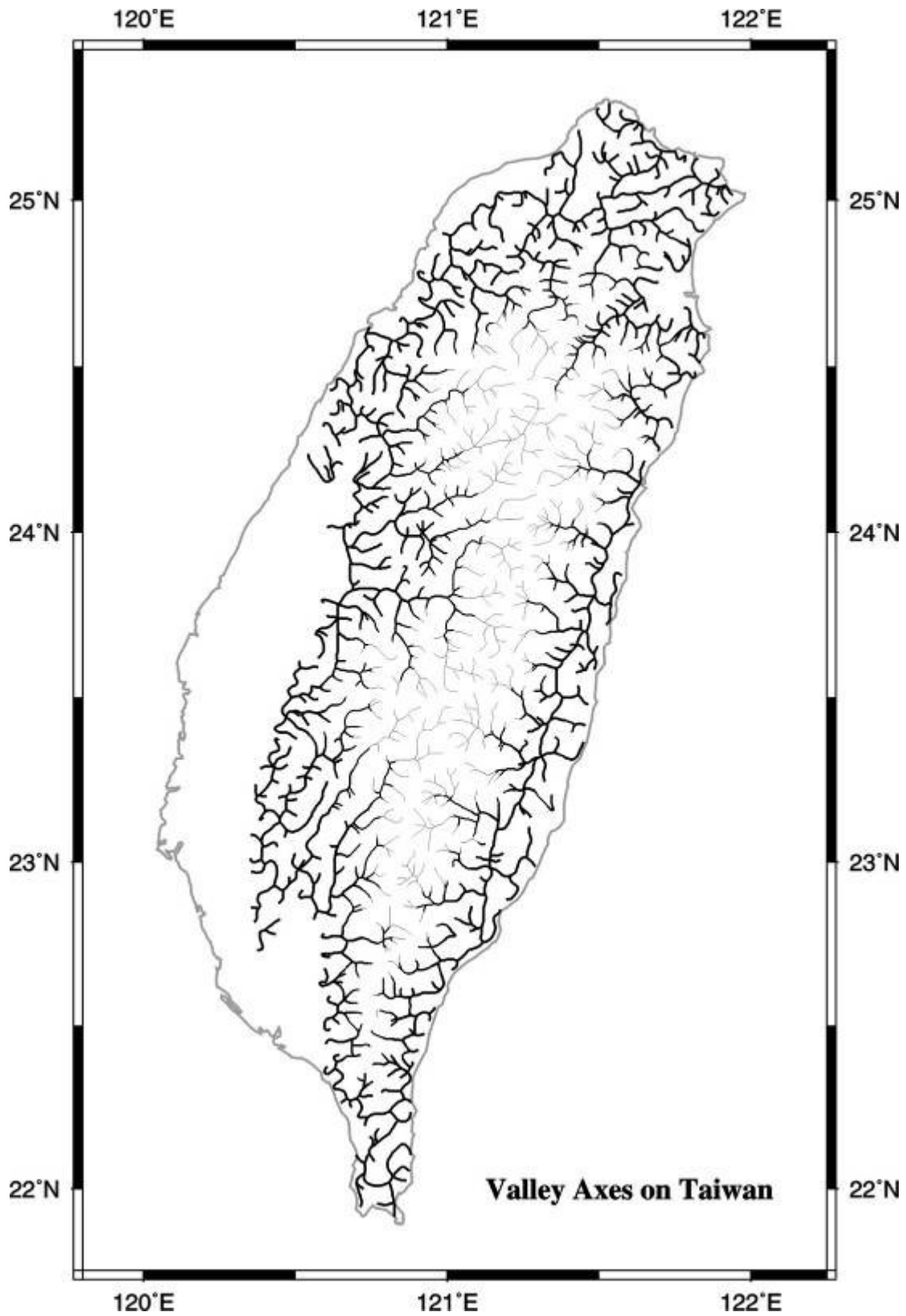


圖 4-1 台灣全島山谷軸線圖。資料處理過程除地形上下反轉外與圖 3-7 相同。

動作事實上與水往低處流動的原則相符，理論上將使拆解後所得的樹枝狀連線群與河流水系相當近似。

在此我們以台灣東北部宜蘭地區的較高解析度的地形資料(圖 4-2a)作一自動化流域粹取之模擬。對於代表水系的連線群而言，表示河流源頭的端點與表示出海口的端點意義上大不相同，為避免作尾端縮減或短分枝清除時意外的縮減了代表出海口的分枝，我們將代表海岸線的網格點直接定義為不可清除的目標點。如此只要陸上的谷軸連線群能觸及海岸線，此模擬水系便可正確的出海。這也是與谷軸分析唯一不同的處理步驟。

圖 4-2b 即為 ALEP 所模擬的宜蘭地區流域水系圖，圖 4-2c 則為真實水系的分佈圖(摘自 Defontaines et al., 1994)。由以上兩圖可以看出主要流域水系，尤其在地形起伏明顯的山區，自動化粹取的結果與事實十分接近，但在地形較平緩的平原區則不盡相符。其主要原因應是以網格資料為運算基礎的自動化粹取其解析度有限，在地形垂直變化甚微時有可能錯失某些事實存在的目標點，導致連線轉向錯誤。以本例而言網格點間距為 0.005 度，約相當於五百多公尺，事實上較此區大多數的河流為寬，換言之這是一個解析度低於自動化流域粹取所需的資料。

4-2 斷裂地形辨識

以地質學研究的角度而言，斷裂地形可以代表斷層活動的軸線或侵蝕作用的邊界。以圖 1-1 為例，台灣東北海域之海底地形區便多半以斷裂狀地形為其邊界。但在數學定義上斷裂地形不如山脊或山谷等來得明確。通常我們需要一相當長度的地形剖面才能以目測的方式判斷一適切的斷裂點。如欲合理而有效的以自動化程序加以判別則較為困難。

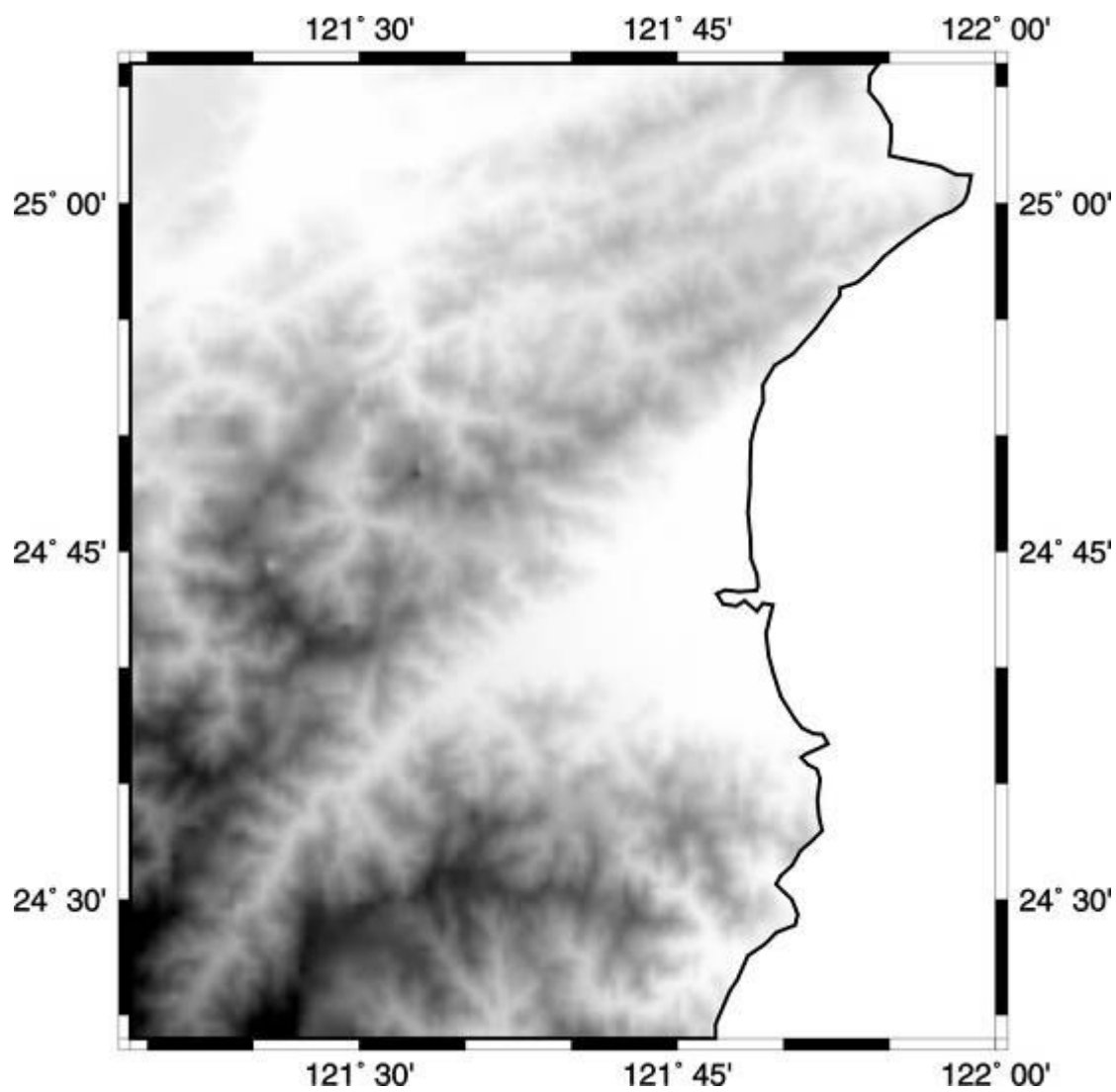


圖 4-2a 宜蘭地區地形影像圖。深色代表地形高區。

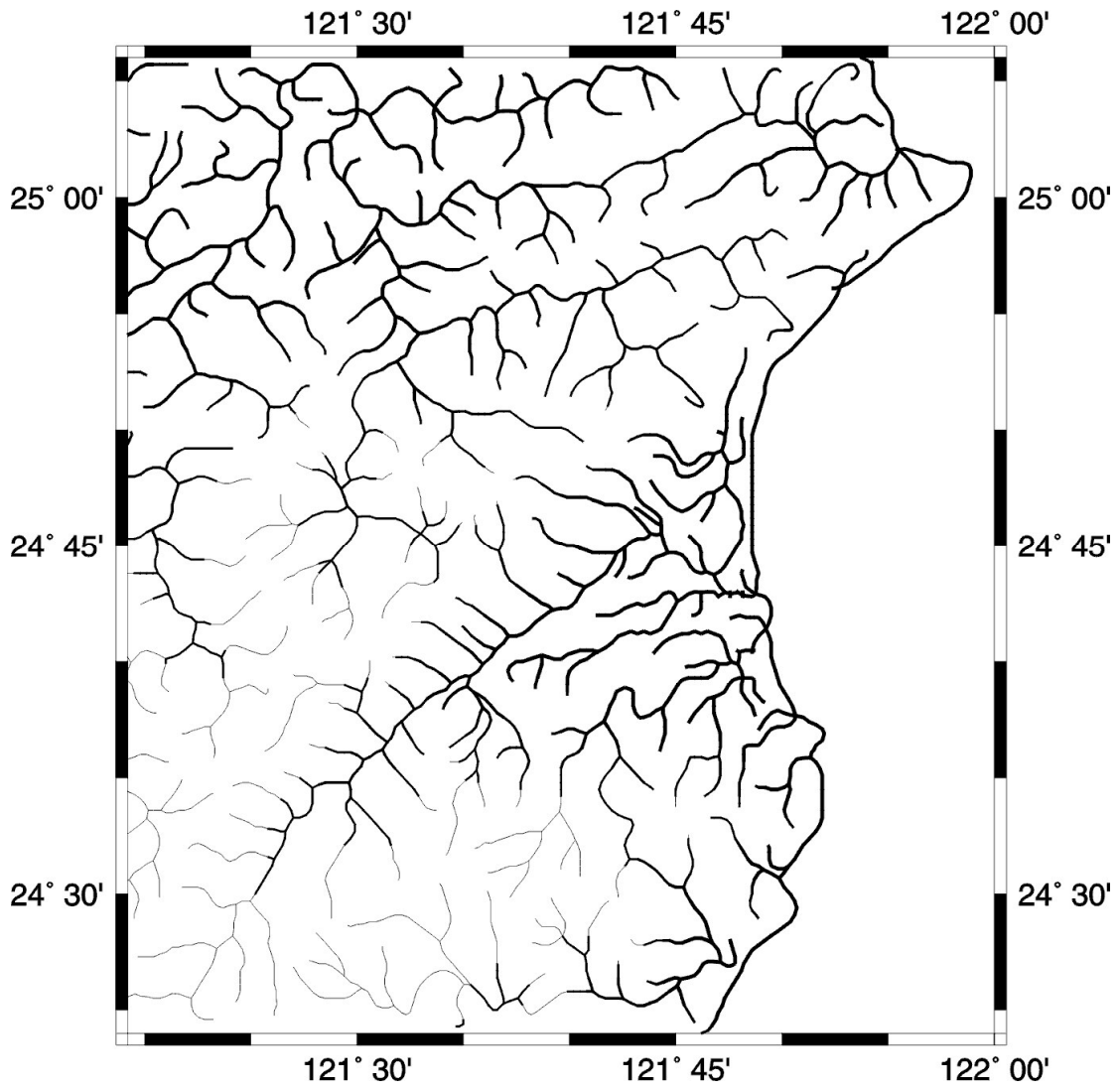


圖 4-2b 宜蘭地區谷軸連線圖（自動化流域粹取的模擬）。



圖 4-2c 宜蘭地區和流水系圖（摘自 Defontaines et al., 1994）。

基本上以地形地貌的角度而言，此類地形的特徵是在目標點兩側中地形較高的一側坡度平緩，較低的一側則坡度較陡。以此為原則我們可以設計一平面加權運算如下：

1. 定義參考平面之直徑，並計算八個方向分區中資料點的平均值為該方向的特徵值(請參考第一章之平面加權運算)。
2. 視八個特徵值與中心點為四個方向各有三點長度之剖面，分別計算四個方向的加權值如下：
 - a. Slope 1 = 較高側特徵值 - 中心點高度
 - b. Slope 2 = 中心點高度 - 較低側特徵值
 - c. 加權值 = $\text{abs}(\text{Slope 2}) - \text{abs}(\text{Slope 1})$
 - d. 記錄特徵值較低側之方向為目標指向。
3. 選取各方向中最大的加權值為此點之加權值，並定義該剖面之目標指向為此點之目標指向。若所有加權值皆為負數，則加權值為零，無目標指向。

簡言之，加權函數值為預期之陡坡(Slope 2)坡度減去緩坡(Slope 1)坡度的絕對值之差。此函數在緩坡趨近水平，而陡坡接近垂直時趨近於極大的正值；而其他情況，不論是陡、緩坡與預期相反、對稱之山脊、谷地、平地或坡度均勻的斜坡等等，此函數皆趨近於零或成為負值。因此加權值可以正確的突顯所需的斷裂地形，圖 4-3 為此運算公式之示意圖及應用於一維地形剖面的實例，可以看出斷裂地形可成功的被標示為加權值的局部高點，而形狀相反的坡底(近似 L 形)地形則成為負值。

在此我們以台灣東北外海之海底地形為例，期望能將斷裂之線型地形特徵加以正確描繪。圖 1-1 為此區域之海底地形照明影像圖，照明光源設定為正北方。經平面加權運算後，其加權值影像如圖 4-4a，深色代表加權高值，其參考平面之直徑定義為 8 個網格間距，相當於 9 點長之剖面去衡量可能的斷裂地形；此外，因為目標

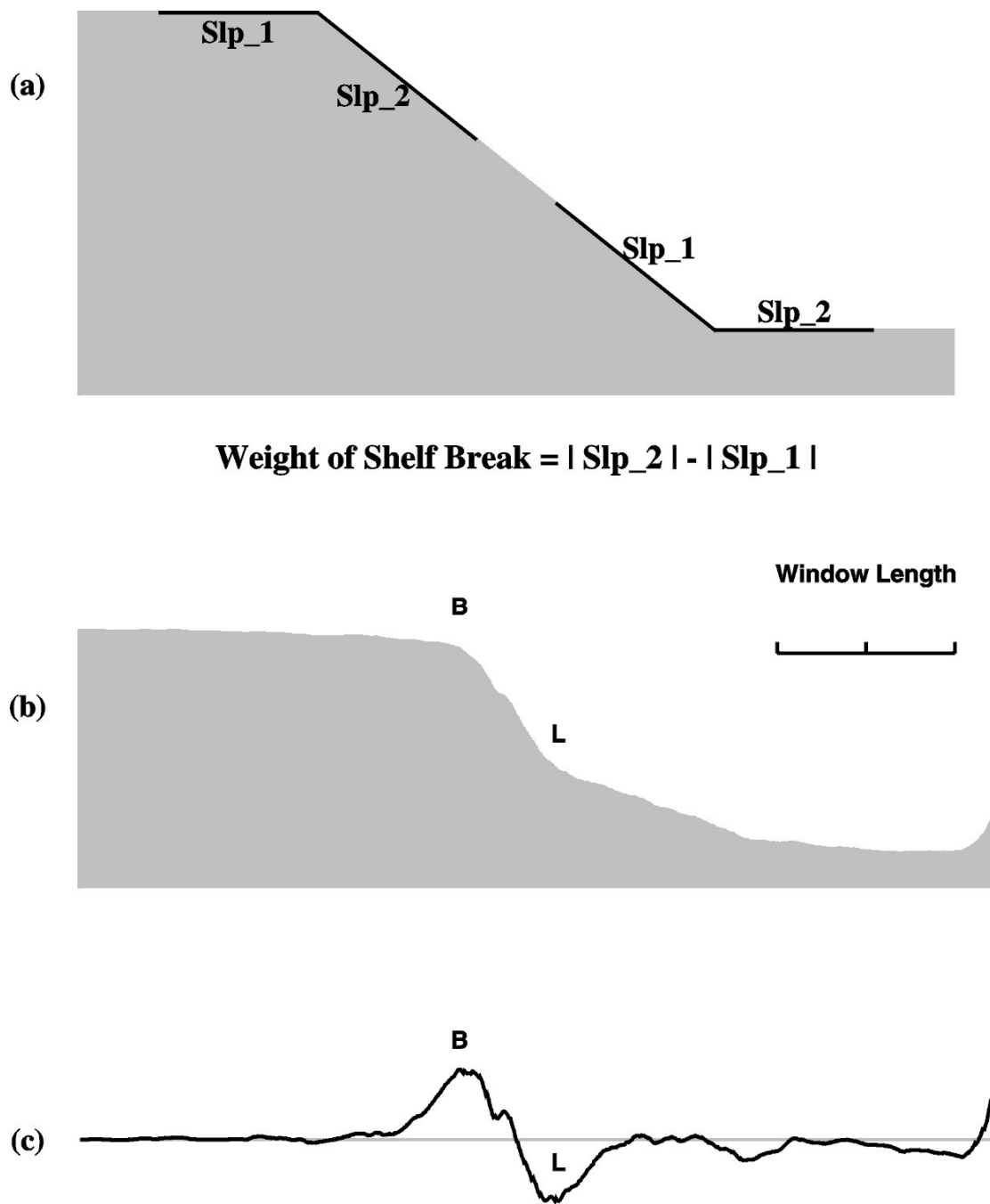


圖 4-3 (a)斷裂地形之示意圖。其下方為此地形之加權公式；(b)一維之地形剖面實例；(c)加權公式對剖面(b)的運算結果。

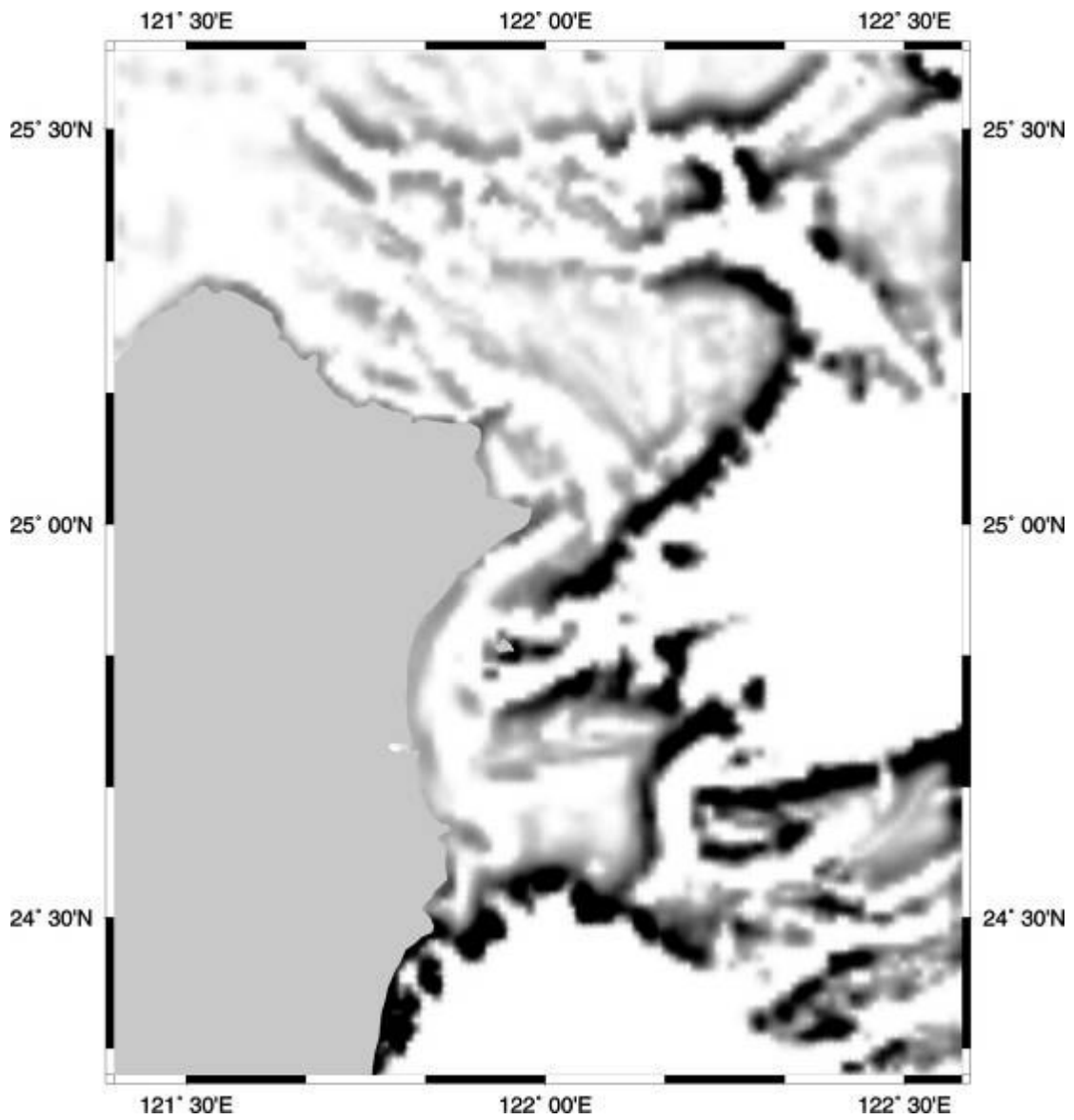


圖 4-4a 東北外海斷裂地形的加權影像圖，參考面直徑為七個網格點。

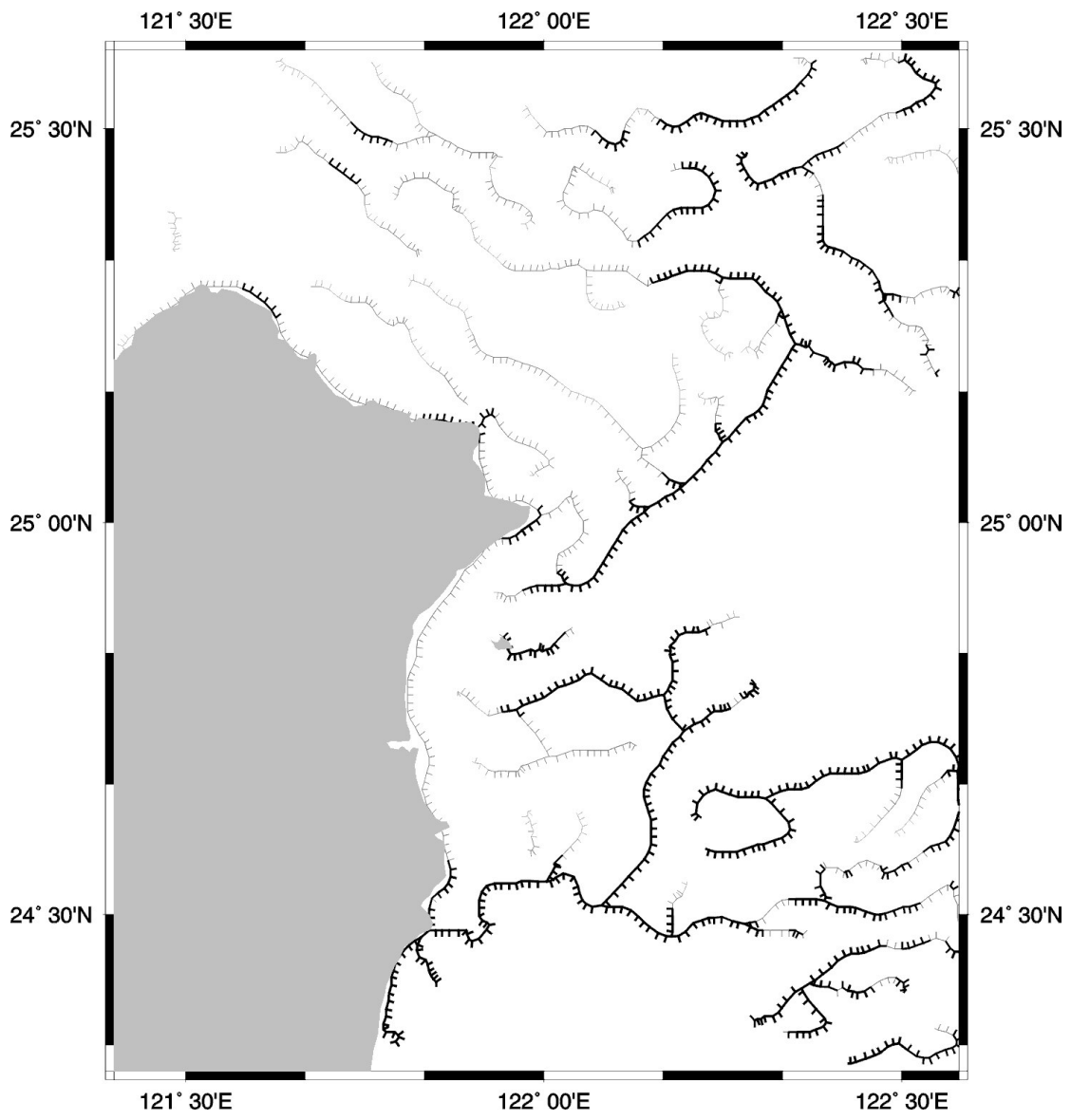


圖 4-4b 斷裂地形之線型描繪圖。主線旁之短線只是斷裂地形較低的一側。處理過程包括：排除五分之一較低加權值的線段；清除短於十個線段的分枝及清除少於十個線段的小線段群。

特徵多位於淺海，深於 1000 公尺的水深點被排除於處理範圍之外。圖中除較明顯的棚裂地形被突顯外，位於陸坡及陸棚上之棉花峽谷及基隆海谷(Song and Chang, 1993)之邊緣亦可加以辨認。以此為新的資料平面，經過連線處理步驟所得結果如圖 4-4b，圖中線條側面的短線指示了目標指向，即此地形線較低的一側。

4-3 數位影像之線型分析

數位影像中的線型特徵基本上是色彩或明暗對比相對明顯的界線。以單色的灰階圖影像(gray level image)為例 ALEP 的平面加權運算設計如下：

1. 定義參考平面之直徑，並計算八個方向分區中資料點的平均值為該方向的特徵值(C_1, C_2, \dots, C_8)。
2. 分別計算 C_k 與 C_{k+4} (相反方向)之間差的絕對值，並記錄 C 值較小的方向為目標指向。
3. 取最大的絕對差值為中心點的加權值，該方向的目标指向為中心點的目标指向。

此項運算的意義是：如果一資料點可在其四個網格點分佈的走向中的任一方向發現其灰階有明顯變化，則它便是影像線型特徵點的候選者，變化越大可能性越高。圖 1-2 為一衛星影像的灰階掃描圖(摘自 Koike et al., 1995)。經 12 點的平面加權計算所得加權值影像如圖 4-5a，亮處代表加權高值。再經其他線型描繪步驟後結果如圖 4-5b。

此影像所攝區域為一山區，因此影像輪廓基本上對應於山脊或谷軸的連線。如第一章中所述，此例中地形為影響亮度的主要因子，且亮度變化與光源的方向有關，因此處理時若能就此一因素加以考慮，則所得結果的合理性及清晰度都會提高(Koike and others, 1995; Raphavan and others, 1995)。但目前 ALEP 程式中的影像處理尚未將此項因素列入考慮。

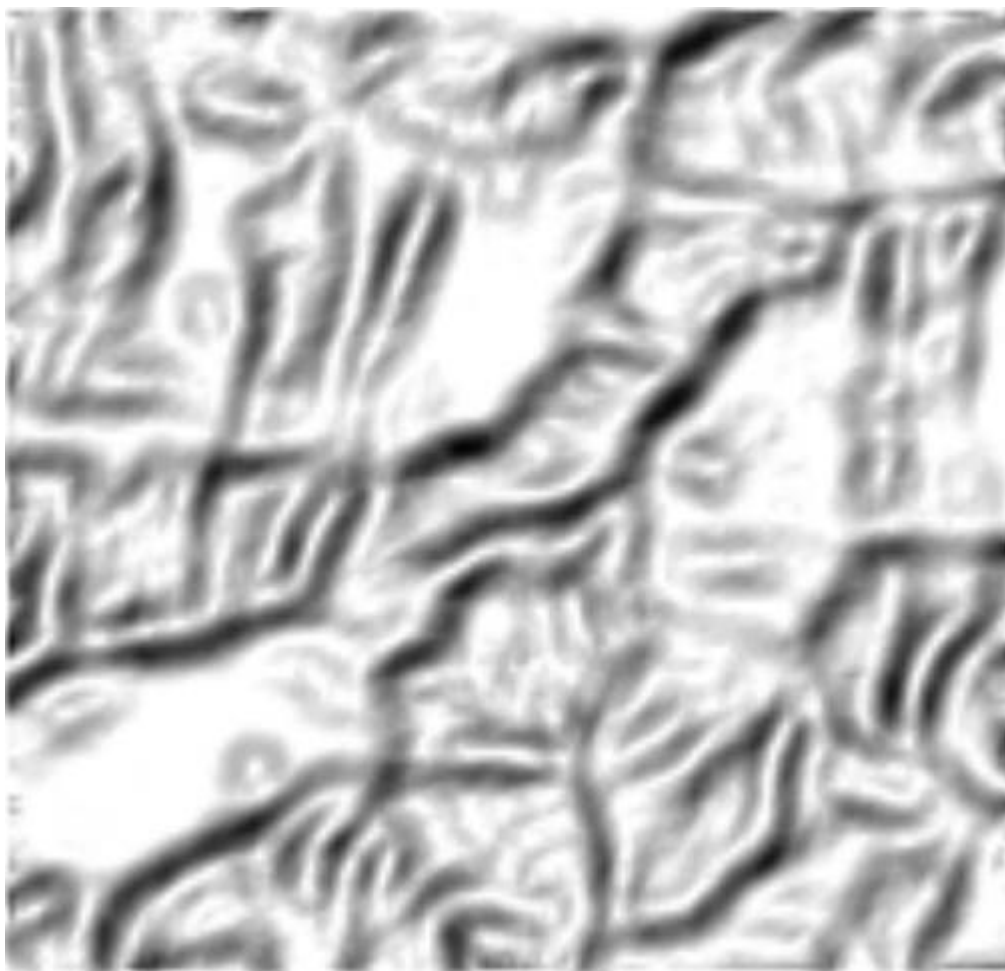


圖 4-5a 圖 1-2 數位影像之線型特徵加權影像圖。參考平面直徑為 12 個網格點。

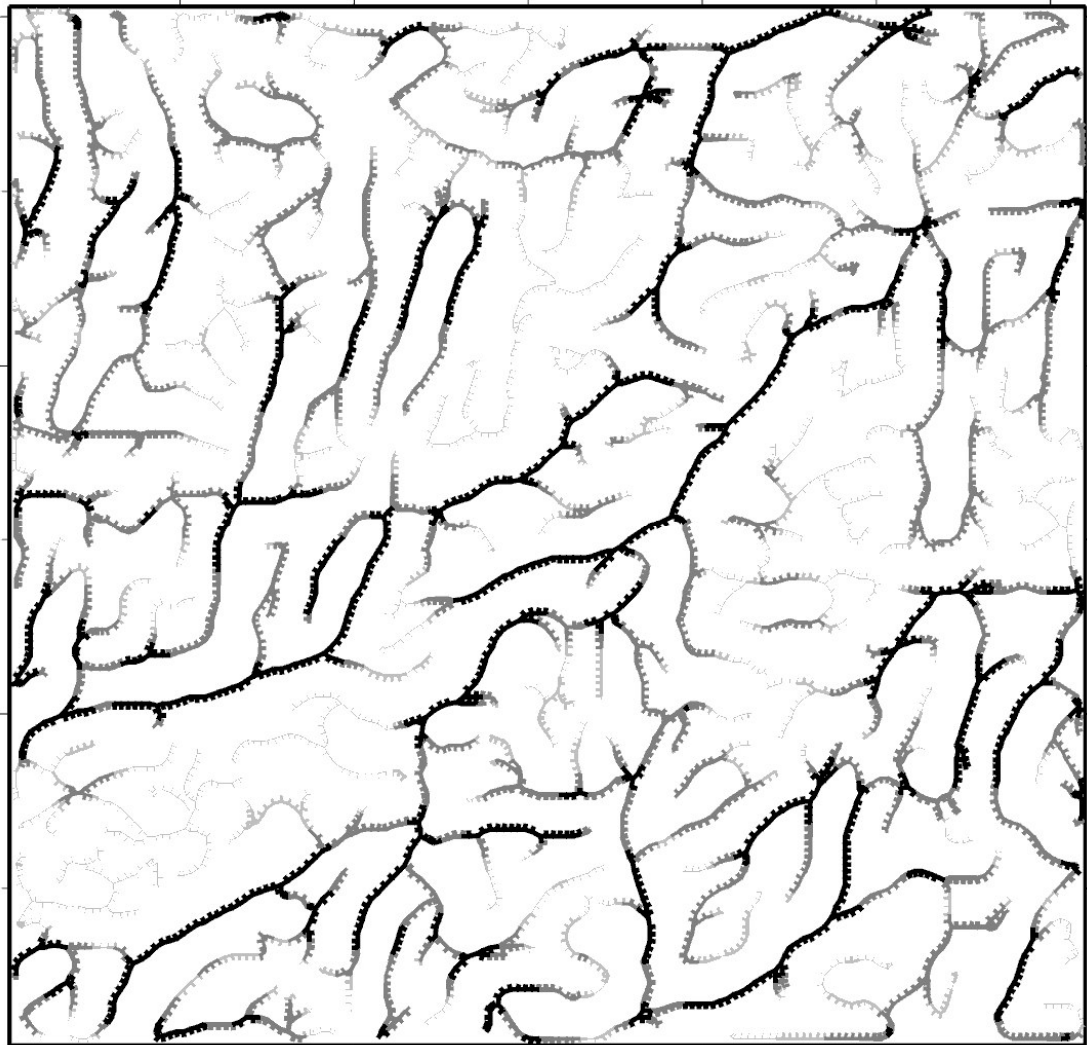


圖 4-5b 數位影像之線型描繪圖。資料處理過程包括：尾端縮減一次；清除短於五個線段的分枝；清除少於十個線段的短分枝。

4-4 震測剖面之層面分析

相較於其他二維資料圖幅，震測剖面(此例中專指反射震測)基本上的不同是它具有方向上的不對稱性。一般而言，剖面的水平方向代表測點的空間分佈，垂直方向代表各測點的時間序列(Time Series)訊號。因此，反射訊號的辨識通常只在垂直方向上進行；而目標聯結僅在相鄰測線之間進行(Lu and Cheng, 1990)。另一方面，震測訊號的複雜度也遠高於其他資料，相關的層面分析工作中，僅是目標辨認方式上的不同便有許多的文獻加以討論(Lu, 1982; Keskes et al., 1982, 1983; Le and Nyland, 1987; Huang, 1987; Love and Simaan, 1984; Chen and Moore, 1988)。

在此，我們首先希望以一維的角度設計一延時間序列上操作的加權函數，再考慮如何將其套用於平面加權的架構。在原理上，時間序列中顯示的反射點應是一反射波串的起點，也就是此例中我們希望標定的目標點(見圖 4-6a)。此點的一個主要特徵是：在它之前訊號中顯示的能量遠低於它後方的能量。因此將資料點後方一定點數內能量的總和減去此點之前同樣範圍的能量和，便是一個很好的目標加權值。其公式如下：

$$\text{Weight}(k) = \sum_{i=k+1}^{k+n} |a(i)| - \sum_{i=k-n}^{k-1} |a(i)|$$

圖 4-6b 中顯示此運算的結果確可使目標點在時間序列上成為一局部高值。同樣的，如果我們將平面加權運算中的八個方向分區視為目標點的前或後方，則上述公式的精神便可以運用於平面加權的運算，其步驟如下：

1. 定義參考平面之直徑，並計算八個方向分區中資料點的平方和為該方向的特徵值(C_1, C_2, \dots, C_8)。
2. 分別計算($C_5 - C_1$), ($C_6 - C_2$)及($C_4 - C_8$)之值(C_4, C_5, C_6 代表時間序列之後方； C_1, C_2, C_8 代表前方)。
3. 取其中最大之正值為中心點的加權值；若皆為負值，加權值為零。

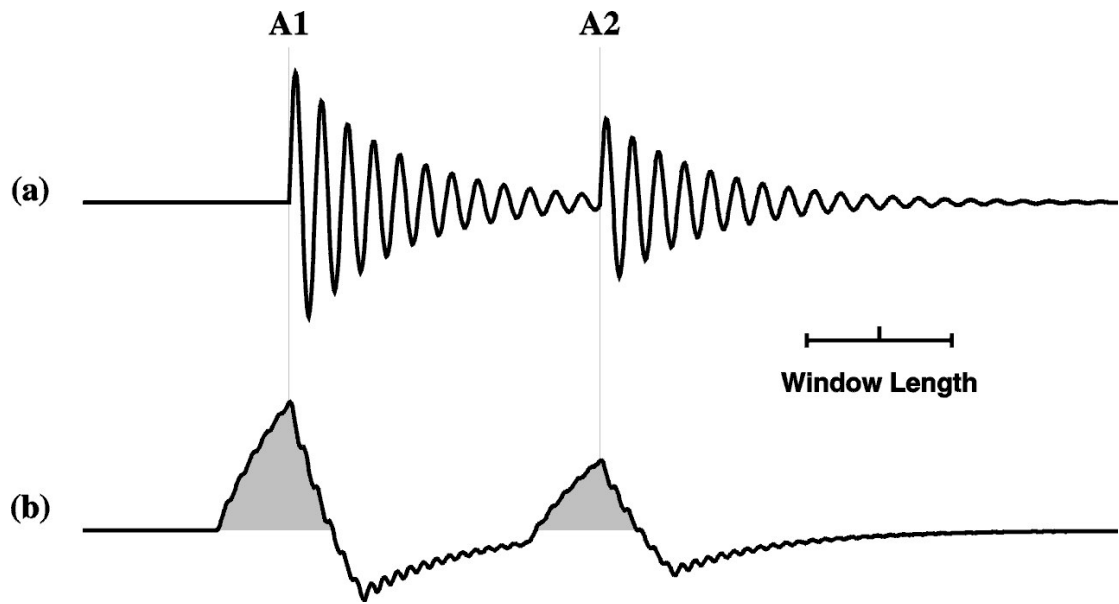


圖 4-6 (a)模擬之一維震波；(b)震波到達點加權公式運算之結果。A1 及 A2 分別為兩個可能的震波到達點，在(b)中成為加權高值。

我們以圖 1-3 的震測剖面為例，經九點直徑之平面加權運算後之影像如圖 4-7a，較亮處為加權值高區。為清除背景雜訊我們先清除 50%加權值較低的資料點，結果如圖 4-7b。其層面線型描繪的結果則如圖 4-7c。如果我們以相同處理步驟僅將參考平面直徑增為 20 點，結果如圖 4-7d。可以看出不同的參考面大小可凸顯不同尺度的反射層面。

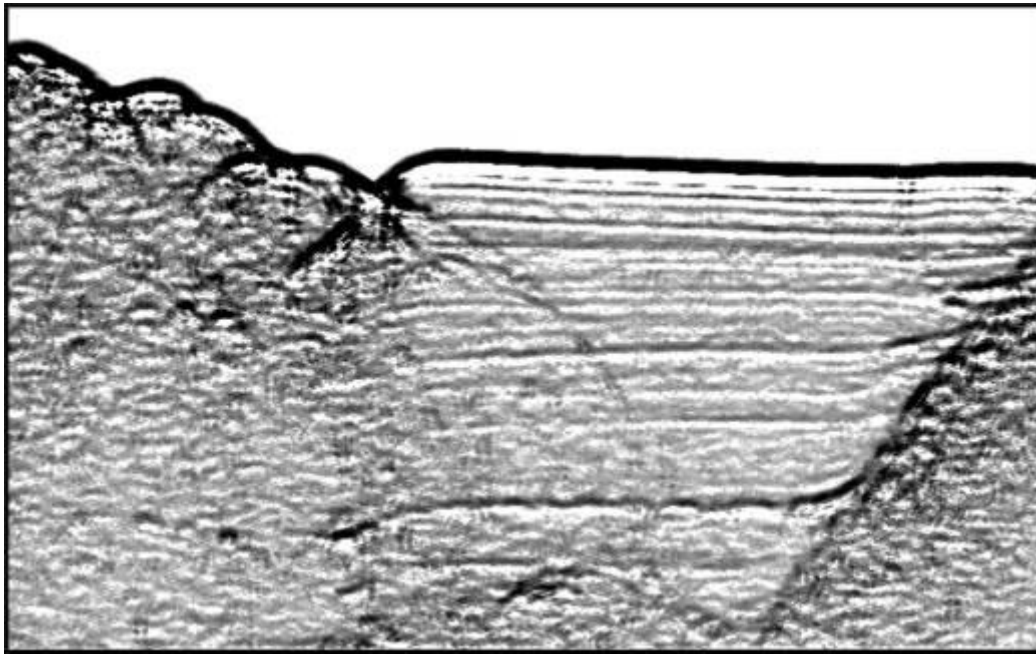


圖 4-7a 圖 1-3 的反射層面加權影像圖。深色代表加權高值，即較可能為反射層面的目標點。

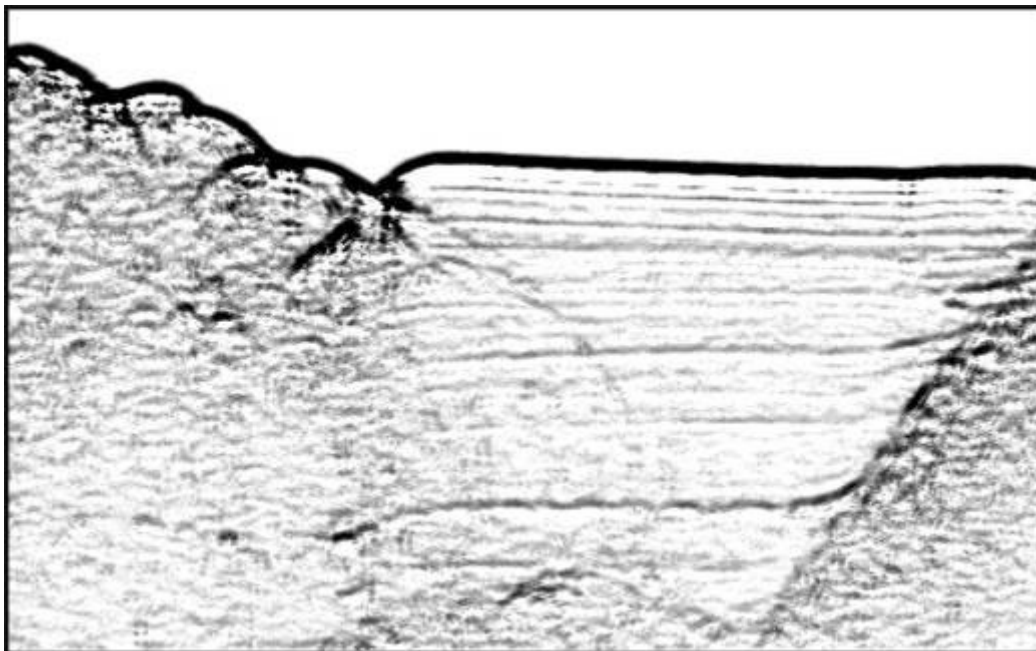


圖 4-7b 排除 50% 低加權值後的反射層面加權影像圖。



圖 4-7c 反射層面線型描繪圖 (參考平面直徑為 9 個網格點)

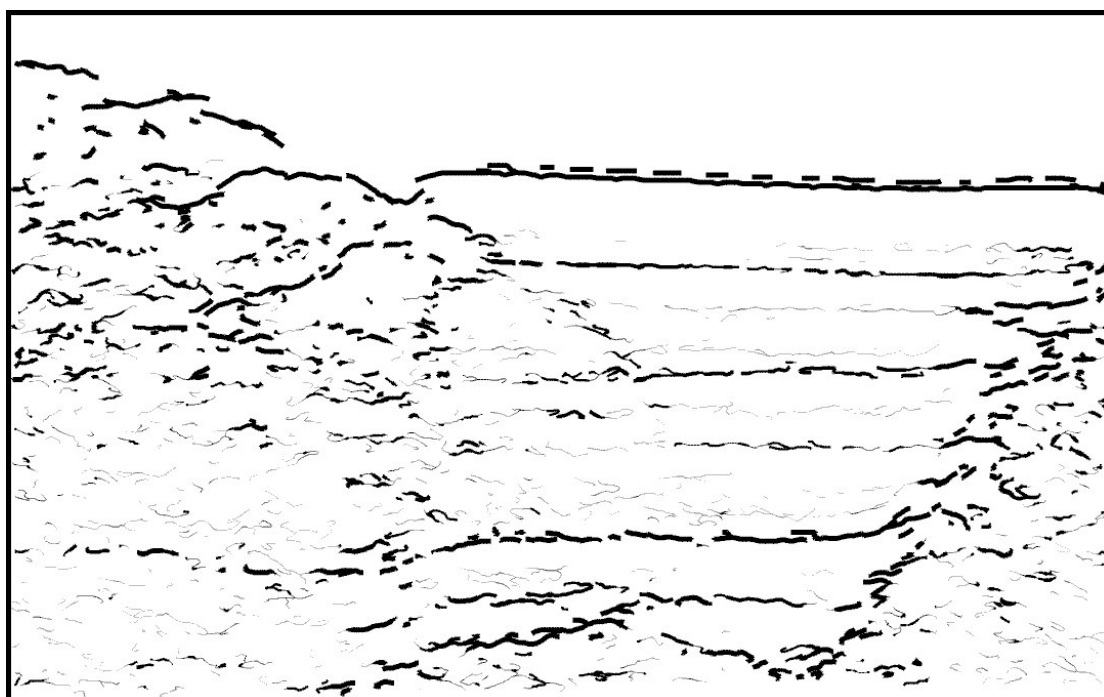


圖 4-7d 反射層面線型描繪圖 (參考平面直徑為 20 個網格點)

4-5 模擬地下磁體的邊界描繪

磁力或重力場的線型變化常能代表地下岩體的邊界，這也是區域地質解釋的工作中一項重要的資訊。如何正確的將地下岩體所產生的重磁效應凸顯出來，通常需考慮地形、地層密度、磁化強度及磁化方向等多項由本身難以直接判斷的因素。但在重磁資料研究領域中，有許多學者嘗試獨立於磁化方向等因素，直接將重磁體邊界突顯出來，且獲得相當成果（e.g., O'brien, 1971; Nabighian, 1972, 1974; Cordell, 1979; Rao et al., 1981; Thompson, 1982; Murthy, 1985; Barongo, 1985; Blakely and Simpson, 1986; Hansen et al., 1987; Hansen and Simmonds, 1993; Ried et al., 1990; Keating and Pilkington, 1990; Ofoegbu and Mohan, 1990; Roset et al., 1992; Marcotte et al., 1992; Marson and Klingele, 1993; Hsu et al., 1996）。

此類處理的成果以 ALEP 的架構而言恰為一成功的資料轉換，如果將其處理結果直接以本程式作山脊線型描繪，則重磁資料的線型特徵也可以被描繪出來。圖 4-8a 為一模擬之地下磁體及其在地表產生的磁力場分佈（摘自 Hsu et al., 1996）。此磁力場分佈經二次的解析訊號(analytic signal)資料處理後如圖 4-8b（Hsu et al., 1996），可看出三個磁體之邊緣被凸顯為加權高區，圖 4-8c 即為此加權高區經 ALEP 運算所得的線型描繪。

由此例中可以發現，任何成功的邊緣強化(edge detection)處理程序皆可用以取代本程式的資料轉換過程，在此情況下 ALEP 基本上是一個單純的連線處理工具。這使得 ALEP 在各類資料處理中可以被廣泛而彈性的加以使用。

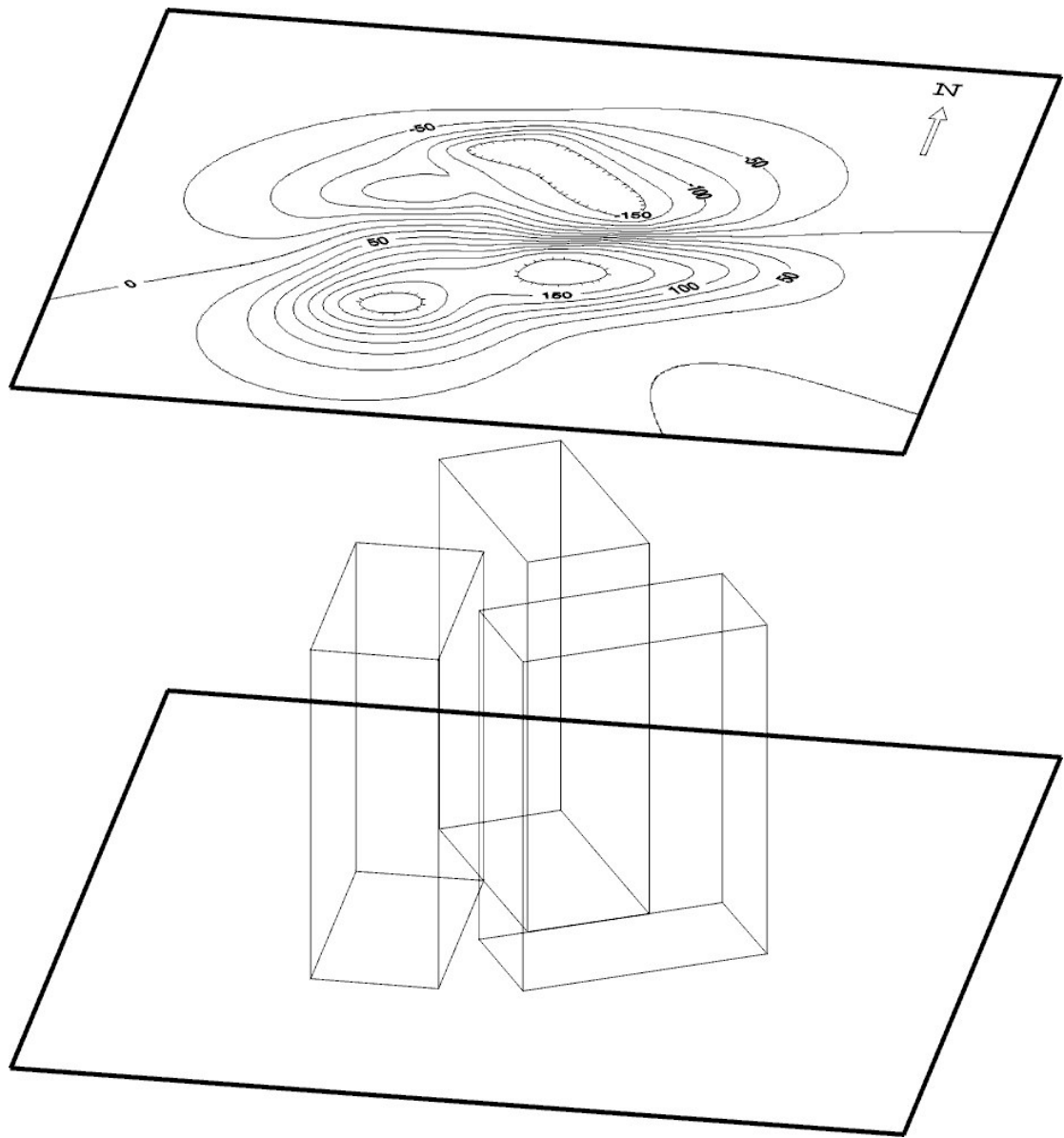


圖 4-8a 模擬之地下磁體及其磁力分佈，圖中的三個例方體代表三個地下磁體，其上的等高線代表磁體在地表產生的磁場分佈。(摘自 Hsu et al., 1996)



圖 4-8b 以二次解析訊號作磁體邊緣強化處理的結果，深色代表可能的磁體邊緣。(摘自 Hsu et al., 1996)

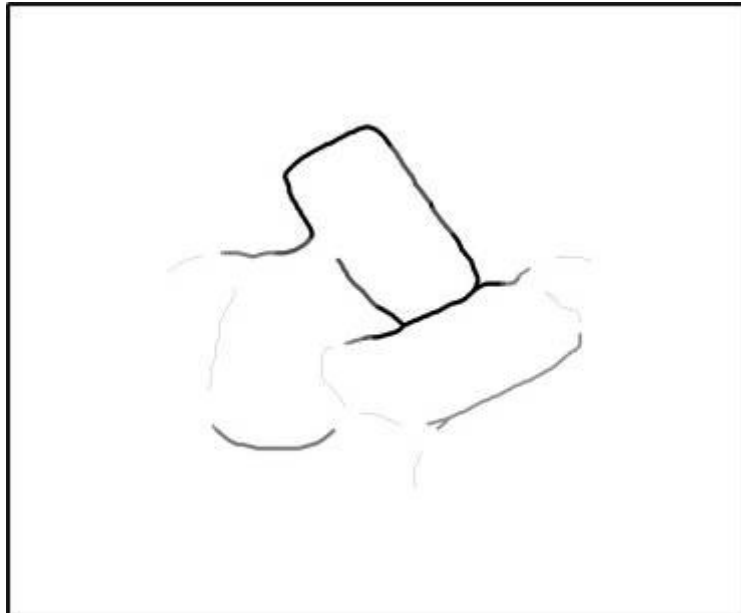


圖 4-8c 以 ALEP 描繪之磁體邊緣。

4-6 ALEP 應用於海底地形分析的實例

在海洋地質的研究領域中，棚裂(shelf break)地形之辨識及其空間分佈常是地質解釋中備受關注的重點。以台灣西南外海之棚裂地形為例，其平均深度僅約 80 米，較一般棚裂地形淺了許多（約 180-250 米），且自枋寮以南基本上沒有可辨識的棚裂地形（參考 Yu and Chiang, 1997）。此類特殊地形與一般情況差異較大，易於引起是否主觀認定有誤的質疑，若以本文中的斷裂地形線型描繪方式加以描繪，當可提供一個雖非絕對正確，卻較為客觀的判斷。

圖 4-9a 即為 ALEP 在此區所描繪之斷裂地形，圖中從標示 A 處向南延伸的長線恰好對應於 Yu and Chiang(1997)所提及的約 80 米深的棚裂線；標示 B 處為高屏峽谷南側類似平台的小塊陸棚；標示 C 處大略為棚裂線消失的位置，而圍繞標示 D 點的線恰與 Yu and Chiang(1997)所提及的外側棚裂(outer shelf)線相符。圖 4-9c 顯示了此區內三個典型的水深剖面及由 ALEP 決定的斷裂地形加權值，箭頭所指為程式在二維圖幅上決定的斷裂地形線的位置，這個分析的結果不僅印證了 ALEP 對棚裂地形的辨識與得自眾多水深剖面的人為判斷差異極小，且在線型特徵的水平向連續性的判斷能力也不遑多讓。

圖 4-10a 及 4-10b 分別為台灣北部外海陸棚區的斷裂地形加權值分佈及其連線處理的結果，不同於圖 4-4a 及 4-4b，其網格密度較大且連線處理時保留了較多的分枝。圖中自北而南四個三角錐型分別代表彭佳嶼、棉花嶼、花瓶嶼及基隆嶼等火山島嶼。以地質解釋的角度而言，此分析結果除了圖 4-4 已顯示之棚裂地形或峽谷邊緣外，許多尺度較小，分佈於陸棚上的地形線亦可在此圖中顯示並代表著某些地質意義。

如標示 1 處周圍的許多連線顯示基隆陸棚（Chilung Shelf, 見圖 1-1）以此為中心有許多向東、向北及向南斷裂的地形線，暗示此

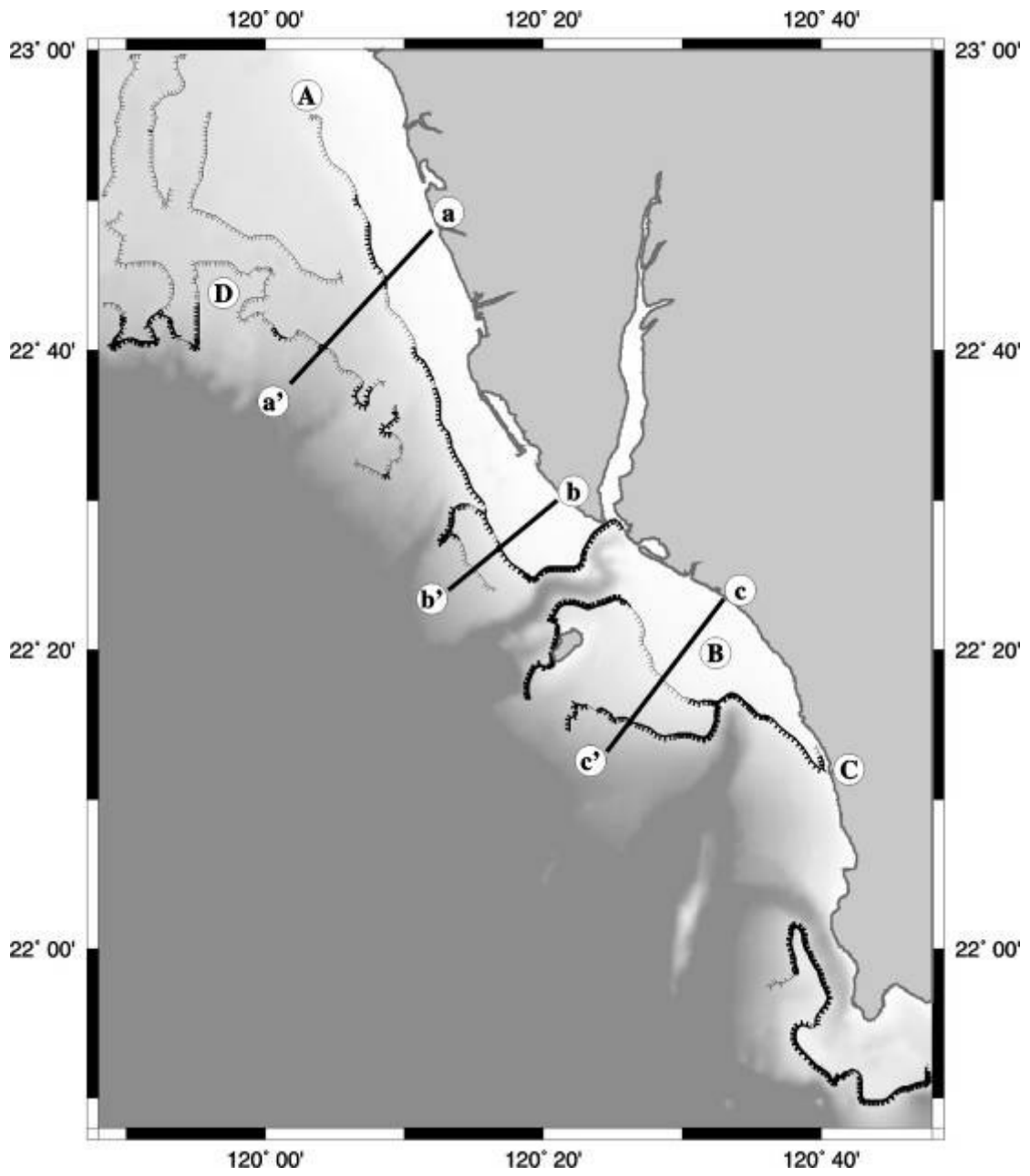


圖 4-9a 台灣西南沿海之棚裂地形線型描繪

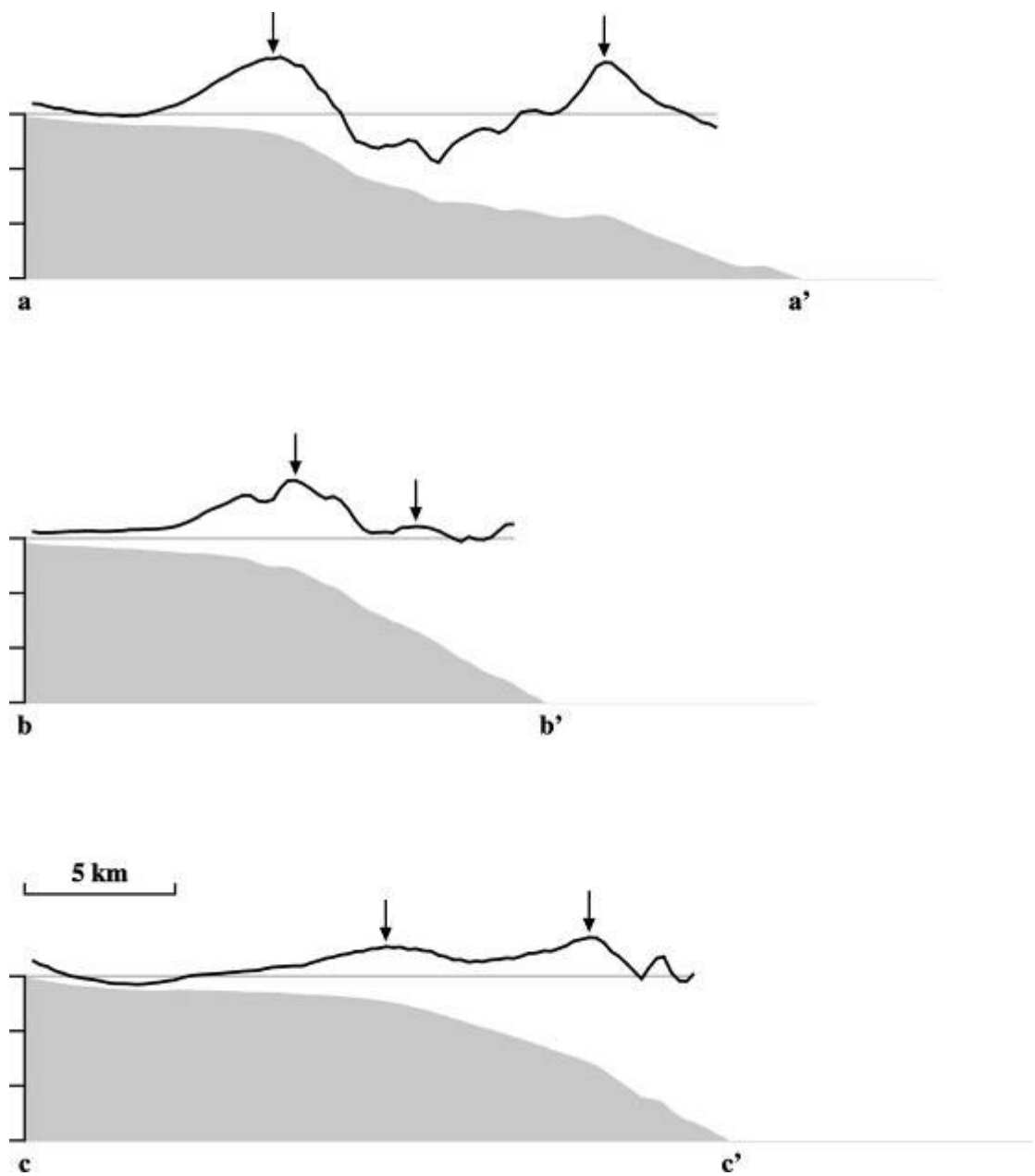


圖 4-9b 西南沿海的三個海底地形剖面。剖面位置見圖 4-9a，地形上方曲線為斷裂地形加權值，箭頭所指為斷裂地形線之位置。

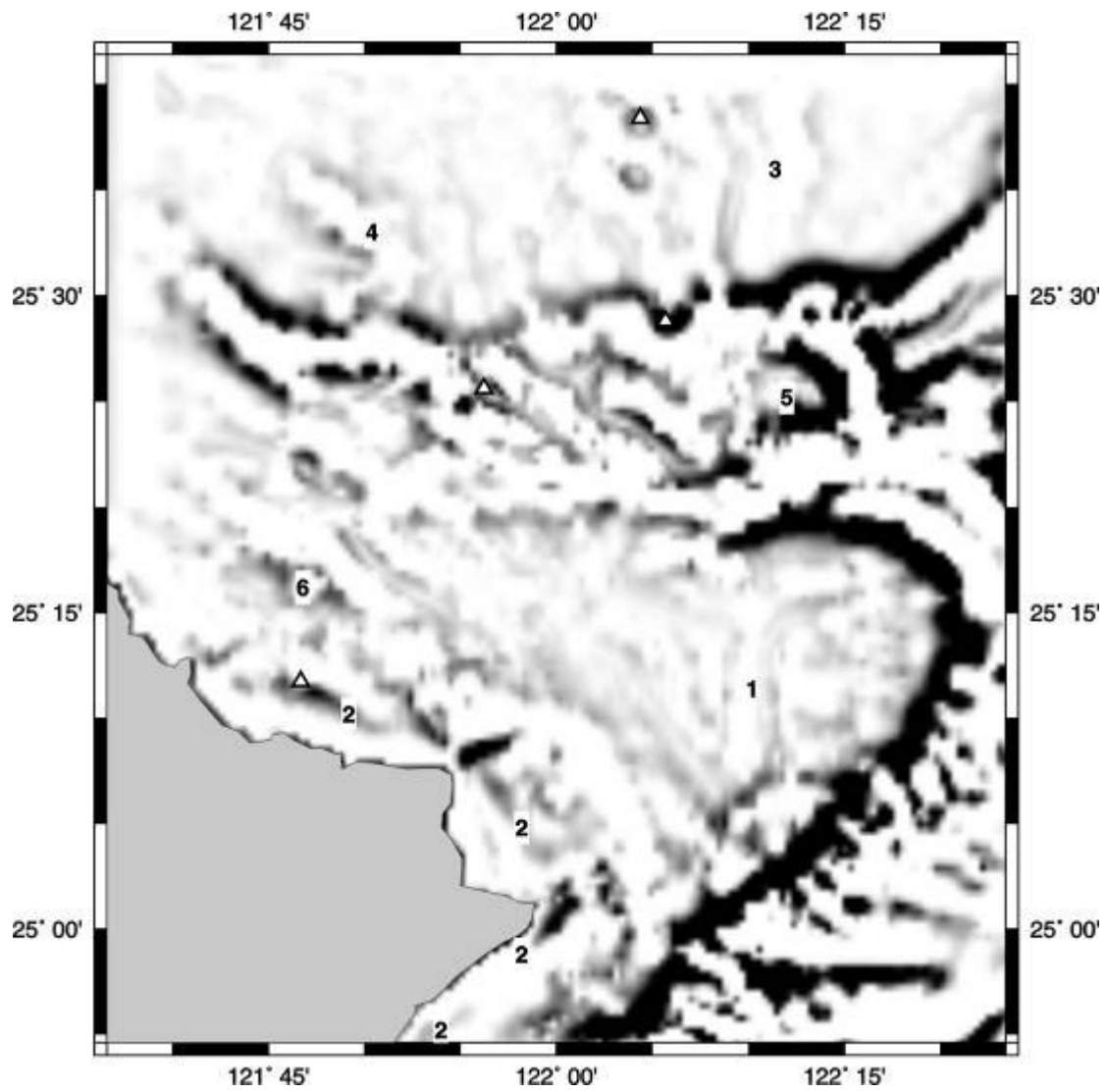


圖 4-10a 台灣北部外海的斷裂地形加權值分佈圖，空心三角形為外海之火山島嶼，標示 1 至 6 說明詳見本文。

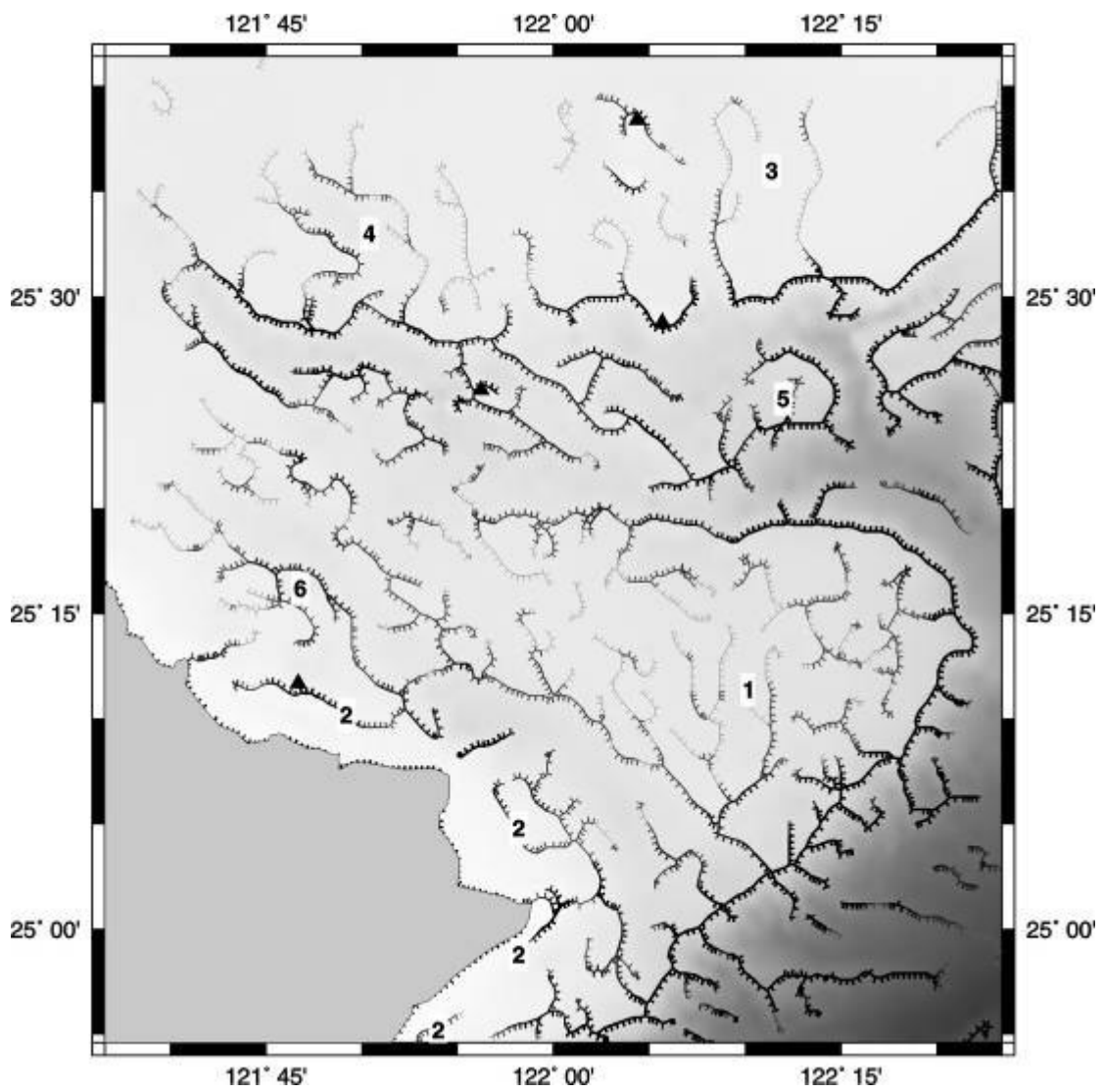


圖 4-10b 台灣北部外海的斷裂地形線型描繪圖，實心三角形代表火山島嶼，標示 1 至 6 說明詳見本文。

陸棚區可能有向海滑動塌陷的趨勢(Song and Chang, 1997)；標示 2 的幾段向外海斷裂的地形線可能為隱沒於海底之沈陷海階(石再添、許民陽, 1988)；標示 3 處的地形線顯示了此區陸棚有不尋常的向內陸方向塌陷的情況；標示 4 處則顯示了在陸棚上有一類似棉花峽谷支流的地形。此類地形特徵因其變化尺度較棚裂或峽谷邊緣為小，一般而言較難從地形圖(如圖 1-1)上直接判讀，但 ALEP 的線型描繪有定性分析的性質，不論地形變化尺度如何微小，只要具有足夠長度的空間連續性，都可由程式描繪出來，這也是自動化線型描繪的優勢之一。

現階段 ALEP 的連線處理會將所有封閉曲線視為當然的不合理狀況，而將其強制拆解成非封閉狀態。此設計的主要目的為方便將過於複雜的連線情況以分枝長短或是否端點等準則加以簡化(見第三章)。其缺點是如果線型特徵確為一封閉曲線，則此特徵將被破壞。如圖 4-10a 中我們可以看到彭佳嶼周圍呈一環狀的高加權值，但經連線處理後(圖 4-10b)，在圖 4-10b 中該島四周卻看不到相對應的環狀連線。類似的情況也發生在標示 6 處的一個可能為海底火山的地形(此地形具有明顯的磁力反應，顯示其火成岩體之特性，參考 Hsu et al., 1997)。但如果環狀地形的水平向尺度夠大仍可加以辨識(如標示 5 處的地形高區)。

簡言之，ALEP 對長而連續的線型特徵描繪能力較佳，但小型環狀之地形線則常被簡化為曲線或被忽略。這在使用本程式分析結果時必須瞭解，以免誤導。若想瞭解資料中是否有明顯的環狀地形線被忽略，可以參考加權值分佈圖(如圖 4-10a)加以補救。

4-7 資料點分佈對分析結果的影響

現階段的 ALEP 程式基本上是針對網格化資料而設計，雖然它允許非等間距資料(random data)的輸入，不致因此中斷程式的運算，但它並沒有彌補空節點(empty nodes)的網格化運算能力，這些

無資料的空節點可使連線的連續性受到相當的影響。事實上 ALEP 讀取資料時是將資料點的 Z 值置於使用者定義的網格中距離最近的節點，若資料點的分佈均勻且密度大於網格點時，ALEP 確可直接使用於原始資料(raw data)無須先行網格化。

一般而言，為了使資料得到最有效的使用，資料處理者傾向於將原始資料作較密集的網格化處理。這意味著許多節點週遭可能並無實測的資料點，而必須由相距較遠的實測點以內差或外差運算得到一個接近合理的節點值。可以想見此類運算猜測性質較大，為求資料平面的穩定性，一般網格化程式會使此類空節點相對於有實測值的節點顯得較為平滑化。這對自動化線型描繪的工作相當不利，因為資料平滑化後如山脊或斷裂地形等形貌特徵變得模糊，目標辨認變得困難，線型連續性的決定也就受到影響。因此根據原始資料的分佈決定合理的網格間距，對 ALEP 的分析結果是否正確至為關鍵。

圖 4-11a 顯示了台灣東北外海的海底地形測深點分佈，可以看出標示 A 區的龜山島周遭測點分佈較為均勻，而標示 B 區內的測點分佈以南北向航線為主。圖 4-11b 為標示 A 區內經 70x40 點的網格化運算後進行的 ALEP 斷裂地形線描繪，其中的連線繪於一 3-D 立體照明圖上（光源來自北北西方，觀測方向為東北東方），較前列各圖更能顯示斷裂地形標示的正確性。此網格密度大略與原始資料密度相同，也是對 ALEP 而言較為合理的網格化決定。

相同的網格密度若使用於標示 B 區（圖 4-11a）則在東西向上網點密度將大於實測點密度約三倍，以此網格密度（50X50）繪製的山谷軸線圖（圖 4-11c）大致仍能符合在二維資料平面上的合理分佈。如果進一步將網點加密為 200X200 時，雖然南北向（沿航線）資料密度仍大於網格密度，但東西向資料密度將遠低於網點密度。如圖 4-11d 所示的線型描繪便與圖 4-11c 有多處的不同，這些不同

多半與過度內差或外差運算所得的節點值受到平滑化有關。簡言之，過度加密的網格化資料並不能提高 ALEP 程式分析結果的解析度，反而易於形成許多錯誤的連線決定。



圖 4-11a 台灣北部外海測深航線分佈圖

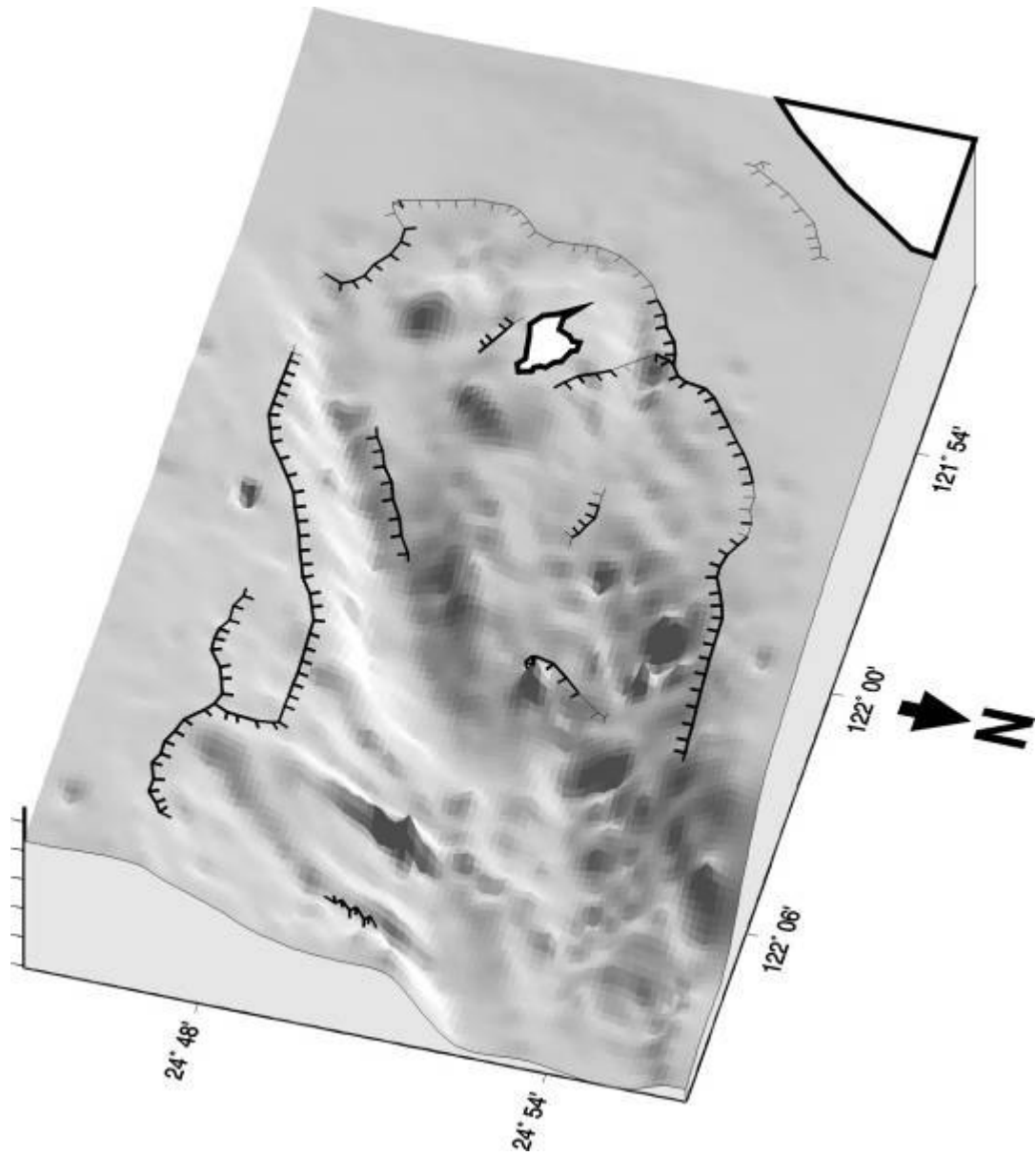


圖 4-11b 龜山島周邊之 3-D 斷裂地形線型描繪圖，背景為照明影像圖，光源來自北北西方，觀測方向為東北東方。圖中央偏北之島嶼為龜山島。

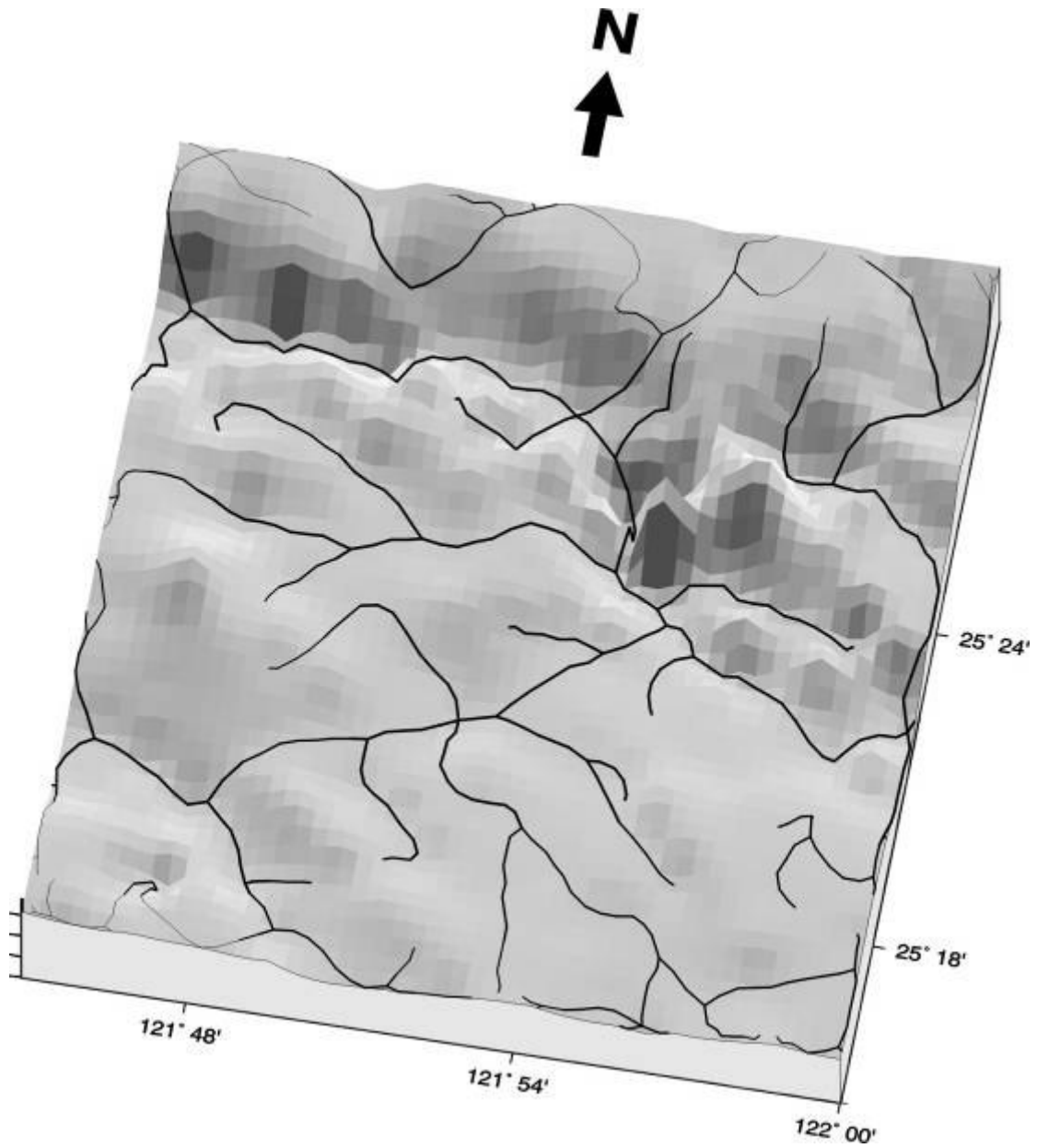


圖 4-11c 合理網格間距決定之線型描繪，網點密度為 50X50。

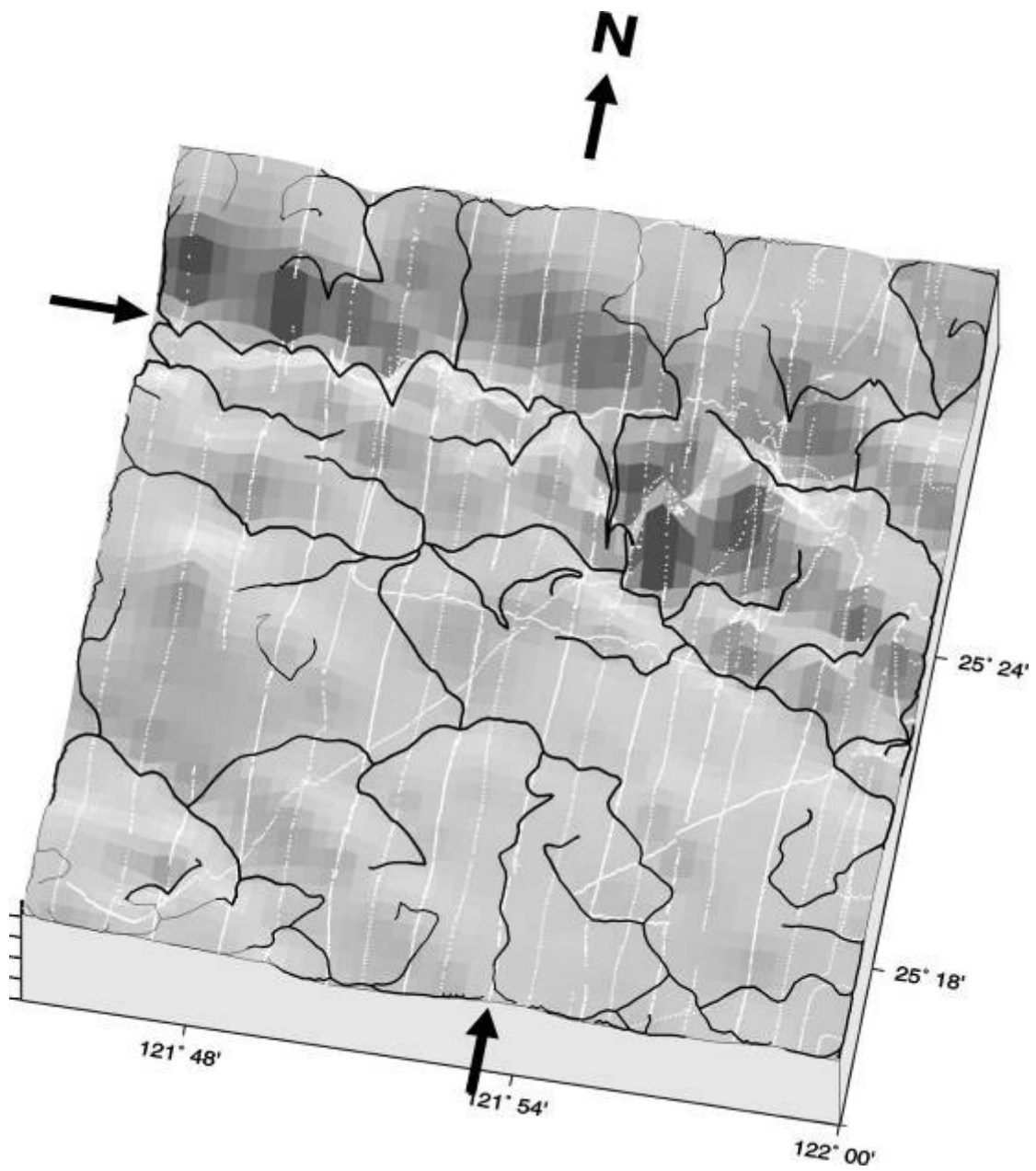


圖 4-11d 網格間距過小時的線型描繪，網點密度為 200X200，背景白線為測深航線。下方及左方箭頭所指處的線型描繪明顯受到航線分佈之影響。

第五章 討論

在以上各章節中，筆者詳述了 ALEP 程式之執行過程及運用於多種地球物理資料的實例。基本上，本文針對各種自動化線型描繪的工作提出了一個較為通用而完整的處理架構，並依此設計了一個可以完成多種線型描繪工作的程式。其特色除了在每一步驟中慎重考慮如何達到具有廣域洞察力的效果外，也預留了許多可供改進或與其他資料處理程序整合的空間。有關本文與其他相關研究的異同之處，及其主要貢獻茲分以下幾個方面加以討論：

5-1 連線處理的技術

一般而言，透過資料處理的過程，表達出二維資料圖幅中的線型特徵是許多學者進行研究之重要目標之一。而達到此一目標的方式，一是強化或凸顯目標特徵，一是直接辨認特徵點加以聯結成線。

其中凸顯目標的相關研究在各個地球物理資料領域中都相當豐富，如震測剖面的資料處理(Robinson and Treitel, 1980)；影像處理之邊緣強化(Rosenfeld and Kak, 1982; Green, 1983; 衛祖賞, 1990; 余松煜等, 1993);重磁資料之高解析邊界偵測(Hsu et al., 1996)或特定地形的分佈及走向等等(Little and Deborah, 1996)。但直接以連線表達線型特徵的處理程序目前還十分少見，多數研究僅止於標定目標點而不加連線(Blakely and Simpson, 1986; Chorowitz et al., 1992; Pratson and Ryan, 1996)；或儘量限制線段聯結的方式，使線段群簡化到易於處理的程度(Lu and Cheng, 1990; Koike et al., 1995; Raphavan et al., 1995)。

本研究的一個主要著力點便在於如何處理複雜的聯結線段群，建立一完整的連線處理功能。這方面的成果包括文中介紹之多邊形拆解、短分枝清除及小線段群清除等雜訊處理單元。於文中實例可見，這些建立於路徑搜尋基礎上的處理技巧可以成功的解決大多數

的連線整理問題。可以預期，如果此項技術趨於成熟而易於使用，則大多數學者都會樂於以連線方式直接描繪其線型特徵處理之結果。而資料解釋過程中主觀描繪連線的必要性也會大幅降低。

5-2 平面加權與傳統運算

本文所介紹之平面加權運算，基本上是以較寬廣的圓形對稱參考平面為基礎，來設計一加權函數使目標點經運算後成為一相對高值。傳統上為達到類似目的，運算的方式通常是定義一矩陣為函數範圍，設計一空間濾波器(Foufoula-Georgiou and Kumar, 1994)或辨認函數(Koike et al., 1995)以凸顯或辨識目標，當目標點具有不同的指向或走向時，可以旋轉矩陣的方式達到多方向偵測的目的(Koike et al., 1995; Little and Deborah, 1996)。相對的，平面加權運算並不作真正的矩陣旋轉，而以多個方向分區模擬多個方向的資料剖面，以達到類似的效果。

值得注意的是，所有二維資料中的線型特徵，基本上只在垂直其走向的方向上有明顯變化。而線型分析者希望於原始資料中取得的兩項主要資訊，包括目標特徵的強度及其走向，都可以藉多方向的一維剖面加以偵測得知。因此真正的二維空間濾波運算在此項工作中並不具有優勢；反之，平面加權卻可得到和傳統運算完全相同之結果且省去了較繁雜的矩陣運算。

基於此運算架構，任何以一維的資料變化為基礎的函數皆可在此運用，得到多方向辨認或增強目標特徵的效果。此外，可彈性調整的參考平面範圍，亦可達到類似空間濾波(Spatial Filter)或漣波運算(Foufoula-Georgiou and Kumar, 1994)的效果，對辨認特定尺度的目標十分有利。

5-3 ALEP 的彈性及通用架構

在此之前的多數相關研究，基本上都是針對特定種類之資料加

以全程設計。但由前文諸多討論及實例中，我們可以發現各式的線型處理有許多共通之處。一般而言，各資料處理間的主要差異在於目標型態的不同，以 ALEP 的架構來說這只是資料轉換方式的不同。因此對於任何資料中的任何目標特徵，只要能於資料轉換步驟中設計一個函數，使目標點成為加權高值，則 ALEP 的後續處理便可成功的完成繪線的工作。而此類轉換函數於各領域的資料處理研究中隨手可得。

這種概念的提出實際上提供了相關研究的一個橫向聯繫，使不同的研究領域得以共享某些資源。例如，在此架構下，連線處理技術可以獨立發展而廣用於各類的線型描繪；而現有的大量資料處理、邊緣加強及線型特徵辨認的研究成果也可以直接以連線方式加以表達，無須仰賴手工描繪完成最後的解釋工作。

5-4 廣域洞察力的增進

廣域洞察力的增進是本研究的基本考量之一。此種考量可見於：(1)以較大範圍的參考平面作目標點之平面加權運算；(2)以較長的辨識剖面決定山脊目標；(3)以路徑搜尋的方式進行連線處理以及連線平滑化等。

其中第(1)項提供了一個可以彈性辨認二維圖幅上各種尺度及走向目標的工具。雖然其處理能力並未超越傳統的漣波運算，但運算時間上卻可大幅精簡。第(2)項的剖面辨識則以較寬鬆尺度的山脊辨識解決了許多大尺度線型特徵被意外中斷的情況。第(3)項的路徑搜尋則以較為特殊的方式延伸了程式的「視野」，它不受限於傳統處理中所定義矩陣的形狀或大小，如有必要它可以遊走全圖取得必要的資訊(見 3-3 節)。這使得「增加程式視野」有了一個新的詮釋，而且在彈性擴展視野的同時，它仍是單純的一維運算，無涉於耗時煩雜的二維矩陣運算(見附錄 A)。

5-5 ALEP 的改進發展空間

現階段的 ALEP 程式發展時程甚短，許多部份的設計基本上都可作更為精緻化的設計或測試。如以二次曲線進行平滑化處理、以更確切的震測訊號辨認公式取代現有公式(Lu and Cheng, 1990)、在平面加權運算中加入各參考點與中心點距離的因素等等。除此之外，平面加權及連線處理兩個基本運算架構本身都還有其發展的空間。

在平面加權運算方面，它有異於一般空間濾波的一個特性是它含有先運算參考面之內各資料點關係的精神。依此推演，其內部運算的結果(如資料的平均值、資料起伏的方差等)或可作為濾波或辨認公式中的一個動態參數(Dynamic Factor)。如資料不穩定時使加權值較低，或平均高度在不同範圍時作不同的處理等等。這與影像增強處理中的非線型濾波概念十分相似(余松煜等，1993)。

在連線處理方面，目前 ALEP 的處理方式是以較低的限制門檻大量聯結線段，以保證線條的連續性；再逐步淘汰低加權或連續性差的線段使最終的連線漸漸浮現。這種方式基本上對連線的連續性有較好的保障，但需處理之線段數較多，所需的雜訊處理步驟也較繁雜。另一方面，如果我們模仿人為描繪時的思考方式，自加權高點向四週延伸連線(Lu and Cheng, 1990)，則理論上必須處理的線段數會大幅減少，也不需要作太多的雜訊處理，值得進一步設計研究。

第六章 結論

本文針對二維地球物理資料的自動化線型描繪工作提出了一個彈性而通用的架構，並依此架構設計了一基本上可廣用於各種線型特徵描繪的程式 ALEP。此程式以平面加權運算的方式完成特徵目標點辨認之工作，並以多邊形拆解等後續連線處理決定合理之連線，以表示線型特徵之分佈。其主要研究成果可列舉如下：

- 一、分析整合各類線型描繪研究之異同之處，提供一通用而彈性的自動化線型描繪的工作流程。
- 二、以增進廣域洞察力的考量，設計整合多種程式工具應用於自動化線型描繪的工作。
- 三、以路徑搜尋為基礎，設計一完整的連線處理程序，可模擬人為之線型描繪及連線修改等過程，並可廣用於各類資料或目標的線型分析。
- 四、設計一平面加權之運算架構，基本上可適用於所有一維之目標辨認公式，並以一維之運算達到多方向偵測目標的二維運算效果。
- 五、提供一基本上可廣用於各種二維地球物理資料線型描繪並具有發展潛力的工具程式 ALEP。

參考文獻：

- Barongo, J.O., 1985, Method for depth estimation on aeromagnetic vertical gradient anomalies: *Geophysics*, vol.50, p.963-968.
- Blakely, R.J., and R.W. Simpson, 1986, Approximating edges of source bodies from magnetic or gravity anomalies: *Geophysics*, vol.51, no.7, p.1494-1498.
- Chang, Y.C., G.S. Song and S.K. Hsu, 1996, Automatic extraction of ridge and submitted to *Computers & Geosciences*.
- Chen, P.C. and T.C. Moore, 1988, Seismic lapout identification for facies analysis: 58th Ann. Int. Mtg., Soc. Expl. Geophys. Expanded Abstracts, p.857-859.
- Chorowitz, J., C. Ichoko, S. Riazanoff and Y.J. Kim, 1992, A combined algorithm for automated drainage network extraction: *Water Resour. Res.*, vol.28, p.1293-1302.
- Chui, C.K., 1992, *An introduction to Wavelets*, Academic Press, New York. Inc.
- Codell, L., 1979, Gravimetric expression of graben faulting in Santa Fe Country and the Espanola Basin, New Mexico: *New Mexico Geol. Soc. Guidebook*, 30th Field Conf., p.59-64.
- Deffontaines, D., J.C. Lee, J. Angelier, J.Carvalho and J.P. Rudant, New geomorphic data on the active Taiwan orogen: A multisource approach. *J. Geophys. Res.*, vol.99, no.B10, p.20243-20266.
- Foufoula-Georgiou, E. and P. Kumar, 1994, *Waveles in Geophysics*: Academic Press.
- Green, W.B., 1983, *Digital Image Processing - a systems approach*: Van Reinhold, New York.
- Hansen, R.O., R.S. Pawlowski , X. Wang, 1987, Joint use of analytic signal and amplitude of horizontal gradient maxima for three-dimensional gravity data interpretation: 57th Ann. Internal. Mtg., Soc. Expl. Geophys., Expanded Abstracts, p.100-102.
- Hansen, R.O. and M. Simmonds, 1993, Multiple-source Wenner deconvolution: *Geophysics*, vol.58, p.1792-1800.
- Hsu, S.K., J.C. Sibuet and C.T. Shyu, 1996, High-resolution detection of geologic boundaries from potential-field anomalies: an enhanced analytic signal technique: *Geophysics*, vol.61, no.2, p.373-386.

- Hsu, S.K., D. Coppens and C.T. Shyu, 1997, The determination of depth to magnetic contacts and dikes using amplitude ratios of the generalized analytic signal. *Geophysics*, (in press)
- Huang , K.Y., K.S. Fu, S.W. Cheng and Z.S. Lin, 1987, Syntactic pattern recognition and Hough transformation for reconstruction of seismic patterns: *Geophysics*, vol.52, p.1612-1620.
- Jenson, S.K. and J.O. Dominique, 1988, Extracting topographic structure from digital elevation data for Geographic Information System analysis: *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, vol.54, p.1593-1600.
- Jenson, S.K., 1991, Applications of hydrologic information automatically extracted from Digital Elevation Models: *Hydrologic Processes*, vol.5, p.31-44.
- Keating, P.B. and M. Pilkington, 1990, An automated method for the interpretation of magnetic vertical-gradient anomalies: *Geophysics*, vol.55, p.336-343.
- Keskes, N., W.E. Good and H.C.T. Wong, 1982, Image analysis techniques for seismic data: 52nd Ann. Int. Mtg., Soc. Expl. Geophys., Expanded Abstracts, p.220-221.
- Keskes, N., P. Zaccagrino, D. Rether and P. Mermey, 1983, Automatic extraction of 3D seismic horizon: 53rd Ann. Int. Mtg., Soc. Expl. Geophys., Expanded Abstracts, p.557-559.
- Koike, K., S. Nagano, and O. Michito, 1995, Lineament analysis of satellite images using a segment tracing algorithm (STA): *Computers & Geosciences*, vol.21, no.9, p.1091-1104.
- Le, L.H. and E. Nyland, 1987, Pattern analysis of seismic records: 57th Ann. Int. Mtg., Soc. Expl. Geophys., Expanded Abstracts, p.331-334.
- Little, S.A., P.H. Carter and D.K. Smith, 1993, Wavelet Analysis of bathymetric profile reveals anomalous crust: *Geophys. Res. Letts.*, vol.20, no.18, p.1915-1918.
- Little, S.A. and K.S. Deborah, 1996, Fault scarp identification in side-scan sonar and bathymetry images from the Mid-Atlantic Ridge using wavelet-based digital filters: *Mar. Geophys. Res.*, vol.18, p.741-755.
- Love, P.L. and M. Simaan, 1984, Segmentation of stacked seismic data by the classification of image texture: 54th Ann. Int. Mtg., Soc. Expl. Geophys., Expanded Abstracts, p.536-537.
- Lu, S.Y., 1982, A string-to-string correlation algorithm for image skeletonization: *Proc. Int. Joint Conf. Pattern Recognition*, Munich, p.178-180.

- Lu, S.Y., and Y.C. Cheng, 1990, An iterative approach to seismic skeletonization: *Geophysics*, vol.55, no.10, p.1312-1320.
- Mallat, S. and S. Zhong, 1992, Characterization of signals from multiscale edges: *IEEE Trans. on Pattern Anal. and Machine Intelligence*, vol.14, no.7, p.710-732.
- Marcotte, D.L., C.D. Hardwick and J.B. Nelson, 1992, Automated interpretation of horizontal magnetic gradient profile data: *Geophysics*, vol.57, p.288-295.
- Marson, I., and E.E. Klingele, 1993, Advantages of using the vertical gradient of gravity for 3-D interpretation: *Geophysics*, vol.58, p.1588-1595.
- Morlet, J., G. Arens, I. Fourgeau and D. Giard, 1982, Wave propagation and sampling theory: *Geophysics*, vol.47, p.203-236.
- Murthy, I.V.R., 1985, Magnetic interpretation of dike anomalies using derivatives: *PAGEOPH*, vol.123, p.232-238.
- Nabighian, M.N., 1972, The analytic signal of two dimensional magnetic bodies with polygonal cross-section: Its properties and use for automated anomaly interpretation: *Geophysics*, vol.37, p.507-517.
- Nabighian, M.N., 1974, Additional comments on the analytic signal of two-dimensional magnetic bodies with polygonal cross-section: *Geophysics*, vol.39, p.85-92.
- O'Brien, D.P., 1971, Compudepth: A new method for depth to basement computation: Presented at the 42th Ann. Internat. Mtg., Soc. Expl. Geophys.
- O'Callaghan, J.F. and D.M. Mark, 1984, The extraction of drainage networks from digital elevation data: *Computer Vision, Graphics and Image Processing*, vol.28, p.323-344.
- Ofoegbu, C.O., and N.L. Mohan, 1990, Interpretation of aeromagnetic anomalies over part of southeastern Nigeria using three-dimensional Hilbert transformation: *PAGEOPH.*, vol.134, p.13-29.
- Pratson, L.F. and W.B.F. Ryan, 1994, Infilling and subsidence of intraslope basins offshore Louisiana; overprinting of sediment drainage by salt tectonics: *Am. Assoc. Pet. Geol. Bull.*, vol.78, p.1483-1506.
- Pratson, L.F. and W.B.F. Ryan, 1996, Automated drainage extraction in mapping the Monterey Submarine Drainage System, California Margin: *Mar. Geophys. Res.*, vol.18, p.757-777.
- Raphavan, K. Wadatsumi and S. Masumoto, 1994, SMILES: A FORTRAN-77 program for sequential machine interpreted lineament extraction using digital images: *Computers & Geosciences*, vol.20, no.2, p.121-159.

- Raghavan, V., S. Matsumoto, K. Koike, and S. Nagano, 1995, Automatic lineament extraction from digital images using a segment tracing and rotation transformation approach: *Computers & Geosciences*, vol.21, no.4, p.555-591.
- Rao, D.A., H.V. Babu and P.V. Narayan, 1981, Interpretation of magnetic anomalies due to dikes: The complex gradient method: *Geophysics*, vol.46, p.1572-1578.
- Reid, A.B., J.M. Allsop, H. Granser, A.J. Millet and I.W. Somerton, 1990, Magnetic interpretation in three dimensions using Euler deconvolution: *Geophysics*, vol.55, p.80-91.
- Robinson, E.A. and S. Treitel, 1980, *Geophysical signal analysis*: Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs.
- Roest, W.R., J. Verhoef and M. Pilkington, 1992, Magnetic interpretation using the 3-D analytic signal: *Geophysics*, vol.57, p.116-125.
- Rosenfeld, A. and A.C. Kak, 1982, *Digital Picture Processing*, 2ed., vol.1 and 2, Academic Press, New York.
- Roy, B. and R.F. Mereu, 1996, Signal enhancement using pattern recognition techniques with application to near vertical crustal seismic reflection experiments: *Geophys. Res. Letts.*, vol.23, no.14, p.1849-1852.
- Smith, W.H.F., and P. Wessel, 1990, Girding with continuous curvature splines in tension: *Geophysics*, vol.55, p.293-305.
- Song, G.S. and Y.C. Chang, 1993, Comment on "Naming of the submarine canyons off northeastern Taiwan: a note" by Ho-Shing Yu: *Acta Oceanographica Taiwanica*, no.30, p.77-84.
- Song, G.S. and Y.C. Chang, 1997, Characteristics of submarine topography off northern Taiwan. TAO, (accepted)
- Thompson, D.T., 1982, EULDPH: A new technique for making computer-assisted depth estimates from magnetic data: *Geophysics*, vol.47, p.31-37.
- Wessel, P., and W.H.F. Smith, 1995, New version of the Generic Mapping Tools released: *EOS Trans. Amer. Geophys. U.*, vol.76, p.329.
- Yu, H.S. and C.S. Chiang, 1997, Kaoping Shelf: morphology and tectonic significance. *Journal of Asian Earth Sciences*.
- 石再添、許民陽，1988，台灣北端海岸的海階地形，*地理學研究*，師大地理系，12，1-14
- 余松煜，周源華，吳時光，1993，*數位影像處理*：儒林圖書公司

附錄 A：路徑搜尋之程式設計

ALEP的路徑搜尋動作為其各種連線處理的基礎，它事實上包括了線段的登錄、檢查、刪除等幾個更基本的動作。所有這些線段處理皆建立於以下三個基本原則：

- 1.任何一網格點只允許與其八個鄰點(見圖 2-4)中的一至多點相聯結。
- 2.每一網格點與一至四號鄰點的聯結狀況分別登錄為四個登錄值。
- 3.聯結登錄值包括：『0』表示未聯結；『1』，『2』則分別代表兩種聯結狀態。

在線段聯結確定時，程式首先將其登錄為聯結狀態『2』；若處理過程中確定要刪除某線段則將其登錄值改為『0』。而聯結狀態『1』，則為預留的彈性處理空間，在此程式中具有兩種功能：其一是作為路徑暢通與否的指標。在多邊形拆解過程中，許多已確定不可能包含於任何多邊形的線段，會被改變為聯結狀態『1』，表示此線段雖然聯結但無須搜尋。

其二是作為雜訊處理動作中的假性線段刪除。為了方便使用者在基本的線段聯結決定後，以此為基礎反覆的測試各種雜訊處理的結果，而無需從頭執行整個程式。包括低加權線段清除、尾端縮減、短分枝清除及小線段群清除等副程式在刪除線段時，僅是將聯結狀態自『2』改為『1』，而其後的線條平滑化及線段輸出等動作則針對聯結狀態『2』的線段進行。若對處理結果不滿意時，可將所有聯結狀態回歸為『2』重新處理。

由上可知，在檢查線段聯結與否時，程式事實上是檢查其線段登錄值。若我們想知道某一點與一至四號以外的鄰點是否聯結，則須檢查屬於該鄰點的線段登錄值。如圖 2-4 中，若欲得知中心點與

第 5 號鄰點是否聯結，則需檢查第 5 鄰點在方向 1 的線段聯結登錄值。在本程式中這類反轉動作及登錄矩陣交由一副程式『con』處理，而在其上一層的副程式『kst』基本上負責以八個鄰點的思考模式登錄檢查或取消線段的聯結。

在上述的程式架構下，我們可以很方便的以下面幾個步驟執行路徑搜尋的動作：

1. 選定一起始點。
2. 以順時針或反時針方向找尋相聯結的鄰點。
3. 將中心點移至相聯結的鄰點重覆動作 2。

另一方面，在搜尋過程中，許多資訊必須同步擷取作處理的參考。如在短分枝處理中，程式以擁有三個以上聯結數的分枝點起步，直到遇上另一分枝點或只有一個聯結數的端點為止。過程中須不斷檢查所經各點的總聯結數，並累加各線段的加權值及個數，以判定所走的路徑是否為一分枝？如果是，它們的長度為何？如果長度一樣，且都在須刪除的範圍內，何者加權值較低應先刪除？

這一套路徑搜尋的技巧，基本上並不繁雜，但在自動化線型描繪的工作上，它代表的重要意義是它可以將網格點本身『點』的資訊與連線所代表的『線』的資訊加以整合，作綜合的考慮。我們相信在此基礎上，各種更精緻靈活的連線整理程式仍有許多發展的空間。

附錄 B : ALEP 原始程式

```
Program ALEP
c*****
c Automatic Line Extraction Program:
c program to extract the linear features on the 2-D geophysical map
c The main steps of the processes are:
c step 1 : data input, by sub._input
c step 2 : Data TransForm, by sub._DTF
c step 3 : TarGet ReCognition and CONNection, by sub._TGRCON
c step 4 : PolyGon BreAKing, by sub._PGBK
c step 5 : picture CLEARance, by sub._CLEAR
c*****
    call input
    call DTF
    call TGRCON
    call PGBK
    call CLEAR
    stop
    end

subroutine input
c*****
c subroutine for input the necessary parameters and data file
c*****
character*30 fin
common /all/ndx,ndy,sx,sy,dxi,dyi,nx(8),ny(8),ib
common /znx/ic,zn,zx
data nx/0,1,1,1,0,-1,-1,-1/
data ny/1,1,0,-1,-1,-1,0,1/
print*,'*****'
print*,'* Automatic Line Extraction Program *'
print*,'*i*****'
print*,'Choose the type of linear feature should be extract:'
print*,'1 = Ridge Axes'
print*,'2 = Valley Axes'
print*,'3 = Shelf Break'
print*,'4 = Lineaments on Digital Image'
print*,'5 = Seismic Skeleton'
read(*,*) ic
print*,'The file name of the input data ='
print*,'(!!! It must be gridded xyz file)'
read(*,'(a30)') fin
print*,'The minima of the X and Y coordinates ='
read(*,*) sx,sy
print*,'The data intervals along X and Y ='
read(*,*) dxi,dyi
print*,'The diameter of the weighting plane ='
print*,'(!!! in unit of data points)'
print*,'Data reading ...'
open(1,file=fin)
5 read(1,*,end=4) tx,ty,tz
call wr(nint((tx-sx)/dxi)+2,nint((ty-sy)/dyi)+2,m,tz,1)
if(tx.gt.ex) ex=tx
if(ty.gt.ey) ey=ty
if(tz.gt.zx) zx=tz
if(tz.lt.zn) zn=tz
goto 5
4 ndx=nint((ex-sx)/dxi)+3
ndy=nint((ey-sy)/dyi)+3
print*,'Read end! grid dimension=',ndx-2,' x',ndy-2
print*,'data range from',zn,' to',zx
close(1)
return
end
```

```

subroutine DTF
c*****
c  subroutine for Data TransForm, the wanted linear features will be i
c  transformed as relative highs on a weight map
c*****
  real*4 st(8),t(8),tn(8),diag(8)
  common /all/ndx,ndy,sx,sy,dxi,dyi,nx(8),ny(8),ib
  common /znx/ic,zn,zx
  print*, 'Map transforming ...'
c# establish the reference plane
c-----
  dn=real(idd(ib/2,ndy))
  tot=(ndx-2)*(ndy-2)
  nw=0
  do 1 j=ndy-1,2,-1
  do 1 i=2,ndx-1
c# ridge and valley cases, make the weights be all positive
c-----
  if(ic.eq.1) call wr(i,j,m,rt(i,j,1)-zn+1.0,2)
  if(ic.eq.2) call wr(i,j,m,zx-rt(i,j,1)+1.0,2)
  if(ic.le.2) goto 1
c# scan and sum the data value in 8 subarea around each point
c-----
  i1=i-ib/2
  i2=i+ib/2
  j1=j-ib/2
  j2=j+ib/2
  if(i1.lt.2) i1=2
  if(j1.lt.2) j1=2
  if(i2.gt.ndx-1) i2=ndx-1
  if(j2.gt.ndy-1) j2=ndy-1
  do 2 k=1,8
  t(k)=0.0
  tn(k)=0.0
  do 3 ii=i1,i2
  do 3 jj=j1,j2
  if(idd(ii-i,jj-j).ne.k) goto 3
  tn(k)=tn(k)+1.0
  if(ic.ne.6) t(k)=t(k)+rt(ii,jj,1)
c# case of seismic profile
c-----
  if(ic.eq.5) t(k)=t(k)+abs(rt(ii,jj,1))
  3 continue
  if(ic.eq.5.and.(k.eq.3.or.k.eq.7)) tn(k)=0.0
  if(tn(k).eq.0.0) t(k)=0.0
  if(tn(k).ne.0.0) t(k)=t(k)/tn(k)
  2 continue
c# smooth the characteristic value with its neighboring direction
c-----
  if(ic.eq.5) goto 9
  do 10 k=1,8
  10 st(k)=t(neb(k-1))+t(k)+t(neb(k+1))
  do 11 k=1,8
  11 t(k)=st(k)/3.0
c# decide the weights and orientations of each point
c-----
  9 cz=rt(i,j,1)
  dif=0.0
  do 5 k=1,8
  diag(k)=0.0
  if(tn(k).eq.0.0.or.tn(neb(k+4)).eq.0.0) goto 5
  if(ic.eq.5.and.(k.ge.3.and.k.le.7)) goto 5
  tu=t(neb(k+4))
  td=t(k)
  if(tu.lt.td) goto 5
  if(tu-td.gt.dif) then
  dif=tu-td
  kf=k
  endif

```

```

        if(ic.eq.3) diag(k)=(cz-td)-abs(tu-cz)
        if(ic.eq.4) diag(k)=tu-td
        if(ic.eq.5) diag(k)=sqrt(tu-td)
5 continue
        if(dif.ne.0.0.and.diag(kf).gt.0.0) then
            call wr(i,j,kf,r,3)
            call wr(i,j,m,diag(kf),2)
            endif
            nw=nw+1
            if(mod(nw,5000).eq.0) print*,real(nw*100)/tot,' %   weighted.'
1 continue
c# swap the weights and the original values
c-----
        do 7 i=2,ndx-1
        do 7 j=2,ndy-1
            tt=rt(i,j,1)
            call wr(i,j,m,rt(i,j,2),1)
            if(rt(i,j,1).gt.wx) wx=rt(i,j,1)
7 call wr(i,j,m,tt,2)
            if(ic.gt.2) ib=5
c# weak targets clearance according to weights
c 1.normalize the z to be no more than 100
c 2.output the non-zero weights and their positions to a file
c-----
        print*,'Background noises low-cut testing.'
        print*,'the result of each test write in file "weight.dat"'
        id=0
6 print*,'the weight level of back-ground noise = (max=',wx,')'
        read(*,*) th
        nw=0
        range=100.0/(wx-th)
4 open (1,file='weight.dat')
        do 8 j=ndy-1,2,-1
        do 8 i=2,ndx-1
            wt=(rt(i,j,1)-th)*range
            if(id.eq.1) then
                if(wt.lt.0.0) wt=0.0
                call wr(i,j,m,wt,1)
                goto 8
            endif
            if(wt.gt.0.0) then
                nw=nw+1
                write(1,*) sx+real(i-2)*dxi,sy+real(j-2)*dyi,wt,ijk(i,j,1)
            endif
8 continue
        close(1)
        if(id.eq.1) return
        print*,nw,real(nw*100)/tot,'% occupation. reset=0 continue=1'
        read(*,*) id
        if(id.eq.1) goto 4
        goto 6
        end

        subroutine TGRCON
c*****
c  Subroutine for TarGet ReCognition and CONNection
c*****
        integer n(8)
        common /all/ndx,ndy,sx,sy,dxi,dyi,nx(8),ny(8),ib
        common /znx/ic,zn,zx
c# firm node definition
c-----
        print*,'Do you need some nodes be firmly sustained? (1=yes,0=no)'
        read(*,*) nf
        if(nf.eq.1) call firm(1,1,-1)
c# Recognize the targets along profiles in four directions
c-----
        print*,'Target recognizing ...'
        itg=0

```

```

do 2 i=3,ndx-2
do 2 j=3,ndy-2
do 7 k=1,8
n(k)=0
do 7 ml=1,ib/2
ii=i+ml*nx(k)
jj=j+ml*ny(k)
if(ii.lt.2.or.ii.gt.ndx-1.or.jj.lt.2.or.jj.gt.ndy-1) goto 7
if(rt(ii,jj,1).lt.rt(i,j,1)) n(k)=1
7 continue
do 4 k=1,4
if(ic.eq.5.and.k.ne.1) goto 4
if(n(k)+n(k+4).gt.1) call wr(i,j,1,v,4)
4 continue
if(ijk(i,j,2).ne.1) goto 2
itg=itg+1
2 continue
print*,itg,' target found.'
c# creating segments by connecting the targets
c-----
do 5 i=2,ndx-1
do 5 j=2,ndy-1
do 5 k=1,4
mm=kst(i,j,k,4)
if(ijk(i,j,1).eq.k.or.ijk(i,j,1).eq.k+4) goto 5
if(ijk(i,j,2)+ijk(i+nx(k),j+ny(k),2).eq.2) mc=kst(i,j,k,2)
k1=0
k2=0
call firm(i,j,k1)
call firm(i+nx(k),j+ny(k),k2)
if(k1+k2.eq.2) mc=kst(i,j,k,2)
5 continue
return
end

subroutine PGBK
c*****
c check-out segments by the criterion of "no closed polygons allowed!"
c*****
common /all/ndx,ndy,sx,sy,dxi,dyi,nx(8),ny(8),ib
print*, 'Polygon breaking ...'
c# clear the branch routes and node matrix
c-----
do 7 i=2,ndx-1
do 7 j=2,ndy-1
call bre(i,j,ke)
call wr(i,j,0,v,4)
7 kb=kb+ke
print*,kb,' branch routes canceled.'
c# locate the weakest segment
c-----
1 wn=1001.0
nf=0
do 3 i=2,ndx-1
do 3 j=2,ndy-1
if(ijk(i,j,2).eq.1) goto 3
nv=0
do 2 k=1,4
call con(i,j,k,n,1,v)
if(v.eq.2000.0) nv=nv+1
if(v.ge.wn) goto 2
wn=v
ii=i
jj=j
kk=k
2 continue
if(nv.eq.4) call wr(i,j,1,v,4)
nf=nf+4-nv
3 continue

```

```

c# all segments checked, polygon breaking done
c-----
      if(wn.eq.1001.0) return
c# polygon tracing
c-----
      if(mod(m,100).eq.0) print*,'round',m,nf,' seg. rest, w=',wn
      mm=kst(ii,jj,kk,-4)
      m=m+1
      in=ii+nx(kk)
      jn=jj+ny(kk)
      if(kst(ii,jj,kk,-8).eq.0.or.kst(in,jn,kk,-8).eq.0) goto 5
      do 9 mno=1,8
      if(kst(in,jn,mno,-1).eq.0) goto 9
      id=1
6 i=in+nx(mno)
  j=jn+ny(mno)
  k=mno
8 call next(i,j,i,j,k,id)
  if(i.eq.ii.and.j.eq.jj) then
    mm=kst(ii,jj,kk,4)
    goto 5
  endif
  if(i.eq.in.and.j.eq.jn) then
    if(id.eq.-1) goto 9
    id=-1
    goto 6
  endif
  goto 8
9 continue
c# clear the branch routes
c-----
      5 call bre(ii,jj,ke)
      call bre(in,jn,ke)
      goto 1
      end

      subroutine bre(ii,jj,ke)
c*****
c  subroutine to eliminate the branch routes
c*****
      ke=0
      if(kst(ii,jj,k,-8).ne.1) return
      i=ii
      j=jj
1 if(kst(i,j,k,-8).ne.1) return
  k=1
  call next(i,j,i,j,k,1,-1)
  k=neb(k+4)
  mm=kst(i,j,k,-4)
  ke=ke+1
  goto 1
  end

      subroutine CLEAR
c*****
c  subroutine for picture clearance (noise control)
c*****
      common /all/ndx,ndy,sx,sy,dxi,dyi,nx(8),ny(8),ib
      print*,'Picture clearance processes :'
      print*,'WSC -> high or low-cut of segments according to weights'
      print*,'TRD -> tails reduction'
      print*,'BRC -> branch clearance'
      print*,'SGC -> small groups clearance.'
      print*,'Description:'
      print*,'a. the functions can be executed in any sequence.'
      print*,'b. the output file is "seg.dat".'
      print*,'c. the whole processes can be replayed many times.'
2 isg=0
  do 5 ix=2,ndx-1

```

```

do 5 iy=2,ndy-1
do 5 id=1,4
if(kst(ix,iy,id,1).eq.0) goto 5
mc=kst(ix,iy,id,2)
isg=isg+1
5 continue
print*,isg,' segments enter the "picture clearance"'
3 print*,'# Choice: refresh=0, HLC=1, TRD=2, BRC=3, SGC=4, output=8,
* stop=9'
read(*,*) id
if(id.eq.9) return
if(id.eq.0) goto 2
if(id.eq.1) call wsc
if(id.eq.2) call tailred
if(id.eq.3) call branch
if(id.eq.4) call sgc
if(id.eq.8) call lnsmp
goto 3
end

subroutine wsc
c*****
c weak segments clearance according to their weights
c (high or low cut the segments)
c*****
common /all/ndx,ndy,sx,sy,dxi,dyi,nx(8),ny(8),ib
7 print*,* threshold value of segment weight = (0 => 200)'
read(*,*) th
c# threshold information checking
c-----
wmx=0.0
wmn=200.0
isg=0
il=0
ie=0
ih=0
do 1 i=2,ndx-1
do 1 j=2,ndy-1
do 1 k=1,4
call con(i,j,k,n,1,s)
if(n.le.1) goto 1
isg=isg+1
if(s.gt.wmx) wmx=s
if(s.lt.wmn) wmn=s
if(s.gt.th) ih=ih+1
if(s.eq.th) ie=ie+1
if(s.lt.th) il=il+1
1 continue
print*,ih+ie+il,' segments in total, weight range :',wmn,wmx
print*,ih,' higher than threshold,',real(ih*100)/real(isg),'%'
print*,ie,' equal to threshold,',real(ih*100)/real(isg),'%'
print*,il,' lower than threshold,',real(il*100)/real(isg),'%'
c# action decision
c-----
2 print*,* choice: 0=new threshold, 1=high-cut, -1=low-cut, 9=stop'
read(*,*) id
if(id.eq.9) return
if(id.eq.0) goto 7
if(iabs(id).gt.1) goto 2
c# clearing
c-----
4 do 5 i=2,ndx-1
do 5 j=2,ndy-1
do 5 k=1,4
call con(i,j,k,n,1,s)
if(n.le.1) goto 5
if(id.eq.-1.and.s.ge.th) goto 5
if(id.eq.1.and.s.le.th) goto 5
mm=kst(i,j,k,-4)

```

```

5 continue
  return
  end

```

```

  subroutine tailred
c*****
c  subroutine for tail-end reduction
c*****
  common /all/ndx,ndy,sx,sy,dxi,dyi,nx(8),ny(8),ib
  print*,'* how many points should be reduced = '
  read(*,*) itr
  if(itr.le.0) return
  7 do 13 l=1,itr
    ibc=0
    do 12 i=2,ndx-1
      do 12 j=2,ndy-1
        call wr(i,j,0,v,4)
        kk=0
        call firm(i,j,kk)
        if(kk.eq.1) goto 12
        if(kst(i,j,kk,-8).ne.1) goto 12
        do 2 k=1,8
          if(kst(i,j,k,-1).eq.0) goto 2
          call wr(i,j,k,v,4)
          ibc=ibc+1
        2 continue
      12 continue
    do 15 i=2,ndx-1
      do 15 j=2,ndy-1
        15 mm=kst(i,j,ijk(i,j,2),-4)
    13 print*,l,'th round reduction',ibc,' end-segments eliminated.'
    return
  end

```

```

  subroutine branch
c*****
c  subroutine to cut the short branches
c*****
  common /all/ndx,ndy,sx,sy,dxi,dyi,nx(8),ny(8),ib
  print*,'* the shortest branches allowed = '
  read(*,*) ibr
  if(ibr.le.1) return
  do 9 kc=1,ibr-1
    nk=0
    do 2 i=2,ndx-1
      do 2 j=2,ndy-1
        7 if(kst(i,j,k,-8).le.2) goto 2
        kk=0
        call firm(i,j,kk)
        if(kk.eq.1) goto 2
        wmin=1000.0*ibr
c# search the weakest short branch
c-----
        do 3 mk=1,8
          if(kst(i,j,mk,-1).eq.0) goto 3
          wb=0.0
          k=mk
          ii=i+nx(k)
          jj=j+ny(k)
          kt=0
          1 kt=kt+1
          nc=kst(ii,jj,k,-8)
          if(nc.gt.2) goto 3
          wb=wb+rt(ii,jj,1)
          if(nc.eq.1) goto 4
          if(kt.eq.kc) goto 3
          call next(ii,jj,ii,jj,k,1)
          goto 1
        4 if(wb.lt.wmin) then

```

```

        wmin=wb
        ko=mk
        endif
3 continue
    if(wmin.eq.1000.0*ibr) goto 2
c# eliminate the short branch
c-----
        nk=nk+1
        mm=kst(i,j,ko,-4)
        ii=i+nx(ko)
        jj=j+ny(ko)
5 if(kst(ii,jj,k,-8).eq.0) goto 7
    call next(ii,jj,ii,jj,k,1)
    ko=neb(k+4)
    mm=kst(ii,jj,ko,-4)
    goto 5
2 continue
    print*,nk,' branches with length=',kc,' kicked.'
9 continue
    return
end

        subroutine sgc
c*****
c  subroutine to clear the small isolated segment groups
c*****
        integer mx(1000),my(1000)
        common /all/ndx,ndy,sx,sy,dxi,dyi,nx(8),ny(8),ib
        print*,* the minimum segments allowed for each group = '
        read(*,*) is
        if(is.le.1) return
        ns=0
        do 6 i=2,ndx-1
        do 6 j=2,ndy-1
            if(kst(i,j,k,-8).eq.0) goto 6
c# searching connected point group
c-----
            kt=1
            mx(1)=i
            my(1)=j
11 ktt=kt
            do 1 ll=1,ktt
            do 8 k=1,8
                if(kst(mx(ll),my(ll),k,-1).eq.0) goto 8
                mtx=mx(ll)+nx(k)
                mty=my(ll)+ny(k)
c# check newly encountered point, if not repeated, add it into group
c-----
                irp=0
                do 7 l=1,kt
5 if(mtx.eq.mx(l).and.mty.eq.my(l)) irp=1
                    if(irp.eq.1) goto 8
                    kt=kt+1
                    mx(kt)=mtx
                    my(kt)=mty
8 continue
1 continue
c# check group size: large enough -> pass; too small -> take off
c-----
                    if(kt.gt.is) goto 6
                    if(kt.eq.ktt) then
                        ns=ns+1
                        do 2 l=1,kt
                        do 2 k=1,8
2 if(kst(mx(l),my(l),k,-1).eq.1) mm=kst(mx(l),my(l),k,-4)
                            goto 6
                        endif
                    goto 11
6 continue

```



```

print*,ns,' groups are excluded.'
return
end

subroutine Insmop
c*****
c  subroutine for LiNe SMoothing and OutPut
c*****
common /all/ndx,ndy,sx,sy,dxi,dyi,nx(8),ny(8),ib
bl=0.0
open(3,file='seg.dat')
print*,'smooth the lines or not? (yes=1, no=0)'
read(*,*) ism
if(ism.ne.1) goto 1
print*,'need direction bars or not? (yes=1, no=0)'
read(*,*) idb
if(idb.eq.1) then
print*,'the length of bar = (grid distance',dxi,')'
read(*,*) bl
endif
1 isg=0
do 6 j=ndy-1,2,-1
do 6 i=2,ndx-1
call smooth(i,j,x,y,v1,ism)
if(v1.eq.0.0) goto 6
if(kst(i,j,k,-8).ne.2.or.bl.eq.0.0) goto 2
call dirbar(i,j,x,xx,yy,bl)
write(3,*) x,y,xx,yy,v1,' d'
2 do 5 k=1,4
if(kst(i,j,k,-1).eq.0) goto 5
isg=isg+1
call smooth(i+nx(k),j+ny(k),x1,y1,v2,ism)
write(3,*) x,y,x1,y1,(v1+v2)/2.0
5 continue
6 continue
close(3)
print*,isg,' segments are written in "seg.dat"'
print*,'-----'
return
end

subroutine dirbar(i,j,x,y,xx,yy,bl)
c*****
c  subroutine to decide the end-point of direction bar
c*****
real*4 a(2),av(2),c(2)
common /all/ndx,ndy,sx,sy,dxi,dyi,nx(8),ny(8),ib
k=1
do 1 l=1,8
if(kst(i,j,l,-1).ne.1) goto 1
call smooth(i+nx(l),j+ny(l),x0,y0,w,1)
a(k)=azi(x0-x,y0-y)
k=k+1
1 continue
av(1)=(a(1)+a(2))/2.0
av(2)=av(1)+4.0
if(av(2).gt.9.0) av(2)=av(2)-8.0
do 2 l=1,2
c(l)=abs(real(ijk(i,j,1))-av(l))
if(c(l).gt.4.0) c(l)=8.0-c(l)
2 continue
if(c(1).lt.c(2)) k=1
if(c(2).le.c(1)) k=2
k1=int(av(k))
k2=neb(k1+1)
f1=av(k)-k1
f2=1.0-f1
dx=f2*nx(k1)+f1*nx(k2)
dy=f2*ny(k1)+f1*ny(k2)

```

```

dis=sqrt(dx**2.0+dy**2.0)
xx=x+bl*dx/dis
yy=y+bl*dy/dis
return
end

subroutine smooth(i,j,x,y,w,ism)
c*****
c smoothing thw position of a point according to the weights of the
c connected targets and itself
c*****
common /all/ndx,ndy,sx,sy,dxi,dyi,nx(8),ny(8),ib
w=rt(i,j,1)
if(w.eq.0.0) return
x=0.0
y=0.0
do 32 k=1,8
f=real(kst(i,j,k,-1)*ism)
w=w+rt(i+nx(k),j+ny(k),1)*f
x=x+real(nx(k))*rt(i+nx(k),j+ny(k),1)*f
32 y=y+real(ny(k))*rt(i+nx(k),j+ny(k),1)*f
x=sx+(real(i-2)+x/w)*dxi
y=sy+(real(j-2)+y/w)*dyi
w=w/real(kst(i,j,k,-8)*ism+1)
return
end

integer function kst(i,j,k,jc)
c*****
c function to handle connection status and tracing route tables
c# jc=1 : check the connection status; jc=-1 : check the route status
c# jc=2 : target connection, crossed segments are forbidden
c# jc=4 : cancel the connection; jc=-4 : cancel the route
c# jc=8 : check number of connections; jc=-8 : check number of routes
c*****
common /all/ndx,ndy,sx,sy,dxi,dyi,nx(8),ny(8),ib
if(jc.eq.2) then
call con(i,j,k,2,2,v)
if(mod(k,2).eq.1) return
call con(i+nx(k-1),j+ny(k-1),neb(k+2),n,1,w2)
if(n.eq.0) return
call con(i,j,k,n,1,w1)
if(w2.gt.w1) call con(i,j,k,0,2,v)
if(w2.le.w1) call con(i+nx(k-1),j+ny(k-1),neb(k+2),0,2,v)
return
endif
kst=0
if(iabs(jc).eq.8) then
do 8 m=1,8
call con(i,j,m,n,1,v)
if(jc.eq.8.and.n.ne.0) kst=kst+1
if(jc.eq.-8.and.n.eq.2) kst=kst+1
8 continue
return
endif
call con(i,j,k,n,1,v)
if(jc.eq.1.and.n.ne.0) kst=1
if(jc.eq.-1.and.n.eq.2) kst=1
if(jc.eq.4) call con(i,j,k,0,2,v)
if(jc.eq.-4) call con(i,j,k,1,2,v)
return
end

integer function neb(i)
c*****
c function to scale the cycled neighbor order
c*****
neb=i
if(neb.gt.8) neb=neb-8

```

```

        if(neb.lt.1) neb=neb+8
        return
    end

    integer function idd(i,j)
c*****
c  function to check the brief azimuth
c*****
        common /all/ndx,ndy,sx,sy,dxi,dyi,nx(8),ny(8),ib
        integer d(-100:100,-100:100)
c# j=0 compute the azimuth table
c-----
        idd=0
        if(j.eq.ndy) then
            dmx=real(i)
            do 1 ii=-100,100
            do 1 jj=-100,100
                x=real(ii)
                y=real(jj)
                dis=sqrt(x*x+y*y)
                if(dis.gt.dmx.or.dis.eq.0.0) goto 1
                idd=idd+1
                dir=azi(x,y)
                if(dir.ge.8.5) dir=1.1
                d(ii,jj)=nint(dir)
            1 continue
            return
        endif
c# echo the brief azimuth
c-----
        idd=d(i,j)
        return
    end

    real function azi(x,y)
c*****
c  function to compute the brief azimuth
c*****
        parameter (pi=3.1415926)
        if(x.eq.0.0) then
            if(y.gt.0.0) azi=1.0
            if(y.eq.0.0) azi=0.0
            if(y.lt.0.0) azi=5.0
            return
        endif
        azi=(pi/2.0-atan(y/x))
        if(x.lt.0.0) azi=azi+pi
        azi=azi/pi*4.0+1.0
        return
    end

    subroutine con(i,j,k,n,jc,s)
c*****
c  subroutine to check or change the status of connection or route
c*****
        parameter(n1=405,n2=705)
        common /all/ndx,ndy,sx,sy,dxi,dyi,nx(8),ny(8),ib
        byte v(n1,n2,4)
        real*4 w(n1,n2,4)
        common /zm/z(n1,n2)
        if(k.le.0) return
        ii=i
        jj=j
        kk=k
        if(k.gt.4) then
            ii=i+nx(k)
            jj=j+ny(k)
            kk=kk-4
        endif

```

```

    if(jc.eq.1) then
      n=v(ii,jj,kk)
      s=w(ii,jj,kk)
      return
    endif
    v(ii,jj,kk)=n
    w(ii,jj,kk)=2000.0
    if(n.eq.2) w(ii,jj,kk)=rt(i,j,1)+rt(i+nx(k),j+ny(k),1)
    return
  end

  subroutine next(i,j,ii,jj,k,id)
c*****
c  subroutine to find the next tracing step
c*****
    common /all/ndx,ndy,sx,sy,dxi,dyi,nx(8),ny(8),ib
    k=neb(k+4)
  1 k=neb(k+id)
    if(kst(i,j,k,-1).eq.0) goto 1
    ii=i+nx(k)
    jj=j+ny(k)
    return
  end

  subroutine wr(i,j,m,v,jc)
c*****
c  subroutine to write or change the content of matrices
c*****
    parameter (n1=405,n2=705)
    common /rtb/z(n1,n2),w(n1,n2)
    common /itb/l(n1,n2),n(n1,n2)
    if(jc.eq.1) z(i,j)=v
    if(jc.eq.2) w(i,j)=v
    if(jc.eq.3) l(i,j)=m
    if(jc.eq.4) n(i,j)=m
    return
  end

  integer function ijk(i,j,jc)
c*****
c  function to read integer matrices
c*****
    parameter (n1=405,n2=705)
    common /itb/l(n1,n2),n(n1,n2)
    ijk=0
    if(jc.eq.1) ijk=l(i,j)
    if(jc.eq.2) ijk=n(i,j)
    return
  end

  real function rt(i,j,jc)
c*****
c  function to read real matrices
c*****
    parameter (n1=405,n2=705)
    common /rtb/z(n1,n2),w(n1,n2)
    rt=0.0
    if(jc.eq.1) rt=z(i,j)
    if(jc.eq.2) rt=w(i,j)
    return
  end

  subroutine firm(i,j,k)
c*****
c  subroutine to check whether the node is firm or not
c*****
    parameter (n1=405,n2=705)
    character*30 fin
    byte f(n1,n2)

```

```

common /all/ndx,ndy,sx,sy,dxi,dyi,nx(8),ny(8),ib
if(k.lt.0) then
print*,'the firm nodes file ='
read*,'(a30)' fin
open(10,file=fin)
do 3 ii=1,n1
do 3 jj=1,n2
3 f(ii,jj)=0
1 read(10,*,end=2) x,y
ii=nint((x-sx)/dxi)+2
jj=nint((y-sy)/dyi)+2
f(ii,jj)=1
goto 1
2 close(10)
else
k=f(i,j)
endif
return
end

```