



(19) 中華民國智慧財產局

(12) 發明說明書公告本

(11) 證書號數：TW I477801 B

(45) 公告日：中華民國 104 (2015) 年 03 月 21 日

(21) 申請案號：102138819

(22) 申請日：中華民國 102 (2013) 年 10 月 25 日

(51) Int. Cl. : G01S7/497 (2006.01)

G01S17/89 (2006.01)

(71) 申請人：國立交通大學 (中華民國) NATIONAL CHIAO TUNG UNIVERSITY (TW)

新竹市大學路 1001 號

(72) 發明人：張智安 TEO, TEE ANN (MY) ; 葉宛宜 YEH, WAN YI (TW)

(74) 代理人：歐奉璋

(56) 參考文獻：

TW 200811759A

TW 200828864A

CN 101196562B

CN 103197321A

CN 103217679A

US 8368876B1

審查人員：机亮燁

申請專利範圍項數：2 項 圖式數：7 共 22 頁

(54) 名稱

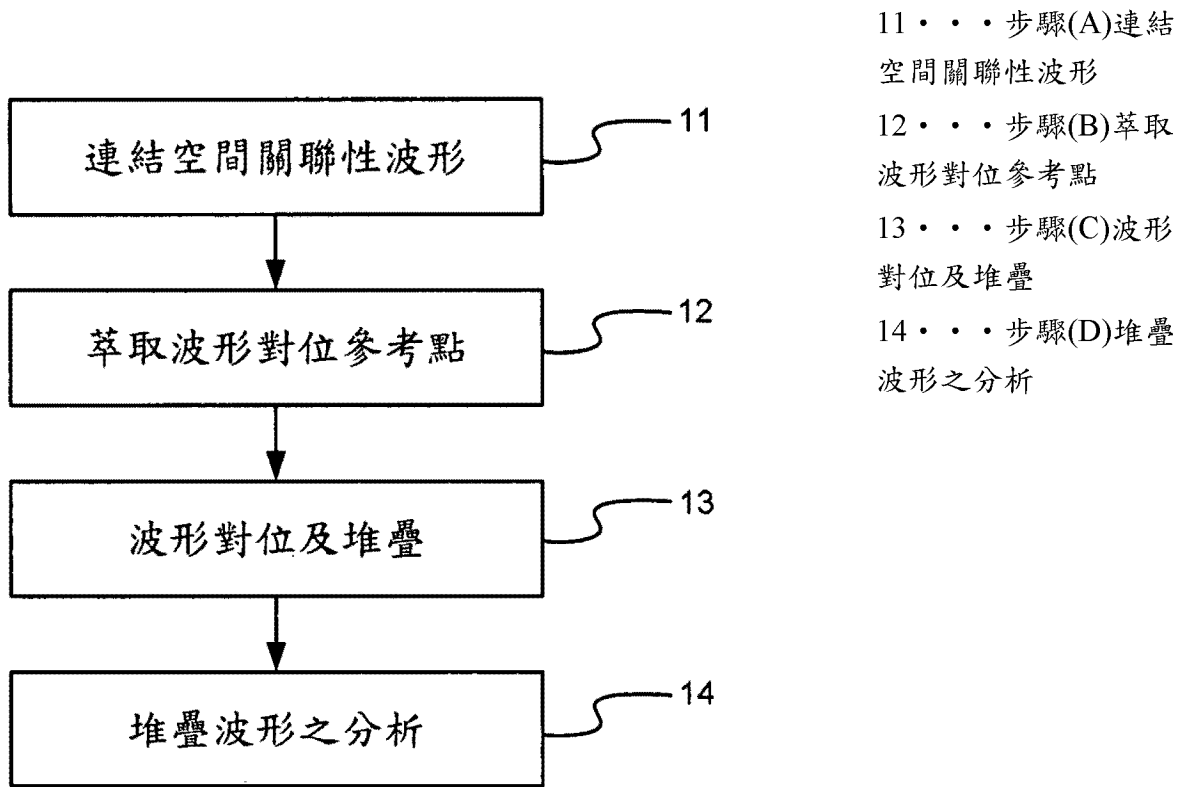
全波形光達之空間關聯波形分析方法

METHOD OF GEOSPATIAL-RELATED WAVEFORM ANALYSIS FOR FULL-WAVEFORM LIDAR

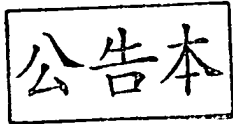
(57) 摘要

一種全波形光達之空間關聯波形分析方法，係考量鄰近波形之空間關係，堆疊鄰近波形以提升可靠之地面點弱回波訊號，能有效萃取微弱地表回波資訊，重建完整三維數值地面模型 (Digital Elevation Model)。本方法主要包含四步驟：連結空間關聯性波形；萃取波形對位參考點；波形對位及堆疊；以及堆疊波形之分析。藉此，本發明利用原始之光達波形訊號，使用相鄰訊號進行處理，以空間關聯訊號可偵測弱回波訊號且降低雜訊之干擾，並增加點座標及波形參數等資訊，能避免過度參數化即能產生可靠之地面點並提升地面點數量，使地形分析更可靠，進而可在實務模式分析中應用於複雜之森林區，增顯地面弱回波訊號，可有效萃取可靠之地面弱回波訊號，以提供更可靠之成果。

A method is provided to analyze geospatial-related waveform for full-waveform lidar. The spatial relationships between adjacent waveforms are considered. Adjacent waveforms are stacked to improve reliable weak echo signals of ground points. A complete three-dimensional digital elevation model is reconstructed. Terrain analysis is more reliable. Ground weak echo signals are enhanced to be effectively extracted and so as to provide more reliable results. The present invention can be applied for complex forest model analysis.



第 1 圖



申請日: 102.10.25

IPC分類:

G01S 7/497 (2006.01)

G01S 13/89 (2006.01)

【發明摘要】**【中文發明名稱】** 全波形光達之空間關聯波形分析方法**【英文發明名稱】** Method of Geospatial-Related Waveform Analysis
for Full-Waveform Lidar**【中文】**

一種全波形光達之空間關聯波形分析方法，係考量鄰近波形之空間關係，堆疊鄰近波形以提升可靠之地面點弱回波訊號，能有效萃取微弱地表回波資訊，重建完整三維數值地面模型 (Digital Elevation Model)。本方法主要包含四步驟：連結空間關聯性波形；萃取波形對位參考點；波形對位及堆疊；以及堆疊波形之分析。藉此，本發明利用原始之光達波形訊號，使用相鄰訊號進行處理，以空間關聯訊號可偵測弱回波訊號且降低雜訊之干擾，並增加點座標及波形參數等資訊，能避免過度參數化即能產生可靠之地面點並提升地面點數量，使地形分析更可靠，進而可在實務模式分析中應用於複雜之森林區，增顯地面弱回波訊號，可有效萃取可靠之地面弱回波訊號，以提供更可靠之成果。

【英文】

A method is provided to analyze geospatial-related waveform for full-waveform lidar. The spatial relationships between adjacent waveforms are considered. Adjacent waveforms are stacked to improve reliable weak echo signals of ground points. A complete three-dimensional digital elevation model is reconstructed. Terrain analysis is more reliable. Ground weak echo signals are enhanced to be effectively extracted and so as to provide more reliable results. The present invention can be applied for complex forest model analysis.

【指定代表圖】 第 1 圖

【代表圖之符號簡單說明】

步驟 (A) 連結空間關聯性波形 1 1

步驟 (B) 萃取波形對位參考點 1 2

步驟 (C) 波形對位及堆疊 1 3

步驟 (D) 堆疊波形之分析 1 4

【發明說明書】

【中文發明名稱】 全波形光達之空間關聯波形分析方法

【英文發明名稱】 Method of Geospatial-Related Waveform Analysis
for Full-Waveform Lidar

【技術領域】

本發明係有關於一種全波形光達之空間關聯波形分析方法，尤指涉及一種光達測量領域及空間資訊領域，特別係指藉由考量波形間之空間相關性進整合分析，以提升光達森林地區之地面點數量，進而生產高精度之三維數值地面模型（Digital Elevation Model），以供環境議題分析使用之方法。

【先前技術】

無論光達（Light Detecting and Ranging, LiDAR）、環境議題或通信產業均有精密量測之需求。其中LiDAR主要應用為地形、模擬水流量、污染、城市規劃與建築使用；且該技術同時具有廣泛之軍事與情報應用。LiDAR之趨勢為降低成本與提高數據採集之效率。許多地圖業者結合LiDAR、遙感探測（Remote Sensing）及已漸趨成熟之知識理論，可提供更準確及更少程式編寫之圖像訊息。

在波形分析方面，以全波形光達記錄連續回波訊號，使用者可進行波形分析（Waveform Analysis）以得到更豐富之地表資訊，進而有助於地表之重建與判釋。該波形分析為全波形光達資料處理中重要之工作項目，然而現有光達波形分析方法中，係利用單

一回波訊號進行波形分析，以萃取波形參數及三維空間座標，然而在時間序列連續掃描之光達系統中，並未考量波形與波形之空間相關性 (Geospatial Relationship) 進行整合分析，因此未能偵測弱回波訊號。如美國專利編號US 6,861,974，其主要目的係降低雜訊對波形訊號之影響，然而方法上係使用單一回波之訊號，該發明未對空間關聯之訊號進行整合分析，因此無法偵測弱之波形訊號並降低雜訊之干擾。另外，中華民國發明第I334711號，係使用單一信號進行分析，以不同取樣點間隔分析單一維訊號，而美國專利編號US 8,463,579之發明，亦使用單一信號進行分析，以貝氏 (Bayesian) 減少雜訊影響；然而前述兩項專利發明 (中華民國發明第I334711號與US 8,463,579) 皆未考量相鄰訊號處理。而美國專利編號US 8,368,876，此發明為發射單一雷射脈衝，雖可接收複數個回波訊號，以增加回波訊號之數量，但未進行回波訊號之弱訊號處理。

在波形展示方面，Persson等人於2005年所提之文獻 (Persson, Å., Söderman, U., Töpel, J. and Ahlberg, S., 2005. Visualization and analysis of fullwaveform airborne laser scanner data. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 36(3/W19): 103-108.) 中，係將所有光達波形依空間位置進行展示，以觀察地表物體光達波形之目的，然而其研究僅針對多個波形之視覺化展示，無法進行波形分析。而中華民國發明第I348126號，此發明係使用離散點光達，降低光達點以提升展示效能，惟此空載離散點光達系統，為了減少資料儲存量，

並不會記錄全部之回波，僅在硬體上進行單一回波之即時處理，最終只能記錄7個空間座標。

在波形整合方面，Jutzi與Stilla於2005年所提之文獻（Jutzi, B., Stilla, U., 2005. Waveform processing of laser pulses for reconstruction of surfaces in urban areas. Measurement Techniques 2, 2.）中，係將同一掃描線之地面光達波形整合成二維矩陣，直接在二維矩陣偵測訊號強度較強之位置。由於此方法僅偵測訊號強度較強之位置，雖然可以萃取連續地三維空間座標，然而受部份遮蔽之弱訊號（Weak Signal）仍然無法被偵測。而Yao與Stilla於2010年所提之文獻（Yao, W., Stilla, U., 2010. Mutual enhancement of weak laser pulses for point cloud enrichment based on full-waveform analysis. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing 48, 3571-3579.）中，則針對地面光達掃描之建築物訊號進行方向性之疊加，由於建築物之回波訊號連續且規則，故可偵測地面光達人造建築物之弱回波訊號。然而，自然地形並非規則之訊號，如森林區之地面點就因回波訊號較微弱而不易取得，故此方法對複雜空載光達掃描之森林訊號則不適用。此外，該方法無波形對位處理，必需測試每一個波形疊加可能為方向，因此運算量大。另外，Yang等人於2013年所提之文獻（Yang et al., 2013. Three-Dimensional Forest Reconstruction And Structural Parameter Retrievals Using A Terrestrial Full-Waveform Lidar Instrument, Remote Sensing of Environment, 135:36-51.）中，係使用地面全波形光達（Full

Waveform Lidar) 系統萃取森林參數，程序上係先對光達進行單一波形分析產生點座標及波形參數，再進行少量地面測量之森林參數與對應波形參數進行回歸 (Regression)，建立森林參數與波形參數之轉換關係，最後將所有波形參數轉換成森林參數進行分類。而Chhatkuli等人於同年提出之文獻 (Chhatkuli et al., 2012. Full Waveform Lidar Exploitation Technique And Its Evaluation In The Mixed Forest Hilly Region, IAPRS XXXIX(B7):505-509.) 中，亦使用全波形光達系統萃取森林區之點座標；惟上述兩項研究皆使用傳統之一維波形分析方法，可能會過度參數化 (Over-Parameter)，得到大量之非真實點。由於在大範圍之作業區域中，產生大量非真實點將會造成作業成本增加，以1幅1/5000基本圖 (平均點密度為2點/m²) 為例，原始點數量約為2500m*2700m*2點/m²=13,500,000點，顯見資料量非常龐大。故以傳統方式偵測微弱訊號，可能造成過度參數化，而產生大量虛擬點。

鑑於傳統空載光達系統中，其空載全波形光達之載具為飛機，因此光達雷射掃描之位置及方向係隨時間而改變，即空間中之光達回波在三度空間中有不同之位置及角度，無法直接疊合分析。且在全波形光達之弱回波形訊號分析中，造成波形反射訊號減弱之主要因素係雷射訊號受部份遮蔽，而這類弱回波形訊號之能量雖比背景雜訊 (Background Noise) 高一些，但無法以傳統方法偵測。故，一般習用者係無法符合使用者於實際使用時之所需。

【發明內容】

本發明之主要目的係在於，克服習知技藝所遭遇之上述問題並提

供一種整合空間關聯之多個波形訊號進行波形分析，而能有效萃取森林區之地面點之弱回波訊號，進而生產高精度之三維數值地面模型（Digital Elevation Model），以供環境議題分析使用之全波形光達之空間關聯波形分析方法。

本發明之次要目的係在於，提供一種改善穿透率較差區域之地表資訊，並降低背景雜訊（Background Noises）對弱回波之干擾之全波形光達之空間關聯波形分析方法。

本發明之另一目的係在於，提供一種考量空間關聯訊號以偵測弱回波訊號，可增加資訊並避免過度參數化而能產生可靠地面點之全波形光達之空間關聯波形分析方法。

為達以上之目的，本發明係一種全波形光達之空間關聯波形分析方法，其至少包含下列步驟：（A）連結空間關聯性波形：選定一回波訊號做為主波形，讀取主波形之記錄時間，並以記錄時間為起始位置搜尋相鄰之波形訊號，再以全球定位系統時間（GPS Time）對所有選定之波形進行排序，連結主波形與前一時刻及後一時刻掃描之空間關聯回波訊號，以形成時序之回波訊號；（B）萃取波形對位參考點：將已排序之回波訊號經高斯平滑化過濾隨機誤差後，先偵測其局部最大值，以偵測極值點，若相鄰之極值點小於距離門檻，則過濾鄰近之極值點，再過濾靠近邊界之極值點，以降低邊界效應，若相鄰之極值點遠小於背景雜訊，則過濾遠小於背景雜訊之極值點，最後保留下來之點即為波形對位參考點；（C）波形對位及堆疊：利用對位參考點，進行主波形及前、後波形之對位，將相鄰波形平移至相同參考基準完成波形對位，接著將對位後波形進行相加完成波形堆疊；以

及（D）堆疊波形之分析：利用高斯分解法進行堆疊波形之資訊萃取，將堆疊波形分解為數個回波，萃取波形峰值、波形寬度及波形強度，並僅保留最後回波資訊，再分析堆疊波形與原始主波形之最後回波距離，以重複確認偵測成果正確性。

於本發明上述實施例中，該步驟（D）重複確認偵測成果正確性，係包含以下步驟：（d1）過濾重複萃取之回波，若堆疊波形偵測成果之主波形原始最後回波距離小於給定門檻值，則視為重複萃取並將該點刪除；以及（d2）假設中間主波形與前、後波形峰值連線之交點與堆疊波形最後回波距離大於給定門檻值，則視為錯誤萃取。

【圖式簡單說明】

第1圖，係本發明之流程示意圖。

第2圖，係本發明之空間關聯性波形示意圖。

第3圖，係本發明之萃取波形對位參考點示意圖。

第4圖，係本發明比較未對位及經過對位之波形示意圖。

第5圖，係本發明之波形堆疊示意圖。

第6圖，係本發明之波形堆疊示意圖

第7圖，係本發明之林區光達三維點雲示意圖。

【實施方式】

請參閱『第1圖～第5圖』所示，係分別為本發明之流程示意圖、本發明之空間關聯性波形示意圖、本發明之萃取波形對位參考點示意圖、本發明比較未對位及經過對位之波形示意圖、及本發明之波形堆疊示意圖。如圖所示：本發明係一種全波形光達（Full Waveform Light Detection and Ranging）之空間關聯（

Geospatial Relationship) 波形分析 (Waveform Analysis) 方法，係藉由考量波形間之空間相關性進行整合分析，以提升光達森林地區之地面點數量，進而生產高精度之三維數值地面模型 (Digital Elevation Model)，以供環境議題分析使用。本發明至少包含下列步驟：

(A) 連結空間關聯性波形 1 1：選定一回波訊號做為主波形，讀取主波形之記錄時間，並以記錄時間為起始位置搜尋相鄰之波形訊號，再以全球定位系統時間 (GPS Time) 對所有選定之波形進行排序，連結主波形與前一時刻及後一時刻掃描之空間關聯回波訊號，以形成時序之回波訊號，如第 2 圖所示；

(B) 萃取波形對位參考點 1 2：將已排序之回波訊號經高斯平滑化過濾隨機誤差後，先偵測其局部最大值，以偵測極值點，若相鄰之極值點小於距離門檻，則過濾鄰近之極值點，再過濾靠近邊界之極值點，以降低邊界效應，若相鄰之極值點遠小於背景雜訊，則過濾遠小於背景雜訊之極值點，最後保留下來之點即為波形對位參考點，如第 3 圖所示；

(C) 波形對位及堆疊 1 3：利用對位參考點，進行主波形及前、後波形之對位，將相鄰波形平移至相同參考基準完成波形對位，如第 4 圖所示，其中圖(a)為三個相鄰波形，包含主波形及前、後波形，圖(b)為未對位之波形，及圖(c)為經過對位之波形；接著將對位後波形進行相加完成波形堆疊，如第 5 圖所示，其中線條 1 為波形堆疊成果；以及

(D) 堆疊波形之分析 1 4：利用高斯分解法進行堆疊波形之資

訊萃取，將堆疊波形分解為數個回波，萃取波形峰值、波形寬度及波形強度（如第 5 圖中線條 1 上之三角形為波形堆疊偵測之成果），並僅保留最後回波資訊，再分析堆疊波形與原始主波形之最後回波距離，以重複確認偵測成果正確性。其中，該重複確認偵測成果正確性之方法，係包含以下步驟：

（d 1）過濾重複萃取之回波，若堆疊波形偵測成果之主波形原始最後回波距離小於給定門檻值，則視為重複萃取並將該點刪除；以及

（d 2）假設中間主波形與前、後波形峰值連線之交點與堆疊波形最後回波距離大於給定門檻值，則視為錯誤萃取。此原因為考慮空間關聯性，中間主波形與連線之交點應接近地表微弱回波位置，若相差太遠可能為因波形堆疊，雜訊值增強所萃取之錯誤點。

如是，藉由上述揭露之流程構成一全新之全波形光達之空間關聯波形分析方法。

請參閱『第 6 圖及第 7 圖』所示，係分別為本發明之波形堆疊示意圖、及本發明之林區光達三維點雲示意圖。如圖所示：本發明係整合空間中數個全波形光達之回波，並偵測及萃取數值地形模型所需之地面點。使用時，經由結合使用波形堆疊法，考慮鄰近波形具有高空間相關性，透過疊合鄰近波形，增強地表回波訊號，進行地表微弱回波偵測。如第 6 圖所示，圖中三角形為透過一維波形分析方法得到之峰值位置，而波形 2 在箭頭指向處有一微弱地表回波，惟使用一維波形分析法無法萃取得到此一弱回波訊

號。故利用波形堆疊之概念疊合鄰近波形 3 與波形 4，增強地表微弱回波訊號，以萃取地表點。使用本發明之實例分析以Leica ALS60之資料進行分析，測試區為複雜之森林區，如第 7 圖所示之林區光達三維點雲。表1為比較原始地面點、傳統一維波形分析方法（高斯分解法）及本發明波形堆疊分析方法之結果；由結果可知，本發明之波形堆疊分析方法在森林區萃取效果最佳，可增加85%之地面點，顯示本發明之波形堆疊分析方法可豐富穿透率較差區域之地表資訊，達到提升森林區數值地形模型之地面點數量。實驗亦證明，本方法較現有之技術（一維波形分析）能萃取更多之地面點。

表1

方法	地面點點數	地面點增加比率
原始資料	508	-
僅使用一維波形分析	809	+59%
使用波形堆疊分析技術	942	+85%

本發明之技術特徵包含：

1. 整合空間關聯之多個波形訊號進行波形分析：現行光達掃描頻率極高（以Leica ALS 70為例可達每秒50萬點），因掃描快速，所以相鄰波形訊號距離近，故相關性高，可整合空間關聯之波形訊號進行波形分析。主要係堆疊空間相鄰之光達波形於波形分析，並進行波形對位以正確堆疊空間關聯之光達回波波形。
2. 有效萃取森林區之地面點之弱訊號：本發明疊合相鄰訊號，增

顯地面弱回波訊號，可有效萃取可靠之地面點弱回波訊號。此外，經波形分析後，並與原始相鄰波形比對檢核成果之合理性，以萃取地形分析所需之地面點。

本發明之主要功能包含：

1. 降低背景雜訊 (Background Noises) 對弱回波之干擾：本發明技術重點為堆疊及分析，並提出波形對位 (Waveform Alignment) 之程序，可在堆疊空間中不同位置及不同方向之數個光達波形時，增顯 (enhance) 弱回波之訊號，並降低因背景雜訊所造成之錯誤點，進而克服疊加錯誤之問題。

2. 改善穿透率較差區域之地表資訊：本發明可偵測複雜波形訊號之弱回波，能有效增加森林區之地面點，提升其可靠地面點之數量，以豐富穿透率較差區域之地形。

由上述可知，本發明考量鄰近波形之空間關係，堆疊鄰近波形以提升可靠之地面點弱回波訊號，能有效萃取微弱地表回波資訊，重建完整三維數值地面模型。本方法主要包含四步驟：連結空間關聯性波形；萃取波形對位參考點；波形對位及堆疊；以及堆疊波形之分析。藉此，本發明利用原始之光達波形訊號，使用相鄰訊號進行處理，以空間關聯訊號可偵測弱回波訊號且降低雜訊之干擾，並增加點座標及波形參數等資訊，能避免過度參數化即能產生可靠之地面點並提升地面點數量，使地形分析更可靠，進而在實務模式分析中應用於複雜之森林區，增顯地面弱回波訊號，可有效萃取可靠之地面弱回波訊號，以提供更可靠之成果。

綜上所述，本發明係一種全波形光達之空間關聯波形分析方法，

可有效改善習用之種種缺點，藉由考量波形間之空間相關性進整合分析，以提升光達森林地區之地面點數量，進而生產高精度之三維數值地面模型（Digital Elevation Model），以供環境議題分析使用，進而使本發明之產生能更進步、更實用、更符合使用者之所須，確已符合發明專利申請之要件，爰依法提出專利申請。

惟以上所述者，僅為本發明之較佳實施例而已，當不能以此限定本發明實施之範圍；故，凡依本發明申請專利範圍及發明說明書內容所作之簡單的等效變化與修飾，皆應仍屬本發明專利涵蓋之範圍內。

【符號說明】

線條 1

步驟（A）連結空間關聯性波形 1 1

步驟（B）萃取波形對位參考點 1 2

步驟（C）波形對位及堆疊 1 3

步驟（D）堆疊波形之分析 1 4

波形 2、3、4

【發明申請專利範圍】

【第1項】 一種全波形光達之空間關聯波形分析方法，其至少包含下列步驟：

(A) 連結空間關聯性波形：選定一回波訊號做為主波形，讀取主波形之記錄時間，並以記錄時間為起始位置搜尋相鄰之波形訊號，再以全球定位系統時間 (GPS Time) 對所有選定之波形進行排序，連結主波形與前一時刻及後一時刻掃描之空間關聯回波訊號，以形成時序之回波訊號；

(B) 萃取波形對位參考點：將已排序之回波訊號經高斯平滑化過濾隨機誤差後，先偵測其局部最大值，以偵測極值點，若相鄰之極值點小於距離門檻，則過濾鄰近之極值點，再過濾靠近邊界之極值點，以降低邊界效應，若相鄰之極值點小於背景雜訊，則過濾小於背景雜訊之極值點，最後保留下來之點即為波形對位參考點；

(C) 波形對位及堆疊：利用對位參考點，進行主波形及前後波形之對位，將相鄰波形平移至相同參考基準完成波形對位，接著將對位後波形進行相加完成波形堆疊；以及

(D) 堆疊波形之分析：利用高斯分解法進行堆疊波形之資訊萃取，將堆疊波形分解為數個回波，萃取波形峰值、波形寬度及波形強度，並僅保留最後回波資訊，再分析堆疊波形與原始主波形之最後回波距離，以重複確認偵測成果正確性。

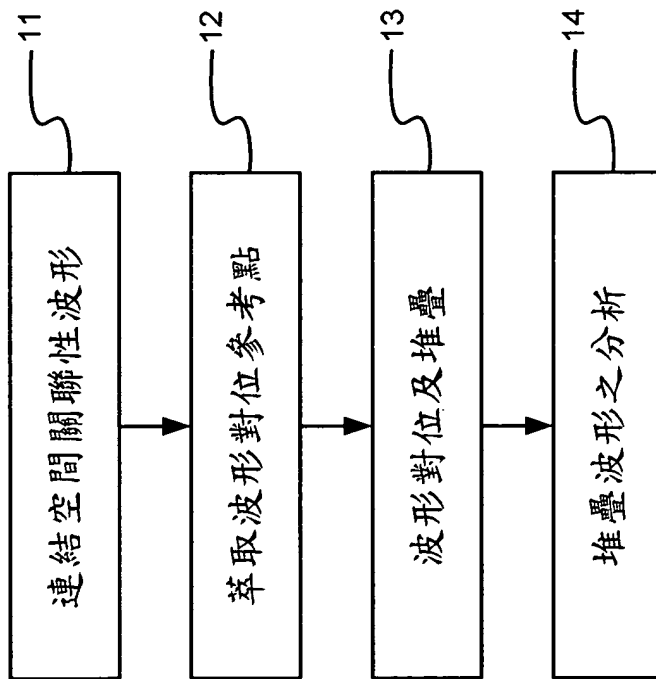
【第2項】 依申請專利範圍第1項所述之全波形光達之空間關聯波形分析方

法，其中，該步驟（D）重複確認偵測成果正確性，係包含以下步驟：

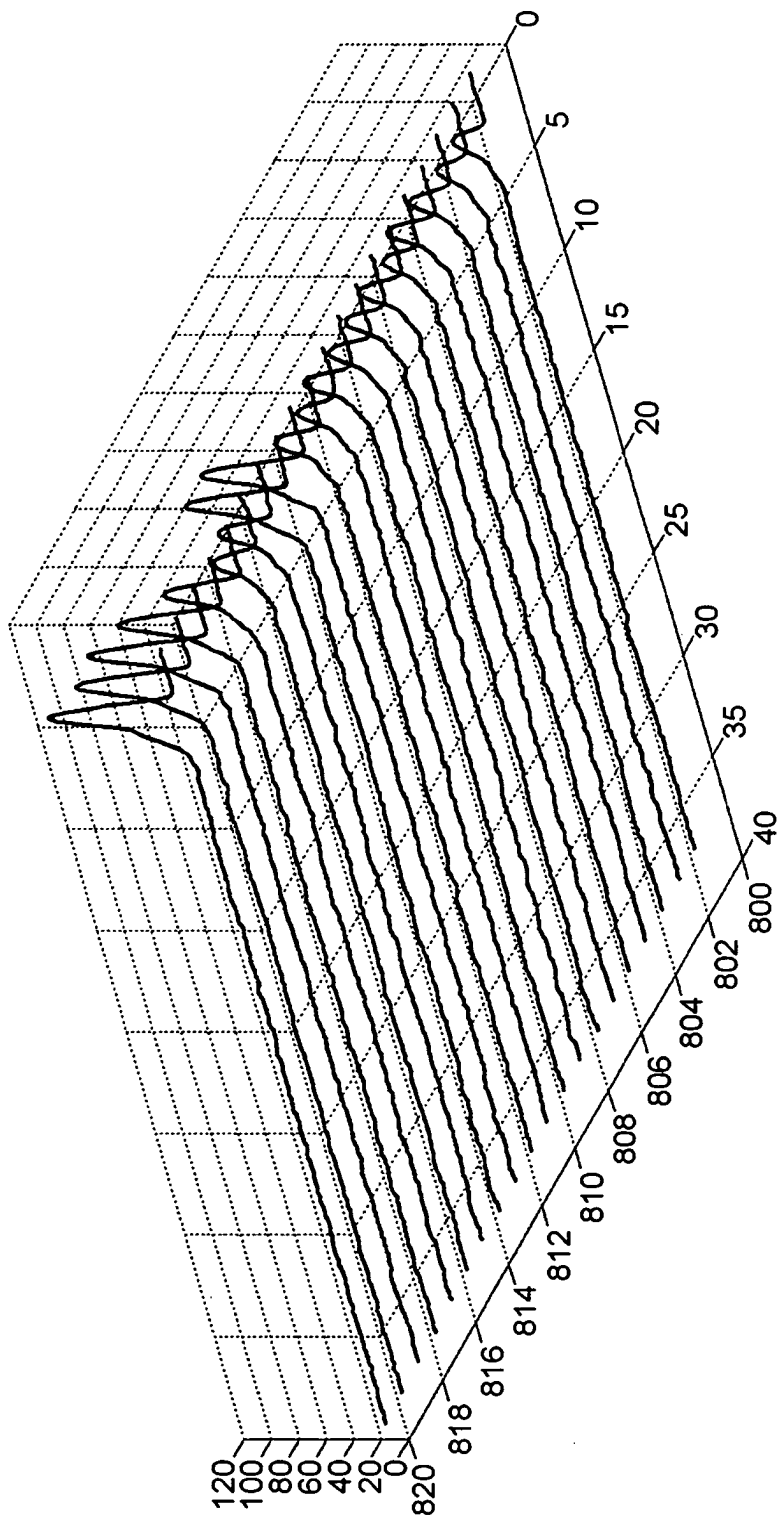
（d 1）過濾重複萃取之回波，若堆疊波形偵測成果之主波形原始最後回波距離小於給定門檻值，則視為重複萃取並將該點刪除；以及

（d 2）假設中間主波形與前、後波形峰值連線之交點與堆疊波形最後回波距離大於給定門檻值，則視為錯誤萃取。

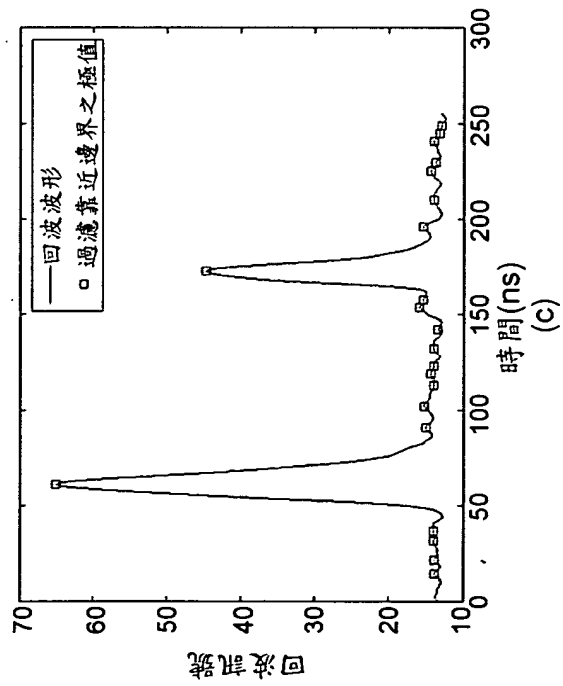
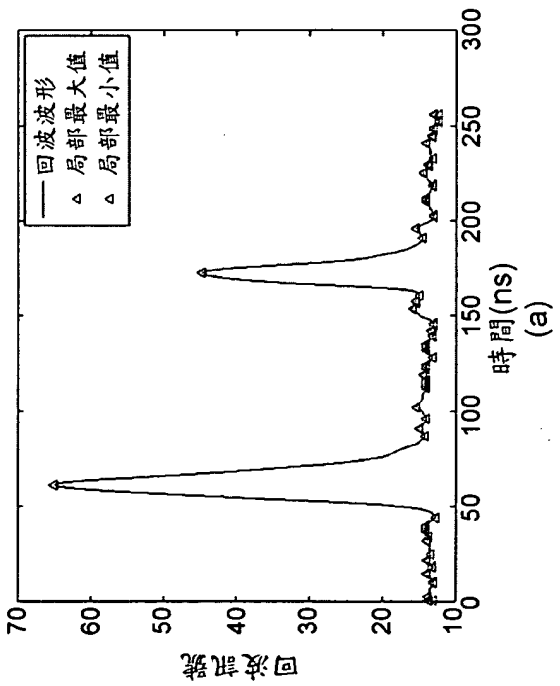
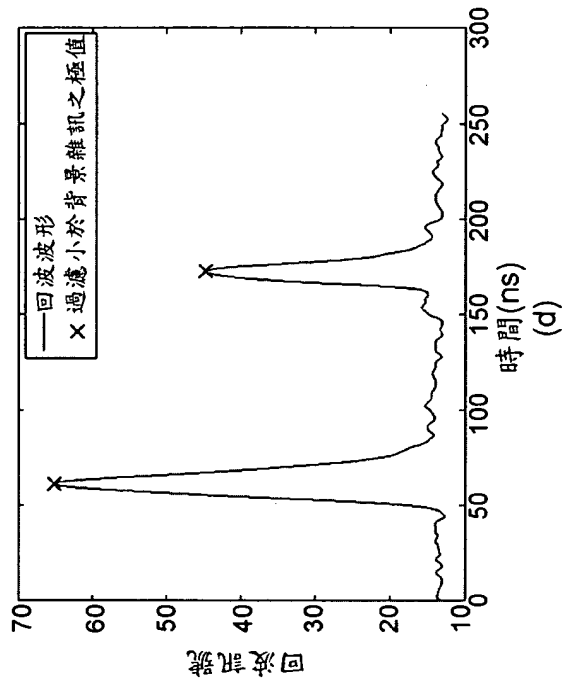
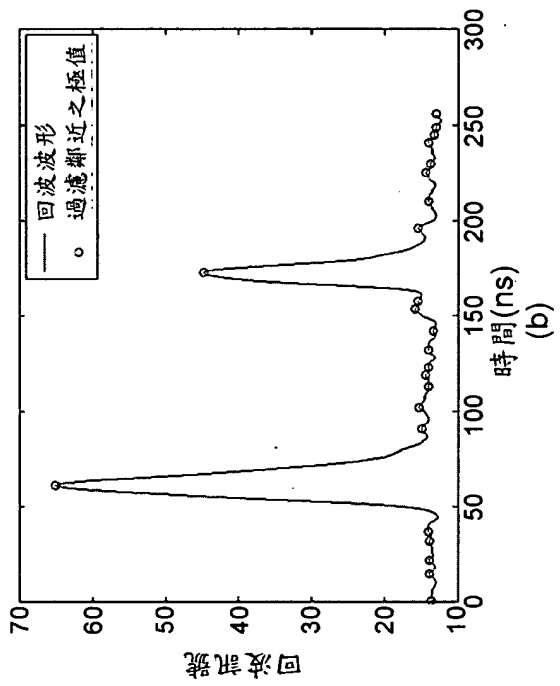
【發明圖式】



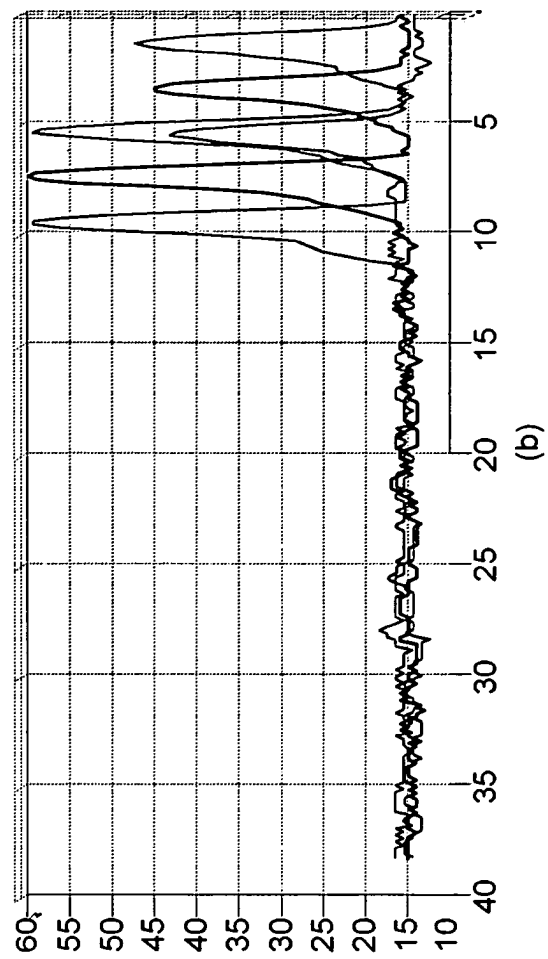
第 1 圖



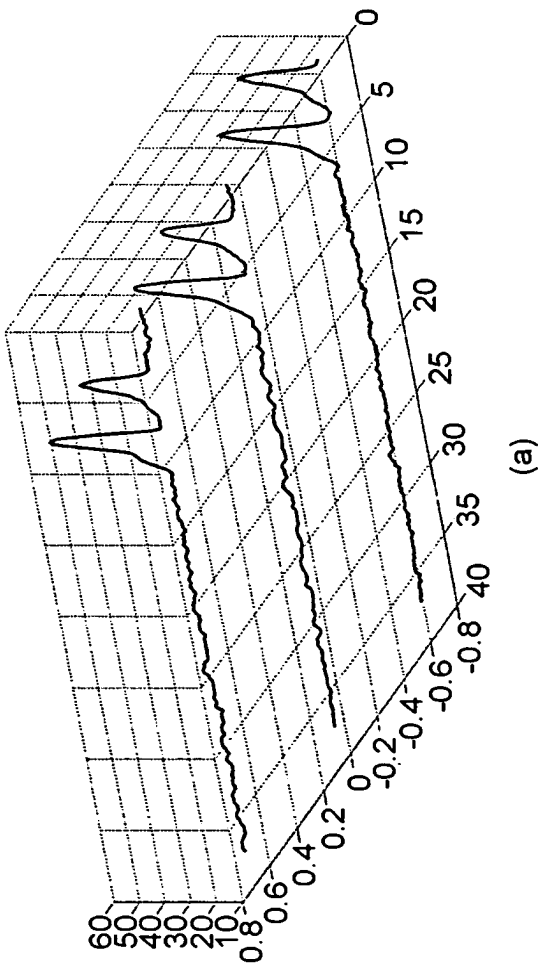
第2圖



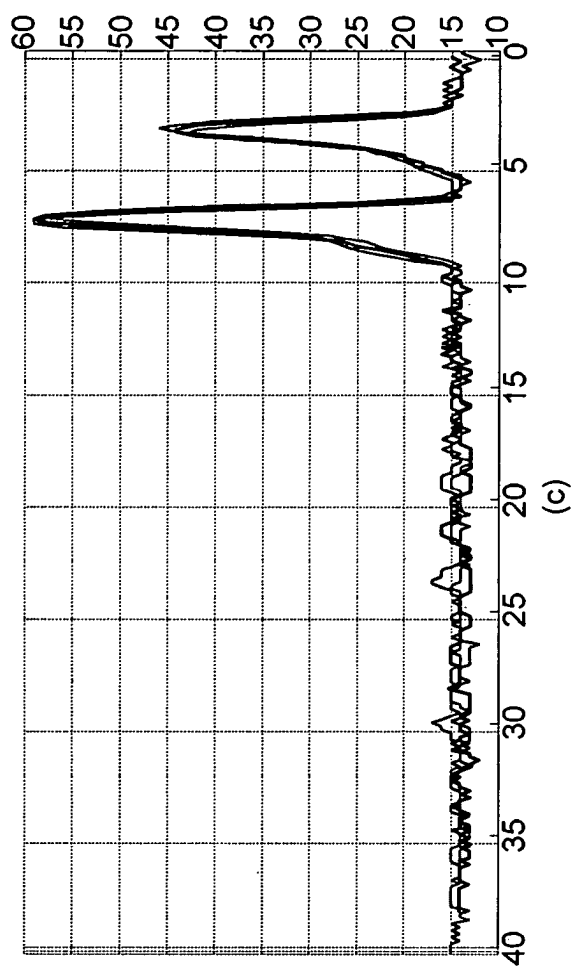
第3圖



(b)

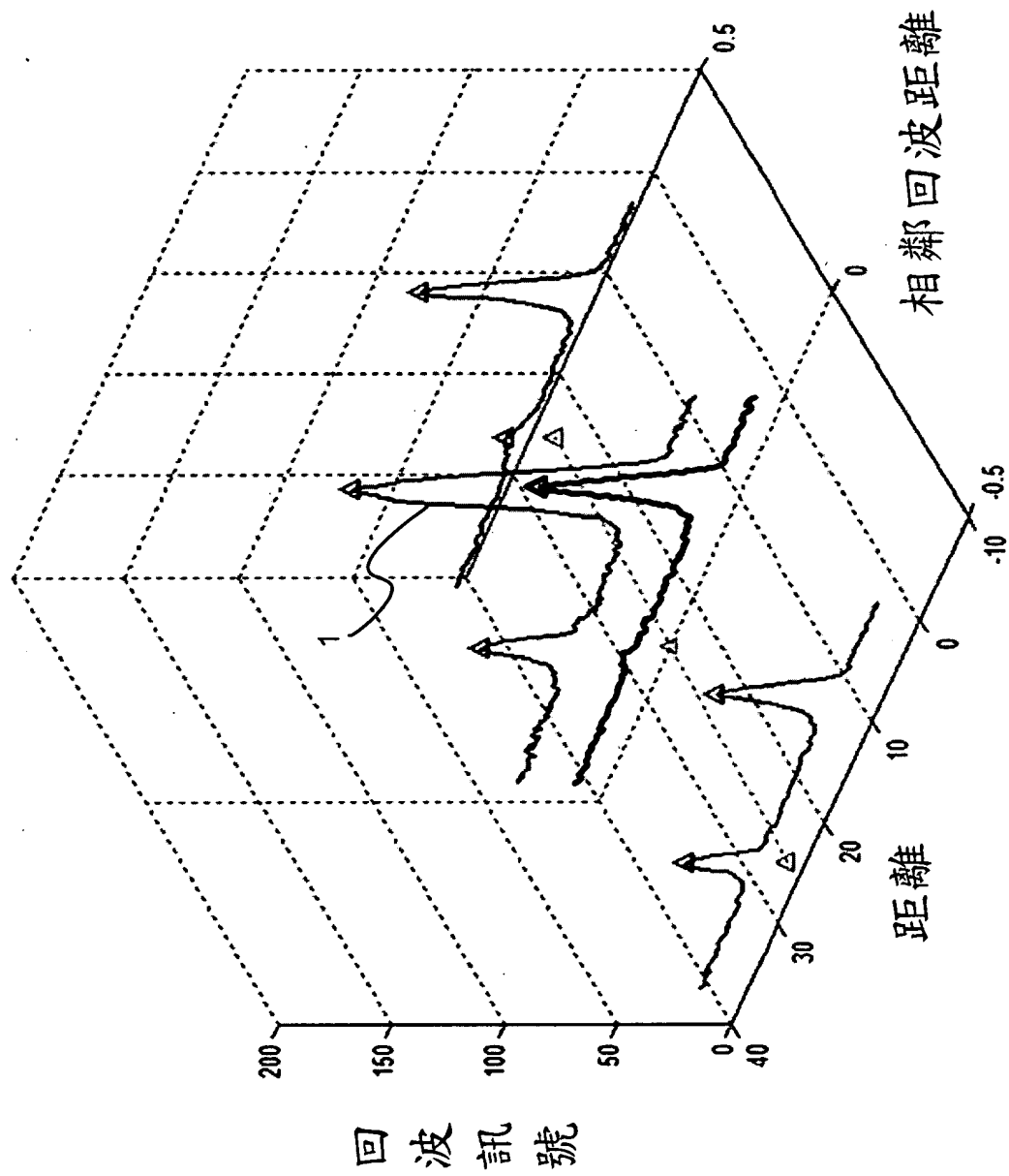


(a)

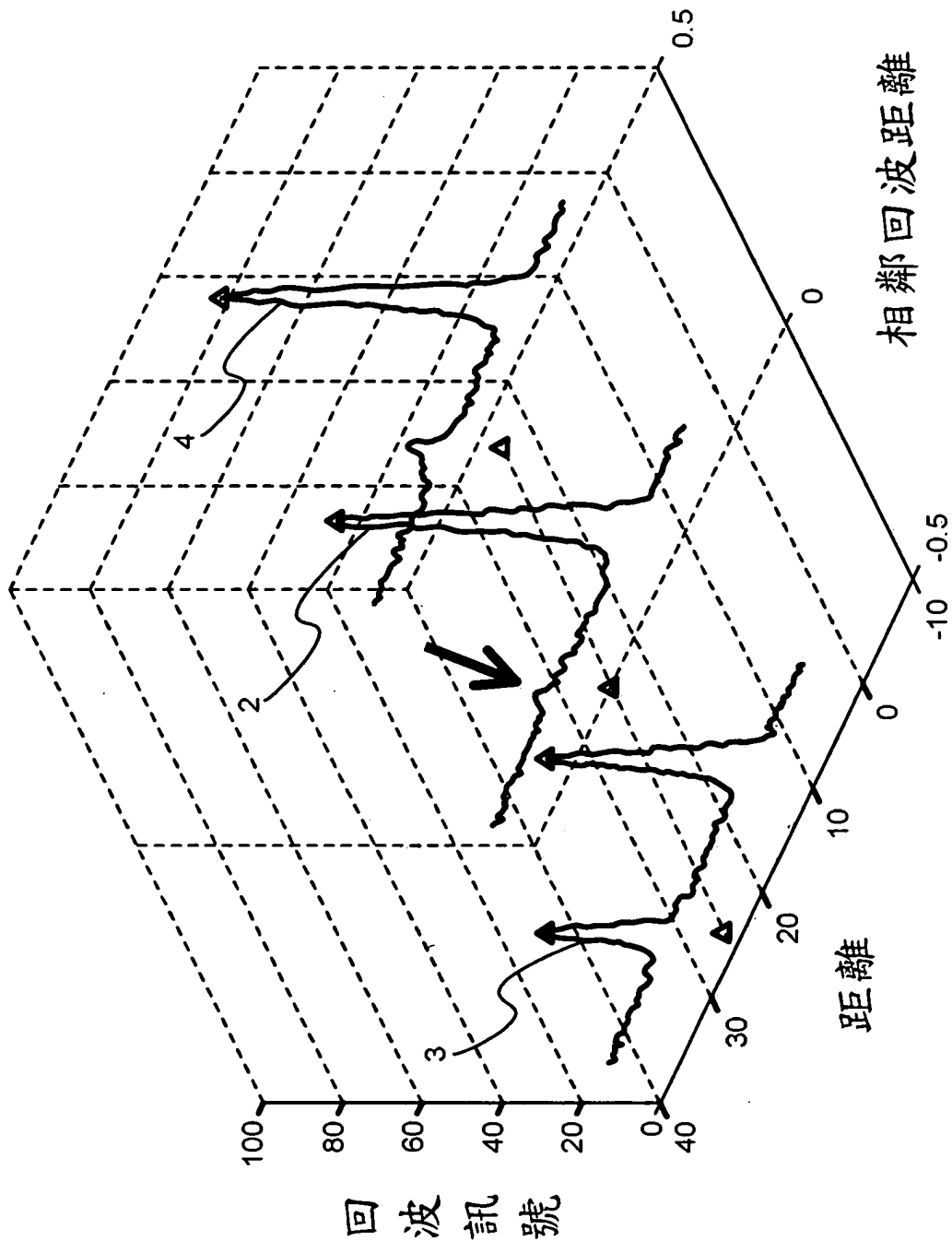


(c)

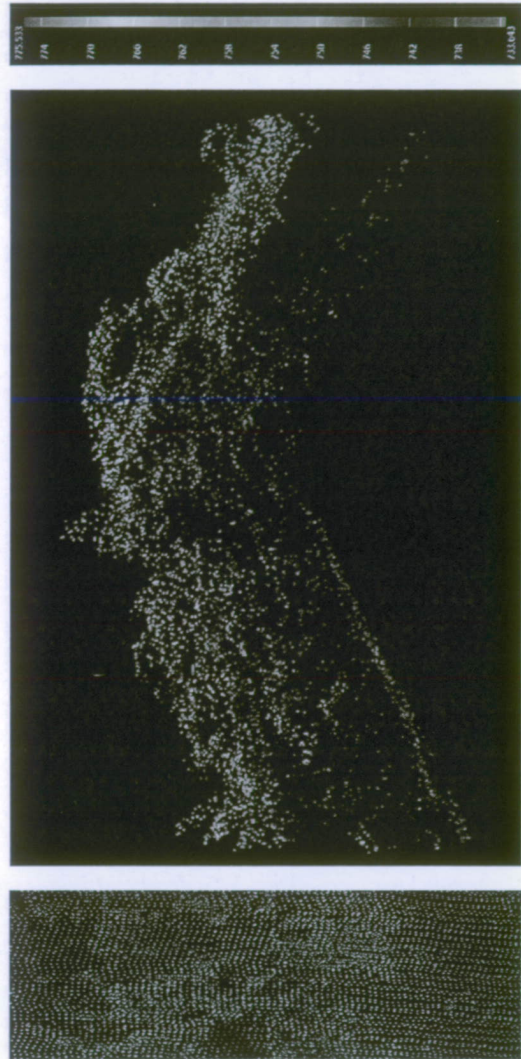
第4圖



第5圖



第6圖



第7圖