

透過影像分析和數位化復活數十年前的類比震波圖

By Petros Bogiatzis, Harvard University

在 1970 年代數位地震儀出現之前，科學家仰賴類比的地震儀來測量地震波。這些數以百萬計的老舊震波圖被保存在世界各地的天文氣象觀測站，成為很有價值的大量科學資訊。然而，在現在若要取得這些資訊卻有相當大的難度，因為現今的解析技術只適用於數位地震儀，且需要離散時間序列資料。

Miaki Ishii 教授與我在哈佛大學地震研究小組(Harvard University Seismology Group)已經透過一項互動式軟體工具，開發出能將類比震波影像轉換為時間序列資料來為這些原本無法取得的類比資料解除封印。DigitSeis 軟體利用 MATLAB® 影像處理演算法來辨識時間標記及修正影像失真以建立每個訊號的時間點及振幅。我們的團隊利用 DigitSeis 將儲存在 Harvard-Adam Dziewoński 天文觀測站 (Harvard-Adam Dziewoński Observatory, HRV) 之 1930 年代至 1950 年代的震波圖數位化。這個軟體還在持續地開發當中，我們利用該技術去區別不同類型的記錄。時至今日，大約有 20 多幅震波圖已經被數位化了。這項研究帶來的其中一項結果為在較少發生地震的地殼構造上較安靜的區域，像是美國東北部，做了更大、更完整的地震記載。透過幫助地球科學家研究數位時代之前的各個地震以及因地震引起的事件，這份詳細的記載為地震科學的發展開啟了一道新的曙光。

而且，使用 DigitSeis 來將世界各地其他站台的紀錄數位化，特別是沒有完整地震記載的地區，可以作為一個立即改善地震風險評估的實際應用，如此可以確保程式碼是建立在正確的資料上。

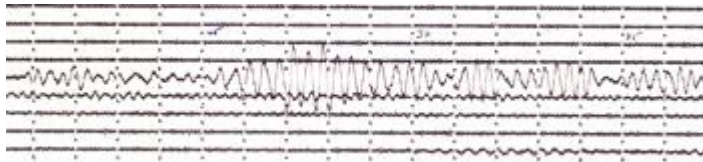


圖 1 – Harvard-Adam Dziewoński 天文觀測站收藏的一張 1938 年類比震波圖

震波圖掃描及影像準備

震波圖的數位化是一個由很多步驟所組成的過程，包含了手動及自動的步驟。第一步是清除及掃描原始的類比震波圖來建立一個高解析度的數位影像。一張 HRV 收藏的的典型震波圖大約是 14 吋 x 36 吋，形成一個數十 MB 的 JPG 影像檔案。

為了讓大型的影像檔案更容易操作，DigitSeis 將這些影像從 24-bit 彩色降低為 8-bit 灰階，使得處理的效率及精確度都能夠充分兼顧。接著，DigitSeis 利用 MATLAB 開發出直方圖修正演算法來移除資料中因為曝光、長時間儲存、及掃描程序等人為因素造成的痕跡 (圖 2)。

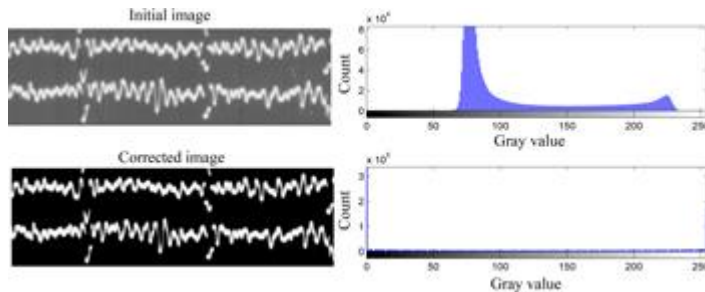


圖 2 – 原始震波圖(左上)藉由直方圖修正演算法來改善，製作出一張對比圖(左下)。圖的右側為依影像解析度值繪出的直方圖。

將數位化盡量地自動化是我們的目標，而使用者在自動流程前或流程後都可以變更這些影像及檔案。舉例來說，DigitSeis 執行對比改善之後，使用者可以裁切影像、移除背景雜訊、微調對比設定、及調整影像方向。在這個階段，使用者也可以移除不想要的人為痕跡，例如原始報告上的手寫註記或污漬。所利用的功能是 DigitSeis 中的“remove region”工具，而這是透過 MATLAB 以及其影像處理工具箱(Image Processing Toolbox™)的 `roipoly()` 函式為基礎開發而成的，使用者可以選擇一個影像區域，並將其從數位化過程中移除(圖 3)。

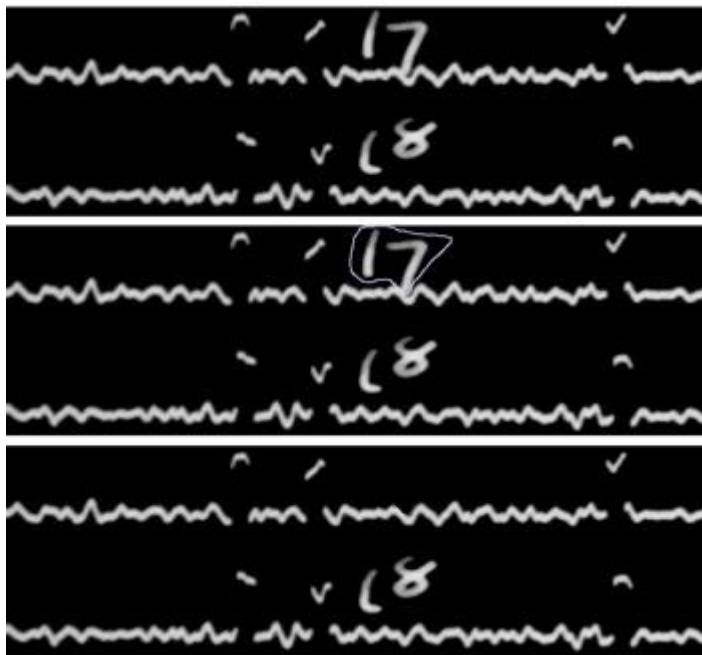


圖 3 – 上：以小時為單位追蹤的震波圖的片段 (17 及 18)。第一個時間點的選擇(中)以及移除(下)。

軌跡及時間標記的辨識

下一個步驟是要將經過前處理的影像物件分為三個類別：

地震軌跡。地震軌跡記錄地面的運動，是震波圖主要的特點。

時間標記偏移。震波圖的軌跡在每次時間標記從主要軌跡偏移的時候會中斷一分鐘。這些偏移幫助科學家判斷震波圖上事件發生的精確時間點。

雜訊。這個類別包含任何不應該被數位化的物件，像是污漬及未被手動移除的標記。

DigitSeis 利用 MATLAB 物件辨識演算法(MATLAB object identification algorithms)來找出軌跡、時間標記、雜訊的位置並分別用白色、綠色、紅色標示(圖 4)。另外也有供色盲者使用的圖。

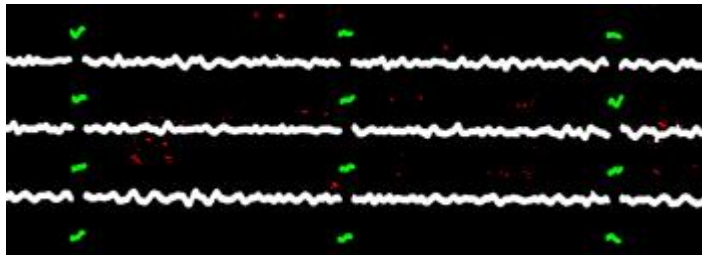


圖 4 – 震波圖的物件已被分類為軌跡(白色)、時間標記(綠色)、及雜訊(紅色)。

在這個階段，DigitSeis 也調用我們在 MATLAB 開發的演算法來修飾影像的水平及垂直扭曲。這樣的扭曲稍後會在數位化過程進行修正以減少波形時間點的不正確性。

震波圖的數位化

數位化演算法使用了強度資料來為震波圖軌跡上的每一個點計算出各自的單一數位數值。DigitSeis 接著顯示出這些結果。

雖然數位化已經自動化，手動的微調有時候還是必要的。舉例來說，嚴重的地震可能造成軌跡跨越到其他軌跡，讓以演算法區隔兩個訊號變得困難。在這樣的情況下，DigitSeis 支援手動訊號分隔。

接下來，DigitSeis 利用 MATLAB 之最佳化工具箱(Optimization Toolbox™)的 `fminbnd()` 函數來訂正時間標記偏移，依據時間標記的軌跡重新調整來建立一個連續的波形(圖 5)。

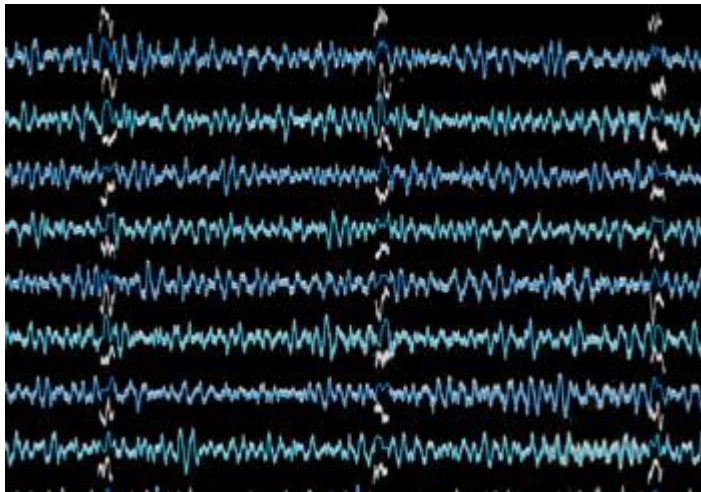


圖 5 – 自動化結果覆蓋於原始影像。時間標記已成功地與主要軌跡結合，提供一個連續的時間序列。

這部分的處理可以很容易的在多核心處理器平行地執行。我們已經建立了一個 DigitSeis 版本，它使用 MATLAB 之平行運算工具箱(Parallel Computing Toolbox®)來同時地在多核處理器心處理多個軌跡。

在數位化處理之後，DigitSeis 將時間序列資料儲存為一個.MAT 檔案或地震分析程式碼(Seismic Analysis Code, SAC)資料檔案。

使用 DigitSeis 來將 HRV 收藏數位化

我們針對 HRV 資料庫一開始的工作重點是地震的發生日期。比方說，從 1938 年 11 月 13 日至 11 月 15 日有幾個大地震被記錄在 HRV(圖 6)。這些包含了一個在千島群島地區規模 6.9 的地震(1)、在日本規模 7.0 的地震(2)及在這之後的餘震(3)。

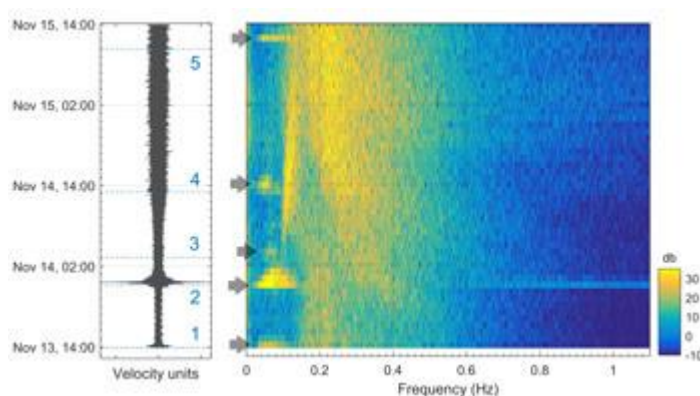


圖 6 – 經過數位化的 1938 年 11 月 13 日至 15 日的震波圖(左)及相對應的光譜圖(右)。光譜圖中編了號的水平虛線及箭頭代表世界各地所發生的主要地震事件表面波抵達 HRV。

在 DigitSeis 完成震波圖的數位化之後，我們利用結果時間序列資料產生光譜圖。從這張光譜圖可以看出其他我們很難從原始震波圖上辨識到的地震，光譜圖還透漏了峰值大約在 0.14 到 0.25 Hz 之間的特別雜訊等級(可能是因為該區在 11 月 14 日發生的暴風雨)。這些峰值的頻率與 2014 年在同樣地區以現代化儀器記錄到的雜訊一致。這項發現也顯示利用舊型類比震波圖的另一種潛能：了解暴風雨的活動在這段期間的變化。

下一步

當我們繼續處理 HRV 儲存的震波圖，我們學習到更多關於哪些數位化步驟可以隨著自動化過程的改善而被簡化。當震波圖數位化的數量已經達到儲存的相當比例，我們計畫讓這些結果公開在哈佛大學地震研究小組網站或地震學研究機構聯合會(Incorporated Research Institutions for Seismology, IRIS)資料庫。

我們已經把 DigitSeis 作為 MATLAB 程式碼共享資源公開。其他的觀測所也表示對於使用軟體來將他們自己收藏的震波圖數位化很感興趣。

感謝

下列成員參與了 DigiSeis 測試及哈佛(Harvard)收藏數位化的工作：Hiromi Ishii, Isabella Lorrainy Altoé, Alexandra Karamitrou, Thomas Lee, George Liu, and Victor Salles。另外，也感謝 U.S. Geological Survey Earthquake Hazard Program Award No. G14AP00016 and G16AP00021 對這項計畫的支援。