

# 以雷達干涉技術偵測地表變形之研究 Detecting Terrain Deformation with Radar Interferometry

計畫編號：NSC 90-2211-E-009-050

執行期限：90年8月1日至91年7月31日

主持人：史天元 國立交通大學土木工程系

## 一、中文摘要

雷達干涉技術(Radar Interferometry)，藉由相位值的差異量來獲取地表的三維資訊。目前主要的應用包含數值地形模型(DEM, Digital Elevation Model)的產生、地震變形量的研究、地層下陷的量測等。因為主動微波系統能全天候的蒐集地表資訊，配合相位值高精度的量測技術，因此可用以進行快速的製圖及有效的偵測地表的變形(Deformation)。

在變形量的監控上，傳統所使用的是以精密測量的方法來進行，但因受限於儀器的精度及人力、物力的需求，所以不太容易進行大範圍、高精度的、高密度的測量。最近雖然GPS技術的快速發展，可以較快速的獲得高精度的成果，但仍受限於必須親臨現場，且僅能測得單點資料的限制。

雷達干涉量測技術在地震災害的應用中，可以快速且全面的獲取高精度的地表變形資訊，本研究以ERS的衛星雷達影像，利用差分干涉的技術來偵測台灣中部1999年9月21日集集地震的地表變形量，以探討該項技術在多植被的台灣地區其可行性及可達到的精度。為能確實的比較所獲得的結果，將以GPS量測所的点位變動資料，將資料轉換至雷達坐標系統，並以變形量所推求的干涉圖來檢驗雷達干涉所獲得之結果。

關鍵詞：雷達干涉技術、數值地形模型、變形量

## Abstract

Synthetic aperture radar interferometry

is an imaging technique for measuring the topography of surface, its changes over time, and other changes in the detailed characteristics of the surface. A radar sensor above the Earth detects tiny changes on the ground by very accurately measuring changes in the time delay, or phase, of a radar echo. Interferometric synthetic aperture radar (InSAR) and its spatially dense, accurate deformation measurements have advanced studies of the Earth's crust. A significant advantage of this technique is that it provides a comprehensive view of the motion detected for the entire area affected. It is expected that this type of result will supplement ground-based measurements, which are made at a limited number of locations.

Researchers can avoid the limitations of the survey approaches and can begin to think about measuring the entire area's deformation. Because the purview of radar satellites is global, we can study deformation processes anywhere at little additional expense once the satellite is in operation. The great advantage of the radar interferometer system is that we can make deformation measurements at very fine spatial spacing, creating a visual image of the deformation distribution.

We chose ERS radar images to detect the chichi earthquake's deformation by differential InSAR technique. The deformation derived from InSAR are compared with precise GPS data, the GPS data are transformed to radar coordinate and simulated to fringes.

**Keywords:** Radar Interferometry, Digital Elevation Model, Deformation

## 二、計畫緣由與目的

### (一) 背景

雷達影像的成像原理與光學影像不同，雷達影像主要是在處理斜距(range)及視角(look angle)兩個參數的問題，而干涉技術則是利用雷達的空間幾何關係及相位值來推求地表的三維資訊。

差分干涉則是利用兩幅不同時期的影像對資料，其中一對為單純的地表資訊量，另一對則為含有地表資訊及變形量的影像對，將此含有地形資訊及變形量的影像對去除地形資訊後，即可求出地表的變形量。

消除地形效應的方法有二種，一種就是利用現有的地表資訊如DEM，以現有的DEM來進行去除地形效應的處理。在此方法中，DEM必須有好的精度，避免產生誤差。當缺乏DEM資料或其精度不佳時，可選擇另一種方法。第二種方法就是利用雷達資料，以第三幅雷達影像於與前面任一幅影像形成第二幅的干涉條紋圖，如此利用兩個干涉條紋間的線性結合，配合基線長就可推算其變形量。

檢核部份，因為以干涉量測技術所獲得的變形量為在雷達斜距方向的變形量，與一般傳統測量所獲得的地面資料不同，要進行精確的比對必須將兩者轉換至同一座標系統中。為能獲得全面性的比較資料，本研究擬將所獲得的GPS資料進行內插處理，再將此內插後的變形量轉換至雷達斜距的方向，並計算其形成的干涉條紋。在同一座標系統下的兩幅干涉條紋影像，進行套合的處理後，即可比較全幅影像各位置的變形情形。

### (二) 目的

在地震的變形監控部份，傳統的方法係利用測量技術量測每個點位的變動情形，其所須的時間及人力都相當的龐大，近年來隨著GPS科技的發達，雖然可以較快速的獲得各個點位的高精度變形資料，

但是仍需相當的人力且僅能獲得點位的變形資料。

因為衛星的固定軌道及其規律之週期，利用衛載的雷達資料進行監控，可週期性的拍攝各地區的影像，不必擔心缺乏地震前資料的問題，且雷達具有穿透雲層的特性，亦能在天候不佳時拍攝影像。因影像函蓋大範圍，可以獲得大區域且全面性的資料，配合差分干涉的技術可以獲得高精度的資料。因此以差分的雷達干涉技術應用在地震變形的應用上，是一項強而又力的工具。

1999年9月21日發生在台中、南投的集集地震，以芮氏規模7.3的強烈地震、震源深度6.9公里，為台灣近年來規模最大的地震，造成鄰近地區的重大傷亡及財產損失。其中有許多地表變形量的實地測量結果，但都為點狀的變形量，缺乏面狀的全區資料。目前已有研究單位探討以雷達干涉技術來進行研究，本研究將有助於本項研究之發展，並可提供比對。

本研究旨在探討該項技術應用於台灣本土地區地震變形偵測的可行性。其中雷達影像以歐洲太空總署的ERS衛星影像為主，資料的處理則使用Stanford大學的InSAR處理軟體ROI來進行。雷達干涉技術的成果則以GPS資料來進行檢驗，本研究將蒐集內政部土地測量局、經濟部中央地質調查所、交通部氣象局及各相關單位地震前後所測得的GPS的資料來進行比較，期能獲得客觀之結果。

在資料的檢核部份，因為以干涉量測技術所獲得的變形量為在雷達斜距方向的變形量，與一般傳統測量所獲得的地面資料不同，要進行精確的比對必須將兩者轉換至同一座標系統中。為能獲得全面性的比較資料，本研究擬將所獲得的GPS資料進行內插處理，再將此內插後的變形量轉換至雷達斜距的方向，並計算其形成的干涉條紋。在同一座標系統下的兩幅干涉條紋影像，進行套合的處理後，即可比較全幅影像各位置的變形情形。

### 三、成果與討論

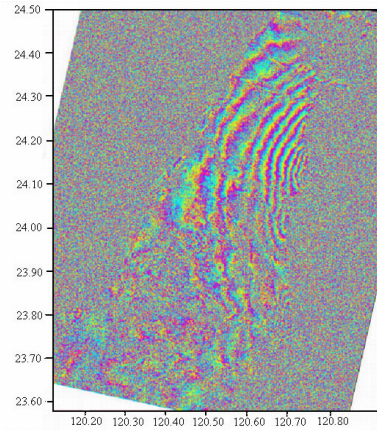
本研究在選取衛星影像對，計選用1999年5月6日、6月10日、7月15日、8月19日、9月23日及10月28日的影像資料。為配合干涉技術的要求，利用Delft大學的精確軌道資料來計算其基線長，最短基線長的像對為5月6日和10月28日的像對，基線長度只有38m，但其橫跨的天數長達175天。

在地形效應的去除部份，則利用1996年3月6日及3月7日基線長度為78m的像對，來產生地形的干涉條紋圖。計算兩個干涉條紋間的線性關係，配合基線長推算因地震所產生之變形量。

雷達影像的處理是以Stanford 大學的雷達影像干涉處理軟體 (Stanford Interferometry Processing Package)來進行處理。該軟體先以計算都卜勒相位中心 (Range-Doppler)的方法來處理雷達影像原始資料(Raw Data)，並且以可達1/32像元精度的匹配方法來進行兩影像的套合處理，處理的結果可產生的含有振幅 (Amplitude) 與相位 (Phase) 的複數影像 (Complex Image)，其中影像的相位值為經過 $2\pi$ 重新調制 (Modulate)處理，所以像位影像就會形成一條條的干涉條紋圖。

本研究以SNAPHU軟體來進行全相位回復處理，該軟體為以統計的方法為基礎，以最大的後驗機率來解其最佳的解，再計算各點的真实相位。該演算法先以軌道的參數計算各點位的大約位置，再配合點位的相關性，以相關性高的點逐步推求至週圍的點位，將錯誤點的影響降至最低，且可自動的計算完成整幅影像的相位值 [Chen and Zebker, 2000]。

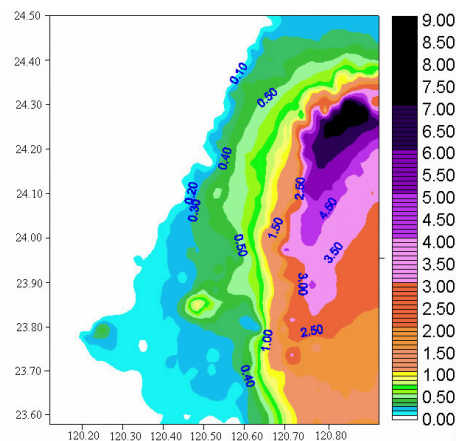
因本研究所使用的兩幅干涉條紋圖並非自同一坐標系統上，所以還須再一次將兩幅干涉圖進行套合的處理，處理的過程與先前的處理方法類似。套合完成後就可從變形的像中去除地形效應，產生純為地表變形的干涉條紋圖。所產生的條紋圖如圖一。



圖一、以ERS雷達資料所產生集集地震地震變形的干涉條紋，其中干涉條紋數相當於雷達在斜距方向的變形量

從干涉條紋中可以清楚的看出從西岸海邊到變形的中心點，其干涉條紋數共有10條，也就是在斷層線左邊其變形量為28cm左右。在影像右邊的部份，因其位於斷層的右邊，且其屬為山區地形，在地形斜坡變化大，且地震的變形量大，因此在右邊的部份並無產生干涉條紋。

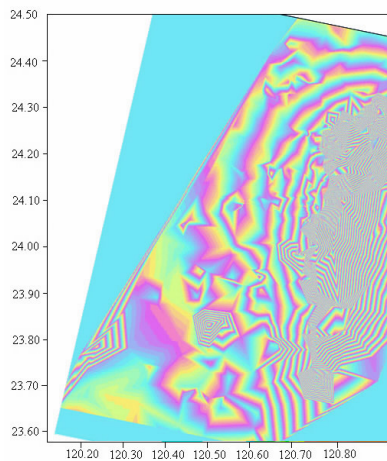
因為在地震後台灣的土地測量局 (Bureau of Land Survey)對災區的GPS控制點進行檢測，本研究則採取在影像範圍內的控制點計 653點，整體的點位變形量以等高線的方式來表現，可以看出整體的變形情形，其圖如圖二所示。從圖中可以看出。在右上方的變形量為最大，而後逐漸的向周圍遞減。



圖二、GPS資料內插後形成之變形分色圖

為能有效的比較GPS資料與INSAR所測得的變形量，現將GPS的資料有UTM的座標，轉換至與雷達同一座標系統的雷達

座標，再將其變形量計算至斜距方向的變形量，經此轉換後所得的變形量值如圖三所示。



圖三、GPS資料經坐標轉換後行成之干涉條紋圖

將此圖與 INSAR 所得的變形量比較，可以發現兩者的變形驅勢很類似，具有相同形狀的干涉條紋，但計算其條紋數，可以發現從 INSAR 的資料中，其有十條的干涉條紋，但 GPS 的資料僅有 7 條條紋，相差 3 條，以每條 2.8cm 計算，則將近有 8.4cm 的差異，此部份可能為垂直的變動量或是量測誤差所產生。

本研究所採用雷達影像的格式為原始資料，可以避免因不同都卜勒相位中心處理所產生的差異，增加干涉量測的可行性。另因 SNAPHU 為機率式的全相位回覆處理，所以可以獲得整幅的影像變形量。

#### 四、計畫成果自評

本計畫完成以雷達干涉量測技術偵測地表因地震所產生的變形，所計算的變形量除部分地區外，為涵蓋影像內大部分區域的整幅影像，且精度亦與 GPS 所獲得的成果接近。

InSAR 技術與 GPS 資料都具有高精度的偵測結果，兩者在本研究中具有相當一致性的結果，因此兩者的資料可以有良好的互補作用。在具有 InSAR 的條件下，可以由 InSAR 技術來進行偵測，以快速獲得全面性整體的變形情形。

#### 五、參考文獻

王志添、梁隆鑫、陳錕山、陳哲俊，2000，「雷達差分干涉法應用於地震後地表變形研究」，第十九屆測量學術及應用研討會論文集(二)，pp.741-750。

Chang, C C , 2000. Estimates of Horizontal Displacements Associated with the 1999 Taiwan Earthquake, Survey Review. 35(278). pp.563-568.

Chen, C.W., and H.A. Zebker, 2000. Network Approaches to Two-dimensional Phase Unwrapping: Intractability and Two New Algorithm, Journal of the Optical Society of America A. 17. pp 401-414.

Ma. K.F., C.T. Lee, Y.B. Tsai, T.C. Shin and J. Mori, 1999. The Chi-Chi Taiwan Earthquake: Large Surface Displacements on an Island Trust Fault. EOS. Transactions, American Geophysical Union. 80(50).

Massonet, D., K.L. Feigl, 1998. Radar Interferometry and its application to changes in the earth's surface, Reviews of Geophysics. 36(4). pp.441-500.

Rosen, P.A., S. Hensley, I.R. Joughin, F.K. Li, S.N. Madsen, E. Rodriguez, R.M. Goldstein, R.M., 2000. Synthetic Aperture Radar Interferometry, Proceeding of the IEEE. 88(3). pp333-382.

Zebker, H. A., 2000. Studying the Earth with interferometric radar, Computing in Science & Engineering. 23, pp 52-60.

Zebker, H.A., P.A. Rosen, R.M. Goldstein, A. Gabriel, and C. Werner, 1994. On the derivation of coseismic displacement fields using differential radar interferometry: the Landers earthquake, Journal of Geophysical Research - Solid Earth, 99(B10), pp 19617-19634