

2011 年台灣地理資訊學會年會暨學術研討會

【主題類別】：遙測及測量技術

EMD用於GPS週波脫落改正之研究 EMD for the GPS Cycle slips correction

陳思穎*

Sih-Ying Chen

林修國**

Shiou-Gwo Lin

摘要

全球定位系統進行相對定位時必須對週波脫落進行補償方能確保定位的準確性，以往用來處理週波脫落的方法有許多種，大多是偵測平滑訊號中的不連續處。EMD 是一種近年來相當被重視的非穩態訊號時頻分析及濾波的工具，本研究利用 EMD 來處理週波脫落。利用模擬的方式產生週波脫落發生的各種情況，再將相位訊號以 EMD 法篩選出均值趨勢與 IMF，再將 IMF 經過 HT 分析取得訊號的瞬時頻率，求得訊號的時間-頻率-能量分布，再找出發生週波脫落的位置及大小，藉由模擬成果可以確定 EMD 是可用來偵測週波脫落發生的良好工具，但用於找出發生週波脫落的位置及大小則仍需進一步的研究。

關鍵字：EMD、週波脫落

Abstract

Cycle slips detection is required for GPS relative positioning. Conventionally, cycle slips detection is detecting the discontinuities of the phase measurements. EMD has been widely study in recent years. It's a time-frequency analysis and filtering tools for non-steady-state signal. In this paper, we use EMD to deal with the cycle slips. The ability of EMD to detect cycle slips is evaluation by various simulated scenarios. The phase measurements with simulated cycle slips are decomposed into a trend and IMF components by EMD method, the IMF components are transforms into instantaneous frequency by Hilbert transform. Then find the position and size of the simulated cycle slips by the time-frequency results. By our preliminary study, EMD can detect the cycle

* 國立台灣海洋大學電機資訊學院通訊與導航工程學系學生
Student, Department of Communications Navigation and Control Engineering, College of Electrical Engineering and Computer Science, National Taiwan Ocean University

** 國立台灣海洋大學通訊與導航工程學系助理教授
Assistant Professor, Department of Communications Navigation and Control Engineering, National Taiwan Ocean University e-mail: sglin@mail.ntou.edu.tw (Corresponding author)

slips. But, finding the location and size of the cycle slips still need further research.

Keyword : EMD、Cycle Slips

前 言

當 GPS 衛星訊號受到干擾或中斷後，衛星訊號被重新鎖定，測量到的載波小數週波值和中斷前一樣是連續的，但計數器重新計數的整數週波值是不連續的，此即週波脫落。由於接收儀只能測量到載波相位非整數週期的小數週波值與相位變化的整數週波值，所以在載波相位觀測中，週波未定值求解及週波脫落的偵測與改正是處理載波相位訊號時必須謹慎處理的問題。週波脫落在載波相位測量中是普遍出現的測量誤差，它對載波相位觀測的影響和週波未定值的影響相似，在相對定位的數據處理上佔有種要的影響，必須小心謹慎的對待。以往用來處理週波脫落的方法有許多種，大多是偵測平滑訊號中的不連續處。傳統的方式有雙頻相位間的線性結合、對時間做高階微分、多項式套合法、卡爾曼濾波法…等(陳正唐，2001)。本研究利用提出經驗模態分解法(EMD)來偵測週波脫落，以了解 EMD 是用來偵測週波脫落發生的可行性。

理論基礎

(一)希爾伯特-黃轉換

希爾伯特-黃轉換(Hilbert-Huang Transform, HHT)，是由台灣中央研究院院士黃鐸根據近代知名數學家 Hilbert 的理論所設計出來的，可作為分析非穩定或非線性訊號的工具。(謝志敏，2007)

此方法是先將非穩態或非線性訊號，透過一套篩選程序，被分解成一個均值趨勢訊號(mean trend)與許多零均值震盪函數(本質模態函數，IMF)的加總。將數個 IMF 分量經過希爾伯特轉換模態分析(HT)取得訊號的瞬時頻率，進而求得訊號的時間-頻率-能量分佈訊息。(Huang、Shen、Long、Wu、Shih、Zheng、Ten、Tung、Liu，1998)

(二)經驗模態分解法(Huang、Shen、Long、Wu、Shih、Zheng、Ten、Tung、Liu，1998)

(1)訊號分解條件

EMD 的分解是依據訊號的局部特徵時間尺度來定義其振動模態，處理非線性及非穩定性的訊號時，有下列限制條件：

- i. 訊號至少要有兩個極值：一個極大值及一個極小值。
- ii. 局部特徵時間尺度定義為兩極值之間的時間差。
- iii. 若訊號無極值只有反折點，則可將訊號做一次或多次微分找出極值，結果可由分量積分取得。

(2)內建模態函數

在物理上，要定義一個有意義的瞬時頻率，必須要訊號相對於局部零均值是對稱，且有相同數目的跨零點及極值。基於這些限制所定義的內建模態函數(IMF)條件如下：

- i. 整筆資料中，極值的數目與跨零點的數目差不大於 1 個。
- ii. 在任一時間，極大值包絡線與及小值包絡線所定義出的均值包絡線為零。

(3)分解流程

EMD 的分解過程是找出訊號中所有的局部極大值及局部極小值，利用立方弧線(cubic spline)將它們連接起來產生上包絡線 $u_k(t)$ 及下包絡線 $l_k(t)$ ，在由上包絡線及下包絡線取得均值包絡線(mean envelope) $m_k(t) = (u_k + l_k)/2$ ，如下圖所示：(謝志敏，2007)

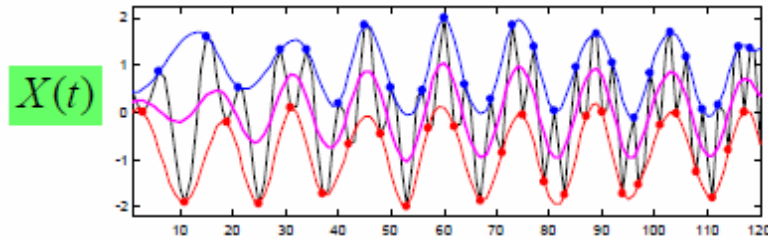


圖 1 原始訊號與包絡線

($x(t)$ 為原始訊號，藍線為上包絡線，紅線為下包絡線，中間桃色線即為均值包絡線 $m_k(t)$ 。)

取出分量 $h_k(t) = x_{n,k}(t) - m_k(t)$ ，重複上述步驟直到分量 $h_k(t)$ 滿足 IMF 條件，並記錄 $c_n(t) = m_k(t)$ 。計算殘值 $rn(t) = x_{n,k}(t) - c_n(t)$ ，判斷 $rn(t)$ 是否為一趨勢分量，是則停止分解，否則重複上述步驟分解出其他本質模態函數。下圖為 EMD 分解流程圖：(吳順德、陳思予、陳伯虹，2009)

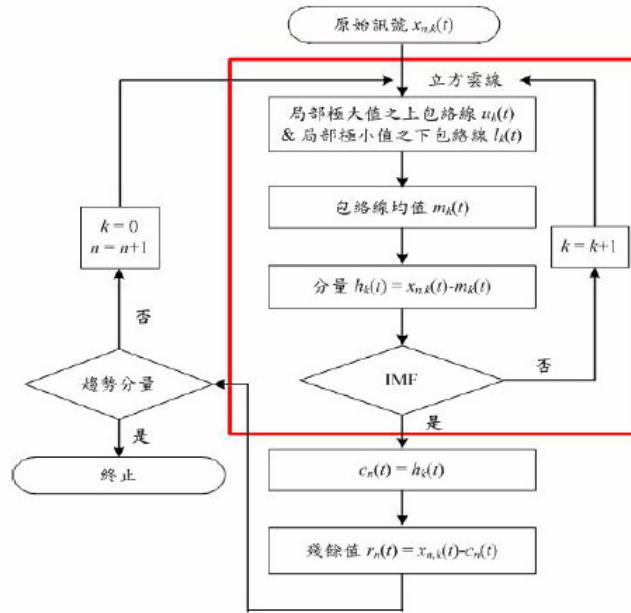


圖 2 EMD 演算法分解流程圖

經過上述分解流程，原始訊號 $x(t)$ 被分解成 n 個 IMF 分量及一個均值趨勢，原始訊號 $x(t)$ 可表示成此兩個分量的合：

$$x(t) = \sum_{k=1}^n c_k(t) + r_n(t) \quad (1)$$

(4) 停止準則

在分解出 IMF 的同時，為了避免過多次的分解，導致 IMF 失去單一成分訊號的物理意義，因此在迴圈中加入了停止準則來判斷是否繼續分解。標準的 EMD 分解是採用標準差(SD)來判斷，檢查兩次疊代所分解出的分量距離，若 SD 介於 0.2~0.3 之間就停止分解程序：

$$SD = \sum_{t=0}^T \left[\frac{|(h_{1(k-1)}(t) - h_{1k}(t))|^2}{h_{1(k-1)}^2(t)} \right] \quad (2)$$

(三) 希爾伯特轉換(Huang、Shen、Long、Wu、Shih、Zheng、Ten、Tung、Liu, 1998)

希爾伯特轉換的定義為原始訊號 $X(t)$ 與 $1/t$ 的褶積(convolution integral)，在於強調 $X(t)$ 的局部特性。對任意時間訊號 $X(t)$ ，其希爾伯特轉換 $Y(t)$ 可表示為：

$$Y(t) = \frac{1}{\pi} PV \int_{-\infty}^{\infty} \frac{X(\tau)}{t - \tau} d\tau \quad (3)$$

其中，PV 為柯西主值(Cauchy principal value)。 $X(t)$ 和 $Y(t)$ 可組成一複數函數，此為解析訊號 $Z(t)$ ：

$$Z(t) = X(t) + iY(t) = a(t)e^{i\theta(t)} \quad (4)$$

其中

$$a(t) = [X^2(t) + Y^2(t)]^{\frac{1}{2}} \quad (5)$$

$$\theta(t) = \tan^{-1} \frac{Y(t)}{X(t)} \quad (6)$$

根據希爾伯特轉換定義的瞬時角頻率為：

$$\omega = \frac{d\theta(t)}{dt} \quad (7)$$

瞬時頻率則可由瞬時角頻率求得。即可得到時間、瞬時頻率與振幅(能量)彼此的關係。

研究方法

(一)研究流程

本實驗針對偵測周波脫落進行演算法程式模擬，在真實相位觀測資料中附加模擬周波脫落，以驗證程式的正確性。

由於原始衛星訊號並不符合 EMD 分解訊號所需之條件，因此改以訊號的相位變化量來進行分解，即將原始衛星訊號做一次前後相減的動作。再加入模擬周波脫落作為 EMD 分析資料。將資料經過 EMD 分析後，判斷 IMF 訊號是否有端點波動不穩現象(邊際效應)，若存在邊際效應則將 EMD 分析資料再進行一次相位差。取得分析後，選擇能量較強的第一個 IMF 訊號進行希爾伯特轉換，求得訊號的振幅、瞬時頻率、時間關係圖。由變化較大的振幅關係圖，篩選出最有可能發生週波脫落的時間位置。流程圖如下：

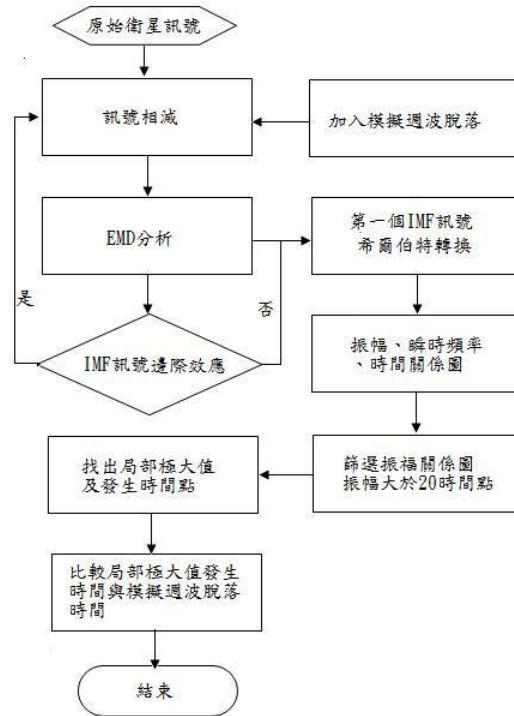


圖 3 EMD 用於週波脫落改正流程圖

(二)研究資料背景

本實驗中所用之真實載波相位觀測數據資料，為美國國家大地測量局(National Geodetic Survey, NGS)連續運行參考站(Continuously Operating Reference Station, CORS)所提供之全球導航系統(GNSS)數據 mcne1520.11o，選擇 L1 載波中 7 號衛星訊號作為本次實驗的主要實驗訊號，觀測資料總長度為 666。經過第一次相位差後，訊號長度為 665；經過第二次相位差即為 664。EMD 分解演算法則是採用中央大學數據研究中心所提供的 EEMD 分解程式，進行 EMD 分解。

結果與討論

本研究採用上述方法，以真實觀測資料附加模擬週波脫落進行實驗。實驗中，觀測資料經過一次差後，在訊號(1)400 時間點(2)每 300 時間點(3)每 200 時間點(4)每 100 時間點(5)每 50 時間點處，加入 50 的週波脫落模擬值，觀測經分解轉換後的振幅關係圖及電腦篩選出的局部極大值。

(一)研究結果

(1)400 時間點

在一次相位差後的觀測資料中，400 時間點加入 50 的模擬週波脫落(亦即原始資料中，401 時間點有一 50 的週波脫落跳躍)。下圖為訊號經過兩次相位差後，EMD 分解的訊號圖：

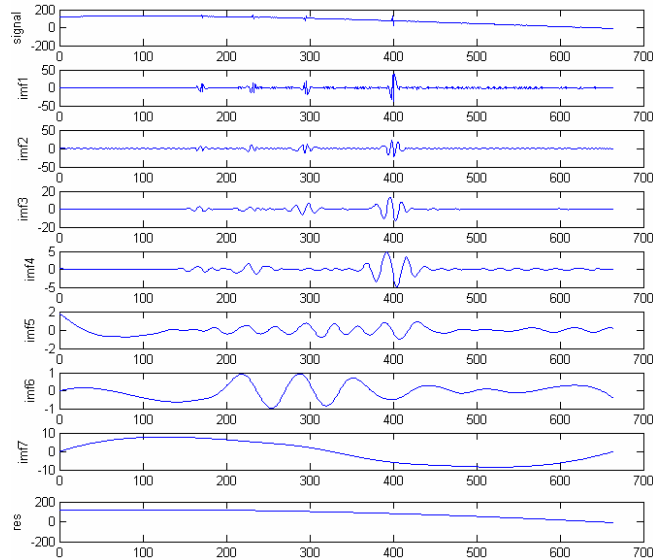


圖 4 7 號衛星訊號於 401 時間點加入模擬週波脫落 EMD 分解結果

由圖中可發現，IMF 訊號有震盪產生，顯示附近有異常訊號跳動。再將第一個 IMF 訊號經過希爾伯特轉換，得到的振幅關係圖如下：

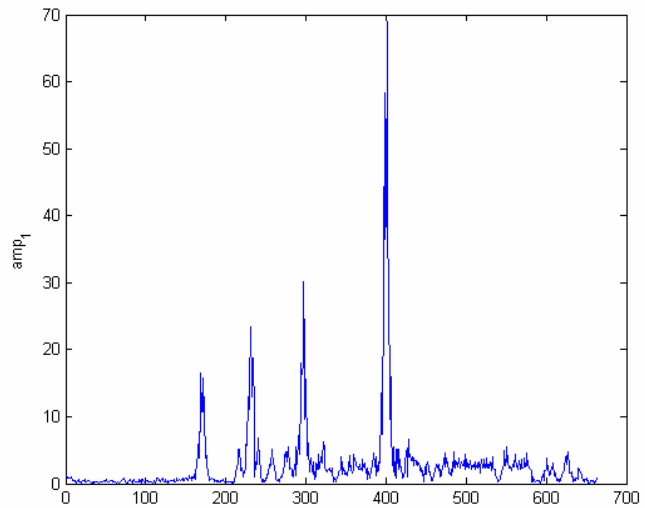


圖 5 7 號衛星訊號於 401 時間點加入模擬週波脫落希爾伯特轉換振幅圖

在振幅關係圖中可明顯發現，振幅在 400 時間點附近有劇烈變化，經演算結果顯示，振幅的極大值出現於 401 時間點上。

(2) 每 300 時間點

在一次相位差後的觀測資料中，每 300 時間點加入 50 的模擬週波脫落(亦即原始資料中，301 及 601 時間點有一 50 的週波脫落跳躍)。下圖為訊號經過兩次相位差後，EMD 分解的訊號圖：

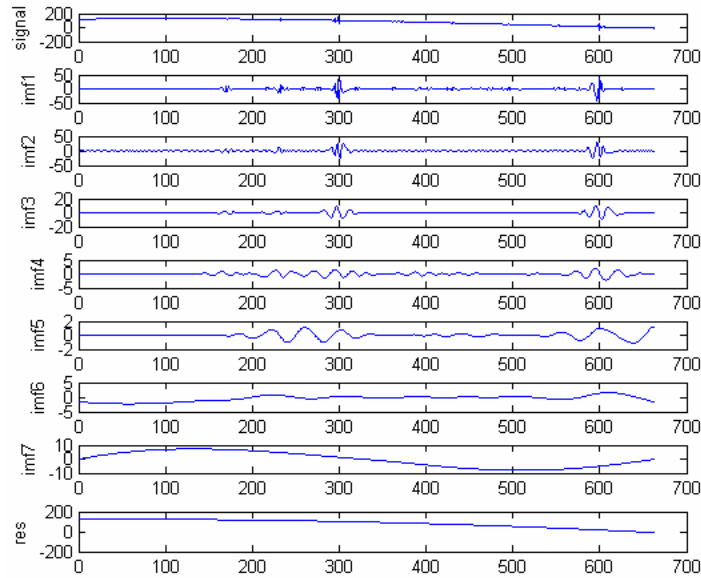


圖 6 7 號衛星訊號於每 300 時間點加入模擬週波脫落 EMD 分解結果

由圖中可發現，IMF 訊號有震盪產生，顯示附近有異常訊號跳動。再將第一個 IMF 訊號經過希爾伯特轉換，得到的振幅關係圖如下：

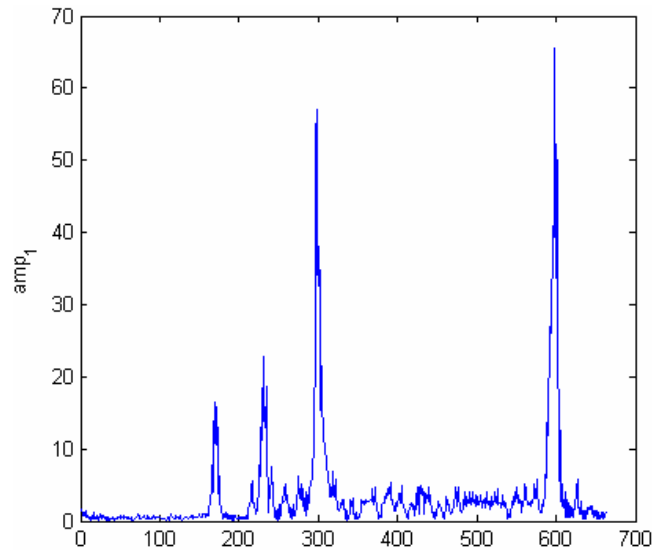


圖 7 7 號衛星訊號於每 300 時間點加入模擬週波脫落希爾伯特轉換振幅圖

在振幅關係圖中可明顯發現，振幅在 300 及 400 時間點附近有劇烈變化，經演算結果顯示，振幅的極大值出現於 298 及 598 時間點上。

(3) 每 200 時間點

在一次相位差後的觀測資料中，每 200 時間點加入 50 的模擬週波脫落(亦即原始資料中，201、401 及 601 時間點有一 50 的週波脫落跳躍)。下圖為訊號經過兩次相位差後，EMD 分解的訊號圖：

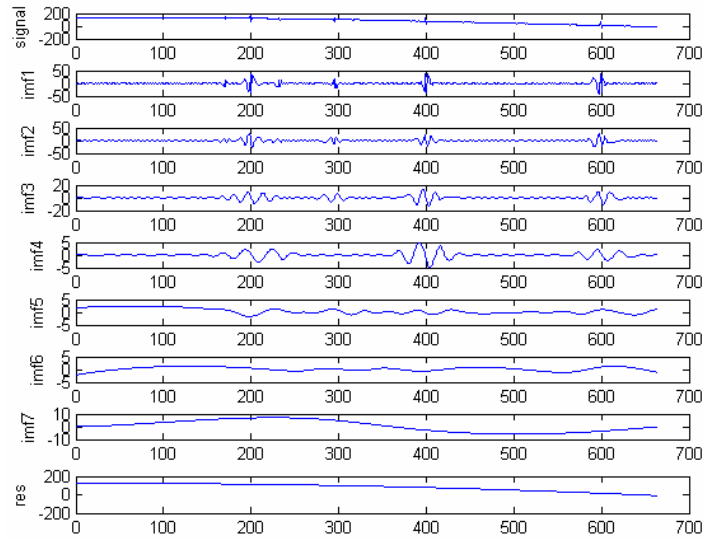


圖 8 7 號衛星訊號於每 200 時間點加入模擬週波脫落 EMD 分解結果

由圖中可發現，IMF 訊號有震盪產生，顯示附近有異常訊號跳動。再將第一個 IMF 訊號經過希爾伯特轉換，得到的振幅關係圖如下：

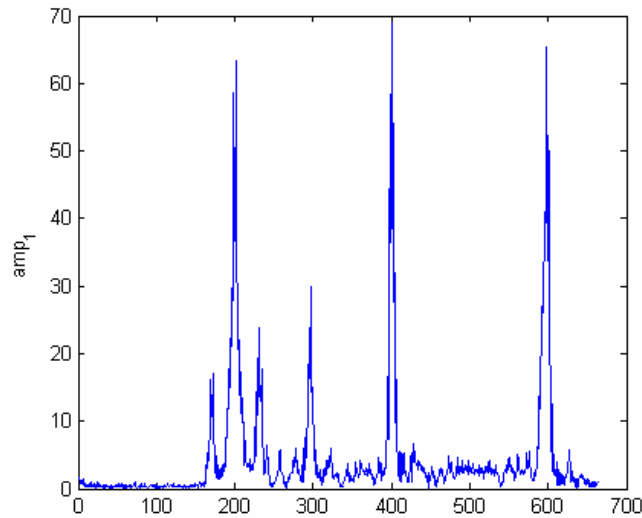


圖 9 7 號衛星訊號於每 200 時間點加入模擬週波脫落希爾伯特轉換振幅圖

在振幅關係圖中可明顯發現，振幅在 200、400 及 600 時間點附近有劇烈變化，經演算結果顯示，振幅的極大值出現於 201、401 及 598 時間點上。

(4) 每 100 時間點

在一次相位差後的觀測資料中，每 100 時間點加入 50 的模擬週波脫落(亦即原始資料中，101、201、301、401、501 及 601 時間點有一 50 的週波脫落跳躍)。下圖為訊號經過兩次相位差後，EMD 分解的訊號圖：

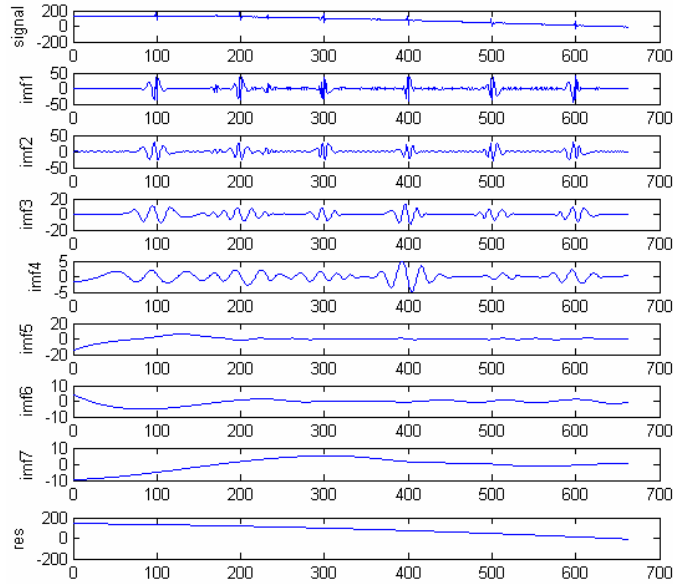


圖 10 7 號衛星訊號於每 100 時間點加入模擬週波脫落 EMD 分解結果

由圖中可發現，IMF 訊號有震盪產生，顯示附近有異常訊號跳動。再將第一個 IMF 訊號經過希爾伯特轉換，得到的振幅關係圖如下：

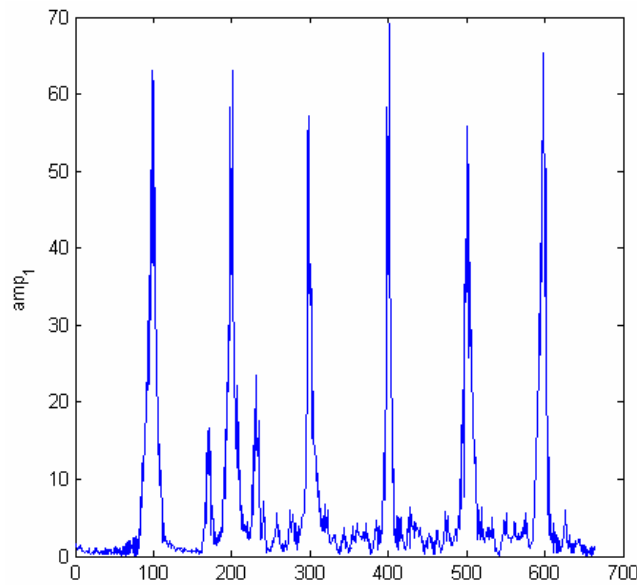


圖 11 7 號衛星訊號於每 100 時間點加入模擬週波脫落希爾伯特轉換振幅圖

在振幅關係圖中可明顯發現，振幅在 100、200、300、400、500 及 600 時間點附近有劇烈變化，經演算結果顯示，振幅的極大值出現於 98、201、298、401、501 及 598 時間點上。

(5) 每 50 時間點

在一次相位差後的觀測資料中，每 50 時間點加入 50 的模擬週波脫落(亦即原始資料中，51、101、151、201、251、301、351、401、451、501、551、601 及 651 時間點有一 50 的週波脫落跳躍)。下圖為訊號經過兩次相位差後，EMD 分解的訊號圖：

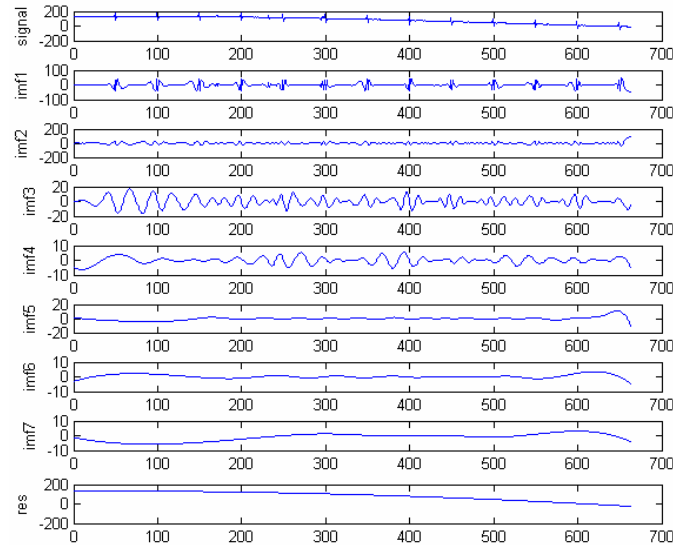


圖 12 7 號衛星訊號於每 50 時間點加入模擬週波脫落 EMD 分解結果

由圖中可發現，IMF 訊號有震盪產生，顯示附近有異常訊號跳動。再將第一個 IMF 訊號經過希爾伯特轉換，得到的振幅關係圖如下：

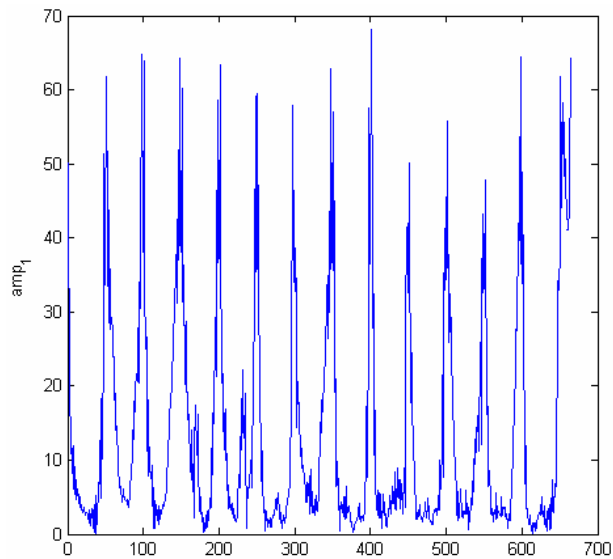


圖 13 7 號衛星訊號於每 50 時間點加入模擬週波脫落希爾伯特轉換振幅圖

在振幅關係圖中可明顯發現，振幅在 50、100、150、200、250、300、350、400、450、500、550、600 及 650 時間點附近有劇烈變化，經演算結果顯示，振幅

的極大值出現於 51、98、148、201、251、298、348、501、451、501、551、598 及 664 時間點上。

(二)研究結果分析

由上述所得之結果得到，大部份之局部極大值集中在 8 尾數 (例如 48、98、148...) 之時間點上，且由於訊號分解結果均是經過二次差值，以在一次差值訊號、400 時間點處加入模擬週波脫落為例，及代表原訊號在 401 時間點處有週波脫落，二次差值訊號在 399 時間點處有週波脫落發生。以以上觀點來看這次實驗結果，絕大部份結果可以在局部極大值時間點+1 的地方，判斷出訊號發生週波脫落的位置。

在上一章節的圖中也可看到，在沒有加入模擬週波脫落的時間點上，也有些許的振幅起伏，雖沒有影響週波脫落的偵測，但在分析圖表卻是不可忽略的問題。由原始訊號均為有值訊號推斷，其時間點應是衛星訊號的反曲點或衛星角度改變所得到的數值。

但由於某些時間點的訊號雜訊過大，在加上位於週波脫落時間點附近，容易造成振幅的跳動超越了實際週波脫落發生時間點的值，使得在篩選局部極大值時產生誤差。

(三)建議

此次實驗成果不難看出，對於週波脫落的偵測篩選，因為雜訊而造成的誤差使得偵測的正確率降低了許多。對於以 EMD 方法來解析訊號，並透過希爾伯特偵測週波脫落，振幅關係圖篩選出可能發生時間，每個細節都可以在更為精進改良，降低訊號雜訊，EMD 分解邊際效應的問題有更好的解決方式，IMF 的希爾伯特換能初步判定週波脫落的發生時段，數據篩選能更準確的找出發生的時間點。只有不斷的改進實驗方法，才能得到越趨近於理想的實驗結果。而此實驗只是解決週波脫落的一小段，找出週波脫落所發生的時間位置後，如何能得知週波脫落的大小、及如何改正週波脫落是更大的課題。

參考文獻

吳順德、陳思予、陳虹伯(2009)經驗模態分解法之研究趨勢探討。

陳正唐(2001)小波理論應用於週波脫落的偵測與修補及基線解算。

謝志敏(2007)希爾伯特黃轉換簡介。

Huang N. E.、Shen Z.、Long S. R.、Wu M. C.、Shih H. H.、Zheng Q.、Yen N. C.、Tung C. C. and Liu H. H. (1998)The empirical mode decomposition and the hilbert spectrum for nonlinear and nonstationary time Series analysis, *Poceedings of Royal Society of London, Series A* 454, pp. 903-995.