

應用船用雷達影像分析波浪資料

尹 彰¹ 翁文凱² 周宗仁³ 林騰威⁴ 陳泰宏⁵
邱永芳⁶ 何良勝⁷

摘要

本研究的目的是希望能建立起一套遙測系統，應用於船用雷達影像上分析波浪資料。內容共分為兩部分。首先是分析模式的建立。藉由模擬出的理論波面，以傅立葉轉換法求出該波面的主方向、有義波高及頻譜。與原始輸入資料相較之下相當吻合，可證明該分析模式是正確的。第二部分是實際雷達影像的處理。利用先前所建立的模式，分析雷達影像。比對由灰階影像轉換求得的“波高”與實測有義波高值後，取得迴歸曲線。希望日後可藉該迴歸公式，直接從雷達影像中估算出台北港海域的即時波高。

Analysis of directional wave fields using X-band navigation radar image sequences

J.Z.Yim W.K.Weng C.R.Chou T.W.Lin T.H.Chen Y.F.Chiu L.S.Ho

ABSTRACT

Methods for the analyses of X-band navigation radar image sequences have been studied and reported here in this paper. This paper is divided into two parts. In the first half we describe the briefly the methodology used Random surface fluctuations were first simulated on a 2D plane using model spectra such as JONSWAP. 2D wavenumber- and wavenumber-frequency spectra are then obtained through Fast Fourier Transform (FFT). From these, 1D frequency spectrum, as well as parameters such significant wave height, and direction of propagation can be obtained. It is demonstrated that the present method can yield satisfactory results as compared with input data. In the second part of the article, we analyzed some radar image sequences available. The results are then compared with on-site buoy measurements. As preliminary results, regression curves for wave heights are obtained. Although further studies are needed, favorable results of the comparison between measured wave heights and those deduced from radar images indicate that the present method is rather promising.

一、前言

隨著人口的成長所需的資源也日漸增多，陸地上的開發也已經達到負荷邊緣，唯有向廣闊地大海乞求的一途。面對這一望無際難以捉摸的大海，

雖然其中蘊含著許多豐富地資源，但想從中獲得些許的利益是何等的不容易；幸幸苦苦所構築成的海上結構物，不但得忍受狂風巨濤無情的打擊，也需面對時間的考驗。

要解決此等的問題，首要就是進行海洋觀測。由所得的觀測資料中可以瞭解海面上的一些物理特性，包括了波向、波高及週期等相關重要因子。以上述的種種因子可以推定，結構物設置的最佳方位及使用壽命等皆可由海洋觀測中取得，由此可知海洋觀測的重要性。

1. 國立台灣海洋大學河海工程學系教授
2. 國立台灣海洋大學河海工程學系副教授
3. 國立台灣海洋大學河海工程學系教授
4. 國立台灣海洋大學河海工程學系博士班研究生
5. 國立台灣海洋大學河海工程學系碩士班研究生
6. 交通部運輸研究所港灣技術研究中心主任
7. 交通部運輸研究所港灣技術研究中心科長

二、研究方法

海洋觀測大致可分為現場探測及遙感探測兩種。現場探測，包含浮標法及雙向流速儀法等，可以直接獲得現地的觀測資料，但由於需將儀器直接放置在待測點，架設上較為不便，而觀測範圍較狹窄且容易受到海洋運動的損害；遙感探測，大家最耳熟能詳的遙測大概是衛星遙測，但遙測亦包含以飛機甚或近岸以電磁波、雷達等儀器量測海洋變化，由此可知遙測是由間接的方式獲得現地的資料，不但測得的資料區域較廣，且儀器較不易受到破壞。

本研究是以雷達遙測作為研究主軸，觀測台北港海域波流變化。使用雷達來遙測波浪，可選擇設置於環境條件較為穩定之岸上以觀測近岸的波向，且就如上述雷達所蒐集之範圍較廣，有助於了解整個海面波浪變化，且較諸單點測波儀器更具優勢。

在許多年前雷達遙測應用的相關研究就已經開始進行，Young 等 (1985)文中提到有許多學者於 1964 年就已經開始著手研究也同時提出了許多論點，而文中所使用的三維傅立葉轉換，是首次被應用於波浪的量測，並提出了波浪頻率會造成誤差是受表層流所引起多普勒頻移的影響，Senet 等 (1997)、小林等 (1999)也對表層流的求法有所論述。

而對於波向的求得，Atanassov 等 (1985)、平口等 (1989)，將雷達影像以二維傅立葉轉換，並以連續影像之相位關係消除經轉換後所產生的虛像 (180° ambiguity)，進而判斷出波浪主要行進方向。

Nieto(2000)將如何應用船用雷達影像來分析波浪資料做了詳細的介紹，並與現地的浮球計 (waverider buoy)資料做比對，其結果相當吻合。

現在世界上比較常見的雷達遙測系統大多是以德國的 GKSS 研究中心所研發的 WaMoS 系統，Reichert 等 (1997)文中敘述到該系統大約於 1995 年建立，氣候條件風速至少要達到 3 m/s 以上，即可偵測到範圍介於 40 m~600 m 間的波長及 5 s~40 s 間的週期。

雖然 GKSS 系統已經建立，但我們希望能自行建立一套雷達遙測系統，故這也是本文的目的。

2.1 使用設備

2.1.1 船用雷達

本研究是使用 Furuno 公司之型號 FR-8251 的船用雷達。FR-8251 雷達所發射之雷達波在垂直及水平方向上的射束寬度分別為 25.0°及 1.2°，天線的轉速為 24 rpm，為 X-band 雷達。發射與接收之電磁波皆為水平偏振。發射頻率為 9.41 GHz(波長約為 3.2 cm)，最大發射功率為 25 KW。

FR-8251 雷達具有多重測距範圍選擇，測距越遠則所需發射功率越強，而發射波之脈衝寬度也越大，空間解析度相對地變差。為了觀測波浪，在考量解析度要好以及量測範圍不可以太小的情況下，我們設定量測範圍在 1.5 海涅 (約 5.7 公里)，發射脈衝寬度為 0.08 μsec，脈衝頻率為 2100 Hz。

ROCOS 測波系統每小時整點時自動開始波浪量測工作，紀錄 80 秒 (共 32 張圖片)。

本研究主要是以設置在淡水第二漁港，與台北港相隔著淡水河的台北港雷達測站資料做分析，此地點可以毫無障礙地觀測到整個淡水河口，以及台北港外廓防波堤以西北和觀測樁一帶的海域，雷達天線主方向為 290°方位角。

2.1.2 觀測樁

觀測樁設置在台北港外廓防波堤外，北緯 25°10'44"、東經 121°22'41"、水深 16 公尺處，搭載 Inter Ocean 公司之 S-4 ADW 潮流儀，可記錄波浪、海流，另外由風速計紀錄風資料。

2.2 分析模式的建立

分析模式，主要是使用了傅立葉轉換法，波面經二維傅立葉轉換可藉由轉換後的分佈特性判斷出波浪的行進方向，再對時間軸進行第三維的傅立葉轉換可得到能量於頻率上的分佈。其轉換式如下：

$$I(\vec{k}, \omega) = \frac{1}{XYT} \left| \int_x \int_y \int_t g(\vec{r}, t) \cdot e^{i(\vec{k}\vec{r} - \omega t)} dx dy dt \right|^2 \quad (1)$$

其中

$I(\vec{k}, \omega)$ ：為轉換後的矩陣值

XY：波場所設定的範圍大小

T：為量測的時間間隔

$g(\vec{r}, t)$ ：為模擬水面的波動變化，在代入實際雷達影像時是表示灰階值大小

2.2.1 模擬波面及模式驗證

為測試該模式的正確性，所以需模擬出理論的波面，而本文模擬了單方向不規則波(圖 1)及多方向不規則波(圖 2)，而單方向不規則波所採用的是以 Goda (2000)書中所記載的 JONSWAP 頻譜為目標頻譜；多方向不規則波是用了上述的 JONSWAP 頻譜，加上了 Mitsuyasu 等人的方向散佈函數型式所組成的。

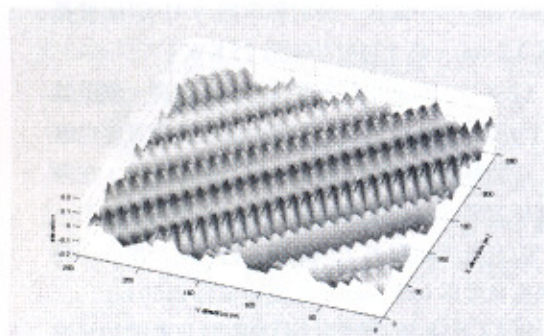


圖 1 單方向不規則波模擬
(模擬條件：JONSWAP 頻譜)

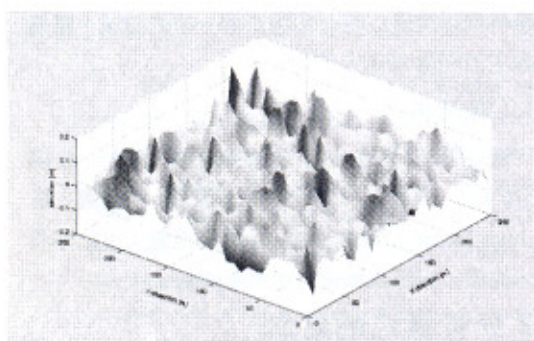


圖 2 多方向不規則波模擬
(模擬條件：JONSWAP 頻譜
且依 Mitsuyasu 等人的散佈函數)

藉由該理論波面以所建立的模式分析，若得到的結果與所代入的理論譜相符，代表該模式正確無誤，驗證的結果如圖 3 及圖 4 所示，圖中紅色線代表輸入的理論頻譜，藍色線代表的是由波面取單點時間序列直接進行傅立葉轉換後所得的頻譜圖，而黑色三角形所代表的是將進行三維 FFT 轉換後將 32 張圖上譜密度各自加總後所繪製成的頻譜圖，圖四中僅用了三維 FFT 轉換後將 32 張圖上譜密度

各自加總後所繪製成的頻譜圖分析，而所轉換回的頻譜圖與輸入譜相同，至於沒有取單點時間序列直接進行傅立葉轉換，是因為取單點時若取樣時間不夠長，所得的數據將會忽高忽低，得再進行平滑的處理，才得以獲得原始頻譜，目前並未將此項列入討論的範圍，所以並未列出。

而圖 5 及圖 6 分別代表了以該模式轉換出的有義波高及主波向與輸入值的比對圖。圖 5 輸入 4 組波向，而每組波向各輸入 7 組波高。圖 6 輸入九組波向，僅用一組波高輸入。兩圖中紅色線所代表的是假定為無誤差的基準線，若與輸出值愈接近代表轉換結果愈精確，其結果顯示經轉換後的偏差相當小故足以證明該模式的準確性。

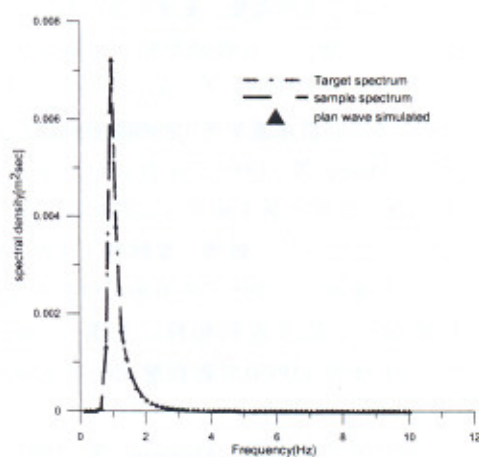


圖 3 單方向不規則波三種頻譜比對圖

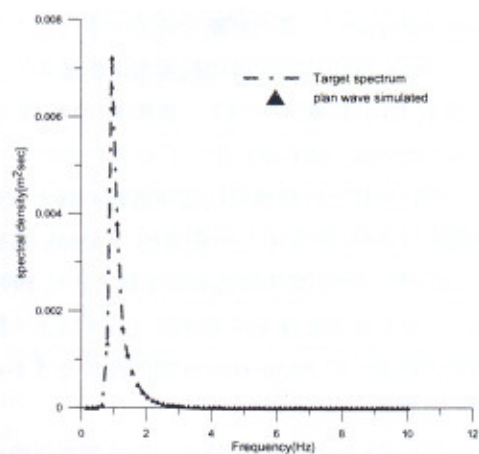


圖 4 多方向不規則波二種頻譜比對圖

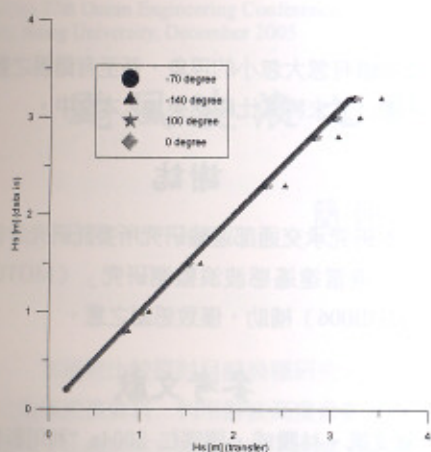


圖 5 由各角度轉換回的波高比較圖

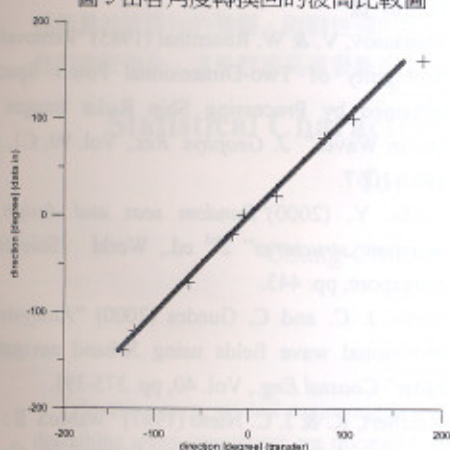


圖 6 由各角度轉換回的角度比較圖

三、分析實際雷達影像

3.1 實際雷達影像分析結果

代入實際雷達影像前需進行灰階化，而此次的灰階化是以翁(2004)的方式進行灰階值的轉換。分析所截取的區域如圖 7 及圖 8 所示，而由圖 9 中可看出消除虛像後波浪的主要方向，但由該區域灰階值來直接進行有義波高的計算是無意義的，所以本文以統計的方式，將雷達灰階影像所轉換成的有義波高值，與觀測樁有義波高值進行迴歸分析，圖 10、11 是 11 月及 12 月的雷達資料所繪製出的迴歸線圖，而圖 12 是綜合這兩個月的總迴歸圖，所求得的迴歸曲線公式如表 1：從迴歸公式中可看出其迴歸公式十分接近，所以由此可知，以一個月的雷達資料所獲得的迴歸曲線，已經足以代表總合的迴歸線。

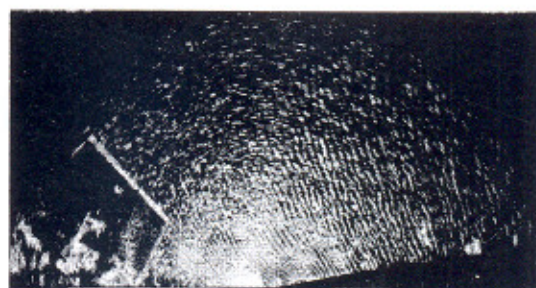


圖 7 雷達影像截取區塊位置

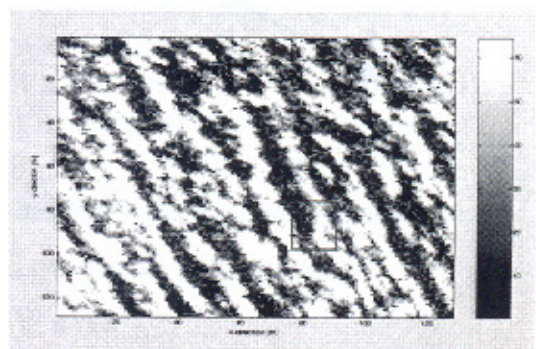


圖 8 所截取的波面放大圖

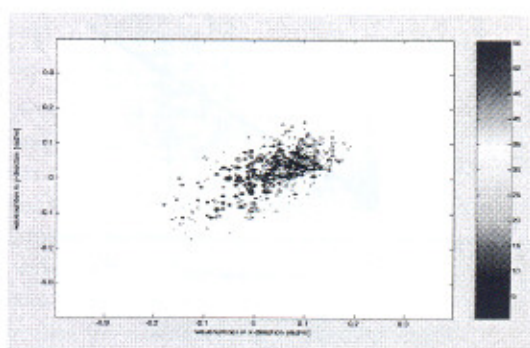


圖 9 消除虛像後的波數圖

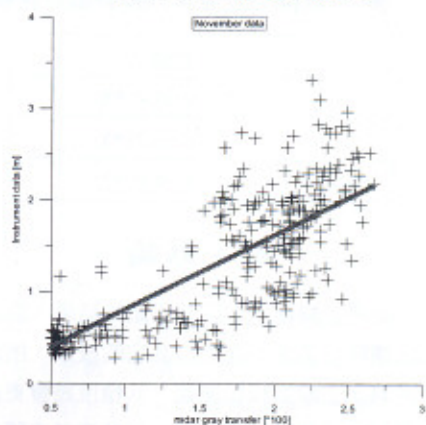


圖 10 11 月灰階對觀測樁有義波高之迴歸線圖

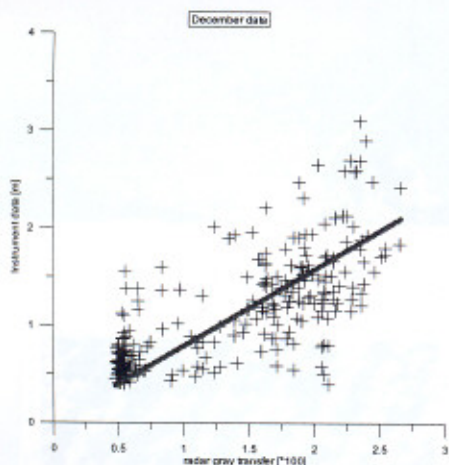


圖 11 12 月灰階對觀測樁有義波高之迴歸線圖

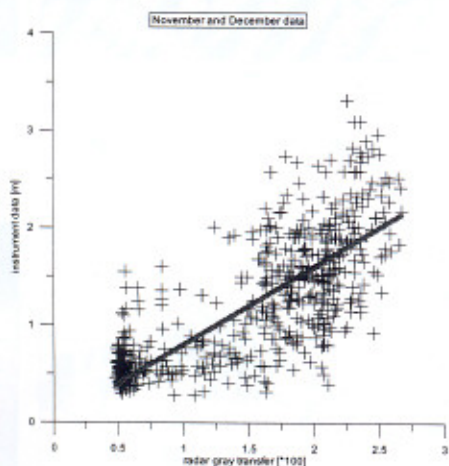


圖 12 總迴歸線圖

表一 迴歸公式及平均絕對偏差統整表

	迴歸公式
11 月	$Y=0.81 \cdot X$
12 月	$Y=0.78 \cdot X$
加總	$Y=0.80 \cdot X$

四、結論

目前將迴歸線求出已有不錯的結果，而且尚未將雜訊濾除及雷達波面進行其它的校正，所以之後若能將雜訊去除並校正波面，其精度將會更高所得的結果也會更趨近於實測值，但此次並未將主波向與觀測樁比對之結果加入本文中。其主因是觀測樁

之波向值有忽大忽小的現象，甚至有錯誤之數據產生，所以並未將其比較結果加入本文中。

謝誌

本研究承交通部運輸研究所委託研究計畫「94 年台北港雷達遙感波浪監測研究」(MOTC-IOT-94-H2DB006)補助，僅致感謝之意。

參考文獻

1. 翁文凱、林騰威、周宗仁 2004a “利用影像決定近海波向” 第二十六屆海洋工程研討會，191 頁-197 頁。
2. Atanassov, V. & W. Rosenthal (1985) “Removal of Ambiguity of Two-Dimensional Power Spectra Obtained by Processing Ship Radar Images of Ocean Waves” *J. Geophys. Res.*, Vol. 90, C1, pp. 1061-1067.
3. Goda, Y. (2000) “*Random seas and design of maritime structures*” 2nd ed., World Scientific, Singapore, pp. 443.
4. Nieto, J. C. and C. Guedes (2000) “Analysis of directional wave fields using X-band navigation radar” *Coastal Eng.*, Vol. 40, pp. 375-391.
5. Reichert, K. & J. C. Nieto (1997) “WaMoS II: An operational Wave Monitoring System” In: *Ocean Wave Measurement and Analysis*, B. L. Edge and J. M. Hemsley (eds.), Vol. 1, pp. 370-381.
6. Senet, C. M., J. Seemann and F. Ziemer (1997) “An Iterative Technique to Determine the Near Surface Current Velocity from Time Series of Sea Surface Images”, *Oceans Proceedings*.
7. Young, I. R., W. Rosenthal (1985) and F. Ziemer, “Three-Dimensional Analysis of Marine Radar Images for the Determination of Ocean Wave Directionality and Surface Currents” *J. Geophys. Res.*, Vol. 90, C1, pp. 1049-1059.
8. 平口博丸・池野正明 (1989): 船舶用 X バドレーダによる波向き観測, *海岸工学論文集*, 第 36 卷, pp. 163-167.
9. 小林智尙・河合篤司・小塚将之・安田孝志・後藤真太郎 (1999): X バドレーダによる波浪場・広域海浜流場 観測, *海岸工学論文集*, 第 46 卷, pp. 1331-1335.