

適應性匹配濾波器運用於水下音傳訊號之偵測 Adaptive matched-filter application on the detection of underwater acoustic signals

湛翔智¹、陳琪芳²

摘要

聲波在水下進行傳遞時受到波導環境及多重路徑之多重影響下，接收到的聲音訊號將出現聲能衰減及訊號干涉的情況，為了能夠提高訊雜比以增加判斷的準確性，在本研究中乃運用適應性匹配濾波器，以期能準確偵測訊號到達時間及聲壓位準。由分析結果得知，運用越多頻道的濾波器將可提高訊雜比並獲得準確的音傳損耗值，但對於系統運算時間而言，將需花費更長時間，因此兩者的衡量取決於使用者及硬體資源。

關鍵字：匹配濾波器、水下音傳、偵測

Abstract

While the sound propagates from the source to receiver, the effects of wave guide and multipath are the main factors to make the sound pressure level decreasing and signals interference. This study uses the adaptive matched filter applied on detection the signal arrival time and correct sound pressure level to arise the signal to noise ratio and estimation criterions. The results indicate that the signal to noise ratio can be increased and obtain accurate transmission loss when numbers filters are used but that spend much time. Thus the filter number decision should be dependent on users and hardware.

Keywords: matched filter, underwater acoustic propagation, detection

¹國立臺灣大學工程科學及海洋工程學系博士後研究員

²國立臺灣大學工程科學及海洋工程學系教授

一、前言

聲納已被廣泛地運用到水下探測技術，其中的主動式聲納則常被用來探測水下目標物、海床深度量測、海水流向流速、海床地貌蒐集、海底底質特性等，發出的訊號可以是「連續波(continuous wave tones)」或「線性變頻波(linear frequency modulation sweeps)」，為了增加聲音能量與辨識程度，聲波的中心頻率、頻寬及長度常依照系統需求而決定，例如在 ASIAEX 實驗中，曾使用 50-600 Hz 的線性變頻波做為海洋音測學(tomography)的探測工具[1]，此類聲波因中心頻段隨拍發時間而漸增，在接收端可以提高訊號的辨識程度或增加訊雜比(signal to noise ratio)。而聲波在海洋中傳播受到海洋環境(海水和邊界)的吸收、多重路徑的干涉及背景噪音的干擾之作用下，聲納能夠運用的實際距離變得有限，特別是運用在偵測水下目標物的時候，聲音的反射時間和接收強度變得相當重要，這將是決定目標物是否存在的判斷依據。本文將探討主動式聲納的訊號在接收器上之偵測方法，運用適應性匹配濾波器(adaptive matched-filter)作為訊號的到達時間偵測及聲壓位準計算之工具。

二、方法

在本研究中的匹配濾波器是運用時頻譜的三維矩陣進行匹配的相關性計算，而 MATLAB 函數中所提供的 SPECTROGRAM 乃是利用短時傅利葉轉換(short-time Fourier transform, STFT)來進行訊號的時域至頻域之轉換，優點是可以直接求出「頻率—時間—能量」之數據，因此可以很快地處理大量資料，有助於減少運算時間。圖 1 為實際的數據分析之操作流程，首先將訊號的電壓值序列 $x = x[n]$ 以 STFT 進行轉換，取得時頻譜圖上的聲壓數據 $S(t, f)$ ，再取出欲進行匹配的特定頻段數值 $D(t, f_d)$ ，來與原始訊號的複製矩陣 $R(t, f_d)$ 進行相關性計算。

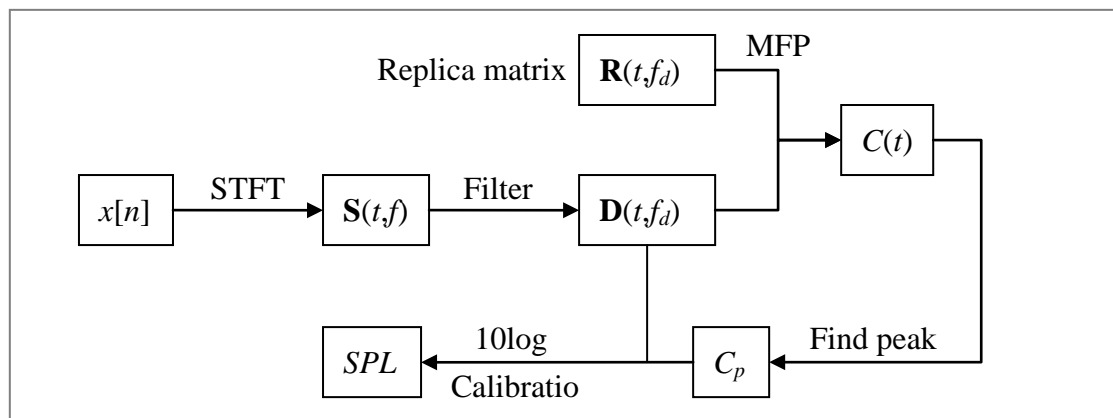


圖 1 匹配濾波器計算聲壓位準值之流程

在進行匹配的相關性計算時，需設定原始訊號矩陣的頻段和時段之計算參數，而在本文中乃將此二參數設定為同一定數，在訊號的總頻寬與總時長固定的情況下，因此當頻段個數增加時，時段的個數也將增加。其次是每次作計算的重疊長度，此與訊號的變化特徵有關，最佳的設定應與矩陣時段值相同或者是更小，才能較準確地求出正確值。

圖 2 為一實際算例的數據，以特定聲納訊號在頻率及時間上的變動為依據，即在 0.6

秒內中心頻段由 7.25k Hz 調變到 7.75k Hz，假設訊號在此頻段與時段間的訊雜比為 70dB 比 50 dB，則自行建構出一矩陣 $\mathbf{R}(t, f_d)$ 如圖二(a)。因此，在 $\mathbf{S}(t, f)$ 的訊號處理中也是以此為目標，每次以 6x6 的資料矩陣 $\mathbf{D}(t, f_d)$ 與 $\mathbf{R}(t, f_d)$ 作相關性計算，三維矩陣的相關係數計算式如下：

$$C = \frac{\sum \mathbf{R} \cdot \mathbf{D}}{\sqrt{\sum \mathbf{R} \cdot \mathbf{R} \times \sum \mathbf{D} \cdot \mathbf{D}}} \quad (1)$$

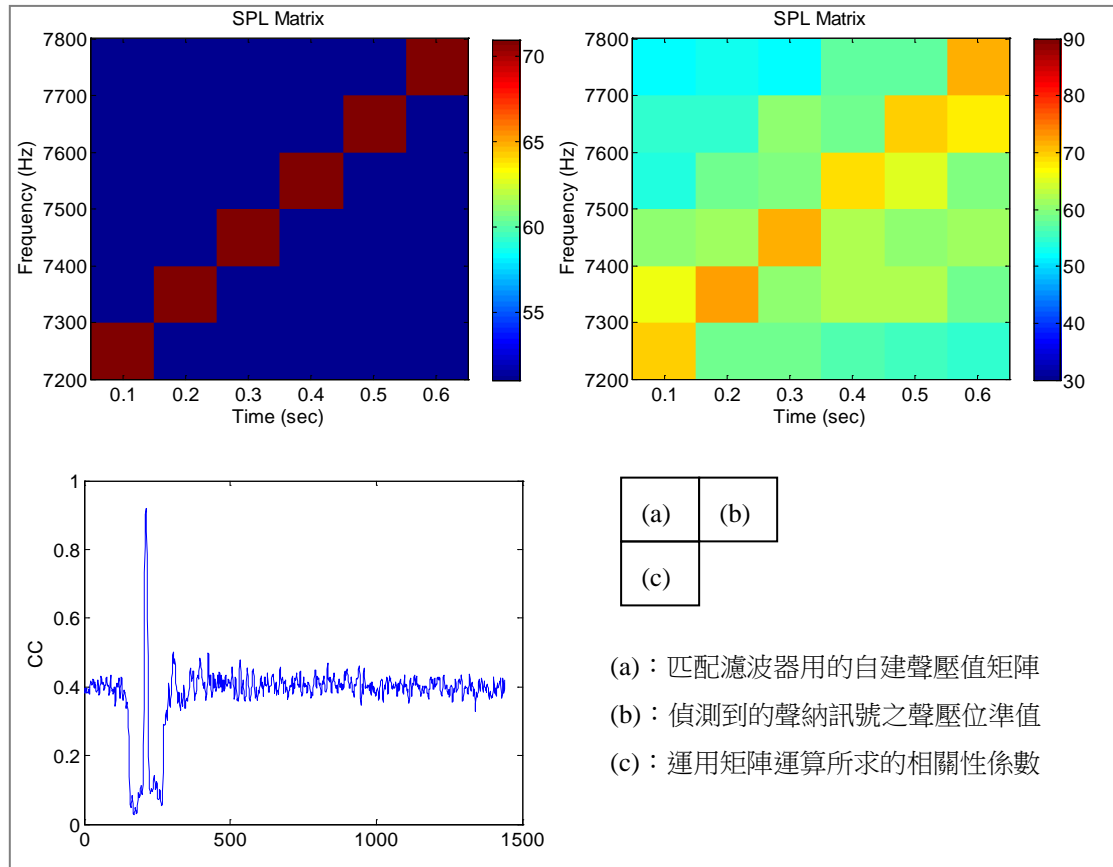


圖 2 計算實例說明

匹配聲場法的相關性計算找出的聲納訊號之聲壓位準值如圖 1(b)。而依據視窗長度的切割加上資料重疊的關係，整個 15 秒鐘共有 1441 筆的相關係數計算結果，如圖 1(c)。

三、分析與討論

匹配濾波器的頻段運用可取決於聲納訊號的變化特徵，例如頻率隨時間變化的趨勢，而決定以多達的矩陣作為匹配的計算則需要取得原始。在前一節中提到以 6x6 矩陣作為匹配濾波器的相關係數計算之依據，若是改變矩陣大小將可能影響運算時間。圖 3 以不同矩陣大小進行運算的時間，以讀取一筆 2 分鐘長的聲學資料作為計算樣本，其取樣頻率為 30k Hz，計算的視窗長度為 0.6 秒，相關性計算的資料重疊長度為 0.99 秒。圖

中的計算時間乃是經由 MATLAB 中的 CPU TIME 函數計算出，很明顯的趨勢是計算花費時間將隨著矩陣的增加而遞增。

此計算方法所能運用的範圍相當大，例如在海洋環境中的音傳實驗，因海洋環境噪音隨時間與空間會有所變動，無法以同一定值作為訊雜比的判定之門檻值，而運用匹配濾波器則可降低噪音位準的變動影響，因此可提高訊號偵測時的判斷依據，在圖 4 中，分別顯示音傳損耗值的理論值(幾何擴散損失，虛線)、模式計算值(ASORPS，實線)及使用匹配濾波器估算出的實驗值(點線)，其中的 ASORPS 的使用方式可參考文獻[2]；實驗的音傳損耗值是將接收固定在一位置，而聲源由 36 公里遠向接收位置靠近至 3 公里左右，約每 26 秒鐘發射一次訊號。

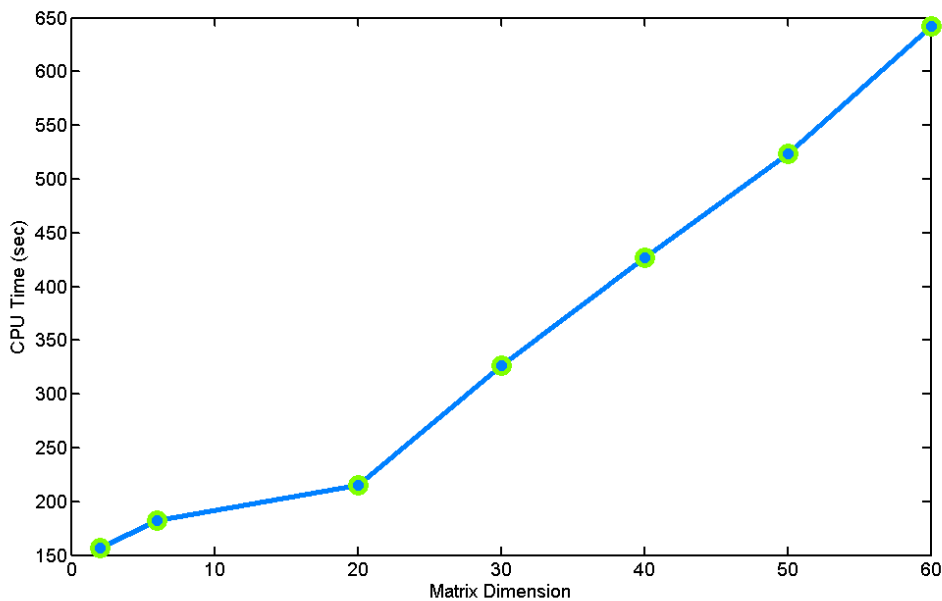


圖 3 以不同矩陣大小計算匹配濾波器的時間

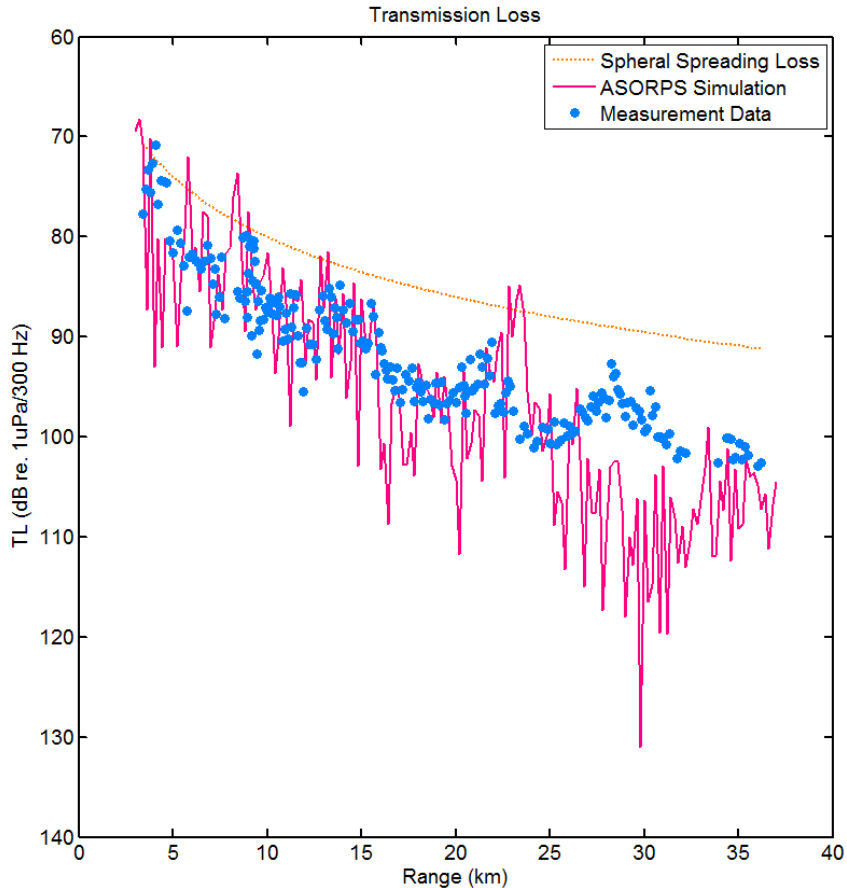


圖 4 匹配濾波器在聲學實驗數據計算和模式結果之比較

四、結論與建議

多數的主動式聲納為提高訊雜比，會將訊號進行頻率的調變或以脈衝波的形式發射，在接受端的處理上則可運用匹配濾波器進行訊號分析，在本文中則運用時頻譜圖的矩陣相關性計算作為匹配方法，雖然使用的矩陣數增加時會提高運算時間，而實際運用到音傳實驗的數據計算時，與模式的比較下則可獲得不錯的結果。另外，此計算方法可加以運用到生物語音辨識上，只要將生物聲紋建構成上述匹配矩陣，即可快速地進行比對與分析。

五、參考文獻

1. A. Newhall et al., *Preliminary Acoustic and Oceanographic Observations from the ASIAEX 2001 South China Sea Experiment*, Woods Hole Oceanographic Institution, Technical Report No. WHOI-2001-12, 2001.
2. 陳琪芳、康仕仲、黃維信、邱永盛、張元櫻、許睿叡、陳依伶、謝力文、盧明德，“先進聲納偵測距離預測系統(ASORPS)與地理資訊系統(GIS)整合運用研究報告”，國防部委託研究計畫案成果報告，國立臺灣大學及嚴慶齡工業發展基金會合設工業研究中心，2008。