



行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

適應陣列式水下聲傳數據機之研製(I) — (子計畫三) 水下數據機之合併最佳等化/同步器(I)

Jointly Optimal Equalizer/Synchronizer for Underwater Acoustic Telemetry Modems (I)

計畫編號: NSC-88-2611-E-019-015

執行期限: 87年8月1日至88年7月31日

主持人: 曾敬翔 國立臺灣海洋大學電機系

摘要

在本計劃中，我們設計一個決策回授等化器來克服水下通訊通道之符元間干擾(ISI)。我們以數位訊號處理器來製作此等化器，並用實驗資料來驗證其性能。

關鍵詞：等化器、多重路徑、符元間干擾、通道、接收器

Abstract

In this project, we design a decision-feedback equalizer to combat the intersymbol interference (ISI) in underwater communication channels. We implement the equalizer with a digital signal processor. The performance of the equalizer is verified by using experimental data.

Keywords: Equalizer, Multipath, ISI, Channel, Receiver

一、計畫緣由與目的

本計畫的主要目的是要研製一個適用於傳輸語音信號的水下聲傳語音傳輸系統，以達成即時、可靠、及高速率之水下通訊。由於水下聲傳系統的終極目標是要安裝在水下載具上，因此所需的數據機必須要能脫離個人電腦的管轄而能獨立運作才行。為了達成此一目標，本計畫自行設計以DSP晶片為基礎的水下數據機硬體，以期此一獨立運作之數據機能直接被安裝在水下載具上做為水下通訊之用。由於水下通道的多重路徑衰減現象[1]，造成水下通道嚴重的符元間干擾(intersymbol interference, ISI)。等化器可消除符元間干擾，使位元準位較易辨識，而有效改善水下通訊品質[2]。因此，本計畫的研發重點將著重於等化器之設計。

二、結果與討論

本論文建構之水下聲傳語音傳輸系統的主要特色是結合適應性等化器以消除多重路徑

衰失效應[3]，以及使用 QPSK 調變技術來提高信號傳輸之頻寬效率等[4]。我們所設計的語音傳輸系統是採用德州儀器公司 (Texas Instrument, TI) 所生產的 32 位元高速平行浮點運算之 TMS320C3X DSP 晶片為核心處理器，並搭配自行設計之調變器 (modulator)、解調器 (demodulator)、類比至數位轉換模組 (analog-to-digital converter, ADC) 及數位至類比轉換模組 (digital-to-analog converter, DAC) 等機構，以及高感度水下感音器 (hydrophone) 來發射和接收訊號。所有適應性演算法及主要的資料處理都在 DSP 晶片中執行。配合現有之大型實驗水槽，我們驗證了所設計之水下聲傳語音傳輸系統之正確性與實用性，亦即達成了即時之水下聲傳語音通訊。

近年來隨著積體電路技術的持續發展，各種新型的大規模與超大型積體電路不斷湧現，而該項技術也被應用在數位訊號處理器 (Digital Signal Processor, DSP) 晶片上，同時結合計算機技術在一起，使得數位訊號處理系統的功能越來越強。由於數位訊號處理器具有強大的功能，因此在我們的系統中使用了數位訊號處理器為主體，加快了運算處理的能力，使運算時間可大幅縮短，並搭配自行設計之調變/解調模組、類比/數位轉換模組和數位/類比轉換模組，以實現複雜又耗時的即時水下語音傳輸系統。

在水下聲傳語音傳輸系統的硬體實現方面，為了達到即時處理的能力，我們使用了兩組德州儀器公司所生產的 TMS320C31 DSP Starter Kit (DSK)，其中一組用來實現傳輸端之基頻信號產生器，另一組則用來實現

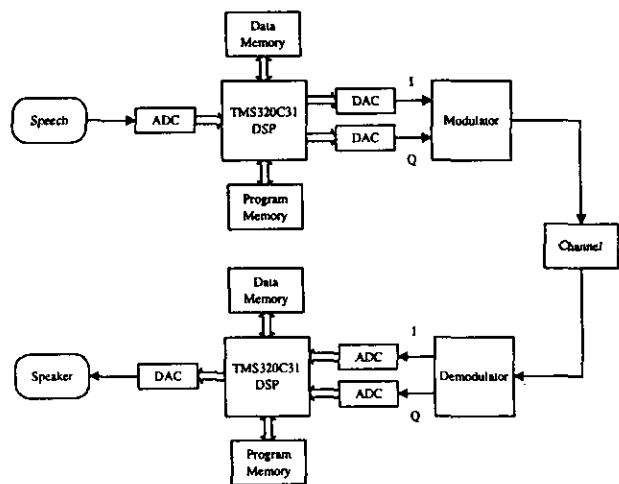


圖 1: 水下聲傳語音傳輸系統之系統方塊圖

接收端之等化器與決策元件，系統方塊圖如圖 1 所示，其他部份還包括了類比至數位轉換模組 (ADC)、數位至類比轉換模組 (DAC)、調變器、解調器、資料記憶體 (data memory) 及程式記憶體 (program memory) 等機構。

系統中我們使用語音信號作為資訊源，一般來說，語音信號的頻寬範圍大約在 4kHz 左右，所以 ADC 的取樣頻率必須大於 8kHz 以上，才能確保語音信號能正確還原。在水下聲傳語音傳輸系統中，我們將輸入的語音信號取樣率定為 8kHz，每個取樣點的解析度設為 8 個位元，語音信號經過自製的 A/D 模組做類比至數位轉換後送入 C31 DSP 晶片。此 DSP 晶片之功用為根據已數位化之語音資料來產生 QPSK 之 I (in phase) 通道及 Q (quadrature) 通道的基頻離散脈波。經由兩組 DAC 把基頻離散脈波轉換成類比信號後，就得到了調變器的 I 及 Q 通道基頻信號，這裡所要傳送 I 和 Q 通道基頻信號的位元率定為 32kbps。我們所使用的調變方法為 QPSK，而調變器及解

調器之實現是使用類比電路來完成，其中載波的頻率為 50kHz。解調器從接收到的信號中解調得 I 及 Q 通道基頻信號，接著把這兩組信號經由 ADC 轉換成數位信號後送入 C31 晶片作處理。此 C31 晶片是用來實現我們的等化器演算法，它將經過等化決策後之數位信號送到 D/A 模組做數位至類比轉換以得到語音信號。

水下聲傳語音傳輸系統之實驗配置如圖 2，其中通道部份是使用一個長 3 公尺、寬 1.5 公尺、及高 1 公尺的實驗水槽來實現。在水槽的傳輸端，我們將輸入的語音信號經由 ADC 模組、DSK、DAC 模組及調變模組產生調變後的基頻離散脈波，之後使用 B&K 2713 功率放大器 (power amplifier) 串接 B&K 8105 水中感音器 (hydrophone) 來發射信號；而在接收端方面，則是使用 B&K 8104 水中感音器來串接 B&K 2635 電荷放大器 (charge amplifier) 來接收信號，經過解調器模組、ADC 模組、DSK、DAC 模組將語音信號還原，然後經由喇叭輸出。圖 3 為實驗水槽之實體圖。

硬體實作的結果如圖 4~圖 7 所示，圖 4 和圖 5 為 QPSK 系統之調變器與解調器，圖 6 和圖 7 為 ADC 模組與 DAC 模組之實體。

我們使用語音訊號當成傳輸端的資訊源，由於 QPSK 訊號對於通道的效應較差，所以在實驗中我們是以 BPSK 調變方式來驗證語音傳輸的可行性。首先將 ADC 的取樣頻率設為 8kHz，經轉換後的資料取 4 個位元的解析度，則傳送的位元率為 32kbps。

在語音信號尚未傳送之前，為了確保等化器在訓練模式下能達到較佳的收斂，我們使用 20 萬筆虛擬隨機序列來作為訓練的訊號

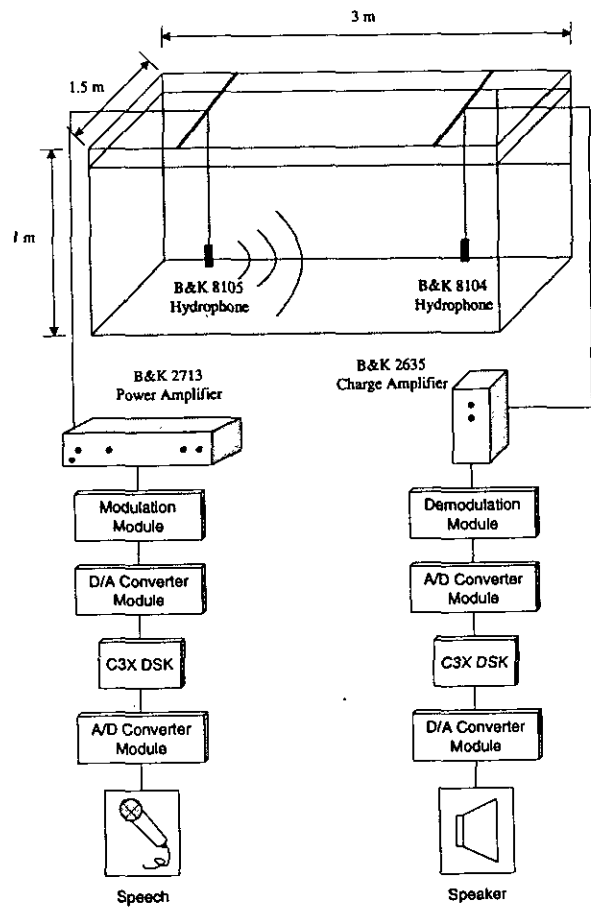


圖 2: 水槽實驗配置圖

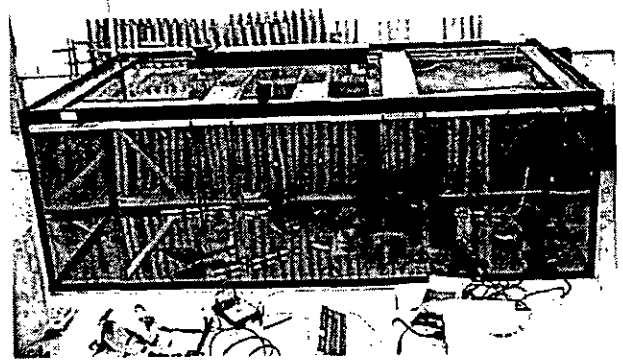


圖 3: 實驗水槽之實體攝像圖

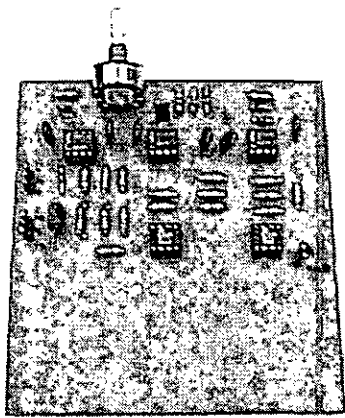


圖 4: QPSK 調變器電路實體

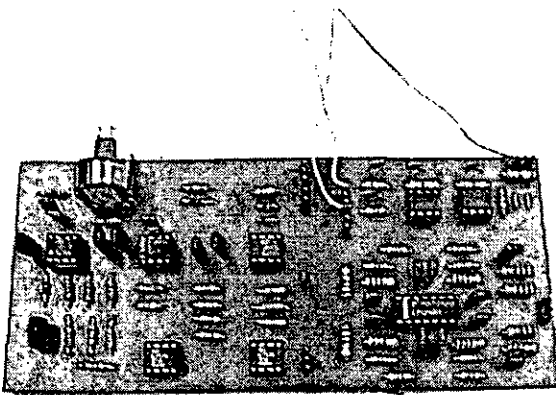


圖 5: QPSK 解調器電路實體

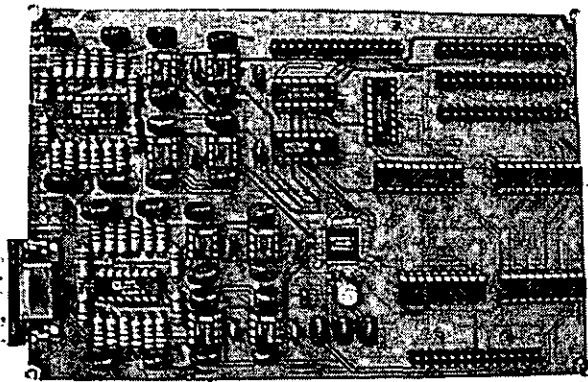


圖 6: ADC 模組電路實體

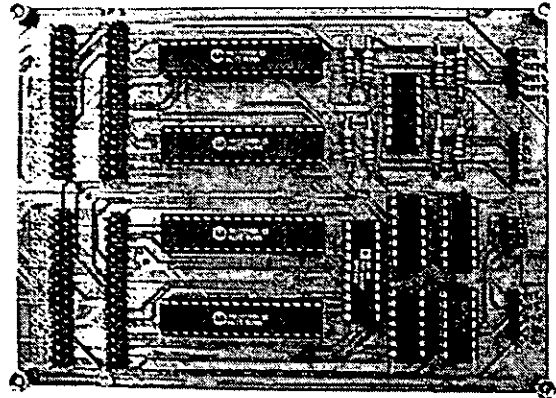


圖 7: DAC 模組電路實體

，也就是說，相當於在傳送語音訊號之前有 $200000/32000 = 6.25$ 秒的訓練時間，事實上，用來訓練的隨機序列數目可以更少。我們將語音傳輸的實驗條件如下：

- 傳輸端訊號源：語音訊號。
- 語音取樣頻率：8kHz。
- 語音品質：4bits
- 傳輸速率：32kbps。
- 載波頻率：50kHz。
- 傳輸距離：20公分及40公分。
- 等化器濾波器長度：50。
- 權重向量初始值： $[0\ 0\ \dots\ 0\ 0]$ 。
- 步階常數： 2.5×10^{-11} 。

圖 8 是傳輸距離為 20 公分時，傳輸端原始的語音訊號 (CH1) 及接收端等化器輸出還原的語音訊號 (CH2)。由圖 8 中，我們可以看出還原後的語音訊號幾乎和原始語音訊號相差不遠，也就是適應性等化器成功的追

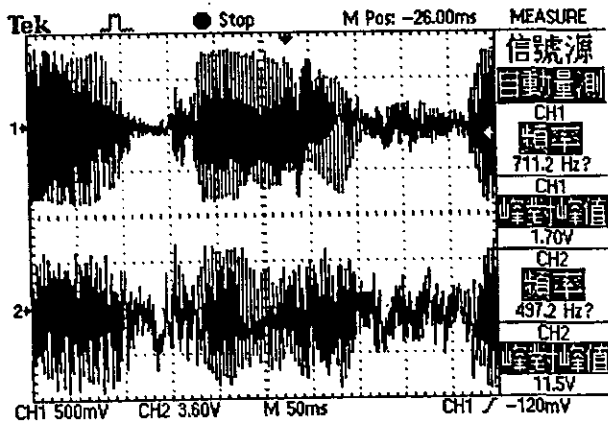


圖 8: 20 公分傳輸距離之語音波形圖

蹤到水下通道的特性，消除了大部分的 ISI 及雜訊因而可以將語音還原。

三、計畫成果自評

本論文以適應性等化器為架構，搭配德州儀器 (TI) 的數位訊號處理器晶片 TMS320C31，以及自行設計的調變/解調模組、類比至數位轉換模組和數位至類比轉換模組，構成了水下聲傳語音傳輸系統。由實驗中，我們驗證了整個系統功能的正確性，解決實驗水槽短距離內多重路徑效應所造成的干擾，使得我們能夠於實驗水槽中做即時的語音傳輸。

在水下聲傳語音傳輸系統設計上，為了驗證等化器是否正常運作，所以我們並沒有考慮同步的問題。事實上，在數位通訊系統中，同步技術的處理也是相當重要的問題，所需的同步層次包括了載波同步、時序同步、相位同步及符元同步等，在未來的發展中，希望能以適應性的演算法來解決時序和相位同步的問題。

此外，在語音傳輸的部份，目前已做到將

語音訊號以 8kHz 取樣和 4 個位元的量化編碼來做為傳輸，基本上，在此條件下的語音品質並不算是很好。未來希望能將欲傳送的語音訊號，以更高 16 位元的解析度來傳送，以增加語音的品質，如此一來勢必造成高頻寬的需求，不僅對於原本頻寬相當有限的水下通道是不可行的，而且在硬體上亦需要使用較大量的儲存裝置。這一方面，則有待使用語音壓縮技術來解決。

參考文獻

- [1] J. A. Catipovic, "Performance limitations in underwater acoustic telemetry," *IEEE J. Oceanic Eng.*, vol. 15, no. 3, pp. 205-216, 1990.
- [2] Ching-Hsiang Tseng, Fu-Sheng Lu, Fu-Kuei Chen, and Shuenn-Tay Wu, "Compensation of multipath fading in underwater spread-spectrum communication systems," *Proc. IEEE Int. Symp. Underwater Technology*, Tokyo, Japan, April 15-17, 1998, pp. 453-458.
- [3] J. G. Proakis, "Adaptive equalization techniques for acoustic telemetry channels," *IEEE J. Oceanic Eng.*, vol. 16, no. 1, pp. 21-31, 1991.
- [4] Abolfazl Falahati, Bryan Woodward, and Stephen C. Bateman "Underwater Acoustic Channel Model For 4800 b/s QPSK Signals," *IEEE J. Oceanic Eng.*, vol. 16, no. 1, pp. 12-20, Jan. 1991.