



# 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)－總計畫

### Development of Adaptive Array Based Underwater Acoustic Telemetry Modem (I)

計畫編號: NSC 88-2611-E-019-011

執行期限: 87年8月1日至88年7月31日

主持人: 呂福生 國立台灣海洋大學電機工程學系

#### 一、中文摘要

本計畫由四個子計畫組成，分別探討改進水下聲傳數據機所需之束波器、聲源方位估測器、等化/同步器、 $\pi/4$  DQPSK 調變/解調器及展頻技術等。適應性束波器可隨傳輸環境調整束波功能而消除干擾以提昇訊號強度，方位估測器可辨識訊號方向以加強束波功能，等化/同步器可消除符元干擾而增快傳增速率，展頻方法可減小雜訊比需求以增加通訊距離並具保密特性。

**關鍵詞:** 束波器、等化器、展頻系統、方位估測

#### Abstract

The research consists of following topics: adaptive beamforming, direction-of-arrival (DOA) estimation, equalization and synchronization,  $\pi/4$  DQPSK modulation/demodulation techniques, and spread-spectrum system. DOA estimation and adaptive beamformer can depress interference and enhance the signal strength. The adaptive equalizer/synchronizer is necessary for avoidance of intersymbol interference. The spread-spectrum method is very preferable to long-distance data transmission with low signal power.

**Keywords:** spread-spectrum system, beamformer, equalizer, DOA estimation

#### 二、緣由與目的

有關水下無線通訊的研究及技術發展快速，除了傳統軍事用途外，更擴展至商業用途，包括水下環境污染監測、水下無人載具的遙控、供科學用途的水下資料蒐集等。這些系統包括應用正交振幅調變，四相位移鍵，變差相移鍵及頻移鍵等方法 (Stojanvic, 1996)。水下訊號傳輸環境是一個頻寬非常有限、訊號容易衰減、易受到雜訊及多重路徑干擾的通道。為克服水下複雜通訊環境的影響，許多學者應用等化器 (equalizer) 與直序展頻系統 (DS/SS) 來提高通訊品質 (Goalic 等, 1994; Fischer 等, 1992; Stojanvic, 1996)。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。

以陣列感測元件為主的波束構成器用來消除或抑制雜訊和干擾源的理論已在文獻上多有記載。然而其結果大多以電腦模擬的方式評估其在理想通訊通道下的性能，由於聲波在真實的水下環境傳播時需考慮反射、折射或散射所造成的訊號衰失，因此必須模擬評估其在衰失模式通道下的性能，並進一步從實驗來驗證其於真實環境下的可行性。

方位估測主要是設計和研製一多通道數位訊號處理系統，8通道 A/D 轉換器的設

計，以符合感測器陣列訊號處理的要求。其動作原理主要是將均勻線性感測器所接收的訊號，傳送至 DOA 系統的 A/D 轉換器轉成數位訊號，再送至數位訊號處理器進行即時訊號處理和運算，所得到結果可應用於訊號源方位估測、追蹤、束波器等通訊領域。在演算法方面是採用一般化膨脹演算法估測雜訊子空間，並配合 MUSIC 之方法而求得其方位角，此法不僅大量降低其程式計算量，且具有高收斂性和準確度，非常適合於硬體之實現。

### 三、結果與討論

我們評估適應性 FROST 波束構成器在瑞里(Rayleigh)衰失和瑞斯(Rice)衰失通道下的性能，利用實際水槽實驗以驗證其可行性，並改進離形系統，使其成本降低，處理速度加快，以達到更實用的成果。系統硬體方面，包括多通道類比數位轉換模組和 DSP 晶片模組的研製。系統軟體方面，以組合語言取代由 C 語言所撰寫的適應性束波演算法，以加快演算速度，藉此提昇其即時處理的能力。所研製的即時束波系統包括德州儀器所生產的 32 位元高速平行浮點運算之 DSP 晶片 TMS320C31 為核心處理器的 DSP Starter Kit 模組及四通道高速高解析度類比對數位轉換器，其取樣速度可高達 250KHz。以組合語言實現的 FROST 束波演算法耗時 27 $\mu$ s，其演算速度有效提昇了 3.2 倍，然而將此束波系統應用在試驗水槽時，由於水槽底板，左右護板，及水面等反射造成多重路徑下的同調干擾效應，使得束波器在此環境下的束波輸出不近理想。此現象也驗證了 Frost 束波器對於同調干擾有較差的效能。

在 DOA 估測方面，我們設計和研製一多通道數位訊號處理系統，8 通道 A/D 轉換器的設計，以符合感測器陣列訊號處理的要求，結合數位訊號處理器--TMS320C32 的設計，使陣列訊號可以即時處理。本計劃所研製八通道資料處理系統除以 PC 為基礎發展外，並可以獨立模組方式兼具可攜性能力。

在實際測試中，則是應用於訊號源方位估測，以一般化膨脹演算法估測雜訊子空間，不僅大量降低其程式計算量，且具有高收斂性和準確度，每秒 20 次的高速運算性能，可以有效偵測世界上最快核子潛艇的方位。由實測中証實本系統為一性能優異的訊號即時處理系統，可廣泛應用在聲傳訊號處理，如方位估測、束波器，或是資料擷取系統。

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。我們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。系統是採用德州儀器公司所生產的 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、解調器、類比至數位轉換模組及數位至類比轉換模組等機構，以及高感度水下感音器來發射和接收訊號。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的正確性與實用性，亦即達成了即時之水下聲傳語音通訊。

另外亦應用  $\pi/4$  DQPSK 調變解調技術及使用直序展頻來克服多重路徑效應，應用 TMS320C31 數位訊號處理晶片，搭配自製的類比至數位轉換模組、數位至類比轉換模組電路及調變解調單元，建構一套適用於 BPSK 及 QPSK 系列的通訊系統硬體架構。軟體方面，撰寫了 TMS320C3X 組合語言程式，完成了 QPSK 直序展頻水下通訊系統，成功地在水下環境實現兩台電腦間的 ASCII 字元收發。圖一所示為水槽實驗配置圖，而圖二為整個系統流程式。

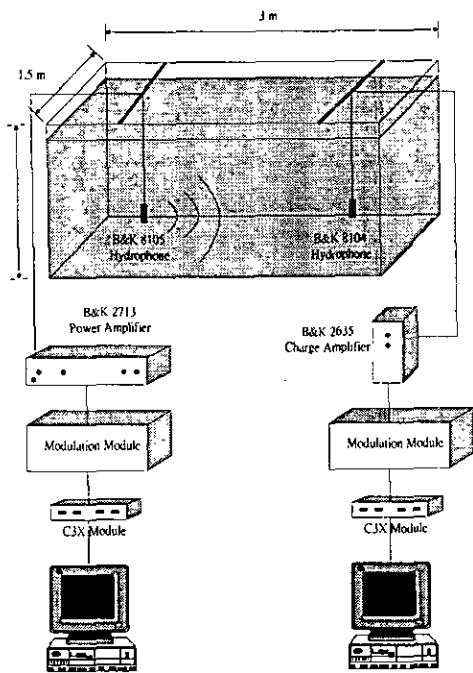


圖 1 水槽實驗配置圖

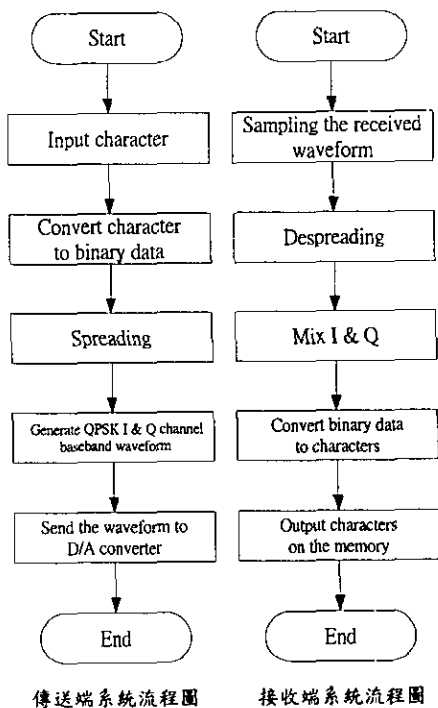


圖 2 系統流程圖

#### 四、成果自評

在束波器方面，由於目前以組合語言所撰寫的束波演算法，完成一筆取樣經過束波演算後輸出總共需時 27  $\mu\text{s}$ ，也就是說每秒能完成 37k 次的束波演算，而在相同 CPU

下以 C 語言所撰寫的程式需耗時 86  $\mu\text{s}$ ，因此我們將演算速度有效提昇了 3.2 倍。自行開發硬體除了能大幅降低成本外，主要可奠定未來開發其他週邊設備或連接介面的基礎。將適應性 FROST 束波演算的 DSP 程式移植在自行開發的模組上應用於理想通道下實行即時的束波演算實驗，驗證了所研製的離形系統具有即時束波的能力。而配合以組合語言撰寫的 DSP 程式，更發揮組合語言快速精簡的特性。

方位估測主要是以其所開發設計的可攜性多通道即時訊號處理系統，運用於線性感測器陣列的訊號處理。8 通道 A/D 轉換器的設計，使感測器陣列所接收的資料，在演算法的處理上準確度更高，在運用上更有彈性。同步取樣的設計，使演算法的撰寫更加容易。C32 和 A/D 轉換器的整合設計，更使得整套系統成為一獨立、即時系統。配合週邊的介面裝置，使得整套系統在軟、硬體的設計功能上十分強大和完整。

適應性等化器搭配德州儀器 (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。

關於調變/解調功能方面，我們使用德州儀器公司的 TMS320C31 數位訊號處理晶片，搭配自製的類比至數位轉換模組、數位至類比轉換模組及調變解調電路，建構出一套適用於 BPSK 及 QPSK 系列的水下通訊系統硬體架構，並以 TMS320C3X 組合語言撰寫相關軟體，完成了 QPSK 直序展頻水下通訊系統，並在實驗水槽中成功的完成兩部電腦間的 ASCII 字元傳輸，達成了無線通訊技術與電腦的結合。

### 參考文獻

- [1] O. L. Frost, "An algorithm for linearly constrained adaptive array processing", Proc. IEEE, vol.60, no.8, pp.926-935, Aug. 1973.
- [2] B. D. Van Veen and K. Buckley, "Beam-forming: a versatile approach to spatial filtering", IEEE ASSP Magazine, vol.5, no. 2, April 1988.
- [3] H. S. Hung, S. H. Chang, S. L. Chen and L. S. Ke, "Real-time adaptive array processing for underwater acoustic channel", Proceedings of the 1998 International Symposium on Underwater technology, Tokyo, Japan, April, 1998.
- [4] J.-F. Yang and H.-J. Lin, "Adaptive high-resolution algorithms for tracking nonstationary sources without the estimation of source number," IEEE Trans. Signal Processing, vol. 42, pp. 563-571, March 1994.
- [5] D. H. Johnson and D. E. Dudgeon, Array Signal Processing: Concepts and Techniques, Prentice Hall, New Jersey 1993.
- [6] J.-F. Yang and M. Kaveh, "Adaptive eigensubspace algorithms for direction or frequency estimation and tracking," IEEE Trans. Acoust., Speech, Signal Processing, vol.36, no. 6, pp.241-251, June 1988.
- [7] J. A. Catipovic, "Performance limitations in underwater acoustic telemetry," IEEE J. Oceanic Eng., vol.~15, no.~3, pp.~205-216, 1990.
- [8] 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.
- [9] J. G. Proakis, "Adaptive equalization techniques for acoustic telemetry channels," IEEE J. Oceanic Eng., vol.~16, no.~1, pp.~21-31, 1991.
- [10] 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.
- [11] Chennakeshu, S. and G. J. Saulnier (1993) "Differential Detection of  $\pi/4$  Shifted DQPSK for Digital Cellular Radio," IEEE Trans. on Vehicular Technology, Vol.42, No.1, pp.46-57.
- [12] Furukawa, H., K. Matsuyama, T. Sato, T. Takenaka, and Y. Takeda (1992) "A  $\pi/4$  Shifted-DQPSK Demodulator for a Personal Mobile Communications System," IEEE Proceedings of 2nd International Symposium on Personal Indoor Mobile Radio communications, pp. 618-622.
- [13] Goode, S. H., H. L. Kazecki, and D.W. Dennis "A Comparison of Limiter Discriminator, Delay and Coherent Detection for  $\pi/4$  QPSK" IEEE Vehicular Technology Conference, pp.687-694.
- [14] Guo, Y. and K. Feher (1990) "Performance Evaluation of Differential  $\pi/4$  QPSK Systems in a Rayleigh Fading/Delay Spread/CCI/AWGN Environment," IEEE Vehicular Technology Conference, pp.420-424.
- [15] 張啟文, "數位訊號處理器於水下適應性束波構成器之設計" 國立海洋大學電機工程學系研究所碩士論文, 1998.