

# 수중 초음파 통신을 위한 적응형 BPSK 복조기의 DSP 구현

전재국<sup>+</sup>, 박찬섭, 주형준, 김기만

## DSP Implementation of the Adaptive BPSK demodulator for Underwater acoustic communication

Jae-Kuk Jeon<sup>+</sup>, Chan-Sub Park, Hyung-Jun Joo, Ki-Man Kim

Abstract : The performance of a digital baseband signal processing and data transmission rate depends on the modulation technique. In this paper, We implemented DSP communication system for Underwater acoustic communication using by adaptive BPSK modem technique. In order to implement adaptive modem, we suggested SNR detection block. SNR detection block has the reference SNR value that selects between window filter path and matched filter path. In this paper, suggested system is based on software interface and all Hardware(PLL, modem filter, equalizer etc) is implemented by software, exclusive of DSP, A/D, D/A converter, SDRAM and Flash memory.

Key words : window filter, BPSK, DSP, acoustic communication

### 1. 서론

수중통신에서 사용하는 주파수는 대부분 가용한 주파수 대역폭이 매우 협소한 특징을 가지고 있으며, 많은 대역폭을 필요로 하는 디지털 데이터를 전송하기 위해서는 효율적인 전송방법이 필요하다. 또한 다중경로 채널 특성을 가지기 때문에 이를 추정하여 적응적으로 대처할 수 있는 기법들이 필요하다. 이러한 디지털 전송기법 및 채널적용 알고리즘 등은 대부분 이론적인 측면에서의 시뮬레이션을 기반으로 하여 많은 부분을 정확도에 초점을 맞추고 제안되어져 왔다[1-4]. 이는 높은 복잡도와 수학적 계산량이 많아 알고리즘의 실시간 구현에 많은 어려움이 따르게 되며, 값비싼 고성능 프로세서를 필요로 하기 때문에 실제로 구현하기가 어렵다.

따라서 본 논문에서는 제안된 알고리즘을 시스템에 최적화하여 실시간으로 처리하기 위해 원본 신호에 해당하는 디지털 정보를 PCM(Pulse Coded Modulation), BPSK(Binary Phase Shift Keying) 변복조 방식으로 송수신하며, 수중채널 특성에 적응하기 위해 SNR을 이용, 두 가지 경로인 윈도우 기법, 정합필터, 보간기, 등화기 등의 DSP 알고리즘을 사용하여 수신 신호를 복원할 수 있도록 구현하였다. 또한 본 논문의 시스템을 실시간 전송 및 디버깅을 하기위하여 제안된 DSP 알고리즘의 block을 독립적으로 구현하여, 상황 변화에 따라 스위칭 방식으로 시스템에 적용되도록 구현하였으며, 이에 대한 성능은 시스템에 사용된 DSP 보드를 통해 검증하였다.

### 2. 송신기 및 수신기의 시스템 구조

본 논문에서 구현한 수중 데이터 통신을 위한 적응형 BPSK 송수신 시스템의 블록도는 아래 Fig 1과 같다.

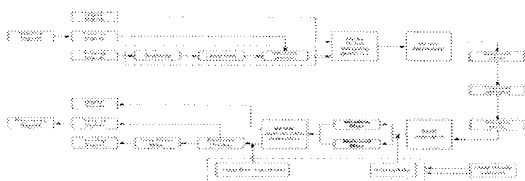


Fig 1. The algorithm flow chart of Tx/Rx system

Fig 1에서 알 수 있듯이 송신기에서 원본 신호들이 기저대역에서 PCM방식에 의해 변조되어 다시 대역통과 대역에서 BPSK 방식으로 변조된 후 D/A 변환을 통해 초음파 형태로 송신된다. 이렇게 변조된 신호들은 수신기에서의 A/D 변환 과정을 거쳐 본 논문에서 제안하고 있는 적응형 설계의 핵심요소 중 하나인 SNR(Signal-to-Noise Ratio) detection block을 거쳐 적정 SNR을 판별 한 후 SNR -5 dB를 기준으로 하여, Window filter block과 Matched filter block 둘 중 하나를 거쳐 BPSK 와 기저대역 복조 후 최종적으로 원본신호가 복원되게 된다. 또한 본 논문에서는 시스템의 실시간 처리와 더불어 효율성과 정확도를 높이기 위한 방법으로 figure 1의 제일 아랫부분에서 확인할 수 있듯이 외부 인터럽트에 의한 사용자 모드를 부가적으로 구현하여, 복원된 신호의 상태가 안 좋을시 다소 연산량이 늘어나 실시간 처리에 문제가 된다하더라도 복원력을 향상 시킬 수 있는 interpolator와 Adaptive equalizer를 선택적으로 구동할 수 있도록 구현하였다. 여기서 두 시스템의 특징을 살펴보면, window filter block의 경우 기본적인 PSK 모델에서 사용되는 LPF에 window method를 추가한 형태로 식(1)과 같이 정의 될 수 있다.

$$y[n] = \sum_{k=0}^M h_k x[n-k] \tag{1}$$

여기서  $h_k$ 는 window가 적용된 filter의 계수이다.

식(1)에서 알 수 있듯이, 일반적인 LPF와 동일한 형태의 연산과정을 가지며, 실제 시스템 상에 구현 시 별다른 지연 없이 비교적 빠른 속도로 처리를 할 수 있어, 실시간 처리를 함에 있어서 좋은 성능을 보이지만, 잡음 레벨이 일정 수준 이상 올라가게 되면, 복원능력이 현저히 낮아지는 단점을 갖는다.

반면에 Matched filter block의 경우 콘볼루션 적분의 이산 형태와 같이 표현되며, 그 형태는 식(2)와 같이 정의 될 수 있다.

$$Z_r(k) = \sum_{n=0}^{N-1} r(k-n) C_r(n) \quad k = 0, 1, \dots, \text{modulo} - N \tag{2}$$

<sup>+</sup> 전재국(한국해양대학교 전파공학과), E-mail: j2kai@nate.com, Tel:051)410-4918

여기서  $r(t)$ 는 부가성 가우시안 백색 잡음이 더해진 수신 신호,  $C_i$ 는 SNR을 최대화하는 필터 전달함수를 의미한다.

식(2)를 통해 알 수 있듯이, Matched filter block의 경우 window filter block의 경우에 비해 보다 연산량이 많아지지만, 복원력 측면에서는 훨씬 좋은 성능을 갖는다. 아래 Fig 2는 전체 시스템의 알고리즘 흐름도를 보여준다.

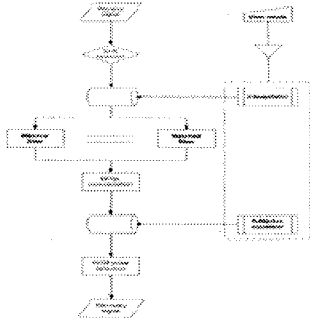


Fig 2. Algorithm flow chart

### 3. 시스템 구현 및 성능 검증

본 논문에서 Fig 2의 알고리즘 흐름도를 구현하는데 사용된 하드웨어로는 TI사의 TMS320C6711B DSP가 탑재된 nd-tech사의 DSP STAR 보드가 사용되었으며, GUI 인터페이스를 갖는 개발 툴인 Code builder를 통해 시스템의 성능을 검증하였다. 아래 Fig 3은 DSP보드이다.

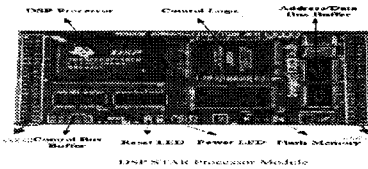


Fig 3. DSP module

성능 검증에 따른 제반 사항들을 살펴보면, 150MHz의 동작 속도를 갖는 DSP 프로세서와 최대 16KHz의 샘플링 주파수를 갖는 12bit Analog I/O 코덱, 프로그램 전용 1MByte 플래시 메모리와 다량의 데이터 저장용으로 32MByte용량을 갖는 SD RAM으로 구성되어 있다. 실제 성능 검증에 사용된 규격은 아래 Table 1에 나타나 있다.

Table 1. System specification

|                    |                |
|--------------------|----------------|
| Sampling rate      | 8/16KHz        |
| Quantization level | 12bit          |
| Carrier frequency  | 2/4/8KHz       |
| Data rate          | 1/2/4Kbps      |
| symbol rate        | 125/250/500sps |
| symbol length      | 8bit           |
| source signal      | ASCII code     |

아래 Fig 4,5,6,7은 성능 검증에 따른 각각의 결과를 보인다.



Fig 4. Source signal



Fig 5. Window filter output signal(SNR < -5dB)



Fig 6. Matched filter output signal(SNR > -5dB)



Fig 7. Window filter output signal(SNR > -5dB)

본 논문에서 시스템을 설계시 주안점을 둔 사항은 수중 초음파 통신시 실시간 처리가 주된 목적이었다. 앞서 두 가지 경로를 거쳐 복원된 신호를 비교해보면, 기준이 되는 SNR 조건을 만족하는 구간 내에서는 두 경로 모두 동일한 성능을 보였으나, 그 외의 경우는 Fig 7의 경우와 같이 일부분이 복원되지 못하는 것을 확인 할 수 있었다. 이는 Window filter 보다는 Matched filter의 복원력이 더 우수하다는 것을 입증하는 결과이나 전송량이 많아짐에 따라 초기 지연시간 및 복원시간이 짧게는 수 초 이상의 지연 현상을 가짐을 확인하였다.

### 4. 결론

본 논문의 성능 검증시 위상 동기화 문제가 일어난다는 전제하에 순수하게 신호 복원에 관련된 부분만 검증한 것이어서, 이러한 지연현상은 전체 시스템에 적용시 실시간 처리가 불가능 할 것으로 생각해 볼 수 있다. 향후 위상동기 블록을 포함한 전체 시스템을 통하여 실시간 처리가 가능하도록 개발하여야 할 것이다.

### 참고문헌

- [1] D. Kilfoyle and A. Baggeroer, "The state of the art in underwater acoustic telemetry," IEEE J. Oceanic Eng., 25, 4-27, Jan. 2000
- [2] M. Stojanovic, J. Catipovic, and J. Proakis "Phase-coherent digital communications for under water acoustic channels," IEEE J. Oceanic Eng., 19, 100-111, Jan. 1994.
- [3] 손근영, 노용주, 윤종락, "수중 데이터 통신 시스템 개발 - 변조방식의 성능 비교," 한국음향학회 학술발표회논문집 19권 2(s)호, 281-284, 2000.
- [4] 이의형, 김기만, "BPSK 변조를 이용한 수중 음향 통신의 실험적 고찰," 한국음향학회지, vol. 22, no. 5, pp. 418-424, July. 2003.