

수중통신을 위한 Turbo-Φ 부호화기의 성능 분석

박태두, 김민혁, 임병수, 정지원, *배진수, **윤석호, ***김광순, ****이성로

한국해양대, *세종대, **성균관대, ***연세대, ****목포대

bokddori@hhu.ac.kr, hyuk6030@hhu.ac.kr, ibs0410@hhu.ac.kr, jwjung@hhu.ac.kr

Performance analysis of the turbo-Φ code for underwater communication

Park Tae Doo, Kim Min Hyun, Lim Byeong Su, Jung Ji Won, *Jinsoo Bae, **Seokho Yoon, ***Kim Kwang Soon, ****Seong Ro Lee

Korea Maritime Univ., *Sejong Univ., **Sungkyunkwan University, ***Yonsei Univ., ****Mokpo National Univ.

요약

수중음향 통신은 대역이 제한되어 있고 음파가 해저 및 해수면에 반사되어 신호가 수신된다는 특성 때문에 신뢰성이 높고 전송속도가 빠른 수중음향 통신의 구현이 어렵다. 따라서 성능의 향상을 위해서는 수중에서 전송하고자 하는 데이터의 패킷의 구조 설계와 함께 오류를 줄일 수 있는 채널 부호화 방식이 필요하다. 본 논문에서는 실제 해상 실험을 통하여 채널 부호화 기술인 Turbo-Φ 부호화된 데이터를 수중 통신에 적합하게 설계된 패킷 구조로 전송하여 수중 통신에서 Turbo-Φ 부호화 기술이 적합함을 나타내었다.

I. 서론

수중 통신 분야의 연구는 해양 탐사, 해저 자원 탐사, 군사적 목적 등 다양한 방향으로 연구 중에 있다. 이러한 수중 통신 시스템에서는 진파 통신을 하는 일반적인 육상, 위성통신과는 다르게 음성 채널을 이용하여 정보를 전송한다. 따라서 신호의 전달 과정에서 흡수, 간섭 및 다중경로와 함께 도플러 등으로 인하여 신호의 왜곡이 심하다. 또한 수중에서는 채널 특성을 결정하는 해면, 해저, 수심 등의 상태에 따른 수중 통신의 성능에 영향을 미치게 된다. 따라서 수중 통신에서 신뢰도 있는 통신을 위해서는 낮은 SNR(Signal to Noise Ratio)에서 우수한 성능을 보여주고 있는 채널 부호화 기술의 필요성이 대두되고 있다.[1][2]

따라서 신뢰도 있는 통신을 위해 사용한 채널 부호화 기술로써는 차세대 DVB-RCS에서 표준으로 채택되어지고 있는 Turbo-Φ 부호화기를 이용하였다. 본 논문에서는 동해 앞 바다에서 해상 실험을 통하여 수중 통신에 적합한 패킷 설계와 함께 수중에서의 위상 오프셋을 보상하기 위해 DD(Decision Directed) Loop을 이용하여 성능을 분석하였다.

II. 채널 부호화 기술

수중에서는 다양한 페이딩과 함께 채널간의 간섭, 멀티 패스 등으로 인하여 신뢰도 있는 통신이 힘들기 때문에 성능의 향상을 위하여 채널 부호화 기술이 필요하다. 따라서 본 논문에서는 1993년 Berrou에 의해 발표되어진 Turbo 부호화 기술을 사용하였다. Turbo 부호화 기술은 반복 복호를 통하여 Shannon's limit에 근접한 성능을 보여 주고 있어 DVB-RCS 등에서 표준으로 채택되어 사용되어 지고 있다. 그러나 기존의 이중 바이너리 구조의 Turbo 부호화 기술은 오류 마루 현상이 발생하는 단점이 발견되어 오류 마루 현상을 없애기 위해 기존의 8상태의 부호화기에서 16상태로 구조를 변형 시킨 Turbo-Φ 부호화기 기술이 차세대 DVB-RCS에서 표준으로 채택되고 있다.[3][4] 이러한 Turbo-Φ 부호화기의 구조는 기존의 DVB-RCS 구조와 동일하며, 단지 16상태를 지원하는 구조를 가진다.

그림 1은 해양 실험에서 사용되어진 Turbo-Φ 의 부호화기 구조이다.

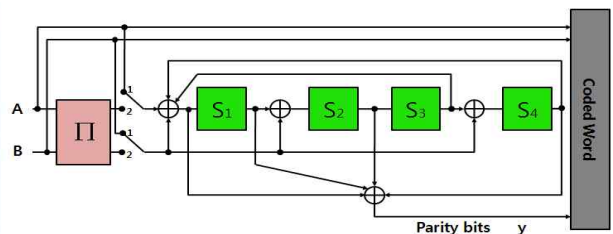


그림 1. Turbo-Φ 부호화기 구조

8상태에서 16상태로 메모리의 수를 하나 추가하여 해밍거리를 증가하여 오류 마루 현상을 제거하는 구조이다.

III. 수중 실험 환경

수중에서 Turbo-Φ 부호화기의 적합성을 분석하기 위하여 2011년 6월 30일 동해 앞 바다(37°32.491N, 129°15.393E)에서 약 200m의 수심에서 수중 통신 실험을 하였다. 송신기(MOBY)와 수신기(SRH)를 그림 2와 같이 수중에 설치 후 신호를 송·수신 하였다.

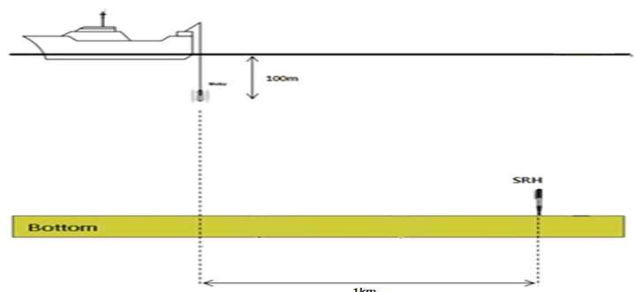


그림 2. 수중 통신 실험을 위한 송·수신기 설치 구조

송신기는 수심 100m의 위치에 설치하였고, 수신기는 송신기로부터 1km 지점에 해저면에 근접하게 설치를 하였다.

수중 통신에서 채널 환경을 알기 위해 XBT를 이용하여 그림 음속구조를 구하였고, 음속구조를 이용하여 그림 3과 같은 시간 지연 분포를 구하였다.[5]

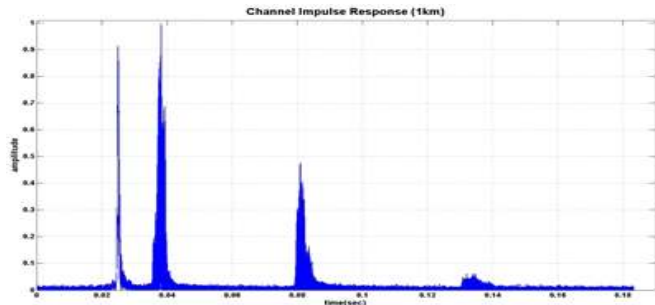


그림 3. 시간 지연 분포

그림 3의 시간 지연 분포를 통하여 수중에서의 채널 특성인 긴 멀티패스로 인하여 심볼간의 간섭이 발생하는 것을 알 수 있다.

IV. 실험 결과 분석

실험에서 사용한 소스 데이터는 984bit의 "Underwater Communication / Detection Research Center - Korea Maritime University(2011 UAC Experiment) - Channel coding test" 라는 text 데이터를 사용하였고, Turbo-Φ 부호화기를 이용하여 coding rate 1/3을 사용하여 부호화와 함께 248bit의 dummy data를 넣어서 총 4개의 데이터 패킷을 생성하여 순차적으로 전송하였다. 자세한 데이터 패킷 구조는 그림 4와 같다.

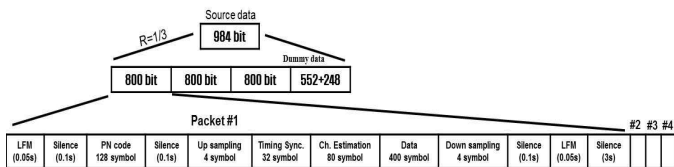


그림 4. 코딩 기법을 적용한 데이터 패킷 구조

데이터의 패킷 구조는 데이터의 송신 신호를 구분하기 위하여 0.05s의 LFM 신호를 전송하고, 수신 신호의 패킷 타이밍을 위하여 PN code를 전송하였다. 또한 SRRC 필터를 위하여 4개의 샘플링 심볼을 구성하였고, 다음으로 타이밍 오프셋을 보정하기 위한 32개의 심볼, 채널 등화기를 위한 80 심볼, 전송하고자 하는 채널 코딩되어진 비트 스트림을 그림 4와 같이 구성하였다.

송·수신단의 거리가 1Km일 때 수신된 wave form 데이터는 수신기의 특성으로 인하여 60kHz로 수신된 wave form 데이터를 리샘플링을 통하여 송신 샘플링 값과 같은 96kHz로 변환 후 분석을 하였다.

리샘플링 후 데이터를 복호 하였을 때의 Channel error의 값은 $\log_{10} \frac{1609}{2952} = -0.263560$ 이고 Decoding 후의 error 값은

$\log_{10} \frac{512}{984} = -0.283725$ 으로 나왔다. 리샘플링 후 다른 기법없이 데이터를

복호하였을 때는 그림 3의 시간 지연 분포처럼 멀티패스와 도플러 등으로 인하여 위상의 밀립 현상이 나타나 복호화에 있어서 실패를 하였다. 따라서 변화된 위상을 보상해주기 위하여 그림 5와 같이 DD Loop를 이용하여

복호를 하였다.

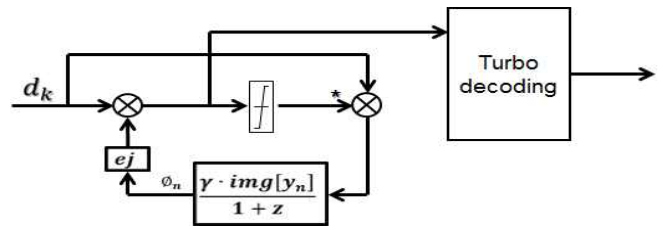


그림 16. DD Loop

DD Loop 후 error rate는 $\log_{10} \frac{340}{2952} = -0.938637$ 으로 위상의 밀립으로 인한 오차를 보상하였고, Turbo-Φ Decoding 후에는 오류없이 완벽하게 복호가 되어 전송하고자 하는 text 데이터가 완벽히 전송됨을 알 수가 있다.

V. 결론

수중 통신에서 발생하는 여러 잡음을 극복하기 위한 방안으로 수중에서 적합한 데이터 패킷을 제시하였고, Turbo-Φ 부호화기를 이용하여 신뢰도를 향상시키는 방안과 함께 실제 해상 실험을 통하여 채널 부호화기의 성능을 분석하였다.

실험결과를 분석하였을 때 DD loop를 통과하였을 때의 error rate가 -0.938637에서 Turbo-Φ 복호를 통하여 오류 없이 완벽히 복호됨을 확인하였다. 따라서 멀티패스와 채널 잡음, 도플러 등이 많은 수중 채널에서 Turbo-Φ 부호화기의 사용이 적합함을 알 수가 있다.

ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT 연구센터 지원 사업의 연구 결과로 수행되었음(NIPA-2011-C1090-1121-0007) 또한, 이 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 대학중점연구소 지원사업으로 수행된 연구임(2011-0022980)

참고 문헌

- [1] M. Stojanovic, J. Catipovic, and J. Proakis, "Phase coherent digital communications for underwater acoustic channels.", IEEE J. Ocean. Eng., vol. 19, no. 1, pp.100-111, Jan. 1994.
- [2] M. Stojanovic, "Recent advances in high-speed underereater acoustic communications", IEEE J. Ocean. Eng, vol. 21, no. 2, pp.125-136, Apr. 1996.
- [3] C. Douillard, C. Berrou, "Turbo Code With Rate-m/(m+1) Constituent Convolutional Codes", IEEE Trans.Commun, vol. 53, no 10, pp.1630-1638, Oct. 2005.
- [4] DVB document, "Call for technologies: Next Generation DVB-RCS", Jan. 2009.
- [5] F.B. Jensen, W.A. Kuperman, M.B. Porter, and H. Schmidt, Computational Ocean Acoustic, AIP Press, 1993.