

3-path 수중채널에서 통신 성능 향상 기법

김남수*, 김민혁*, 박태두*, 김철승*, 정지원*

*한국해양대학교 전파공학과

e-mail:skatn1983@hhu.ac.kr

A Method of Performance Development in 3-path Underwater Channel

Nam-soo Kim*, Min-hyuk Kim*, Tae-doo Park*, Chul-seung Kim*, Ji-won Jung*

*Dept of Radio Communication Engineering, Korea MaritimeUniversity,Korea

요 약

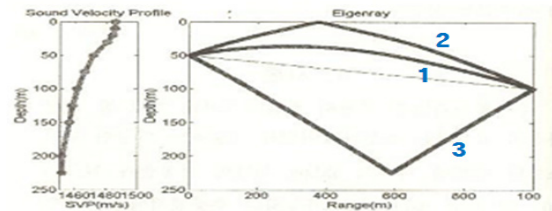
수중에서의 통신은 해수면과 해저면 등에 의한 신호의 반사에 의해 발생한 다중경로 현상으로 신호가 왜곡되어 원활한 통신이 어렵다. 이에 본 논문에서는 다중경로에 의해 발생한 오류를 정정하고자 수중 채널 전달함수를 이용한 정정기법을 제안하였으며, 시뮬레이션 결과 제안한 기법을 적용하였을 경우 적용하지 않았을 때 보다 더욱 우수한 성능을 보이는 것을 확인 할 수 있다.

1. 서론

수중 음향 통신 시스템은 과거 군사적 목적을 위해 제한적으로 사용되었다. 해양에 관한 관심이 고조되고, 해양 탐사나 해저 자원 탐사가 활발해지면서 그 활용분야가 확대되었다. 하지만 국내의 기술 수준은 해양산업기술의 수요 부족으로 인하여 미미한 수준이다. 음성 채널의 경우 전달 과정에서 흡수, 잔향 및 다중경로 등에 의해 크게 왜곡되며, 수중에서 고속 데이터 전송을 위하여 수중 음향 통신 채널 특성을 결정하는 해면, 해저, 수심 등의 시공간 변화에 의한 다중경로 특성이나 도플러 확산이 시스템의 설계에 고려되어야 한다. 특히 천해에서의 다중경로는 해면의 시변 산란에 의해 도플러 확산과가 직접파에 혼입되어 통신 채널의 특성을 좌우하게 된다. 이러한 음향 채널 특성의 시공간적인 변화는 디지털 수중음향 통신에서 송신하는 심벌간의 상호간섭(Inter-Symbol Interference : ISI)을 야기하여 통신 시스템의 성능을 저하시키게 된다. 따라서 이러한 비선형 복합 채널을 가지는 수중통신에서, 시간에 따라 채널의 특성이 매우 빠르게 변하는 시변 특성을 가지는 채널이므로, 신뢰성이 강한 오류 정정 방식의 적용이 필수적이다.[1][2][3] 이에 본 논문에서는 수중통신 채널에서 발생하는 다중경로에 의한 오류를 수중채널 전달함수를 이용해서 정정하는 기법을 제안하였으며, 일반 지상 무선 통신 환경과는 다른 수중채널환경에서 수중채널에 의해 발생한 다중경로의 정정 여부에 따른 채널부호의 적용 효과를 시뮬레이션을 통해 그 결과를 분석하였다. 본 논문에서 고려되어지는 채널 부호화 알고리즘으로는 수중통신에서 고려되는 반복부호인 LDPC(Low Density Parity Check) 부호를 적용하여 성능 분석하였다.

2. 채널 모델링[4]

본 논문에서는 참고문헌 [4]에서 제시한 KODC 4월 수온 자료를 이용하여 SVP(Sound Velocity Profile)를 얻었다. 그림 1에서 보는 것과 같이 송신단과 수신단 사이의 거리는 1Km, 송신단 수심은 50m, 수신단 수심은 100m로 가정하였다.

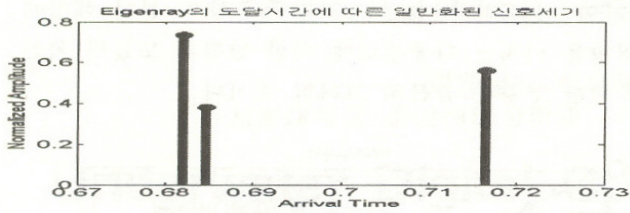


(그림 1) 동해 4월 SVP와 Eigenray

또한 표 1은 시뮬레이션 결과 값이며, 이들 값을 이용하여 신호세기를 정규화 하였다. 그림 2는 수신단에 순차적으로 들어온 Eigenray의 정규화 된 신호세기를 나타낸다.

<표 1> 동해 4월 Eigenray 결과값

Number	Arrival Time	Top Bonks	Bottom Bonks	Length	Arrival Amplitude	Normalized Amplitude
1	0.68216	0	0	1003.9	0.001361	0.7353467
2	0.68469	1	0	1011.7	0.0007028	0.3797220
3	0.71655	0	1	1044.1	0.0010389	0.5613165



(그림 2) Eigenray의 도달시간에 따른 신호세기

본 논문에서 사용된 수중채널 모델은 참고문헌 [4]에서 제시된 그림 2를 이용하여 시간영역에서 시뮬레이션 한 것으로, 실제 수중에서 측정된 데이터를 직접 시뮬레이션 한 게 아니라, 실측 데이터 값 즉, 깊이에 따른 음속 분포 등의 수온 자료를 Ray 모델의 입력 파라메타로 하여, 그림 2의 결과를 얻어 수중통신 채널을 시뮬레이션 하였다. 이러한 수중채널 모델은 참고문헌 [5]의 수식을 사용하여 모델링 되었다.

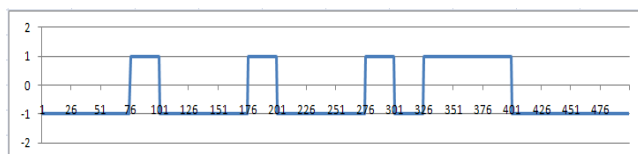
3. 수중통신에서 고려되는 채널코딩

1. DVB-S2 규격의 LDPC 부호[6]

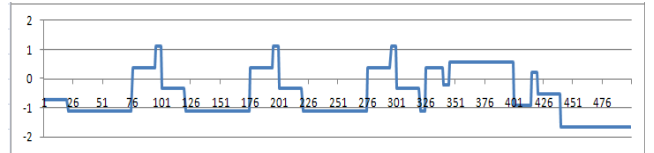
최근 모든 무선 통신 분야에서 관심이 되고 있는 채널 부호화 방식인 LDPC 부호화 방식은 터보 부호에 비해 복호화의 복잡도가 낮을 뿐 아니라 좋은 거리 특성으로 오류마루 현상이 나타나지 않고, 완전 병렬 처리로 고속 처리가 가능한 장점이 있다. 실제로 위성 고선명 TV(HDTV) 표준안인 DVB-S2 시스템은 LDPC를 오류정정부호화 방식으로 권고하고 있다. 반면에 부호화의 높은 복잡도가 LDPC 코드의 중요한 문제점이었으나 최근에 삼각행렬 분해법, Linear-congruence 방법을 사용하여 부호화를 간단하게 하였다. DVB-S2에서는 parity 부분을 address를 지정하여 쉽게 부호화하고 있다.

4. 제안한 수중채널 정정 기법

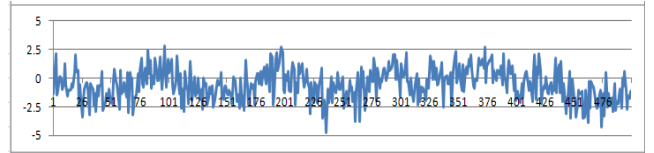
그림 3에서는 다중경로에 의한 오류를 정정하지 않고 수신단의 채널 복호기에 입력되는 신호를 나타내었다. 이때 수신단에서 수신신호를 검출할 때에는 일정한 지점에서 하는 것이 아니라, 한 신호의 모든 구간을 한번 탐색하여 최적점을 찾아내는 방법을 사용하였다. 채널코딩은 사용하지 않은 상태이며 데이터 전송률은 400bps, 송신단의 수심은 50m, 수신단의 수심은 100m, 송수신단의 거리는 1km로 하여 Ray model로 시뮬레이션 된 3-path 수중 채널 모델을 사용하였다.



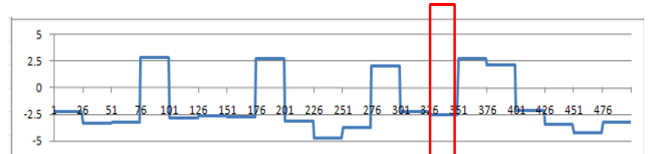
(a)



(b)



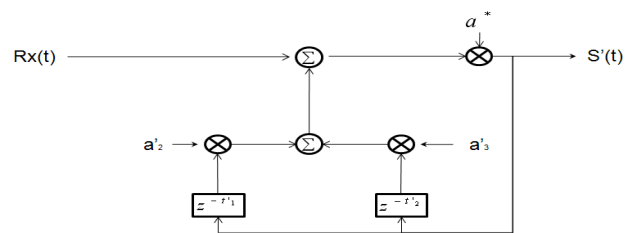
(c)



(d)

(그림 3) 다중경로에 의한 신호를 정정하지 않은 신호

그림 3(a)는 송신 신호를 나타내며, 그림 3(b)는 3-path 수중 채널 모델에서 다중경로에 의한 신호를, 그림 3(c)는 AWGN (Additive White Gaussian Noise)을 통과한 신호, 그림 3(d)는 하나의 신호에 대해서 모든 구간 즉, 샘플링되는 개수만큼의 구간에서 최적점을 구해 채널 복호기에 입력되는 신호를 나타낸다. 그림 3(d)에서 표시된 부분은 다중경로에 의한 오류를 나타낸다. 이와 같이 E_s/N_0 의 값이 작아지거나 채널환경이 악화될 경우 이와 같은 오류는 더욱 늘어나게 된다. 그림 4은 본 논문에서 제안하는 수중 채널 환경에 의해서 발생하는 다중경로에 의해서 수신되어진 신호를 수중채널의 채널 전달함수를 이용하여 정정하는 방법을 나타내었다.



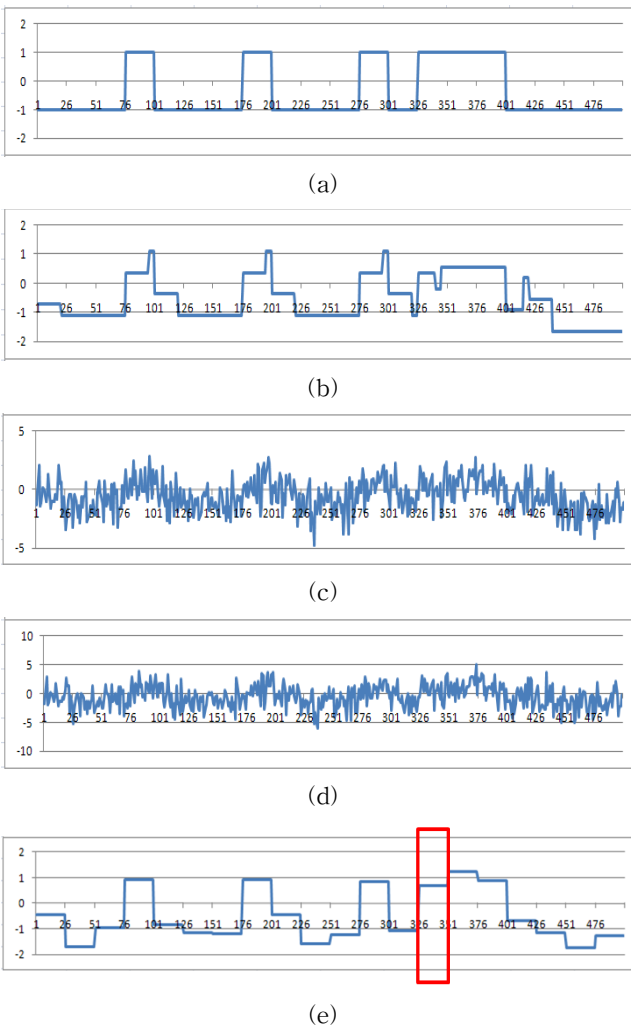
(그림 4) 수중채널 전달함수를 이용한 정정기법 블록도

$$Rx(t) = s(t) * h(t) \tag{1}$$

$$h(t) = (a_1 + a_2 z^{-t_1} + a_3 z^{-t_2}) \tag{2}$$

식(1)과 식(2)에서 $Rx(t)$ 는 수신신호, $s(t)$ 는 송신신호, $h(t)$ 는 수중채널 전달함수, z^{-t_1} , z^{-t_2} 는 각각 수중채널 전달함수에서의 응답시간 지연을 나타내며, a_1 , a_2 , a_3 은 수중채널 전달함수에서의 진폭 값을 나타낸다. 수신단에서는

$a'_1 \times a^* = 1$ 이 되는 a^* 를 결정하여 그림 4에서와 같은 방법으로 다중경로에 의한 오류를 정정할 수 있으며, 수신단의 채널 복호기에 입력이 되는 신호를 결정하게 된다. 그림 5는 본 논문에서 제안한 방법으로 다중경로에 의한 오류를 정정하여 수신단의 채널 복호기에 입력되는 신호를 나타내었다. 그림 5(a)는 송신 신호를 나타내며, 그림 5(b)는 3-path 수중 채널 모델에서 다중경로에 의한 신호를, 그림 5(c)는 AWGN을 통과한 신호, 그림 5(d)는 모든 신호에 대해서 본 논문에서 제안하는 기법을 이용하여 복원한 신호이며, 그림 5(e)는 그림 5(d)에서 복원한 신호를 이용하여 채널 복호기에 입력되는 신호를 나타낸다. 그림 5(e)에서 표시된 부분은 그림 3(d)에서 오류가 난 부분과 같은 부분을 나타낸 것으로서 다중경로에 의한 신호를 본 논문에서 제안한 기법으로 정정할 수 있음을 나타내고 있다.



(그림 5) 다중경로에 의한 신호를 정정한 신호

5. 시뮬레이션

1. 시뮬레이션 환경

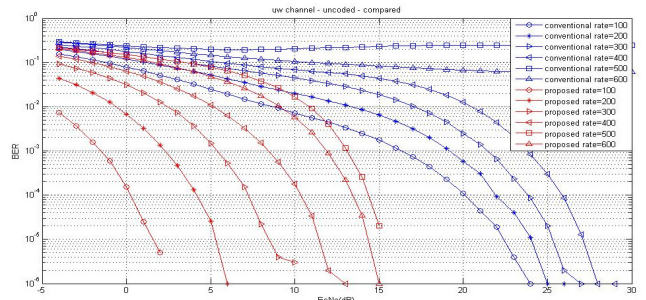
수중통신 채널에서 부호화기의 성능을 확인하기 위한 시뮬레이션 환경은 송신단의 수심 50m, 수신단의 수심

100m, 송수신단의 거리는 1km로 하여 Ray model로 시뮬레이션 된 3-path 수중 채널 모델을 사용하였다[3][4]. BER 성능을 산정하기 위해서는 송신 비트와 수신 비트의 오류 개수를 카운터하여 수신측에서 총 데이터의 개수를 나누는 몬테카를로(Monte-Carlo) 시뮬레이션 방법을 적용하였다. fs가 10kHz이므로 각 bit당 할당되는 샘플의 수는 식 (3)과 같이 계산할 수 있다.

$$N_s = f_s / D_R \quad (D_R = \text{data rate}) \quad (3)$$

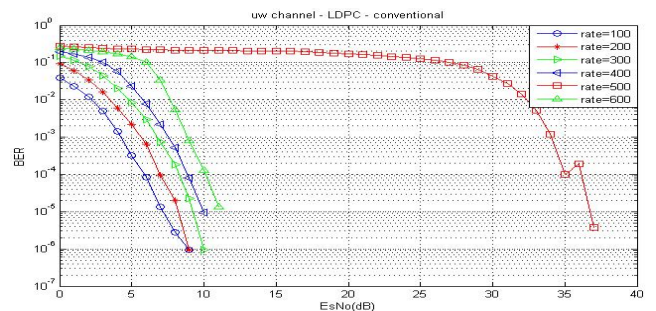
2. 시뮬레이션 결과

모델링된 수중채널과 함께 AWGN을 적용하여 수중 무선통신 환경에서 uncoded BPSK로 전송하였을 경우, 본 논문에서 제안하는 방식의 적용 여부에 따라 데이터 전송률에 따른 성능을 그림 6에 나타내었다. 시뮬레이션 결과를 살펴보면 데이터 전송률에 따라 16~20dB의 성능이 개선되는 것을 확인할 수 있다.

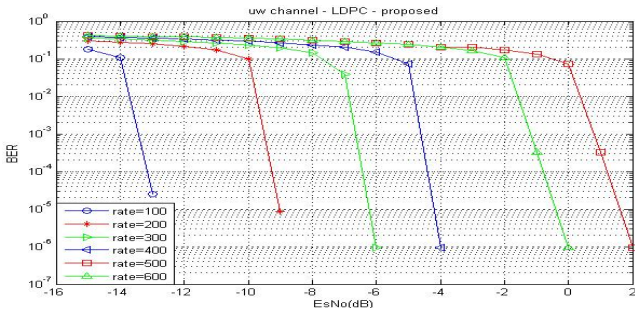


(그림 6) 수중채널에서 데이터 전송률에 따른 Uncoded BPSK의 성능 비교

수중 무선통신 환경에서 본 논문에서 제안하는 방식의 적용 여부에 따라 각각 LDPC 부호에 적용하였을 때 데이터 전송률에 따른 성능을 그림 7과 그림 8에 나타내었다. 정정기법을 적용하지 않고 LDPC 복호를 하였을 경우, 제안한 정정기법을 적용하였을 때 정정기법을 적용하지 않았을 때 보다 35dB이상 좋아지는 것을 확인할 수 있다.

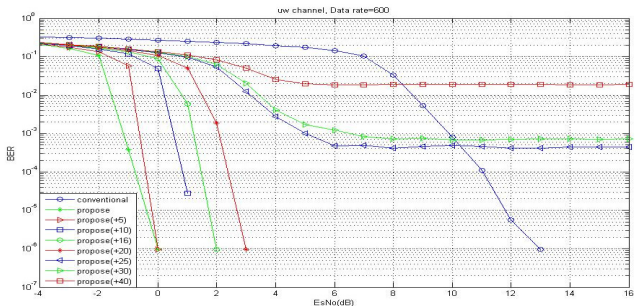


(그림 7) 제안한 정정기법을 적용하지 않은 LDPC 부호의 성능 비교



(그림 8) 제안한 정정기법을 적용한 LDPC 부호의 성능 비교

그림 9는 수중 무선통신 환경에서 본 논문에서 제안한 정정기법을 LDPC 부호에 적용하였을 때, 수중채널 전달함수 $h(t)$ 의 응답 지연 시간의 변화에 따라서 데이터 전송률이 600bps일 때의 성능을 나타내었다. 이는 수중 무선통신 환경이 계속 변화하기 때문에 모든 데이터에 대해서 동일한 $h(t)$ 를 적용할 수 없을 뿐만 아니라, 모든 데이터에 대해 각각의 $h(t)$ 를 적용 할 수도 없기 때문에 수중 무선통신 환경이 변화하는 경우에 대해 정정기법의 효과를 확인할 수 있으므로 시뮬레이션의 의미를 지니고 있다. 그림 9의 LDPC 부호를 적용한 경우, 샘플링 된 데이터에 대해서 응답 지연 시간이 20개의 오차 범위까지는 3dB의 성능 차이를 보이지만 오류가 정정되는 것을 확인할 수 있다. 그렇지만 그이상의 오차범위에서는 오류를 정정하지 못하고 오류마루현상이 나타나는 것을 확인할 하였다.



(그림 9) LDPC 부호를 적용하였을 때 수중채널 전달함수의 변화에 따른 성능 비교

6. 감사의 글

본 연구는 방위사업청과 국방과학연구소의 지원으로 수행되었으며, 이에 대해 깊이 감사를 드립니다. (계약번호 UD070054AD)

"본 연구는 지식경제부 및 정보통신연구진흥원의 대학 IT 연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음" (IITA-2008-C1090-0902-0010)

7. 결론

본 논문에서는 다중경로에 의해 발생한 오류를 정정하고자 수중채널 전달함수를 이용한 정정기법을 제안하였다. 수중 채널의 다중경로에 의한 영향은 데이터 전송률에 따

라서 증가하며, 이를 극복하기 위해서는 LDPC 부호와 RS 부호 후 인터리버와 함께 LDPC 부호를 적용할 경우, 다중경로를 극복하고 성공적인 통신을 할 수 있음을 알 수 있다. 그리고 수중채널의 다중경로에 의한 영향은 연접 오류의 특성보다는 랜덤오류의 특성이 강하기 때문에 인터리버의 효과를 거의 볼 수 없지만, 연접부호를 사용할 경우 AWGN에서 발생할 수 있는 군집오류에 대한 대비를 위해 사용해야 할 것이다. 성능 분석 결과, 본 논문에서 제안한 정정기법을 적용하였을 경우 적용하지 않은 경우에 대해서 우수한 성능을 나타냄을 확인할 수 있다. 본 논문의 수중채널 환경은 시간적 변이 특성과 도플러 현상 등이 고려되지 않은 실제 해양 환경과는 다소 차이가 있는 제한적인 시뮬레이션이다. 하지만 차후에 더욱더 다양한 환경, shallow water에서 음속 분포, 바닥면의 재질 및 형태 등에 따른 더욱더 많은 다중경로 등을 고려하여 실제 해양환경과 가깝게 시간적 특성과 도플러 현상까지 적용한 시뮬레이션을 향후 과제로 연구할 계획이다.

참고문헌

- [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 undersea acoustic communications", IEEE J. Ocean. Eng, vol. 21, no. 2, pp.125-136, Apr. 1996.
- [3] F.B. Jensen, W.A. Kuperman, M.B.Porter, and H.Schmidt, Computational Ocean Acoustic, AIP Press
- [4] 정진우, 김락훈, 심태보, 김성일, "수중통신 채널에서 적응변조기법을 적용한 STBC 시스템의 성능분석", 수중음향학 학술발표회 논문집, 22회, 2007.8
- [5] F.B. Jensen, W.A. Kuperman, M.B.Porter, and H.Schmidt, Computational Ocean Acoustic, AIP Press
- [6] T. Richardson and R. Urbanke, "Efficient Encoding of Low-Density Parity Check Codes", IEEE Trans. Information Theory, vol. 47, pp.638-656, Feb. 2001.
- [7] ETSI EN 301 210: "Digital Video Broadcasting (DVB): Framing Structure, Channel Coding and Modulation for Digital Satellite News Gathering (DSNG) and Other Contribution Applications by Satellite". (DVB-S2)