

LDPC 부호를 이용한 MISO 채널에서 수중통신 채널 성능 분석

정회원 박 태 두*, 김 민 혁*, 준회원 임 병 수*, 정회원 정 지 원*

Performance Analysis of Underwater Communication Channel Using LDPC Codes in the MISO Channel

Taedoo Park*, Minhyun Kim* *Regular Members*,
Byeongsu Lim* *Associate Member*, Jiwon Jung* *Regular Member*

요 약

수중음향 통신은 대역이 제한되어 있고 음파가 해저 및 해수면에 반사되어 신호가 수신된다는 특성 때문에 신뢰성이 높고 전송속도가 빠른 수중음향 통신의 구현이 어렵다. 그러므로 최근의 수중 통신시스템에서 다수의 센서를 이용하는 MIMO 기술이 활발히 연구 중에 있다. 그러나 송수신단의 다중 센서를 이용한 수중통신에서의 MIMO 통신기술은 송수신단의 각 수신 센서에서의 상관값이 크기 때문에 다중 경로로 인하여 공간 다이버시티를 사용하여 이득을 기대하기가 어렵다. 따라서 본 논문에서는 송신 센서는 두개를 설정하고 수신센서를 한 개로 하는 MISO 채널에서 부호화 기법으로는 LDPC 부호를 이용하여 채널 추정 보상 기법과 결합하여 성능을 분석하였다.

Key Words : Underwater Communication, MIMO, MISO, LDPC, Channel Compensation

ABSTRACT

Due to reflect at surface of the water and limit bandwidth, it is difficult to design underwater acoustic communication systems with high-reliability and high transmission rate. Therefore the trends of underwater communication is transformed from single sensor to multiple sensor studies. However, underwater MIMO communication techniques have a high correlation value between multiple sensors on transmitters and receivers in underwater environments, it is difficult to expect space diversity gain on multi-path channels. Therefore, this paper proposed the MISO communications system with two transmit sensors and single receiver sensor, and analyzed its performance using the LDPC codes and channel compensation algorithm.

1. 서 론

수중 음향 통신 시스템은 과거 군사적 목적을 위해 제한적으로 사용되었다. 해양에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있는 가운데, 수중 통신 분야는 해양 탐사, 해저 자원 탐사 등이 활발해지면서 활용분야가 확대 되고 있다. 하지만 국내의 기술 수준은 해양산업기술

의 수요 부족으로 인하여 미미한 수준이다. 수중에서는 전파를 이용한 통신이 아니라 음성 채널을 이용하여 정보를 전송 하는 방식으로써 전달 과정에서 흡수, 잔향 및 다중경로 등에 의해 크게 왜곡된다. 또한 수중에서는 고속 데이터 전송을 위하여 수중 음향 통신 채널 특성을 결정하는 해면, 해저, 수심 등의 시공간 변화에 의한 다중경로 특성이나 도플러 확산이 시스

※ 본 연구는 방위사업청과 국방과학연구소의 지원으로 수행되었습니다. (계약번호 UD100002KD)

※ 본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT 연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음.(NIPA-2011-C1090-1121-0007)

* 한국해양대학교 전파공학과 위성통신 연구실 (bokddori@hhu.ac.kr)

논문번호: KICS2011-02-096, 접수일자: 2011년 2월 7일, 최종논문접수일자: 2011년 6월 9일

템의 설계에 고려되어야 한다. 따라서 이러한 여러 가지 채널 잡음으로 인하여 신뢰성 있는 송수신을 위해서는 낮은 SNR(Signal to Noise Ratio)에서 성능의 우수함을 보여주고 있는 강한 채널 코딩 방식의 적용이 필수적이다.^[1-3] 즉, 데이터 신뢰성 향상을 위해서는 수중 채널 상에서 발생하는 오류를 정정하는 채널 코딩의 방식과, 수중 채널의 다중 경로 극복을 위해서 송수신단의 다수의 센서를 이용한 다이버시티 효과를 제공하고 대역폭 손실 없이 비부호화 시스템 보다 이득을 제공하는 시공간 부호화 방식을 이용한 MIMO (Multiple Input Multiple Output) 방식이 최근의 수중 통신 기술로 적합하다. 그러나 송수신단의 다중 센서를 이용한 수중통신에서의 MIMO 통신기술은 송수신단의 각 수신 센서에서의 상관값이 크기 때문에 다중 경로로 인하여 공간 다이버시티를 사용하여 이득을 기대하기가 어려워 최근 각 수신센서에서의 상관 값을 줄이고 독립성을 유지하는 연구를 하고 있다. 따라서 본 논문에서는 송신 센서는 두개를 설정하고 수신 센서를 한 개로 하는 2:1 MISO(Multiple Input Single Output) 채널에서 부호화 기법으로는 LDPC(Low Density Parity Check) 부호를 이용하여 채널 추정 보상 기법과 결합하여 성능을 분석하였다. 본 논문은 수중채널 환경의 시간적 변이 특성과 도플러 현상 등이 고려되지 않아서 실제 해양 환경과는 다소 차이가 있을 수 있지만, 수중 통신에서 적합한 MISO 채널에서 LDPC 부호화기를 이용한 BER 성능분석을 통하여 실제 해양에서 수중통신을 사용할 때 본 논문에서 제안한 시스템이 적합함을 알 수 있다. 본 논문에서는 적용된 채널 코딩 방식으로는 반복 복호를 기반으로 하는 무선랜에서 적용하는 LDPC 부호, MISO 수중 채널에서 발생하는 다중경로에 의한 페이딩을 줄이기 위한 추정된 정보를 이용한 디 컨볼루션 방안을 제시하고 각각의 성능을 시뮬레이션을 통하여 성능을 분석하였다.

II. MISO 채널 모델링

본 논문에서 수중 통신시스템에 적합한 통신 시스템을 분석하기 위한 채널 모델링은 그림 1과 같다. 송신단과 수신단 사이의 거리는 5Km, 수심은 50m, 데이터의 전송속도(data rate)는 5Kbps일 때, 1:1 통신에서의 송수신기의 수심은 40m로 고정하고 시뮬레이션하였고, 그림 1과 같이 MISO 기술을 적용하였을 때는 송신기의 위치는 35m, 45m, 수신기는 40m에 두고 시뮬레이션을 하였다.

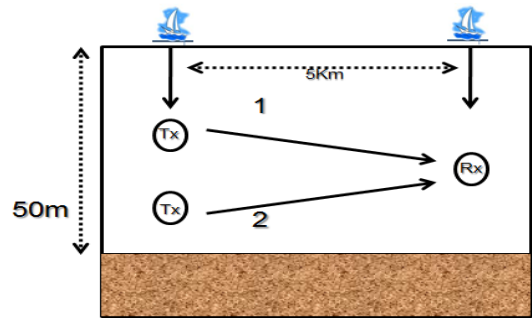


그림 1. 수중 채널 모델링
Fig. 1. The modeling of underwater channel

채널 환경에서는 송신기와 수신기 사이에서 수중 음파가 전달되는 경로인 eigenray를 이용하였다. 진폭(Amplitude)과 도착 시간(arrival time)을 얻기 위해 시뮬레이션 위치를 동해 앞바다라고 가정 하에 Matlab을 이용하여 Ray modeling을 통하여 그림 2와 같은 시간 지연 분포(delay profile)를 구하였다. 그림 2는 실제 동해 앞바다의 실측값인 깊이에 따른 음속 분포인 SVP(Sound Velocity Profile)와 수온 등의 자료를 이용하여 구하였다.^[4] 그림 2의 시간 지연 분포는 두 개의 송신 센서 중 첫 번째 센서와 두 번째 센서에 대한 분포이며, 송신 센서간의 간격이 10m 떨어져 있으므로 시간 지연 분포 또한 다르게 분포되어 있음을 알 수 있다. 송신 센서간의 간격이 10m 차이가 날지라도 수중 환경에서는 온도 차이, 수심 차이, 매질등으로 인해 시간 지연 분포가 다르게 나타난다.

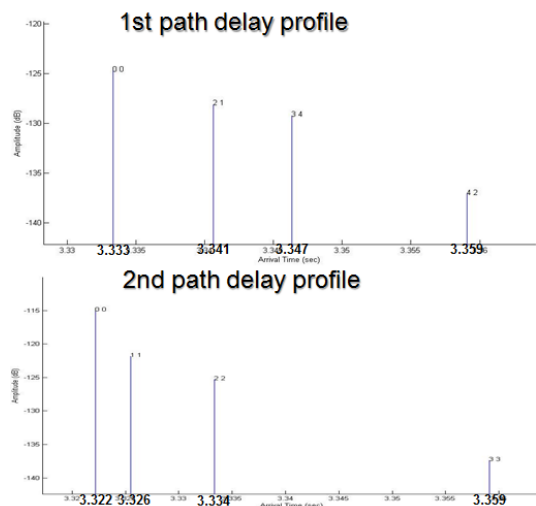


그림 2. 수중 채널 시간 지연 분포
Fig. 2. The delay profile of underwater channel

III. 수중 채널에서 고려되어지는 LDPC 채널 코딩

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. 본 논문에서 적용되는 LDPC 부호는 IEEE 802.11n에 적용되는 표준화된 LDPC 부호를 적용하였다.^[5] 본 논문에서 사용되어지는 H 행렬은 작은 규격의 베이스 행렬을 이용하며 이 행렬 속에는 아이덴티티 행렬과 서클러 쉬프트드 아이덴티티 행렬에 대한 인덱스가 담겨지게 된다. 간단한 예를 든다면 아래 그림 3에서와 같이 인덱스가 간단하게 정해지는 것을 볼 수 있다.^[6]

그림 3에서는 소 정방 행렬의 크기가 4×4 인 예를 들었지만 소 정방 행렬의 크기가 증가함에 따라 메모리 절약의 효과는 증가하게 된다. 베이스 행렬에서 H 행렬을 얻어내는 과정은 베이스 행렬에 있는 각각의 인덱스를 주어진 크기의 소 정방행렬로 바꾸어 넣음을 통해서 이루어지는데 이러한 과정을 익스팬션(expansion)이라 부른다. 그림 4는 본 논문에서 사용한 H 행렬을 나타내고 있다.

LDPC 복호기는 전송된 심볼을 비트 노드와 체크

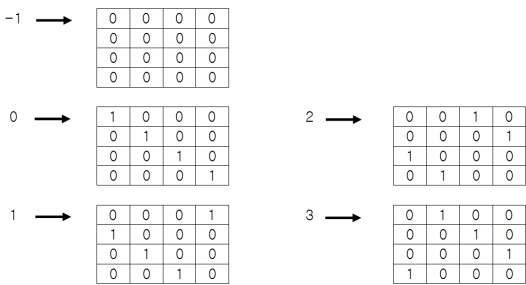


그림 3. 소정방 행렬과 인덱스
Fig. 3. The small square matrix and index

94	73				55	83		7	0											
	27							12	0	0										
		24	22	81		33				0	0									
61	47					65	25				0	0								
		39			64		41	82				0	0							
			46	40		82			79	0			0	0						
			95	53			14	18					0	0						
	11	73				2		47					0	0						
12				83	24		43			51				0	0					
					94	59			70	72					0	0				
		7	95			39	49									0	0			
43					66	41				26	7									0

그림 4. 소정방 행렬로 이루어진 H 행렬
Fig. 4. The H matrix permutation with small square matrixes

노드에서 각각의 확률 값을 구하여 반복을 통해 전송된 비트를 결정하는 것이다. LDPC의 복호 순서는 수신 비트에다 채널 추정 값을 구하는 초기화 과정, Check node 확률을 구하는 CNU(check Node Update), 비트 확률을 구하는 BNU(Bit Node Update)의 다음 세 가지 단계를 거쳐 반복 복호하게 된다.

IV. LDPC와 결합된 MISO 시스템

본 장에서는 LDPC를 MISO 시스템에 적용시키기 위해 N개의 송신 센서와 M개의 수신 센서를 이용하여 그림 5와 같이 LDPC와 결합된 MISO 시스템의 채널 블록도를 이용하여 구성하였다.

각 시간 슬롯 t 에서 변조기의 i 번째 출력은 $1 \leq i \leq n$ 에 대한 i 번째 전송 센서를 사용하여 전송되는 것은 c_i^t 신호이다. n 개의 신호는 각각의 다른 전송 센서에서 동시에 전송되고 이 모든 신호는 같은 전송시간 T 을 가진다. 각 수신 센서에서 신호는 수중 페이딩에 의해서 영향을 받은 n 개의 전송된 신호로써 노이즈의 중첩된 신호이다. 시간 t 에서 j 번째 센서에 수신되는 신호 r_t^j 은 식 (1)과 같이 주어진다.^[7]

$$r_t^j = \sum_{i=1}^n a_{i,j} c_i^t \sqrt{E_s} + n_t^j \quad (1)$$

여기서 시간 t 에서 잡음 n_t^j 은 차원 당 분산 $E_0/2$ 을 가진 제로 평균 복소 가우시안 랜덤 변수의 독립적인 샘플로써 모델링 되었다. 계수 $a_{i,j}$ 는 전송 센서 i 에서 수신 센서 j 까지의 경로 이득이다. 이 경로 이득은 한 프레임 동안은 일정하여 채널의 특징이 변하지

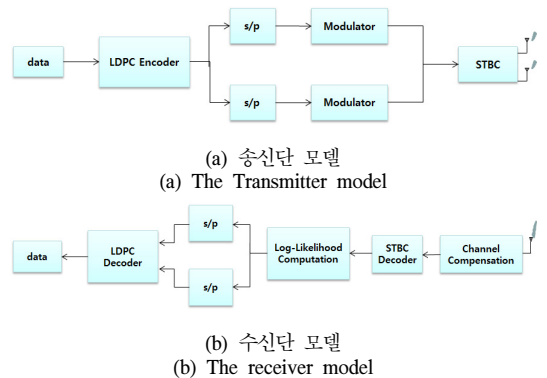


그림 5. MISO와 LDPC를 결합한 송수신단 모델
Fig. 5. The transmitter and receiver model combining MISO and LDPC

않는 슬로우 페이딩이라 가정한다. 각각의 센서에서 획득한 r_i 는 송신 부호화에 대응되는 시공간 부호의 복호기로 입력되어 저서 원 신호를 복호한다. 식 (1)에서 고려된 전송 경로 이득 $a_{i,j}$ 는 그림 2의 지연 분포 값이다.

본 논문에서 시플레이션 한 STBC(Space Time Block Code)는 전송 행렬 g 에 의해서 정의된다. 아래 식 (2)는 두개의 센서를 사용하였을 때 전송 행렬 식이다.

$$g = \begin{bmatrix} s_0 & s_1 \\ -s_1^* & s_0^* \end{bmatrix} \quad (2)$$

첫 번째 센서에서 전송된 신호는 s_0 이고 두 번째 센서에서 전송된 신호는 s_1 이다. 다음 심벌 시점에서 (T 후에) 신호($-s_1^*$)는 첫 번째 센서에 전송되고 신호 s_0^* 는 두 번째 센서에서 전송된다. 여기서 *는 복소 공액 연산자이다. $h_0(t)$ 와 $h_1(t)$ 는 수중 채널 값이며 수신 신호를 아래식과 같이 나타낼 수 있다.

$$r_0 = r(t) = h_0 s_0 + h_1 s_1 + n_0 \quad (3)$$

$$r_1 = r(t+T) = -h_0 s_1^* + h_1 s_0^* + n_1 \quad (4)$$

여기서 r_0 와 r_1 는 시간 t 와 $t+T$ 에서 수신된 신호이고, n_0 와 n_1 는 수신기의 잡음과 간섭을 대표하는 복소 랜덤 변수이다. 수신된 신호는 복호를 위해 maximum likelihood detector로 보내지고, 아래 식과 같이 두개로 결합된 신호를 만든다.

$$\tilde{s}_0 = h_0^* r_0 + h_1^* r_1 \quad (5)$$

$$\tilde{s}_1 = h_1^* r_0 - h_0^* r_1 \quad (6)$$

따라서 수신 신호와 위의 식 \tilde{s}_0, \tilde{s}_1 와의 거리를 구하여 짧은 거리를 가지는 신호를 선택한다. 시공간 블록 부호는 복호기가 단순한 반면, 원신호를 복원하기 위해서는 수신센서에서 복호를 위해 각 신호간의 직교성을 유지하는 전송행렬을 생성하는 것이 어렵다.

V. 채널 추정을 위한 송수신 모델링

그림 6에서는 다중경로에 의한 오류를 정정하지 않

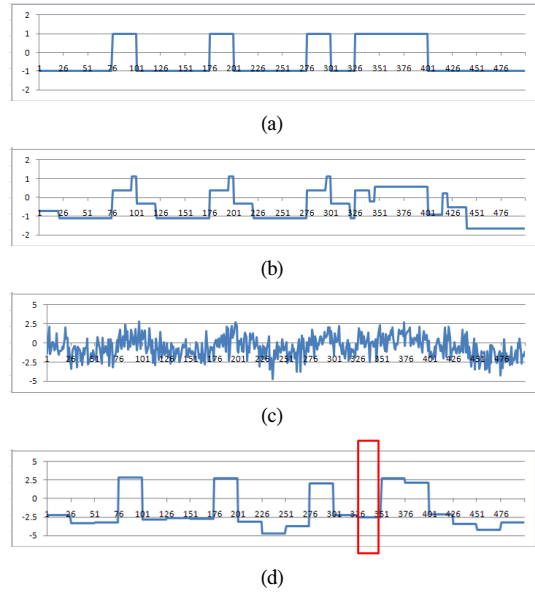


그림 6. 다중경로에 의한 신호를 정정하지 않은 신호
Fig. 6. Not compensated signal by multipath

고 수신단의 채널 복호기에 입력되는 신호를 나타내었다.

그림 6(a)는 송신 신호를 나타내며, 그림 6(b)는 그림 2의 수중 채널 모델에서 다중경로에 의한 신호를, 그림 6(c)는 AWGN (Additive White Gaussian Noise)을 통과한 신호를 나타낸다. 아래 식(7)에서와 같이 수신된 신호를 $r(t)$ 라 하면,

$$r(t) = s(t) * h(t) + n(t) \quad (7)$$

$s(t)$ 는 송신신호, $h(t)$ 는 수중 채널의 응답, $n(t)$ 는 가우시안 잡음을 의미한다.

그림 6(d)는 하나의 신호에 대해서 모든 구간 즉, 샘플링 되는 개수만큼의 구간에서 최적점을 구해 채널 복호기에 입력되는 신호를 나타낸다. 그림 6(d)에서 표시된 부분(326-350)은 다중경로에 의한 오류를 나타낸다. 이와 같이 Es/N_0 의 값이 작아지거나 채널환경이 악화될 경우 이와 같은 오류는 더욱 늘어나게 된다.

일반적으로 원 신호를 복원하기 위해서는 채널 정보를 추정하여 다음과 같은 식(8)에 의해 수신신호를 복원한다.

$$\begin{aligned} s'(t) &= r(t) * h(-t) \\ h(t) * h(-t) &= 1 \end{aligned} \quad (8)$$

일반적으로는 식(8)과 같은 matched filter를 이용

하여 수신단에서 검출 하여 비트의 정보 값을 판단한다. 하지만, 수중통신 채널에서는 긴 다중경로로 인하여 $h(t)*h(-t)=1$ 의 값이 항상 만족하지 않게 되어, 식(8)과 같은 필터를 사용하게 되면 각각의 다중경로 값들이 제거 되지 않고 더하여 필터를 통과함으로써 정확한 비트 정보값을 얻을 수가 없게 된다. 그림 7은 그림 5의 수중채널 전달함수를 이용하여 지역전 방식에 의한 디 컨볼루션의 결과를 나타내었다.

지역전 방식에 의한 디컨볼루션 값이 $h(t)*h(-t)=1$ 이 되지 않는다는 의미는 채널 추정을 해서 완벽하게 추정을 한다 하더라도 다중경로로 인한 채널 정보를 삭제할 수 없게 된다.

따라서 수중에서는 추정된 채널 응답을 이용하는 디컨볼루션 방식은 적합하지 않음을 알 수 있다. 따라서 본 논문에서는 그림 8과 같이 추정된 수중채널 전달함수의 역수를 이용하여 원신호를 복원하였다.

$$r(t) = s(t) * h(t) + n(t) \tag{9}$$

$$H(z) = (a'_1 z^{-\nabla} + a'_2 z^{-(t_1 \pm \nabla)} + a'_3 z^{-(t_2 \pm \nabla)}) \tag{10}$$

식(9)와 식(10)에서 $r(t)$ 는 수신신호, $s(t)$ 는 송신 신호, $h(t)$ 는 수중채널 전달함수, $z^{-t_1+\nabla}$, $z^{-t_2+\nabla}$ 는 각각 수중채널 전달함수에서의 응답시간이 실제 채널 보다 ∇ 만큼 지연되었음을 나타내며, a'_1, a'_2, a'_3 은 수중채널 전달함수에서의 진폭 값을 나타내며 식(11)로 나타 낼 수 있다.

$$a'_x = a_x + \nabla a \tag{11}$$

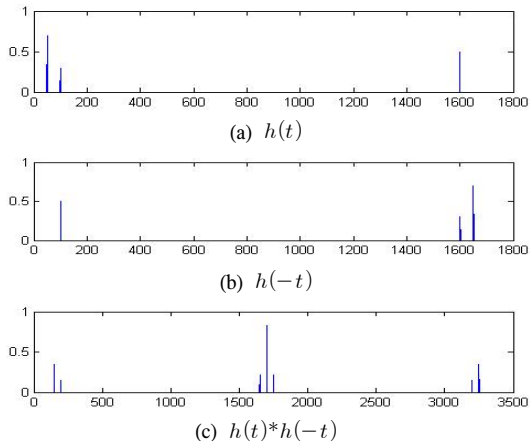


그림 7. 컨볼루션에 의한 채널정보 삭제의 예
Fig. 7. Example of not removed UWA channel informations by convolution

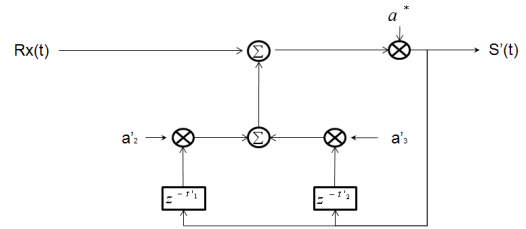


그림 8. 수중채널 전달함수의 역수를 이용한 정정기법 블록도
Fig. 8. Block diagram of proposed compensation method

여기서 ∇a 는 수신단에서 진폭에 대한 오차이며, 수신단에서는 $a'_1 \times a^* = 1$ 이 되는 a^* 를 결정하여 그림 8에서와 같은 방법으로 다중경로에 의한 오류를 정정할 수 있으며, 수신단의 채널 복호기에 입력이 되는 신호를 결정하게 된다. 그림 9는 본 논문에서 제안한 방법으로 다중경로에 의한 오류를 정정하여 수신단의 채널 복호기에 입력되는 신호를 나타내었다. 그림 9(a)는 송신 신호를 나타내며, 그림 9(b)는 수중 채널 모델에서 다중경로에 의한 신호를, 그림 9(c)는 AWGN을 통과한 신호, 그림 9(d)는 모든 신호에 대해서 본 논문에서 제안하는 기법을 이용하여 복원한 신호이며, 그림 9(e)는 그림 9(d)에서 복원한 신호를 이용하여 채널 복호기에 입력되는 신호를 나타낸다. 그림 9(e)에서 표시된 부분(326-350)은 그림 6(d)에서

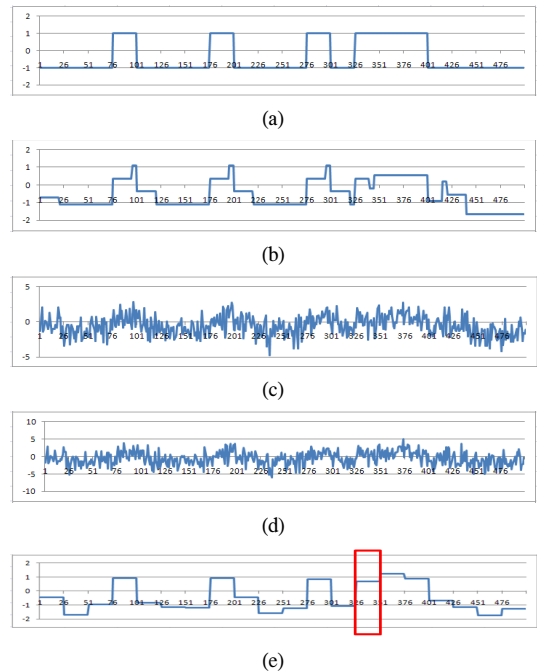


그림 9. 다중경로에 의한 신호를 정정한 신호
Fig. 9. Compensated signal by multipath

오류가 난 부분과 같은 부분을 나타낸 것으로서 다중경로에 의한 신호를 본 논문에서 제안한 기법으로 정정할 수 있음을 나타내고 있다. 그림 9의 결과는 시간 지연인 $\nabla=0$, 진폭 오차인 $\nabla a=0$ 라는 가정을 하였다.

그러나 실제 시스템 구현에서 채널 추정치를 완벽하게 추정한다는 것은 사실상 불가능하며, 채널 정보 또한 급변하는 수중 채널의 한 시점에서의 정보일 뿐이다. 따라서 본 논문에서는 데이터 전송률 600 bps, 샘플링 주파수 10 kHz에서 채널 부호로 LDPC (N=16200)를 사용하여 그림 2의 각 path의 도달 시간의 오차 ∇ 에 대한 성능 분포는 아래 그림 10과 같으며 이는 도달시간 오차 ∇ 에 대한 성능 곡선이다. ∇ 가 0 인 경우는 완벽하게 수중채널의 채널응답을 완벽하게 추정할 경우이며, ∇ 가 10 일 경우에는 채널 응답의 추정 오차가 62.5%라는 의미이다. 도달 시간의 오차 ∇ 는 샘플링 된 데이터의 개수로 나타내었다. 도달 시간에 대한 추정 오차 ∇ 는 20 까지 성능 변화가 3 dB로 어느 정도의 성능저하가 있었으나 그 이상의 추정 오차 ∇ 에 대해서는 오류 마루 현상을 보임을 알 수 있다. 이런 경우, 오차의 범위를 더 넓게 하기 위해서는 즉 오차에 따른 성능을 더욱 더 개선하기 위해서는 오류 마루 현상을 water-fall 현상으로 바꾸는 외부 부호 즉 RS 부호와 같은 블록 부호를 연결시켜야 한다. 각 path의 도달 시간에 대한 오차에 대해서는 아주 민감하며, 진폭 추정 오차에 대해서는 성능 변화가 거의 없음을 알 수 있다.

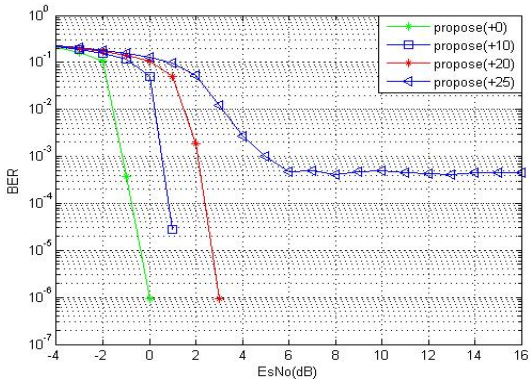


그림 10. 수중채널 전달함수의 시간지연 오차에 따른 성능 비교
Fig. 10. Performance comparison of concatenate code according to ∇

VI. 시뮬레이션 결과

수중통신 채널에서 MISO 시스템을 이용한 LDPC

부호화기의 성능을 확인하기 위한 시뮬레이션 환경은 2장의 채널 모델링에서 사용한 환경과 동일하게 하였다. 시뮬레이션 환경으로는 수중 채널에서 MISO를 이용하였을 때의 LDPC 성능을 분석하기 위하여 채널 특성을 time-invariant하고, 수신단에서는 그림 2의 시간 지연 분포에 따른 다중경로를 정확히 추정한다고 가정하였다. 또한 데이터의 전송 방식은 LDPC 패킷 크기인 1944 비트를 QPSK 방식으로 전송하였다.

먼저 1:1 통신과 MISO 시스템에서 STBC를 이용하였을 때의 성능을 비교 하였다. STBC로는 송신 센서의 수를 2개로 고정하고 수신센서의 수를 1개로 가정하여 시뮬레이션 하였다. 그림 11은 시뮬레이션에 따른 BER 성능이다.

그림 11에서의 BER 성능은 1:1 수중 통신에서 채널부호화 기술로 LDPC 부호화기를 사용하면 10-4을 기준으로 약 9dB의 성능이 향상됨을 알 수가 있다. 그러나 일반적인 육상통신에서와 같이 STBC를 사용하면 1:1 통신보다 성능이 LDPC 부호화기를 사용하지 않았을 때는 약9dB의 성능이 열화됨을 알 수가 있다. 그 이유는 수중통신에서는 육상에서의 통신에서보다 더 많은 다중경로(multi-path)에 따른 ISI가 발생하여 서로 다른 심볼이 결합되면서 각각의 고유 정보가 상쇄되어 성능의 열화를 가져온다는 것을 시뮬레이션 결과 값들을 분석하여 알 수가 있었다. 결과적으로 수중에서 STBC의 적용은 송신단 각 센서에서 서로 다른 데이터를 전송 한 경우이므로 수신단에서 각 송신 센서에 데이터를 복원하는 과정에서 성능 열화가 나타난다. 따라서 본 논문에서는 LDPC 부호화 된 동일한 데이터를 각 송신 센서에 전송하는 경우에 대해 성능 분석하였다. 동일한 데이터를 전송할 때에는 STBC를 적용할 필요가 없으며, 이의 성능은 그림 12에 나타내었다.

그림 12에서 같은 심볼을 MISO 기술을 이용하여 전송하면 STBC 기술을 이용하였을 때 보다 약 12dB

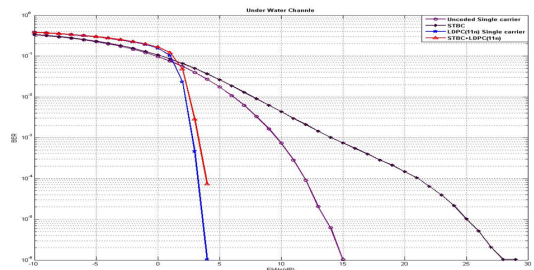


그림 11. 1:1 통신과 MISO에서 STBC의 BER 성능
Fig. 11. The BER performance of STBC in 1:1 and MISO communication

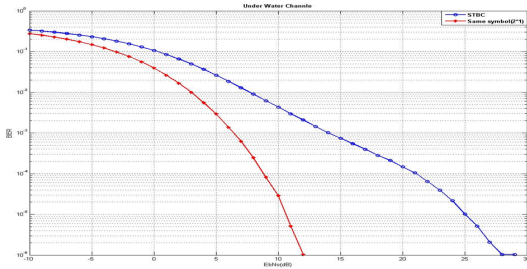


그림 12. MISO 통신에서 STBC 기술과 같은 심볼 전송 기술의 BER 성능
 Fig. 12. The BER performance of STBC and transmission of same symbol in MISO communication

의 성능이 향상됨을 알 수가 있으므로 수중통신에서는 같은 심볼을 전송하는 것이 더 적합함을 알 수 있다. 이유는 같은 심볼을 전송할 때에 각 송신 센서에서 전송한 데이터가 상관도가 높다 할지라도 그리고 다중경로에 의해 심볼이 손실 된다 할지라도 각 송신 센서에서 수신 센서의 다중경로가 한 심볼 안에 포함하면 성능 열화 요인을 막을 수 있음을 의미한다. 또한 다중경로에 따른 성능의 열화를 보상하기 위하여 5장에서 제안한 채널 추정 알고리즘을 사용하여 시뮬레이션 하였을 때의 BER 성능은 그림 13과 같다.

5장에서 제안한 채널 추정 알고리즘을 이용하여 같은 심볼을 MISO 기술로 전송하였을 때의 성능은 10-4 기준으로 약 6dB의 Eb/No로써 채널 보상 알고리즘으로 인한 성능의 향상을 보여주고 있다. 또한 채널 부호화 기술로 LDPC를 사용하였을 때는 약 5dB 이상의 성능 향상을 가져와서 가장 성능이 좋음을 알 수가 있다.

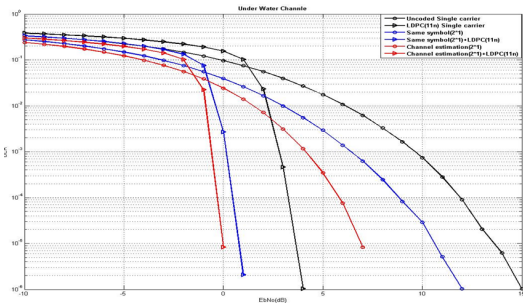


그림 13. 채널 추정 알고리즘에 따른 BER 성능
 Fig. 13. The BER performance by channel estimate

VII. 결 론

본 논문에서는 수중통신에서 적합한 전송 기술로는 반복 부호 기반의 LDPC 부호화와 채널 보상 알고리

즘을 결합한 MISO 기반의 수중 통신 모델을 제안 하였다. MISO 기술로써는 STBC를 적용하였을 때 채널의 상관도 및 다중 경로로 인한 송신 심볼의 상쇄 등으로 인하여 수중 통신에서는 오히려 SISO(Single Input Single Output) 통신 채널보다 성능이 열화됨을 시뮬레이션 결과를 통해 알 수 있다. 따라서 MISO 기술을 수중통신에 적용시키기 위해서는 각각의 송신기에서 서로 다른 심볼을 전송하는 방식이 아닌, 같은 심볼을 전송하여 통신의 신뢰도를 향상시키는 방식이 더 적합함을 제안하였다. 또한 수중통신채널에서 발생하는 다중경로로 인한 ISI를 줄이기 위한 방안으로 수중채널 전달함수의 역수를 이용하는 채널 추정 기법을 제안하여 성능의 향상을 나타내었다.

본 논문은 수중채널 환경의 시간적 변이 특성과 도플러 현상 등이 고려되지 않아서 실제 해양 환경과는 다소 차이가 있을 수 있지만, 수중 통신에서 적합한 MISO 채널에서 LDPC 부호화기를 이용한 BER 성능분석을 통하여 실제 해양에서 수중통신을 사용할 때 본 논문에서 제안한 시스템이 적합함을 알 수가 있다. 향후 서로 다른 심볼을 전송하는 시공간 부호화 기반의 MIMO 통신에 대한 독립적 채널 전송 방안 및 상관도를 줄일 수 있는 방안에 대한 연구가 필요하다.

참 고 문 헌

- [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 underwater acoustic communications", IEEE J. Ocean. Eng., Vol.21, No.2, pp.125-136, Apr. 1996.
- [3] G. J. Foschini, Jr. and M. j. Gans, "On limits of wireless communication in a fading environment when using multiple antennas", Wireless Personal Communication, pp.311-335, Mar. 1998.
- [4] F.B. Jensen, W.A. Kuperman, M.B. Porter, and H. Schmidt, Computational Ocean Acoustic, AIP Press, 1993.
- [5] T. Richardson, A. Shokrollahi, and R. Urbake, "Design of Provably Good Low-Density Parity Check Codes," IEEE Trans. Inform. Theory, Vol.47, No.2, pp.599-618 Feb. 2001.

- [6] ETSI EN 302 707 ver. 1.1.1, "Digital Video Broadcasting(DVB); Second generation framing structure, channel coding and modulation systems for Broadcasting Interactive Services, News Gathering and other broadband satellite applications", ETSI, Jun.. 2004.
- [7] Subhadeep Roy, Tolga M.Duman, Vincent McDonald, and John G. Proakis, "High-Rate Communication for Underwater Acoustic Channels Using Multiple Transmitters and Space-Time Coding: Receiver Structures and Experimental Results", IEEE JOURNAL OF OCEANIC ENGINEERING, Vol.32, No.3, pp. 663-688, Jul. 2007.

박 태 두 (Tae Doo Park)

정회원



2008년 2월 한국해양대학교 전
파공학과(공학사)
2010년 2월 한국해양대학교 전
파공학과(공학석사)
2010년 2월~현재 한국해양대
학교 전파공학과 박사과정
<관심분야> 위성통신, 이동통
신, 변·복조기술, 채널코딩, FPGA 기술 등

김 민 혁 (Min Hyuk Kim)

정회원



2006년 2월 한국해양대학교 전
파공학과(공학사)
2008년 2월 한국해양대학교 전
파공학과(공학석사)
2008년 3월~현재 한국해양대
학교 전파공학과 박사과정
<관심분야> 위성통신, 이동통
신, 변·복조기술, 채널코딩, FPGA 기술 등

임 병 수 (Byeong Su Lim)

준회원



2011년 2월 한국해양대학교 전
파공학과(공학사)
2011년 3월~현재 한국해양대
학교 전파공학과 석사과정
<관심분야> 위성통신, 이동통
신, 변·복조기술, 채널코딩,
FPGA 기술 등

정 지 원 (Ji-Won Jung)

정회원



1989년 2월 성균관대학교 전자
공학과(공학사)
1991년 2월 성균관대학교 전자
공학과(공학석사)
1995년 2월 성균관대학교 정보
공학과(공학박사)
1991년 1월~1992년 2월 LG
정보통신연구소 연구원

1995년 9월~1996년 8월 한국통신 위성통신연구실
선임연구원
1997년 3월~1998년12월 한국전자통신연구원 초빙
연구원
1996년 9월~현재 한국해양대학교 전파공학과 정교수
2001년 8월~2002년 8월 캐나다 NSERC Fellowship
(Communication Research Center 근무)
<관심분야> 위성통신, 이동통신, 변.복조기술, 채널
코딩, FPGA 기술 등