
수중 통신 환경에서 Z·F 검출기법을 이용한 시공간 부호화 방식 연구

박태두* · 박군열* · 정지원* · 김범무 · 전성민 · 이성로

*한국해양대학교, 국립목포대학교

The Study of Space-Time Code using Z·F Detection Technique for Underwater Communication Environment

Tae-doo Park* · Gun-yeol Park* · Ji-won Jung* · Kim Beom Mu · Jeon Sung Min

*Korea Maritime University, Mokpo National University

E-mail : bokddori@hhu.ac.kr, pgy04@hhu.ac.kr, jwjung@hhu.ac.kr

요 약

수중에서의 음향 통신의 성능은 신호의 다중경로 전달과정에 의해 발생하는 지역 확산 현상으로 인하여 인접간섭에 영향을 받는다. 그리고 음파를 이용한 주파수의 제한으로 인하여 낮은 전송 속도로 통신을 한다. 따라서 전송속도의 향상과 함께 인접간섭을 제거하기 위하여 수중 통신에 적합한 시공간 부호화 기술과 등화기 기술, 채널 부호화 기술이 필요하다. 본 논문에서는 이러한 기술들을 시뮬레이션을 통하여 수중 통신 시스템에 대한 분석을 하였다. 시뮬레이션 결과 본 논문에서 제시한 시공간부호화 기술, 터보부호화 기술, Zero Forcing 검출 기법을 이용하면 일반적인 수중 통신 보다 성능이 우수함을 알 수 있다.

ABSTRACT

The performance of underwater acoustic(UWA) communication system is sensitive to the Inter-Symbol Interference(ISI) due to delay spread develop of multipath signal propagation. And due to limited frequency using acoustic wave, UWA is a low transmission rate. Thus, it is necessary technique of Space-time code, equalizer and channel code to improve transmission speed and eliminate ISI. In this paper, UWA communication system were analyzed by simulation using these techniques. In the result of simulation, the proposed Space-time code, Turbo code, and Zero forcing techniques is shown that improved performance than conventional UWA communication.

키워드

Space Time code, Turbo code, Zero Forcing, Equalizer, Underwater acoustic communication

1. 서 론

수중에서의 통신은 다양한 해양환경 변화에 따라 시·공간의 변동성뿐만 아니라 다중경로 특성에 따라 지역 확산 현상(ISI, Inter-Symbol-Interference)이 발생하여 인접 심벌 간 간섭이 나타나 열악한 성능이 나타난다.[1] 따

라서 수중에서는 ISI를 보상하고 성능의 향상을 위하여 등화기 기술과 함께 채널 부호화 기술이 필수적으로 필요하다.[2] 그리고 음파를 이용하는 수중통신에서는 주파수 및 대역폭이 제한적이기 때문에 데이터 전송량의 향상을 위한 MIMO 기술이 연구되어 지고 있다. 하지만 국내의 경우 수중통신 분야의 실제 해양환경에서의 실측 데이터

를 이용한 수중 음향 통신에서 MIMO 기반의 시공간 부호화 기술에 관한 연구 사례가 부족한 실정이다.

따라서 본 논문에서는 수중통신의 신뢰도 향상과 함께 데이터 전송량의 향상을 위하여 Z·F (Zero Forcing) 검출 기법을 이용한 등화기와 반복 부호화 기술인 터보 부호화 기술을 시공간 부호화 방식의 시스템을 제안하고 시뮬레이션 및 분석하였다.

II. Z·F 기반의 등화기와 터보 부호기를 이용한 시공간 부호화 방식

본 논문에서 제안한 Z·F 검출법을 이용한 등화기와 터보 부호를 이용한 시공간 부호화 방식의 전체적인 시스템 구조는 그림 1과 같다.

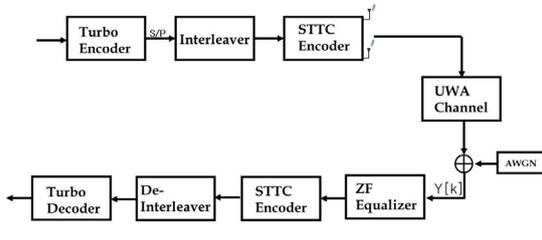


그림 1. 시스템 구조

전송하고자 하는 데이터는 먼저 채널 부호화 기법인 터보 Pi 부호화기를 통하여 부호화되어진다. 채널 부호화되어진 비트는 S/P(Serial/Parallel) 를 통하여 시공간 격자부호화기와 결합되어져 송신하게 되는 구조이다. 멀티패스 환경인 수중 채널을 통과한 수신신호 $Y_{[k]}$ 는 멀티패스로 인한 ISI 발생으로 왜곡된 신호를 Z·F 검출기법을 이용한 등화기를 거쳐 시공간 격자 부호기에 입력된다. 시공간 격자 부호기에서 출력된 신호는 De-interleaver 되어진 후 터보 부호를 거쳐 신호를 복원하는 구조이다.

2-1. Z·F 등화기

선형 등화기에서는 수신 심볼 벡터 $Y_{[k]}$ 에 등화기 필터 행렬인 G 를 곱하여 출력하게 된다. Z·F 등화기를 위한 식은 다음과 같이 정의 된다.

$$J = y - H\tilde{s} - Hs \quad (1)$$

H 는 수중 채널 특성이며 \tilde{s} 는 등화기를 통하여 추정되어진 등화기 출력값이라 하면, 식 (1)을 최소화 하는 등화기 출력값 $\tilde{s}_{Z·F}$ 는 다음과 같다.

$$\frac{\sigma_J}{\sigma_s} = -H^H y - H\tilde{s} = 0 \quad (2)$$

Z·F 등화기에 의해 추정된 심볼 벡터 필터 행렬 G 를 수신 심볼 y 에 곱하면 최종적으로 다음과 같은 식이된다.

$$\tilde{s}_{Z·F} = G_{Z·F} y = s + (H^H H)^{-1} H^H n \quad (3)$$

2-2. 터보 Pi 부호

DVB-RCS를 기반으로 하는 터보 부호는 기존의 1 bit를 입력하여 출력하는 binary 부호가 아니라 2 bit를 입력하고 출력하는 이진 바이너리 (double binary) 부호이다. 이진 바이너리 구조의 CRSC (Circular Recursive Systematic Convolutional) 부호는 반복 부호 기법을 이용하여 Shannon이 제시하는 이론적 한계 값에 매우 근접하는 우수한 오류정정 능력을 보이고 있다. 하지만 높은 SNR에서는 오류 마루 현상이 존재하여 이를 극복하기 위해 DVB-RCS NG 부호화 방식인 터보 Pi 부호기 구조를 사용하였다. 이러한 터보 Pi 부호화기는 기존의 이중 바이너리 구조를 이용하는 터보 구조와 동일하며, 단지 16상태를 이용하는 구조이다.[3]

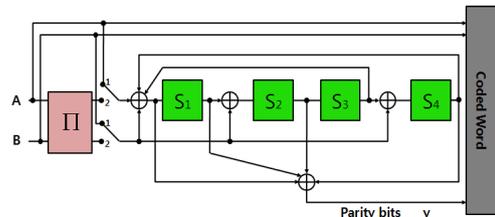


그림 2. 터보 부호기 구조

기존의 터보 부호화기는 3개의 S1, S2, S3 메모리를 가지며 8-state로 구성되어 있다. 터보 Pi 부호화기는 4개의 메모리를 가지며 16개의 state를 이용하여 각각의 상태가 가지는 해밍거리차이를 더 크게 만들어 오류 마루 현상을 제거할 수 있는 구조이다. Double binary bit A, B의 2 bit가 입력되면, 그림 2의 RSC부호화기를 거쳐 출력된 bit의 2 bit 단위의 Permutation 을 하여 나온 2 bit를 다시 RSC부호화 하여 각 부호화술에 적합하게 펼쳐링 한다. Permutation은 수신단에서 버스트 에러를 방지하고 오류마루현상(error floor)을 방지하기 위한 인터리버 효과를 나타낸다.

2-3 시공간 격자 부호

MIMO 시스템에서는 N개의 송신 안테나와 M개의 수신안테나를 이용하여 통신을 한다. 그림 3는 MIMO 시스템에서의 Blum에 의해 제안된 32-state의 시공간 격자 부호화기 구조이다.[4]

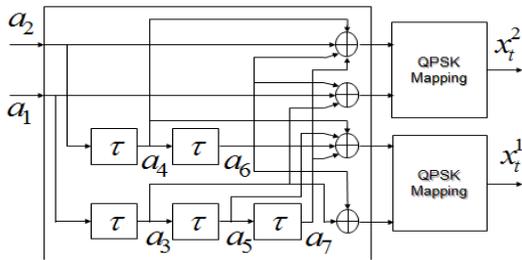


그림 3. 시공간 격자 부호기 구조

a_1, a_2 는 전송하고자 하는 bit이고 x_1^1, x_1^2 는 시공간 격자 부호화 이후의 QPSK 변조 되어진 전송 심볼을 나타낸다. 채널 환경은 심볼 주기 T 동안 서로 독립적인 분포를 가지는 레일리 페이딩 채널로써 주기 T 동안 채널의 변화가 없고, 수신단에서는 채널 추정을 정확히 알고 있다고 가정하였다. 이때의 수신 신호 $r_{j,t}$ 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$r_{j,t} = \sum_{i=1}^N h_{i,j} x_t^i + \eta_t \quad (4)$$

여기서 $t(t=1,2,\dots,T)$ 는 송신신호에 대한 시간이며, x_t^i 는 시간 t 에서 $i(i=1,2,\dots,N)$ 번째 송신안테나에서의 전송 심볼이다. 그리고 $h_{i,j}$ 는 i 번째 송신안테나와 j 번째 수신 안테나에서의 페이딩 진폭을 나타내며, η_t 는 가우시안 잡음을 나타낸다.

시공간 부호화되어 전송되어진 수신 신호 $r_{j,t}$ 는 수신 안테나의 수에 따라 code combine을 통하여 신호를 합성하게 된다. 합성되어진 신호는 복호를 위하여 BCJR 복호기에 입력된다. BCJR 복호기에서는 branch matrix, forward state matrix, backward state matrix를 구하기 위하여 입력 값에 따른 출력 값과 함께 변화하는 state를 나타내는 격자도를 이용하여 복호하게 된다.

III. 시뮬레이션 환경 및 결과

그림 4는 수중통신 채널의 지연 특성을 나타내고 있다.

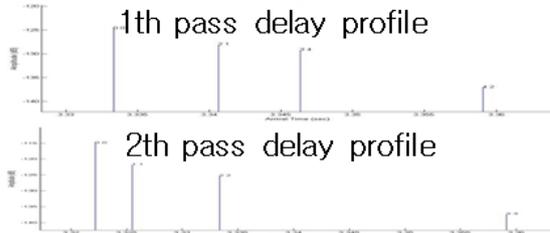


그림 4. 수중통신 채널 지연 특성

각각의 채널에 총 4개의 채널 응답이 긴 시간 간격을 두고 나타나는 것을 알수가 있다. 이러한 특성으로 인하여 수신 심볼간의 ISI 발생하여 신

호가 왜곡된다.

본 논문에서 사용한 터보 부호기는 부호화율 1/2, 부호기 입력 크기가 1504 bit를 사용하였다. 시공간 격자 부호기는 2개의 송신 안테나를 이용하는 32-state를 사용하였고 랜덤 인터리버를 사용하여 시뮬레이션 하였다. 그림 5는 시뮬레이션을 통한 BER 성능을 나타내고 있다.

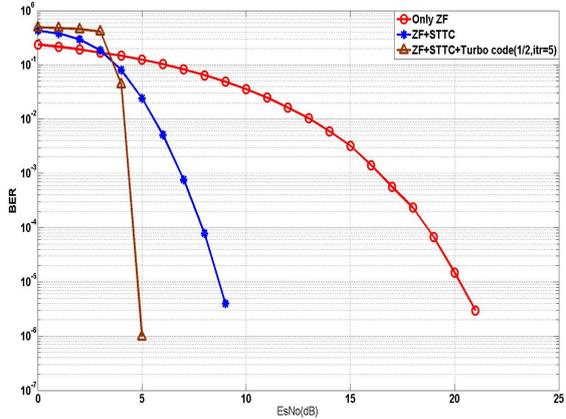


그림 5. 수중통신에서의 BER 성능

시뮬레이션 결과 수중통신에서 Z·F 등화기만을 사용하였을 때 BER 10⁻⁴ 기준 Es/No가 약 20dB에서 만족할만한 성능이 보여지고 있다. 그리고 본 논문에서 제안한 Z·F 검출기법을 이용한 등화기와 터보 부호를 이용한 시공간 부호화 방식에서는 Z·F 등화기와 시공간 격자 부호만을 이용하였을 때 보다 Es/No가 약 3dB 향상됨을 알 수 있다. 따라서 본 논문에서 제안한 시스템이 수중 통신에서의 성능을 향상시키기 위해 적합함을 알수가 있다.

IV. 결 론

수중에서의 통신은 다중 경로 전달 특성으로 인하여 ISI가 발생하여 신뢰도가 크게 저하된다. 또한 전송량에 있어서도 일반적인 육상의 통신 보다 아주 많이 떨어지게 된다. 이를 극복하기 위하여 본 논문에서는 ISI를 제거하고 신뢰도를 향상시키기 위하여 Z·F 검출기 기반의 등화기와 함께 반복 기반의 터보 부호화기를 사용하였다. 또한 시공간 격자 부호를 이용한 MIMO 기술을 적용시켜 전송량 측면에서도 성능의 향상을 가져올수 있다. 이에 본 논문에서는 Z·F 등화기와 터보 부호를 이용한 시공간 부호화 방식을 이용하는 수중통신 시스템에서의 성능을 시뮬레이션을 통하여 분석하였고 분석결과 BER 성능이 향상됨을 확인할 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음 (NIPA-2013-H0301-13-2005), 본 연구는 방위사업청과 국방과학연구소의 지원 (계약번호 UD110101DD)으로 수행되었음

참고문헌

- [1] R. J. Urick, *Principles of underwater sound 3d ed*, McGraw-Hill, pp. 99-201, 1983
- [2] M. Stojanovic, J. Catipovic, and J. Proakis, "Phase-coherent digital communications for underwater acoustic channels," *IEEE J. Oceanic Eng.*, vol.19, no.1, pp.100-111, 1994
- [3] Douillard, C. and Berrou, C., "Turbo Codes with Rate- $m/(m+1)$ Constituent Convolutional Codes", *IEEE Trans. Commun.*, Vol. 53, No. 10, pp. 1630-1638, 2005
- [4] Blum, R. S. and Lin, X., "Improved space-time codes using serial concatenation", *IEEE Commun. Lett.* Vol. 4, pp. 221-223, 2000