

수중 통신 환경에서의 MIMO-OFDM 시스템 성능 분석

한동결* · 회빙* · 장경희* · 변성훈** · 김시문** · 임용곤**

*인하대학교 · **한국해양연구원

Performance of MIMO-OFDM Systems for Underwater Communications

Dong-Keol han* · Bing Hui* · KyungHi Chang* · Sung-Hoon Byun** · Sea-Moon Kim** ·

Yong-Kon Lim**

*Inha University · **Korea Ocean Research and Development Institute

E-mail : xellos1982@naver.com · huibing_zxo@163.com · khchang@inha.ac.kr · byunsh@moeri.re.kr

smkim@moeri.re.kr · yklim@moeri.re.kr

요 약

본 논문에서는 MIMO-OFDM 시스템의 성능 분석을 위해 실제 측정된 채널 데이터를 사용한 수중 채널 모델을 기반으로 OFDM 파라미터들을 설정하였다. 또한, 선형 보간법을 이용한 least square (LS) 채널 추정기법을 이용하여 채널의 상태 정보를 획득하였다. Alamouti code를 이용한 space-time block code (STBC) 및 space-frequency block code (SFBC)를 적용하여 그 성능을 평가 및 분석 하였으며, 동시에 1x2 maximum ratio combining (MRC)을 적용하여 성능을 비교 분석 한 결과, SFBC의 경우 수중 채널의 심각한 주파수 선택적 특성으로 인하여 유효한 BER 특성을 보이지 못하였으나, STBC의 경우 4-column 파일럿 구조를 적용하였을 때, SISO 시스템과 비교하여 약 7dB 정도의 향상된 성능을 나타내고 있음을 확인하였다.

ABSTRACT

In this paper, by considering the real UWA channel environments, the measured channel data is used to generate the UWA channel model and calculate the relative parameters for underwater OFDM systems. Practical least square (LS) based channel estimation with linear interpolation are adopted to obtain the channel state information (CSI) at receiver side. As multi-input multi-output (MIMO) processing techniques, Alamouti code is implemented and evaluated to perform for space time block coding (STBC) and space frequency block coding (SFBC) for UWA OFDM systems with the MIMO configuration of 2×1 , at the same time, 1×2 maximum ratio combining (MRC) is performed for the purpose of comparison. The simulation results show that, with perfect channel estimation, SFBC failed to work duo to the serious frequency selectivity of UWA channel environments. When the practical channel estimation is applied, in the case of STBC, the proposed 4-column pilot pattern gives better performance about 7dB than SISO system.

키워드

수중 통신, OFDM, MIMO, 채널 추정

1. 서 론

수중 채널 환경에서 다중경로로 인한 지연 확산은 심볼 간 간섭의 원인이 되어 송신된 심볼들을 왜곡시켜 수중 통신의 심각한 장애 원인이 된다. 따라서 지연 확산에 우수한 성능을 나타냄과 더불어 높은 데이터 전송률을 지원하는 OFDM과 같은 다중 반송파 변조방식에 대한 관심이 크게

증가하고 있다^[1].

또한, 수중 통신 시스템에 MIMO 기술을 적용함으로써 매우 열악하고 제한적인 주파수 대역폭을 가진 수중 채널 환경 하에서, 주파수 효율을 증가시키고 강건한 수중 통신 시스템을 구성할 수 있다^[2].

따라서 본 논문에서는 수중 통신 시스템에 전송 다이버시티 기법과 MRC 기법을 적용한

MIMO-OFDM 시스템의 성능을 평가 및 분석한다. 본 논문의 II장에서는 MIMO-OFDM 시스템을 설계하기 위하여 파일럿 구조 제안 및 OFDM 파라미터등을 설정한다. III장에서는 MIMO-OFDM 시스템에 대한 성능 분석을 한 후, IV장에서 결론을 맺는다.

II. 수중 통신 환경을 위한 MIMO-OFDM 시스템 설계

본 논문에서는 MIMO 기술로, Alamouti code를 이용한 STC 및 SFC와 같은 전송 다이버시티 기술을 적용하며, 더불어 수신 combining 기술로 MRC 기법을 적용한다.

2-1 수중 채널 모델

수중채널 모델은 천해역에서 측정된 데이터를 이용하였으며, 수중 채널 모델의 각 경로는 Rayleigh 페이딩을 적용하였다. 그림 1은 수심 20m에서, 25kHz의 반송 주파수를 사용한 경우의 기저대역 채널 응답을 나타내고 있다.

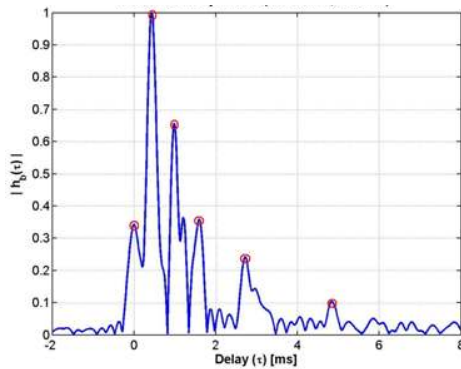


그림 1. 측정된 기저대역 수중 채널 응답

2-2 파일럿 Pattern 및 채널 추정

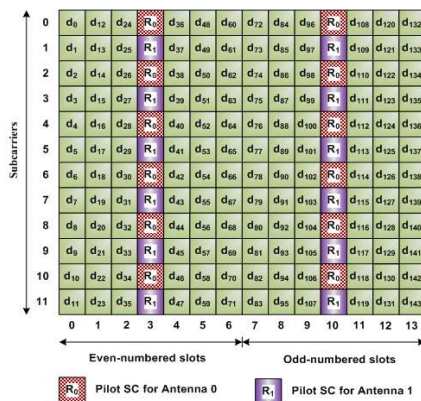


그림 2. 제안된 2-column 파일럿 구조

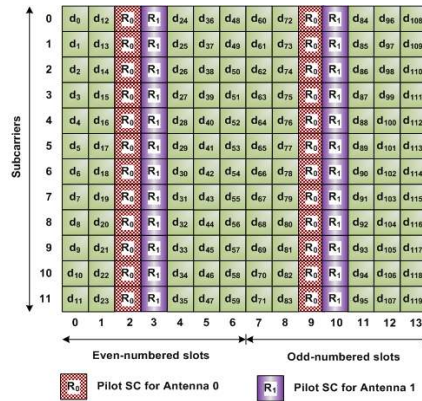


그림 3. 제안된 4-column 파일럿 구조

그림2와 3은 2개의 전송 안테나를 갖고 있는 MIMO 시스템을 위한 제안된 파일럿 구조를 나타낸다. 그림 3의 파일럿 구조의 경우, 그림 2의 파일럿 구조와 비교하여 2배의 파일럿 개수를 사용함으로써, 전송 효율과 link-level 성능 간 트레이드오프 관계를 갖는다.

한편, 본 논문에서 적용한 LS 채널 추정 기법은 파일럿의 추정된 채널 상태정보를 바탕으로, 선형 보간법을 이용하여 나머지 다른 위치의 채널 상태 정보를 추정하는 기법으로, 간단하며 연산 복잡도가 낮은 장점이 있다.

2-3 OFDM 파라미터

그림 1의 수중 채널 모델을 기반으로 필요한 OFDM 파라미터들을 표 1에 정리하였다.

광대역 OFDM 시스템을 적용하며, 긴 지연 확산으로 인한 전송 효율 감소를 방지하기 위하여 zero prefix를 사용한다^[3].

표 1. OFDM 시스템 파라미터

Parameter	Value	
Water Depth	20 m	
Carrier Frequency	25 kHz	
Bandwidth	10 kHz	
RMS Delay	2.38 ms	
Guard Interval	6 ms	
Symbol Duration	32 ms	
FFT Size	256	
No. of Data Subcarrier	224	
Subcarrier Bandwidth	39	
Modulation Type	QPSK (Uncoded)	16QAM (Uncoded)
Data Rate	14 kbps	28 kbps

III. 시뮬레이션 결과 및 성능 평가

이번장에서는 수중 통신 환경에서의 제안된 MIMO-OFDM 시스템의 성능을 평가 및 분석한다.

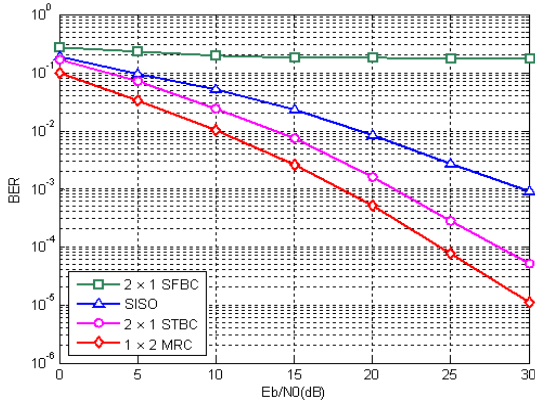


그림 4. 완벽한 채널 추정 환경에서 MIMO-OFDM 시스템 성능

그림 4는 완벽한 채널 추정 상황에서 SISO-OFDM 시스템의 경우와 MIMO-OFDM 시스템의 BER 성능을 비교한 결과이다. MRC와 STBC 기법을 적용하였을 경우 SISO-OFDM의 경우 보다 좋은 성능을 나타내고 있음을 확인할 수 있다. SFBC 기법의 경우 유효한 BER 특성을 관찰할 수 없는데, 이는 수중 채널 환경의 심각한 주파수 선택적 페이딩으로 인한 급격한 채널 상태 변화로 인하여 Alamouti code가 효율적으로 동작하지 못하기 때문으로 분석된다.

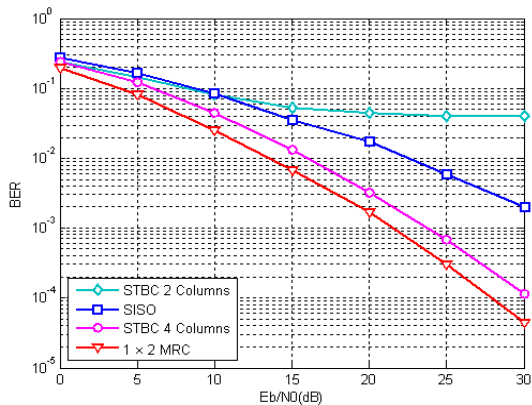


그림 5. LS 채널 추정 환경에서의 MIMO-OFDM 시스템 성능

그림 5는 LS 채널 추정 환경에서, 두 가지 제안된 파일럿 구조를 갖는 2x STBC와 1x2 MRC를 적용한 MIMO-OFDM 시스템의 BER 성능 결

과이다. STBC 2-column의 경우 15dB 이후부터 error floor가 발생하고 있는데, 심각한 주파수 선택적 페이딩으로 인해 정확한 채널 추정이 이루어지지 못해 발생하는 것으로 분석된다. 상대적으로 파일럿 개수가 많은 STBC 4-column의 경우 SISO 시스템에 비해, 약 7dB 정도 우수한 성능을 나타내고 있음을 확인할 수 있다.

IV. 결 론

본 논문에서는 수중 통신 시스템에 SFBC 및 STBC와 같은 전송 다이버시티 기법과 MRC 기법을 적용한 MIMO-OFDM 시스템을 측정 채널 데이터를 사용하여 모델링한 수중 채널 모델을 이용하여 그 성능을 평가 및 분석하였다. 시뮬레이션 결과 SFBC의 경우, 완벽한 채널 추정 환경에서도 수중 채널의 심각한 주파수 선택적 특성으로 인하여 유효한 BER 특성을 보이는데 실패하였으며, LS 채널 추정 환경에서 STBC의 경우 제안한 4-column 파일럿 구조 적용 시, SISO 시스템의 경우와 비교하여, 약 7dB 정도 우수한 성능을 나타내고 있음을 확인할 수 있다.

참고문헌

- [1] Z. Jiang, "Underwater acoustic networks issues and solutions," *International Journal of Intelligent Control and Systems*, vol.13, no.3, pp.152-161, Sep. 2008.
- [2] R. F. Ormondroyd, "A Robust Underwater Acoustic Communication System using OFDM-MIMO," in *Proc. OCEANS*, Jun. 2007, pp. 1-6,
- [3] B. Li, S. Zhou, M. Stojanovic, and L. Freitag, "Pilot-tone based ZP-OFDM demodulation for an underwater acoustic channel," in *Proc. IEEE Oceans*, Sept. 2006, pp.1-5.