

수중 음향 채널에서 가변 전송율 다중 반송파 CDMA의 성능 분석

강희훈* · 한완옥**

Performance analysis of Variable Rate Multi-carrier CDMA under an underwater acoustic channel

Hee-Hoon Kang* · Wan-Ok Han**

요약

수중 음향 채널은 매우 복잡하고 지속적인 시변 특성을 가지므로 양질의 통신 서비스를 제공하기란 쉽지 않다. 이러한 수중 음향 채널의 열악한 환경에 대해서 신뢰성이 있고 강건한 통신 서비스를 제공하기 위해서 본 논문에서는 데이터 전송율을 가변시키는 다중 반송파 CDMA(MC-CDMA) 시스템의 성능을 분석한다. 제안한 시스템에 적용한 가변 전송율 알고리즘은 사용자 데이터 전송율을 순시 채널 조건의 함수로 계산하여 채널의 정보를 파악한다. 채널 상태 정보의 획득은 보다 효율적으로 데이터를 전송할 수 있게 하고 시스템의 전반적인 성능을 개선하게 한다. 본 논문에서는 제안한 가변 전송율 다중 반송파 CDMA 시스템의 성능 분석을 시뮬레이션을 통해서 검증한다. 또한 다중 반송파에 적용하는 확산부호들의 적용 가능성을 분석한다.

ABSTRACT

As underwater channel is very complex and time-varying, don't supports good-quality for communication service. In this paper, a multi-carrier CDMA(MC-CDMA) system for the reliability and robust service in the underwater acoustic channel is proposed and analyzed for its performance. Applied variable rate algorithm to the proposed system gets a channel state information from relationship between SINR and user data-rate. Using channel state information make spectrum usage more efficient and overall system performance improved. In this paper, the performance of proposed system analyzed by simulation. And Pseudo-Random spread codes used in the system are discussed.

키워드

Variable rate multi-carrier CDMA(VA MC-CDMA), Acoustic, Underwater communication, Multipath, Doppler shift
가변율 다중반송파 CDMA, 수중음향 통신, 수중음향 채널 페이딩, 다중부호 CDMA

1. 서론

지난 10여년 동안 수중 음향(UnderWater Acoustic : UWA) 통신은 지속적인 발전을 거듭해 왔다. UWA 통신은 최근 환경 시스템의 오염 감시, 해양 오염 산업의 원격제어, 심해의 과학적 데이터 수집등과 같은

다양한 분야에서 관심의 대상이 되고 있다.[1]~[3]

수중 전송매체를 사용하는데 있어 주된 제약은 매우 복잡하고 시간에 따라서 지속적으로 변화하는 수중 음향 채널의 특성이다. 그럼에도 불구하고, UWA 통신에서 수중 음향 채널이 사용되는 것은 기존의 무선통신인 전파로는 통신이 불가능하기 때문이다. 따라

* 여주대학 전자과(kanghehn@daum.net)

** 여주대학 자동차과(hhwok@yit.ac.kr)

접수일자 : 2011. 11. 20

심사(수정)일자 : 2011. 12. 05

게재확정일자 : 2011. 12. 22

서 데이터의 송수신을 위해 가장 일반적인 모드로 음파를 사용하고 있다. 이러한 이유로 UWA 매체의 사용은 아날로그 음성 통신 시스템으로 제한되어 왔으며 그 사용 목적이 심해재난 및 구난등과 같은 긴급 통신에 한정되어 있다. 그러나 다양한 해양 서비스를 위해서 양질의 통신 서비스에 대한 신뢰성도 요구되고 있다. 이러한 요구에 대해서 수중 채널의 복잡성과 지속적인 시변 특성에 대해서 가변속도 데이터 전송을 보장하고 통신 시스템의 신뢰성과 강건성을 제공하기 위해서 가변 전송을 다중 반송파를 사용한 CDMA 시스템을 제안하고 성능을 분석한다.

II. 제안한 시스템 모델

2.1. 제안한 시스템 모델

2.1.1 다중 반송파 CDMA

그림 1은 수중 음향 채널에서 가변 전송을 다중 반송파 CDMA 블록도를 나타낸다. 채널상태 평가와 모드 선택은 수신단에서 이루어지고 역방향 채널을 통해서 다음 전송에 대한 정보가 송신기에 전달된다. 이 모델에서 적용은 프레임 단위로 이루어진다.

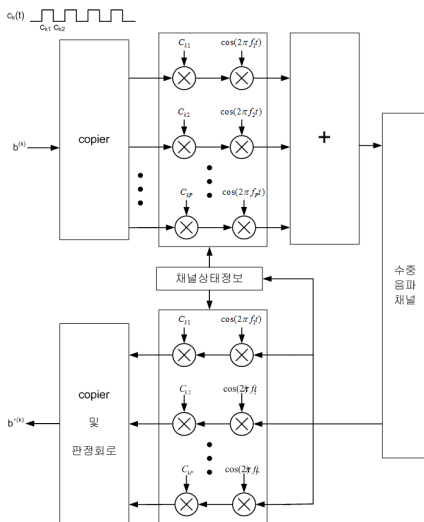


그림 1. 제안한 가변 전송을 다중반송파 CDMA 시스템 블록도

Fig. 1 The proposed variable rate multi-carrier CDMA system under an underwater acoustic channel

MC-CDMA 시스템을 표현하는 데에는 여러 가지 방법이 있다[4]. MC-CDMA는 시간에 대해서 고정적이지만 부반송파 주파수가 변하는 부호로써 주파수 영역에 확산된 확산스펙트럼의 한 형태로 고려될 수 있다. MC-CDMA를 표현하는 또 다른 방법으로는 역푸리에 변환을 수행하는 DS-SS-CDMA이다. MC-CDMA는 사용자의 데이터에 대해서 직교 행렬 동작이 수행되는 OFDM으로 간주할 수 있다. 각 비트가 다수의 부반송파 상에서 동시에 전송되는 것처럼 MC-CDMA도 주파수 다이버시티의 한 형태이다. 각 부반송파는 사용자를 구분하기 위한 부호를 형성하는 일정한 위상 오프셋을 가진다. ($0 \leq k < K$)인 K명의 사용자를 가지는 MC-CDMA 시스템을 고려해 보자. 사용자 k에 대한 전송신호는 식(1)과 같이 표현된다. [5]

$$s_k(t) = \sqrt{E_k} \sum_{n=-\infty}^{\infty} \sum_{p=1}^P b_k[n] u_T(t-nT) c_{k,p}[n] \cos(\omega_p t) \quad (1)$$

여기서 k번째 사용자에 대한 E_k 는 심볼 에너지를 나타내고 $b_k[n]$ 는 시간 n에서 사용자 k의 데이터 비트를 나타내고는 부반송파 p의 사용자 k에 대한 확산 시퀀스이고 ω_p 는 부반송파 p의 각주파수를 나타낸다. T는 심볼구간이고 $u_T(t)$ 는 연속적인 심볼들을 구분하는데 사용되는 주기 T의 구형과 펄스이다.

그림 2는 MC-CDMA 시스템을 나타낸다. 각 칩은 P개의 가지(Branch)로 복사되고 사용자를 규정하는 확산 부호의 해당 칩에 곱해진다. 각 가지는 그 후 부반송파로 변조되고 변조된 부반송파는 함께 더해진 후 전송된다. 다중반송파 CDMA를 사용하는데 있어 여러 장점이 있다. 먼저 다중경로에 대한 현상을 감소시킬 수 있다는 것이다. 다중경로는 수신단에서 보강 간섭(constructive interference)과 상쇄간섭(destructive interference)을 발생하는 원인이다. 상쇄간섭은 수신신호 전력에 깊은 널(null)을 야기한다. 협대역 전송에 있어, 주파수 응답 널(null)이 단일 주파수에서 발생하면 전체신호를 상실할 수 있다. 그러나, 광대역 신호에서 스펙트럼의 딥(dip)들은 적은 신호전력만을 잃게 된다. 또한 전송대역이 많은 부대역으로 분할된다면, 스펙트럼 널은 모든 부반송파에서는 거의 발생하지 않는다. 다른 장점으로는 주파수 영역에서 등화

기의 구현이 용이하다는 것이다[6].

2.1.2 다중부호 다중반송파 CDMA 시스템

다중경로 페이딩 채널에서 다중부호 CDMA 시스템의 성능을 개선하기 위해서 다중부호 MC-CDMA를 제안하고 성능을 평가한다[7]. 그림 3은 가변전송율 다중부호 MC-CDMA의 송신기를 나타낸다.

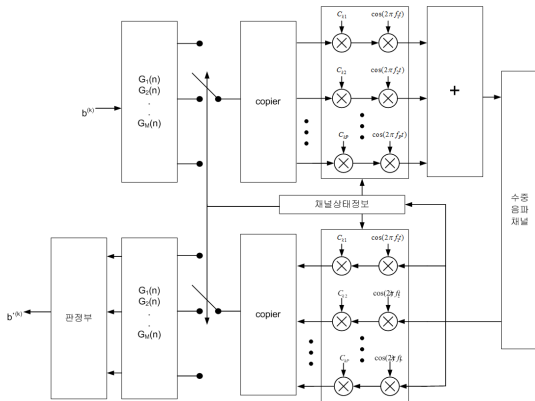


그림 2. 다중 부호 MC-CDMA 송신 시스템
Fig. 2 Transmitter of multi-code multi-carrier CDMA system

다중부호 CDMA 송신기에서처럼, M진 심볼은 전송을 위해서 M개의 부호 시퀀스 중 하나에서 선택한다. 부호 시퀀스의 각 칩들은 P개의 가지에 복사된다. 사용자 규정 시퀀스의 각 칩은 부합하는 각 가지에서 곱해진다. 이들 가지들의 각각은 그 후 P개의 직교 부반송파중 하나로 변조되고 변조된 것들은 최종적으로 합해진다. 이러한 과정은 부반송파 곱과 합을 대신해서 크기 P의 IFFT(Inverse Fast Fourier Transform)를 사용하여 디지털적으로 구현된다.[8][9] 수신단에서는 크기 P의 FFT(Fast Fourier Transform)로 복원한 후에 수신된 부호 시퀀스의 각 칩을 발생하기 위해서 역확산된다. 다중부호 CDMA 시스템에서 언급한 필터뱅크를 사용하여 연속적으로 복호가 이루어지며 MC-CDMA 방식은 다중경로를 완화시키는 주파수 다이버시티를 제공한다[11].

2.2. 수중 음향 채널의 특성

수중 음향 통신채널은 매우 복잡한 특성을 나타낸다. 이러한 복잡성은 채널이 이질적이라는 것을 나타낸다. 주로 고체나 기체의 입자들에 의해서 수중의 이질성과 밀도 그리고 온도 기술에 의해서 수중 채널의 불완전성이 나타난다. 수중 채널에 대한 복잡한 특성은 아래와 같이 4가지의 관점에서 정의할 수 있다.

- a) 간섭과 반향
- b) 기하학적인 왜곡과 흡수에 기인한 전송 손실
- c) 환경 잡음
- d) 송신기와 수신기사이의 상대적인 이동으로 인한 도플러 확산

2.1.1. 다중 경로 현상

그림 3는 수중 음향 채널의 다중경로를 나타낸다. 해표면과 해저바닥의 경계는 에너지를 반사한다. 이러한 반사파는 다양한 경로를 통해서 송신기에서 수신기에 도달한다. 이는 더 나아가 불완전한 경계에 의해서 보다 복잡해진다. 수중 경로의 전체적인 다중경로 현상은 신호의 시간 분산을 야기한다. 시간 확산은 깊은 수중의 수초에 비해서 얇은 수중에서 수백 밀리초 만큼 높을 수 있다. 높은 주파수에서, 전체 시간 확산은 경계에서 흡수와 수중에서 감쇠로 인해서 적다. 다중경로 채널은 다중경로 전파전파에 의해서 영향을 받으며 또한 일시적인 변화를 야기하는 이동이나 다중접속에 의한 간섭등도 영향을 주게 된다. 따라서 간섭등의 페이딩 현상을 줄이기 위한 기술로 다중부호 시스템 가변 데이터 전송율이 사용될 수 있다 [10].

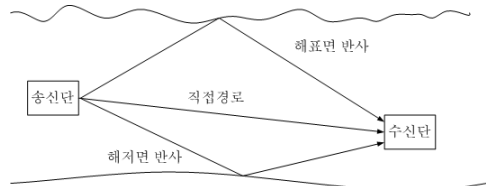


그림 3. 수중 음향 채널의 다중경로 모델
Fig. 3 Multipath model of an underwater acoustic channel

본 논문에서의 채널 모델은 다음과 같은 파라미터를 적용한다[3].

- 채널길이 : 2000[m]
- 채널 깊이 : 300[m]
- 송수신기의 깊이 : 50[m]
- 해수면과 해저면에 의한 손실 : 3[dB]

위의 수중 음파 채널에서 2차 다중경로는 사용하지 않았으며 다중경로 중 가장 큰 영향을 미치는 1차분만을 적용한다. [3]로부터 직접파와 감쇠를 겪은 1차 다중경로의 손실은 4[dB]로 직접파 신호의 0.63배이다.

2.1.2. 전송 손실

음파의 세기는 기하학적 확산과 흡수 매커니즘에 의해서 수중을 전파하는 동안 감쇠된다. 수중에서 음파의 감쇠는 RF(Radio Frequency)전자기파에 비해서 무시될 수 있지만 수중에서 흡수되는 에너지의 손실은 상당하다. 기하학적 확산에 기인한 손실은 구형이거나 원통형 특성이다. 이는 TL(Transmission Loss : 전송손실)이라고 표기하며 식(2)와 같다. 단위 범위당 손실은 주파수 f 와 감쇠상수 α 의 함수이고 하며 단위는 dB이다[8].

$$TL(f) = 20\log R + \alpha(f)R \quad (2)$$

여기서 R은 방사원으로부터 복사 거리이다.

2.1.3. 환경 잡음

환경 잡음은 수신된 SNR에 영향을 주고 송신 전력을 조절하게 한다. 환경 잡음 관심 영역에 대해서 주파수에 따라 일반적으로 감소한다. 해변 환경이나 수중 작업장은 깊은 해저 환경보다 잡음이 더 많다 [11].

2.1.4. 도플러 영향

이는 송신기와 수신기 사이의 상대적인 이동이나 물의 이동에 의해서 나타난다. 한 방향에 대해서 1[knots.KHz]당 0.35[Hz]의 주파수 천이가 발생한다. 상대적인 이동이 양방향인 경우, 0.70[Hz/(knots.KHz)]의 주파수 천이가 발생한다. 흡수 손실과 송수신기 특성에 의해 야기되는 채널 대역의 부족으로 인해서, 도플러 확산은 가용 대역을 축소시킨다[3].

III. 시뮬레이션 결과

제안한 시스템은 Mathwork사의 매트랩을 이용하여 가상적인 수중음향 환경하에서 성능을 평가한다. 다중경로 페이딩을 가지는 수중음향 채널에서 가변 전송을 적용한 다중부호 다중반송파 CDMA 시스템과 적용하지 않는 두 시스템을 성능을 분석한 후 비교한다. 수행한 시뮬레이션 파라미터들로부터 수중 송수신기의 속도와 반송파 주파수, 최대 도플러 천이가 산출되었다. 가변 전송을 다중반송파 CDMA 시스템의 성능을 분석하기 위한 환경 파라미터를 표-1에 정리한다.

표 1. 제안된 시스템에 대한 시뮬레이션 파라미터
Table 1. Simulation parameters for the proposed system

파라미터	값
다중 부호 시퀀스 길이	256
다중 부호 시퀀스 칩율	32.412Kcps
다중 부호 시퀀스 집합의 크기, M(M진 심볼)	2, 4, 8, 16, 32, 128, 256
송수신기 이동속도	5~10Km/h
반송파 주파수	40KHz
표본 주파수	88[KHz]
최대 도플러 천이	3Hz

다중경로 페이딩을 가지는 수중음향 채널에서 다중부호 다중반송파 시스템 시뮬레이션에 대해 다중부호 시퀀스는 집합중에서 선택된다. 그림 4는 수중음향채널에서 가변을 전송을 적용하지 않은 다중부호 CDMA와 다중부호 MC-CDMA, 그리고 가변을 전송을 적용한 한 다중부호 MC-CDMA의 BER 성능을

나타낸다.

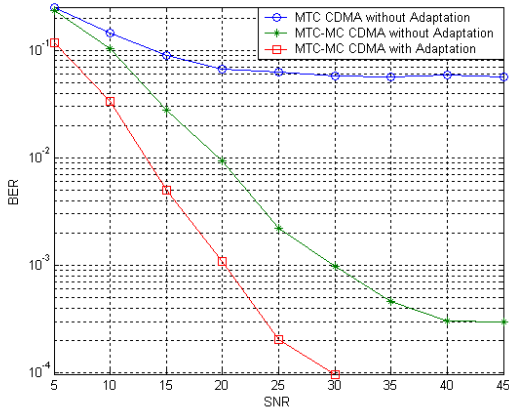


그림 4. 수중음향 채널에서 다중부호 CDMA, 다중부호 MC-CDMA 그리고 가변 전송율 다중부호 MC-CDMA의 BER 대 SNR 성능(사용자수 = 10, 부반송파수 = 16, 다중 부호 길이 = 16)

Fig. 4 BER versus SNR for multicode CDMA, multicode MC-CDMA without adaptation, and multicode MC-CDMA with adaptation in an underwater acoustic channel. (No. of Users = 10, subcarrier = 16 for multicode MC, M = 16 for multicode CDMA and multicode MC-CDMA without adaptation)

그림 4에서 알 수 있듯이 제안한 다중부호 MC-CDMA 시스템은 다중부호 CDMA 시스템보다 좋은 BER 성능을 나타낸다. 또한 그림 4에서 가변 전송율을 적용한 다중부호 MC-CDMA 시스템이 다른 시스템보다 성능이 우수하다는 것을 알 수 있다. 10^{-3} 의 BER을 얻기 위해서 가변 전송율을 적용한 MTC MC-CDMA에서는 대략 20[dB] SNR로 전송율을 가변하지 않는 방법과 비교하여 10[dB]정도의 전력이득이 있음을 알 수 있다.

그림 5은 가변 전송율 알고리즘이 적용된 다중 부호 MC-CDMA 시스템에 대한 사용자 수대 평균 M 값인 확산부호의 평균 수에 대한 성능을 나타낸다. 사용자의 수에 대해서, BER 성능은 평균 M값이 감소하더라도 거의 동일한 수준에서 유지된다. 그러므로, 목적으로 하는 BER에 대해서 채널환경에 의존하는 M값, 데이터율을 제어함으로써 용량을 증가시킬 수 있다.

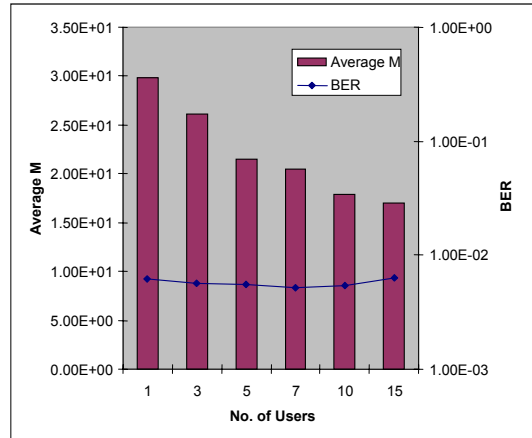


그림 5. 수중음향 채널에서 다중부호 MC-CDMA에 대한 사용자 수 대 평균 M

Fig. 5 Average M versus No. of users for multicode MC-CDMA with Adaptation in an underwater acoustic channel. (SNR = 40dB)

V. 결론

본 논문에서, 기존의 무선통신 채널에 비해 매우 복잡한 구조로 감쇠와 다중경로등이 발생하는 수중 음향채널에서의 통신을 위한 가변 전송율 다중부호 MC-CDMA의 성능에 대해서 분석하였다. 수중음향채널과 같은 채널 상태가 좋지 못하는 환경에서의 가변 전송율 방식은 채널의 사용 효율을 개선할 수 있음을 알 수 있었다. 본 논문에서는 가변 전송율 다중부호 MC-CDMA 방식의 장점을 고정통신의 장점과 비교하였으며 더 좋은 적응 알고리즘은 데이터 처리량을 개선하는데 사용될 수 있다. 또한, 음향 통신에서의 서비스 품질을 나타내는 척도로 BER를 고려하여 BER 성능을 일정하게 할 경우, SINR의 스위칭 임계값을 얻을 수 있었다. 그림 5에서 알 수 있듯이 사용자의 수가 작을수록 BER 특성이 좋아졌다. 이는 사용자수를 늘림으로써 BER 성능을 다소 낮추어야 하는 트레이드-오프 관계임을 의미한다. 따라서 향후 좋은 BER 성능에 사용자 수를 증대시키기 위해서는 오류정정부호의 효율적인 사용과 이에 대한 가변 전송율 알고리즘의 연구가 진행되어야 한다.

참고 문헌

- [1] M. Chitre, S. H. Ong, and J. Potter, "Performance of coded OFDM in very shallow water channels and snapping shrimp noise," in Proceedings of MTS/IEEE OCEANS, Vol. 2, pp. 996-1001, 2005.
- [2] P. J. Gendron, "Orthogonal frequency division multiplexing with on-off keying: Non-coherent performance bounds, receiver design and experimental results," U.S. Navy Journal of Underwater Acoustics, Vol. 56, No. 2, pp. 267-300, Apr. 2006.
- [3] Ram Pattarkine, "High Rate OFDM Acoustic Link for Underwater Communication", http://www.its.bldrdoc.gov/isart/art05/call_papers/pat_r/pat_r_call_papers.pdf.
- [4] N. Yee, J-P. Linnartz and G. Fettweis, "Multi-Carrier CDMA in Indoor Wireless Radio Networks," Proc. of IEEE PIMRC' 93, pp.109-113, Sept. 1993.
- [5] X. Gui and T. S. Ng, "Performance of Asynchronous Orthogonal Multicarrier System in a Frequency Selective Fading Channel", IEEE Trans. On Communications, Vol. 47, No. 7, pp.1084-91, July 1999.
- [6] B. Li, S. Zhou, M. Stojanovic, L. Freitag, and P. Willett, "Multicarrier communication over underwater acoustic channels with nonuniform Doppler shifts," IEEE Journal of Oceanic Engineering, Vol. 33, No. 2, Apr. 2008.
- [7] Fu, P.W., Chen, K.C., "Multi-Rate MC DS-SS-CDMA with Multi User Detections for Wireless Multimedia Communications", IEEE Vehicular Technology Conference, IEEE 55th, Vol. 3, pp.1536-1540, 2002.
- [8] Yuri Labrador, Masoumeh Karimi, Deng Pan, and Jerry Miller, "Modulation and Error Correction in the Underwater Acoustic Communication Channel", IJCSNS International Journal of Computer Science and Network Security, Vol. 9, No. 7, July, 2009.
- [9] A.Sohail and M.N.Jafri, "Adaptive OFDM over Frequency Selective and Fast Fading Channel Using Blockwise Bit Loading Algorithm", IEEE International Conference on Wireless and Optical Communication Networks, pp.1-4, July, 2007.
- [10] 김동욱, "소실점과 움직임 객체간의 거리추정", 한국전자통신학회논문지, 6권, 5호, pp. 637-642, 2011.
- [11] 김천석, "수중 초음파 다중통신 네트워크를 위한 MAC프로토콜에 관한 연구", 한국전자통신학회논문지, 1권, 1호, pp. 49-55, 2006.
- [12] 신현용, "SMPS 구동 대형교통 신호용 LED 신호등의 특성", 한국전자통신학회논문지, 6권, 5호, pp. 643-648, 2011.

저자 소개



강희훈(Hee-Hoon Kang)

1997년 서울과학기술대학교 전기공학과 졸업(공학사)

1999년 광운대학교 전자공학과 대학원 졸업(공학석사)

2003년 광운대학교 전자공학과 대학원 졸업(공학박사)

2000.3~2002.2 동서울대학교 전자계산기와 겸임전임강사

2002.3~2006.2 여주대학교 정보통신과 전임강사

2006.3~현재 여주대학교 전자과 조교수

※ 관심분야 : 무유선 통신 시스템, 신호 처리 시스템, USN



한완옥(Jae-Duk You)

1996년 광운대학교 전자공학과 학사 졸업

2000년 광운대학교 전자공학과 석사 졸업

2004년 광운대학교 전자공학과 박사 졸업

1995.3~2006.2 여주대학교 전자과

2006.3~현재 여주대학교 자동차과

※ 관심분야 : 자동차 통신, 로봇 및 전장 신호 처리 및 제어