

논문 2011-481E-1-5

프리앰블 확장 사용 기반 MB-OFDM UWB용 채널 추정 방식

(A Initial Channel Estimation Method Based on Extensive Preamble Utilization in MB-OFDM UWB System)

정진두*, 진용선**, 정정화***

(Jin-Doo Jeong, Yong-Sun Jin, and Jong-Wha Chong)

요약

본 논문은 MB-OFDM UWB 시스템용 초기 채널 추정의 성능을 향상시키는 방법을 제안한다. 초기 채널 추정의 성능은 채널 추정에 활용되는 프리앰블 심볼의 수가 커짐에 따라 증가된다. MB-OFDM UWB 표준안은 프리앰블 형식에서 부대역 당 2개의 채널 추정용 심볼 (CE symbol : channel estimation symbol)을 제시한다. 2개 심볼에 기반한 채널 추정의 성능은 각각 200 Mbps와 480 Mbps 전송율에 대한 -77.5 dBm과 -72.5 dBm의 상대적으로 높은 수신 감도에서는 만족될 수 있지만, 55 Mbps와 110 Mbps 전송율에 대한 수신 감도 -83.5 dBm과 -80.5 dBm에서 채널 추정 성능은 저하될 수 있다. 본 논문에서 제안하는 방법은 초기 채널 추정 영역을 기존 2개의 채널 추정용 심볼을 포함하여 패킷 동기 심볼 (PS symbol : packet synchronization symbol)과 프레임 동기 심볼 (FS symbol : frame synchronization symbol)로 확장함으로써 성능 향상을 얻을 수 있는 방법이다. 이 방법은 저하된 SBR에서 초기 채널 추정 성능을 향상시키고 물리 계층 헤더 (physical-layer header)에서의 오류율을 감소시킬 수 있다. 그러므로, 제안한 방법에 기반한 링크 마진의 증가는 통신 처리량을 증가시키는 효과가 있다. 초기 채널 추정에 대해 제안된 방법에 대한 시뮬레이션 결과, 단지 2개의 CE 심볼만을 사용했을 때보다 CE 심볼 포함 4개의 심볼을 확장한 4개 심볼 기반의 초기 채널 추정 방식의 성능이 10^{-4} BER에서 약 0.7 dB 만큼 향상된 성능을 가진다.

Abstract

In this paper, we propose a method to improve the performance of initial channel estimation (CE) for the multiband-OFDM (MB-OFDM) UWB. The performance of the initial CE can be generally improved as increasing the number of the used preamble symbols. The MB-OFDM specification presents two CE symbols per band in preamble format. The performance of CE estimation with two CE symbols may be satisfied in relatively high sensitivity -77.5 and -72.5 dBm for 200 Mbps and 480 Mbps data rate, respectively, but can not be enough in the degraded 55 Mbps and 110 Mbps sensitivities such as -83.5 and -80.5 dBm, respectively. A method proposed in this paper achieves the performance improvement by extending CE estimation region to packet synchronization (PS) symbols and frame synchronization (FS) symbols including two CE symbols. This can improve the CE performance in the degraded SNR and increase the link-margin by reducing the error rate in physical-layer header. The link-margin improvement obtained by the proposed CE preamble can induce the decrease of error-rate in physical-layer header and increase of communication throughput. Simulation results for the proposed initial method show that the performance is improved by about 0.7 dB at 10^{-4} bit-error-rate using '4' symbols than initial method using only two CE symbols.

Keywords : UWB, MB-OFDM, UWB, Initial Channel Estimation, Extensive Preamble Utilization

I. 서론

UWB (Ultra Wide Band)는 다양한 무선 통신 분야에서 주목받고 있는 기술들 중 하나이다. UWB 시스템은 기존 통신 시스템에 비해 광대역을 이용하여 초고속 통신이 가능하므로, 대용량 멀티미디어 송수신에 적합

* 학생회원, 한양대학교 전자통신전공공학부 (Hanyang University)

** 정회원, 국제대학교 정보통신과 (Kookje University)

*** 정회원, 한양대학교 융합전자공학부 (Hanyang University)

접수일자: 2010년12월14일, 수정완료일: 2011년3월2일

하다. 광대역을 이용하는 OFDM에 기반한 MB-OFDM (Multi-band Orthogonal Frequency Division Multiplex) UWB 시스템은 IEEE 산하 802.15.3a 연구 그룹에서 국제 표준 중 하나로 고려되었으며^[1~4, 6], WiMedia 국제 단체에서 무선 USB 등의 응용에 대해 국제 표준 및 시스템 개발이 진행 중이다^[5].

OFDM 시스템에서 프리엠블 구간 동안에 획득된 초기 채널 추정은 수신 신호를 등화 (equalization)시키기 위해 반복적으로 사용된다. 프리엠블 다음에 오면서 물리 계층 통신에 대한 중요한 정보를 포함하는 물리 계층 헤더에서의 오류율은 부정확한 초기 채널 추정에 의해 증가된다. 역으로, 정확한 초기 채널 추정은 물리 계층 헤더에서의 오류율을 감소시키고 물리 계층 헤더의 오류로 인한 재전송 요청을 감소시켜 통신 처리량을 증가시킬 수 있다.

본 논문에서는 랜덤 잡음의 효과를 감소시켜 성능을 향상시킨 MB-OFDM UWB용 초기 채널 추정 방식을 제안한다. 제안한 방법은 채널 추정구역을 채널 추정 심볼을 포함하여 패킷 동기 심볼과 프레임 동기 심볼로 확장하는 방식에 기반한다. 프리엠블의 확장 사용을 위해 시간 영역 패킷 동기와 프레임 동기 심볼들이 채널 추정에 직접 활용될 수 있도록 주파수 영역 참조 신호로의 변환이 고려된다. 본 논문은 프리엠블 확장 사용 및 주파수 참조 신호 변환에 기반한 초기 채널 방식에 대한 구조도 제안한다. 제안한 초기 채널 추정 방식을 통해 얻은 성능 향상은 55 Mbps와 110 Mbps 전송율에 대한 -83.5 dBm과 -80.5 dBm의 저하된 수신 감도에서의 물리 계층 헤더의 오류율도 줄이는 효과가 있다.

II. 심볼 평균에 기반한 초기 채널 추정

본 논문에서는 OFDM 수신기가 주파수 오프셋 동기 (frequency-offset synchronization)를 이루어졌다고 가정하고 대역통과 채널 (bandpass channel)의 영향을 추정하는 방법을 제안한다. 일반적인 OFDM 시스템에서 주파수 오프셋 동기는 기존 제안 방식들로 이를 수 있다^[7~8]. 대역통과 채널을 n 번째 OFDM 프리엠블 심볼이 통과했을 때에 주파수 오프셋 없이 수신된 k 번째 부채널 (subcarrier) 신호는 식 (1) 과 같이 표현된다^[7].

$$\mathbf{R}_{n,k} = \mathbf{P}_{n,k} \mathbf{H}_{n,k} + \mathbf{W}_{n,k} \quad (1)$$

식 (1)에서 n 번째 OFDM 프리엠블 심볼의 k 번째

부채널에서의 수신 신호 $\mathbf{R}_{n,k}$ 는 송신된 프리엠블 신호 $\mathbf{P}_{n,k}$, 채널 전달 신호 (channel transfer signal) $\mathbf{H}_{n,k}$, 주파수 영역에서의 가우시안 잡음 (Gaussian noise) 신호 $\mathbf{W}_{n,k}$ 로 구성된다. 수신 신호 $\mathbf{R}_{n,k}$ 는 송신기와 수신기 사이에 미리 약속된 프리엠블 신호 $\mathbf{R}_{n,k}$ 를 포함한다. 이것은 프리엠블 심볼을 활용하여 초기 채널 추정 및 보상이 이루어질 수 있음을 뜻한다^[9]. 프리엠블 심볼을 활용한 채널 추정에 있어 일반적이고 간단한 방법은 시간 영역에서의 산술적 평균 (arithmetic average)에 기반한 심볼 평균 (symbol average)이다. D 개의 프리엠블 심볼들을 사용한 k 번째 심볼에서의 심볼 평균 방법은 다음과 같다.

$$\mathbf{SA}_{k,D} = \frac{1}{D} \sum_{n=1}^D \left(\frac{\mathbf{R}_{n,k}}{\mathbf{P}_{n,k}} \right) = \frac{1}{D} \sum_{n=1}^D \left(\mathbf{H}_{n,k} + \frac{\mathbf{W}_{n,k}}{\mathbf{P}_{n,k}} \right) \quad (2)$$

채널 전달 신호 $\mathbf{H}_{n,k}$ 는 프리엠블 심볼 구간 동안에 거의 변하지 않는다는 가정 하에, 심볼 평균에 기반한 초기 채널 추정의 분산 (variance)는 식 (3)으로 표현될 수 있다^[10]. 채널 전달 신호가 프리엠블 심볼 구간 거의 변하지 않는다는 가정은 타당하다고 볼 수 있다. 왜냐하면, MB-OFDM UWB의 3 MHz 심볼 전송율은 실내 통신 채널의 변화 속도에 비해 상대적으로 빠르기 때문이다^[1, 3].

$$\begin{aligned} \text{var}[\mathbf{SA}_{k,D}] &= \text{var} \left[\frac{1}{D} \sum_{n=1}^D \mathbf{H}_{n,k} \right] + \text{var} \left[\frac{1}{D} \sum_{n=1}^D \frac{\mathbf{W}_{n,k}}{\mathbf{P}_{n,k}} \right] \\ &\quad + \frac{2}{D^2} E \left[\sum_{n=1}^D \mathbf{H}_{n,k} \sum_{n=1}^D \frac{\mathbf{W}_{n,k}}{\mathbf{P}_{n,k}} \right] \\ &\approx \text{var} \left[\frac{1}{D} \sum_{n=1}^D \frac{\mathbf{W}_{n,k}}{\mathbf{P}_{n,k}} \right] = \frac{1}{D^2} \text{var} \left[\sum_{n=1}^D \frac{\mathbf{W}_{n,k}}{\mathbf{P}_{n,k}} \right] \\ &= \frac{1}{D} \text{var} \left[\frac{\mathbf{W}_{n,k}}{\mathbf{P}_{n,k}} \right] \end{aligned} \quad (3)$$

여기서 $\text{var}[\]$ 는 분산 (variance) 연산, $E[\]$ 는 기대치 (expectation) 연산을 나타낸다. MB-OFDM UWB의 프리엠블의 전력 (power)은 정규화되고 주파수 영역에서의 프리엠블 크기는 1과 같다^[11]. 그러므로, 식 (3)은 다음 식으로 유도될 수 있다.

$$\text{var}[SA_{k,D}] = \frac{1}{D} \text{var}[\mathbf{W}_{n,k}] = \frac{\sigma^2}{D} \quad (4)$$

여기서 σ^2 은 잡음 전력 (noise power)이다.

식 (4)는 D 개의 프리앰블 심볼을 활용한 심볼 평균 방식에 기반한 채널 추정 방식은 단지 하나의 프리앰블 심볼만을 이용한 채널 추정보다 D 배의 향상된 성능을 가짐을 보여준다. 그리고, D 개 심볼 기반 초기 채널 추정의 표준 편차 (standard deviation)은 \sqrt{D} 배만큼 감소함도 보여준다.

III. MB-OFDM UWB 프리앰블 형식

그림 1은 MB-OFDM UWB 시스템에 대한 표준 프리앰블 형식을 보여준다^[1,3]. 표준 프리앰블은 동기, 반송파 주파수 오프셋 추정, 채널 추정 등을 포함하는 수신 알고리즘에 정보를 주기 위해 PLCP (Physical Layer Convergence Procedure) 헤더 (Header) 앞에 붙는다. 표준 PLCP 프리앰블은 3 가지 구분되는 영역으로 구성된다. 첫 번째로 PS 심볼들로 구성된 패킷 동기 수열 (Packet Synchronization Sequence), 두 번째로 FS 심볼들로 구성된 프레임 동기 수열 (Frame Synchronization Sequence), 마지막으로 CE 심볼들로 구성된 채널 추정 수열 (Channel Estimation Sequence) 등으로 이루어진다. 패킷 동기 수열은 {PS0, PS1, ..., PS20}으로 표기되는 21 개의 연속적인 시간 영역 심볼들로 구성되며, 이러한 시간 영역 심볼은 SOP (Simultaneously Operating Piconet) 관련 특정 시간-주파수 코드와 연관된다^[1]. MB-OFDM UWB 관련 표준안에서는 패킷 동기 수열이 패킷 검출 및 획득, 대략적 주파수 및 심볼 타이밍 동기 활용될 수 있다고 기술하고 있다^[1,3]. 프레임 동기 수열은 {FS0, FS1, FS2}으로 표기되는 3 개의 심볼들로 구성되는데, 이것은 시간 영역에서의 패킷 동기 심볼의 위상을 180도 뒤집은 것과 같다. 이 수열은 프레임 동기에 활용된다. 마지막으로 채널 추정 수열은 {CE0, CE1, ..., CE5}으로 표기되는 6 개의 연속된 주파수 영역 심볼들로 구성된다. MB-OFDM UWB 표준안에서는 채널 추정 수열은 채널 추정, 미세 주파수 및 심볼 타이밍 동기 활용될 수 있다고 기술하고 있다.

MB-OFDM UWB 시스템은 3 부대역 (sub-band)를

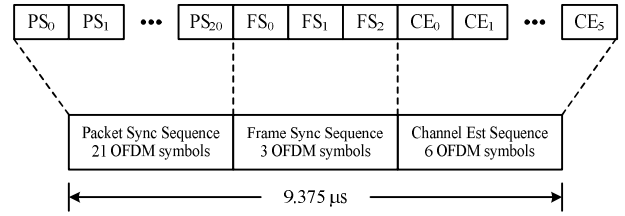


그림 1. MB-OFDM UWB의 프리앰블 형식

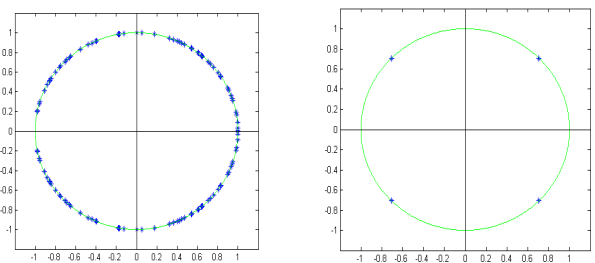
Fig. 1. Preamble Format of MB-OFDM UWB.

시간-주파수 호핑 (time-frequency hopping)하는 방식에 기반한다^[1~3]. 이것은 각 부대역에 대한 채널 추정을 위해 단지 2 개의 채널 추정 심볼이 할당됨을 뜻한다. MB-OFDM UWB 표준안에서 기술한 것처럼 단지 2 개의 심볼을 활용하는 프리앰블 형식에 기반한 초기 채널 추정의 성능은 한계를 가짐을 식 (4)로부터 알 수 있다.

IV. 프리앰블 확장 사용에 기반한 MB-OFDM UWB용 초기 채널 추정 방식

식 (4)는 채널 추정에 사용되는 프리앰블 심볼의 수가 초기 채널 추정의 성능을 좌우함을 보여준다. 그러나, 초기 채널 추정용 주파수 참조 신호로서의 심볼의 수는 각 부대역에서 2개씩임을 표준안에서 기술하고 있다. 이 경우에 저하된 채널 환경에서 채널 추정 성능을 저하시키고 물리 헤더에서의 오류율을 향상시킨다. 그리고, 이는 원하는 통신 처리량을 달성할 수 없음을 뜻한다.

그림 2 (a)는 PS와 FS 심볼에 대한 주파수 영역 신호를, 그림 2 (b)는 CE 심볼에 대한 주파수 영역 신호를 보여준다. 그림 2에서 PS와 FS 심볼은 균일-랜덤



(a) PS와 FS 심볼에 대한 주파수 영역 참조 신호

(b) CE 심볼에 대한 주파수 영역 참조 신호

그림 2. 프리앰블에 대한 주파수 영역 참조 신호

Fig. 2. Frequency-Domain Reference Signal for Preamble.

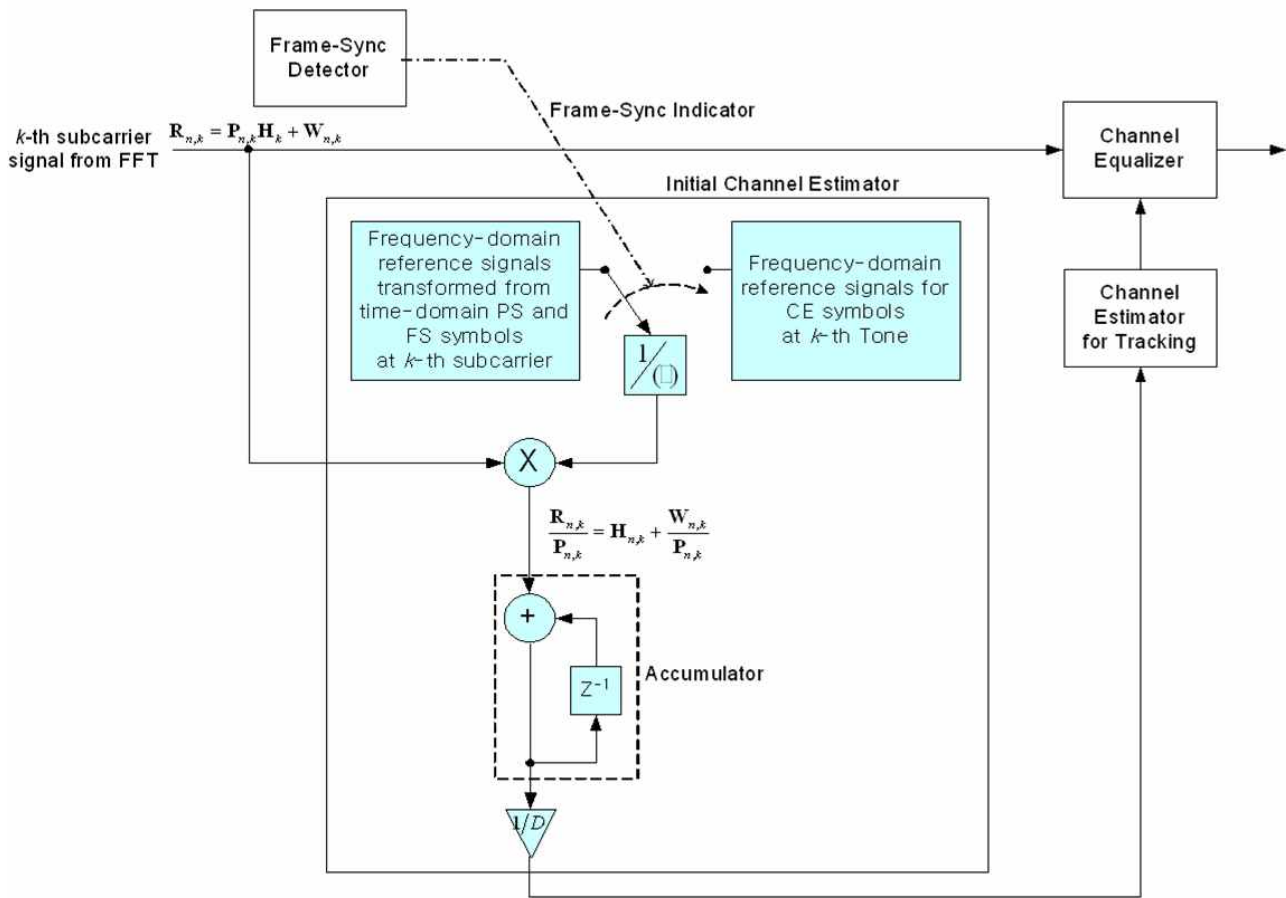


그림 3. MB-OFDM UWB용 프리엠블 확장 사용 기반 초기 채널 추정 구조
 Fig. 3. Architecture of Initial Channel Estimation with Preamble Extensive Utilization for MB-OFDM UWB.

(uniform-random) 분배, CE 심볼은 직각 위상 (quadrature) 분배되어 있음을 볼 수 있다. 이것은 PS와 FS 심볼은 특정 시간-주파수 코드와 연관된 시간 영역 참조 신호임을, CE 심볼은 주파수 영역에서 정렬된 주파수 영역 참조 신호임을 뜻한다. 그러므로 CE 심볼은 채널의 주파수 응답을 추정하기에 적합하지만, PS와 FS 심볼들은 채널 추정에 곧바로 활용되기 어렵다.

MB-OFDM UWB 시스템에서 초기 채널 추정의 성능을 높이기 위해서는 채널 추정에 활용되는 심볼 영역을 주파수 영역 CE 심볼 뿐만 아니라, 시간 영역 PS와 FS 심볼로도 확장시켜야 한다. 프리엠블의 확장 사용을 위해서는 시간 영역 PS와 FS 심볼들이 채널 추정에 직접 활용될 수 있도록 주파수 영역 참조 신호로의 변환이 먼저 고려되어야 한다. 이러한 변환을 고려한 프리엠블 확장 사용 기반 MB-OFDM UWB용 초기 채널 추정 구조는 그림 3에서 보여진다. 그림 3에서 제안된 구조는 기존 심볼 평균 기반 채널 추정 방식에서는 없

는 2 개의 중요 모듈을 갖는다. 먼저 PS와 FS 심볼들로 구성된 시간 영역 수열들로부터 변환된 주파수 영역 참조 신호에 대한 테이블이 구성된다. 거기에, 프레임 동기 검출로부터의 프레임 동기 확보 신호를 받아 채널 추정용 참조 신호를 확장 사용된 PS와 FS 심볼에서 원래 채널 추정용 CE 심볼로 전환시켜주는 스위치 모듈이 있어야 한다.

그림 4는 제안된 채널 추정 방식에 대한 시뮬레이션 결과를 보여준다. 시뮬레이션은 MATLAB을 통해 이루어졌으며, 시뮬레이션 조건으로 MB-OFDM UWB 표준안에서 기술된 QPSK 맵핑과 Convolutional 코딩이 고려되었다^[1-3]. 시뮬레이션 결과, 프리엠블 확장에 기반하여 초기 채널 추정에 4 개의 심볼을 사용한 제안 방식이 표준안에 따라 단지 2 개의 심볼을 사용한 방식보다 10^{-4} BER (Bit-Error Rate)에서 약 0.7 dB의 성능 향상을 가짐을 볼 수 있다.

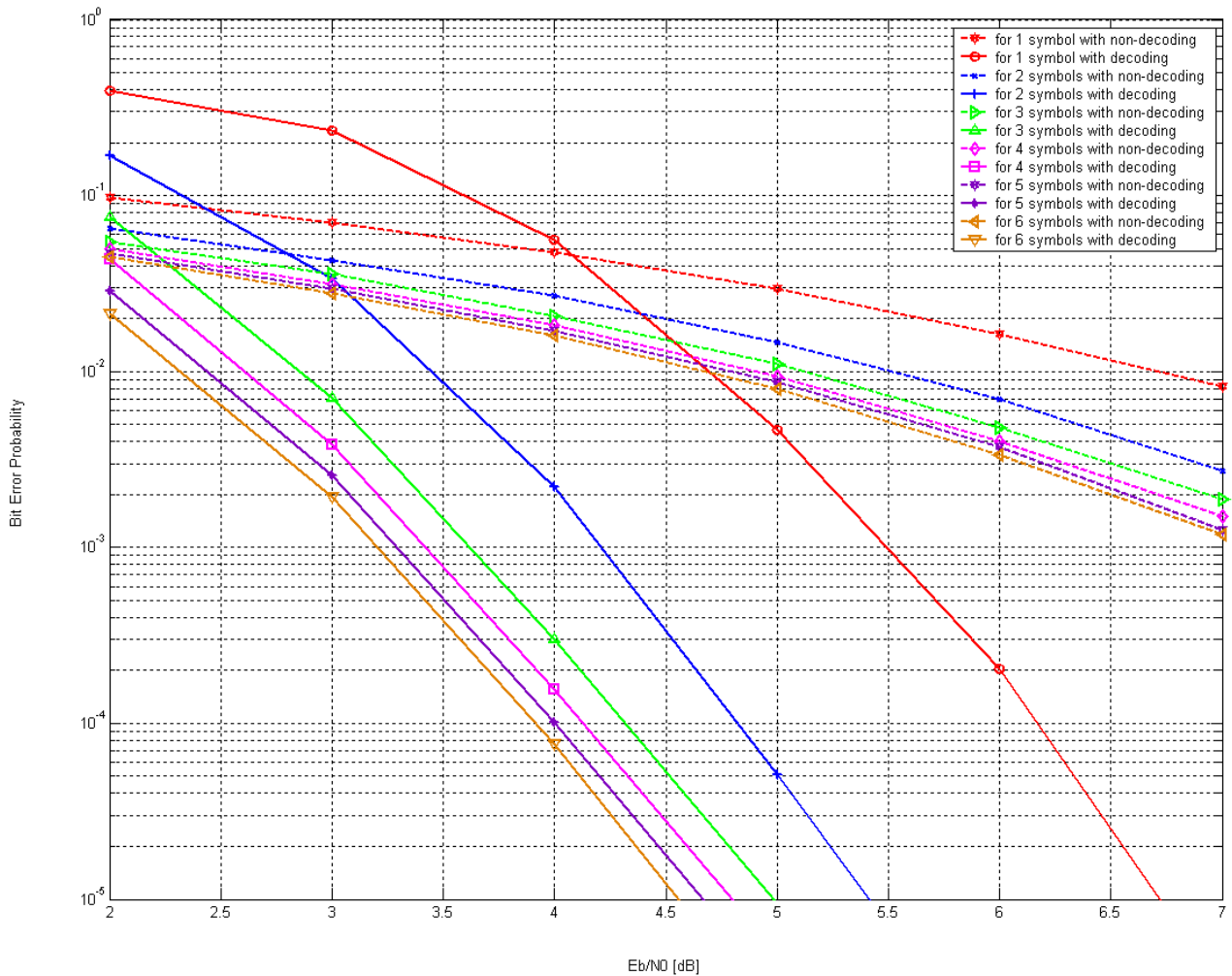


그림 4. 프리앰블 확장 사용 기반 초기 채널 추정 구조에 대한 BER 시뮬레이션 결과

Fig. 4. BER Simulation Results for Initial Channel Estimation with Preamble Extensive Utilization.

V. 결 론

본 논문은 MB-OFDM UWB 시스템의 프리앰블 확장 사용에 기반하여 초기 채널 추정의 성능을 향상시키는 방식을 제안하였다. 본 논문에서 제안된 초기 채널 추정 방식은 MB-OFDM UWB 표준안에서 제시하고 있는 2 개의 CE 심볼 뿐만 아니라 PS와 FS 심볼까지 확장 사용하여 심볼 평균냄으로써 채널 추정의 성능 향상을 확보할 수 있다. 또한 본 논문에서는 프리앰블 확장 사용 및 주파수 참조 신호 변환을 적용한 채널 추정 구조도 제안하였다. 시뮬레이션 결과는 제안하는 방식에 따라 4 개의 심볼을 사용한 초기 채널 추정 방식이 표준안에 따라 단지 2 개의 심볼을 사용한 방식보다 약 0.7 dB의 성능 향상을 가짐을 보여준다. 그러므로, 제안한 프리앰블 확장 사용에 기반한 채널 추정 방식을 적

용하면 물리 헤더에서의 오류율을 낮추어 통신 처리량을 증가시킬 수 있다. 추후 연구 방향으로 다중경로 페이딩 채널 하에서 프리앰블 확장 사용 방식에 대한 성능 분석이 고려될 수 있다.

참 고 문 헌

- [1] A. Batra, J. Balakrishnan, R. Aiello, J.R. Roerster, A. Dabak and et al., "Multi-band OFDM physical layer proposal," IEEE P802.15-03/268r0-TG3a, July 2003.
- [2] A. Batra, J. Balakrishnan, R. Aiello, J.R. Roerster and A. Dabak, "Design of a multiband OFDM system for realistic UWB channel environments," IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, vol. 52, no. 9, pp. 2123 - 2138, Sept. 2004.

[3] A. Batra, J. Balakrishnan, R and A. Dabak, "Multi-band OFDM: A new approach for UWB," Proc. of IEEE Int. Circuits and Systems Symp., vol. 5, pp. 365 - 368, May 2004.

[4] 김영준, 석원균, 이규인, 조용수, "UWB용 MB-OFDM 기술," 전자공학회지, 제32권, 제4호, 439-450쪽, 2005년 4월.

[5] 최은창, "WiMedia UWB 기반 무선 USB 응용 기술 동향," TTA 저널, 124호, 80-85쪽, 2009년 7월

[6] 이성주, "Multi-band OFDM 시스템용 고속 연관 정 비터비 디코더의 효율적인 하드웨어 구조 설계에 관한 연구," 전자공학회논문지, 제43권 SD 편, 제11, 90-97쪽, 2006년 11월.

[7] P. Moose, "A technique for orthogonal frequency division multiplexing frequency offset correction," IEEE Transactions on Communications, vol. 42, pp. 2908 - 2914, Oct. 1994.

[8] T.M. Schmidl and D.C. Cox, "Robust frequency and timing synchronization for OFDM," IEEE Transactions on Communications, vol. 45, pp. 1613 - 1621, Dec. 1997.

[9] D. Liu and C. Wei, "Channel estimation and compensation for preamble-assisted DAPSK transmission in digital mobile radio system," IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. 50, no. 2, pp. 546-556, Mar. 2001.

[10] W. B. Davenport, Probability and Random Processes, McGRAW-HILL, pp. 268-271, 1970.

— 저 자 소 개 —



정진두(학생회원)
 1998년 한양대학교 전자공학과 학사 졸업.
 2000년 한양대학교 전자통신전과 공학부 석사 졸업.
 <주관심분야 : 디지털통신, 신호처리>



진용선(정회원)
 1978년 한양대학교 전자공학과 학사 졸업.
 1991년 한양대학교 전자공학과 석사 졸업.
 2001년 한양대학교 전자공학과 박사 졸업.

1978년~1979년 전자통신연구원 연구원
 1980년~1987년 LG전자연구소 선임연구원
 1988년~1996년 Texas Instrument 연구소 책임연구원

1997년~현 재 국제대학 정보통신과 교수
 <주관심분야 : 디지털통신시스템, 정보통신, 신호처리>



정정화(정회원)
 1975년 한양대학교 전자공학과 학사 졸업.
 1977년 한양대학교 전자공학과 석사 졸업.
 2004년 와세다대학교 전자통신 공학과 박사 졸업.

1981년~현 재 한양대학교 융합전자공학부 교수
 <주관심분야 : 통신, CAD, 영상처리, 반도체>