고속 Binary CDMA 시스템을 위한 채널 추정에 관한 연구

A Study on Channel Estimation for High-speed Binary CDMA Systems

강성진*

Sung-Jin Kang*

요 약

본 논문에서는 고속 Binary CDMA 시스템에 적합한 채널 추정 방식을 제안하고 성능을 분석하였다. 고차 변조를 사용하는 고속 Binary CDMA에서는 프리엠블 구간 동안에 등화기가 충분히 수렴하지 못하면 BER 성능이 저하되기 때문에, 채널 추정을 통하여 최적의 등화기 계수를 결정해야한다. 본 논문에서는 프리엠블 구간에 CAZAC 수열이 반복되는 특징을 이용하여 복잡도는 조금 증가하면서 추정 성능을 향상시킬 수 있는 채널 추정 방식을 제안하였다. 시뮬레이션 결과로부터, 제안된 채널 추정 방식이 기존의 방식에 비해 성능 열화없이 간단하게 구현할 수 있음을 알 수 있다.

Abstract

In this paper, a channel estimation scheme for high-speed Binary CDMA systems is proposed and its performances are investigated. In high-speed Binary CDMA which adopt high order modulations, since BER(bit error rate) performances are deteriorated when equalizer does not converge enough during preamble period it is preferred to set the optimum coefficients of equalizer through channel estimation. In this paper, taking notice of repetition of CAZAC sequence in preamble period, a channel estimation scheme is proposed, which can improve estimation performances with few complexity increase. From the simulation results, one can see that the proposed channel estimation scheme can be implemented simply with no performance deterioration compared to the conventional one.

Key words : Binary CDMA, Channel Estimation, CAZAC, Equalizer

I. 서 론

최근 유무선 통신 기술의 발달로 인해 기기, 시간, 장소에 구애받지 않고 가정내 기기들을 제어할 수 있는 홈 네트워크 기술이 주목받게 되었다. 특히 무선 통신 기술의 발달로 인하여 복잡한 초기 설치 과정이나, 재설치, 장소의 제약이 없이 홈 네트워크 기술을 제공 할 수 있게 되었다. 이러한 무선 통신 기술에 대한 대표적인 국제 표준은 Bluetooth, HomeRF, ZigBee 등이 있다. 국내에서는 Binary CDMA(Code Division Multiple Access) 기술을 독자적으로 개발하여 무선 홈 네트워크 표준으로 정하고 국제 표준으로 만들기 위한 노력을 하였다. Binary CDMA는 Bluetooth와 CDMA방식의 단점을 개선하기 위하여 제안된 무선

* 한국기술교육대학교 정보기술공학부(Korea Univ. of Tech. and Educ., School of Info. Tech. Eng.)
· 제1저자 (First Author) : 강성진
· 투고일자 : 2010년 9월 1일
· 심사(수정)일자 : 2010년 9월 2일 (수정일자 : 2010년 10월 7일)
· 게재일자 : 2010년 10월 30일

통신 방식으로, Bluetooth보다 데이터의 전송거리가 길며, CDMA보다 단순한 전송 방식을 사용하여, 사용자가 필요로 하는 서비스를 제공한다[1].

Binary CDMA 기술은 ISO/IEC JTC1 SC6에서 2009년에 국제 표준으로 채택되었다[2]. Binary CDMA 시스템은 2.4GHz대역에서 8MHz간격으로 총 10개의 채널이 할당되어있다. Rate 1 ~ Rate 4까지 4종류의 전송속도를 제공하며, QPSK(Quadrature Phase Shift Keying)변조를 사용한다. Rate 4를 사용할 때는 6.2Mbps의 전송 속도를 제공한다[2].

최근에는 멀티미디어 전송에 대한 요구가 증가함에 따라 무선 통신 기술도 더 빠른 전송 속도가 요구되고 있다. Binary CDMA 기술도 이러한 요구에 맞춰 칩율(chip rate)를 높이고, 고차 변조(high-order modulation)을 채용하여 최대 55Mbps 전송 속도를 지원하고 있다[3]. 이러한 고속 Binary CDMA 기술은 55Mbps를 지원하기 위해 64-QAM(Quadrature Amplitude Modulation)을 사용하기 때문에, 등화기의 성능이 매우 중요하게 된다.

고속 Binary CDMA 시스템에서는 16심볼 CAZAC 시퀀스를 32번 반복하여 프리엠블을 구성한다[2]. 이러한 CAZAC 시퀀스는 상관특성이 우수하여 다른 WPAN(Wireless Personal Area Network) 시스템에서도 사용된다[4,5]. 수신기는 프리엠블 구간 동안에 AGC(Automatic Gain Control), 패킷 검출, 타이밍 동기, 프레임 동기, 주파수 오프셋 추정 및 보상, 채널 등화를 수행해야한다. 그러나, 페이딩 채널 환경에서 이러한 기능을 수행하기에 프리엠블 길이가 충분치 않은 경우가 자주 발생한다. 따라서, 짧은 프리엠블 구간 동안에 채널 등화를 할 수 있도록 수신기를 구현해야하므로, 훈련열을 이용하여 등화기를 적응시키는 일반적인 채널 등화 방식으로는 이러한 요구사항을 만족하기 어렵고, 짧은 CAZAC 시퀀스로 채널을 추정한 후에 payload 구간에서 채널 등화를 하는 방식으로 구현해야한다.

본 논문에서는 고속 Binary CDMA 시스템을 위한 효율적인 채널 추정 방식을 제안하고 성능을 분석한다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서 고속 Binary CDMA 시스템에 대한 개략적인 설명을 하고, 3장에서는 채널 추정 알고리즘에 대해 다룬다. 4장에서 성능평가를 하고 5장에서 결론을 맺는다.

Ⅱ. 고속 Binary CDMA 시스템 개요

Binary CDMA 시스템의 패킷은 그림 1과 같이 프리엠블, 헤더, 페이로드로 구성된다.

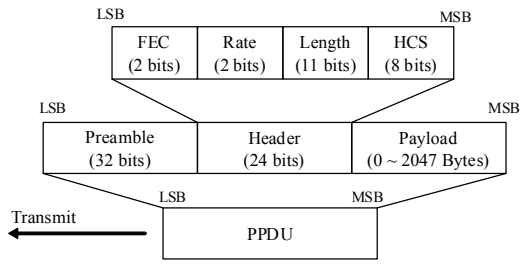

그림 1. 패킷 구조
Fig. 1. Packet Format

프리엠블은 32bit는 $[1\,1\cdots1\,1\,0\,0]$이다. 즉, 30개 '1'과 2개'0'으로 구성된다. 이 32bit는 16개의 심볼로 구성되는 CAZAC 시퀀스에 의해 확산된다. 따라서 프리엠블 구간동안 전송되는 QPSK 심볼은 512개이다. CAZAC 시퀀스는 다음과 같으며, 프리엠블 비트가 1이면 CAZAC 시퀀스에 -1을 곱하고, 프리엠블 비트가 0이면 CAZAC 시퀀스에 1을 곱한다.

$$[\,e^{j\frac{\pi}{4}}\ e^{j\frac{\pi}{4}}\ e^{j\frac{\pi}{4}}\ e^{j\frac{\pi}{4}}\ e^{j\frac{3\pi}{4}}\ e^{j\frac{5\pi}{4}}\ e^{j\frac{7\pi}{4}}\ e^{j\frac{\pi}{4}}\ e^{j\frac{5\pi}{4}}\ e^{j\frac{\pi}{4}}\ e^{j\frac{5\pi}{4}}\ e^{j\frac{\pi}{4}}\ e^{j\frac{7\pi}{4}}\ e^{j\frac{5\pi}{4}}\ e^{j\frac{3\pi}{4}}\ e^{j\frac{\pi}{4}}\,] \quad (1)$$

헤더 24bit는 그림 2와 같이 변조되어 전송되며, RATE 1은 [2]에 정의되어 있다. 페이로드 부분은 RATE 1 ~ RATE 4까지 전송이 가능하며, QPSK 변조를 사용한다.

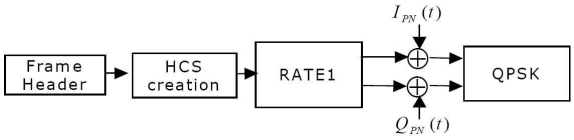

그림 2. 헤더 변조
Fig. 2. Header Modulation

고속 Binary CDMA에서는 프리엠블과 헤더의 구

조는 같고, 페이로드 부분의 변조방식이 표 1과 같이 RATE 5 ~ RATE 8이 추가 되었다. RATE 5에서는 DQPSK(Differential QPSK)변조를 사용하고 RATE 6 ~ RATE 8은 TCM(Trellis Coded Modulation) 기술을 이용하며 사용되는 변조 방식은 각각, 16QAM, 32QAM, 64QAM이다[3].

표 1. 고속 Binary CDMA시스템의 변조방식
Table 1. Modulation scheme of high-speed Binary CDMA Systems

RATE	변조방식
RATE 5	DQPSK
RATE 6	16QAM+TCM
RATE 7	32QAM+TCM
RATE 8	64QAM+TCM

Ⅲ. 채널 추정 알고리즘

채널 추정은 통신 시스템에 필요한 중요한 요소 중에 하나이므로 많은 연구가 진행되어 왔으며, 많은 알고리즘들이 문헌에 소개되어 있다. 본 논문에서는 많이 사용되는 Maximum Likelihood(ML) 추정 방식과 Linear Minimum Mean Square Error(LMMSE) 추정 방식을 고려한다. CAZAC 시퀀스는 우수한 상관특성을 가지고 있어서 상관기의 구성으로도 채널 추정을 할 수 있지만, ML 추정 방식이나 LMMSE 추정 방식에 비해 성능이 현저하게 떨어진다.

수신기에서 샘플링된 수신 신호는 식 (2)와 같이 표현할 수 있고, 수신 샘플이 N개라고 가정하면 식 (3)과 같은 행렬식으로 표현된다.

$$y_k = \sum_{l=0}^{\nu} x_{k-l} h_l + n_k \tag{2}$$

$$\begin{aligned} \mathbf{y} &= \mathbf{xh} + \mathbf{n} \\ &= \begin{bmatrix} x_0 & x_{-1} & \cdots & x_{-\nu} \\ x_1 & x_0 & \cdots & x_{-\nu+1} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ x_{N-1} & x_{N-2} & \cdots & x_{N-\nu-1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} h_0 \\ h_1 \\ \vdots \\ h_\nu \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} n_0 \\ n_1 \\ \vdots \\ n_\nu \end{bmatrix} \end{aligned} \tag{3}$$

여기에서, x_k는 송신 신호, h_l은 채널 계수, n_k는 백색 가우시안 잡음, ν은 채널 임펄스 응답의 길이를 나타내며, $\mathbf{y} = [y_0\ y_1 \cdots y_{N-1}]^T$이다. 프리엠블 구간 동안에 x_k는 식 (1)의 CAZAC 시퀀스 심볼이다.

식 (3)에 대한 $\mathbf{y}$와 $\mathbf{h}$의 결합 확률밀도 $f(\mathbf{y},\mathbf{h})$의 확률밀도함수(PDF, probability density function)은 다음과 같이 주어진다[6,7].

$$f(\mathbf{y},\mathbf{h}) = \frac{1}{\sqrt{(2\pi)^N \det(\mathbf{C_n})}} e^{-\frac{1}{2}(\mathbf{y}-\mathbf{xh})^H \mathbf{C_n^{-1}} (\mathbf{y}-\mathbf{xh})} \tag{4}$$

여기에서 $\mathbf{C_n}$는 잡음 벡터 $\mathbf{n}$의 covariance 행렬이고, 'H'는 Hermitian conjugate를 나타낸다.

3-1 ML 채널 추정

ML 채널 추정 방식은 확률밀도 $f(\mathbf{y},\mathbf{h})$를 최대가 되는 $\mathbf{h}$를 추정하는 방식이며, 다음과 같이 얻을 수 있다[6].

$$\hat{\mathbf{h}} = \left(\mathbf{x}^H \mathbf{C_n^{-1}} \mathbf{x}\right)^{-1} \mathbf{x}^H \mathbf{C_n^{-1}} \mathbf{y} \tag{5}$$

AWGN(Additive White Gaussian Noise) 환경에서는 n_k가 uncorrelated이므로 식(5)는 식(6)과 같이 된다[7].

$$\hat{\mathbf{h}} = \left(\mathbf{x}^H \mathbf{x}\right)^{-1} \mathbf{x}^H \mathbf{y} \tag{6}$$

3-2 LMMSE 채널 추정

LMMSE 채널 추정 방식은 식 (7)의 MSE(Mean Squared Error)를 최소화하는 $\hat{\mathbf{h}}$를 추정한다.

$$B_{mse}(\hat{\mathbf{h}}) = E\left[(\mathbf{h}-\hat{\mathbf{h}})^2\right] \tag{7}$$

식 (7)은 식 (4)의 $f(\mathbf{y},\mathbf{h})$에 대한 평균이다. 식 (7)에 대한 일반적인 LMMSE의 해는 [6]에 정리되어 있다. 식 (3)의 선형 모델에서 $\mathbf{h}$와 $\mathbf{n}$이 uncorrelated이고, $E[\mathbf{h}] = 0$, $\mathbf{n}$은 AWGN일 때, LMMSE의 해는 식

(8)과 같이 된다[7].

$$\hat{\mathbf{h}} = (\mathbf{x}^{H}\mathbf{x} + \sigma^{2}\mathbf{I})^{-1}\mathbf{x}^{H}\mathbf{y} \quad (8)$$

여기에서 σ는 잡음의 분산이다.

3-3 제안된 채널 추정 방식

식 (6)에서 $X = (\mathbf{x}^{\mathrm{H}}\mathbf{x})^{-1}\mathbf{x}^{\mathrm{H}}$로 정의하면, 벡터 X는 CAZAC 시퀀스로부터 미리 계산한 후에 메모리에 저장하여 사용할 수 있다. 따라서, 식 (6)은 수신 신호와 미리 저장해둔 벡터 X의 행렬 연산만으로 쉽게 채널 추정을 할 수 있다. 반면에 식 (8)은 잡음의 분산 σ을 추정한 후에 식 (8)을 연산해야하기 때문에, ML 채널 추정 방식이 LMMSE 채널 추정 방식에 비해 간단하게 구현될 수 있음을 알 수 있다. 또한, 그림 3에서 알 수 있듯이 ML 방식과 LMMSE 방식의 성능 차이가 거의 없는 것을 볼 수 있다. 그림 3은 식 (2)에서 $\nu = 3$이고, 채널 추정 길이 $\hat{\nu} = 5$, $N = 16$일 때 채널 추정 값의 MSE를 나타낸다.

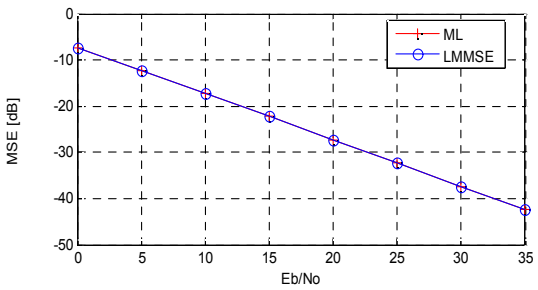

그림 3. 채널 추정 성능 비교($\nu = 3$, $\hat{\nu} = 5$)
Fig. 3. Performance comparison of channel estimation ($\nu = 3$, $\hat{\nu} = 5$)

식 (6)의 ML 채널 추정 방식은 식 (3)에서 수신 신호의 심볼 개수 N이 증가할수록 추정의 정확도가 증가한다. 그러나, N이 증가함에 따라 식 (6)의 연산량도 증가하게 된다. 고속 Binary CDMA 시스템에서는 프리엠블 구간 동안에 CAZAC시퀀스가 반복해서 전송되기 때문에, 여러 개의 CAZAC 시퀀스에 대해서 ML 채널 추정을 함으로써, 채널 추정의 신뢰도를 향상시킬 수가 있다. 이러한 이유는 수신 신호 심볼 개수 N이 증가함에 따라 잡음의 평균이 0에 가까워져서 잡음의 영향이 줄어든다고 볼 수 있다.

본 논문에서 제안하는 채널 추정 방식은 그림 4와 같이 구현이 간단한 ML 채널 추정 블록과 평균을 취하는 블록으로 구성된다. ML 채널 추정 블록은 $N = 16$으로 고정되어 있기 때문에, 1개의 CAZAC 시퀀스를 이용하여 채널 추정을 수행하게 된다. 따라서, CAZAC 시퀀스 심볼 16개가 수신 될 때마다, 채널 추정 값 $\hat{\mathbf{h}}_i$가 출력된다. 최종 채널 추정 값 $\hat{\mathbf{h}}$는 $\hat{\mathbf{h}}_i$를 평균하여 얻게 된다.

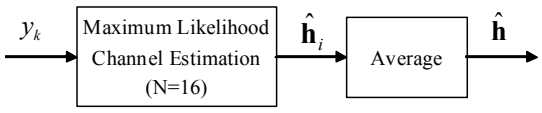

그림 4. 제안된 채널 추정 방식
Fig. 4. The proposed channel estimation scheme

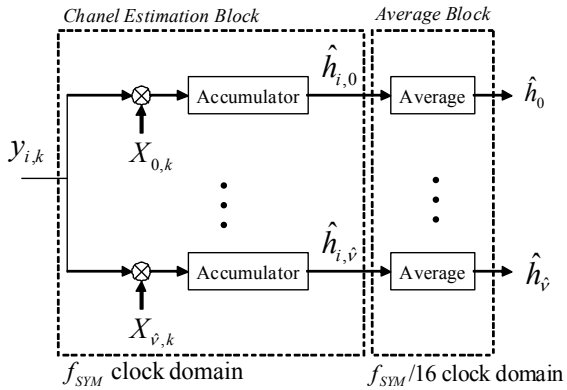

그림 5. 제안된 채널 추정 방식의 구현
Fig. 5. Implementation of the proposed channel estimation scheme

그림 5는 제안된 채널 추정 방식을 구현할 수 회로를 보여준다. 그림 5에서 $y_{i,k}$는 i번째 수신되는 CAZAC 시퀀스 구간에서 k번째 심볼을 나타낸다. $X_{i,k}$는 벡터 $X = (\mathbf{x}^{\mathrm{H}}\mathbf{x})^{-1}\mathbf{x}^{\mathrm{H}}$의 (i,k)번째 원소를 의미한다. 여기에서 X는 $(\hat{\nu}+1)\times N$ 행렬이고, $\hat{\nu}$는 채널 추정 길이를 나타낸다. $\hat{h}_{i,j}$는 i번째 수신된 CAZAC 시퀀스로부터 추정된 j번째 채널 계수 값을 의미한다. f_{SYM}은 심볼율(symbol rate)을 나타낸다. 그림 5에 나타난 바와 같이 채널 추정 블록은 f_{SYM}

클럭에 의해 동작하고, 평균을 취하는 블록은 16분주된 $f_{SYM}/16$클럭에 의해 동작하게 된다. 그림 5의 $X_{i,k}$는 앞서 설명한 바와 같이 식(1)의 CAZAC 시퀀스를 이용하여 미리 계산한 후에 메모리에 저장되어 있으며, f_{SYM} 클럭이 발생할 때마다 k가 증가하고, $0 \le k \le N-1$이다. 그림 5의 덧셈기(Accumulator)는 CAZAC 시퀀스가 시작될 때마다 0으로 초기화되고, 평균은 총 M개의 CAZAC 시퀀스에 대하여 수행한다. 따라서, $1 \le i \le M$이다.

그림 5에서 알 수 있듯이, 채널 추정의 성능을 향상시키기 위해 CAZAC 시퀀스의 개수를 증가시켜도 하드웨어가 증가하지 않음을 알 수 있다.

Ⅳ. 성능 평가

고속 Binary CDMA시스템은 WPAN 시스템이므로, 실내 무선 환경에서 주로 사용되어진다. 실내 무선 환경에서는 단말의 이동속도가 느리고, 반사파의 경로가 짧기 때문에 RMS(root mean square) 지연 T_{rms}가 실외 환경보다 작게 나타나며, 식 (9)과 같이 표현할 수 있다.

$$h(t) = \sum_{k=0}^{\nu} h_k \delta(t - kT_s) \qquad (9)$$

여기에서 T_s는 샘플링 주기를 나타내며, $\delta(\cdot)$는 충격함수를 나타낸다. 일반적으로 실내 환경(indoor environment)에서는 T_{rms}는 20 ~ 25nsec의 범위를 갖는다고 알려져 있다[8]. 식 (9)의 k번째 복소 채널 계수는 $h_k = \alpha_k + j\beta_k$로 표현할 수 있는데, α_k와 β_k는 서로 독립이며 평균이 0이고, 분산이 σ_k^2인 Gaussian 분포를 갖는 랜덤 변수로 모델링 된다. k번째 채널 탭에서 분산 $\sigma_k^2 = Ce^{-kT_s/T_{rms}}$의 관계를 가지며, 일반적으로 상수 C는 채널의 입력 신호의 전력과 출력 신호의 전력이 같게 하기 위해 $\sum \sigma_k^2 = 1$이 되도록 선택되어 지며, 채널의 길이는 $L+1 \le 10 \cdot T_{rms}/T_s$를 만족한다[8]. 채널 계수 h_k는 한 패킷 내에서는 변하지 않는다고 가정한다.

그림 6은 $T_{rms} = 0.5T_s$, $\nu = \hat{\nu} = 6$일 때 추정 길이에 따라 ML 채널 추정 방식과 제안된 채널 추정 방식의 성능을 보여준다. ML 채널 추정 방식은 N이 16, 32, 48, 64, 78, 96일 때 성능이고, 제안된 채널 추정 방식은 $N=16$, $M=1,2,3,4,5,6$일 때 성능이다. 채널 추정에 사용된 심볼의 길이는 ML 채널 추정 방식과 제안된 추정 방식에서 동일한 조건에서 비교하면 두 방식의 추정 성능 차이가 거의 없음을 볼 수 있다. 즉, ML 추정 방식에서 사용된 심볼의 길이가 $N=48$이면, 제안된 추정 방식에서는 $N=16$, $M=3$이다.

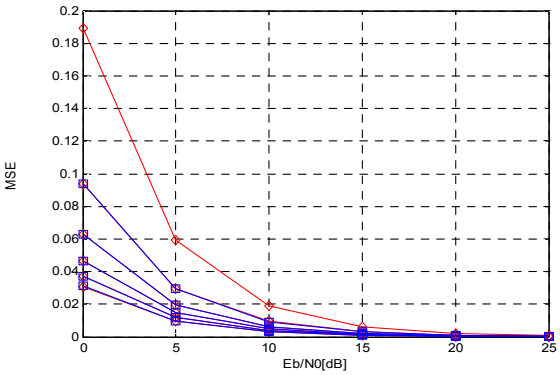

그림 6. 심볼 길이에 따른 채널 추정 성능 ($T_{rms}=0.5T_s$, $\nu=\hat{\nu}=6$)

Fig. 6. Channel estimation performances according to symbol length ($T_{rms}=0.5T_s$, $\nu=\hat{\nu}=6$)

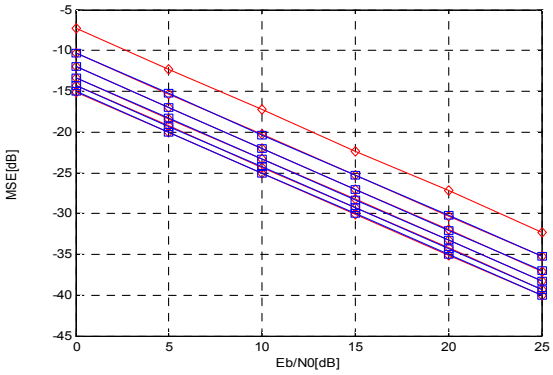

그림 7. 심볼 길이에 따른 채널 추정 성능 ($T_{rms}=0.5T_s$, $\nu=\hat{\nu}=6$)

Fig. 7. Channel estimation performances according to symbol length ($T_{rms}=0.5T_s$, $\nu=\hat{\nu}=6$)

그림 6은 채널 추정 오차의 MSE를 선형으로 나타낸 그림이고, 그림 7은 MSE를 dB단위로 나타낸 그림이다. 그림 6과 그림 7로부터 제안된 추정 방식은 ML 추정 방식과 동일한 추정 성능을 가진다고 볼 수 있다. 그림 6과 그림 7은 실내 무선 환경과 유사한 채널에서 실험한 결과이고, 그림 8은 $T_{rms} = 3T_s$로서 실외 환경과 유사한 채널에서 실험한 결과이다. 그림 8에서도 두 방식 모두 유사한 성능을 나타내고 있음을 확인 할 수 있다.

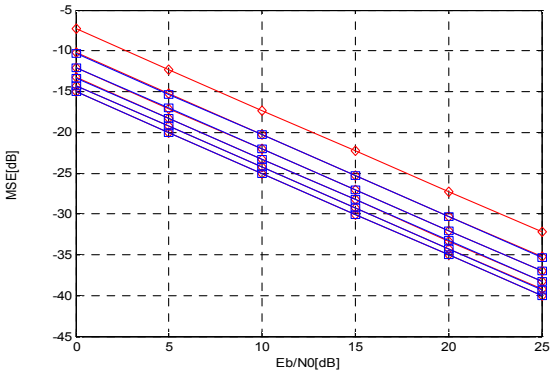

그림 8. 심볼 길이에 따른 채널 추정 성능 ($T_{rms} = 3T_s$, $v = \hat{v} = 6$)

Fig. 8. Channel estimation performances according to symbol length ($T_{rms} = 3T_s$, $v = \hat{v} = 6$)

그림 9는 CAZAC 시퀀스를 훈련열로 사용하여 등화기 탭 계수를 적응시킨 Least Mean Squares(LMS) 기반의 Decision Feedback Equalizer(DFE)[9]와 제안된 채널 추정을 통해 최적의 탭 계수를 계산하는 MMSE(Minimum Mean Squared Error) DFE[10]의 Bit Error Rate(BER) 성능이다. 변조 방식은 QPSK변조를 사용하였고, 두 등화기 모두 DFE의 전방 필터 탭수는 10, 후방 탭수는 6이다. 그리고, 페이로드 길이는 512심볼로 고정하였다. LMS 기반의 DFE의 step size는 0.01로 고정하였다.

그림 9에서 QPSK변조를 사용할 때는 LMS 기반 DFE와 MMSE DFE의 성능 차이가 크지 않음을 볼 수 있다. 이러한 이유는 프리엠블 구간 동안에 등화기가 충분히 수렴하지 않아도 등화기 출력의 잡음이 충분히 작아서 QPSK 복조하는데 큰 영향을 미치지 않기 때문이다.

그림 10은 64QAM 변조를 사용하는 경우에 대한 각 등화기의 BER 성능을 보여준다. 그림 9와 달리 LMS 기반의 DFE와 MMSE DFE의 BER 성능에 큰 차이가 있음을 볼 수 있다. 64QAM 변조를 사용하는 경우에는 프리엠블 동안에 등화기가 충분히 수렴하지 못하면, 복조과정에서 많은 판정 오류가 발생하게 된다. LSM 기반의 DFE를 사용하는 경우에 BER 성능이 저하되는 이유는 모든 패킷에서 등화기가 수렴을 하지 못하는 것이 아니고, 채널 상태가 좋은 패킷에서는 충분히 수렴을 잘해서 판정오류가 발생하지 않지만, 채널 상태가 열악한 패킷에서는 충분히 수렴을 하지 못해 페이로드의 많은 심볼에서 판정 오류가 발생하기 때문이다.

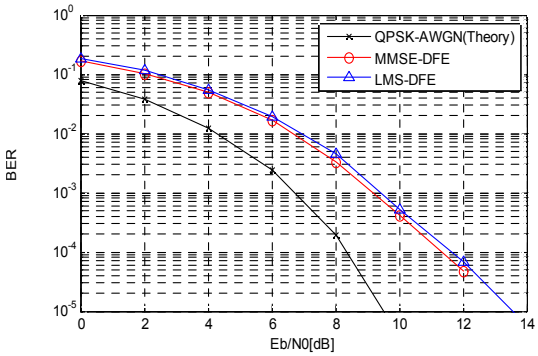

그림 9. BER 성능 비교 ($T_{rms} = 0.5T_s$, $v = \hat{v} = 6$, QPSK)

Fig. 9. BER performance comparison ($T_{rms} = 0.5T_s$, $v = \hat{v} = 6$, QPSK)

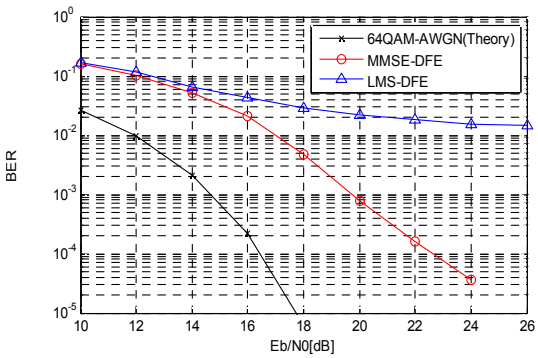

그림 10. BER 성능 비교 ($T_{rms} = 0.5T_s$, $v = \hat{v} = 6$, 64QAM)

Fig. 10. BER performance comparison ($T_{rms} = 0.5T_s$, $v = \hat{v} = 6$, 64QAM)

Ⅴ. 결 론

본 논문에서는 고속 Binary CDMA 시스템에 적합한 채널 추정 방식을 제안하고 성능을 분석하였다. 제안된 채널 추정 방식은 고속 Binary CDMA의 프리엠블이 CAZAC 시퀀스를 반복하여 구성되는 특징을 이용하여 각 CAZAC 시퀀스마다 채널 추정을 수행한 후에 추정 값을 평균을 취하여 최종 채널 추정 값을 얻는다. 제안된 채널 추정 방식은 채널 추정에 사용되는 심볼의 길이가 커져도 하드웨어 복잡도 증가하지 않고ML 채널 추정 방식과 동일한 추정 성능을 가진다.

제안된 채널 추정 방식을 적용한 MMSE DFE와 LMS 기반의 DFE 성능을 비교한 결과, QPSK변조를 사용할 때는 BER 성능에 큰 차이가 없지만, 64QAM 변조를 사용하는 경우에는 BER 성능에 큰 차이가 나타남을 확인하였다.

참 고 문 헌

[1] 지충원, 최현석, 김정선, “Binary CDMA 기반의 무선 홈 오디오 시스템,” *한국정보과학회 가을 학술발표논문집, vol.34, No.2(D), pp.417-421,* 2007.

[2] ISO/IEC 24771, *MAC/PHY standard for ad hoc wireless network to support QoS in an industrial work environment,* April 2009.

[3] 김용성, 조진웅, “Binary CDMA 기반 Guardian Modem의 구현 및 성능 분석,” *대한전자공학회 하계종합학술대회, pp.197-198,* 2009.

[4] A. Milewski, "Periodic Sequences with Optimal Properties for Channel Estimation and Fast Start-Up Equalization," *IBM Journal of Research and Development, Vol.27, No.5, pp.426-431, Sept.* 1983.

[5] *Wireless Medium Access Control(MAC) and Physical Layer(PHY) Specifications for High Rate Wireless Personal Area Networks (WPANs), IEEE* Std 802.15.3-2003.

[6] M. Kay, *Fundamentals of Statistical Signal Processing:estimation theory, Prentice Hall,* 1993.

[7] M. Pukkila, "Iterative Receivers and Multichannel Equalisation for Time Division Multiple Access Systems," *Ph.D Dissertation, Helsinki University of Technology,* 2003.

[8] W. Li, M. Tomisawa, "A New Receiver Architecture for Joint Carrire, Channel, and Data Estimatin for High-rate WPAN Systems," *in Proc. of VTC 2002, pp.1637-1641, Sept.* 2002.

[9] J. G. Proakis, M. Salehi, *Digital Communications, 5th ed., McGraw-Hill,* 2008.

[10] N. Al-Dhahir, J. Cioffi, "Fast Computation of Channel-Estimate Based Equalizers in Packet Data Transmission," *IEEE Trans. on Signal Proc., vol.43, no.11, pp.2462-2473, Nov.* 1995.

강 성 진 (姜聲辰)

1992년 2월 : 연세대학교 전자공학과 (공학사)

1994년 8월 : 연세대학교 전자공학과 (공학석사)

1998년 8월 : 연세대학교 전자공학과 (공학박사)

1998년 12월 ~ 2000년 1월 : ETRI 무선방송기술연구소 선임연구원

2000년 3월 ~ 2002년 8월 : (주)이노텔리텍 기술이사

2002년 9월 ~ 2007년 2월 : 전자부품연구원 통신네트워크연구센터 책임연구원

2007년 3월 ~ 현재 : 한국기술교육대학교 정보기술공학부 조교수

관심분야 : WLAN, WPAN, Modem SoC