

LTE-Advanced 상향 링크 시스템을 위한 적응적 채널 추정을 통한 고속 ICI 제거 방법 연구

A Fast ICI Suppression Algorithm with Adaptive Channel Estimation for the LTE-Advanced Uplink System

정해성 · 유흥균

Haeseong Jeong · Heung-Gyoon Ryu

요약

본 논문에서는 LTE-Advanced 상향 링크 시스템을 위한 적응적 채널 추정을 통한 고속 ICI 제거 알고리즘을 제안한다. 시변 채널 환경에서 위상 잡음과 반송파 주파수의 영향을 효과적으로 제거하기 위해서 comb type 파일럿을 사용하였다. 본 논문의 목적은 기존의 PNFS(Phase Noise & Frequency offset Suppression) 알고리즘보다 계산상의 복잡도를 줄여서 시스템 처리 속도의 향상을 가져오는 것이다. 중복되거나 불필요한 계산을 줄여서 계산상의 복잡도를 줄였다. 또한, 효과적으로 다중 경로 채널을 추정하기 위한 방법을 제안한다. 제안하는 적응적 채널 추정 방법을 이용하여 다중 경로 채널을 효과적으로 추정하고 보상한다. 제안된 방법이 Vehicular A 채널 환경에서 BER이 약 0.5 dB 정도 성능이 더 좋다.

Abstract

In this paper, we propose a fast ICI suppression algorithm with adaptive channel estimation for the LTE-Advanced uplink system. In order to effectively remove phase noise and carrier frequency offset at time varying channel, we use the comb type pilot. The purpose is to improve performance by reducing computational complexity than conventional PNFS(Phase Noise & Frequency offset Suppression) algorithm. We reduce computational complexity by decreasing overlapping computation or unnecessary computation at conventional PNFS algorithm. Also, we propose an effective channel estimation method. We estimate and compensate multipath channel through the proposed adaptive channel estimation method. The BER performance of the proposed method is better about 0.5 dB than the conventional method at the Vehicular A channel.

Key words : Inter-Carrier Interference, Phase Noise, Frequency Offset, ICI Suppression, LTE-Advanced

I. 서론

최근 3GPP(3rd Generation Partnership Project)에서, SC-FDMA(Single Carrier-Frequency Division Multiple Access) 전송 방식이 throughput 증대를 위하여 LTE(Long Term Evolution)-Advanced의 표준 기술로써 상

향 링크에서 채택되었다. SC-FDMA는 다중 반송파 신호를 DFT 확산 코드에 의해 변환함으로써 단일 반송파로 다중 접속이 가능해지고, 높은 PAPR(Peak to Average Power Ratio) 저감 효과를 갖는다. 특히 상향 링크의 전력 효율 측면에서, DFT spreading 기법은 비교적 단순한 구조에 매우 높은 PAPR 저감 효

「이 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업(No. 2010-0007567)」

충북대학교 전자공학과(Department of Electronic Engineering, Chungbuk National University)

· 논문 번호 : 20100924-139

· 교신저자 : 유흥균(e-mail : ecomm@cnu.ac.kr)

· 수정완료일자 : 2010년 12월 16일

과를 가진다. SC-FDMA 시스템은 DFT spreading을 사용하면서 주파수 영역에서 다중 접속을 위한 부반송파 매핑을 하고 시간 영역에서 CP(Cyclic Prefix)를 사용함으로써 다중 경로 페이딩에 강하다. 따라서 SC-FDMA 시스템은 PAPR 저감 효과와 주파수 영역에서의 사용자 할당 및 수신 구조가 단순해지게 된다. 하지만 SC-FDMA 시스템은 ICI(Inter-subcarrier Interference)의 영향에 민감한 단점을 지닌다. 따라서 ICI를 제거하는 연구가 필요하다. 현재 위상 잡음과 주파수 오프셋을 제거하기 위하여 많은 연구가 진행되고 있다. 참고문헌 [1]과 [2]에서는 위상 잡음만을 제거하기 위한 효과적인 등화기의 사용 방법인 PNS(Phase Noise Suppression)가 제시되었지만 직교 불균형과 멀티 패스 채널이 적용되면 성능이 열화된다. 참고문헌 [3]에서는 위상 잡음과 직교 불균형을 동시에 제거하는 기법이 소개되었으나, 주파수 영역에서 위상 잡음의 CPE(Common Phase Error) 성분만 제거한다. LTE-Advanced uplink 시스템은 파일럿 블록을 기반으로 채널 추정, 동기화, 그리고 RF 불균형 등을 보상한다. 하지만, 파일럿 블록 기반의 시스템은 시변 채널 환경에서 랜덤한 위상 잡음과 반송파 주파수의 영향을 효과적으로 제거하기가 어렵다. 따라서, 위상 잡음과 반송파 주파수의 영향을 효과적으로 제거하기 위해서 comb type 파일럿을 사용한다. LTE-Advanced uplink 시스템에서 효과적으로 ICI의 영향을 제거할 수 있는 새로운 구조를 참고문헌 [5]에서 제안한다. 참고문헌 [5]는 comb type 파일럿을 사용하여 SC-FDMA의 주파수 영역에서 사용될 수 있는 채널 추정을 고려한 적응적 ICI 제거 기법을 이용하여 RF impairments를 제거한다.

본 논문에서는 comb type 파일럿을 이용한 LTE-Advanced uplink 시스템을 대상으로 연구를 진행하였다. 참고문헌 [5]를 바탕으로 기존의 PNFS 알고리즘의 계산상의 복잡도를 줄여서 데이터 처리 속도를 높이는 것이 본 논문의 목적이다. 기존의 PNFS 알고리즘과 비슷한 과정을 거치긴 하지만, 기존의 PNFS 알고리즘에서 중복된 계산이나 불필요한 계산을 줄임으로써 계산상의 복잡도를 줄이게 된다. 알고리즘상의 복잡도를 줄이는 것은 데이터 처리 속도를 향상시키는 것을 의미하고, 데이터 처리 속도의 향상은 실시간 전송량을 늘릴 수 있는 장점을 가져온다.

또한, 다중 경로 환경에서 효과적으로 데이터를 송수신하기 위해서 정확한 채널 추정 방법이 필요하다. 본 논문에서는 효과적으로 다중 경로 채널을 추정하는 새로운 방법을 소개하고, 이를 이용하여 시스템 성능 향상을 가져온다.

II장에서는 고속 ICI 제거 알고리즘을 소개하고, III장에서는 기존의 방법과 계산상의 복잡도를 비교한다. 그리고 IV장에서는 적응적으로 채널을 추정하는 새로운 알고리즘을 소개하고, V장에서는 시뮬레이션 결과를 보여주며, VI장에서는 결론을 맺는다.

II. 고속 ICI 제거 알고리즘

그림 1은 기존의 PNFS 알고리즘의 계산상의 복잡도를 줄인 제안한 알고리즘의 블록도이다. 위상 잡음과 반송파 주파수 오프셋이 발생하게 되면, ICI의 영향으로 인해서 시스템 성능이 열화가 된다. 위상 잡음과 반송파 주파수 오프셋에 의한 ICI의 영향은 CPE 성분과 ICI 성분으로 나뉘어 분석할 수 있다. 제안한 방법은 매 심볼당 파일럿 심볼을 이용하여 평균값을 취해서 CPE를 보상하는 것은 기존의 방법과 동일하다. 하지만, MMSE 판정 기준을 계산할 때, decision feedback을 하는 것이 아니라, 파일럿 심볼로 추정된 ICI와 AWGN 간섭에 의해 발생한 전력 σ_N^2 과 위상 잡음과 주파수 오프셋이 동시에 존재하므로 추출 전력을 사용한 등화기 판정 기준을 만들기 위한 \tilde{Q}_n , decision 값을 이용하여 MMSE 판정 기준을 계산하여 CPE 성분과 ICI 성분을 동시에 보상을 한다.

CPE 성분은 자신의 신호에 영향을 주는 성분으로 전체 OFDM 심볼 구간 동안에 동일하며, OFDM 신

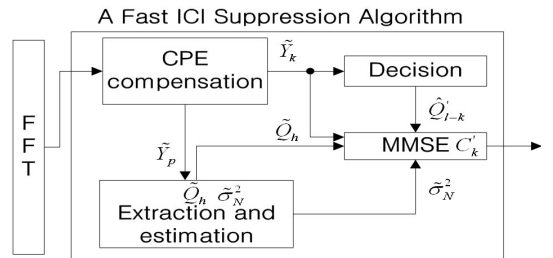


그림 1. 고속 ICI 제거 알고리즘의 블록 다이어그램
Fig. 1. Block diagram of a fast ICI suppression algorithm.

호 자체의 정상점을 회전시킨다. 파일럿 심볼 역시 동일한 위상 회전이 발생하기 때문에 송수신된 파일럿을 이용하여 CPE를 제거한다. CPE 성분은 식 (1)과 같이 추정한다.

$$CPE_k = \frac{Y_k}{X_k} = Q_0 + \frac{ICI + N_k}{X_k} = Q_0 + W_k. \quad (1)$$

여기서, X_k 는 송신 파일럿이고, Y_k 는 수신 파일럿이며, k 는 심볼 인덱스이다. 송수신된 파일럿을 이용하여 CPE 성분을 보상하기 위하여 전체 파일럿들의 평균을 이용을 하는데, 그 과정은 식 (2)에 나와 있다.

$$r_{cpe} = \frac{1}{N_p} \sum_{k \in S_p} CPE_k = Q_0 + \frac{1}{4} \sum_{k \in S_p} W_k. \quad (2)$$

식 (2)에서 N_p 는 파일럿 심볼의 개수이고, S_p 는 파일럿 심볼이다. 본 연구에서는 4개의 comb type 파일럿을 사용하였다.

CPE 성분을 보상하기 위하여 식 (2)로 나눠준 후의 수신 신호는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \tilde{Y}_k &= \left(X_k \cdot Q_0 + \sum_{\substack{l=0 \\ l \neq k}}^{N-1} X_l \cdot Q_{l-k} + V_k \right) / r_{cpe} \\ &= X_k \tilde{Q}_0 + W_{ICI+AWGN}. \end{aligned} \quad (3)$$

여기서, N 은 부반송파의 수를 나타낸다. 식 (3)를 보면 CPE 성분이 제거되고 ICI 성분만 남는 것을 확인할 수 있다. ICI를 제거하기 위해서 기존의 PNFS 알고리즘과 제안된 고속 ICI 제거 알고리즘은 MMSE 판정 기준을 산출해 내서 데이터를 보상한다. 위상 잡음과 주파수 오프셋이 동시에 존재하므로 추출 전력을 사용한 등화기 판정 기준을 만들기 위해서 CPE가 제거된 파일럿 심볼을 기준으로 식 (4)를 제안한다. 식 (4)는 decision feedback을 위한 파일럿을 통해 계산된 적응형 스텝 사이즈이다.

$$\tilde{Q}_h = \left(\frac{1}{N_p} \sum_{k \in S_p} (Y_k - \tilde{Y}_k) \right)^2 = \left(\frac{1}{N_p} \sum_{k \in S_p} \varepsilon \right)^2 = E[\varepsilon]. \quad (4)$$

식 (1)~(4)까지는 기존의 PNFS 알고리즘과 제안된 고속 ICI 제거 알고리즘이 동일한 과정을 거친다. 하지만, 기존의 PNFS 알고리즘에서는 식 (5)와 같이 decision feedback 과정을 거친다.

$$\hat{Q}_{l-k} = \tilde{Q}_h \tilde{Q}_{l-k} + (1 - \tilde{Q}_h) \tilde{Q}'_{l-k}. \quad (5)$$

여기서 \tilde{Q}_{l-k} 와 \tilde{Q}'_{l-k} 는 각 부반송파간 간섭으로 발생하는 위상 값을 나타낸다. \tilde{Q}_{l-k} 는 파일럿을 이용해서 추정된 값이고, \tilde{Q}'_{l-k} 는 수신된 데이터를 이용해서 추정되는 값이다. \tilde{Q}_{l-k} 와 \tilde{Q}'_{l-k} 는 다음과 같다.

$$\tilde{Q}_{l-k} = \frac{\sum_{k \in S_p} \tilde{Y}_p X_p^*}{\sum_{k \in S_p} |X_p|^2}, \quad \tilde{Q}'_{l-k} = \frac{\sum_{k \in S_d} \tilde{Y}_d D_d^*}{\sum_{k \in S_d} |D_d|^2}. \quad (6)$$

하지만, 식 (5)에서 \tilde{Q}_{l-k} 와 \tilde{Q}'_{l-k} 가 유사한 특성을 갖고 있다. 따라서 제안된 고속 ICI 제거 알고리즘에서는 식 (7)처럼 decision 과정만 사용한다.

$$\begin{aligned} \hat{Q}_{l-k} &= \tilde{Q}_h \tilde{Q}_{l-k} + (1 - \tilde{Q}_h) \tilde{Q}'_{l-k} \\ &= \tilde{Q}_h \tilde{Q}'_{l-k} - \tilde{Q}_h \tilde{Q}_{l-k} + \tilde{Q}'_{l-k} = \tilde{Q}'_{l-k}. \end{aligned} \quad (7)$$

식 (5)와 (7)이 기존의 방법과 제안한 방법과의 차이점이다. Decision feedback 과정을 통해서 MMSE 판정 기준을 계산하게 되는데, 기존의 방법에서는 \hat{Q}_{l-k} 를 계산하기 위해서 식 (5)처럼 decision feedback 과정을 거치지만, \tilde{Q}_{l-k} 와 \tilde{Q}'_{l-k} 가 유사한 특성을 갖기 때문에 제안한 방법은 decision feedback을 하지 않고 식 (7)처럼 \tilde{Q}'_{l-k} 를 이용하여 decision만을 하여 MMSE 판정 기준을 계산한다. 따라서, 식 (7)을 통한 MMSE 판정 기준이 복잡도를 감소시킨다.

MMSE 동작을 위한 cost function은 다음과 같다.

$$\min_{Q_0, k \in S_p} \left| \tilde{Y}_k - X_k \tilde{Q}_h \tilde{Q}'_{l-k} \right|^2. \quad (8)$$

그리고 제안한 방식의 MMSE 판정 기준을 구하는 수식은 다음과 같다.

$$C'_k = \frac{\tilde{Q}'_{l-k} \cdot H_k^*}{|\tilde{Q}'_{l-k} \cdot H_k^*|^2 + \frac{\sigma_N^2}{E_x}}. \quad (9)$$

잡음 전력보다 ICI 성분이 FFT 후단에서 등화기 과정 중에 미치는 영향이 충분히 크기 때문에, 등화기의 탭 가중치 값을 최적화하기 위해 위상 잡음과 주파수 오프셋을 따로 분리하지 않고 파일럿 심볼로부터 에러 전력을 추출하여 사용하였다. 그리고 E_x 는 채널 추정을 이용한 유용한 전력이다. 그리고 σ_N^2

은 $W_{ICI+AWGN}$ 의 전력을 나타낸다.

$$\tilde{\sigma}_N^2 = \frac{1}{N_P} \sum_{k \in S_P} |\tilde{Y}_k|^2. \quad (10)$$

ICI의 영향을 제거하기 위하여 CPE가 제거된 신호는 MMSE 등화 과정을 거치고, 최종 출력 신호는 다음과 같다.

$$\hat{X}_k' = \tilde{Y}_k \cdot C_k'. \quad (11)$$

제안한 방법은 기존의 방법처럼 파일럿 심볼을 이용하여 CPE 성분을 보상하고 ICI 성분을 MMSE 과정을 거쳐서 보상하는 방법이다. 하지만, 기존의 방법과 큰 차이점은 decision feedback를 하지 않고 decision만으로도 동일한 성능을 보이는 것이다. Decision feedback를 하지 않기 때문에 계산상의 복잡도가 상당히 줄어들었다. 제안한 알고리즘의 동작 원리는 다음과 같다.

- 1) 기존의 방법과 동일하게 식 (1)과 (2)를 이용하여 CPE 성분을 추정하고, 평균 CPE 성분의 값 r_{cpe} 를 계산한다.
- 2) 식 (2)를 식 (3)에 나누는 과정을 거쳐서 CPE 보상을 한 후의 수신 신호를 구한다.
- 3) 식 (4)를 이용하여 추출 전력을 사용한 등화기

판정 기준을 만들기 위해서 CPE가 제거된 파일럿 심볼을 기준으로 \tilde{Q}_k 를 구하고, 식 (10)을 이용하여 ICI와 AWGN에 의한 간섭 전력의 추정 값 $\tilde{\sigma}_N^2$ 를 구한다. 그리고 식 (6)을 이용하여 \tilde{Q}_{l-k} 를 구한다.

- 4) 식 (6), (10)을 식 (9)에 대입하여 매개 심볼의 N 샘플에 대한 등화계수 C_k' 를 계산한다.
- 5) 식 (11)를 이용하여 수신 신호의 유용한 값을 추정한다.
- 6) 위의 과정을 반복적으로 이용하여 전체 심볼을 추정하여 보상한다.

III. 계산상의 복잡도 비교

표 1은 PNFS 알고리즘과 제안한 알고리즘의 계산상의 복잡도를 비교한 것이다. 기존의 PNFS 알고리즘과 제안된 고속 ICI 제거 알고리즘의 차이점은 식 (5)와 (7)이다. 기존의 PNFS 알고리즘은 식 (5)처럼 파일럿을 이용해서 추정된 값인 \tilde{Q}_{l-k} 와 수신된 데이터를 이용해서 추정된 값인 \tilde{Q}_{l-k} 를 이용해서 decision feedback 과정을 거치게 된다. 하지만, \tilde{Q}_{l-k} 와 \tilde{Q}_{l-k} 가 유사한 값을 갖기 때문에 식 (7)처럼 \tilde{Q}_{l-k} 만 계산을 해서 decision만을 이용하여 계산상의 복잡도를

표 1. 계산상의 복잡도 비교

Table 1. Computational complexity comparison.

		PNFS algorithm	Proposed algorithm
\tilde{Q}_{l-k}	A ^a	$\sum_{k=1}^k \sum_{m=1}^{2m} (k \times m - 1)$	-
	M ^b	$\sum_{k=1}^k \sum_{m=1}^{2m} (k \times m)$	-
C_k	A	$\sum_{k=1}^k \sum_{m=1}^m (k \times m - 1) + \sum_{d=1}^d \sum_{m=1}^m (d \times m - 1)$	$\sum_{d=1}^d \sum_{m=1}^m (d \times m - 1)$
	M	$\sum_{k=1}^k \sum_{m=1}^{4m} (k \times m) + \sum_{d=1}^d \sum_{m=1}^{4m} (d \times m)$	$\sum_{d=1}^d \sum_{m=1}^{4m} (d \times m)$
DFE ^c \hat{Q}_{l-k}	A	$\sum_{k=1}^k \sum_{m=1}^{2m} (k \times m - 1) + \sum_{d=1}^d \sum_{m=1}^{2m} (d \times m - 1)$	-
	M	$\sum_{k=1}^k \sum_{m=1}^m (k \times m)^2 \cdot \left(\sum_{k=1}^k \sum_{m=1}^{3m} (k \times m) + \sum_{d=1}^d \sum_{m=1}^{3m} (d \times m) \right)$	-

^a Addition; ^b Multiplication; ^c Decision feedback equalizer.

줄였다. 본 논문에서는 계산상의 복잡도를 비교하기 위해서 알고리즘상의 덧셈 연산량과 곱셈 연산량의 수로 비교를 하였다. 표 1에서 k 는 각 심볼의 파일럿의 수, d 는 프리엠프의 수, m 은 심볼의 수를 나타낸다. 표 1에서는 3가지 측면에서 계산상의 복잡도를 비교한다. 먼저, 각 부반송파간 간섭으로 발생하는 위상 값인 \tilde{Q}_{l-k} 의 계산 부분을 비교한다. 제안한 방법은 \tilde{Q}_{l-k} 와 \tilde{Q}_{l-k}^* 가 동일한 특성을 갖고 있기 때문에 파일럿 심볼을 이용하여 \tilde{Q}_{l-k} 를 따로 계산을 하지 않는다. 그리고 decision feedback 부분의 계산상의 복잡도를 비교한다. \tilde{Q}_{l-k} 와 \tilde{Q}_{l-k}^* 가 비슷한 특성을 갖기 때문에 식 (5)처럼 \hat{Q}_{l-k} 를 따로 계산하지 않는다. 마지막으로 MMSE 판정 기준을 계산하는 부분을 비교한다. 제안한 방법은 decision만을 하기 때문에 표 1에 나타낸 것처럼 MMSE 판정 기준인 C_k 를 계산할 때 파일럿을 이용하여 계산하는 부분이 없기 때문에 상당한 양의 계산상의 복잡도가 줄어든다.

IV. 효과적인 채널 추정 방법

그림 2는 효과적인 적응적 ICI 제거 기법의 블록 다이어그램이다. 본 논문에서 제안한 효과적인 채널 추정 방법은 기존의 방법과 매우 유사하다. 먼저, 제안한 효과적인 채널 추정 방법은 기존의 방법과 동일하게 채널 응답의 변화를 고려해서 멀티패스 채널을 추정하기 위해서 적응적으로 step size를 조정한다. 하지만 채널 응답의 변화가 크다면, 채널 응답을 정확하게 추정을 하지 못하는 문제점이 발생한다. 따라서 그림 2의 채널 상태 평균(Channel Condition Average) 블록을 제안한다. 본 논문에서는 우리가 step size를 조절함으로써 채널을 추정할 때, 채널을

추정하고, 평균화 작업을 통해서 좀 더 정확하게 채널을 추정한다. 채널 상태 평균화 작업은 부반송파를 홀수 번째와 짝수 번째로 나누어서 각각 채널 추정을 한 후에 평균을 내서 좀 더 정확도를 높이는 방법이다.

기존의 방법보다 약간의 계산상의 복잡도가 늘지만, 멀티 패스 환경에서 채널 추정을 정확하게 함으로 인해서 성능 향상을 가져온다. μ 는 step size이다.

$$\mu = \left| \frac{1}{N_p} (1 - \sum_{k \in S_p} \tilde{H}_k) \right|, \quad (12)$$

여기서, μ 는 $0 < \mu \leq 1$ 의 값을 갖는다. 그리고 식 (13)과 (14)를 이용하여 채널 응답을 추정한다.

$$\hat{H}_k = \mu \tilde{H}_k + (1 - \mu) \hat{H}_{k-1}. \quad (13)$$

$$\text{if } |\tilde{H}_k - \hat{H}_k| < \mu, \quad \tilde{H}_k = \hat{H}_{k-1}. \quad (14)$$

적응적으로 추정된 채널 응답을 이용하여 채널 상태 평균화 과정을 수행한다. 채널 상태 평균화 과정은 다음과 같다.

$$\hat{H}_{k_CCA} = \frac{2}{N} \sum_{i=1}^{N/2} \hat{H}_i + \hat{H}_{i+1}, \quad (15)$$

여기서, \hat{H}_i 는 추정된 채널 응답의 홀수 번째 채널 응답을 나타내고, \hat{H}_{i+1} 은 추정된 채널 응답의 짝수 번째 채널 응답을 나타낸다. 채널 상태 평균화 과정이 끝나면 ZF(Zero Forcing)기법을 사용하여 멀티패스 채널을 보상한다. 멀티패스 채널 보상 후에, 2장의 고속 ICI 제거 알고리즘을 이용하여 위상 잡음과 CFO에 의해서 발생된 ICI의 영향을 제거한다.

V. 시뮬레이션 결과

본 연구에서는 LTE-Advanced uplink 시스템에서 위상 잡음과 반송파 주파수 오프셋에 의해 발생한 주파수 오프셋의 영향에 대해 조사하고, 기존의 PNFS 알고리즘인 경우와 제안한 알고리즘의 성능을 살펴본다. 제안한 알고리즘은 기존의 PNFS 알고리즘과는 동일한 성능을 보인다. 본 연구에서는 위상 잡음과 CFO로 인해 발생된 CPE와 ICI로 인한 성능만을 분석하기 때문에, HPA 등 다른 요소는 고려하지 않았다.

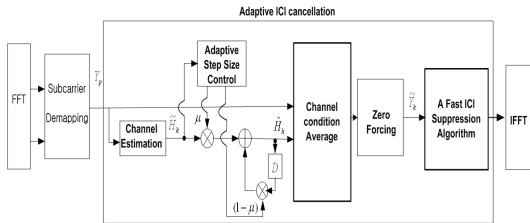


그림 2. 고속 ICI 제거 방법을 위한 적응적 채널 추정 기법

Fig. 2. Adaptive channel estimation for a fast ICI suppression algorithm.

표 2. 시뮬레이션 파라미터

Table 2. Simulation parameters.

Modulation	16QAM
The number of sub-carrier	64(data=60, pilot=4)
Oversampling rate	4
Channel	AWGN, Multipath channel(Vehicular A channel)
Carrier frequency offset	CFO=0.01, 0.1
Phase noise	-15 dBc, -20 dBc, cut-off freq.=10 kHz, 100 kHz

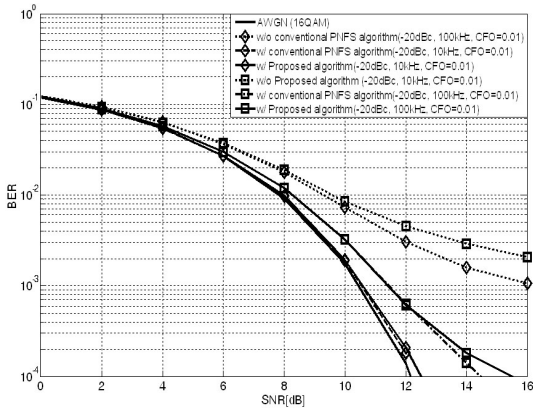


그림 3. 16QAM에서 위상 잡음과 반송과 주파수 오프셋에 따른 기존 PNFS 알고리즘과 제안한 알고리즘의 BER 비교

Fig. 3. BER comparison between PNFS algorithm and proposed algorithm according to phase noise and CFO at 16QAM.

그림 3은 AWGN 상황에서 16QAM에서 위상 잡음과 반송과 주파수 오프셋에 따른 기존의 PNFS 알고리즘과 제안한 알고리즘의 BER 곡선의 비교이다. 그림 3에서, 다이아몬드 표시는 위상 잡음의 전력이 -20 dBc이고, 위상 잡음의 cut-off 주파수가 100 kHz이며, 정규화된 CFO가 0.01인 경우의 BER 곡선이다. 그리고 정사각형의 표시는 위상 잡음의 전력이 -20 dBc이고 위상 잡음의 cut-off 주파수가 10 kHz이며, 정규화된 CFO가 0.01인 경우의 BER 곡선이다. 점선은 위와 같은 위상 잡음과 CFO의 시뮬레이션 조건에서의 보상 방법이 적용되지 않은 경우의 BER 곡선이다. 그리고 파선-점선은 각각의 시뮬레이션 조건에서 기존의 PNFS 알고리즘과 제안된 방법에 보상 알고리즘을 적용한 BER 곡선이다. 그리고 실선

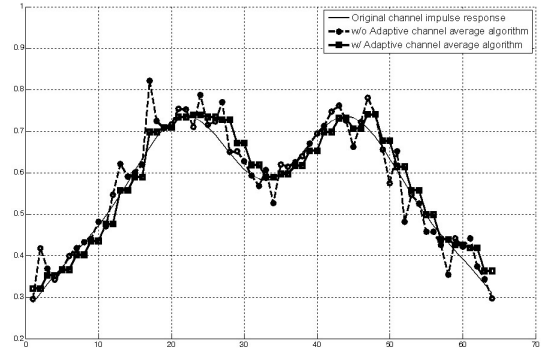


그림 4. 채널 응답 추정의 비교

Fig. 4. Comparison of channel impulse response estimations.

은 각각의 시뮬레이션 상태에서 기존 PNFS 알고리즘과 제안된 알고리즘을 적용한 BER 곡선이다. 기존의 PNFS 알고리즘과 제안된 알고리즘의 BER 성능은 거의 비슷함을 알 수 있다.

그림 4는 Vehicular A 채널에서 기존의 채널 추정 방식과 제안된 방식의 채널 응답의 추정을 비교한 것이다. 제안된 방식의 성능은 적응형 채널 평균화 알고리즘을 사용했기 때문에 기존의 방식보다 약간 더 좋다.

그림 5는 Vehicular A 채널에서 적응형 채널 추정 방법에 따른 기존의 방식과 제안된 방식의 BER 비교이다. 그림 5에서 ACE는 적응형 채널 추정 방식(adaptive channel estimation method)을 나타내고, FICA는 고속 ICI 제거 알고리즘(a Fast ICI cancellation algorithm)을 나타낸다. Vehicular A 채널에서 제안된

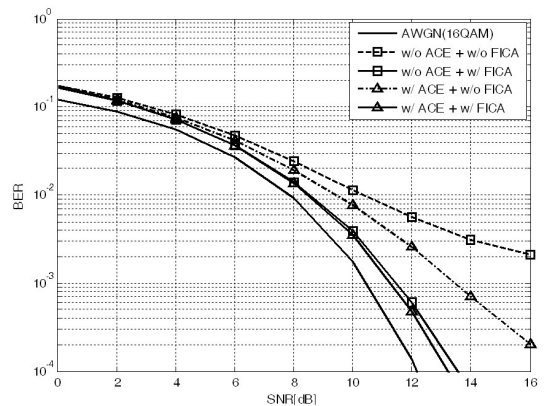


그림 5. 기존 방식과 제안된 방식의 BER 비교

Fig. 5. Comparison of BER between proposed method and conventional method.

적응형 채널 추정 방법을 사용하면, 그림 5와 같이 기존의 방식보다 성능이 좋다. 또한, 그림 5의 결과는 위상 잡음의 전력을 -20 dBc, cut-off 주파수를 10 kHz, 정규화된 CFO를 0.01 로 설정을 하여 시뮬레이션을 한 것이다. 제안된 방법의 BER 성능은 기존의 방법보다 약 0.5 dB 정도 더 좋다.

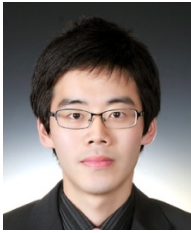
VI. 결 론

본 논문에서는 LTE-Advanced 상향 링크 시스템을 위한 적응적 채널 추정을 통한 고속 ICI 제거 알고리즘을 제안한다. 시변 채널에서 위상 잡음과 반송파 주파수 오프셋의 영향을 효과적으로 제거하기 위하여 comb type 파일럿을 사용한다. 제안된 알고리즘은 \tilde{Q}_{-k} 와 \tilde{Q}_k 가 비슷한 특성을 갖기 때문에 기존의 방법처럼 decision feedback 과정 없이 decision만을 이용하여 위상 잡음과 반송파 주파수 오프셋의 영향을 보상한다. 따라서 새로운 알고리즘은 decision feedback 과정에서 발생한 덧셈 계산 복잡도와 곱셈 복잡도를 상당히 줄이는 효과를 얻을 수 있다. 또한, 효과적으로 다중 경로 채널을 추정하기 위한 방법을 제안한다. 제안된 고속 ICI 제거 알고리즘을 통해서 계산상의 복잡도 저감을 가져오고, 이를 통해 데이터 처리 속도의 향상을 가져온다. 데이터 처리 속도의 향상은 고속의 통신 시스템 또는 다중 대역 통신 시스템에 적합할 것으로 기대된다. 또한, 제안하는 적응적 채널 추정 방법을 이용하여 다중 경로 채널을 효과적으로 추정하고 보상한다. 제안된 방법이 Vehicular A 채널 환경에서 BER이 약 0.5 dB 정도 성능이 더 좋다.

참 고 문 헌

- [1] S. Wu, Y. Bar-Ness, "A phase noise suppression algorithm for OFDM-based WLANs", *IEEE Transactions on Communication Letters*, vol. 6, no. 12, pp. 535-537, 2001.
- [2] S. Wu, Y. Bar-Ness, "OFDM system in the presence of phase noise: consequences and solutions", *IEEE Transactions on Communication*, vol. 52, issue 2, pp. 1988-1996, Nov. 2004.
- [3] J. Tubbax, L. V. Perre, and S. Donnay, "Compensation of IQ imbalance and phase noise in OFDM systems", *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol. 4, issue 3, pp. 872-877, May 2005.
- [4] H. G. Ryu, Y. S. Li, "Phase noise analysis of the OFDM communication system by the standard frequency deviation", *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, vol. 49, no. 1, pp. 41-47, Feb. 2003.
- [5] S. B. Ryu, J. Kim, H. G. Ryu, and Y. Li, "PNS algorithm for the SC-FDMA communication system with phase noise", *Wireless and Optical Communications Networks, 2009 IFIP International Conference*, Apr. 2009.
- [6] H. G. Ryu, H. S. Lee, "Analysis and minimization of phase noise of the digital hybrid PLL frequency synthesizer", *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, vol. 48, no. 2, May 2002.
- [7] B. Wu, S. Cheng, and H. Wang, "Clipping effects on channel estimation and signal detection in OFDM", *Personal, Indoor and Mobile Radio Communications*, vol. 1, pp. 531-534, Sep. 2003.

정 해 성



2010년 2월: 충북대학교 전기전자
컴퓨터공학부(공학사)
2010년 3월~현재: 충북대학교 전
자공학과 석사과정
[주 관심분야] 무선 통신 시스템,
이동 통신 시스템, WPAN, LTE-
Advanced

유 흥 균



1988년~현재: 충북대학교 전자공
학과 교수
2002년 3월~2004년 2월: 충북대학
교 컴퓨터정보통신연구소 소장
1992년~현재: IEEE, IET 논문 심사
위원
2002년: 한국전자과학회 학술상 수
상

2008년: 그리스 ICWMC 2008 국제학술대회 'Best Paper
Award' 수상

2009년: 프랑스 SPACOMM 2009 국제학술대회 'Best Paper
Award' 수상

[주 관심분야] 이동 통신 시스템, 위성 통신, 3G/4G 시스
템, 통신 회로 설계 및 통신 신호 처리