

OFDM 기반 유비쿼터스 광대역 서비스를 위한 단일화된 시간영역 채널추정기법

*배학연, 서정욱, 김동구
연세대학교 전기전자공학과

e-mail: hybae01@naver.com, jwseo@keti.re.kr, dkkim@yonsei.ac.kr

A Unified Time-Domain Channel Estimator for OFDM-based Ubiquitous Broadband Access

*Hag-Youn Bae, Jeong-Wook Seo, and Dong-Ku Kim
School of Electrical & Electronic Engineering
Yonsei University

Abstract

OFDM 기반 광대역 무선접속 시스템들을 통해 유비쿼터스 서비스를 제공받기 위해서는 SDR (Software Defined Radio)과 같은 공통의 플랫폼이 필요하다 [1]. 본 논문에서는 이러한 플랫폼을 구성하기 위한 채널추정기법으로 단일화된 시간영역 채널추정기를 제안한다. 제안한 기법은 기존의 시간영역 채널추정기법의 전처리 과정에 Wiener 필터를 사용함으로써 파일럿 위치와 할당방식에 관계없이 추정기법을 단일화할 수 있으며 우수한 성능을 제공할 수 있다.

I. 시간영역 채널추정기법의 문제점

OFDM 기반의 광대역 무선접속 시스템에서 채널추정을 위해 DFT 보간을 사용하는 시간영역 채널추정기(TD-CE: Time-Domain Channel Estimator)가 사용된다고 가정한다. TD-CE는 2개의 연속된 DFT 처리와 제로 삽입에 의해서 수행된다 [2]. 수신 파일럿 벡터는 다음과 같다.

$$Y_p = X_p H_p + W_p \quad (1)$$

여기서 X_p 는 송신된 파일럿 심볼로 구성된 대각행렬, H_p 는 파일럿 위치의 CFR (Channel Frequency Response) 벡터, W_p 는 잡음벡터이다.

TD-CE의 첫 번째 과정은 LS (Least Square) 방법에 의해서 파일럿 위치의 CFR 벡터를 추정한다.

$$\bar{H}_p = X_p^H Y_p = H_p + X_p^H W_p \quad (2)$$

이후에 M-포인트 IDFT를 통해 시간영역으로 변환하

고 제로를 삽입한 후 다시 N-포인트 DFT를 통해 주파수영역으로 변환한다. 추정된 최종 CFR 벡터는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\bar{H} = D Q D_M^H \bar{H}_M \quad (3)$$

여기서 D 는 $N \times N$ DFT행렬, Q 는 제로 삽입을 위한 $N \times M$ 가중행렬, D_M 은 $M \times M$ DFT행렬, \bar{H}_M 은 식 (2)의 CFR 벡터에 제로를 삽입한 $M \times 1$ CFR 벡터이다.

이러한 TD-CE는 복잡도와 성능면에서 모두 우수한 특성을 갖는다 [2]. 그러나 파일럿 위치와 할당방식에 따라 성능이 좌우된다는 단점이 있다 [3]. 즉, 두 가지 제약조건에 의해 성능차이가 발생할 수 있다. 첫 번째 제약조건은 최소 파일럿 간격이 2의 배수이어야 한다. 두 번째 제약조건은 파일럿의 위치가 유효대역의 처음과 마지막에 할당되어야 한다. 이 두 가지 제약조건이 만족되지 않을 경우 심각한 보간에러가 발생하여 추정 성능이 저하된다. 따라서 여러 시스템을 통해 연속적으로 이루어지는 유비쿼터스 서비스를 제공받기 위해서는 파일럿 위치와 할당방식에 구애받지 않는 형태의 TD-CE가 요구된다.

II. 제안한 채널추정기법

제안한 채널추정기법 (UTD-CD: Unified TD-CE)에서는 앞서 언급한 TD-CE의 단점을 해결하기 위해 그림 1과 같이 TD-CE의 전처리 과정에 Wiener 필터를 사용한다. Wiener 필터는 LS 방법에 의해 추정된 파일럿 위치의 CFR 벡터를 사용하여 두 가지 제약조건을 만족시키도록 정해진 위치의 CFR 벡터를 추정한다. 이러한 과정은 식 (4)~(7)을 통해 이루어진다.

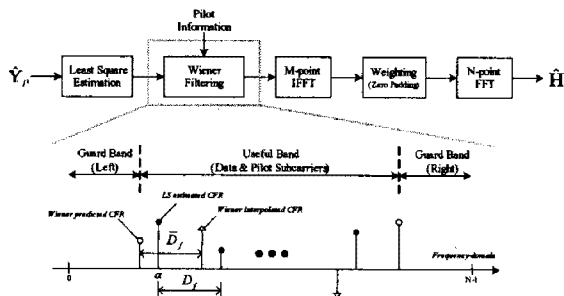


그림1. 제안된 UTD-CE의 블록다이어그램

두 가지 제약조건을 만족시키도록 정해진 위치를 j 라고 하면, 그 위치에서의 CFR은 다음의 식을 통해 구할 수 있다.

$$\bar{H}_m[j] = \sum_{i=0}^{N_p-1} Q_i[\Delta j] \bar{H}_p[i] = \mathbf{Q}[\Delta j] \bar{\mathbf{H}}_p \quad (4)$$

여기서 $\mathbf{Q}[\Delta j]$ 는 식 (5)와 같이 표현되는 Wiener 필터이고, Δj 는 원래 파일럿 위치와 정해진 파일럿 위치의 상대적인 차를 나타낸다 [3].

$$\mathbf{Q}[\Delta j] = \mathbf{P}[\Delta j] \mathbf{R}^{-1} \quad (5)$$

상호상관 벡터 $\mathbf{P}[\Delta j]$ 와 자기상관 행렬 \mathbf{R} 은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\mathbf{P}[\Delta j] = E\{\bar{\mathbf{H}}_m[j] \bar{\mathbf{H}}_m^H[j]\} \quad (6)$$

$$\mathbf{R} = E\{\bar{\mathbf{H}}_p \bar{\mathbf{H}}_p^H\} = \left(\mathbf{R}' + \frac{\lambda}{SNR} \mathbf{I} \right) \quad (7)$$

여기서 $\mathbf{R}' = E\{\mathbf{H}_p \mathbf{H}_p^H\}$ 이고, λ 는 평균 신호전력과 파일럿 전력의 비율이다.

III. 실험 결과

제안한 채널추정기법을 검증하기 위해서 2.3 GHz에서 동작하고 10 MHz 밴드를 사용하는 16QAM-OFDM 시스템을 가정한다. 다중경로 페이딩 채널은 ETSI의 "Vehicular A" 모델을 사용한다. 그림2는 TD-CE와 제안한 UTD-CE의 MSE (Mean Square Error) 성능을 나타낸다. 그래프 인덱스 (U)TD-CE(a,b)의 'a'는 파일럿의 초기 위치이고 'b'는 최소 파일럿 간격이다. 기존 TD-CE는 UTD-CE에 비해 MSE 성능이 떨어진다. 또한 UTD-CE는 파일럿 위치와 간격에 관계없이 유사한 MSE 성능을 나타낸다. 그림3은 BER 성능을 나타낸다. 그림에서 "Perfect"는 채널을 완벽하게 알고 있을 때의 성능을 의미한다. 두 가지 제약조건을 만족하는 경우, 즉 (a,b)=(0,8)에서도 TD-CE는 UTD-CE와 비해 성능이 떨어짐을 알 수 있다. 두 가지 제약조건을 만족하지 못하는 경우, 즉 (a,b)=(1,7)일 때는 UTD-CE가 훨씬 좋은 성능을 나타낸다. 또한 (a,b)를 다양하게 변

화시키면서 실험해본 결과 유사한 경향을 나타냄을 확인할 수 있다.

IV. 결론 및 향후 연구 방향

본 논문은 유비쿼터스 서비스를 위한 SDR 플랫폼에 적합한 채널추정기법을 제안하였다. 기존 TD-CE는 복잡도가 낮고 성능이 우수하다는 장점에도 불구하고 두 가지 제약조건에 의해 성능이 열화될 수 있어 SDR 플랫폼에 사용되기 어렵다. 제안한 채널추정기법에서는 TD-CE의 전처리과정에 Wiener필터를 사용하여 파일럿 위치와 할당방식에 관계없이 유사한 성능을 제공할 수 있다.

참고문헌

- [1] K. Tsukamoto, "Software definable radio networks for the ubiquitous networks," RSI-GA2005, 2005.
- [2] B. Yang, et. al., "Analysis of low-complexity windowed DFT-based MMSE channel estimator for OFDM systems," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 49, no. 11, pp. 1977-1987, Nov. 2001.
- [3] J.-W. Seo, et. al., "An enhanced DFT-based channel estimation using virtual interpolation with guard bands prediction for OFDM," in *Proc. PIMRC'06*, Sep. 2006.

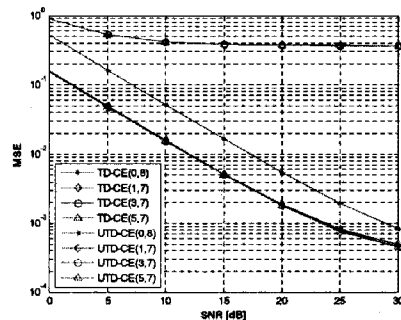


그림2. 제안한 UTD-CE의 MSE 성능

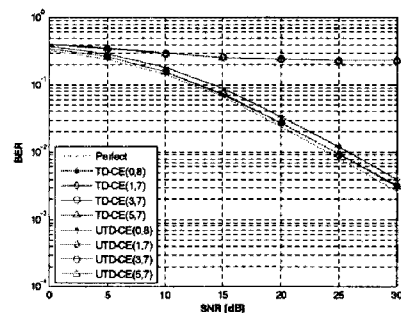


그림3. 제안한 UTD-CE의 BER 성능