

# OFDM 환경에서 주파수 도메인 평균 채널을 통한 시변 채널 추정 기법에 관한 연구

<sup>1,2</sup>김진우, <sup>1,2</sup>박상욱, <sup>1,2</sup>신경호, <sup>1,2</sup>최윤주, <sup>1,2</sup>송형규\*

<sup>1</sup>세종대학교 정보통신공학과, <sup>2</sup>세종대학교 지능형드론융합전공

kjwccm@naver.com, share1211@naver.com, shinkh1000@naver.com, jj010513@naver.com

\*songhk@sejong.ac.kr

## A Study on the Frequency Domain Average Channel Estimation Scheme for Time Varying Channel in the OFDM environment

<sup>1,2</sup>Jin-Woo Kim, <sup>1,2</sup>Sang-Wook Park, <sup>1,2</sup>Kyung-Ho Shin, <sup>1,2</sup>Yoon-Ju Choi, <sup>1,2</sup>Hyoung-Kyu Song\*

<sup>1</sup>Department of Information and Communication Engineering, <sup>2</sup>Convergence Engineering for Intelligent Drone, Sejong University, Seoul, 209 Neungdong-ro, 05006, Korea

### 요약

본 논문은 IEEE 802.11p 표준 기반 주파수 도메인에서의 채널 평균을 통한 시변 채널 추정 기법을 제안한다. IEEE 802.11p 표준은 IEEE 802.11a 표준에서 고려하지 않았던 vehicular 환경을 정의한다. 하지만 IEEE 802.11p 표준의 classical 채널 추정 기법인 least square (LS) 방식과 Initial 채널 추정 기법은 high mobility 시나리오에서 빠르게 변화하는 채널 환경에서 성능을 보장하지 못한다. 또한 기존의 spectral temporal average (STA) 채널 추정 기법은 high mobility 상황에서 시변 채널의 추적이 어렵고 채널 환경에 따라 파라미터를 동적으로 변경하는 것은 비현실적이다. 따라서 본 논문에서는 Initial 채널 추정 방식 기반 선택적 주파수 도메인 채널 평균을 이용한 채널 추정 방식을 제안한다. 타임 슬롯마다 이전 채널 추정값과 현재 채널 추정값을 각각 사용하여 복원한 신호를 비교하고, 다른 경우에만 해당 서브 캐리어 채널과 인접한 서브 캐리어 채널 간의 평균값을 해당 서브 캐리어의 채널로 추정한다. 제안하는 채널 추정 기법을 통해 기존의 다른 채널 추정 기법보다 bit error rate (BER) 성능이 개선된 것을 확인하였다.

### I. 서론

IEEE 802.11p 표준은 vehicle to vehicle (V2V)와 roadside-to-vehicle (RTV)를 포함하는 vehicular 환경에서 물리 계층의 무선 접속에 대해 정의한다 [1]. 특히 IEEE 802.11p는 IEEE 802.11a 표준으로부터 만들어졌으며, IEEE 802.11a 표준은 high mobility가 없는 실내 환경을 가정한다. 하지만 vehicular 환경에서는 차량이 빠른 속도로 이동하기 때문에 무선 채널 환경이 빠르게 변화한다. 이러한 빠른 이동속도로 인해 다중 경로 채널이 형성되며, 동기시간이 줄어들게 된다.

IEEE 802.11p 표준에서는 orthogonal frequency-division multiplexing (OFDM)을 사용하며, 전송 frame은 preamble, signal, data 필드로 구성된다. 전송 프레임의 preamble을 통해 frame의 동기를 맞추며, 채널 추정이 진행된다. 추정된 채널을 통해 수신된 신호의 등화를 진행하지만, 시간적으로 변하는 채널의 특성상 frame 시작점에서 추정된 채널로 전체 frame의 수신 신호를 등화하는 것은 성능 저하를 일으킨다. 이러한 채널의 변화를 추적하기 위해서 4개의 pilot을 특정한 서브 캐리어를 통해 전송하며, 해당 pilot 신호를 이용하여 채널 추정을 개선하게 된다. 하지만 이동속도가 매우 빠른 vehicular 환경의 특성으로 인해서 4개의 pilot 서브 캐리어만으로는 좋은 성능을 보장할 수 없기 때문에 이러한 환경에서 채널 추정 기법들은 매우 중요한 연구 분야이다.

IEEE 802.11p 표준에는 classical 채널 추정 기법들이 소개되며, vehicular 환경을 위한 많은 채널 추정 연구들이 진행되고 있다 [2]. IEEE 802.11p 표준에서 사용하는 기존의 least square (LS) 채널 추정 방식은 long training preamble을 이용하여 채널 추정이 이루어지며, 이를 통해 frame 내 남은 data들의 등화에 사용하기 때문에 채널의 시간적인 변화를 고려하지 않는다. 따라서 LS 채널 추정은 채널 tracking이 존재하

지 않으며, 이로 인해 mobility가 있는 환경에서 성능이 저하된다. Initial 채널 추정 방식은 long training preamble을 통해 LS 채널 추정을 진행한 뒤, 다음 타임 슬롯에서 신호를 복원하고 복원된 신호로 다시 채널 추정을 진행한다. 이렇게 추정된 채널은 다음 타임 슬롯의 신호를 복원하는데 사용하는 방식이다. Spectral temporal averaging (STA) 채널 추정 방식은 Initial 채널 추정 방식에서 복원된 신호로 채널 추정을 진행할 때 주파수 도메인과 시간 도메인에서 인접한 채널의 평균값을 사용하는 방식으로 인접한 채널 간의 상관도를 이용하기 때문에 더 좋은 성능을 보여준다.

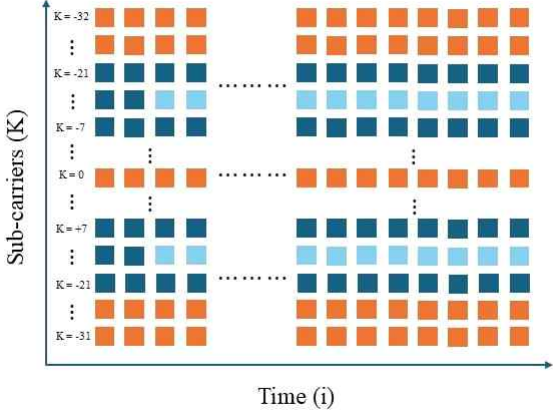
본 논문에서는 인접 서브 캐리어 간의 채널 상관도를 이용한 선택적인 평균 주파수 도메인 채널 추정 기법을 제안한다. 연속적으로 수신된 OFDM 심볼에서 인접한 타임 슬롯 간에는 높은 채널 상관도를 가지게 된다. 따라서 본 논문에서 제안한 채널 추정 기법은 이전 타임 슬롯에서 추정된 채널을 이용하여 현재 타임 슬롯의 신호를 복원하는 것은 합리적이다. 하지만 시변 채널로 인해 이전 타임 슬롯의 채널과 현재 타임 슬롯의 채널이 변화할 수 있기 때문에 이전 타임 슬롯에서 추정된 채널을 이용하여 복원한 신호와 현재 타임 슬롯에서 인접한 서브 캐리어의 평균 채널을 이용하여 복원한 신호를 비교하여 같은 경우에는 이전에 추정된 채널을 다음 신호 복원에도 사용하고, 다른 경우 현재 타임 슬롯에서 추정된 채널을 다음 채널 추정에 사용한다. 이를 통해 본 논문은 인접 심볼 간의 상관도를 고려하면서도 시변 채널로 인해 변화한 채널도 고려하는 채널 추정 기법을 제안한다.

### II. 본론

#### A. 시스템 모델

IEEE 802.11p 표준에서 정의되는 vehicular 환경을 가정한다. IEEE 802.11a 표준에서 주파수 대역폭을 20MHz를 사용하는 것과 다르게 IEEE

802.11p 표준에서는 10MHz를 사용하였으며, 따라서 시간 도메인의 파라미터들은 2배가 된다. 특히 guard interval (GI) 길이가 2배가 되면서 심볼 간 간섭을 감소시키게 된다. 또한 IEEE 802.11p는 64개 서브 캐리어의 OFDM을 사용하며, 그 중 -26부터 26까지의 총 52개의 서브 캐리어만을 데이터 및 pilot 전송에 이용한다. 0번째 서브 캐리어는 DC 성분을 제외하기 위해서 비워둔다. 특히  $\{-21, -7, 7, 21\}$  서브 캐리어에는 채널 추적을 위한 pilot을 전송하게 된다.



[그림 1] IEEE 802.11p 표준의 서브 캐리어 할당

### B. 제안하는 채널 추정 기법

초기 채널 추정은 long-training preamble를 이용하여 LS 채널 추정과 동일하게 진행된다.

$$\hat{\mathbf{h}}_{LS}[k] = \frac{\mathbf{y}_1^p[k] + \mathbf{y}_2^p[k]}{2\mathbf{p}[k]} \quad (1)$$

이후 타임 슬롯에서는 LS 채널 추정 기법을 통해 추정된 채널을 이용하여 수신 신호를 등화한 뒤 신호를 복조한다.

$$\mathbf{y}_{eq}[k] = \frac{\mathbf{y}_i[k]}{\hat{\mathbf{h}}_{LS}[k]} \quad (2)$$

복조된 신호  $\mathbf{d}_i[k]$ 를 이용하여 현재 타임 슬롯의 채널 추정을 다시 진행하게 된다.

$$\hat{\mathbf{h}}_{cur}[k] = \frac{\mathbf{y}_i[k]}{\mathbf{d}_i[k]} \quad (3)$$

새롭게 추정된 채널을 이용하여 이전 신호의 검출 과정을 다시 진행한다.

$$\mathbf{y}'_{eq,i-1}[k] = \frac{\mathbf{y}_{i-1}[k]}{\hat{\mathbf{h}}_{cur}[k]}, \quad \mathbf{y}'_{eq,i-1}[k] = \frac{\mathbf{y}_{i-1}[k]}{\hat{\mathbf{h}}_{LS,i-1}[k]} \quad (4)$$

만약 검출된 신호  $\mathbf{d}'_{i-1}[k]$ 가 LS 채널 추정 방식을 이용하여 검출한 신호  $\mathbf{d}''_{i-1}[k]$ 와 같은 경우 LS 채널 추정 결과를 다음 타임 슬롯의 채널로 이용하며, 다른 경우 인접한 서브 캐리어의 평균 채널을 다음 타임 슬롯의 채널로 이용하게 된다.

$$\hat{\mathbf{h}}_{cur}[k] = \sum_{\lambda=-\alpha}^{\lambda=\alpha} \omega \hat{\mathbf{h}}_{cur}[k+\lambda], \quad \omega = \frac{1}{2\alpha+1} \quad (5)$$

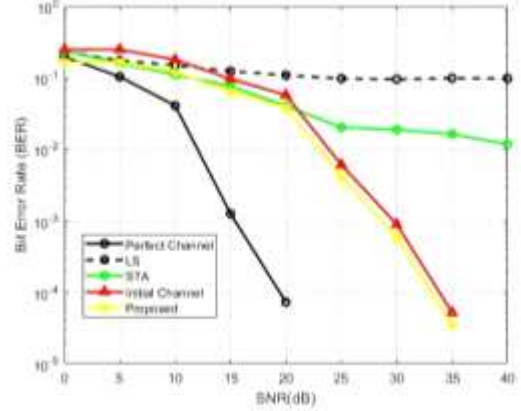
위 과정을 반복하며 채널 추정 결과를 채널 상황에 맞게 추적하며 업데이트한다.

$$\hat{\mathbf{h}}_{prop}[k] = \begin{cases} \hat{\mathbf{h}}_{cur}[k], & \mathbf{d}'_{i-1}[k] \neq \mathbf{d}''_{i-1}[k] \\ \hat{\mathbf{h}}_{prop,i-1}, & \mathbf{d}'_{i-1}[k] = \mathbf{d}''_{i-1}[k] \end{cases} \quad (6)$$

### C. 시뮬레이션 결과

시뮬레이션은 IEEE 802.11p 표준의 정의된 환경에서 진행하였다. 시뮬

레이션 파라미터는 10MHz 대역폭을 사용하였으며, FFT size는 64개를 사용하였다. 총 52개의 서브 캐리어에서 데이터 전송이 이루어지며, 그중 4개는 pilot 신호를 전송한다.



시뮬레이션 결과로 제안하는 채널 추정 방식이 QPSK 변조에서 기존의 기법들보다 더 좋은 bit error rate 성능을 보여주는 것을 확인하였다.

### III. 결론

본 논문에서는 IEEE 802.11p 표준 기반 채널 추정 기법을 제안한다. high mobility 환경에서는 기존의 채널 추정 기법들의 성능이 보장되지 못하며, 특히 시변 채널에 대한 채널 추적을 하지 않는 LS 방식은 high mobility 환경에서 사용하기에 적절하지 않다. 따라서 본 논문에서는 시변 채널에 대한 채널 추적을 진행하면서도 인접 심볼 간의 상관도를 이용한 채널 추정 기법을 제안하였으며, 제안하는 채널 추정 기법이 기존의 기법들보다 BER 성능이 향상된 것을 확인하였다. 이후 연구에서는 계산 복잡도를 개선하는 방법에 대한 연구가 필요할 것으로 보인다.

### ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 2020년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. 2020R1A6A1A03038540).

본 연구는 과학기술정보통신부 및 정보통신기획평가원의 정보통신방송 혁신인재양성(메타버스융합대학원)사업 연구 결과로 수행되었음 (IITP-2024-RS-2023-00254529).

이 연구는 2023년도 산업통상자원부 및 산업기술평가관리원(KEIT) 연구비 지원에 의한 연구임(RS-2022-00154678).

### 참고 문헌

- [1] D. Jiang and L. Delgrossi, "IEEE 802.11p: Towards an International Standard for Wireless Access in Vehicular Environments," VTC Spring 2008 - IEEE Vehicular Technology Conference, Marina Bay, Singapore, 2008, pp. 2036-2040, doi: 10.1109/VETECS.2008.458.
- [2] Z. Zhao, X. Cheng, M. Wen, B. Jiao and C. -X. Wang, "Channel Estimation Schemes for IEEE 802.11p Standard," in IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine, vol. 5, no. 4, pp. 38-49, winter 2013, doi: 10.1109/ITS.2013.2270032.
- [3] Yoon-Kyeong Kim, Jang-Mi Oh, Yoo-Ho Shin and Cheol Mun, "Time and frequency domain channel estimation scheme for IEEE 802.11p," 17th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC), Qingdao, China, 2014, pp. 1085-1090, doi: 10.1109/ITSC.2014.6957832.