

다중 수신안테나 기반 WAVE 통신시스템의 PER 성능향상을 위한 채널 추정 기법

김준섭*, 장영호*, 임성묵*

Channel Estimation Scheme for PER Enhancement in WAVE Systems Based on Multiple Receive Antenna

Junseop Kim*, Youngho Jang*,
Sungmook Lim

요 약

본 논문에서는 다중 수신안테나 기반 IEEE802.11p WAVE (Wireless Access Vehicular Environment) 시스템에서 PER (Packet Error Rate) 성능 향상을 위한 새로운 채널 추정 기법을 제안한다. 제안 기법은 채널 상관값 기반 OFDM 데이터 심볼을 복원한 후 이를 데이터 파일럿으로 구성하여 MRC (Maximal Ratio Combining)를 기반으로 각 안테나 별 채널값을 업데이트함으로써 수신 다이버시티 이득을 극대화한다. 모의실험 결과 기존 채널 추정 기법 대비 PER 10^{-3} 에서 2dB 이상의 SNR (Signal to Noise Ratio) 성능 이득을 얻는 것을 확인할 수 있다.

Key Words : IEEE 802.11p, WAVE, channel estimation, MRC, diversity

ABSTRACT

In this paper, a novel channel estimation scheme for PER (Packet Error Rate) enhancement is proposed in IEEE 802.11p WAVE (Wireless Access

Vehicular Environment) systems based on multiple receive antenna. The proposed scheme firstly detects OFDM data symbols based on channel correlation, which are used as data pilots. By using data pilots, the channel coefficients of each antenna are estimated and updated based on MRC (Maximal Ratio Combining), which maximizes the diversity gain. In numerical results, it is confirmed that PER performance of the proposed scheme outperforms that of the conventional channel estimation scheme.

1. 서 론

최근 자율주행차량 산업의 급격한 발전에 따라 운전자 안전성과 편의성을 고려한 실시간 차량 제어에 관심이 집중되고 있다^[1]. 이를 위해 차량에 장착된 레이더, 라이다, 카메라 기반의 융합 검지 기법뿐만 아니라 차량 간 혹은 차량과 인프라 간 안정적인 통신이 필수적이다.

이러한 V2X (Vehicle-to-Everything) 통신은 OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 기반의 IEEE 802.11p/WAVE (Wireless Access for Vehicular Environment) 시스템으로 표준화되어 있다. 차량의 고속 이동에 따른 급격한 시변 채널 환경에서도 도로 정보, 교통 상황 등 안전메시지를 안정적으로 송수신하기 위해서는 정확한 채널 추정 기법이 필요하다.

이를 위해 기존에 제안된 WAVE 시스템에서의 채널 추정 기법들은 각 OFDM 심볼에서 검출된 데이터를 데이터 파일럿으로 사용하여 채널을 지속적으로 업데이트한다^[2]. 그러나, 프레임 내 OFDM 심볼 수가 많아질수록, 변조 오더가 커질수록 채널 추정 성능이 열화되는 문제점을 가지고 있다.

이러한 문제점을 해결하기 위해 다중 수신안테나를 기반으로 다이버시티 이득을 이용하는 MRC (Maximal Ratio Combining) 패킹 기법이 제안되었다^[3]. MRC 패킹 기법은 각 수신안테나 별로 초기 추정

* 본 연구는 2019년도 정부(경찰청)의 재원으로 도로교통공단의 지원을 받아 수행된 연구임.(No.POLICE-L-00001-01-101,자율주행차의 도로주행을 위한 운행체계 및 교통인프라 연구개발)

※ 본 연구는 2019년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임.(No. NRF-2018R1D1A3B07049913)

• First Author : (ORCID:0000-0002-7052-0103)Korea National University of Transportation, spdrgs13@naver.com, 학생회원

◦ Corresponding Author : (ORCID:0000-0002-6850-4403)Korea National University of Transportation, Electronic Engineering, smlim@ut.ac.kr, 정회원

* (ORCID:0000-0003-3200-6741)Korea National University of Transportation, Dept. of IT Convergence, stack4865@naver.com

논문번호 : 201911-306-C-LU, Received November 22, 2019; Revised November 24, 2019; Accepted November 24, 2019

된 채널값을 이용하여 데이터 파일럿 구성 및 채널값 업데이트를 1차로 수행한 후 MRC 결합을 통해 채널값을 최종적으로 업데이트한다. 그러나, 안테나 별로 채널값을 1차 업데이트한 후 MRC 결합을 적용하기 때문에 초기 채널값 오차 발생 시 다이버시티 이득 효과가 감소한다.

본 논문에서는 MRC 패킹 기법의 한계를 극복하고, WAVE 시스템의 PER 성능을 더욱 향상시킬 수 있는 다중 수신안테나 기반의 새로운 채널 추정 기법을 제안한다. 제안 기법에서는 안테나별로 초기 채널 추정값과 이전 채널 추정값의 상관값을 이용하여 데이터 파일럿을 구성한 후, MRC 기반으로 채널값을 업데이트한다. 이는 기존 MRC 패킹 추가기법보다 다이버시티 이득을 극대화함으로써 채널 추정 및 PER 성능을 더욱 향상시킨다.

II. 시스템 모델

본 논문에서는 1X2 SIMO (Single Input Multi Output) V2X 통신 시스템을 고려하며, IEEE 802.11p WAVE 시스템의 물리계층 표준을 따른다. WAVE 시스템 프레임 구조는 프리앰블, 시그널 필드, 데이터 필드로 구성되며, 프리앰블 내 긴 훈련 심볼 (Long Training Symbols)을 이용하여 초기 채널을 추정한다. 데이터 필드는 가변적이나 본 논문에서는 OFDM 심볼 100개로 구성된다고 가정한다.

송신단은 프레임 생성을 위해 길쌈부호화, 인터리빙 및 변조 과정을 거친 후 64-point IFFT (Inverse Fast Fourier Transform)을 통해 OFDM 심볼을 생성한다. 이후 보호 구간과 프리앰블을 삽입하여 1개의 프레임을 생성한다. 수신단에서는 각 안테나 별로 긴 훈련 심볼을 이용하여 초기 채널값을 추정하고, 보호 구간 제거 및 FFT를 차례로 수행한 후 제안 기법의 채널 추정 및 데이터 복원을 진행한다.

III. 상관값 기반 MRC 채널 추정 기법

2개의 안테나로 구성된 수신단에서는 i 번째 수신 OFDM 심볼의 데이터 복원을 위해서 다음과 같이 이전 채널값으로 등화 및 디매핑 과정을 거친다.

$$\hat{T}_{m,i}(k) = \frac{Y_{m,i}(k)}{H_{m,i-1}(k)} \quad (1)$$

$$\hat{X}_{m,i}(k) = D(\hat{T}_{m,i}(k)) \quad (2)$$

여기서, $Y_{m,i}(k)$, $\hat{T}_{m,i}(k)$ 그리고 $\hat{X}_{m,i}(k)$ 는 각각 m 번째 안테나, i 번째 OFDM 심볼, k 번째 부반송파의 수신신호, 등화된 신호 그리고 추정된 송신 심볼을 의미하고, $H_{m,i-1}(k)$ 는 $(i-1)$ 번째 OFDM 심볼, k 번째 부반송파의 채널값을 의미한다. 또한, $D(\cdot)$ 는 디매핑을 위한 양자화 과정을 의미한다.

이후 $\hat{X}_{m,i}(k)$ 를 데이터 파일럿으로 이용하여 다음과 같이 m 번째 안테나, i 번째 OFDM 심볼, k 번째 부반송파의 채널값을 추정한다.

$$\hat{H}_{m,i}(k) = \frac{Y_{m,i}(k)}{\hat{X}_{m,i}(k)} \quad (3)$$

한편, 송신안테나는 1개이므로 $\hat{X}_{1,i}(k)$ 과 $\hat{X}_{2,i}(k)$ 는 전송 심볼 $X_i(k)$ 와 같아야 한다. 이를 이용하여 다음과 같이 데이터 파일럿을 재구성한다.

$$\tilde{X}_i(k) = \begin{cases} \hat{X}_{1,i}(k), & \text{if } \hat{X}_{1,i}(k) = \hat{X}_{2,i}(k) \\ \hat{X}_{1,i}(k), & \text{elseif } R_{1,i} \geq R_{2,i} \\ \hat{X}_{2,i}(k), & \text{elseif } R_{1,i} < R_{2,i} \end{cases} \quad (4)$$

여기서 $R_{m,i}(k) = |H_{m,i-1}(k)\hat{H}_{m,i}^*(k)|^2$ 이며 이전 채널과 현재 채널 간 상관값을 의미한다. 즉, (4)는 $\hat{X}_{1,i}(k) = \hat{X}_{2,i}(k)$ 이면 추정된 심볼을 데이터 파일럿으로 구성하고, $\hat{X}_{1,i}(k) \neq \hat{X}_{2,i}(k)$ 이면 안테나 별로 이전 채널값과 현재 추정 채널값 사이의 상관값이 더 높은 안테나의 추정 심볼을 데이터 파일럿으로 선택한다는 의미이다.

데이터 파일럿 $\tilde{X}_i(k)$ 와 (3)을 이용하여 i 번째 OFDM 심볼의 k 번째 부반송파 채널 $\tilde{H}_{m,i}(k)$ 를 재추정한다. 이후 추정된 채널값의 신뢰도 테스트를 수행하는데, 인접 채널 간 상관값이 높다는 가정하에 $(i-1)$ 번째 수신 데이터 심볼 $Y_{m,i-1}(k)$ 를 $\tilde{H}_{m,i}(k)$ 와 $H_{m,i-1}(k)$ 로 각각 등화된 심볼 $\hat{T}'_{m,i-1}(k)$ 와 $\hat{T}''_{m,i-1}(k)$ 를 다음과 같이 구한다.

$$\hat{T}'_i(k) = \frac{\sum_m Y_{m,i-1}(k) \tilde{H}_{m,i}^*(k)}{\sum_m |\tilde{H}_{m,i}(k)|^2} \quad (5)$$

$$\hat{T}''_i(k) = \frac{\sum_m Y_{m,i-1}(k) H_{m,i-1}(k)}{\sum_m |H_{m,i-1}(k)|^2} \quad (6)$$

이후 (5)와 (6)은 각각 $\hat{X}'_{i-1}(k)$ 와 $\hat{X}''_{i-1}(k)$ 로 디매핑된다. 각 안테나 별로 독립적으로 디매핑하는 기존 MRC 패킹 기법과 달리 제안 기법에서는 (5), (6)과 같이 MRC 기반으로 디매핑함으로써 디매핑 오류에 의한 성능 저하를 완화하고, 다이버시티 이득을 극대화할 수 있다는 장점을 가진다.

모든 k 에 대해서 $\hat{X}'_{i-1}(k) = \hat{X}''_{i-1}(k)$ 의 참-거짓을 판단하여 참인 경우 채널 추정값 $\tilde{H}_{m,i}(k)$ 는 신뢰성이 있다고 판단하여 업데이트하고, 거짓인 경우 채널 추정값은 버린다. 따라서 신뢰도 테스트 이후 업데이트된 채널 추정값은 다음과 같다.

$$\tilde{H}_{m,i}^{prc}(k) = \begin{cases} \tilde{H}_{m,i}(k), & \text{if } \hat{X}'_{i-1}(k) = \hat{X}''_{i-1}(k) \\ 0, & \text{if } \hat{X}'_{i-1}(k) \neq \hat{X}''_{i-1}(k) \end{cases} \quad (7)$$

이후 신뢰도가 낮아 버려진 채널값은 동일 OFDM 심볼 내 추정된 채널값을 이용하여 보간법으로 업데이트한다.

IV. 모의 실험

본 논문에서 제안하는 채널 추정 기법과 기존 채널 추정 기법들과의 PER 성능을 비교, 분석하였다. WAVE 시스템의 채널 모델은 Coda Wireless 사가 제안한 Coda Wireless 채널 모델 중 시나리오 3 (Street Crossing NLOS)을 사용하였고^[4], 수신 안테나 수는 2개, 변조방식 및 코드율은 각각, QPSK, 1/2을 고려하였다. 한 프레임을 구성하는 데이터 심볼은 100개의 OFDM 심볼로 설정하였다.

그림 1은 제안 기법과 기존 기법들의 PER 성능을 보여준다. 전 SNR (Signal to Noise Ratio) 영역에서 제안 기법의 성능이 가장 우수한 것을 확인할 수 있으며, 특히 PER 10^{-3} (0.1%)에서 MRC 패킹 기법 대비 2dB 이상의 SNR 성능 이득을 얻을 수 있다. 이는 채널 간 상관값을 이용하여 데이터 심볼을 구성함으로써

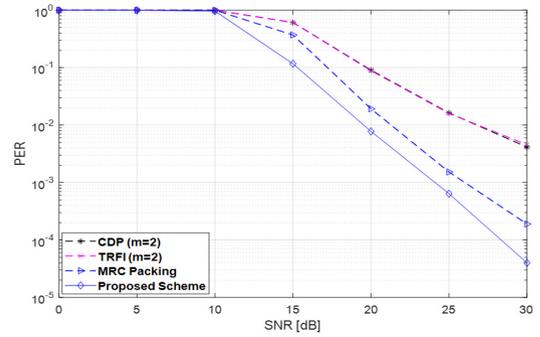


그림 1. Street Crossing NLOS (126km/h) 채널 환경에서 PER.
Fig. 1. PER Performance in Street Crossing NLOS channel environment (126km/h).

써 디매핑 오차를 완화시키는 한편, 신뢰도 테스트 시 MRC 기법을 적용하여 수신 다이버시티 이득을 극대화함으로써 추정된 채널값의 신뢰도가 더욱 향상되었기 때문이다.)

V. 결론

본 논문에서 다중 수신안테나 기반 WAVE 시스템에서 PER 성능을 향상시킬 수 있는 새로운 채널추정 기법을 제안하였다. 기존 기법 대비 제안 기법의 차별성은 채널 상관값을 이용한 데이터 파일럿 구성 및 MRC 기반의 신뢰도 테스트 수행을 통해 채널 추정값을 지속적으로 업데이트한다는 것이다. 이를 통해 얻은 다이버시티 이득을 통해 기존 기법들 대비 더 우수한 PER 성능을 얻을 수 있다.

References

[1] K. Zheng, Q. Zheng, H. Yang, L. Zhao, L. Hou, and P. Chatzimisios, "Reliable and efficient autonomous driving: The need for heterogeneous vehicular networks," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 53, no. 12, pp. 72-79, Dec. 2015.

[2] Z. Zhao, X. Cheng, M. Wen, B. Jiao, and C. X. Wang, "Channel estimation schemes for

1) 채널 추정 기법의 대표적 성능 지표인 MSE (Mean Square Error) 관점에서 제안기법의 MSE 성능이 기존 기법 대비 우수한 특성을 보인다. 다만, 본 논문의 주된 기여도는 PER 성능 향상이고, 논문의 지면 제한상 MSE 성능 그래프는 생략하였다.

IEEE 802.11p standard,” *IEEE Intell. Transport. Syst. Mag.*, vol. 5, no. 4, pp. 38-49, Oct. 2013.

- [3] S. Baek, S. Han, S. Lim, D. Kang, H. Oh, and C. Song, “Novel MRC packing channel estimation scheme for PER enhancement of IEEE 802.11p,” *J. KIIT*, vol. 16, no. 1, pp. 69-78, Jan. 2018.
- [4] M. Kahn, “IEEE 802.11 regulatory SC DSRC coexistence tiger team - V2V radio channel models,” Feb. 2014.