

WAVE 통신 시스템에서 PER 성능 향상을 위한 채널 상관 기반 새로운 채널 추정기법

윤권기, 임성묵*

한국교통대학교 전자공학과

yougg5895@naver.com, *smlim@ut.ac.kr

A New Channel Estimation Scheme based on Channel Correlation to Enhance PER in WAVE Systems

Gwonki Yoon, Sungmook Lim*

Korea National University of Transportation

요약

본 논문은 WAVE 통신 시스템에서 TRFI (Time Domain Reliable Test Frequency Domain Interpolation)를 기반으로 채널 상관(위상차)을 이용한 신뢰도 평가를 진행하였던 기존 채널 추정 방식을 개선하여, 낮은 SNR (Signal to Noise Ratio)에서도 높은 PER (Packet Error Rate) 성능을 보이도록 time truncation 기법을 적용하였다. Time truncation 기법을 적용하여 이전 채널과 현재 채널 간 위상 차이를 기반으로 신뢰도 평가 진행 시 SNR에 따라 최적의 PER 성능을 보장하는 time truncation 탭 수와 위상 임계값이 달라지게 된다. 따라서, SNR에 따라 최적의 time truncation 탭 수와 임계값을 가변적으로 설정하여, 기존 채널 추정 방식 대비 낮은 SNR에서 PER 성능을 개선하였다.

I. 서론

최근 안정적인 자율주행 자동차 개발을 위해 많은 연구가 진행되고 있는 V2X (Vehicle to Everything) 통신 시스템은 IEEE 802.11p / WAVE (Wireless Access for Vehicular Environments) 표준을 기반으로 연구가 활발히 진행되고 있으며, 특히 원활한 통신을 위해 정확한 채널 추정을 필요로 한다.[1]

WAVE 통신 시스템의 여러 채널 추정기법 중에 TRFI (Time Domain Reliable Test Frequency Domain Interpolation)에서는 이전 수신 심볼을 이전 채널과 현재 추정 채널로 등화 및 디매핑 하여 두 결과가 같으면 신뢰도 평가를 통과한 것으로 간주한다.[2] 이러한 TRFI의 신뢰도 평가는 디매핑 과정에서 발생하는 범주 이탈로 인한 오류가 발생할 수 있다.

이를 개선하여 TRFI를 기반으로, 이전 채널과 현재 추정 채널의 상관(위상차)을 임계값 (30°)과 비교하는 방식이 제안되었다.[3] 두 채널의 상관(위상차) 값이 임계값 (30°)보다 작으면 신뢰도 평가를 통과한 것으로 간주한다. 하지만, 이는 시변 채널의 특성과 잡음, 그리고 SNR (Signal to Noise Ratio)에 상관없이 고정된 임계값 (30°)의 문제로 인해 낮은 SNR에서 PER (Packet Error Rate) 성능이 저하되는 문제점이 발생한다.

본 논문에서는 위의 채널 추정 방법에서 잡음의 문제를 해결하고자 time truncation 기법을 적용한다.[4] 또한, time truncation을 진행하고 남은 tap 수와 SNR에 따른 최적의 상관(위상차) 임계값을 찾고, 이를 적용하는 방법을 사용한다. 잡음에 대한 문제를 해결하고 SNR에 따른 최적의 상관(위상차) 임계값을 찾아낸다면, 이전보다 정확한 채널 추정으로 PER 성능이 개선될 것으로 기대된다.

II. 본론

II-1. WAVE 시스템 모델

IEEE 802.11p에서 제안한 WAVE 시스템의 프레임 구조는 short

training symbols, long training symbols, signal field, data field로 구성되어 있다. 이때, short training symbols, long training symbols를 합쳐서 preamble이라고 하며 각각 시간 동기화 및 채널 추정을 위해 사용된다. signal field는 변조 방식, code rate 등 데이터 송수신에 필요한 정보를 포함하며, data field는 실제 전송하고자 하는 데이터를 의미한다.

II-2. 제안하는 채널 추정기법

[3]에서 제안된 채널 추정 방법은 TRFI를 기반으로, $(i-1)$ 번째와 i 번째 OFDM 심볼에서 k 번째 부반송파의 채널값 $H_{i-1}(k)$ 와 $\hat{H}_i(k)$ 의 상관(위상차)을 임계값 (30°)과 비교하는 방식으로 신뢰도 평가를 진행한다. 이는 기존 TRFI에 비해 모든 SNR 환경에서 높은 PER 성능을 보장한다. 그러나 낮은 SNR 환경에서는 여전히 PER 성능 열화가 심각하게 나타나는 문제점을 가지고 있다. 따라서 본 논문에서는 time truncation 기법을 적용하여 낮은 SNR 환경에서도 PER 성능을 높이고자 한다.

본 논문에서는 SNR에 따른 최적의 time truncation 탭 수 (n)와 채널 상관(위상차)의 최적 임계값 (H_{th})을 설정하는 새로운 채널 추정기법을 제안한다. 수신단은 WAVE 시스템에서 보호 대역으로 사용되는 12개의 부반송파를 이용하여 잡음의 평균전력을 계산한다. 이때, 한 프레임 내에서 OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 심볼을 받을 때마다 잡음의 평균전력을 누적, 갱신하여 계산하면 한 프레임에서의 SNR을 추정할 수 있다.

이후, 수신단은 추정된 SNR에 따른 최적의 time truncation 탭 수 n 과 채널 상관(위상차)의 최적 임계값 (H_{th})을 지정한다. i 번째 OFDM 심볼에서 k 번째 부반송파의 수신 신호 $R_i(k)$ 를 $(i-1)$ 번째 OFDM 심볼의 채널값 $H_{i-1}(k)$ 으로 나누어 i 번째 OFDM 심볼에서 k 번째 부반송파의 수신 심볼 $\hat{X}_i(k)$ 를 추정한다. 다시 수신 신호 $R_i(k)$ 를 추정 심볼

$\hat{X}_i(k)$ 로 나누어 i 번째 OFDM 심볼에서 k 번째 부반송파의 채널값 $\hat{H}_i(k)$ 를 추정한다. 이렇게 추정된 i 번째 OFDM 심볼의 채널값 \hat{H}_i (52개)를 가지고 52-point IFFT (inverse fast Fourier transform)를 진행하여 시간축에서 임펄스 응답 $\hat{\eta}_i(t)$ ($0 \leq t < 52$)를 생성한다. 이후, SNR에 따라 설정된 time truncation 탭 수 (n)만 남기고, 아래와 같이 time truncation을 진행한다.

$$\hat{\eta}_i(t) = \begin{cases} \hat{\eta}_i(t), & t \leq n \\ 0, & t > n \end{cases} \quad (1)$$

마지막으로 아래와 같이, $(i-1)$ 번째와 i 번째 OFDM 심볼에서 k 번째 부반송파의 채널값 $H_{i-1}(k)$ 와 $\hat{H}_i(k)$ 의 상관(위상차)을 임계값(H_{th})과 비교하는 것으로 신뢰도 평가 및 채널 추정을 수행한다.

$$H_i(k) = \begin{cases} \hat{H}_i(k), & |\angle \hat{H}_i(k) - \angle H_{i-1}(k)| \leq H_{th} \\ \text{Interpolation}, & |\angle \hat{H}_i(k) - \angle H_{i-1}(k)| > H_{th} \end{cases}$$

II-3. 모의실험

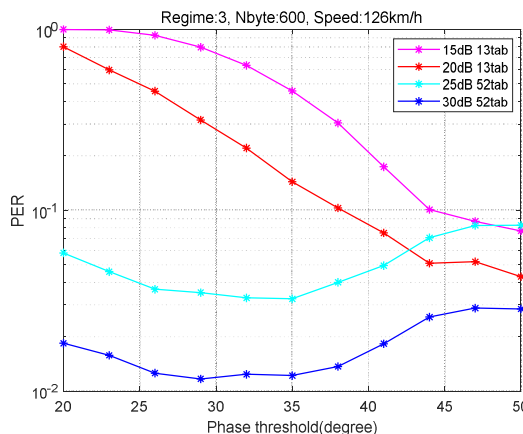
본 모의실험에서는 Cohda Wireless 채널 모델 5개 중 Crossing NLOS 채널 환경에서 기존 기법들과 제안하는 채널 추정기법의 PER을 비교, 분석한다. 사용된 대역폭은 10MHz, 변조 기법은 QPSK이며, Code rate는 1/2로 설정했다. 또한, 한 프레임 패킷을 구성하는 데이터 필드는 OFDM 심볼 100개로 구성되어 있다.

WAVE 시스템에서 총 64개의 부반송파 중에 보호 대역으로 사용되는 12개의 부반송파를 제외하면 52개의 부반송파에 데이터가 실리게 된다. 이때, 52개의 부반송파에 데이터만 가지고 52-point IFFT를 진행하면 기존 64개 부반송파 간 직교성이 깨지게 된다. 직교성 상실에 의한 채널 누수 현상과 time truncation을 통한 잡음 제거의 trade-off 관계에서 이득을 보려면 SNR에 따른 최적의 time truncation 탭 수를 알아야 한다.

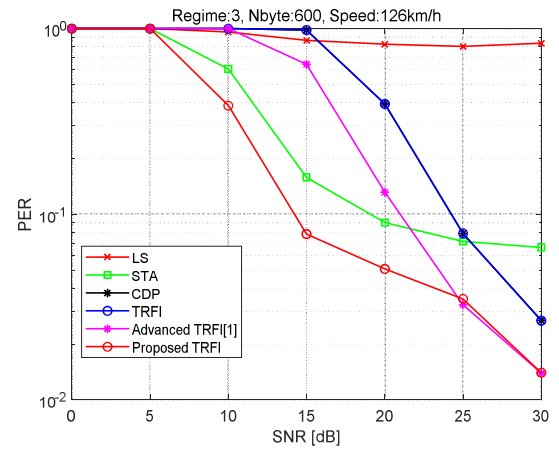
따라서 52개의 약 1/8배, 1/4배, 2/4배, 3/4배, 1배에 해당하는 탭 수를 남기도록 7개, 13개, 26개, 39개, 52개 (None time truncation)의 time truncation 탭 수를 설정하고, 임계값을 달리하여 PER을 확인하는 모의실험을 진행하였다. <그림 1>에서는 7개, 13개, 26개, 39개, 52개 총 5개의 그래프에서 SNR에 따른 PER 성능이 가장 뛰어난 탭 수를 보여준다.

이를 기반으로 아래와 같이 time truncation 탭 수 (n)와 채널 상관(위상차)의 최적 임계값(H_{th})을 지정한 새로운 채널 추정기법을 제안한다.

$$n = \begin{cases} 13, & SNR \leq 24(dB) \\ 52, & SNR > 24(dB) \end{cases} \quad (2)$$



<그림 1> Time truncation의 남겨진 탭 수를 다르게 했을 때, 가장 좋은 성능을 보인 탭 수(13개, 52개)에서 임계값에 따른 PER 성능



<그림 2> 기존 채널 추정기법들과 제안 기법의 PER (Crossing (126km/h), QPSK, code rate=1/2)

$$H_{th} = \begin{cases} 50^\circ, & SNR \leq 24(dB) \\ 35^\circ, & SNR > 24(dB) \end{cases} \quad (3)$$

SNR=24(dB)일 때 최적의 Time truncation 탭 수와 임계값을 바꾸는 이유는 탭 수를 13개, 채널 상관 임계값을 50°로 설정한 PER 성능과 탭 수를 52개, 채널 상관 임계값을 35°로 설정한 PER 성능이 SNR=24(dB)일 때 같음을 확인했기 때문이다.

III. 결론

본 논문에서는 IEEE 802.11p WAVE 시스템에서 TRFI 기법을 기반으로, time truncation 기법과 채널 상관(위상차)을 이용한 신뢰도 평가 방법을 적용하도록 제안한다. SNR에 따른 최적의 time truncation 탭 수와 채널 상관(위상차)의 최적 임계값을 설정하였고, 이를 적용하여 기존의 채널 추정방식[3]보다 낮은 SNR 환경에서 높은 PER 성능을 보였다.

ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 2020년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임. (No. NRF-2018R1D1A3B07049913)

본 연구는 2020년 한국교통대학교 지원을 받아 수행하였음.

참고 문헌

- [1] 주형중, 권영호, “자율주행차량을 위한 V2X 통신 시스템 필요성,” 한국정보과학회 학술발표논문집, pp. 1680-1680, 2017년 12월.
- [2] Y. K. Kim, J. M. Oh, Y. H. Shin and C. Mun, “Time and Frequency Domain Channel Estimation Scheme for IEEE 802.11p”, in *Proc. IEEE ITSC*, pp. 1085-1090, Oct. 2014.
- [3] 이종혁, 임성목, “IEEE 802.11p WAVE 시스템에서 TRFI 기반 채널 추정 성능 향상을 위한 새로운 신뢰도 테스트 기법 연구,” 대한전자공학회 추계학술대회논문집, pp. 299-300, 2019년 11월.
- [4] M. M. Awad, K. G. Seddik, and A. Elezabi, “Low-complexity semi-blind channel estimation algorithms for vehicular communications using the IEEE 802.11p standard,” *IEEE trans. Intell. Transp. Syst.*, vol. 20, no. 5, pp. 1739-1748, May 2018.