Journal of KIIT. Vol. 15, No. 11, pp. 93-101, Nov. 30, 2017. pISSN 1598-8619, eISSN 2093-7571 93
http://dx.doi.org/10.14801/jkiit.2017.15.11.93

# WAVE 시스템에서 디코딩 정보를 이용한 채널 추정 기법 개발 및 성능 분석

김민찬*, 박초은**, 고균병***

# Development and Performance Analysis of Channel Estimation Schemes Using Decoding Information for WAVE System

Minchan Kim*, Choeun Park**, and Kyunbyoung Ko*/**

본 연구는 2017년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원과 2015년 교육부와 한국연구재단의 지역혁신창의인력양성사업의 지원을 받아 수행된 연구임 (2017R1A2B4012883, NRF-2015H1C1A1035903).

## 요 약

본 논문에서는 디코딩(Decoding) 정보를 사용하는 새로운 채널 추정 기법을 IEEE 802.11p/WAVE(Wireless Access for Vehicular Environments) V2V 환경에서 제안하고 그 성능을 검증한다. 제안된 기법에서는 디코딩 정보로 데이터 파일럿을 재구성하고 이를 STA(Spectral Temporal Averaging), CDP(Construct Data Pilot), TRFI(Time domain Reliable test Frequency domain Interpolation) 및 MMSE(Minimum Mean Square Error)의 기존 채널 추정 기법에 적용하여 성능 향상을 얻도록 한다. 제안된 기법은 반복적으로 수행될 수 있으며, 초기에 기존 채널 추정 기법을 적용한 다음 디코딩 정보를 이용한 채널 추정 방법을 적용하고 마지막으로 디코딩 정보를 이용한 MMSE 기법을 적용하도록 한다. 그리고 제안된 기법의 성능을 고속도로 환경에서의 모의실험을 통하여 검증한다.

## Abstract

In this paper, we propose a novel channel estimation scheme using decoding information for IEEE 802.11p/WAVE(Wireless Access for Vehicular Environments) over V2V(Vehicle-to-Vehicle) environments. In the proposed scheme, using decoding information, we reconstruct data pilots and then, they are used for the conventional channel estimation schemes (i.e., STA(Spectral Temporal Averaging), CDP(Construct Data Pilot), TRFI(Time domain Reliable test Frequency domain Interpolation), and MMSE(Minimum Mean Square Error)) to obtain performance improvement. The proposed scheme is a multistage method in which the conventional schemes can be used at initial stage and then, a VDA(Viterbi Decision Aided) channel estimation method is applied in next stage. Finally, MMSE estimator with VDA is applied. The performance of the proposed scheme is verified by simulation based on expressway channel model.

Keywords
IEEE 802.11p/WAVE, V2V, STA, CDP, TRFI, VDA

* 한국교통대학교 제어계측공학과
- ORCID: http://orcid.org/0000-0001-5380-4967
** 한국교통대학교 정보기술융합학과
- ORCID: http://orcid.org/0000-0003-3680-0504
*** 한국교통대학교 전기전자로봇통신공학과(교신저자)
- ORCID: http://orcid.org/0000-0002-0192-0269

· Received: Aug. 24, 2017, Revised: Nov. 08, 2017, Accepted: Nov. 11, 2017
· Corresponding Author: Kyunbyoung Ko
Dept. of Control and Instrumentation Engineering, Korea National University of Transportation,
Tel.: +82-43-841-5463, Email: kbko@ut.ac.kr

## Ⅰ. 서 론

최근 V2X(Vehicle to Vehicle(V2V) 및 Vehicle to Infrastructure(V2I)) 통신을 이용하여 여러 교통 관련 응용 서비스를 지원하기 위한 차세대 지능형 교통 시스템(C-ITS, Cooperative Intelligent Transportation System) 분야에 대한 연구가 활발히 진행되고 있는 상황이다. V2X 통신을 통한 C-ITS 서비스를 위하여 실제 교통 환경에 적용할 수 있도록 IEEE 802.11p/WAVE가 표준화 되었다[1]. IEEE 802.11p에서는 차량용 무선 통신 시스템의 물리 계층(Physical Layer) 및 매체 접속 제어 계층(Medium Access Control Layer) 등을 정의하고 있다[1][2].

IEEE 802.11p 물리 계층은 5.6~5.9GHz 대역에서 고속 V2V 통신을 위하여, IEEE 802.11a 무선랜 표준 물리계층의 20MHz 주파수 대역폭을 10MHz로 축소하여 만들어졌다. 따라서 IEEE 802.11p의 표준에서는 IEEE 802.11a 표준과 같이 한 OFDM 심벌 간격 동안 4개의 Pilot Subcarrier를 전송한다. 이러한 4개의 Pilot 신호만으로는 도심 환경의 주파수 선택적(Frequency-Selective) 페이딩 채널에 대한 추정에 한계를 갖게 된다[2]. 또한 고속 시변 채널에서도 시간 영역 채널 변화를 정확하게 추정하지 못하여 성능 저하를 야기한다.

이에 따라 IEEE 802.11p 표준을 따르면서 채널 추정 성능 향상을 얻기 위한 연구들이 수행되었다[2]-[11]. 기존에 제안된 채널 추정 기법들로는 LS(Least Square) 기법[3]과 STA(Spectral Temporal Averaging) 기법[4]이 제안되었지만, C-ITS 서비스에서 요구하는 오류 성능을 만족시키지는 못하였다. 이에 따라 CDP(Construct Data Pilot) 기법[5]과 TRFI(Time domain Reliable test Frequency domain Interpolation) 기법[6]이 제안되어 다른 채널 추정 기법에 비해 높은 SNR(Signal-to-Noise Ratio)의 우수한 성능이 검증되었다. 최근에는 가상 기준 신호를 이용한 MMSE(Minimum Mean Square Error) 기법[7]이 제안되었으며, 100km/h 이상의 고속 환경에서 1%이하의 패킷 오류율(PER, Packet Error Rate) 성능을 얻고자하는 반복적 채널 추정 기법[8]에 관한 연구가 수행되었으나 이 기법은 반복횟수에 따라 복잡도가 증가되는 문제점을 안고 있다.

본 논문에서는 최근 제안된 VDA(Viterbi Decision Aided) 기법[9]을 기존 채널 추정 기법들에 적용하여 채널 추정 성능을 향상시키고자 한다. 즉, 제안된 기법에서는 수신기 마지막 단의 Viterbi Decoder로 부터 얻을 수 있는 디코딩(Decoding) 정보로 데이터 파일럿을 재구성하고 이를 기존 채널 추정 기법에 적용하여 성능을 향상시킬 수 있다. 본 논문에서 제안하고자 하는 기법은 반복적 채널 추정 기법[8]과 같이 시간 지연 증가의 단점이 있다. 다만 본 논문에서는 1% PER을 성능 기준으로 할 때 고속 V2V 통신 환경에서 이를 만족시킴으로써 여러 교통 관련 응용 서비스를 지원할 수 있는 채널 추정 기법을 제안하고자 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 다음 장에서는 IEEE 802.11p 물리 계층과 채널 모델에 대하여 설명하며, 3장에서는 디코딩 정보를 이용한 새로운 채널 추정 기법에 관해 설명한다. 4장에서는 2장 설명한 IEEE 802.11p 물리 계층 및 채널 환경에 대한 모의실험을 통해 3장의 제안된 기법의 성능을 비교 분석한다. 마지막으로 5장에서 결론을 맺는다.

## Ⅱ. 시스템 모델

### 2.1 IEEE 802.11p 물리 계층

IEEE 802.11p 물리 계층에서는 OFDM 기반의 다중 반송파 병렬 전송기법을 사용하여 직렬로 입력되는 고속 데이터 열을 다수의 부반송파를 이용하여 저속 병렬 채널로 전송한다. 이러한 OFDM 기법의 사용을 통하여 주파수 효율의 향상과 다중경로 페이딩에 대한 강인함 이라는 장점을 얻을 수 있다.

IEEE 802.11p의 패킷 구조는 [8]의 그림 1과 같이 Preamble 부분, 송신 신호 정보를 갖는 Signal 부분 및 Data 부분으로 구성된다[1]. 프리앰블은 Short Training Symbols과 Long Training Symbols로 구성된다. 이 중에서 긴 훈련 심벌은 $6.4\mu s$ 길이의 두 개의 심벌들 $T_1$과 $T_2$로 구성되어 채널 추정에 사용된다. 데이터 부분은 실제 전송 데이터 구간을 의미한다[1][8].

송신단에서는 입력 데이터의 Forward Error Correction을 위해 Convolutional Encoding 과정을 수행하고 무선 채널 특성에 의한 Burst Error를 회피하기 위해서 Interleaving 과정을 거친 후 변조 과정을 실행한다. OFDM 부반송파 64개는 데이터 48개, 파일럿 4개, DC(Direct Current) 1개 및 가상 부반송파 11개로 구성된다. 파일럿 4개는 각각 주파수축 -21, -7, 7, 21번째 위치에 연속적으로 삽입된다. 주파수축 신호는 64-point IFFT(Inverse Fast Fourier Transform) 과정을 통해 시간축으로 변환되고 보호구간과 프리앰블이 삽입되어 패킷를 이룬다.

수신단은 일반적으로 송신단의 역방향으로 구현된다. 프리앰블과 시그널을 분리하고 동기화 과정을 거친 후 초기 채널 추정이 두 개의 긴 훈련 신호들의 상관성을 이용하여 수행된다. 그리고 보호구간을 제거하고 64-point FFT 과정을 거쳐 주파수축으로 변환된다. 채널 추정값을 통한 주파수축 등화하고 복조 및 디코딩 과정을 거쳐 데이터를 복원한다. 구체적인 파라미터는 [8]의 표 1과 같다.

### 2.2 V2V 채널 모델

3D Ray Tracing을 이용하여 고속도로 환경에서 지연확산을 고려한 채널 모델은 [6]에서 제시되고 있다. 본 논문에서는 [6]에서 제시된 채널 모델에 대한 성능분석을 수행하고자 하며, 표 1은 본 논문에서 사용하는 TDL(Tapped Delay Line) PDP(Power Delay Profile)를 나타낸다[6].

표 1. 고속도로 환경의 TDL PDF
Table 1. TDL PDP in expressway environments

| | Tap | Delay(ns) | Average Power(dB) |
|---|---|---|---|
| LOS | 1 | 0 | 0 |
| Non-LOS | 2 | 100 | -9.81 |
| | 3 | 200 | -12.30 |
| | 4 | 300 | -15.87 |
| | 5 | 400 | -17.78 |
| | 6 | 500 | -19.29 |
| | 7 | 600 | -20.27 |

## III. 디코딩 정보를 이용하는 채널 추정 기법

기존의 채널 추정 기법인 STA, CDP 및 TRFI 기법들은 차량의 이동 속도가 낮은 경우에는 비교적 안정적으로 동작하지만, 상대 속도가 빠른 고속 이동 환경에서는 채널의 시변 특성을 따라가지 못하여 성능 저하를 유발하게 된다[5]-[7]. 본 장에서는 고속 이동 환경에서 채널의 시변 특성의 영향을 극복할 수 있는 새로운 채널 추정 기법을 디코딩 정보를 이용하는(VDA) 형태로 제안한다.

제안된 채널 추정기법은 그림 1과 같이 디코더에서 최종 복호화된 비트 단위의 신호를 이용하여 가상 파일럿 신호를 생성하여 기존의 채널 추정 기법을 반복적으로 수행할 수 있는 채널 추정 방식이다[10][11]. 본 장에서는 기존의 채널 추정 기법들로 STA, CDP 및 TRFI를 고려하고 이후 VDA 기법을 다단으로 적용하도록 한다.

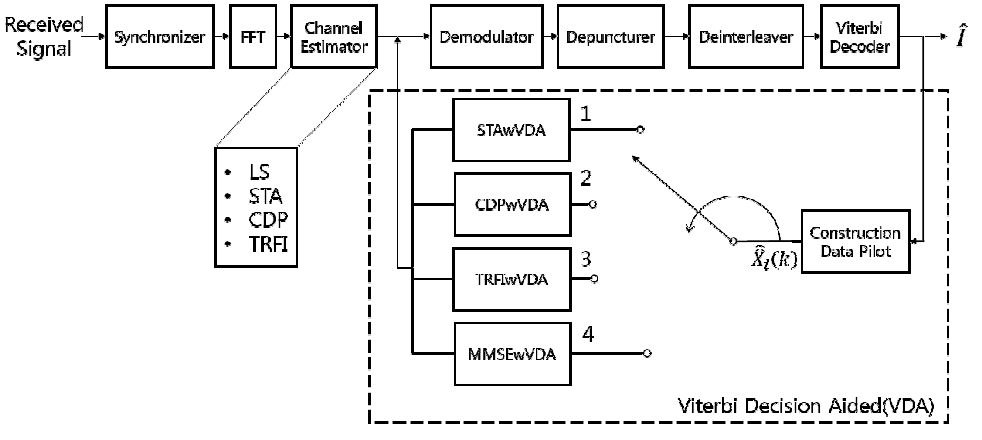


그림 1. 디코딩 정보를 이용하는 채널 추정 수신기 모델
Fig. 1. Receiver model for channel estimation using decoding information

### 3.1 STAwVDA

그림 2는 STAwVDA 채널 추정기 구조를 나타낸다. 기존의 STA 기법은 [4]와 [6]에서와 같이 수신 심볼 $R_i(k)$와 $(i-1)$번째 채널 추정 값 $H_{i-1}(k)$를 이용하여 데이터 파일럿 심볼 $\hat{X}_i(k)$을 구성한다. 반면에 STAwVDA 기법은 그림 1과 같이 Viterbi Decoder에서 결정된 $\hat{I}$을 이용해 변조 심벌 $\hat{\hat{X}}_i(k)$를 생성한다. 그리고 $\hat{\hat{X}}_i(k)$를 이용하여 그림 2와 같이 채널 추정 과정을 진행한다. STAwVDA 기법의 나머지 과정은 기존 STA 기법의 3~5단계와 비교했을 때 데이터 파일럿 심볼이 $\hat{X}_i(k)$ 대신에 $\hat{\hat{X}}_i(k)$로 진행되는 점 이외에는 동일하다.

### 3.2 CDPwVDA

그림 3은 CDPwVDA 채널 추정기 구조도이다. 기존의 CDP 기법과 CDPwVDA 기법의 차이점은 STA 기법과 STAwVDA 기법의 차이점과 유사하다. CDP 기법은 [5]와 [6]에서와 설명된 바와 같이 수신 심볼 $R_i(k)$와 $(i-1)$번째 채널 추정값 $H_{CDP,i-1}(k)$를 이용하여 데이터 파일럿 심볼 $\hat{X}_i(k)$을 구성한다. CDPwVDA 기법은 그림 1과 같이 Viterbi Decoder에서 결정된 $\hat{I}$을 이용해 변조심벌 $\hat{\hat{X}}_i(k)$를 생성한다. 그리고 변조 심볼 $\hat{\hat{X}}_i(k)$를 이용하여 그림 3과 같이 채널 추정 과정을 진행한다. CDPwVDA 기법의 나머지 과정은 기존 CDP 기법과 동일하다[5].

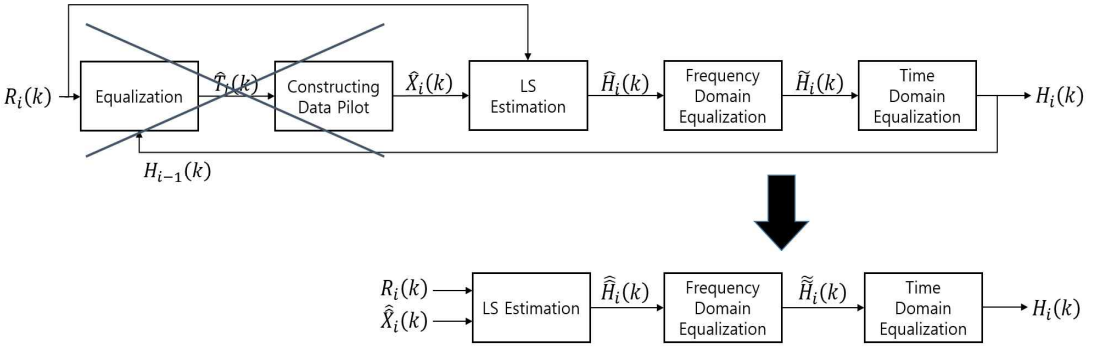


그림 2. STAwVDA 채널 추정기 구조도
Fig. 2. Channel estimator structure for STAwVDA

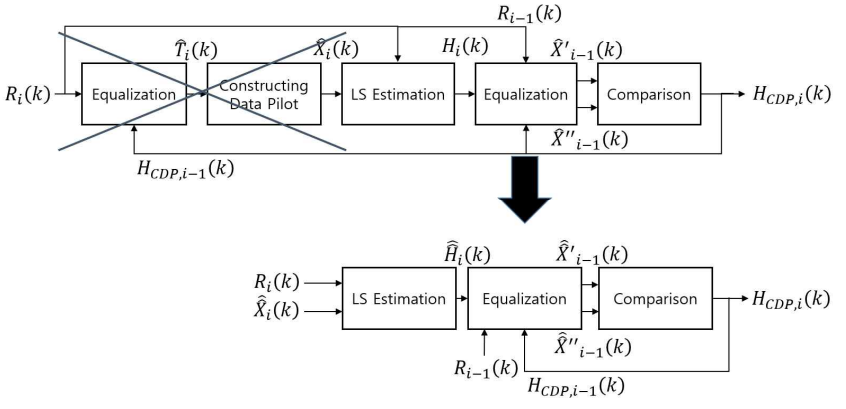


그림 3. CDPwVDA 채널 추정기 구조도
Fig. 3. Channel estimator structure for CDPwVDA

### 3.3 TRFIwVDA

그림 4는 TRFIwVDA 채널 추정기 구조도이다. TRFI는 지속적으로 채널 추정 값을 업데이트하는 데이터 파일럿 기반의 채널 추정 기법으로서 채널 추정 값을 업데이트할 때 평균화 과정 대신 주파수 보간법을 사용하여 디매핑 오차를 완화한다[6]. TRFI 채널 기법은 시간 영역과 주파수 영역에서 각각 인접한 두 개의 데이터 심볼 간 채널 상관 값은 굉장히 높다는 가정 하에 동작한다. TRFIwVDA 기법은 기존 TRFI에서 사용하는 변조 심벌 $\hat{X}_i(k)$가 아닌 디코딩 정보를 이용하여 생성된 $\hat{\hat{X}}_i(k)$를 사용하여 가상 파일럿 심벌의 신뢰성을 높인다. 나머지 과정은 기존 TRFI 기법과 동일하다.

### 3.4 MMSEwVDA

IEEE802.11p/WAVE 시스템의 경우 채널 추정을 위한 파일럿 심벌의 개수가 부족하여 MMSE 채널 추정기법의 적용에 따른 성능향상을 얻을 수 없다[7]. 본 논문에서 고려하고자 하는 MMSEwVDA 기법은 디코딩 정보열 $\hat{I}$을 이용해 주파수축 심벌 $\hat{\hat{X}}_i(k)$을 생성한 후 이를 MMSE 채널 추정을 위한 가상 파일럿 심벌로 간주하고 MMSE 채널 추정방법을 적용하는 것을 의미한다. 참고 문헌[7]에서는 디코딩 정보열이 아닌 초기 채널 추정치를 이용하여 가상 파일럿을 생성하고 MMSE 채널 추정을 수행한다는 점에서 본 논문의 MMSEwVDA와는 차이가 있다.

디코딩 정보열을 이용하여 재생성된 심벌 $\hat{\hat{X}}_i(k)$를 이용함으로써 시변 채널에서 보다 정확한 파일럿 심벌의 수가 증가하게 되며, 이로 인한 채널 추정 성능이 개선된다. 시변 특성이 강한 채널 환경에서는 2차원 MMSE 기법을 적용함으로써 보다 우수한 성능을 확보할 수 있으나 본 논문에서는 복잡도를 고려하여 다음 식의 1차원 MMSE 기법을 고려한다[10][11].

$$\hat{H}_{MMSE,i} = R_{HH}\left[R_{HH} + \sigma_N^2\left(\underline{X}\underline{X}^H\right)^{-1}\right]^{-1}\hat{H}_{LS,i} \quad (1)$$

식 (1)에서 $\sigma_N^2$ 은 주파수축의 부가 복소 백색 가우시안 잡음(AWGN, Additive complex White Gaussian Noise) 전력을 나타내고, $\underline{X} = diag\left(\hat{\hat{X}}_i\right)$이고 $(i)$번째 주파수 축 수신 신호 $Y_i$에 대해 $\hat{H}_{LS,i} = \hat{\hat{X}}_i^{-1} Y_i$이다. 주파수 축 채널 $H$의 자기 공분산 행렬은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} R_{HH} &= E\{HH^H\} \\ &= FE\{\bar{g}\,\bar{g}^H\}F^H = FR_{gg}F^H \end{aligned} \quad (2)$$

식 (2)에서 $H$는 샘플링된 시간축 채널 임펄스 응답 $\bar{g} = [g_n]^T$와 64-point DFT 행렬식 $F$에 대해 $H = DFT(\bar{g}) = F\bar{g}$ 의 관계를 갖는다.

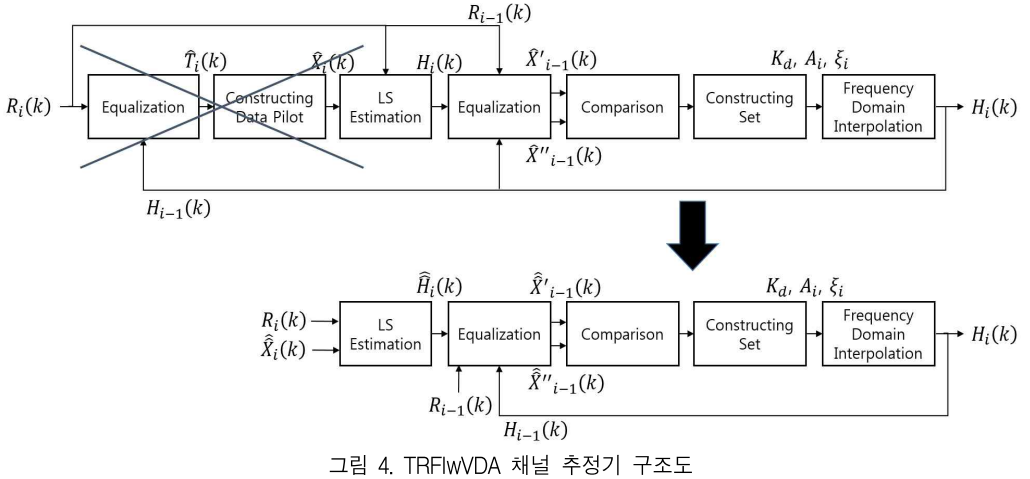


그림 4. TRFIwVDA 채널 추정기 구조도
Fig. 4. Channel estimator structure for TRFIwVDA

본 논문에서는 표 1의 채널에 대한 $R_{gg}$ 를 수신기가 알고 있다고 가정한다.

## Ⅳ. 모의실험

본 장에서는 2장에서 제시한 표 1의 고속도로 채널 환경에서 기존의 채널 추정 기법들과 본 논문에서 제안하는 기법의 성능을 패킷 오류율 관점에서 비교 분석한다. 기본적으로 모의실험 변수들은 IEEE 802.11p 표준을 따르며([8]의 표 1), QPSK 변조방식과 코드율 1/2 및 100개의 OFDM 데이터 심벌을 사용하여 EEE 802.11p 물리계층 시뮬레이터를 MATLAB 소프트웨어로 구현하였으며 $10^5$ 랜덤 패킷을 발생하여 모의실험을 수행하였다.

초기 채널 추정 기법으로는 기존의 STA, CDP 및 TRFI 기법을 고려하였으며 이후 두 번의 VDA를 적용하여 성능을 비교 한다. 즉, 초기 채널 추정 후 VDA를 적용한 기법들(X-XwVDA, X=STA, CDP, TRFI)의 성능들과 다시 VDA 기법을 적용한 MMSE 기법들(X-XwVDA-MMSEwVDA, X=STA, CDP, TRFI)의 성능을 제시하였다. 그리고 제안한 채널 추정 기법들 중 가장 우수한 성능을 가지는 기법들을 비교 분석한다. 또한 속도에 따른 성능 영향을 확인하기 위하여 100km/h 환경(그림 5~8) 및 400km/h 환경(그림 9~12)에서의 성능을 비교 분석한다.

100km/h 환경에 대해 그림 5, 6 및 7에서는 각각 초기 채널 추정 기법 STA, CDP 및 TRFI에 대한 성능이 VDA 기법을 적용함에 따라 향상되는 정도를 비교하고 있다. STA기법의 경우 1번의 VDA 기법을 적용하더라도 성능 향상 정도가 낮으나 CDP 및 TRFI의 경우 높은 성능 향상을 얻게 된다. 2번의 VDA 기법(MMSE)을 적용할 경우 STA 기법에서도 높은 SNR 영역에서는 성능향상을 얻을 수 있으나 낮은 SNR 영역에서는 약간의 성능저하를 확인할 수 있다.

그림 8에서는 기존의 기법과 VDA 기법을 적용하여 얻을 수 있는 성능을 비교한다. CDP와 TRFI는 같은 성능을 나타내고 있으나, VDA 기법의 적용을 통하여 $10^{-2}$ PER을 획득할 수 있으며 기존 기법 대비 10dB SNR 이득이 있음을 확인하였다.

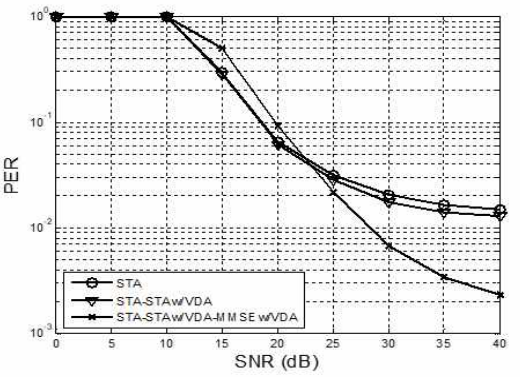


그림 5. STA 기반 PER 성능 비교 (고속도로 환경, 100km/h, QPSK, code rate=1/2)
Fig. 5. PER performance comparison based on STA (expressway environment, 100km/h, QPSK, code rate=1/2)

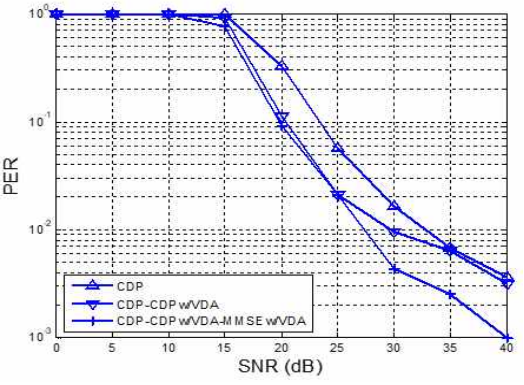


그림 6. CDP 기반 PER 성능 비교 (고속도로 환경, 100km/h, QPSK, code rate=1/2)
Fig. 6. PER performance comparison based on CDP (expressway environment, 100km/h, QPSK, code rate=1/2)

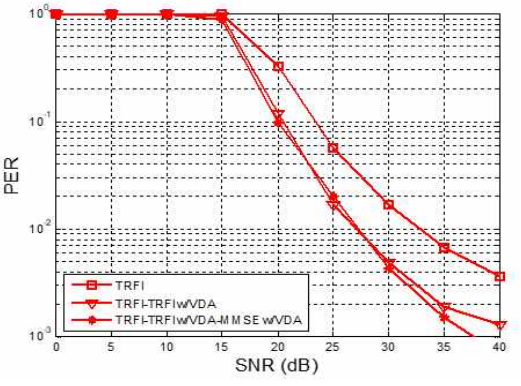


그림 7. TRFI 기반 PER 성능 비교 (고속도로 환경, 100km/h, QPSK, code rate=1/2)
Fig. 7. PER performance comparison based on TRFI (expressway environment, 100km/h, QPSK, code rate=1/2)

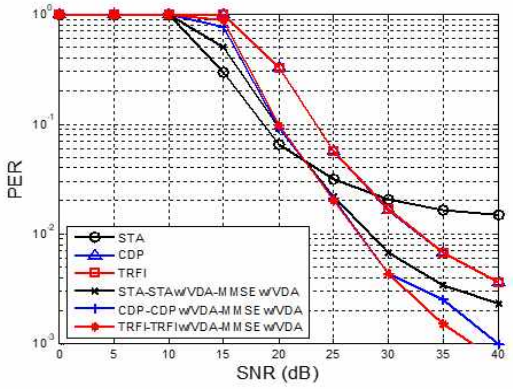


그림 8. PER 성능 비교 (고속도로 환경, 100km/h, QPSK, code rate=1/2)

Fig. 8. PER performance comparison (expressway environment, 100km/h, QPSK, Code rate=1/2)

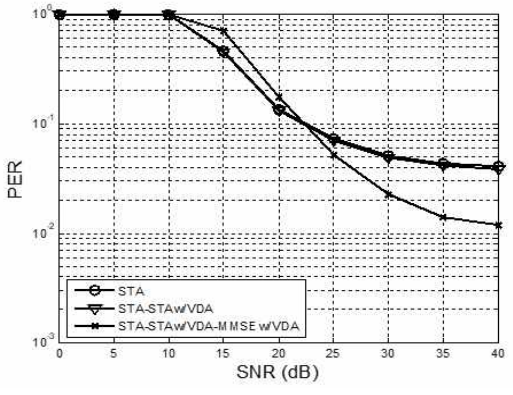


그림 9. STA 기반 PER 성능 비교 (고속도로 환경, 400km/h, QPSK, code rate=1/2)

Fig. 9. PER performance comparison based on STA (expressway environment, 100km/h, QPSK, code rate=1/2)

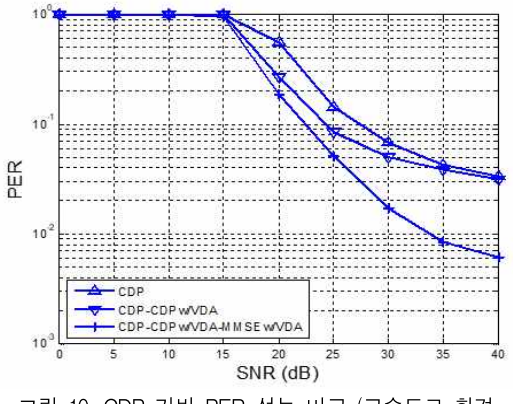


그림 10. CDP 기반 PER 성능 비교 (고속도로 환경, 400km/h, QPSK, code rate=1/2)

Fig. 10. PER performance comparison based on CDP (expressway environment, 100km/h, QPSK, code rate=1/2)

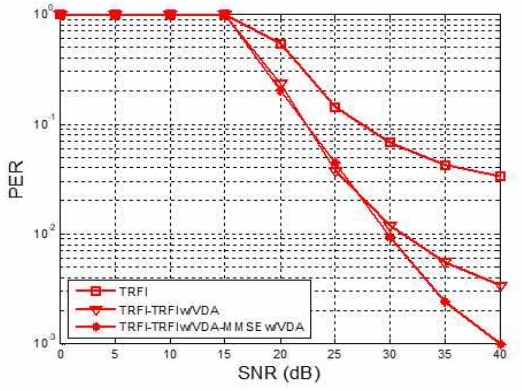


그림 11. TRFI 기반 PER 성능 비교 (고속도로 환경, 400km/h, QPSK, code rate=1/2)

Fig. 11. PER performance comparison based on TRFI (expressway environment, 100km/h, QPSK, code rate=1/2)

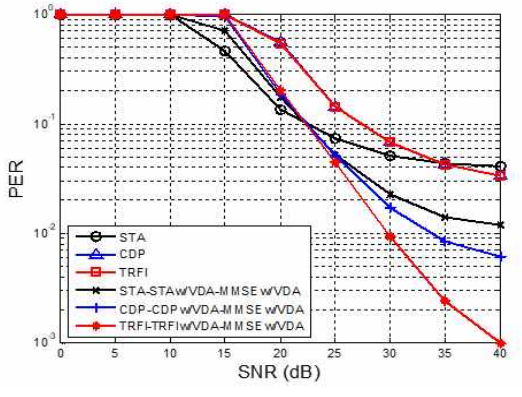


그림 12. PER 성능 비교 (고속도로 환경, 400km/h, QPSK, code rate=1/2)

Fig. 12. PER performance comparison (expressway environment, 100km/h, QPSK, code rate=1/2)

그림 9, 10 및 11에서는 각각 400km/h 고속 환경에 대한 초기 채널 추정 기법 STA, CDP 및 TRFI의 성능이 VDA 기법을 적용함에 따라 향상되는 정도를 비교하고 있다. 그림 5와 9의 비교를 통해 STA 기법의 경우 1번의 VDA 기법을 적용하더라도 성능 향상이 작거나(그림 5) 거의 없으며(그림 9), 또한 400km/h의 고속환경에서 $10^{-2}$ PER 성능을 획득할 수 없음을 알 수 있다. 그림 6와 10의 비교를 통해 CDP 기법에서는 2단의 VDA 기법을 적용함으로써 순차적인 성능 향상을 얻게 됨을 확인하였다. 반면에 TRFI의 경우 400km/h의 고속 환경에서는 2단의 VDA 기법을 적용함으로써 우수한 성능 향상을 얻음을 그림 7과 11의 비교를 통해 확인하였다. 그리

고 그림 8과 12의 비교를 통해 CDP와 TRFI는 같은 성능을 나타내고 있으나, 2번의 VDA를 적용한 TFRI-TFRIwVDA-MMSEwVDA 기법을 사용함으로써 400km/h의 고속 환경에서도 100km/h의 경우 대비 약 5dB SNR 손실만으로 $10^{-2}$ PER 성능 획득이 가능함을 확인하였다.

## V. 결 론

본 논문에서는 고속도로 채널 환경에서 보다 정확한 채널 추정 성능을 갖는 새로운 채널 추정 기법을 제안하고, 그 성능을 패킷 오류율 향상 정도를 통해 검증하였다. 제안 기법은 디코딩 정보를 이용한 채널 추정 기법으로 기존의 채널 추정기법 및 MMSE 기법을 순차적으로 적용할 수 있는 채널 추정 기법으로서 고속 환경에서도 패킷 오류율을 향상시킬 수 있음을 모의실험을 통하여 확인하였다. 1% 패킷 오류율을 성능 기준으로 할 때, 기존의 기법들이 이를 만족시키지 못하는 열악한 채널 환경에서도 제안된 기법은 이를 만족시킴을 확인하였다. 다만 낮은 SNR 환경에서 기존의 STA 기법이 안정적인 성능을 나타내었다.

따라서 향후에는 채널 추정 기법을 선택적으로 적용하는 방법[11]을 적용함으로써 모든 SNR 영역에서 안정적으로 동작하며 우수한 채널 추정 성능을 나타내는 기법에 관한 추가 연구가 필요하다고 판단되며 $R_{gg}$ 혹은 $R_{HH}$에 대한 추정 기법을 고려한 채널 추정 알고리즘의 개발이 수행되어야 할 것이다. 또한, 본 논문에서 제안하는 기법은 반복적 채널 추정 기법[8]과 마찬가지로 디코딩 과정을 반복적으로 수행함에 따른 복잡도 및 처리 시간 증가의 단점이 있다. 따라서 이러한 단점을 극복하기 위한 후속 연구가 수행되어야 할 것이다.

## References

[1] IEEE802.11p, IEEE Standard for Information Technology Telecommunication and Information Exchange Between Systems Local and Metropolitan Area Networks Specific Requirements. part 11: Wireless LAN MAC and PHY Specifications Amendment 6: Wireless Access in Vehicular Environments, 22 July 2014.

[2] Yoon Kyeong Kim and Cheol Mun, "Performance Evaluation of Channel Estimations in IEEE 802.11p in Urban Environments", Proc. KIIT Summer Conference, Cheonan, Korea, pp. 267-271, May 2014.

[3] X. Cheng, Q. Yao, M. Wen, C. X. Wang, L. Song, and B. Jiao, "Wideband Channel Modeling and ICI Cancellation for Vehicle-to-Vehicle Communication Systems", IEEE J. Sel. Areas Commun., Vol. 31, No. 9, pp. 434-448, Sep. 2013.

[4] J. A. Fernandez, K. Borries, L. Cheng, B. V. K. Vijaya Kumar, D. D. Stancil, and F. Bai, "Performance of the 802.11p Physical Layer in Vehicle-to-Vehicle Environments", IEEE Trans. Veh. Tech., Vol. 61, No. 1, pp. 3-14, Jan. 2012.

[5] J. Zhao, X. Cheng, M. Wen, B. Jiao, and C. X. Wang, "Channel Estimation Schemes for IEEE 802.11p Standard", IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine, Vol. 5, No. 4, pp. 38-49, Winter 2013.

[6] Yoon-Kyeong Kim, Cheol Mun, Jeong-Tae Seo, and Chang-Kyoo Jung, "IEEE 802.11p Channel Estimation Scheme Using Frequency Domain Interpolation Based on Time and Frequency Domain Reliable Test", The Journal of Korean Institude of Information Technology, Vol. 14, No. 9, pp. 53-60, Sep. 2016.

[7] Joo-Young Choi, Kang-Hee Yoo, and Cheol Mun, "MMSE Channel Estimation Scheme using Virtual Pilot Signal for IEEE 802.11p", The Journal of Korean Institude of Information Technology, Vol. 14, No. 6, pp. 51-57, Jun. 2017.

[8] Sungmook Lim and Changick Song, "Iterative Channel Estimation Method to Enhance PER in V2V Communications Based on IEEE 802.11p", The Journal of Korean Institute of Information Technology, Vol. 14, No. 12, pp. 79-88, Dec.

2016.

[9] H. Abdulhamid, E. Abdel-Raheem, and K. Tepe, "Channel tracking techniques for OFDM systems in wireless access vehicular environments", Signal Processing and Its Applications, pp. 1-4, Feb. 2007.

[10] Y. Shen and E. Martinez, "Channel estimation in OFDM systems", Freescale semiconductor application note, AN3059, Rev.0, Jan. 2006.

[11] Joo-Young Choi., Cheol Mun, and Jong-Gwan Yook, "Adaptive Channel Estimation Based on a Decision Method Using a Long Preamble for the IEEE 802.11p", Proc. VTC2017-Spring, Sydney, Australia, 4-7 Jun. 2017.

## 저자소개

김 민 찬 (Minchan Kim)

2012년 2월 : 한국교통대학교 제어계측공학과(공학석사)
2014년 3월 ~ 현재 : 한국교통대학교 제어계측공학과(박사과정)

관심분야 : 무선통신, C-ITS

박 초 은 (Choeun Park)

2016년 2월 : 한국교통대학교 제어계측공학과(공학사)
2016년 3월 ~ 현재 : 한국교통대학교 정보기술융합학과(석사과정)

관심분야 : 무선통신, C-ITS

고 균 병 (Kyunbyoung Ko)

1997년 2월 : 연세대학교 전자공학과(공학사)
1999년 9월 : 연세대학교 전기전자공학과(공학석사)
2004년 2월 : 연세대학교 전기전자공학과(공학박사)
2004년 3월 ~ 2007년 2월 : 삼성전자 통신연구소
2007년 3월 ~ 현재 : 한국교통대학교 전기전자로봇통신공학부 정교수

관심분야 : 이동통신, MIMO, 통신 신호처리