

# 잡음제거 오토인코더 기반 V2X 채널추정기법에 관한 연구.

오강현, 송창익\*

한국교통대학교

k.oh@ut.ac.kr, \*c.song@ut.ac.kr

## A Study on the V2X Channel Estimation Scheme Based on Denoising Autoencoder

Kang-Hyeon Oh, Changick Song\*

Korea National University of Transportation.

### 요 약

시간-주파수 영역에서 채널이 빠르게 변화는 V2X 환경에서 제한된 파일럿 자원으로 수신단의 채널 추정 정확도를 높이기 위한 다양한 알고리즘이 개발되어 왔다. 최근에는 딥러닝 기술을 이용하여 기존 채널추정기법들의 잡음과 오차의 크기를 비약적으로 감소시킬 수 있음이 밝혀졌다. 본 논문에서는 기존 딥러닝 기반 채널추정기법 대비 보다 높은 채널 추정 정확도를 갖는 새로운 잡음제거 오토인코더 (denoising Autoencoder, DAE) 기반 채널추정 알고리즘을 제안한다. 이후 시뮬레이션 결과를 통해 제안하는 기법 우수한 성능을 확인한다.

### I. 서 론

자율주행자동차 기술이 발전함에 따라 차량간 통신인 V2X(Vehicle-to-Everything) 통신기술이 중요시 되고 있다. V2X 통신을 위한 대표적인 기술로는 (WAVE)시스템이 있다. WAVE 시스템의 물리 계층을 정의하는 IEEE 802.11p 표준은 IEEE 802.11a에서 파생된 표준으로 대역폭을 20 MHz에서 10 MHz로 축소한 것이다. 11p 시스템은 구조적으로 채널 추정을 위한 파일럿 (pilot) 부반송파의 수가 부족하기 때문에, 부족한 파일럿 자원을 이용하여 V2X채널의 높은 시간-주파수 축 채널 변화를 추적하는 알고리즘에 대한 많은 연구가 이루어져 왔다.

그 중에서도 특히 수신단에서 복원된 데이터 심볼을 다시 파일럿으로 재활용하는 결정 지향적 DPA(Data Pilot Aided) 기반 알고리즘이 많은 관심을 받았다. DPA알고리즘은 데이터 복원 과정에서 발생하는 오류가 다음 심볼의 채널추정 오차로 전파되는 오류전파효과에 매우 취약하여 이러한 오류전파효과를 제어하기 위해 STA(Spectral Temporal Averaging)[1] 기법과 TRFI(Time domain Reliability Test and Frequency domain Interpolation)[2] 기법이 제안된 바 있으나 각각 낮은 SNR영역과 높은 SNR영역에 주로 성능이득을 보이며 그 이득의 크기도 제한적인 문제를 갖는다.

최근 [3]의 연구에서는 DPA 알고리즘과 오토인코더 (Autoencoder, AE) 인공신경망을 결합함으로써 기존 STA, TRFI와 같은 규칙 기반 채널 추정 기법들 대비 드라마틱한 성능 이득을 달성할 수 있음이 입증되었다. 또한 [4]와 [5]에서는 각각 기존 STA기법과 TRFI 채널추정기법에 Deep Neural Network (DNN) 구조를 결합하여 추정 오류를 보상하는 STA-DNN[4] 및 TRFI-DNN[5] 알고리즘을 제안하여 특정 환경에서 기존 AE채널추정기법 대비 이득을 얻을 수 있음을 보였다. 그러나 이 기법들은 여전히 STA와 TRFI를 기반으로 동작하기 때문에 그 이득이 특정 SNR 영역에서만 두드러지는 경향을 보이는 한계점을 갖는다.

본 논문에서는 STA-DNN과 TRFI-DNN의 문제점을 해결하고 모든 SNR영역에서 뛰어난 채널추정성능을 갖는 잡음제거 오토인코더 (DAE:

Denoise AE) 기반 채널 추정 기법을 제안한다. 제안하는 DAE기법은 AE 훈련단계에서 입력으로 사용되는 채널 데이터에 인위적인 잡음을 가산하고, AE 출력 값과 잡음을 부가하지 않은 입력 데이터와 MSE (Mean Squared Error) 손실이 최소화되도록 학습함으로써 보다 효과적으로 잡음을 제거할 수 있도록 설계되었다. 제안하는 잡음제거 AE기법은 초기 채널추정으로 발생하는 잡음에 강한 특성을 보이며, 동시에 학습된 채널의 주파수 상관성으로 디메핑 과정 이후 오류를 보상할 수 있어 기존 채널 추정 기법에 비해 우수한 성능을 보인다. 끝으로 본 논문은 시뮬레이션 결과를 통해 제안하는 기법의 우수성을 입증한다.

### II. 본론

#### 2-1 제안하는 채널추정 기법

채널 추정 기술에 앞서 먼저 오프라인 단계에서 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 V2X채널들을 생성한다. 본 논문에서는 훈련 데이터로 DPA 알고리즘을 통해 추정된 CFR과 ideal CFR을 사용한다. 그렇게 생성된 V2X채널들을 Tensorflow 기반 딥러닝 기술을 통해 학습하게 된다. 학습할 때의 활성화함수는 'ReLU' 함수를 사용하며, Optimizer는 Adam을 사용하는 등 학습 파라미터는 표 1과 같다. 그렇게 학습을 통해 얻게 된 파라미터를 통해 온라인 채널추정을 시행한다.

Parameter	Value
Number of hidden layer	3
Neurons per hidden layer	40-20-40
Epoch 수	3000
Batch size	128
Optimizer	ADAM
Loss function	MSE
Learning Rate	0.001
Activation function	ReLU

표 1. 잡음제거 오토인코더 학습 파라미터

온라인 단계에서는 DPA 과정 이후 잡음제거 오토인코더를 결합함으로써 잡음제거와 함께 학습된 채널의 주파수 영역 상관성을 기반으로 디매핑 오류에 대한 보상을 수행한다.

## 2-2 시뮬레이션 결과

본 논문에서는 모의실험을 위해 Coda Wireless V2X 채널 모델을 고려한다. 또한 채널 모델중 가장 고속이며, 직접파가 없는 Highway NLoS 환경에서 시뮬레이션을 수행한 뒤, 그 결과를 패킷오류율 (packet error rate, PER)에서 비교한다. 모의실험의 채널 프로파일은 표2와 같다.

	Tap1	Tap2	Tap3	Tap4	Units
Power	0	-2	-5	-7	dB
Delay	0	200	433	700	ns
Doppler	0	689	-492	886	Hz

표2. Highway NLoS (252 km/h) 채널 프로파일

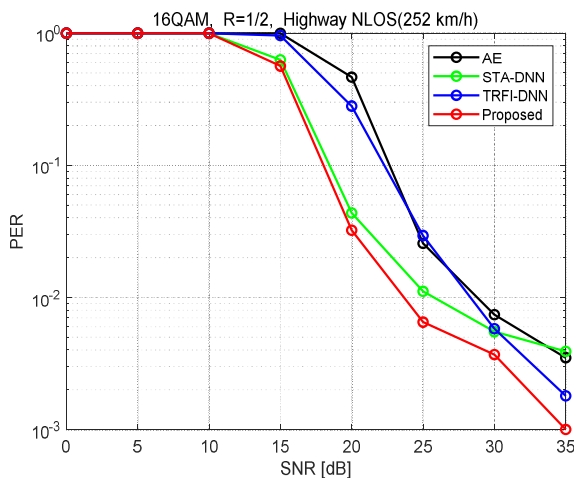


그림 1 채널추정기법에 따른 PER 성능 비교

그림 1은 Highway NLoS 환경에서 16-QAM의 변조레벨을 사용했을 때의 성능을 나타낸다. 먼저 모든 성능대비 제안하는 기법이 채널의 주파수 영역 상관성을 더욱 잘 학습하였기에 우수한 성능을 보인다. 또한 STA-DNN과 TRFI-DNN의 경우 성능이 우수하나 기존의 STA 및 TRFI 기법의 특징이 반영되기 때문에 성능이 열화된 모습을 보인다.

## III. 결론

본 논문에서는 기존 딥러닝 기반 채널추정 기법들 대비 보다 높은 채널 추정 정확도를 갖는 새로운 잡음제거 오토인코더 기반 채널추정 알고리즘을 제안하였다. 또한 시뮬레이션 결과를 통해 기존 딥러닝 채널추정 알고리즘 대비 제안하는 기법의 우수한 성능을 확인하였다.

## ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 2023년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단 이공분야기초연구사업 (No. 2021R1A2C2012558) 및 정보통신기획평가원 자율주행기술개발혁신사업 (No. 2022-0-01053, 다중 통신기술 네트워크 로드맵링 기술개발)의 지원을 받아 수행된 연구임.

## 참고 문헌

- [1] 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. 4-13, Jan. 2012.
- [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 Int. Conf. Intell. Transp. Syst., pp. 1085-1090, Qingdao, China, Oct. 2014.
- [3] S. Han, Y. Oh, and C. Song, "A deep learning based channel estimation scheme for IEEE 802.11p systems," in Proc. IEEE ICC-2019, Shanghai, China, May. 2019.
- [4] A. K. Gizzini, M. Chaffi, A. Nimr, and G. Fettweis, "Deep learning based channel estimation schemes for IEEE 802.11p standard," IEEE Access, vol. 8, pp. 113751-113765, Jun. 2020.
- [5] A. K. Gizzini, M. Chaffi, A. Nimr, and G. Fettweis, "Joint TRFI and deep learning for vehicular channel estimation," in Proc. IEEE GLOBECOM-2020, 2020.