

방송 시스템을 위한 러닝 기반 채널 추정 기법의 추가 성능 평가

김형석, 김정창
한국해양대학교

hskim19@g.kmou.ac.kr, jchkim@kmou.ac.kr

Further Performance Evaluation of Learning-Based Channel Estimation Scheme for Broadcast System

Hyeongseok Kim, Jeongchang Kim
Korea Maritime and Ocean University

요 약

본 논문에서는 방송 시스템을 위한 러닝 기반 채널 추정 방법의 추가 성능 평가를 수행한다. 러닝 기반 채널 추정 방법은 매우 긴 지연을 갖는 채널 환경에서 향상된 채널 추정 정확도를 얻을 수 있음이 최근 연구로 제시되었다. 본 논문에서는 LoS (line-of-sight) 채널을 포함한 다양한 채널 환경을 고려하고, 최소 평균 제곱 오차 (minimum mean square error: MMSE) 기반 채널 추정 기법과의 성능 평가를 수행한다. 전산 실험 결과는 러닝 기반 채널 추정 방법이 MMSE 기반 방법에 비해 더 정확한 채널 추정이 가능함을 보여준다.

I. 서 론

통신 시스템에서 채널 추정은 수신 과정 중 중요한 요소 중 하나이다. 송신기와 수신기 사이에 기 정의된 신호인 파일럿 (pilot) 신호를 송신기가 송신하면, 수신기에서는 수신된 파일럿 신호의 변화를 통해 채널을 추정할 수 있다. 직교 주파수 분할 다중화 (orthogonal frequency division multiplexing: OFDM)에서 파일럿 신호에 대한 채널 추정 기법으로 최소 제곱법 (least square: LS) 기법이 널리 사용된다 [1]. 파일럿 신호에 대한 채널 추정 이후 데이터 신호에 대한 채널 추정을 위해 파일럿 신호에 대한 채널 이득 값을 이용한 보간 (interpolation)이 수행된다. 다양한 보간 기법을 사용할 수 있으며, 대표적으로 선형 보간 (linear interpolation), 이산 푸리에 변환 (discrete Fourier transform: DFT) 기반 보간, 최소 평균 제곱 오차 (minimum mean square error: MMSE) 기반 보간 등이 사용될 수 있다. 이 중, MMSE 기반 방법은 높은 채널 추정 정확도를 획득할 수 있다.

방송 시스템에서는 단일 주파수망 (single frequency network: SFN) 기반 HPHT (high power high tower) 시나리오를 사용하고, 각 기지국은 매우 넓은 커버리지 (coverage)를 갖는다. 따라서, 수신 신호는 매우 긴 지연 (delay) 신호를 포함할 수 있고, 매우 심한 주파수 선택성 (frequency selectivity)을 갖는다. 기존 연구에서는 매우 심한 주파수 선택성을 갖는 채널 환경에서 성능 이득을 얻을 수 있는 러닝 기반 채널 추정 방법을 제안하였고, 기존 방법 중 하나인 DFT 기반 방법과의 성능을 비교하였다 [2].

본 논문에서는 러닝 기반 채널 추정 방법과 기존 방법 중 하나인 MMSE 기반 방법과의 성능 평가를 더 다양한

채널 환경에서 수행한다. 고려한 채널 모델은 TU-6 [3]와 Seoul-S3 [4] 채널이며, 방송 시스템으로서 3GPP의 Release 16 기반 LTE-based 5G broadcast를 사용한다. 전산 실험 결과는 러닝 기반 채널 추정이 MMSE 기반 방법에 비해 더 정확한 채널 추정이 가능함을 보여준다.

II. 시스템 구조 및 실험 결과

LTE-based 5G broadcast 서비스를 위해 전송되는 신호의 프레임은 여러 제어 신호가 포함된 CAS (cell-acquisition subframe)와 기지국이 전송하고자 하는 데이터가 포함된 MBSFN (multicast/broadcast SFN) subframe으로 구분될 수 있다. CAS에는 PSS/SSS (primary synchronization signal/secondary synchronization signal)와 PBCH (physical broadcast channel), PDCCH (physical downlink control channel), PDSCH (physical downlink shared channel) 등으로 구성되며, 신호의 초기 동기 획득과 MIB (master information block) 및 SIB (system information block)와 같은 여러 중요 제어 정보를 포함하고 있다. CAS를 위한 부반송파 간격 (subcarrier spacing) 및 CP (cyclic prefix) 길이 등 OFDM 파라미터는 LTE의 유니캐스트 (unicast)에서 지원하는 파라미터만 사용 가능하다. 반면, MBSFN subframe은 방송 서비스 전송을 위해 넓은 커버리지를 고려하여 다양한 OFDM 파라미터를 사용할 수 있다. MBSFN subframe은 방송 데이터를 전달하는 PMCH (physical multicast channel)와 채널 추정을 위한 MBSFN RS (reference signal)이 각각 정의된 리소스에 맵핑되어 전송된다. MBSFN RS는 MBSFN subframe에서

표 1. 전산 실험을 위한 시스템 파라미터

Parameter	Value
System bandwidth	8 MHz
Subcarrier spacing	1.25 kHz
Center frequency	700 MHz
Number of RBs	40
Number of subcarriers in RB	144
MCS index	14 (Table 7.1.7.1-1 in [6])

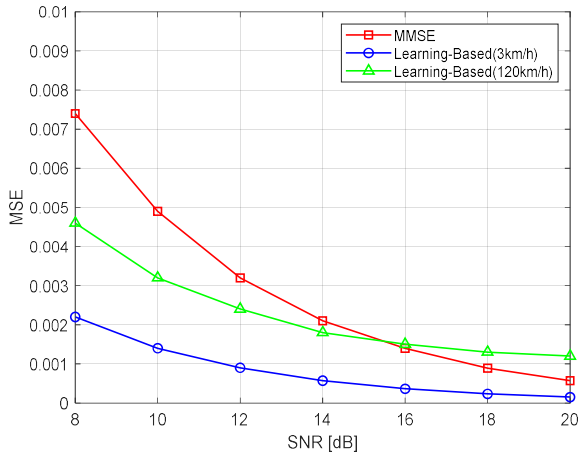


그림 1. 속도가 3 km/h 인 TU-6 채널 하에서 채널 추정 방법에 따른 MSE 결과.

사용되는 부반송파 간격에 따라 맵핑 패턴이 달라진다 [5].

수신기에서는 수신한 MBSFN RS 에 대한 채널 이득을 추정하기 위해 LS 방법을 사용한다. 이어서, 두 개의 MBSFN RS 사이에 위치한 PMCH 에 대한 채널 이득을 추정하기 위해 보간 기법을 적용한다. 이 때, MBSFN RS 는 ATSC 3.0 의 scattered pilot 과 유사한 맵핑 패턴을 가지므로, 시간 영역과 주파수 영역 모두에서 보간이 가능하다 [7]. 본 논문에서는 다양한 보간 기법 중 MMSE 기반 보간 방법을 적용하여 PMCH 에 대한 채널 추정을 수행한다.

본 논문에서는 MMSE 기반 채널 추정과 [2]에서 제안한 러닝 기반 채널 추정의 성능을 다양한 채널 환경 하에서 평가한다. 먼저, 본 논문에서는 송수신기간 동기는 완벽하다고 가정한다. 전산 실험을 위한 시스템 파라미터는 표 1 과 같다. 채널 환경은 NLoS (non-line-of-sight)와 LoS 시나리오로서 각각 TU-6 채널과 Seoul-S3 채널 하에서 3 km/h 와 120 km/h 의 이동 속도를 고려하였다. 또한, 러닝 기반 채널 추정에서 러닝 모델을 훈련할 때, 3 km/h 와 120 km/h 의 이동 속도에서 생성된 데이터를 각각 이용하였고, 따라서 동일한 채널 모델에서 각 이동 속도에 따른 모델을 따로 생성하였다.

그림 1 과 2 는 각각 이동 속도가 3 km/h 와 120 km/h 인 TU-6 채널 하에서 채널 추정 방법에 따른 MSE 결과를 나타낸다. 러닝 기반 방법이 MMSE 기반 방법에 비해 더 낮은 MSE 값을 가지며, 이는 곧 채널 추정 정확도가 더 높음을 의미한다. 또한, 3 km/h 의 이동 속도에서 생성한 데이터로 훈련한 모델은 그림 1 의 3 km/h 의 이동 속도 환경에서 가장 좋은 성능을 보인다. 그림 2 역시 120 km/h 의 이동 속도에서 생성한 데이터로 훈련한 모델이 120 km/h 의 이동 속도 환경에서 가장 좋은 성능을 보이는 것을 알 수 있다.

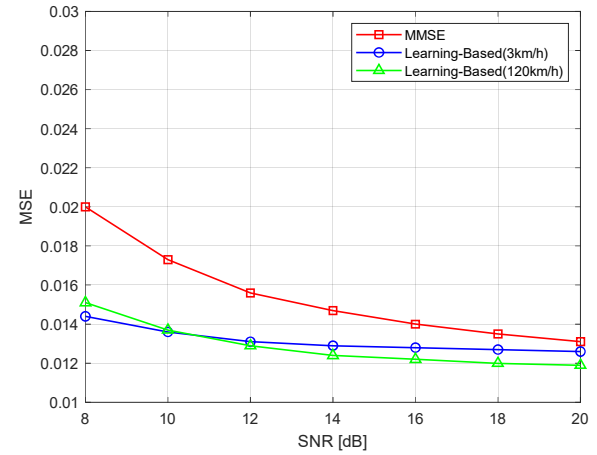


그림 2. 속도가 120 km/h 인 TU-6 채널 하에서 채널 추정 방법에 따른 MSE 결과.

그림 3 과 4 는 각각 이동 속도가 3 km/h 와 120 km/h 인 Seoul-S3 채널 하에서 채널 추정 방법에 따른 MSE 결과를 나타낸다. 이동 속도가 3 km/h 인 채널의 경우, 러닝 기반 채널 추정이 MMSE 기반 방법에 비해 더 좋은 채널 추정 성능을 가지며, 특히 3 km/h 의 이동 속도에 대한 러닝 모델이 가장 좋은 채널 추정 정확도를 갖는다는 것을 확인할 수 있다. 반면, 이동 속도가 120 km/h 인 채널의 경우, 120 km/h 의 이동 속도에 대한 러닝 모델이 가장 좋은 성능을 보이지만, 3 km/h 의 이동 속도에 대한 러닝 모델은 채널 추정 성능이 매우 나쁘게 나타난다. 이는 낮은 이동 속도에 대한 러닝 모델은 높은 이동 속도에 대응되는 도플러 천이를 제대로 반영하지 못하고 채널 추정이 수행되기 때문으로 볼 수 있다. 반대로, 높은 이동 속도에 대한 데이터로 훈련된 모델은 낮은 이동 속도에 대한 도플러 천이를 어느정도 반영하여 추정할 수 있다는 것을 확인할 수 있다.

III. 결론

본 논문에서는 채널 추정 정확도를 향상시킬 수 있는 러닝 기반 채널 추정 방법에 대해 다양한 채널 환경에서의 성능 평가를 수행하였다. 이동 통신 시스템에서 많이 사용되는 MMSE 기반 채널 추정 방법과의 성능 비교를 수행하였으며, 이동 속도에 따른 러닝 기반 방법과 MMSE 기반 방법의 성능 경향을 관찰하였다. 전산 실험 결과는 러닝 기반 채널 추정 방법이 MMSE 기반 방법에 비해 향상된 채널 추정 성능을 얻을 수 있음을 보여준다. 또한, 낮은 이동 속도에서 생성한 데이터로 훈련한 모델은 높은 이동 속도 환경에서 상당한 성능 열화가 발생하지만, 높은 이동 속도에서 생성한 데이터로 훈련한 모델의 경우에는 낮은 이동 속도 환경에서도 채널 추정이 가능함을 확인하였다.

ACKNOWLEDGMENT

This research was supported by Basic Science Research Program through the National Research Foundation of

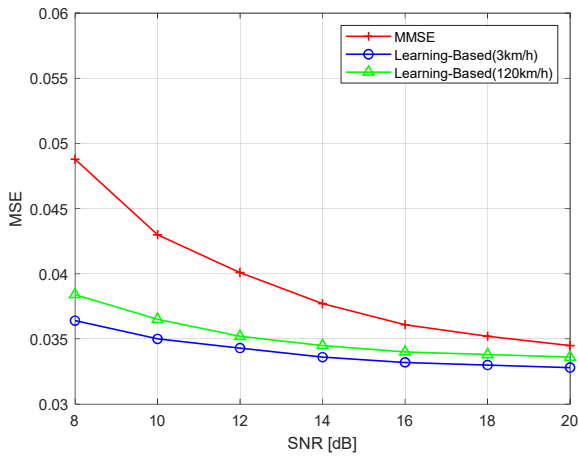


그림 3. 속도가 3 km/h 인 Seoul-S3 채널 하에서 채널 추정 방법에 따른 MSE 결과.

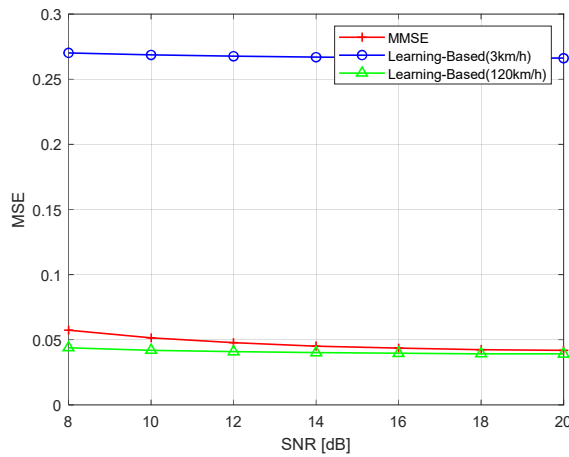


그림 4. 속도가 120 km/h 인 Seoul-S3 채널 하에서 채널 추정 방법에 따른 MSE 결과.

Korea(NRF) funded by the Ministry of Education
(2022R1A6A3A01087373)

참 고 문 헌

- [1] S. Coleri, M. Ergen, A. Puri, and A. Bahai, "Channel estimation techniques based on pilot arrangement in OFDM systems," *IEEE Trans. Broadcast.*, vol. 48, no. 3, pp. 223–229, Sep. 2002.
- [2] H. Kim, K. Seol, J. Kim, S. -I. Park, and N. Hur, "A DNN-based channel estimation scheme for PMCH in LTE-based 5G terrestrial broadcast system," in *Proc. IEEE BMSB2022*, Bilbao, Spain, Jun. 2022.
- [3] COST 207 Management Committee, *COST 207: Digital Land Mobile Radio Communications—Final Report*, Commission Eur. Communities, Brussels, Belgium, pp. 135–147, 1989.

- [4] S. Ahn *et al.*, "Characterization and modeling of UHF wire- less channel in terrestrial SFN environments: Urban fading pro- files," *IEEE Trans. Broadcast.*, vol. 68, no. 4, pp. 803–818, Dec. 2022.
- [5] "Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Physical channels and modulation" 3GPP, Sophia Antipolis, France, Rep. 3GPP TS 36.211.
- [6] "Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Physical layer procedures" 3GPP, Sophia Antipolis, France, Rep. 3GPP TS 36.213.
- [7] "ATSC standard: Physical layer protocol," ATSC, Washington, DC, USA, document A/322:2021, Jan. 2021.