

5G-NR 에서 수정된 MMSE 방식을 이용한 채널추정

박상기[†], 김광래[†], 권한별[†], 박진실[†], 윤은비[†], 장광재[‡], 정기석^{†*}

[†]한양대학교, [‡](주)티제이이노베이션

skpark1101@hanyang.ac.kr, kksilver91@hanyang.ac.kr, gksquf808@hanyang.ac.kr,
jspark@tj-innovation.com, ebyun@tj-innovation.com, gjjang@tj-innovation.com,
kchung@hanyang.ac.kr

Channel Estimation using Modified MMSE in 5G-NR

Sangki Park[†], Kwangrae Kim[†], Hanbyeol Kwon[†], Jinsil Park[†], Eunbee Yun[†],
Gwangjae Jang[‡], Ki-Seok Chung^{†*}

[†]Hanyang University, Seoul, Korea, [‡]TJ Innovation, Bucheon-si, Korea

요약

본 논문은 5G-NR 채널추정시, 기존 방식들의 연산이 복잡한 문제점을 개선하기 위해 clipping 기법을 사용한 M-MMSE 방식을 제안한다. 추정된 채널 값의 발산을 막기 위해 채널 행렬 값의 최대치 상한을 막는 clipping 기법과 도플러 주파수 추정없이 계산 가능한 M-MMSE 를 도입하여 SNR 20dB 환경에서 3.905%p, 30dB 환경에서 1.164%p의 EVM 이득이 있음을 확인하였다.

I. 서론

5G-NR (New Radio) 기술은 LTE 와 비교하여 고속의 데이터 전송률, 낮은 지연 시간, 그리고 높은 신뢰성을 가지는 OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing)기반의 차세대 통신규격이다. 자율주행, 증강현실, 사물인터넷 등의 수요가 빠르게 늘면서 넓은 대역폭을 가진 5G 방식이 주목을 받고 있다.

수신된 신호는 전송 채널을 거치면서 노이즈 및 지연 등 신호의 왜곡이 생기기 때문에 채널의 특성을 알아내는 채널추정 과정이 반드시 필요하다. 이를 위해서 LS (least square), MMSE (minimum mean square error), Low-rank MMSE 등의 기법들이 제안되어 왔다. 또한 5G-NR 은 채널추정 과정에서 파일럿 신호를 사용하게 되는데, 전송 대역폭의 경계면에 존재하는 심볼들은 추정에 사용할 파일럿이 없기 때문에 가상 파일럿 신호를 만들어 주어야 한다.

본 논문에서는 5G-NR 환경에서, 잡음을 고려하지 않는 LS 방식의 단점과, 채널의 정보를 알고 있어야 계산 가능한 MMSE 방식의 단점을 보완한 M-MMSE (modified-MMSE)을 제안한다. M-MMSE 방식은 LS 채널추정 값을 이용하여 채널의 자기상관 행렬을 추정하는 방식으로, MMSE 에서 요구하는 채널 정보가 필요하지 않다. 또한 clipping 기법을 적용하여 EVM (error vector magnitude) 값을 낮추었다. 가상 파일럿 신호 생성을 위해서는 선형보간법을 사용하였다.

II. 본론

2.1 5G-NR 에서의 채널추정

5G 는 OFDM 기반 파형을 사용한다. OFDM 이란 송신하는 데이터의 전 대역폭을 다수의 부 채널을 이용하여 동시에 데이터를 전송하는 다중화 방식으로, 각 신호를

QAM (quadrature amplitude modulation) 또는 PSK (phase-shift keying) 방식으로 부반송파를 변조하여 다중 전송한다. 두 OFDM 심볼 사이에는 보호구간이 있어 ISI (inter symbol interference) 및 ICI (inter channel interference) 간섭 대처가 쉽다.

이런 OFDM 시스템에서는 송신 및 수신단이 모두 알고 있는 파일럿 신호를 이용하여 채널을 추정하는 PSA (pilot symbol aided) 채널추정방식이 많이 사용된다[1]. 대표적인 방식이 LS 와 MMSE 알고리즘이다.

$$Y = H * X + n \quad (1)$$

$$\hat{h}_{LS} = (X^H X)^{-1} X^H Y = X^{-1} Y \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \hat{h}_{MMSE} &= R_{hh} (R_{hh} + \sigma^2 (X X^H)^{-1})^{-1} \hat{h}_{LS} \\ &= R_{hh} (R_{hh} + \sigma_n^2 I)^{-1} \hat{h}_{LS} \end{aligned} \quad (3)$$

송신신호를 X , 전송 채널을 H , AWGN (additive white gaussian noise)를 n 이라고 했을 때, 수신신호 Y 는 식(1)과 같이 표현 가능하다. LS 알고리즘과 MMSE 알고리즘은 각각 식(2), 식(3)과 같다. LS 알고리즘의 경우 식(2)와 같이 매우 간단하게 연산이 가능하지만, 채널 잡음을 고려하지 않는다는 단점이 있다. MMSE 알고리즘은 LS 방식보다 더 좋은 성능을 낸다고 알려져 있지만, 이때 사용되는 AWGN 의 분산 σ_n^2 과, 채널의 자기상관 행렬 R_{hh} 을 알아야만 정확한 추정이 가능하다. R_{hh} 을 추정하려면 exponential power delay profile, 도플러 주파수 등의 추가적인 정보가 필요하므로 이를 추정하는 과정이 더 필요하다[2]. 따라서 이러한 과정 없이도 채널추정이 가능한 알고리즘이 필요하다.

2.2 가상 파일럿 신호

5G OFDM 시스템에서는 채널추정을 위한 파일럿 신호인 DMRS (demodulation reference signal)가 resource grid 의 특정 위치에 존재한다. 이처럼 수신된 파일럿 신

호들 사이의 보간을 통해서 채널의 특성을 추정하는 방식을 PSAM (pilot symbol assisted modulation) 방식이라고 한다[3]. 기존 LTE 에서는 송신된 파일럿만으로 채널 추정이 가능했으나, 5G 에서는 특정 대역에만 심볼이 존재하기 때문에, 대역을 넘어 존재하는 가상 파일럿 (virtual pilot)을 만들 필요가 있다. 본 논문에서는 OFDM 심볼 안에서 이미 주어진 DMRS 로 선형보간법을 이용하여 가상 파일럿 신호를 만들었다.

2.3 M-MMSE 채널추정 방법

본 논문에서는 LS 와 MMSE 의 단점을 보완하기 위하여 M-MMSE 방식 \hat{h}_{M-MMSE} 을 아래 식 (4), (5)와 같이 제안한다.

$$\hat{h}_{M-MMSE} = \hat{R}_{hh}(\hat{R}_{hh} + \sigma^2(XX^H)^{-1})^{-1}\hat{h}_{LS} \quad (4)$$

$$\hat{R}_{hh} = \hat{h}_{LS} * ((\hat{h}_{LS})^H)^T \quad (5)$$

채널의 통계정보가 필요했던 기존의 MMSE 와 달리, LS 알고리즘으로 추정한 채널 \hat{h}_{LS} 을 이용하여 자기상관 행렬 \hat{R}_{hh} 을 만든다. 이러한 방식을 통해 도플러 주파수 및 delay spread 추정 과정을 생략할 수 있다. 또한 추정된 채널 \hat{h}_{M-MMSE} 의 값이 발산하는 것을 막기 위하여, 추정 행렬의 요소 $\hat{h}_{i,j}$ 의 최대값을 clipping value c 로 제한하는 clipping 기법을 식 (6)과 같이 도입하였다.

$$Re(\hat{h}_{i,j}) = \begin{cases} Re(\hat{h}_{i,j}), & |Re(\hat{h}_{i,j})| < c \\ c, & |Re(\hat{h}_{i,j})| \geq c \end{cases}$$

$$Im(\hat{h}_{i,j}) = \begin{cases} Im(\hat{h}_{i,j}), & |Im(\hat{h}_{i,j})| < c \\ c, & |Im(\hat{h}_{i,j})| \geq c \end{cases} \quad (6)$$

2.4 실험결과

본 논문에서는 Matlab R2020a 에서 생성한 5G-NR, 30KHz 의 subcarrier-spacing, 64QAM 변조, 40MHz 의 대역폭을 가진 SISO (single-input, single-output) downlink 신호를 이용한 시뮬레이션으로 실험을 진행하였다. 채널추정은 전체 신호 중에서 QPSK 로 변조된 SSB (synchronization signal block)내의 PBCH (physical broadcast channel) 신호를 대상으로 이루어졌다. 성능평가를 위해 SNR 이 변화할 때 각 방법 간의 EVM 값을 측정하였다. 그림 1 에서 나타나듯이, M-MMSE 는 $clip = 0.7$ 일 때, 가장 좋은 성능을 보였으며, clipping 미적용 대비 SNR 20dB 에서 최대 3.488%p 낮은 EVM 값을 보였다. 또한 $clip = 0.7$ 인 M-MMSE 방식은 LS 방식 대비 SNR 20dB 에서 3.905%p, SNR 30dB 환경에서 1.164%p 만큼 낮은 EVM 값을 보였다.

III. 결론

본 논문에서는 5G-NR 규격에서, 채널추정을 위한 기존 알고리즘인 LS 와 MMSE 의 한계점을 극복하기 위해 Clipping 기법을 적용한 Modified-MMSE 방식과 제안하였다. Clipping 기법은 그렇지 않은 경우 대비 EVM 값이 최대 3.488%p 낮아 효율성을 확인할 수 있었고, 해당 M-MMSE 방식을 적용하였을 때 기존 LS 방식에 비해 EVM 값이 SNR 20dB 에서 3.905%p 낮은 것을 확인하였

다. 채널 잡음이 심하여 SNR 값이 낮을수록 제안한 방법의 기대효과가 높음을 확인할 수 있다.

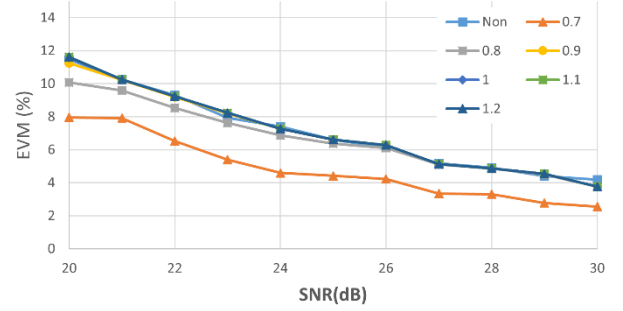


그림 1. Clip 값에 따른 M-MMSE 방식의 EVM 값

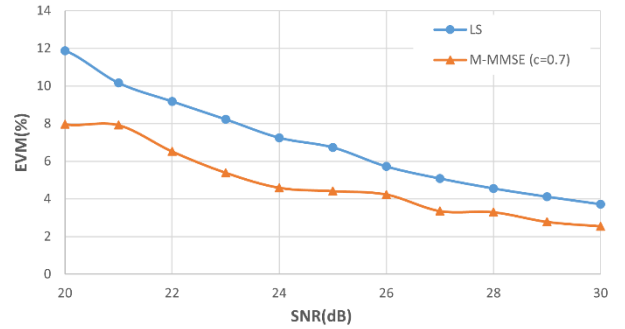


그림 2. SNR 에 따른 LS, M-MMSE 방식의 EVM 값

ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 2020 년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 2020-0-00198, 역방향 노이즈 제거 기술을 적용한 인빌딩용 28GHz OTA 디지털 중계기 개발).

참 고 문 헌

- [1] Ye Li, "Pilot-symbol-aided channel estimation for OFDM in wireless systems," in IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. 49, no. 4, pp. 1207-1215, July 2000, doi: 10.1109/25.875230.
- [2] 김정인, 장준희, 최형진, "OFDM 시스템을 위한 낮은 복잡도를 갖는 2-D MMSE 채널 추정 기법", 한국통신학회논문지, vol.36, no.5, pp. 317-325, 2011
- [3] J. K. Cavers, "An analysis of pilot symbol assisted modulation for Rayleigh fading channels (mobile radio)," in IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. 40, no. 4, pp. 686-693, Nov. 1991, doi: 10.1109/25.108378.