

# Sounding Reference Signal 기반 5G 채널 추정에 대한 오차 계산 기법 연구

최은별, 이예란, 김주엽

숙명여자대학교

[byeol5038@sookmyung.ac.kr](mailto:byeol5038@sookmyung.ac.kr), [yr00868@sookmyung.ac.kr](mailto:yr00868@sookmyung.ac.kr), [jykim@sookmyung.ac.kr](mailto:jykim@sookmyung.ac.kr)

## Error Estimation for 5G Channel Estimation Based on Sounding Reference Signal

Eunbyeol Choi, Yelan Lee and Juyeop Kim

Sookmyung Women's University

### 요약

본 논문은 채널에 의한 신호의 왜곡을 보상하기 위해서 채널추정을 진행할 때, 실제 신호가 방사되는 환경에서 채널추정의 오차를 효과적으로 측정하기 위한 기법을 제안한다. 제안된 오차 계산 기법은 단일 안테나 환경에서 샘플링된 신호를 기반으로 채널을 추정하고, 이 추정값을 기반으로 잡음의 영향이 최소화되도록 오차를 도출한다. 기존 계산 방식에서 도출된 Mean Squared Error (MSE) 결과를 비교하였을 때, 제안 기법이 유사한 오차값을 얻는 것을 실험을 통해 검증하였다.

### I. 서론

3GPP 표준 기반의 이동 통신 기술이 발달하면서 전 세계적으로 5G 이동통신 네트워크 구축과 서비스 제공이 활발해지고 있다. 이동통신 시스템에서는 시공간에 따라 지속적으로 채널이 바뀌고, 다중경로 페이딩 등 다양한 채널 현상을 겪는다는 특성을 갖는다. 이런 현상으로 인해 발생하는 심볼 간 간섭 억제를 위해서 채널로 인한 왜곡을 추정하고 보상하는 equalization 과정이 필연적이다. 이 과정에서 현재의 채널을 추정하는 과정이 필요하며, 이를 통하여 도출된 channel 값  $H$  을 기반으로 보상이 이루어져야 한다.

채널 추정 기법의 성능을 평가하기 위해서 주로 채널의 오차를 MSE 형태로 표현한다. 기존 채널 추정 관련 연구에서는 MSE 계산을 통해 채널 추정 기법의 성능을 검증하고 있다 [1], [2]. 한편, MSE 계산을 위해 필요한  $H$  의 참값은 실제 신호가 방사되는 실험환경에서는 알아낼 수 없다. 따라서 실제 실험 환경에서 오차를 계산하는 새로운 기법이 필요하다. 이에 본 논문에서는 실제 실험 환경에서 채널 추정 기법에 대한 오차를 계산할 때, 참값을 신뢰성 있게 추정하면서 오차를 계산하는 기법을 제안하고자 한다.

### II. 본론

#### II-1. 채널 추정 환경

Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) 환경에서 상향링크 채널 추정을 위해 단말이 Sounding Reference Signal (SRS)를 전송한다고 가정한다. 이때 주파수 ( $f$ )에 대한 SRS 송신 심볼을  $X(f)$ , 수신 심볼을  $Y(f)$ , channel 을  $H(f)$ , Additive White Gaussian Noise (AWGN)을  $N(f)$  이라 할 때, 아래 식이 성립한다.

$$Y(f) = X(f)H(f) + N(f) \dots\dots\dots(1)$$

한편 수신 신호는 delay  $\tau_0$ 에 의한 one-tap delay channel 을 겪는다고 가정하였다. 시간 축 송신 신호가  $s(t)$ 라 가정할 때 수신 신호는 아래와 같이 phase 왜곡이 이루어진다.

$$s(t)\exp(j2\pi f_c(t - \tau_0)) = s(t)\exp(j2\pi f_c t)\exp(-j2\pi f_c \tau_0) \dots\dots\dots(2)$$

여기서  $\exp(-j2\pi f_c \tau_0)$ 는 delay channel impulse response  $\delta(\tau - \tau_0)$ 의 Fourier transform 에 의해 도출된 것이다. 따라서 해당 term 은 delay 에 의한 phase 왜곡에 해당하며, 원래 신호인  $s(t)$ 에서 얼마나 왜곡되었는지를 보여준다.

#### II-2. ZF 채널 추정 기반 오차 계산 기법

앞의 채널 가정에서  $\tau_0$ 가 timing offset 이면서  $H(f)$

의 phase plot 상에서의 기울이다. 즉, 아래가 성립한다 가정할 때,

$$H(f) = |H(f)|e^{j\theta} = |H(f)|e^{-j2\pi f_c \tau_0} \dots\dots\dots(3)$$

모든 주파수 f에서 대해 H의 phase인  $\theta$ 는  $2\pi f_c \tau_0$ 로 일정한 값으로 갖는다. 즉, (1)에 위의 식을 대입하면 아래 식을 유도할 수 있다.

$$Y(f) = X(f)exp(-j2\pi f_c \tau_0) + N \dots\dots\dots(4)$$

위 식을 기반으로 생각할 때, 채널의 phase는 곧 subcarrier index에 비례하는 형태가 되면서,  $(x_1, y_1)$ 을 지나는 일차함수 형태가 된다고 가정할 수 있다. 따라서 noise의 영향력을 감소시키기 위해 일차함수의 기울기를 평균 형태로 구해서 채널의 참값을 추정할 수 있다.

SRS를 수신한 기지국은 Zero-Forcing 기반으로 아래와 같이 추정한다.

$$\hat{X} = H^{-1}Y = H^{-1}(XH + N) = X + H^{-1}N \dots\dots\dots(5)$$

한편 Channel phase의 기울기를 구하기 위해서 l을 SRS 개수,  $x_i$ 을 i번째 SRS,  $y_i$ 을 i번째 SRS에 대한 channel phase, y를 MSE에서의 모수로 나타내었다. 이때 이웃한 두 점의 기울기  $\theta$ 를 토대로 기울기의 평균을 구하는 식은 아래와 같다.

$$\theta_1 = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}, \theta_2 = \frac{y_3 - y_2}{x_3 - x_2}, \dots, \theta_{l-1} = \frac{y_l - y_{l-1}}{x_l - x_{l-1}} \dots\dots\dots(6)$$

$$\theta_{avg} = \frac{\theta_1 + \theta_2 + \dots + \theta_{l-1}}{l-1} \dots\dots\dots(7)$$

$\sum N = 0$ 인 채널 특성을 고려해야 하기 때문에 기울기의 합인  $\theta_1 + \theta_2 + \dots + \theta_n$ 을 계산한 후,  $\theta_{avg}$ 를 구한다. 기울기가  $\theta_{avg}$ 이고  $(x_1, y_1)$ 을 지나는 일차함수의 식은 아래와 같다.

$$y = \theta_{avg}(x - x_i) + y_i \dots\dots\dots(8)$$

구한 y를 이용하여 예측값과 실제값 차이의 제곱의 평균인 MSE를 아래와 같이 구한다.

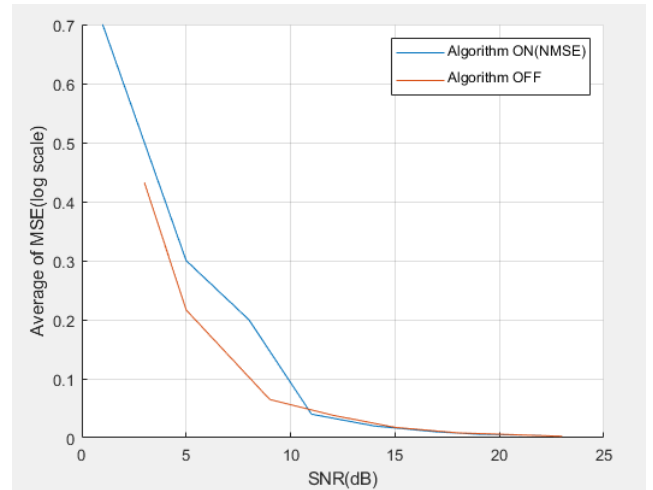
$$MSE = \frac{1}{l} \sum_{i=1}^n (y_i - y)^2 \dots\dots\dots(9)$$

### II-3. 실험을 통한 오차 계산의 정확성 검증

SRS를 기반으로 Channel estimation을 진행한 후, H의 추정값  $\hat{H}$ 을 구한다. Equalization 과정에서, 추정된  $\hat{H}$ 의 컬레 복소수를 곱하여 송신 심볼로 복원 후, UE에서 보낸 원래 심볼과의 Euclidean distance를 계산하고 NMSE로 오차값을 나타낸다.

본 논문에서 제안한 오차 계산 방법을 수행한 경우와 수행하지 않았을 경우를 그래프에서 각각

'Algorithm ON(NMSE)', 'Algorithm OFF'로 나타내었다.



<그림 1, SNR 값(x)에 따른 MSE 평균값(y) 측정 결과>

SNR(신호 대 잡음 비)이 증가할수록 NMSE와 MSE의 평균이 log scale로 줄어들고 있으므로 이론과 일치하는 것을 확인할 수 있다. 또 오차 계산 기법을 수행한 경우와 수행하지 않았을 때의 그래프가 비슷하게 그려지므로 본 논문에서 제시한 오차 측정 방식이 정확한 것을 알 수 있다.

### ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 2024년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구임 (No.2021-0-00165, 5G+ 지능형 기지국 소프트웨어 모뎀 개발)

### 참고 문헌

[1] M. Biguesh, A. B. Gershman, "Training-based MIMO channel estimation: a study of estimator tradeoffs and optimal training signals", IEEE Transactions on Signal Processing, 2006, pp. 884 - 893.

[2] F. Gao, R. Zhang and Y. C. Liang, "Optimal channel estimation and training design for two-way relay networks", IEEE Transactions on Communications, 2009, pp. 3024 - 3033.