

## 간섭 환경에서 효과적인 SSS Detection을 위한 적응적인 equalization 기법

이예란, 임다운, 김주엽

숙명여자대학교

[yr00868@sookmyung.ac.kr](mailto:yr00868@sookmyung.ac.kr) [kmad1202@sookmyung.ac.kr](mailto:kmad1202@sookmyung.ac.kr) [jykim@sookmyung.ac.kr](mailto:jykim@sookmyung.ac.kr)

## Adaptive Equalization Technique for Effective SSS Detection in Interference Channel Environments

Yelan Lee, Dawoon Lim and Juyeop Kim

Sookmyung Women's Univ.

## 요 약

본 논문은 5G 동기화 과정에서 UE가 기지국으로부터의 PSS 및 SSS에 대해 detection을 효과적으로 진행하기 위한 기법을 제안한다. SSS detection의 성능 향상을 위해 PSS 기반으로 equalization을 진행하는데, 인접 기지국으로부터 간섭 신호가 들어오는 환경에서는 equalization으로 인해 성능 열화가 발생할 수 있다. 따라서 기존 방안을 보완하여, 여러 기지국 신호가 수신될 때 이를 감지하고 효과적인 SSS detection을 위해 equalization을 적응적으로 수행하는 equalization 기법에 대해 설계하고 성능을 검증하였다.

## I. 서 론

3GPP를 바탕으로 무선 시스템의 이동통신 기술이 발달함에 따라, 전 세계적으로 5G 이동통신 기술 구축 및 서비스 제공에 힘쓰고 있다. 5G 시스템 사용 중, UE와 기지국 간의 탐색을 위해 동기화를 진행하게 되는데, 기지국은 PCI를 일정한 주기로 송신하고 UE는 이를 수신하여 Cell ID를 찾아낸 후 시간 동기를 맞추게 된다. 이 과정을 위해 1차적으로  $N_{ID}^{(2)}$  값을 사용하여 PSS detection을 진행하고 2차적으로  $N_{ID}^{(2)}$ ,  $N_{ID}^{(1)}$  값을 사용하여 SSS detection 진행 후, SSB 속 수열 중 하나를 대조하여 Cell ID를 찾는다.

두 detection 과정 사이에 오차 발생률이 증가하는 것을 보완하기 위해 equalization 과정을 거치게 된다. 하나의 UE에 여러 기지국 신호가 수신되면 오히려 equalization에 의해 원래 송신 심볼로의 복원이 잘 안되면서 SSS detection 성능이 떨어지게 된다. 따라서 동기화 과정 중 equalization을 적응적으로 수행하여 다양한 기지국 신호 수신 환경에서 성능 열화가 발생하지 않는 기법을 제안하고자 한다.

본 논문에서는 수학적 분석을 바탕으로 equalization에 의한 성능 열화를 고찰하고, peak-to-average 기반의 적응적 equalization 방식을 제안한다. 또한 제안 기법을 코드로 구현하여 적응적 equalization 기법의 성능 개선을 확인하고자 한다.

## II. 본 론

## 1. 시스템 모델 및 문제 정의

일반 상용 5G 시스템의 신호 환경을 고려하여, 하나의 UE와

detection 되는 여러 개의 기지국이 존재하는 것을 가정한다. 그리고 인접한 기지국으로부터 간섭 신호가 수신된다고 가정한다.

기존의 detection 방식은 3개의 PSS 신호와 수신된 신호 간의 auto-correlation을 통해 PSS detection을, SSS 신호와 cross-correlation을 통해 SSS detection을 진행하여 SSB 속 수열 중 하나를 대조함으로써 Cell ID를 찾는다. SSS detection 진행 과정의 성능 향상을 위해 frequency domain에서 FFT 후 correlation을 진행하며 equalization을 하게 되는데, 이때 여러 채널 간의 간섭으로 인해 detection 결과에 영향을 주게 된다.

입력신호  $X$ , 출력신호  $Y$ , channel  $H$ 라 할 때, 출력신호  $Y$ 로 equalization을 진행한다면 입력신호의 추정치 값  $\tilde{X}$ 은 Correlation 과정에서 phase 값이 같을 때 결과에 지장이 없음을 고려하여 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\tilde{X} = YH^{-1} = YH^*$$

한편 equalization을 위해서는 channel estimation을 통하여 channel  $H$ 의 값을 도출해야 한다. SSS detection 과정에서는 PSS detection 과정에서 출력  $Y_{PSS}$ 와 입력  $X_{PSS}$ 를 통해  $Y_{PSS} = HX_{PSS}$ 의 관계식이 성립됨을 가정하여 구할 수 있다. 즉, 추정된 채널 값  $\tilde{H}$ 는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\tilde{H} = Y_{PSS}X_{PSS}^*$$

한편 서로 다른 PSS를 전송하는 인접 기지국이 있다면, 추정된 채널 값은 다음과 같이 구해진다.

$$\tilde{H} = Y_{PSS}X_{PSS}^* = H + H_I X_{I,PSS}X_{PSS}^* + NX_{PSS}^*$$

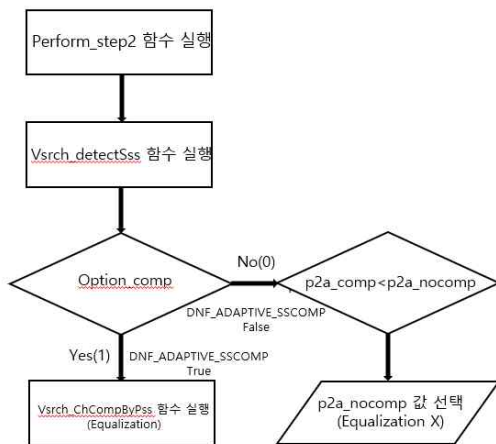
여기서  $H_I$  및  $X_{I,PSS}$ 는 각각 인접 기지국 간 채널과 인접 기지국의 PSS 신호이며  $N$ 은 noise이다. 즉, 간섭 신호로 인해 원래 채널 값에  $H_I X_{I,PSS}X_{PSS}^*$ 가 더해지는 형태로 채널 추정값이 구해진다

다. 이에 따라 추정된 채널이 본래의 채널과 다른 형태가 되면서 equalization이 정상 동작을 하지 않게 된다.

## 2. 적응적인 equalization 기법

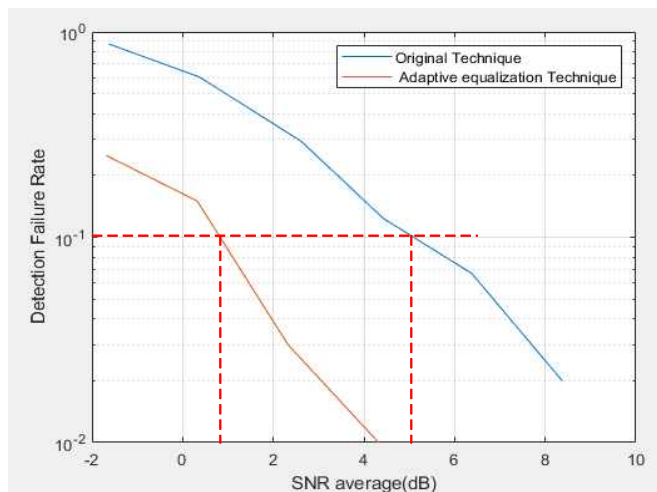
하나의 UE에 두 개의 기지국 신호가 수신된다고 가정하면 수신 신호가 센 기지국과 UE 간의 SSS detection 이 정상적으로 이루어지도록 equalization을 수행해야 한다. 그러나 여러 기지국이 존재하는 상황에서 equalization을 진행한다면 얻고자 하는 채널 추정값에 부수적인 항이 더해지면서 SSS detection의 결과가 잘못 도출이 된다. 이는 곧 SSS detection 과정에서의 correlation 결과의 peak-to-average가 떨어지는 결과로 이어진다.

따라서 여러 기지국 신호가 detection 되는 경우, 채널 간의 간섭에 따른 detection 과정을 보완하기 위한 적응적으로 equalization을 수행하는 것을 제안한다. <그림 1>과 같이 적응적인 equalization은 기존의 방식에 추가로 여러 기지국이 감지되면 equalization을 하지 않고 SSS detection을 다시 진행하게 된다. 이후 두 가지 SSS detection 결과 중 peak-to-average 값을 비교하여 더 신뢰성이 높은 SSS detection 결과를 채택한다.



<그림 1, 제안 기법 시스템 순서도>

## 3. 성능분석



<그림2, SNR 평균값(x)에 따른 detection 실패율(y) 측정 결과>

제안된 기법을 소프트웨어 모델로 구현한 것을 바탕으로 실험을 진행하였다. Emulated gNB를 통해 두 가지 기지국 신호를 발생시키고, 이에 대해 제안 기법을 포함하는 단말에서 cell search를 반복하여 cell ID를 올바르게 탐지하는지를 관찰하였다. 반복 실험을 진행한 결과는 <그림 2>와 같다. SNR 대비 detection cell ID 탐지 실패율이 10%를 기준으로 볼 때, 최소 SNR 값은 제안 기법을 적용했을 때는 약 1dB, 제안 기법을 적용하지 않았을 때는 약 5dB이다. 따라서 적응적으로 equalization을 적용했을 때 약 4dB의 SNR gain이 있음을 알 수 있다.

## III. 결 론

여러 기지국의 신호가 존재하는 상황에서 효과적으로 detection을 하기 위해 적응적인 equalization 기법을 제안하였다. SSS detection 전에 equalization을 진행하는 기존 방식에서 채널 간섭이 주는 영향을 수학적으로 분석하였다. 이를 바탕으로 equalization을 진행하지 않는 Adaptive equalization 제안 기법을 실험에 적용하여 기존 방식과 비교하였을 때, 같은 detection 실패율 대비 적은 SNR 값을 얻을 수 있었다.

## ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 2023년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 2021-0-00165, 5G+ 지능형 기지국 소프트웨어 모델 개발)

## 참 고 문 헌

- [1] 임다운, 김주엽. (2020). PSS detection 처리 기법에 따른 LTE Cell Search SDR 기반 성능 평가. 한국통신학회 학술대회논문집, (), 535-536.
- [2] J. Liang and J. Hou, "Simulation of 5G Secondary Synchronization Signal Detection," 2019 International Conference on Intelligent Computing, Automation and Systems (ICICAS), Chongqing, China, 2019, pp. 607-612, doi: 10.1109/ICICAS48597.2019.00133.
- [3] K. Ota, D. Inoue, M. Sawahashi and S. Nagata, "Physical-Layer Cell ID Detection Probability Using NR Synchronization Signals for 3GPP TDL Channel Models," 2020 International Symposium on Antennas and Propagation (ISAP), Osaka, Japan, 2021, pp. 465-466, doi: 10.23919/ISAP47053.2021.9391315.