

# 5G TDD 시스템에서 Cell Search 과정에 대한 Cross-link Interference의 영향 분석

김주엽, 임다운

숙명여자대학교

[jkim@sookmyung.ac.kr](mailto:jkim@sookmyung.ac.kr), [kmad1202@sookmyung.ac.kr](mailto:kmad1202@sookmyung.ac.kr)

## How Cross-Link Interference Can Affect to PSS Detection in 5G TDD System

Juyeop Kim and Dawoon Lim

Sookmyung Women's University

### 요약

우리나라를 비롯하여 많은 국가의 이동통신 시스템은 5세대로 넘어오면서 Frequency Division Duplexing(FDD)에서 Time Division Duplexing(TDD) 방식으로 전환되었다. 한편 TDD 시스템의 경우 FDD의 경우와는 다르게 한 단말이 기지국에게 전송하는 상향링크 신호가 인접 단말들의 하향링크 신호 수신에 영향을 미치는 cross-link interference 문제가 발생할 수 있다. 이를 방지하기 위해 TDD 시스템은 일반적으로 Guard time을 두고 기지국과 동기가 맞는 단말들은 이 guard time으로 인해 cross-link interference로부터 보호받을 수 있다. 하지만 기지국의 동기가 아직 맞지 않는 셀 탐지 과정의 단말들은 이런 guard time에 의한 보호를 받지 못하며, cross-link interference의 영향을 받을 여지가 있다. 본 논문에서는 5G cell search 과정을 분석해보고, cross-link interference가 발생할 때 이런 cell search 단말들에게 어떤 영향을 미치게 될지에 대해 고찰해보도록 한다.

### I. 서론

3GPP를 기반으로 이동통신 표준 기술이 발전을 거듭하였고, 2019년부터 각국의 이동통신사들은 5G 시스템을 구축하고 5G 서비스를 제공하기 시작하였다. 이 5G에서는 100MHz 이상의 대역폭을 활용할 수 있으며, 이런 광대역의 주파수를 유연하게 운영하기 위해 많은 이동통신사들은 4세대 LTE에서 주로 활용된 FDD 방식이 아닌 TDD 방식을 채택하고 있다. 특히 상향링크의 트래픽 양이 일반적으로 비대칭 특성을 가지므로, 트래픽 발생 양에 맞게 상향링크의 무선 자원을 유연하게 조절하기 위해서는 FDD보다 TDD가 유리하기 때문이다.

FDD 방식에서는 상향링크와 하향링크가 서로 다른 주파수를 사용하고 있으므로, 상향링크 신호와 하향링크 신호 간 간섭이 항상 존재하지 않는다. 하지만 TDD 방식에서는 상향링크와 하향링크가 기본적으로 동일한 주파수 대역을 사용하므로 상향링크 간 신호 간섭이 발생할 여지가 있다. 특히 상향링크 신호에 의한 하향링크 간섭은 간섭의 source에 해당하는 단말이 간섭의 target에 해당하는 인접 단말과 매우 근접한 위치에 있을 수 있다는 점에서 더욱 치명적이라 볼 수 있다. 이런 cross-link interference를 해소하기 위해서 일반적으로 상향링크 slot 전환 시 guard time을 두고 있다. 즉 단말의 하향링크 수신 시점과 상향링크 송신 시점에 차이를 둬으로써 인접 단말들이 상향링크 송신과 하향링크 수신이 동시에 발생하지 않도록 할 수 있고, 이에 의해 cross-link interference를 근본적으로 막을 수 있다.

다만 위와 같이 guard time 기반으로 cross-link interference를 해소하려면 송수신 단말들이 시간적으로 frame 및 slot 동기가 맞은 상태에 있다는 가정이 있어야 한다. 대부분의 정상적인 camping 혹은 connected 단말은 기지국과의 동기화를 지속적으로 하고 있으므로 단말들끼리 frame 및 slot 동기가 맞은 상태에 해당한다. 하지만 cell을 탐색하고 있는 cell search procedure 중의 단말의 경우, 기지국과의 동기를 맞춘 상황이 아니므로 상향링크 slot 이나 guard time 시점과 관계없이 기지국의 동기 신호를 수신하고 처리하게 된다. 따라서 이런 cell search를 진행 중인 단

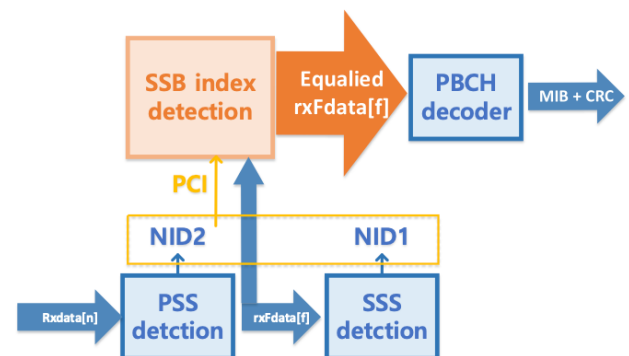


그림 1 5G Cell Search Procedure

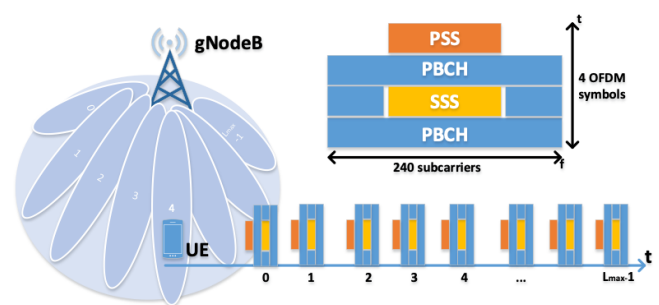


그림 2 Synchronization Signal Block 구조

말의 경우 cross-link interference에 대한 영향을 궁극적으로 받게 된다.

### II. 5G Cell Search Procedure

그림 1은 5G 단말의 cell search를 수행하기 위한 순차적인 처리 과정에 대해 보여주고 있다. Sampling이 되어 수신된 discrete-time signal Rxdata[n]에 대해 우선적으로 Primary Synchronization Signal (PSS)에 대한 detection을 수행하게 된다. 주로 time-domain

cross-correlation 과정을 통해 Synchronization Signal Block (SSB) 신호가 시작되는 timing을 추정하게 되고, 이 timing으로부터 Fast Fourier Transform(FFT)를 수행하여 수신 신호 Rxdata[n]을 frequency domain signal RxFdata[f]로 전환하게 되고, 이 신호로부터 Secondary Synchronization Signal (SSS) 및 Physical Broadcast CHannel (PBCH) detection을 수행하게 된다.

PSS detection 이후 frequency domain 상에서의 신호처리는 통상적으로 cross-link interference의 영향을 덜 받는 것으로 생각할 수 있다. frequency domain 상의 신호처리에서는 서로 다른 주파수의 subcarrier 별로 신호 처리가 가능하며 동일한 셀 내의 여러 단말들은 기지국에 의해 서로 다른 상하행링크 무선 자원 (즉 subcarrier)를 부여받기 때문이다. 하지만 PSS detection과 같은 time-domain 상의 신호처리의 경우에는 cross-link interference에 영향을 받을 수 있다. 서로 다른 subcarrier 의 서로 다른 신호의 경우 동일한 시점에서 궁극적으로 전송이 되기 때문에 time-domain 상에서는 서로 영향을 줄 수 있기 때문이다. 따라서 5G cell search 과정에서 time-domain processing에 해당하는 PSS detection 의 경우 cross-link interference로 인한 성능 열화가 발생할 가능성이 가장 높다고 볼 수 있다.

### III. PSS Detection 과정에서의 Cross-link Interference의 영향

PSS detection의 경우 noise나 각종 interference에 강인하도록 그 과정이 설계되어 있으며, PSS sequence로 왜곡에도 correlation 특성이 우수한 m-sequence가 사용되고 있으므로, 어느정도 수준의 cross-link interference에도 symbol timing을 안정적으로 검지가 가능하다. 하지만 그림 4의 상단 그림과 같이 기지국 수신 신호 (빨간색 동그라미 부분)대비 높은 수준의 cross-link interference (주기적인 사각파 모양의 신호)가 들어오면 cross-correlation (노란색 부분) 값이 PSS 수신 시점이 아닌 cross-link interference 수신 시점에서 최대값을 형성하면서 timing 추정에 오차가 발생할 수 있다. (그림 4의 수신 신호 dump는 그림 3과 같이 USRP 인접 부분에 상하행링크로 지속적으로 데이터를 전송하는 5G 단말을 놓고 USRP를 통해 5G 동기화를 시도했을 때 얻은 수신신호 sampling data이다.) 이 경우 PSS timing 추정이 잘못되면서 이후 동기화 과정인 SSS/PBCH detection에도 오차가 발생하는 것을 알 수 있다.

한편 cross-correlation 과정에서 correlation을 하는 구간의 수신 신호의 energy로 correlation 결과 값을 normalize하는 형태로 PSS detection을 해본 결과 그림4의 하단 결과처럼 원래 SSB가 존재하는 시점에서 correlation peak가 형성되는 것을 확인할 수 있었다. 이를 통해 실제 cross-link interference가 강하게 발생하는 상황에서도 알고리즘의 보안을 통해 PSS detection은 충분히 정확도를 유지할 수 있는 것을 알 수 있다. 결론적으로 5G TDD 시스템에서 단말은 cross-link interference에도 성능 열화를 최소화 하면서 효율적으로 symbol timing 추정이 가능한 PSS detection 알고리즘을 보유할 필요가 있는 것을 알 수 있다.

### IV. 결론

5G TDD 환경에서는 단말이 어떤 위치에 있어도 cross-link interference가 강하게 발생할 수 있으며, 그 수준이 기지국 신호 대비 매우 강한 경우 cross-correlation 기반의 PSS detection이 오동작을 일으킬 수 여지가 있다. 따라서 이를 보완하기 위해서는 수신 energy를 고려하여 energy-normalized cross-correlation 개념의 PSS detection 과정이 필요하다.

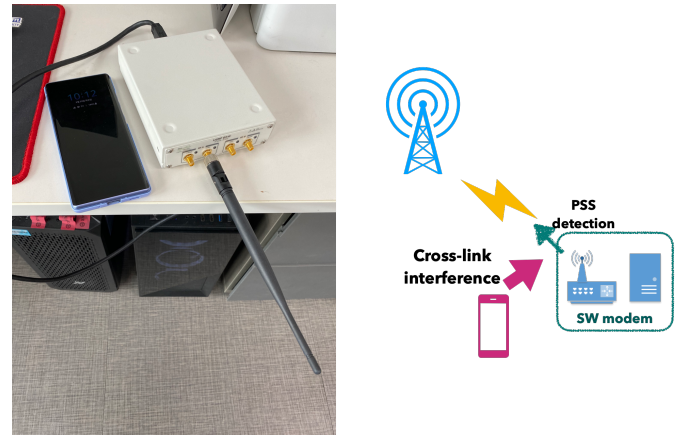


그림 3 Cross-link interference에 대한 cell search 실험 환경



그림 4 실제 5G 신호에 대한 PSS detection 결과  
(energy normalization 적용 전후)

### ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 2021년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구이며, (No. 2018-0-00726, Beyond-5G 개념의 Software-Defined Cell/Beam Search 기술 개발) 2021년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 2021-0-00165, 5G+ 지능형 기지국 소프트웨어 모뎀 개발)

### 참고 문헌

- [1] 3GPP, TS 38.211 v15.8.0, "NR : Physical channels and modulation", 2020.01
- [2] 3GPP, TS 38.213 v15.13.0, "NR : Physical layer procedures for control", 2021.03