

5G NR 시스템을 위한 동기 신호를 이용한 cell ID 검출을 위한 방법 연구

안해성, 차은영, 김형석, 김정창

한국해양대학교

haesung2@kmou.ac.kr, cha.silverzero@kmou.ac.kr, khseok19@kmou.ac.kr

jckim@kmou.ac.kr

A Study on Cell ID Detection Scheme Using Synchronization Signals for 5G NR System

Haesung Ahn, Eunyoung Cha, Hyeongseok Kim, Jeongchang Kim

Korea Maritime and Ocean University

요 약

본 논문에서는 5G NR 시스템을 위한 동기 신호를 이용한 cell ID 검출 방법에 대한 성능을 비교하였다. 5G NR (fifth-generation new radio) 시스템의 송신기는 SS/PBCH (synchronization signal/physical broadcast channel) 블록을 송신하며, 수신기는 수신된 SS/PBCH 블록을 이용하여 주파수 및 타이밍 오프셋 (frequency and timing offset)을 추정 할 수 있으며, cell ID (cell identity)는 PSS (primary synchronization signal)와 SSS (secondary synchronization signal)를 통해 검출할 수 있다. 본 논문에서는 cell ID 를 검출할 수 있는 방법으로서 2-stage 디코딩 방법과 결합 최대우도 결정 규칙 (joint maximum-likelihood decision rule: joint ML) 디코딩 방법을 사용하였다. Joint ML 디코딩 방법은 2-stage 디코딩 방법에 비해 더 좋은 검출 성능을 보이지만, 복잡도 측면에서는 2-stage 디코딩 방법이 joint ML 디코딩 방법에 비해 더 낮은 복잡도를 갖는 것을 확인하였다.

1. 서론

이동통신 표준화 기술협력 기구인 3GPP (3rd generation partnership project)는 기존의 E-UTRA (evolved universal terrestrial radio access)에 무선 통신 기술을 개선시켜 5 세대 이동통신 기술인 5G NR (fifth-generation new radio)을 발표한 바 있으며, 릴리즈 (release) 16 과 17 은 현재 진행 중이다. ITU (international telecommunication union)의 IMT-2020 은 세계 각지 시나리오인 초광대역 서비스 (eMBB: enhanced mobile broadband), 고신뢰 및 초저지연 통신 (URLLC: ultra reliable and low latency communications), 초대량연결 (mMTC: massive machine-type communications)의 요구사항을 명시하고 있으며, 3GPP 에서 제안한 5G NR 은 ITU 의 IMT-2020 의 요구사항 조건을 모두 만족하고 있다 [1].

5G NR 시스템은 송수신기 간 동기 (synchronization)를 맞추기 위해 SS/PBCH (synchronization signal/physical broadcast channel) 블록을 송신한다. SS/PBCH 블록은 4 개의 OFDM (orthogonal frequency division multiplexing) 심볼 (symbol)과 240 개의 부반송파 (subcarrier)로 구성되며, PSS (primary synchronization signal), SSS (secondary synchronization signal), PBCH, PBCH DMRS (demodulation reference signal)를 포함하고 있다. 5G NR 시스템의 수신기는 수신된 SS/PBCH 블록 신호를 이용하여 주파수 및 타이밍 오프셋 (frequency and timing offset)을 추정할 수 있으며, 송신기에서 전송된 cell ID (cell identity)를 검출할 수 있다. Cell ID 는 PSS 와 SSS 를 이용하여 검출할 수 있으며, 검출한 cell ID 는 PBCH 의 디코딩 (decoding)을 위해 사용된다. PBCH 는 데이터 복조 (demodulation)를 위한 중요한 시스템 정보 (system information)를 포함하고 있으며, PBCH 의 정확한

디코딩을 위해 cell ID 는 잘 검출 되어야 한다.

본 논문에서는 SS/PBCH 블록 신호의 cell ID 검출을 위한 두 가지 방법의 성능을 비교하였다. 먼저, PSS 와 SSS 는 모두 동일한 cell ID 로부터 생성되므로, PSS 와 SSS 를 모두 고려한 결합 최대우도 결정 규칙 (joint maximum-likelihood decision rule: joint ML)을 이용하여 디코딩할 수 있다. 또한, cell ID 는 3 개의 셀 구역 (cell sector)과 각 구역 내 ID 로 나눌 수 있다. 여기서, PSS 는 셀 구역에 대한 정보를 포함하고, SSS 는 셀 구역과 ID 에 대한 정보를 포함한다. 그러므로, 본 논문에서는 PSS 를 먼저 디코딩하여 셀 구역 정보를 획득한 후, 이를 이용하여 SSS 를 디코딩함으로써 5G NR 시스템의 cell ID 를 추정할 수 있는 2-stage 디코딩 방법을 사용하였다. 본 논문에서는 PSS 와 SSS 의 순차적인 디코딩을 위해 상호상관 (cross-correlation) 기법을 활용하였다.

2. 시스템 구현

표 1 은 SS/PBCH 블록의 자원 할당을 나타낸다. 표의 모든 값들은 SS/PBCH 블록의 시작점을 기준으로 상대적인 위치를 나타낸다. SS/PBCH 블록의 첫 번째 심볼에는 PSS 신호가 맵핑 (mapping)되며, 세 번째 심볼에는 SSS 신호와 PBCH 와 PBCH DMRS 가 맵핑된다. 두 번째 심볼과 네 번째 심볼에는 PBCH 와 PBCH DMRS 가 맵핑된다. 여기서, PBCH DMRS 의 v 는 $N_{ID}^{cell} \bmod 4$ 를 의미하고, N_{ID}^{cell} 는 셀 구역 값 $N_{ID}^{(2)} \in \{0,1,2\}$ 와 각 구역 내에서의 ID 값 $N_{ID}^{(1)} \in \{0, \dots, 335\}$ 의 조합으로 계산된다 [2].

표 1. SS/PBCH block 의 자원 할당 (resource allocation)

Channel /Signal	OFDM symbol index l	Subcarrier index k
PSS	0	56, 57, ..., 182
SSS	2	56, 57, ..., 182
Set to 0	0	0, 1, ..., 55, 183, 184, ..., 239
	2	48, 49, ..., 55, 183, 184, ..., 191
PBCH	1, 3	0, 1, ..., 239
	2	0, 1, ..., 47, 192, 193, ..., 239
DMRS for PBCH	1, 3	$0+v, 4+v, 8+v, \dots, 236+v$
	2	$0+v, 4+v, 8+v, \dots, 44+v$ $192+v, 196+v, \dots, 236+v$

그림 1 은 SS/PBCH 블록의 PSS 와 SSS 의 송수신 과정을

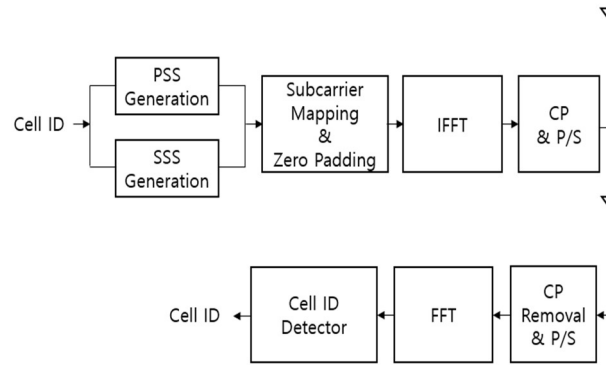


그림 1. SS/PBCH 블록의 PSS 와 SSS 의 송수신 과정

나타낸다. 송신기는 자신의 cell ID 값을 셀 구역 값 $N_{ID}^{(2)}$ 과 구역 내 ID 값 $N_{ID}^{(1)}$ 으로 나누고, PSS 와 SSS 를 생성한다. 이 때, PSS 는 $N_{ID}^{(2)}$ 만 이용하여 생성되며, SSS 는 $N_{ID}^{(2)}$ 와 $N_{ID}^{(1)}$ 을 모두 이용하여 생성된다. 생성된 PSS 및 SSS 는 부반송파에 맵핑되고, IFFT (inverse fast Fourier transform)를 통해 시간 영역 신호로 변환된다. 마지막으로, CP (cyclic prefix)를 삽입한 신호를 송신한다. 수신기는 수신된 신호로부터 CP 를 제거하고, FFT 를 수행하여 주파수 영역의 신호로 변환 후, 디코딩을 수행한다. 2-stage 디코딩 방법은 디코딩 과정을 2 단계로 나눠 순차적으로 수행한다. 1 단계에서 $N_{ID}^{(2)}$ 의 가능한 값은 PSS 신호에서 검출하며, 2 단계에서 $N_{ID}^{(1)}$ 의 가능한 값은 SSS 신호에서 검출한다. 2-stage 디코딩 방법은 가능한 3 개의 셀 구역 값 중 1 개를 검출하고, 검출한 셀 구역 값 내의 가능한 336 개의 ID 값 중 1 개를 검출하는 방법으로서, 총 339 개의 cell ID 에 대해 연산을 수행한다. 반면, 결합 joint ML 디코딩 방법은 전체 가능한 1008 개의 cell ID 에 대해 연산한다.

표 2. 전산 실험을 위한 파라미터

Parameter	Value
System Bandwidth	5 MHz
Subcarrier Spacing	15 kHz
Number of RB	25
FFT Size	512
CP Length	144

3. 실험결과

본 전산 실험은 2-stage 디코딩 방법과 joint ML 디코딩 방법의 성능을 분석한다. 전산 실험을 위한 파라미터 값은 표 2와 같다. 5 MHz 의 시스템 대역폭과 15 kHz 의 부반송파 간격을 사용하였고, 이에 따라 25 개의 RB (resource block)을 할당하였다 [3]. FFT 크기는 512, CP 길이는 144 로 설정하였으며,

송수신기 간 주파수 및 타이밍 오프셋은 완벽하다고 가정하고 전산 실험을 진행하였다. 그림 2 는 두 가지 디코딩 방법에 따른 에러율 (error rate) 성능을 나타낸다. Joint ML 디코딩 방법이 2-stage 디코딩 방법에 비해 에러율 10^{-4} 에서 약 0.7 dB 의 SNR 이득을 얻을 수 있다.

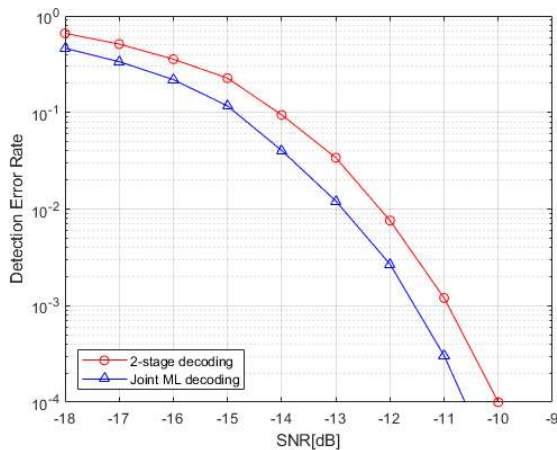


그림 2. 2-stage 디코딩 방법과 joint ML 디코딩 방법의 에러율 비교

4. 결론

본 논문에서는 5G NR 시스템을 위한 동기 신호를 이용한 cell ID 검출을 위한 방법을 연구하였으며, 339 개 연산을 수행하는 2-stage 디코딩 방법과 1008 개 연산을 수행하는 joint ML 디코딩 방법을 사용하여 cell ID 를 검출하였다. 전산 실험 결과, joint ML 디코딩 방법은 2-stage 디코딩 방법에 비해 0.7 dB 의 더 좋은 검출 성능을 보였으나 복잡도 측면에서는 339 개만을 연산한 2-stage 디코딩 방법이 1008 개를 연산한 joint ML 디코딩 방법에 비해 더 낮은 복잡도를 갖는 것을 확인하였다.

ACKNOWLEDGMENT

본 성과물은 산업통상자원부와 한국생산기술연구원의 창의산업융합 특성화 인재양성사업 (스마트 자율운항선박 설계 및 법규 전문가 양성) (2019-0259-01)의 지원으로 인한 결과물임을 밝힙니다.

참고문헌

- [1] S. Henry *et al.*, "5G is real: Evaluating the compliance of the 3GPP 5G new radio system with the ITU IMT-2020 Requirements," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 42828-42840, Mar. 2020.

- [2] 3GPP TS 38.211 V16.1.0, "Physical channels and modulation (release 16)," Mar. 2020.

- [3] 3GPP TS 38.101-1 V16.3.0, "User Equipment (UE) radio transmission and reception (release 16)," Mar. 2020.