

특집논문 (Special Paper)

방송공학회논문지 제26권 제6호, 2021년 11월 (JBE Vol.26, No.6, November 2021)

<https://doi.org/10.5909/JBE.2021.26.6.766>

ISSN 2287-9137 (Online) ISSN 1226-7953 (Print)

## 셀룰러 방송을 위한 LTE 기반 5G MBMS와 5G NR의 PBCH 검출 성능 평가

안 해 성<sup>a)</sup>, 김 형 석<sup>a)</sup>, 차 은 영<sup>a)</sup>, 김 정 창<sup>a)†</sup>, 안 석 기<sup>b)</sup>, 권 선 형<sup>b)</sup>, 박 성 익<sup>b)</sup>, 허 남 호<sup>b)</sup>

### Performance Evaluation of PBCH Detection of LTE-Based 5G MBMS and 5G NR for Cellular Broadcast

Haesung Ahn<sup>a)</sup>, Hyeongseok Kim<sup>a)</sup>, Eunyoung Cha<sup>a)</sup>, Jeongchang Kim<sup>a)†</sup>, Seok-Ki Ahn<sup>b)</sup>, Sunhyoung Kwon<sup>b)</sup>, Sung-Ik Park<sup>b)</sup>, and Namho Hur<sup>b)</sup>

#### 요 약

본 논문에서는 셀룰러 방송(cellular broadcast)을 위한 LTE (long term evolution) 기반 5G (fifth-generation) MBMS (multimedia broadcast and multicast services)와 5G NR (new radio)의 PBCH (physical broadcast channel) 검출 성능을 평가하고 5G NR의 PBCH 검출 성능을 향상시키는 방법을 제시한다. 시간 영역에서 수신 신호와 모든 가능한 PSS (primary synchronization signal)의 상관(correlation)을 계산하고, 상관 값을 결합(combining)하여 SS/PBCH 블록의 시작 위치와 프레임 동기를 획득한다. 또한, PBCH 검출 성능 향상을 위해 프레임 내에 존재하는 모든 SS/PBCH 블록에 포함된 PBCH 신호를 결합하는 방법을 제시한다. 본 논문에서 적용한 PBCH 결합 방법에 대한 성능을 평가하고 기존 LTE 기반 5G MBMS의 PBCH 검출 성능과 비교한다. 전산 실험 결과는 가산 백색 가우시안 잡음(additive white Gaussian noise: AWGN) 환경과 고정 및 이동 환경에서 5G NR의 PBCH를 결합함으로써 검출 성능이 향상되고 기존 LTE 기반 5G MBMS 보다 우수한 성능을 보여준다.

#### Abstract

This paper presents an improved scheme for detection of the physical broadcast channel (PBCH) in long-term evolution (LTE)-based fifth-generation (5G) multimedia broadcast and multicast services (MBMS) and 5G new radio (NR) for cellular broadcast. In the time domain, by combining the correlations between the received signal and primary synchronization signal (PSS) within all SS/PBCH blocks, the frame synchronization and the start position of the SS/PBCH blocks can be obtained. In this paper, to improve the detection performance of PBCH for 5G NR, a combining scheme of PBCH signals within a frame is proposed. In addition, the performance of the proposed detection scheme is evaluated and the performance is compared with the conventional scheme for PBCH detection of LTE-based 5G MBMS. The simulation results show that the detection performance of PBCH for 5G NR is improved by combining the PBCH signals and outperforms LTE-based 5G MBMS under the additive white Gaussian noise (AWGN), fixed, and mobile environments.

Keyword : 5G new radio, combining, correlation, detection, multimedia broadcast and multicast services, physical broadcast channel

Copyright © 2021 Korean Institute of Broadcast and Media Engineers. All rights reserved.

“This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons BY-NC-ND (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited and not altered.”

## 1. 서론

이동통신 표준화 협력기구인 3GPP (3rd Generation Partnership Project)는 디지털 방송을 위한 LTE (long term evolution) 이동통신 기반의 MBMS (multimedia broadcast and multicast services) 시스템을 5G 요구조건을 충족시키기 위해 release 16에서 개선하였다<sup>[1]</sup>. Release 6에서 처음 개발된 MBMS는 release 9에서 eMBMS (evolved MBMS)로 크게 개선되었고, release 14에서 FeMBMS (further eMBMS)로 한 층 더 발전되었으며, 이전 eMBMS보다 넓은 커버리지(coverage)를 확보하기 위해 새로운 직교 주파수 분할 다중화(orthogonal frequency division multiplexing: OFDM) 파라미터가 정의되었다<sup>[2]</sup>. 최근 release 16에서 개선된 LTE 기반 5G MBMS는 5G 요구조건을 충족시키기 위해 FeMBMS보다 더 넓은 커버리지가 요구되어 OFDM 파라미터가 새롭게 추가되었다. LTE 기반 5G MBMS에서는 동기(synchronization)와 제어 정보(control information)를 포함하는 새로운 부프레임(subframe) 구조인 CAS (cell acquisition subframe)가 설계되었으며<sup>[3]</sup>, 추가된 numerology로 인해 하나의 부프레임 내에 있는 OFDM 심볼 개수도 사용하는 numerology에 따라 달라진다. LTE 기반 5G MBMS에서는 PBCH (physical broadcast channel)의 성능을 향상시키기 위해 release 16에서 PBCH를 부프레임내에서 반복(repetition)하는 방법이 추가되어 성능이 개선되었다. 이에 반해, 5세대 이동통신 기술로 채택된 5G NR (fifth-generation new radio)은 아직 LTE 기반 5G MBMS와 같은 방송을 고려한 설계가 반영되어 있지 않

며, 디지털 방송서비스를 위한 NR MBS (multimedia broadcast services) 규격 정의가 release 17에서 진행되고 있다<sup>[4]</sup>.

5G NR 시스템의 송수신기 사이에 동기를 획득하기 위해 송신기는 SS/PBCH (synchronization signal/PBCH) 블록을 송신하며, 수신기는 이를 수신하여 타이밍 및 주파수 오프셋(timing and frequency offset)을 추정하고 동기를 획득할 수 있다. 여기서, 수신기는 타이밍(timing) 동기를 획득하기 위해 시간 영역에서 PSS (primary synchronization signal)를 이용하여 셀 구역 값을 검출한다<sup>[5]</sup>. 이어서, 검출된 PSS의 셀 구역 값을 이용하여 주파수 영역에서 SSS의 셀 구역 내 값을 검출함으로써 cell ID (cell identity)를 검출할 수 있다. 검출된 cell ID는 PBCH의 디코딩(decoding)을 위해 사용되며, PBCH는 데이터 복조(demodulation)를 위한 중요한 시스템 정보를 포함하고 있기 때문에 PBCH 검출 성능을 개선시키기 위한 방법이 필요하다.

본 논문에서는 5G NR 기반 방송시스템을 위한 PBCH 검출 성능 향상 방법을 제시하고 LTE 기반 5G MBMS와 PBCH 검출 성능을 비교한다. 5G NR 시스템에서 방송서비스를 위하여 다수의 SS/PBCH 블록을 전송하고 수신기가 이를 결합함으로써 PBCH 성능을 향상시킬 수 있다. 모든 SS/PBCH 블록은 동일한 PSS 시퀀스를 사용하므로 시간 영역에서 수신 신호와 모든 가능한 PSS의 상관을 계산하고, 모든 SS/PBCH 블록에 대한 상관 값을 결합함으로써 프레임 동기를 획득하고 SS/PBCH 블록의 시작 위치를 검출할 수 있다. 본 논문에서는 LTE 기반 5G MBMS의 PBCH 반복 전송과 유사하게 PBCH 검출 성능 향상을 위하여 프레임 내에서 PBCH를 포함하고 있는 SS/PBCH 블록의 최대 개수를 전송하도록 설정한다. 수신기는 모든 SS/PBCH 블록에 포함된 PBCH 신호를 결합함으로써 검출 성능을 향상시킬 수 있다. 전산 실험을 통해 다수의 SS/PBCH 블록에 포함된 PBCH 신호를 결합함으로써 5G NR에서 방송서비스를 위한 향상된 PBCH 검출 방법에 대한 성능을 비교한다. 전산 실험 결과는 가산 백색 가우시안 잡음(additive white Gaussian noise: AWGN) 채널과 고정 및 이동 환경에서 방송서비스를 위한 5G NR의 PBCH 결합 방법이 LTE 기반 5G MBMS보다 성능을 개선시킬 수 있음을 보여준다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 LTE 기반 5G MBMS 시스템 및 5G NR 시스템의 송수신기 구조와 수신

a) 한국해양대학교 전자통신공학과 해양인공지능융합전공(Interdisciplinary Major of Maritime AI Convergence, Department of Electronics and Communications Engineering, Korea Maritime and Ocean University)

b) 한국전자통신연구원(Electronics and Telecommunications Research Institute)

‡ Corresponding Author : 김정창(Jeongchang Kim)  
E-mail: jchkim@kmou.ac.kr  
Tel: +82-51-410-4315  
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8612-9360>

※ 이 논문의 연구 결과 중 일부는 한국방송·미디어공학회 “2021년 하계 학술대회”에서 발표한 바 있음.

※ This work was supported by Institute of Information & communications Technology Planning & Evaluation (IITP) grant funded by the Korea government(MSIT) (No.2017-0-00081, Development of Transmission Technology for Ultra High Quality UHD).

· Manuscript received September 29, 2021; Revised October 29, 2021; Accepted October 29, 2021.

신호 모델에 대해 기술한다. 3장에서는 시간영역에서 수신 신호와 PSS의 상관을 이용하여 프레임 동기 및 SS/PBCH 블록의 시작 위치를 검출하는 방법에 대해 설명하며, SS/ PBCH 블록에서 추출한 PBCH 신호를 결합하는 방법을 제시한다. 4장에서는 전산 실험결과로 LTE 기반 5G MBMS와 5G NR에서의 PBCH 성능을 평가하고, 5장에서 결론을 맺는다.

## II. 시스템 모델

### 1. LTE 기반 5G MBMS 송신기 및 수신기 구조

그림 1(a)는 LTE 기반 5G MBMS의 PBCH에 대한 송신기 블록 다이어그램을 나타낸다. LTE 기반 5G MBMS에서 PBCH에 대한 송신기는 CRC (cyclic redundancy check) attachment, 채널코딩(channel coding), 레이트 매칭(rate matching), 스크램블링(scrambling), 변조(modulation), 확장(extension), 리소스 맵핑(resource mapping), OFDM 기저대역 신호 생성(baseband signal generation)이 차례로 수행된다. 송신기에서 송신하고자 하는 BCH (broadcast channel) 페이로드(payload)는 16 비트(bit)의 CRC가 추가되고,

채널코딩은 tail-biting convolutional coding이 수행되며, 레이트 매칭과정에서는 부호율(code rate)을 맞춘 수열이 생성된다. 생성된 수열은 스크램블링 과정이 수행되며 직교 위상 천이 변조(quadrature phase shift keying: QPSK) 방식을 사용하여 심볼(symbol)로 맵핑된다. 변조 심볼로 맵핑 후에 확장 방법이 수행될 수 있다. 여기서, 확장은 PBCH를 반복(repetition)하는 것을 의미하며, 옵션으로 사용 여부를 선택할 수 있다. 그리고 수신기에서 채널 추정을 위한 신호인 CRS (cell-specific reference signal generation)가 생성된다<sup>[6]</sup>. 생성된 신호를 주파수 영역 자원에 맵핑하고 IFFT (inverse fast Fourier transform)를 수행함으로써 시간영역 신호가 생성된다. 마지막으로 CP (cyclic prefix)를 삽입하고 병렬 신호를 직렬 신호(parallel to serial)로 변환함으로써 최종 송신 신호가 생성된다.

그림 1(b)는 LTE 기반 5G MBMS의 PBCH에 대한 수신기 블록 다이어그램을 나타낸다. 채널을 통과한 후 수신된 신호는 CP가 제거되고 병렬로 변환된 후 FFT를 통해 주파수 영역의 신호로 변환된다. 리소스 디맵핑(demapping) 과정을 통하여 채널 추정을 위한 CRS 신호와 데이터 신호가 추출된다. 추출된 CRS를 사용하여 송수신기 간의 채널을

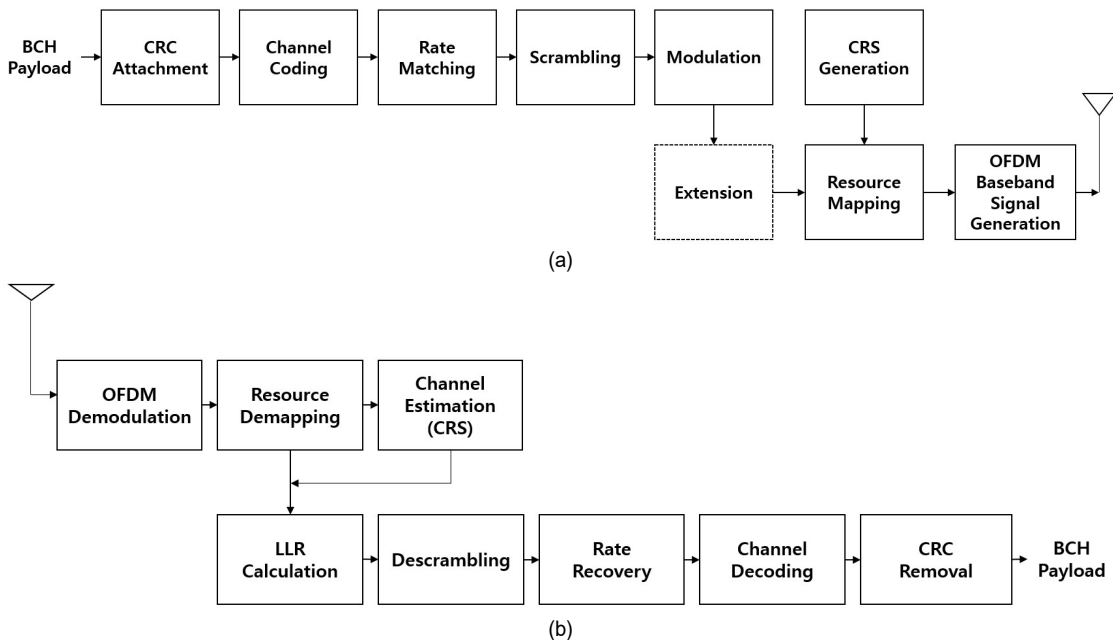


그림 1. LTE 기반 5G MBMS의 PBCH 송수신기 블록 다이어그램. (a) 송신기 구조, (b) 수신기 구조  
 Fig. 1. Block diagrams of transmitter and receiver for PBCH of LTE-based 5G MBMS, (a) Transmitter structure, (b) Receiver structure

추정한다. 추정된 채널 이득과 수신된 신호는 LLR 계산 (log-likelihood ratio calculation) 블록으로 입력되고 디스크램블링(descrambling), 레이트 리커버리(rate recovery), 채널 디코딩(channel decoding), CRC 제거(CRC removal) 과정이 수행되며, 최종적으로 BCH 페이로드를 얻을 수 있다.

## 2. 5G NR 송신기 및 수신기 구조

5G NR은 LTE 보다 다양한 numerology의 지원이 가능하며, 부반송파 간격(subcarrier spacing)에 따라 부프레임 내 슬롯 개수와 OFDM 심볼 개수가 달라진다. 부반송파 간격은  $\Delta f = 2^\mu \cdot 15\text{kHz}$ ,  $\mu \in \{0, 1, 2, 3, 4\}$  와 같이 정의된다. 부반송파 간격에 따른 부프레임 내 슬롯 개수와 OFDM 심볼 개수는 표 1과 같다. 그리고 부반송파 간격과 중심 주파수(carrier frequency)에 따라 SS/PBCH 블록의 첫 번째 심볼 인덱스와 SS/PBCH 블록의 최대 가능한 개수는 표 2와 같다.

그림 2(a)는 5G NR에서 PBCH의 송신기 블록 다이어그램

을 나타낸다. 5G NR에서 PBCH에 대한 송신기는 PBCH 페이로드 생성 및 인터리빙(interleaving), 페이로드에 대한 스크램블링, CRC attachment, 채널코딩, 레이트 매칭 과정을 차례대로 수행한다. 이 때, 채널코딩 방법은 폴라 코딩(polar coding)이 사용된다. 레이트 매칭 출력 신호는 스크램블링 과정이 수행되며, QPSK 방식을 사용하여 심볼로 맵핑된다. LTE 기반 5G MBMS에서 채널 추정을 위해 CRS가 사용된 반면 5G NR에서는 PBCH DM-RS (demodulation reference signal)가 사용된다<sup>7)</sup>. LTE 기반 5G MBMS의 CRS 신호와 5G NR의 PBCH DM-RS 신호는 cell ID를 이용하여 생성된다. 이후 생성된 신호는 LTE 기반 5G MBMS의 PBCH에 대한 송신기 구조와 동일한 방법으로 주파수 영역 자원에 맵핑되고 IFFT 및 CP가 삽입되어 최종 송신 신호가 생성된다.

그림 2(b)는 5G NR의 PBCH에 대한 수신기 블록 다이어그램을 나타낸다. 수신 안테나로부터 수신된 신호는 시간영역에서 PSS 검출과 타이밍 오프셋을 추정한다. 여기서, 수신된 신호와 PSS를 이용하여 상관을 계산하고, 모든 SS/PBCH 블록에 대한 상관 값을 결합함으로써 프레임 동기를 획득하고 SS/PBCH 블록의 시작 위치를 검출할 수 있다. PSS를 이용한 SS/PBCH 블록의 시작 위치 검출은 3장에서 설명한다. 또한, 수신 신호는 LTE 기반 5G MBMS와 동일하게 CP가 제거되어 FFT를 통해 주파수 영역의 신호로 변환된다. 리소스 디맵핑을 통해 데이터 신호와 동기 신호, 채널 추정을 위한 PBCH DM-RS가 추출되며, 동기 신호에서 검출된 cell ID를 이용하여 PBCH DM-RS를 검출할 수 있다. 본 논문에서는 프레임 동기 및

표 1. 부반송파 간격에 따른 부프레임 당 슬롯 개수 및 OFDM 심볼 개수  
 Table 1. Number of slots and OFDM symbols per subframe corresponding subcarrier spacing

Subcarrier Spacing	Number of slots per subframe	Number of OFDM symbols per subframe
15 kHz	1	14
30 kHz	2	28
60 kHz	4	56
120 kHz	8	112
240 kHz	16	224

표 2. 부반송파 간격과 중심 주파수에 따라 가능한 SS/PBCH 블록의 첫 번째 심볼 인덱스와 최대 가능한 개수  
 Table 2. First symbol index and maximum number of candidate SS/PBCH blocks corresponding subcarrier spacing and carrier frequency

Pattern	Subcarrier Spacing	Carrier frequency, f	First symbol index for SS/PBCH blocks	Maximum number of SS/PBCH blocks
Case A	15 kHz	$f \leq 3 \text{ GHz}$	{2, 8}+14·{0, 1}	4
		$3 \text{ GHz} < f \leq 3 \text{ GHz}$	{2, 8}+14·{0, 1, 2, 3}	8
Case B	30 kHz	$f \leq 3 \text{ GHz}$	{4, 8, 16, 20}	4
		$3 \text{ GHz} < f \leq 6 \text{ GHz}$	{4, 8, 16, 20}+28·{0, 1}	8
Case C	30 kHz	$f \leq 3 \text{ GHz}$	{2, 8}+14·{0, 1}	4
		$3 \text{ GHz} < f \leq 6 \text{ GHz}$	{2, 8}+14·{0, 1, 2, 3}	8
Case D	120 kHz	$6 \text{ GHz} < f$	{4, 8, 16, 20}+28·{0, 1, 2, 3, 5, 6, 7, 8, 10, 11, 12, 13, 15, 16, 17, 18}	64
Case E	240 kHz	$6 \text{ GHz} < f$	{8, 12, 16, 20, 32, 36, 40, 44}+56·{0, 1, 2, 3, 5, 6, 7, 8}	64

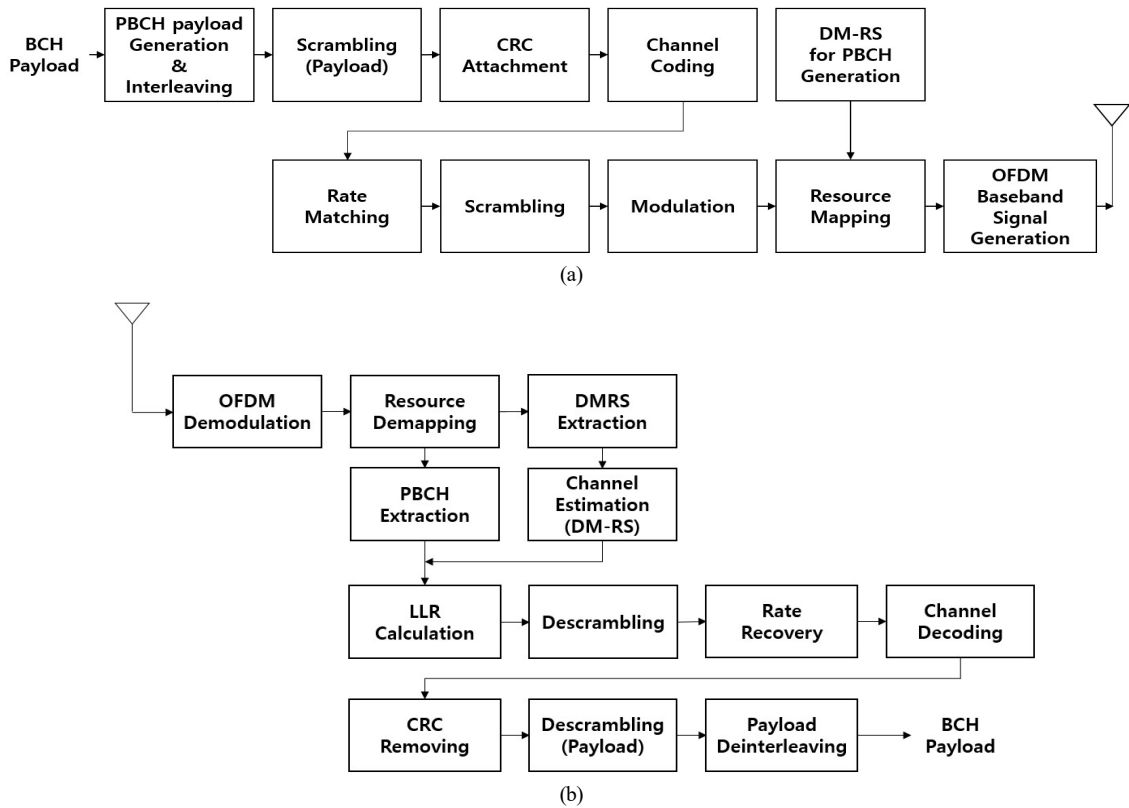


그림 2. 5G NR의 PBCH에 대한 송수신기 블록 다이어그램. (a) 송신기 구조, (b) 수신기 구조  
 Fig. 2. Block diagrams of transmitter and receiver for PBCH of 5G NR, (a) Transmitter structure, (b) Receiver structure

cell ID 검출<sup>[8][9]</sup>은 완벽하다고 가정하며 PBCH DM-RS를 이용하여 송수신기 간의 채널을 추정한다. 추정된 채널 이득과 수신된 신호는 LTE 기반 5G MBMS와 동일한 방법으로 LLR 계산 블록으로 입력된다. 그 후 디스크램블링, 레이트 리커버리, 채널 디코딩, CRC 제거, 페이로드에 대한 디스크램블링, 페이로드 디인터리빙(deinterleaving) 과정이 수행되고 최종 BCH 페이로드를 얻을 수 있다.

### 3. 수신 신호 모델

5G NR 수신기에서 FFT 이후 수신 신호는 수식 (1)과 같이 모델링(modeling)될 수 있다.

$$Y_l(k) = H_l(k)X_l(k) + N_l(k) \quad (1)$$

여기서,  $l$ 과  $k$ 는 각각 OFDM 심볼 및 부반송파 인덱스를 나타낸다. 또한,  $H_l(k)$ 는  $l$  번째 심볼에 대한  $k$  번째 부반송

파의 채널 이득을 의미하고,  $X_l(k)$  및  $N_l(k)$ 는  $l$  번째 심볼에 대한  $k$  번째 부반송파의 송신 신호 및 가산 백색 가우시안 잡음을 나타낸다. 그러면, 수신된 PBCH DM-RS 신호  $Y_{\text{DMRS}}(k)$ 를 송수신기가 모두 알고 있는 PBCH DM-RS 신호  $\tilde{x}_{\text{DMRS}}(k)$ 로 나누어, PBCH DM-RS 신호에 대한 주파수 영역의 채널 이득  $\tilde{H}_{\text{DMRS}}(k)$ 를 수식 (2)와 같이 추정할 수 있다.

$$\tilde{H}_{\text{DMRS}}(k) = \frac{Y_{\text{DMRS}}(k)}{\tilde{x}_{\text{DMRS}}(k)} = H_{\text{DMRS}}(k) + \frac{N_{\text{DMRS}}(k)}{\tilde{x}_{\text{DMRS}}(k)} \quad (2)$$

### III. SS/PBCH 블록 검출 및 결합 방법

5G NR 기반 방송시스템을 위하여 송신기에서 다수의 SS/PBCH 블록을 전송하고 시간 영역에서 수신된 신호와

PSS의 상관 값을 계산하여 계산된 상관 값들을 결합하는 방법을 사용함으로써 프레임 동기를 획득하고 SS/PBCH 블록의 시작 위치를 검출할 수 있다. 또한, 수신기는 SS/PBCH 블록을 모두 사용함으로써 PBCH 검출 성능을 향상시킬 수 있다.

### 1. PSS의 상관 결합을 이용한 SS/PBCH 블록 검출

5G NR 기반 방송서비스를 위해 송신기는 프레임 내에 사용 가능한 최대 개수의 SS/PBCH 블록을 전송하는 것을 가정한다. 시간영역에서 수신된 신호와 가능한 모든 PSS 신호의 상관을 계산하고, 상관의 최대값을 검출할 수 있다. 먼저, 시간영역에서 수신된  $i$  번째 샘플(sample)  $r(i)$ 와 모든 가능한 셀 구역 값  $\hat{n}_{ID}^{(2)} \in \{0,1,2\}$ 로부터 생성된 PSS 시퀀스에 대한 시간 영역 신호  $p_{n_{ID}^{(2)}}(i)$ 의 상관은 수식 (3)과 같이 계산된다.

$$\text{Corr}_{\text{PSS}}^{\hat{n}_{ID}^{(2)}}(m) = \sum_{i=0}^{N_{\text{PSS}}-1} r(i+m)p_{n_{ID}^{(2)}}(i), \quad (3)$$

$$0 \leq m < N_{\text{PSS}} + N_{\text{frame}}$$

여기서,  $p_{n_{ID}^{(2)}}(i)$ 는 셀 구역 값  $\hat{n}_{ID}^{(2)}$ 인 시간 영역 PSS 신호의  $i$  번째 샘플을 의미하며,  $\text{Corr}_{\text{PSS}}^{\hat{n}_{ID}^{(2)}}(m)$ 은 상관 결과의  $m$  번째 샘플을 나타낸다. 그리고  $N_{\text{PSS}}$ 와  $N_{\text{frame}}$ 은 각각 PSS 시퀀스에 대한 시간 영역 신호의 샘플 길이와 시간 영역에서 프레임의 샘플 길이를 나타낸다.

본 논문에서는 표 2에서 Case A인 경우를 가정하며 프레임 내에 SS/PBCH 블록은 4개 존재하므로 SS/PBCH 블록

의 간격만큼 이동(shift)된 상관 값들을 수식 (4)와 같이 모두 결합할 수 있다.

여기서,  $N_{\text{sym},1}$ ,  $N_{\text{sym},2}$ ,  $N_{\text{sym},3}$ 는 첫번째 SS/PBCH 블록과 나머지 3개의 SS/PBCH 블록 사이의 샘플 거리를 나타낸다. 수식 (4)의 상관 결합을 통해 SS/PBCH 블록의 시작 위치와 프레임의 동기를 획득할 수 있다.

### 2. PBCH 결합 방법

수신기에서 다수의 SS/PBCH 블록에 존재하는 PBCH를 결합함으로써 PBCH 검출 성능을 향상시킬 수 있다. PBCH 결합 방법은 LLR 계산 블록을 수행한 후 디스크램블링 과정과 함께 수행된다. 먼저, 검출된 SS/PBCH 블록에서 추출한 PBCH에 대한 LLR 계산은 수식 (5)와 같이 나타낼 수 있다.

여기서,  $y_{l,j}(k)$ 는  $j$  번째 SS/PBCH 블록의  $l$  번째 OFDM 심볼에 대한  $k$  번째 부반송파 인덱스의 PBCH 수신 신호를 나타내며  $H_{l,j}(k)$ 는  $j$  번째 SS/PBCH 블록의  $l$  번째 심볼에 대한  $k$  번째 부반송파 인덱스의 채널 이득을 의미한다. 본 논문에서 수신기의 채널 이득 추정은 완벽하다고 가정한다. 또한,  $\sigma^2$ 은 가우시안 잡음의 분산(variance)을 의미하며,  $\chi_{x,0}^m$ 과  $\chi_{x,1}^m$ 은 모든 가능한 송신 변조 심볼  $x$ 의  $m$  번째 비트가 각각 0과 1인 심볼들의 집합을 나타낸다. 그리고  $\text{LLR}_{l,j}^m(k)$ 는  $j$  번째 SS/PBCH 블록의  $l$  번째 심볼에 대한  $k$  번째 부반송파에 해당하는 변조 심볼에서  $m$  번째 비트의 결합된 LLR 계산 값을 의미한다.

다음으로, LLR 계산 후 디스크램블링 과정이 수행되고, PBCH 결합 방법은 수식 (6)과 같이 계산된다.

여기서,  $N_{\text{SSB}}$ 은 SS/PBCH 블록의 개수를 의미하고, 수식

$$\text{Corr}_{\text{S,PSS}}^{\hat{n}_{ID}^{(2)}}(m) = \left\{ \text{Corr}_{\text{PSS}}^{\hat{n}_{ID}^{(2)}}(m) + \text{Corr}_{\text{PSS}}^{\hat{n}_{ID}^{(2)}}(m + N_{\text{sym},1}) + \text{Corr}_{\text{PSS}}^{\hat{n}_{ID}^{(2)}}(m + N_{\text{sym},2}) + \text{Corr}_{\text{PSS}}^{\hat{n}_{ID}^{(2)}}(m + N_{\text{sym},3}) \right\} \quad (4)$$

$$\text{LLR}_{l,j}^m(k) = \ln \left\{ \sum_{\tilde{x} \in \chi_{x,0}^m} \exp \left( - \frac{|y_{l,j}(k) - H_{l,j}(k)\tilde{x}|^2}{\sigma^2} \right) \right\} - \ln \left\{ \sum_{\tilde{x} \in \chi_{x,1}^m} \exp \left( - \frac{|y_{l,j}(k) - H_{l,j}(k)\tilde{x}|^2}{\sigma^2} \right) \right\} \quad (5)$$

$$\text{LLR}_{\text{comb},l}^m(k) = \sum_{j=0}^{N_{\text{SSB}}-1} \left\{ \text{LLR}_{l,j}^m(k) \cdot (1 - 2 \cdot B_{\text{PRS}}(k + vL)) \right\} \quad (6)$$

(6)의  $B_{PRS}$ 는 디스크램블링 과정을 수행하기 위한 의사 랜덤 시퀀스(pseudo-random sequence)<sup>[7]</sup>를 나타내며, 송신기의 스크램블링 과정에서 사용한 PRS와 동일하다. 또한,  $v$ 와  $L$ 은 각각 후보 SS/PBCH 블록 인덱스에 대한 2개의 최하위 비트(least significant bits: LSB)와 PBCH에서 전송되는 비트의 수를 의미한다<sup>[10]</sup>. 수식 (6)에 의해 계산된 결과인  $LLR_{comb,l}^m(k)$ 는  $l$  번째 심볼에 대한  $k$  번째 부반송파에 해당하는 변조 심볼에서  $m$  번째 비트의 결합된 LLR을 나타내며, 디스크램블링 과정이 수행된 후 SS/PBCH 블록의 PBCH를 결합한 값을 의미한다.

#### IV. 전산 실험 결과

본 장에서는 5G NR 기반 방송시스템에서 프레임 동기 획득 및 SS/PBCH 블록의 시작 위치 검출을 위하여 시간 영역에서 수신된 신호와 PSS의 상관 값을 계산함으로써 얻어진 상관 값들을 결합하는 방법에 대한 전산 실험 결과를 제시한다. 시간 영역에서 수신 신호와 PSS 신호와 상관 계산 결과값을 나타내고 상관 값들의 결합이 적용되지 않은 것을 의미하는 기존 방법과 본 논문에서의 제시하는 방법은 상관 값들의 결합이 적용된 것을 의미한다. 또한, 다수의 SS/PBCH 블록에 포함된 PBCH 신호를 결합함으로써 5G NR에서 방송서비스를 위하여 향상된 PBCH 검출 방법에

대한 성능을 평가하고 LTE 기반 5G MBMS의 PBCH 검출 성능과 비교한다. 본 논문에서는 PBCH 검출 성능 비교를 목적으로 하고 있으며 이를 위해 동기 및 cell ID 획득은 완벽하다고 가정한다. LTE 기반 5G MBMS와 5G NR 두 시스템의 PBCH 검출 성능을 비교하기 위해 시스템 대역폭 및 OFDM 파라미터 값은 동일하게 사용하였다. 5 MHz 시스템 대역폭과 15 kHz의 부반송파 간격을 사용하였으며, RB (resource block) 개수는 25개를 사용하였다<sup>[11]</sup>. 전산 실험을 위한 파라미터 값은 표 3과 같다.

표 3. 전산 실험을 위한 파라미터  
Table 3. Parameter for computer simulation

LTE-based 5G MBMS & 5G NR	
Parameter	Value
System Bandwidth	5 MHz
Effective Bandwidth	4.5 MHz
Carrier frequency	3 GHz
Subcarrier Spacing	15 kHz
FFT Size	512
Number of RB	25
CP Length	36

그림 3과 4는 각각 PSS의 상관을 계산하는 기존 방법과 PSS의 상관을 결합하는 방법에 대한 전산 실험 결과를 나타낸다. 그림 3은 AWGN 채널 하에서 시간 영역에서 수신 신호와 PSS 신호의 상관 계산 결과의 스냅샷을 나타내며

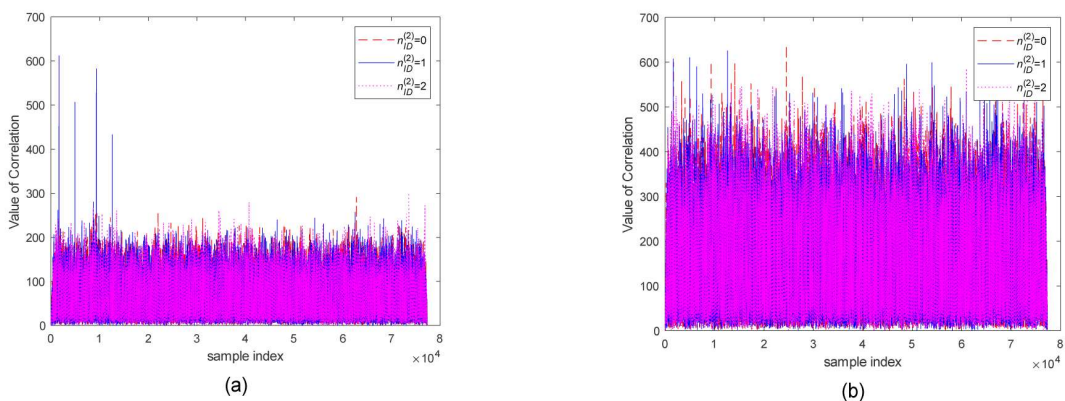


그림 3. 시간 영역에서 수신 신호와 PSS 신호의 상관 계산 결과의 스냅샷, 상관 값들의 결합 미적용, AWGN 채널. (a) SNR=-10 dB, (b) SNR=-18 dB  
Fig. 3. Snapshot of correlation outputs of the received signal and PSS signals in the time domain, without correlation combining, AWGN channel, (a) SNR=-10 dB, (b) SNR=-18 dB

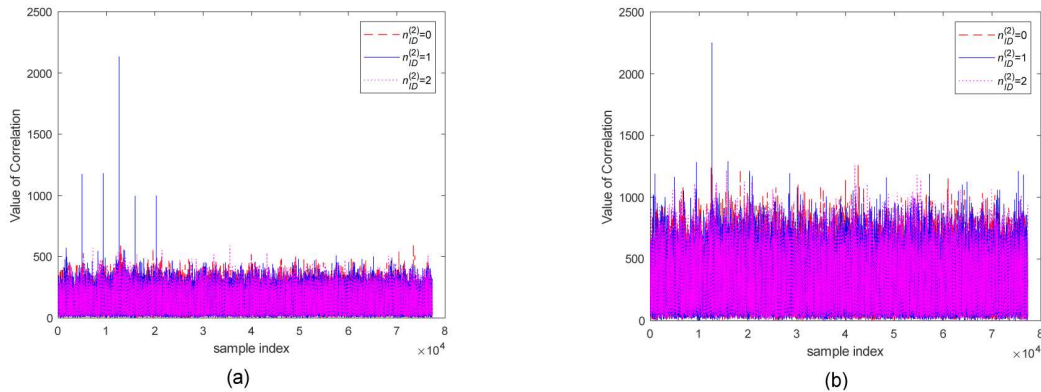


그림 4. 4개 SS/PBCH 블록의 PSS 신호에 대한 상관 계산 값을 결합한 결과의 스냅샷, AWGN 채널. (a) SNR=-10 dB, (b) SNR=-18 dB  
 Fig. 4. Snapshot of combined correlation outputs of the received signal and PSS signals for 4 SS/PBCH blocks, with correlation combining, AWGN channel, (a) SNR=-10 dB, (b) SNR=-18 dB

상관 값들의 결합은 적용되지 않았다. 그림 3(a)에서 보여 지듯이 신호대잡음비(signal-to-noise ratio: SNR)가 -10 dB 일 때 4개의 SS/PBCH 블록에 대한 상관 피크가 잘 관찰됨을 알 수 있다. 그러나, 그림 3(b)에서 볼 수 있듯이 SNR=-18dB에서는 상관 결과가 크게 열화됨을 알 수 있다.

표 4. RL20 채널 프로파일  
 Table 4. RL20 channel profile

$i$	$P_i$	$\tau_i [\mu s]$	$\theta_i [rad]$
1	0.057662	1.003019	4.855121
2	0.176809	5.422091	3.419109
3	0.407163	0.518650	5.864470
4	0.303585	2.751772	2.215894
5	0.258782	0.602895	3.758058
6	0.061831	1.016585	5.430202
7	0.150340	0.143556	3.952093
8	0.051534	0.153832	1.093586
9	0.185074	3.324866	5.775198
10	0.400967	1.935570	0.154459
11	0.295723	0.429948	5.928383
12	0.350825	3.228872	3.053023
13	0.2627909	0.848831	0.628578
14	0.225894	0.073883	2.128544
15	0.170996	0.203952	1.099463
16	0.149723	0.194207	3.462951
17	0.240140	0.924450	3.664773
18	0.116587	1.381320	2.833799
19	0.221155	0.640512	3.334290
20	0.259730	1.368671	0.393889

그림 4는 4개 SS/PBCH 블록의 PSS 신호에 대한 상관 계산 값을 결합한 결과의 스냅샷을 나타내며, 상관 값들의 결합을 적용하였다. 그림 4(a)는 그림 3(a)와 동일하게 SNR= -10 dB로 설정하였으며, 4개의 SS/PBCH 블록에 대한 상관 계산 값들을 결합한 상관 피크가 잘 관찰됨을 알 수 있다. 상관 값들의 결합을 적용한 그림 4(b)는 SNR= -18 dB 에서 상관 피크가 잘 관찰되며, 그림 3(b)에 비해 잡음에 보다 강건함을 알 수 있다. 또한, 상관 값들의 결합을 통해 SS/PBCH 블록의 시작 위치 및 프레임의 동기를 보다 잘 획득할 수 있을 것이다.

본 논문에서는 방송시스템을 위한 5G NR에서 PBCH의 검출 성능을 향상시키기 위해 PBCH 결합 방법을 적용하였으며, LTE 기반 5G MBMS에 대한 PBCH 검출 성능을 비교하고 평가하기 위해 AWGN 채널과 고정 및 이동 환경으로서 RL20 채널과 TU-6 채널을 가정하였다. 표 4와 표 5는 각각 RL20 채널과 TU-6 채널을 위한 프로파일을 나타낸다<sup>[12][13]</sup>.

표 5. TU-6 채널 프로파일  
 Table 5. TU-6 channel profile

Tap	Delay [ $\mu s$ ]	Power [dB]	Fading distribution
1	0.0	-3	Rayleigh
2	0.2	0	Rayleigh
3	0.5	-2	Rayleigh
4	1.6	-6	Rayleigh
5	2.3	-8	Rayleigh
6	5.0	-10	Rayleigh

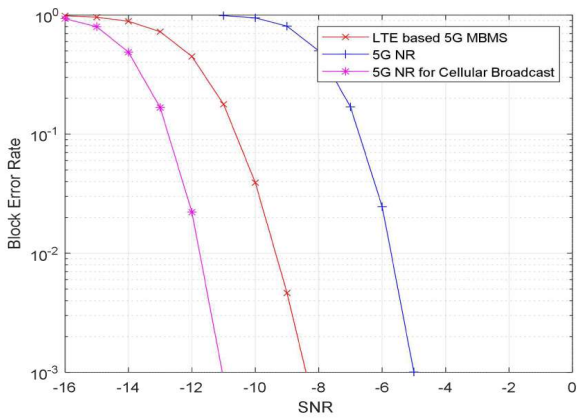


그림 5. AWGN 채널 하에서 LTE 기반 5G MBMS, 5G NR (1 SS/PBCH block), 방송시스템을 위한 5G NR (4 SS/PBCH blocks)에 대한 PBCH 블록 에러율 비교  
 Fig. 5. Comparison of BLER for PBCH of LTE-based 5G MBMS, 5G NR (1 SS/PBCH block), and 5G NR for broadcast system (4 SS/PBCH blocks) under AWGN

그림 5는 AWGN 채널 하에서 방송시스템을 위한 LTE 기반 5G MBMS와 5G NR에 대한 PBCH의 블록 에러율 (block error rate: BLER) 성능을 나타낸다. 여기서 5G NR은 PBCH 결합을 사용하지 않고 1개의 SS/PBCH 블록만을 사용한 경우를 의미하며, 방송시스템을 위한 5G NR은 4개의 SS/PBCH 블록을 사용하여 결합한 경우를 나타낸다. PBCH 결합을 적용하지 않는 5G NR의 PBCH에 대한 BLER은 LTE 기반 5G MBMS의 PBCH에 대한 BLER에 비해 BLER= $10^{-3}$ 에서 약 3.5 dB의 성능 열화가 있음을 확인할 수 있다. 방송시스템을 위한 5G NR은 PBCH 결합 방법을 사용하여 PBCH 검출 성능을 개선시켰으며, 방송시스템을 위한 5G NR의 PBCH에 대한 BLER은 PBCH 결합을 적용하지 않는 5G NR의 PBCH에 대한 BLER에 비해 BLER= $10^{-3}$ 에서 약 6.0 dB의 SNR 이득이 있음을 관찰할 수 있고, LTE 기반 5G MBMS의 PBCH에 대한 BLER에 비해 BLER= $10^{-3}$ 에서 약 2.5 dB의 SNR 이득이 있음을 볼 수 있다.

그림 6은 RL20 채널 하에서 방송시스템을 위한 LTE 기반 5G MBMS와 5G NR에 대한 PBCH의 BLER 성능을 나타낸다. 여기서 5G NR은 PBCH 결합을 사용하지 않고 1개의 SS/PBCH 블록만을 사용한 경우를 의미하며, 방송시

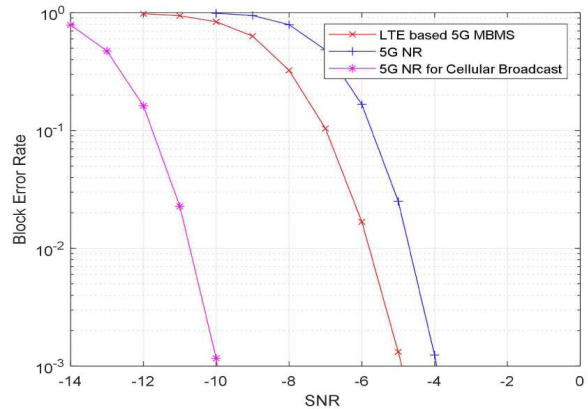


그림 6. RL20 채널 하에서 LTE 기반 5G MBMS, 5G NR (1 SS/PBCH block), 방송시스템을 위한 5G NR (4 SS/PBCH blocks)에 대한 PBCH 블록 에러율 비교  
 Fig. 6. Comparison of BLER for PBCH of LTE-based 5G MBMS, 5G NR (1 SS/PBCH block), and 5G NR for broadcast system (4 SS/PBCH blocks) under RL20

스템을 위한 5G NR은 4개의 SS/PBCH 블록을 사용하여 결합한 경우를 나타낸다. 고정 환경에서 PBCH 결합을 적용하지 않는 5G NR의 PBCH에 대한 BLER은 LTE 기반 5G MBMS의 PBCH에 대한 BLER에 비해 BLER= $10^{-3}$ 에서 약 0.9 dB의 성능 열화가 있음을 보여준다. 방송시스템을 위한 5G NR의 PBCH에 대한 BLER은 PBCH 결합을 적용하지 않는 5G NR의 PBCH에 대한 BLER에 비해 BLER= $10^{-3}$ 에서 약 6.0 dB의 SNR 이득이 있음을 확인할 수 있고, LTE 기반 5G MBMS의 PBCH에 대한 BLER에 비해 BLER= $10^{-3}$ 에서 약 5.1 dB의 SNR 이득이 있다.

그림 7은 TU-6 채널 하에서 방송시스템을 위한 LTE 기반 5G MBMS와 5G NR에 대한 PBCH의 BLER 성능을 나타낸다. 여기에서도 5G NR은 PBCH 결합을 사용하지 않고 1개의 SS/PBCH 블록만을 사용한 경우를 의미하며, 방송시스템을 위한 5G NR은 4개의 SS/PBCH 블록을 사용하여 결합한 경우를 나타낸다. 본 논문에서는 이동 환경을 고려하여, TU-6 채널의 이동 속도를 120 km/h로 설정하였다. 5G NR의 PBCH에 대한 BLER은 LTE 기반 5G MBMS의 PBCH에 대한 BLER에 비해 BLER= $10^{-3}$ 에서 약 3.4 dB의 성능 열화가 있음을 보여주며, 이동 환경에서도 성능 개선이 필요함을 확인할 수 있다. PBCH 결합 방법을 사용한

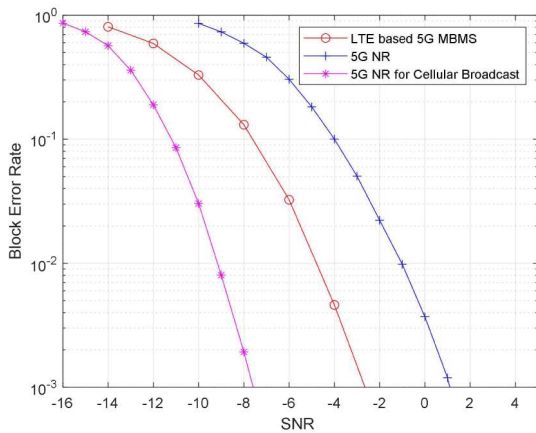


그림 7. TU-6 채널 하에서 LTE 기반 5G MBMS, 5G NR (1 SS/PBCH block), 방송시스템을 위한 5G NR (4 SS/PBCH blocks)에 대한 PBCH 블록 에러율 비교 (speed=120 km/h)  
 Fig. 7. Comparison of BLER for PBCH of LTE-based 5G MBMS, 5G NR (1 SS/PBCH block), and 5G NR for broadcast system (4 SS/PBCH blocks) under TU-6 (speed=120 km/h)

방송시스템을 위한 5G NR의 PBCH에 대한 BLER은 5G NR의 PBCH에 대한 BLER에 비해 BLER=10<sup>-3</sup>에서 약 8.8 dB의 SNR 이득이 있음을 확인할 수 있으며, LTE 기반 5G MBMS의 PBCH에 대한 BLER에 비해 BLER=10<sup>-3</sup>에서 약 5.4 dB의 SNR 이득이 있다.

그림 5-7을 통해서, 방송시스템을 위하여 PBCH 결합 검출 방식을 사용함으로써 LTE 기반 5G MBMS에 비해 성능이 향상됨을 알 수 있다. 기존 유니캐스트의 5G NR은 PBCH 결합을 적용하지 않을 경우 LTE 기반 5G MBMS보다 SNR 성능 열화가 있으므로 LTE 기반 5G MBMS에서와 유사하게 PBCH 결합 방식의 검출을 통하여 성능이 향상될 수 있다. 이러한 PBCH 결합 방식을 사용함으로써 방송시스템을 위한 5G NR은 LTE 기반 5G MBMS 보다 향상된 검출 성능을 보여준다.

## V. 결론

본 논문에서는 셀룰러 방송을 위한 LTE 기반 5G MBMS와 5G NR의 PBCH 검출 성능을 비교하였고 5G NR 기반 방송시스템의 PBCH 검출 성능을 향상시키는 방법을 제시

하였다. 방송시스템을 위한 5G NR의 시간 영역에서 수신된 신호와 PSS의 상관을 계산하고, 상관 값을 결합하는 방법을 사용하여 SS/PBCH 블록의 시작 위치와 프레임 동기를 획득할 수 있다. 또한, 방송시스템을 위한 5G NR의 PBCH 검출 성능을 향상시키기 위해 프레임 내에 존재하는 모든 SS/PBCH 블록에 포함된 PBCH 신호를 결합하는 방법을 제시하였다. 본 논문에서는 PSS의 상관을 계산하는 기존 방법과 PSS의 상관을 결합하는 방법에 대한 전산 실험 결과를 제시하였으며, PSS의 상관을 결합하는 방법이 낮은 SNR에서도 상관 피크가 잘 관찰됨을 알 수 있으므로 상관 값들을 결합함으로써 SS/PBCH 블록의 시작 위치와 프레임의 동기를 보다 잘 획득할 수 있을 것이다. 또한, SS/PBCH 블록에 포함된 PBCH 신호들의 결합 방식을 제시하고 그 성능을 평가하였다. 전산 실험 결과는 AWGN 채널과 RL20 채널, TU-6 채널 하에서 PBCH 결합 방법이 SS/PBCH 블록을 1개만 사용하는 방법과 LTE 기반 5G MBMS 보다 우수한 성능을 얻을 수 있음을 보여준다.

## 참고 문헌 (References)

- [1] D. He et al., "Overview of Physical Layer Enhancement for 5G Broadcast in Release16," *IEEE Trans. Broadcast.*, Vol. 66, No. 2, Jun. 2020.
- [2] A. Sengupta, A. R. Alvarino, A. Catovic and L. Casaccia, "Cellular Terrestrial Broadcast-Physical Layer Evolution From 3GPP Release 9 to Release 16," *IEEE Trans. Broadcast.*, Vol. 66, No. 2, pp. 459-470, Jun. 2020.
- [3] "Overall description of LTE-based 5G broadcast, v16.0.0," 3GPP, Sophia Antipolis, France, Rep. TR 36.976, Mar. 2020.
- [4] "Study on architectural enhancements for 5G multicast-broadcast services, v17.0.0," 3GPP, Sophia Antipolis, France, Rep. TR 23.757, Mar. 2021.
- [5] A. Omri, M. Shaqfeh, A. Ali and H. Alnuweiri, "Synchronization Procedure in 5G NR Systems," *IEEE Access.*, Vol. 7, pp. 41286-41295, Mar. 2019.
- [6] "Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Physical channels and modulation, v16.3.0," 3GPP, Sophia Antipolis, France, Rep. TS 36.211, Sep. 2020.
- [7] "NR; Physical channels and modulation, v16.3.0," 3GPP, Sophia Antipolis, France, Rep. TS 38.211, Sep. 2020.
- [8] K. Ota, M. Sawahashi, S. Nagata, "Physical Cell ID Detection Probability Using Synchronization Signals for NR Radio Interface Below 6GHz," *2019 IEEE VTS Asia Pacific Wireless Communications Symposium (APWCS)*, Sep. 2019.
- [9] H. Ahn, H. Kim, E. Cha, J. Kim, "Cell ID Detection Schemes Using PSS/SSS for 5G NR System," *Journal of Broadcast Engineering*, Vol. 25,

No. 6, Nov. 2020.

- [10] "NR; Multiplexing and channel coding, v16.3.0," 3GPP, Sophia Antipolis, France, Rep. TS 38.212, Sep. 2020.
- [11] "NR; User Equipment (UE) radio transmission and reception; Part 1: Range 1 Standalone, V16.5.0," 3GPP, Sophia Antipolis, France, Rep. TS 38.101-1, Sep. 2020.

- [12] Digital Video Broadcasting (DVB); Framing structure, channel coding and modulation for digital terrestrial television, ETSI EN 300 744, V1.6.1, Jan. 2009.
- [13] COST 207 Management Committee, "COST 207: Digital land mobile radio communications-Final report," Commission Eur. Communities, Brussels, Belgium, ISBN 92-825-9946-9, pp. 135 - 147, 1989.

---

## 저 자 소 개

---



### 안 해 성

- 2020년 2월 : 한국해양대학교 전자전기정보공학부 (공학사)
- 2020년 3월 ~ 현재 : 한국해양대학교 전자통신공학과 석사과정
- ORCID : <http://orcid.org/0000-0002-2520-5649>
- 주관심분야 : 디지털통신시스템, 이동통신시스템, 디지털신호처리



### 김 형 석

- 2016년 8월 : 한국해양대학교 전자전기정보공학부 (공학사)
- 2018년 8월 : 한국해양대학교 전자통신공학과 (공학석사)
- 2018년 9월 ~ 2019년 2월 : 한국해양대학교 전자통신공학과 수료 후 연구생
- 2019년 3월 ~ 현재 : 한국해양대학교 전자통신공학과 박사과정
- ORCID : <http://orcid.org/0000-0003-0474-101X>
- 주관심분야 : 디지털통신시스템, 디지털방송시스템, 디지털신호처리, MIMO, IoT



### 차 은 영

- 2020년 2월 : 한국해양대학교 전자전기정보공학부 (공학사)
- 2020년 3월 ~ 현재 : 한국해양대학교 전자통신공학과 석사과정
- ORCID : <http://orcid.org/0000-0001-9349-1731>
- 주관심분야 : 디지털통신시스템, 이동통신시스템, 디지털신호처리



### 김 정 창

- 2000년 2월 : 한양대학교 전자·전자통신·전파공학과(공학사)
- 2002년 2월 : 포항공과대학교 전자컴퓨터공학부(공학석사)
- 2006년 8월 : 포항공과대학교 전자컴퓨터공학부(공학박사)
- 2006년 9월 ~ 2008년 5월 : 포항공과대학교 정보통신연구소 전임연구원
- 2008년 5월 ~ 2009년 8월 : 포항공과대학교 미래정보기술사업단 연구조교수
- 2009년 8월 ~ 2010년 8월 : 한국전자통신연구원 선임연구원
- 2010년 9월 ~ 현재 : 한국해양대학교 전자전기정보공학부 교수
- 2017년 ~ 현재 : ETRI Journal, 편집위원
- 2018년 ~ 현재 : IEEE Transactions on Broadcasting, Associate Editor
- ORCID : <http://orcid.org/0000-0002-8612-9360>
- 주관심분야 : 디지털통신시스템, 디지털방송 전송시스템, 디지털신호처리, MIMO

---

저 자 소 개

---



**안 석 기**

- 2006년 2월 : 포항공과대학교 전자전기공학과 (공학사)
- 2008년 2월 : 포항공과대학교 전자전기공학과 (공학석사)
- 2013년 8월 : 포항공과대학교 전자전기공학과 (공학박사)
- 2013년 9월 ~ 2018년 11월 : 삼성전자 IM부문 책임연구원
- 2018년 12월 ~ 현재 : 한국전자통신연구원 미디어전송연구그룹 선임연구원
- ORCID : <https://orcid.org/0000-0001-6686-0570>
- 주관심분야 : 오류정정부호, 디지털 통신 시스템



**권 선 형**

- 2008년 8월 : KAIST 전자공학부 (공학사)
- 2010년 8월 : KAIST 전기및전자공학과 (공학석사)
- 2020년 2월 : KAIST 전기및전자공학과 (공학박사)
- 2010년 8월 ~ 현재 : 한국전자통신연구원 미디어전송연구그룹 선임연구원
- ORCID : <https://orcid.org/0000-0003-0826-5081>
- 주관심분야 : 디지털 방송시스템, 디지털 신호처리



**박 성 익**

- 2000년 2월 : 한양대학교 전자·전자통신·전파공학과 (공학사)
- 2002년 2월 : 포항공과대학교 전자컴퓨터공학부 (공학석사)
- 2011년 2월 : 충남대학교 정보통신공학과 (공학박사)
- 2002년 2월 ~ 현재 : 한국전자통신연구원 미디어전송연구그룹 책임연구원
- 2013년 3월 ~ 현재 : IEEE Transactions on Broadcasting 편집위원
- 2014년 11월 ~ 현재 : IEEE 방송기술회 Distinguished Lecturer
- 2016년 3월 ~ 현재 : ETRI Journal 편집위원
- 2016년 4월 ~ 현재 : FOBTV (Future of Broadcast Television), TC-Physical Layer Group Chair
- 2017년 7월 ~ 현재 : IEEE 방송기술회 대전 chapter 의장
- ORCID : <https://orcid.org/0000-0001-6283-2986>
- 주관심분야 : 오류정정부호, 디지털 방송시스템, 디지털 신호처리



**허 남 호**

- 1992년 2월 : 포항공과대학교 전자전기공학과 (공학사)
- 1994년 2월 : 포항공과대학교 전자전기공학과 (공학석사)
- 2000년 2월 : 포항공과대학교 전자전기공학과 (공학박사)
- 2000년 4월 ~ 현재 : 한국전자통신연구원 통신미디어연구소 책임연구원
- ORCID : <http://orcid.org/0000-0002-0437-0047>
- 주관심분야 : 디지털 방송시스템, 초실감 미디어, 양자정보과학, 제어 및 전력전자