

# 5G NR PBCH 데이터의 부반송파 매핑 방법 수정을 통한 복호 성능 개선 기법

김준성\*, 백성열\*, 최수용\*, 오왕록<sup>o</sup>

## Improving Decoding Performance of 5G NR PBCH by the Altering Subcarrier Mapping Scheme

Junseong Kim\*, Sungyeol Back\*, Suyong Choi\*, Wangrok Oh<sup>o</sup>

### 요 약

5G NR (new radio) 시스템의 기지국은 SFN (system frame number), 부반송파 간격, DMRS (demodulation reference signal) 위치 등의 정보를 SSB (synchronization signal block) 내의 PBCH (physical broadcast channel) 를 통해 주기적으로 송신한다. 극 부호 (polar code)를 통해 부호화된 PBCH 데이터는 PBCH에 할당된 부반송파에 매핑되기 전에 레이트 매칭 (rate matching) 과정을 거치게 된다. 본 논문에서는 레이트 매칭된 PBCH 데이터를 PBCH 채널의 부반송파에 매핑하는 방법을 수정함으로써 PBCH 채널의 복호 성능을 개선하는 방안을 제안한다. 제안하는 기법은 추가적인 복호 및 복조 복잡도 증가 없이 보다 나은 복호 성능을 제공한다.

**Key Words** : 5G NR, PBCH

### ABSTRACT

In 5G NR system, base stations periodically transmit physical broadcast channel (PBCH) carrying information such as a system frame number (SFN), subcarrier spacing and the location of demodulation reference signal (DMRS). A part of polar encoded PBCH data is repeated during a rate matching process before being mapped into subcarriers assigned to PBCH. In this paper, we propose a scheme to improve the decoding performance of PBCH channel by altering subcarrier mapping for PBCH. The proposed scheme offers better decoding performance without any increases in encoding and decoding complexities.

### 1. 서 론

이동통신 분야에서 고속의 대용량 데이터 전송에 대한 요구가 점차 증대되고 있으며 이러한 요구에 부응하기 위하여 5G 이동통신 기술이 도입되었다<sup>1)</sup>. 5G NR (new radio) 시스템의 기지국은 단말기들의 초기 접속 (initial access)을 위하여 시간 영역에서 4개의

OFDM (orthogonal frequency division multiplexing) 심볼과 주파수 영역에서 240개의 부반송파 (sub-carrier)로 이루어진 SSB (synchronization signal block)를 주기적으로 송신한다. SSB는 PSS (primary synchronization signal), SSS (secondary synchronization signal) 그리고 PBCH (physical broadcast channel)로 구성되며 PBCH는 DMRS (demodulation

\* First Author : Dept. of Information Communications Eng., Chungnam National University, jskim@o.cnu.ac.kr, 학생회원

<sup>o</sup> Corresponding Author : Dept. of Information Communications Eng., Chungnam National University, kingrock@cnu.ac.kr, 중신회원

\* Dept. of Information Communications Eng., Chungnam National University, syback@o.cnu.ac.kr, 학생회원

\* Dept. of Information Communications Eng., Chungnam National University, tndyd4024@o.cnu.ac.kr

논문번호 : 202106-128-A-RN, Received June 9, 2021; Revised July 6, 2021; Accepted July 8, 2021

reference signal)와 PBCH 데이터로 이루어져 있다. PBCH 데이터는 QPSK (quadrature phase shift keying) 변조된 후 432개의 부반송파를 통해 전송되므로 총 864개의 비트를 전송할 수 있다<sup>2)</sup>.

PBCH 데이터는 SFN (system frame number), 부반송파 간격, DMRS (demodulation reference signal)의 위치 등과 같은 MIB (master information block)를 극 부호 (polar code)로 부호화 (encoding)하여 생성된다<sup>3)</sup>. 5G NR의 PBCH 부호화에 사용되는 극 부호화기 (encoder) 출력은 512개의 비트로 구성되나 PBCH 데이터 전송에 QPSK 변조된 432개의 부반송파를 사용할 수 있어 부반송파에 매핑되기 전 레이트 매칭 (rate matching) 과정을 거치게 된다<sup>4)</sup>. 레이트 매칭 과정 중 부호 비트 (coded bit)들을 반복하여 생성된 PBCH 데이터는 수신기에서의 디레이트 매칭 (de-rate matching) 과정에서 다양한 결합 기법들을 통해 복호 성능을 높이는 데 사용될 수 있다<sup>5)</sup>.

본 논문에서는 PBCH 데이터를 부반송파에 매핑하는 방법을 제안한다. 제안하는 기법은 기존 PBCH 데이터의 부반송파 매핑 방법과 동일한 복호 및 복조 복잡도를 통해 보다 나은 복호 성능을 제공하는 장점이 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 먼저 II장에서 시스템 모델을 기술하고 III장에서 PBCH 데이터의 부반송파 매핑 방법을 제안한다. IV장에서 제안하는 기법의 PBCH 채널 복호 성능을 확인하고 V장에서 결론을 맺는다.

## II. 시스템 모델

5G NR 시스템의 DMRS는 4개의 부반송파마다 존재하며 셀 아이디 (cell ID)를 4로 나눈 나머지에 따라 매핑되는 부반송파의 위치가 결정된다. 단말기는 PSS와 SSS로 검출한 셀 아이디를 이용하여 DMRS가 전송되는 부반송파의 위치를 결정하고 해당 부반송파에서의 채널 추정값  $\hat{H}_{l,k}$ 를 LS (least square) 채널 추정 기법을 사용할 경우 식 (1)과 같이 계산할 수 있다.

$$\hat{H}_{l,k} = Y_{l,k} \times X_{l,k}^*, l = 0, 1, 2 \quad (1)$$

여기에서  $Y_{l,k}$ 는  $l$ 번째 OFDM 심볼의  $k$ 번째 DMRS인  $X_{l,k}$ 에 대한 수신 값이다. LS 기법의 채널 추정이 사용될 경우 PBCH 데이터가 매핑된 부반송파에서는 인접한 2개의 DMRS를 이용하여 선형 보간법 (linear

interpolation) 및 선형 보외법 (linear extrapolation)을 이용하여 채널을 추정한다. 그림 1은 각각 선형 보간법과 선형 보외법을 통해 채널을 추정한 부반송파들의 채널 추정 MSE (mean square error)를 나타낸 것이다. 그림 1에서 볼 수 있는 바와 같이 선형 보간법으로 채널을 추정한 경우 선형 보외법을 사용한 경우보다 낮은 MSE를 가짐을 확인할 수 있다. 이를 통해 선형 보외법으로 채널을 추정하는 외곽 부반송파에 매핑된 PBCH 데이터들이 채널 추정 오차의 영향을 크게 받음을 확인할 수 있다.

한편 기지국은 32 비트의 페이로드 (payload)와 24 비트의 CRC (cyclic redundancy check)를 더한 56 비트를 극 부호로 부호화하여 512 비트의 부호어 (codeword)를 생성한다. 이때 PBCH 데이터는 QPSK 변조 후 432개의 부반송파를 통해 전송되므로 총 864 비트를 전송할 수 있어 기지국은 부호어 512 비트 중 352 비트를 반복하여 864 비트로 구성된 PBCH 데이터를 생성하는 레이트 매칭 과정을 거친다<sup>6)</sup>. 레이트 매칭 과정으로 생성된 864 비트는 QPSK 변조되어  $M=432$ 개 심볼의 PBCH 데이터  $d_p[n], n=0, 1, \dots, M-1$ 를 생성하고 표 1에 나타난 자원 할당 방법에 따라 SSB에 매핑된다. 여기에서  $l$ 은 SSB의 OFDM 심볼 인덱스이며  $k$ 는 SSB의 부반송파 인덱스를 나타낸다. PBCH 데이터는 DMRS가 위치한 부반송파를 제외한 부반송파에 순차적으로 매핑된다. 이때 레이트 매칭 과정에서의 반복으로 인하여  $d_p[n], 256 \leq n \leq M-1$ 은 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$d_p[n] = d_p[n-256], 256 \leq n \leq M-1 \quad (2)$$

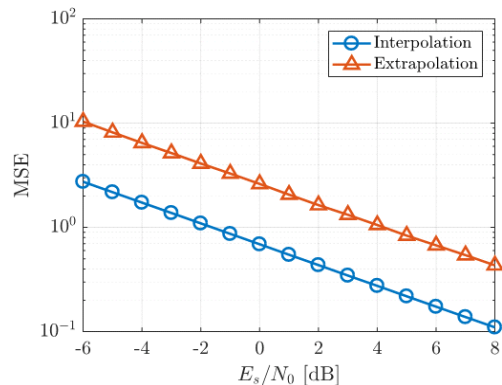


그림 1. 선형 보간법과 선형 보외법의 채널 추정 MSE  
Fig. 1. MSE of linear interpolation and extrapolation based channel estimators

표 1. 기존 PBCH 데이터의 자원 할당 방법  
Table 1. Resource allocation scheme for PBCH data

PBCH 데이터 심볼 인덱스 $n$	OFDM 심볼 인덱스 $l$	부반송파 인덱스 $k$
0, 2, ..., 179	1	0, 1, ..., 239
180, 181, ..., 215	2	0, 1, ..., 47
216, 217, ..., 251	2	192, 193, ..., 239
252, 253, ..., 431	3	0, 1, ..., 239

단말기는 수신한 PBCH 데이터를 복조한 뒤 극 부호 복호기 (decoder) 입력 값을 생성하기 위해 레이트 매칭 과정에서 반복된 부호 비트들을 결합하는 과정을 수행하여 추가적인 다이버시티를 획득할 수 있다. 표 1에 나타난 자원 할당 방법에 따라 매핑할 경우 디레이트 매칭 과정에서 결합되는  $d_p[n]$ 과  $d_p[n-256]$ ,  $n = 256, 257, \dots, M-1$ 은 항상 5개의 부반송파 간격 만큼 떨어져 있다. 따라서 상관 대역폭 (coherence bandwidth)이 5개의 부반송파 간격보다 크다면 반복된 부호 비트들을 결합하는 과정에서 주파수 다이버시티를 획득하기 어려운 단점이 있다.

### III. 제안하는 기법

레이트 매칭 과정에서 반복된 부호 비트들은 수신 과정에서 수행되는 디레이트 매칭을 통해 수신된 부호 비트들에 대한 복조 결과를 결합 후 극 부호 복조에 입력된다. 디레이트 매칭 과정에서 반복된 부호 비트들의 복조 결과 결합을 통하여 성능 개선을 극대화하기 위해서는 반복된 두 개의 부호 비트 결합 과정에서 주파수 다이버시티 획득이 필수적이다.

상관 대역폭은 유사한 주파수 응답을 겪는 주파수의 범위를 나타내며 RMS (root mean square) 지연 확산 (delay spread)  $\sigma_\tau$ 을 이용하여 식 (2)와 같이 구할 수 있다<sup>6)</sup>.

$$B_c \approx \frac{1}{5\sigma_\tau} \quad (2)$$

3GPP에 명시된 TDL (tapped delay line) 채널 모델의 RMS 지연 확산은 10 ns부터 1000 ns 범위의 값을 가지며 이에 따른 상관 대역폭은 식 (2)에 따라 200 kHz 부터 20 MHz 범위의 값을 갖는다<sup>7)</sup>. 5G NR 시스템은 Sub-6 GHz 대역에서 부반송파 간격으로 15 kHz와 30 kHz를 사용하므로 상관 대역폭이 200 kHz이고

부반송파 간격이 30 kHz일 때 상관 대역폭은 약 7개의 부반송파 간격에 해당한다.

표 1에 나타난 자원 할당 방법에 따라 PBCH 데이터를 매핑할 경우 디레이트 매칭 과정에서 결합되는 반복된 부호 비트사이의 주파수 간격은 상관 대역폭보다 작아 주파수 다이버시티를 획득하기 어렵다. 따라서 디레이트 매칭 과정에서 결합되는 반복된 부호 비트들이 매핑되는 부반송파들 간격이 상관 대역폭보다 크게 자원 할당을 수행함으로써 결합되는 과정에서의 주파수 다이버시티 이득을 극대화 할 수 있다.

본 논문에서는 레이트 매칭 과정에서 반복되어 생성된 PBCH 데이터를 선형 보외법으로 채널을 추정하는 외곽 부반송파에 매핑하여 채널 추정 오차의 영향을 줄임과 동시에 디레이트 매칭 과정에서 결합되는 부호 비트들 사이의 부반송파 간격을 상관 대역폭보다 크도록 매핑하여 주파수 다이버시티 이득을 획득할 수 있는 PBCH 매핑 방법을 제안한다. 제안하는 PBCH 데이터의 자원 할당 방법은 표 2와 같이 나타낼 수 있으며 PBCH 데이터는 DMRS가 위치한 부반송파를 제외한 부반송파에 순차적으로 매핑된다. 표 2에서 살펴볼 수 있는 바와 같이 제안하는 자원 할당 방법은 반복되는 부호 비트 간 주파수 다이버시티 이득을 극대화할 수 있도록 해당 비트들이 매핑되는 부반송파 간격을 키우면서 구형 복잡도를 고려하여 가능한 한 연속된 자원에 순차적으로 부호 비트들이 매핑되도록 설계되었다. 표 2에 나타난 자원 할당 방법에 따라 매핑할 경우 반복된 부호 비트들이 매핑된 부반송파 간격의 분포를 살펴보면 그림 2와 같다. 이때 부반송파 간격은 30 kHz이며 RMS 지연 확산은 [7]에 명시된 “Nominal delay spread” 채널에 해당하

표 2. 제안하는 PBCH 데이터의 자원 할당 방법  
Table 2. Proposed resource allocation scheme for PBCH data

PBCH 데이터 심볼 인덱스 $n$	OFDM 심볼 인덱스 $l$	부반송파 인덱스 $k$
0, 2, ..., 41	1	0, 2, ..., 55
42, 44, ..., 77	2	0, 2, ..., 47
78, 80, ..., 214	3	0, 2, ..., 183
215, 217, ..., 255	1	56, 58, ..., 110
256, 258, ..., 297	1	184, 186, ..., 239
298, 300, ..., 333	2	192, 194, ..., 239
334, 336, ..., 388	1	111, 113, ..., 183
389, 391, ..., 431	3	184, 186, ..., 239

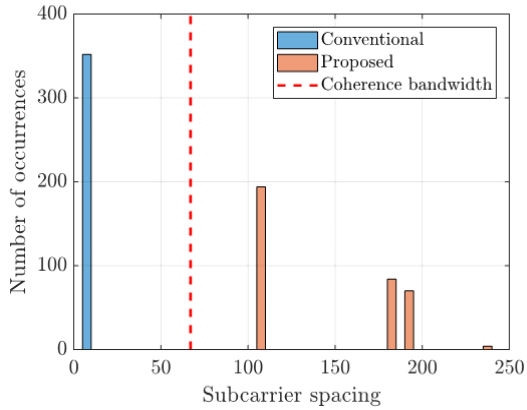


그림 2. 제안하는 기법에서 반복되는 부호 비트들이 매핑된 부반송파 간격의 CDF  
Fig. 2. CDF of subcarrier spacings between repeated coded bits.

는 100 ns를 가정하였다. 그림 2에서 볼 수 있는 바와 같이 제안하는 기법으로 PBCH 데이터를 부반송파에 매핑할 경우 반복된 부호 비트들 사이의 부반송파 간격이 상관 대역폭보다 크도록 매핑되며 이로 인해 부호 비트들의 결합과정에서 추가적인 복잡도 증가 없이 주파수 다이버시티를 획득할 수 있다.

#### IV. 전산실험 결과

제안하는 기법의 성능을 확인하기 위한 전산 실험에 사용된 파라미터들을 표 3에 나타내었으며 시간 및 주파수 동기 그리고 셀 아이디를 성공적으로 검출하였다고 가정하였다. 그림 3은 RMS 지연 확산이 100 ns인 TDL-A 채널에서 단말기의 이동속도가 각각 4 km/h, 100 km/h, 300 km/h인 경우 제안하는 PBCH 데이터 매핑 방법에 따른 BLER 성능을 나타낸 것이다. 그림 3에서 볼 수 있는 바와 같이 이동속도가 4 km/h 및 100 km/h 일 때 BLER이  $10^{-3}$ 인 영역에서 약 0.4 dB의 BLER 성능 이득을 얻을 수 있으며 이동속도가 300 km/h일 때 약 0.3 dB의 BLER 성능 이득을 얻을 수 있다. 그림 4는 TDL-A 채널 모델에

표 3. 전산실험 파라미터  
Table 3. Simulation parameters

Parameters	Value
Carrier frequency	4 GHz
Subcarrier spacing	30 kHz
Channel model	TDL channel
Channel estimation	LS channel estimation

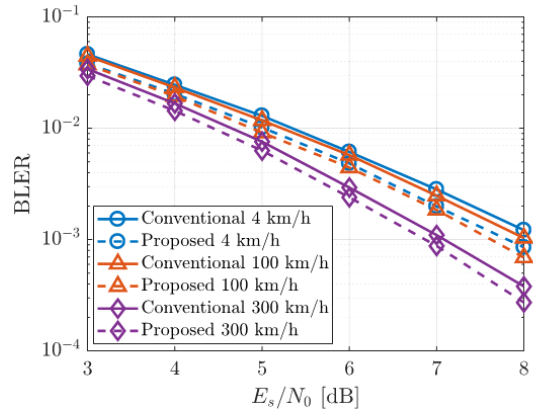


그림 3. 단말기 이동속도에 따른 제안하는 기법의 BLER  
Fig. 3. BLER of the proposed scheme under various speed of UEs

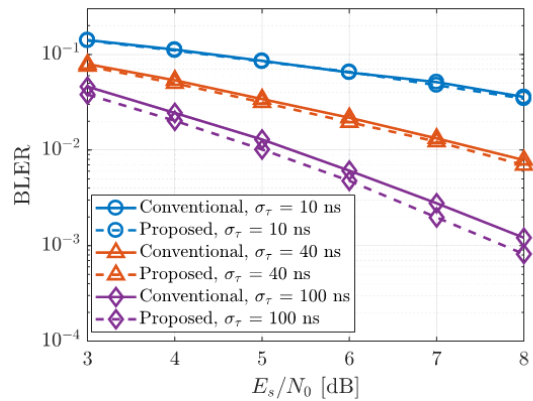


그림 4. RMS 지연 확산에 따른 제안하는 기법의 BLER  
Fig. 4. BLER of the proposed scheme under various RMS delay spreads of multipath channels.

서 단말기의 이동속도가 30 km/h일 때 RMS 지연 확산이 각각 10 ns, 40 ns, 100 ns일 경우 제안하는 PBCH 데이터 매핑 방법에 따른 BLER 성능을 나타낸 것이다. 식 (2)에서 볼 수 있는 바와 같이 RMS 지연 확산이 클수록 상관 대역폭이 작아지므로 반복되는 부호 비트가 매핑된 부반송파 간격이 고정된 경우 RMS 지연 확산이 커질수록 제안하는 기법을 통한 성능 이득이 커짐을 확인할 수 있다. 그림 5는 RMS 지연 확산이 30 ns, 이동속도가 30 km/h일 때 채널 모델이 각각 TDL-A, B, C 채널일 때 제안하는 PBCH 데이터 매핑 방법에 따른 BLER 성능을 나타낸 것이다. 그림 5에서 볼 수 있는 바와 같이 제안하는 PBCH 데이터 매핑 방법은 페이딩 (fading) 채널 모델과 상관없이 BLER이  $10^{-3}$ 인 영역에서 약 0.4 dB의 BLER 이득을 얻을 수 있는 것을 확인할 수 있다.

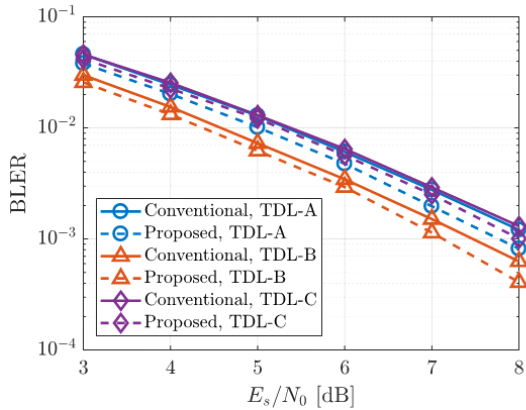


그림 5. TDL 채널에 따른 제안하는 기법의 BLER  
Fig. 5. BLER of the proposed scheme under various TDL channels

### V. 결론

본 논문에서는 레이트 매칭 과정에서 반복되어 생성된 부호 비트를 선형 보외법으로 채널을 추정하는 외곽 부반송파에 배치함과 동시에 디레이트 매칭 과정에서 결합되는 두 비트들이 매핑되는 부반송파 간 거리를 최대화하여 주파수 다이버시티를 얻을 수 있는 PBCH 데이터의 부반송파 매핑 방법을 제안하였다. 제안하는 방법은 추가적인 복호 및 복조 복잡도 증가 없이 다양한 채널 환경에서 성능 이득을 얻을 수 있는 장점이 있다.

### References

- [1] S. Parkvall, E. Dahlman, A. Furuskar, and M. Frenne, "NR: The new 5G radio access technology," *IEEE Commun. Standards Mag.*, vol. 1, pp. 24-30, Dec. 2017.
- [2] 3GPP TS 38.104 v15.6.0, "NR Base station(BS) radio transmission and reception (release 15)," Jun. 2019.
- [3] H. Ahn, H. Kim, E. Cha, J. Kim, S. Park, N. Hur, "Performance Evaluation of PBCH in LTE-Based 5G MBMS and 5G NR," in *KIBME Conf. 2021*, pp. 260-263, Jeju Island, Korea, Jun. 2021.
- [4] Z. Lin, J. Li, Y. Zheng, N. Irukulapati, H. Wang, and H. Sahlin, "SS/PBCH Block design in 5G new radio(NR)," *2018 IEEE Globecom Workshops*, Abu Dhabi, United Arab Emirates,

Dec. 2018.

- [5] S. Bahadkar and K. Kuchi, "Receiver design for physical broadcast channel in 5G NR," *Indian Inst. Technol. Hyderabad*, Jun. 2019.
- [6] T. S. Rappaport, *Wireless Communications: Principles and practice 2nd Ed.*, Prentice Hall, Dec. 2001.
- [7] 3GPP TR 38.901 v14.3.0 "5G Study on channel model for frequencies from 0.5 to 100 GHz" Jan. 2018.

### 김 준 성 (Junseong Kim)



2020년 2월 : 충남대학교 정보통신공학과 학사  
2020년 3월~현재 : 충남대학교 전자전파정보통신공학과 석사과정  
<관심분야> 통신시스템 설계 및 구현, 디지털 통신

[ORCID:0000-0002-0619-2467]

### 백 성 열 (Sungyeol Back)



2020년 2월 : 충남대학교 정보통신공학과 학사  
2020년 3월~현재 : 충남대학교 전자전파정보통신공학과 석사과정  
<관심분야> 통신시스템 설계 및 구현, 디지털 통신

[ORCID:0000-0001-6161-5904]

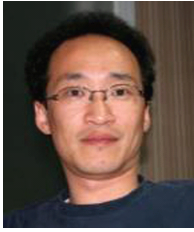
### 최 수 용 (Suyong Choi)



2021년 2월 : 충남대학교 정보통신공학과 학사  
2021년 3월~현재 : 충남대학교 전자전파정보통신공학과 석사과정  
<관심분야> 통신시스템 설계 및 구현, 디지털 통신

[ORCID:0000-0003-4515-8904]

오 왕 록 (Wangrok Oh)



1994년 2월: 포항공과대학교 학사

1997년 2월: 포항공과대학교 석사

2003년 8월: 포항공과대학교 박사

1997년~2000년: 포항공과대학

교 정보통신연구소 전임연구원

2003년~2006년: 포항공과대학

교 정보통신연구소 전임연구원

2006년~2010년: 충남대학교 정보통신공학과 조교수

2010년~2015년: 충남대학교 정보통신공학과 부교수

2015년~현재: 충남대학교 정보통신공학과 교수

<관심분야> 통신시스템 설계 및 구현, 오류정정부호,

MIMO 시스템

[ORCID:0000-0001-8205-5432]