



# 레일리 블록 페이딩 채널에서 인터리버를 사용한 LDPC 부호 성능에 관한 연구

채상원, 김강산, 최효정, 송홍엽  
연세대학교

2024년도 한국통신학회 추계종합학술발표회



# 목차

- 서론
- 본론
  - 레일리 블록 페이딩 채널
  - 블록 인터리버
  - 실험 방법
  - 실험 결과
- 결론



# 서론

- 서론
- 본론
  - 레일리 블록 페이딩 채널
  - 블록 인터리버
  - 실험 방법
  - 실험 결과
- 결론



## 서론

- 저밀도 패리티 검사 (LDPC) 부호는 부호의 패리티 검사 행렬에서 1의 밀도가 낮은 선형 블록 부호임.
- LDPC 부호는 뛰어난 오류 정정 능력으로 여러 통신 및 방송 표준에 채택됨[1].

---

[1] J. G. Proakis and M. Salehi, *Digital Communications*. 2008.



## 서론

- 그러나 다중경로 전파(Multipath Propagation) 및 음영(Shadowing)으로 인한 페이딩 효과로 인해 전송된 데이터에 연집 오류(burst error)가 발생함[2].
- 연집 오류를 분산하기 위해 전송 데이터의 순서를 재배열하는 인터리빙을 사용할 수 있음[3].
- 본 논문은 레일리 블록 페이딩 채널에서 블록 인터리버를 적용한 LDPC 부호의 성능을 실험적으로 분석함.

---

[2] H. Bischl and E. Lutz, "Packet error rate in the non-interleaved Rayleigh channel," *IEEE Transactions on Communications*, vol. 43, no. 2/3/4, pp. 1375–1382, Feb. 1995.

[3] A. Goldsmith, *Wireless communications*. Cambridge University Press, 2005.



# 본론

- 서론
- **본론**
  - 레일리 블록 페이딩 채널
  - 블록 인터리버
  - 실험 방법
  - 실험 결과
- 결론



# 레일리 블록 페이딩 채널

- 본 논문에서 레일리 블록 페이딩 채널을 다음과 같이 모델링함.

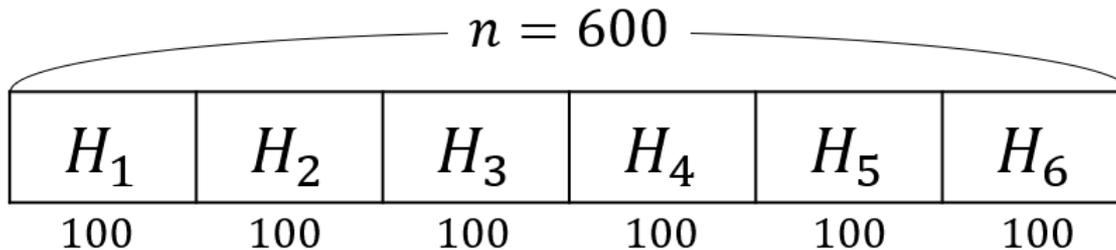
$$y_i = h_i x_i + z_i, \quad i = 1, 2, \dots, n$$

- $y_i$ : 수신한 신호
  - $x_i$ : BPSK(Binary Phase Shift Keying)-변조된 신호
  - $h_i$ : 레일리 페이딩 계수
  - $z_i$ : 가산성 백색 가우스 잡음(Additive White Gaussian Noise, AWGN),  
 $Z \sim \mathcal{CN}(0, N_0)$ 의 관측값
- 
- 채널의 특징
    - 주파수 비선택적 (평탄) 페이딩 채널임.
    - 심볼 간 간섭(Intersymbol Interference, ISI) 없음.



## 레이리 블록 페이딩 채널

- 블록 페이딩 채널에서 길이  $n$ 인 부호는  $F$ 개의 구간으로 나뉘어 길이  $n/F$ 인 각 구간 독립적이고 이상적으로 분포된(i.i.d.) 상수 페이딩( $H_1, H_2, \dots, H_F$ )을 겪는 것으로 가정함.
- 본 실험에서는  $F = 6$ 인 블록 페이딩 채널을 사용, 부호어(codeword) 길이  $n = 600$ 에 대해  $n/F = 100$  심볼씩 할당됨.



- $H_1 = h_1 = h_2 = \dots = h_{100}$ ,  $H_2 = h_{101} = h_{102} = \dots = h_{200}$ ,  $\dots$ ,  
 $H_6 = h_{501} = h_{502} = \dots = h_{600}$ .





## 블록 인터리버

- 블록 크기가 부호어 길이보다 큰 인터리빙 기법은 배열을 전부 채울 때까지 복호를 하지 못하므로 크기가 커짐에 따라 복호 지연(decoding delay)이 증가하는 단점이 있음.
- 본 실험에서는 (1,600), (10,600), (100,600)으로 인터리버 크기를 증가시키면서 복호 성능을 측정함.
  - 인터리버 크기 (1,600)은 인터리버를 쓰지 않는 경우와 같음.
  - 인터리버 크기 (100,600)은 이상적인 인터리버 크기임.



## 실험 방법

- 본 실험에서 사용한 부호는 [4]에서 제안한 방식으로 생성한 차수 분포가 (3, 6)으로 균일한 부호율  $1/2$  의 (600,300) Quasi-Cyclic LDPC (QC-LDPC) 부호임.
- 최대 반복(iteration) 횟수를 50회로 설정함.
- 세 가지 복호 알고리즘을 적용함[5, 6].
  - Belief Propagation (BP)
  - Offset Min-Sum (OMS),  $\beta = 0.5$
  - Normalized Min-Sum (NMS),  $\alpha = 0.75$

---

[4] I. Kim and H. Song, "A construction for girth-8 QC-LDPC codes using Golomb rulers," *Electronics Letters*, vol. 58, no. 15, pp. 582–584, Jun. 2022.

[5] D. J. C. MacKay, "Good error-correcting codes based on very sparse matrices," *IEEE Transactions on Information Theory*, vol. 45, no. 2, pp. 399–431, Mar. 1999.

[6] J. Chen and M. P. C. Fossorier, "Density evolution for two improved BP-Based decoding algorithms of LDPC codes," *IEEE Communications Letters*, vol. 6, no. 5, pp. 208–210, May 2002.



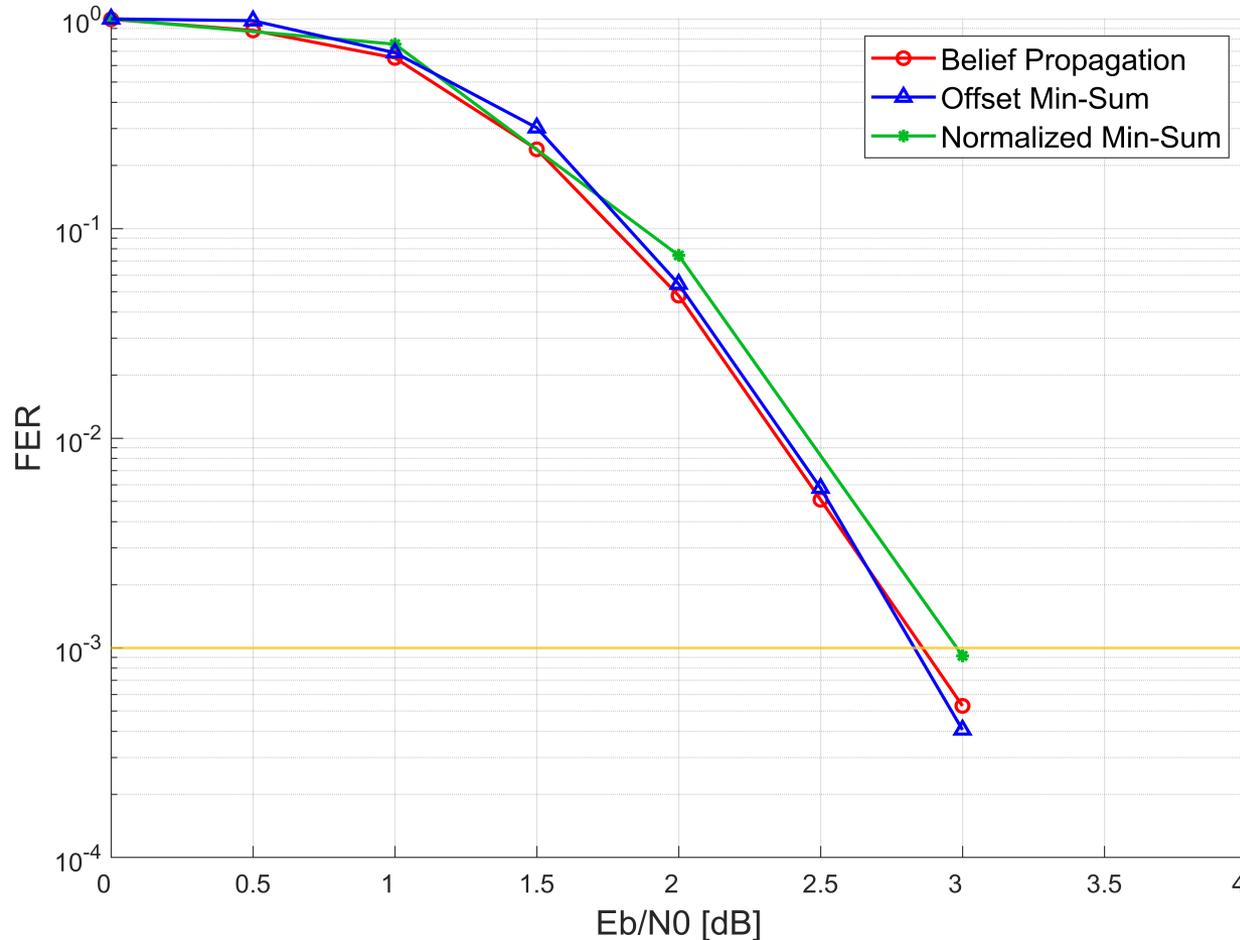
## 실험 방법

- 수신 단에 완벽한 채널 상태 정보(Channel State Information, CSI)가 알려져 있음을 가정함.
- 레일리 블록 페이딩 채널에서 블록 인터리버의 크기와 LDPC 부호의 복호 방식에 따른 프레임 오류율(Frame Error Rate, FER)을 비교함.
- 인터리버를 사용하지 않은 AWGN 채널에서의 성능도 살펴봄.



# 실험 결과 - AWGN 채널

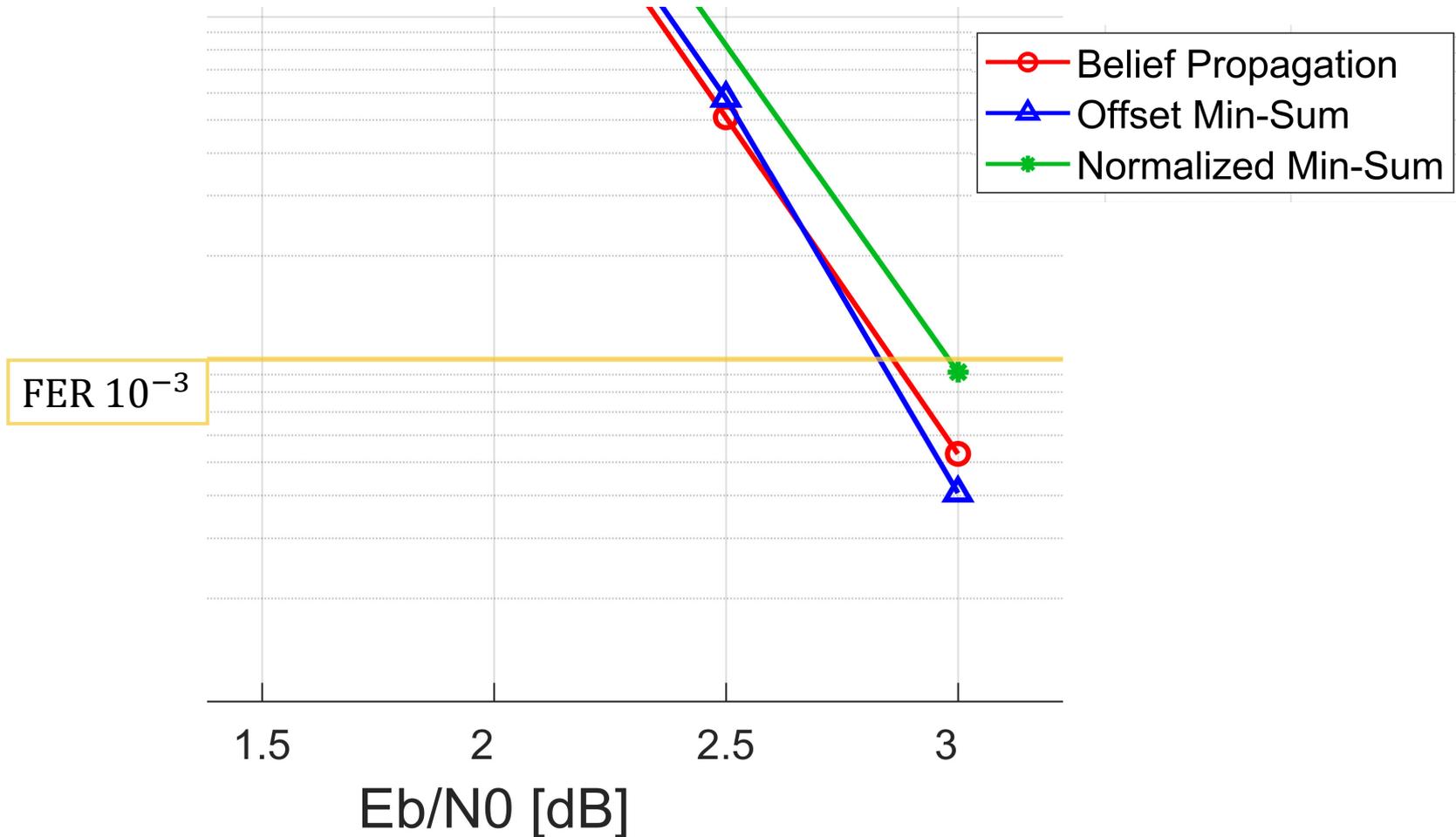
- 그림은 AWGN 채널에서 인터리버를 사용하지 않고 세 가지 LDPC 복호 방식(BP, OMS, NMS)에 따른 FER 성능을 비교한 그래프임.





## 실험 결과 - AWGN 채널

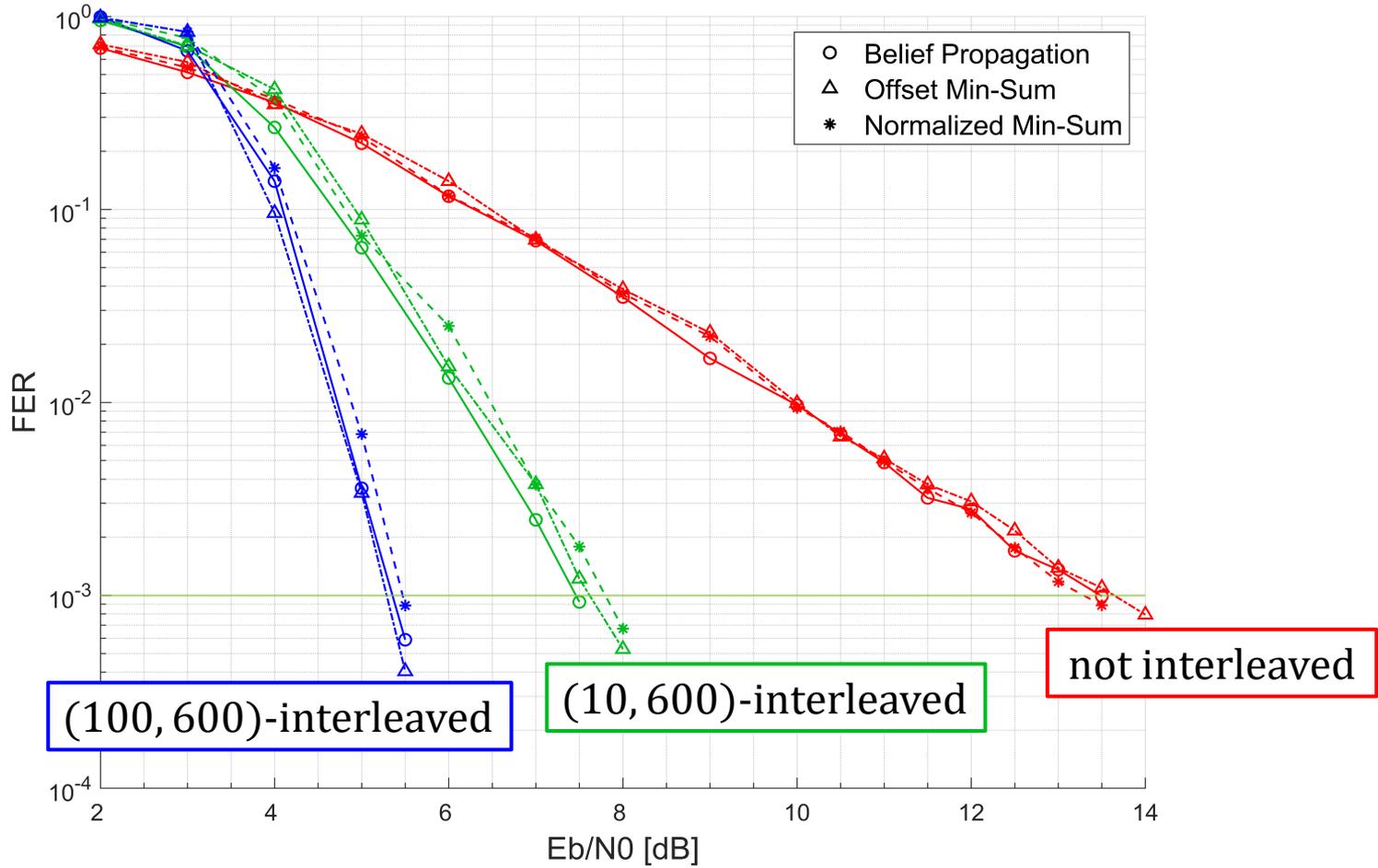
- NMS 복호가 가장 성능이 안 좋고 BP 복호와 OMS 복호는 훨씬 좋은 성능을 보이나 FER  $10^{-3}$  기준 0.2dB 정도의 성능 차이만을 보임.





# 실험 결과 - 레일리 페이딩 채널

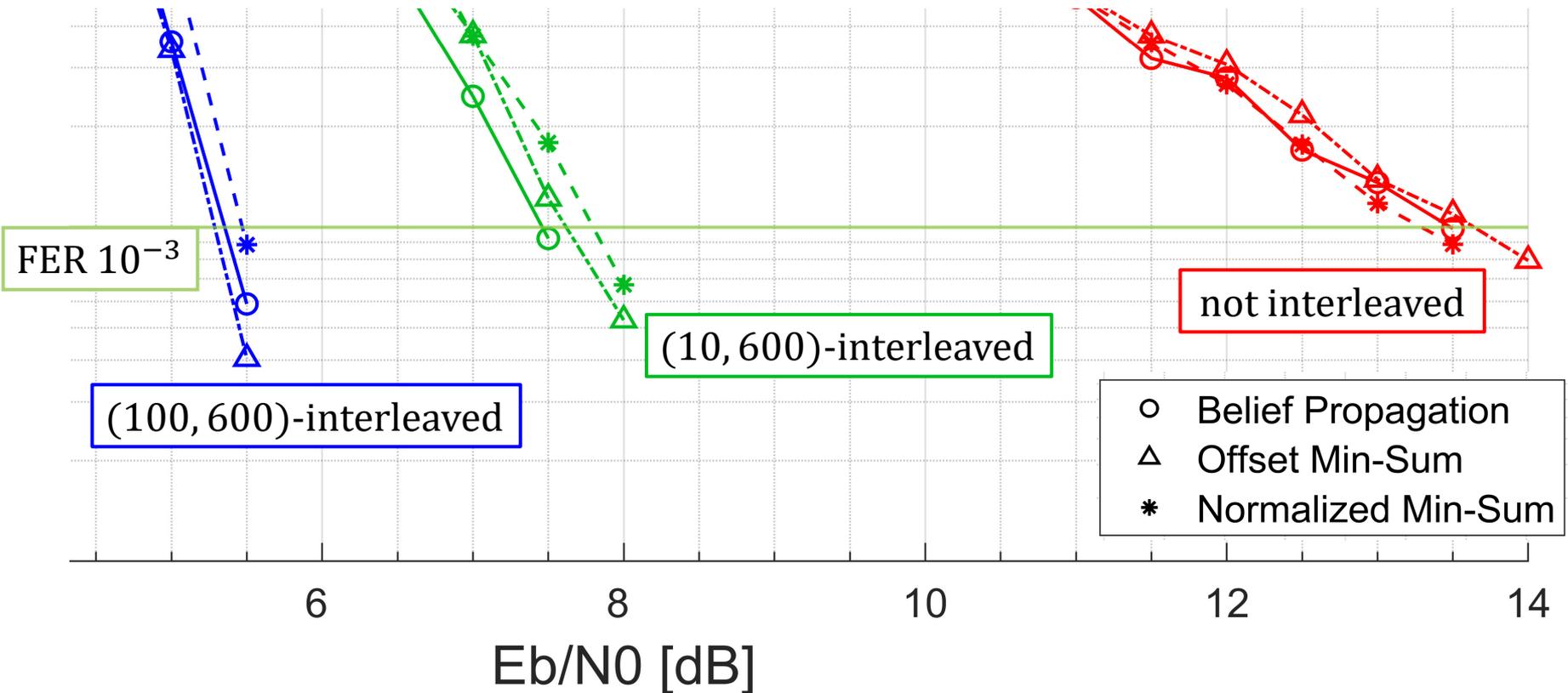
- 그림은 레일리 블록 페이딩 채널에서 인터리버의 크기와 LDPC 체크 노드 연산 방식에 따른 성능을 비교한 그래프임.





## 실험 결과 - 레일리 페이딩 채널

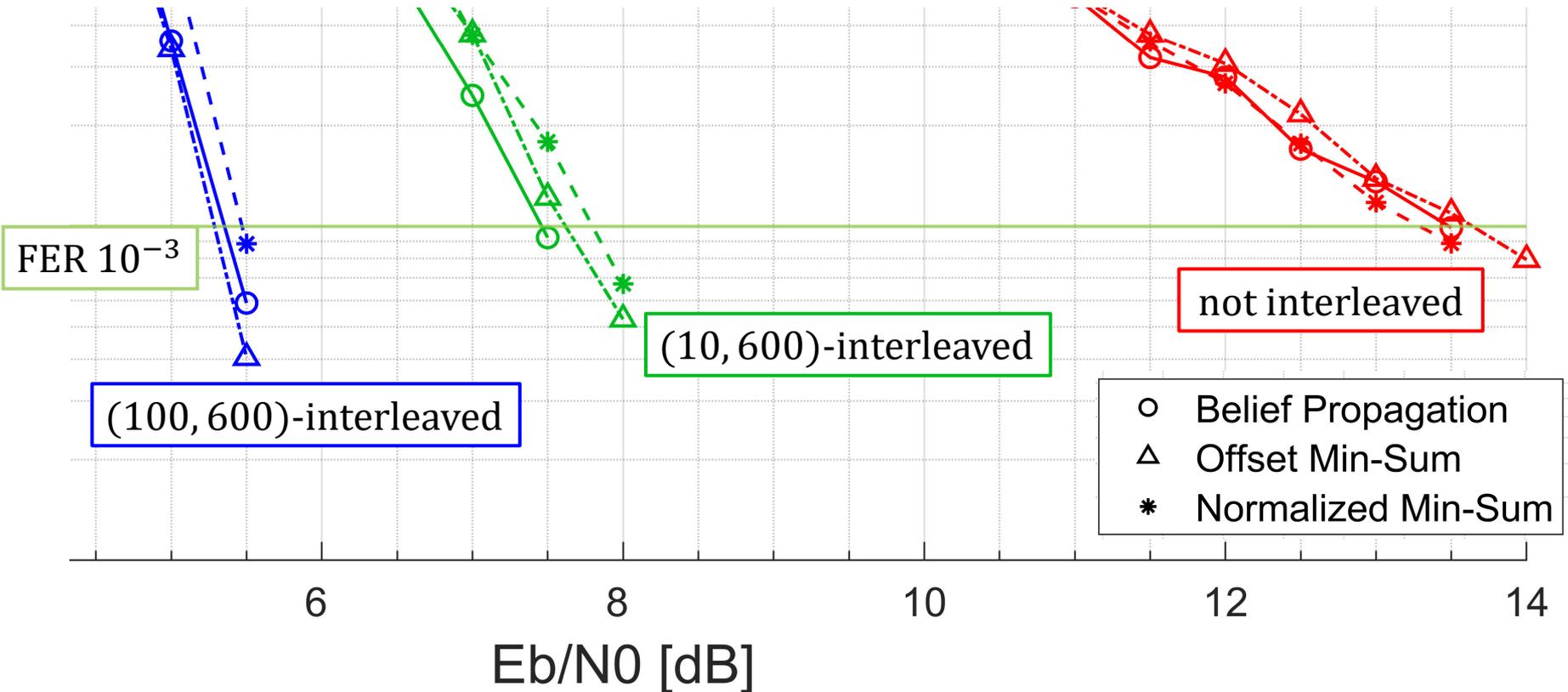
- FER  $10^{-3}$  기준 인터리빙을 적용하지 않은 경우 대비 (10,600) 인터리빙을 적용한 경우 6dB 정도, (100,600) 인터리빙을 적용한 경우 8dB 정도의 성능 이득이 있음.





# 실험 결과 - 레일리 페이딩 채널

- 한편 같은 인터리빙 기준 복호 방식 간의 성능 차이는 크지 않음.





# 결론

- 서론
  - LDPC 부호
- 본론
  - 레일리 블록 페이딩 채널
  - 블록 인터리버
  - 실험 방법
  - 실험 결과
- 결론



## 결론

- 본 논문에서는 레일리 블록 페이딩 채널에서 큰 크기의 블록 인터리버를 적용한 LDPC 부호의 성능을 실험적으로 분석함.
- AWGN 채널 및 레일리 블록 페이딩 채널에서 NMS 복호 방식은 BP와 OMS 복호 방식에 비해 약간의 성능저하를 보임.
- 인터리버의 크기가 증가할수록 복호 방식에 관련 없이 성능이 크게 개선됨.



**THE END**

**CCL**

**감사합니다.**