

Gauss-Seidel-aided MMSE-PIC 를 적용한 LDPC 부호화 대규모 송수신 시스템

박한진^o 정희상 최성우 이정우
 한국전자통신연구원 중앙대학교
 6G 무선액세스시스템연구실 전자전기공학부

LDPC Coded Extreme Massive MIMO System With Gauss Seidel-aided MMSE-PIC

Han Jin Park^o Heesang Chung Sung-Woo Choi Jeong Woo Lee
 6G Wireless Access Electrical and Electronics
 System Research Section Engineering
 ETRI Chung-Ang University
 phj0304@etri.re.kr hschung@etri.re.kr csw9908@etri.re.kr jwlee2@cau.ac.kr

요 약

대규모 송수신 시스템에 사용되는 Gauss-Seidel-aided MMSE-PIC 와 LDPC code 를 연결한 부호화 시스템의 설계법에 관한 논문이다. 본 논문에서 제안한 설계법을 활용하면, 시스템의 BER 성능 수렴속도를 높여, 널리 사용되는 기존의 설계법 보다 적은 연산량으로 우수한 BER 성능을 획득할 수 있다. 이를 위해, 시스템의 전체 데이터의 흐름을 추적하여 EXIT 분석을 하였고, EXIT 분석을 통해 BER 성능 수렴속도를 예측하여, 실제 BER 성능 Simulation 과 일치함을 보였다. 따라서, 본 논문에서 제안하는 LDPC Coded Gauss-Seidel-aided MMSE-PIC system 을 위한 분석법 및 설계법은 데이터의 고속처리를 요구하는 차세대 통신시스템(6G)에 매우 중요한 역할을 할 것이다.

1. 시스템 모델

본 논문은 Uplink wireless communication system scenario 를 고려했으며, 시스템 모델을 그림 1.로 표현했다. Users n_T 의 통신장비는 송신안테나를 하나 보유하고 있으며, Base station(BS)는 다수의 수신안테나 n_R 를 보유하고 있다고 가정하였다. 또한 각 user 는 K 개의 Information bits 를 LDPC Encoder 를 통해 N 개의 Codewords 를 생성한다. 이후, 각 user 는 Modulator 를 통해 QPSK symbol M 맵핑 한다. $P = N \log_2 M$ 개의 symbol 을 생성하고, 생성된 각 심볼을 동시에 P channel 을 통하여 동시에 BS 로 전송한다. $x_{n_T}^{(p)}$ 은 n_T 번째 user 의 p 번째 channel 을 통과한 전송 심볼이며, $\mathbf{X}^{(p)} = [x_1^{(p)}, x_2^{(p)}, x_3^{(p)}, \dots, x_{n_T}^{(p)}] \in \mathcal{C}^{n_T \times 1}$ 로 정의했다. 기지국의 수신신호 $\mathbf{Y}^{(p)} = [y_1^{(p)}, \dots, y_{n_R}^{(p)}]^T$ 는 다음과 같다.

$$\mathbf{Y}^{(p)} = \mathbf{H}^{(p)}\mathbf{X}^{(p)} + \mathbf{Z}^{(p)}, p = 1, \dots, P, \quad (1),$$

여기서 \mathbf{H} 의 각 요소는 channel gain 을 의미하며 평균 0 분산 1 인 independent identically distributed(i.i.d.) complex Gaussian 이며, $\mathbf{Z}^{(p)} =$

$[z_1^{(p)}, \dots, z_{n_R}^{(p)}]^T$ 에서 각 요소들은 평균 0, 분산 σ^2 인 i.i.d. circular symmetric complex white Gaussian 이다.

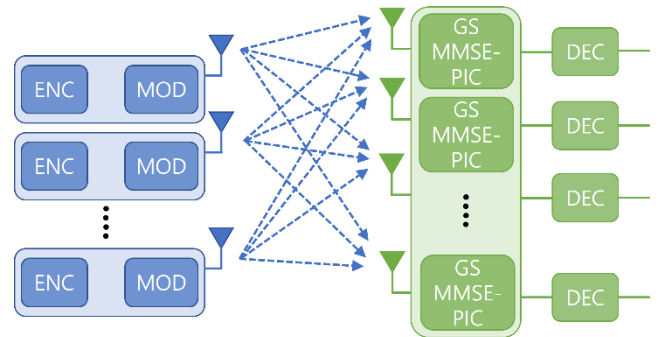


그림 1. Uplink wireless communication system

2. 반복 검출 및 복호 기법

본 논문은 Gauss-Seidel-aided MMSE-PIC 와 LDPC Code 를 사용한다 [1], [2]. Gauss-Seidel-aided MMSE-PIC 는 MMSE-PIC 의 nulling matrix $\mathbf{W}^{(l)H} = (\mathbf{H}^{(l)H}\mathbf{H}^{(l)}\Delta^{(l)} + \sigma^2\mathbf{I})^{-1}\mathbf{H}^{(l)H}$ 의 역행렬을 Gauss-Seidel

기법을 적용하여 연산량을 감소시킨 기법이다. Gauss-Seidel-aided MMSE-PIC의 반복연산은 N_{det} , 역행렬 연산을 위해 사용되는 Gauss-Seidel 반복연산은 N_{GS} , LDPC decoder 반복연산은 N_{dec} 로 정의했다. 기존의 시스템 설계법은 Gauss-Seidel-aided MMSE-PIC, Gauss-Seidel, LDPC decoder의 반복 연산 비율 $N_{det}:N_{GS}:N_{dec} = 1:1:1$ 로 설계하지만, 시스템의 BER 성능 수렴속도 향상을 위해 다양한 비율을 활용하여 설계했다. 시스템 내의 모든 데이터의 흐름을 추적하여 EXIT 분석을 하였으며 [3], 그 결과 다양한 비율의 BER 성능 수렴속도를 예측했다. 이를 통해 시스템의 BER 성능 수렴속도가 가장 빠른 최적의 비율을 찾을 수 있었으며, 실제 BER simulation과 일치함을 확인했다.

3. 실험 결과 및 분석

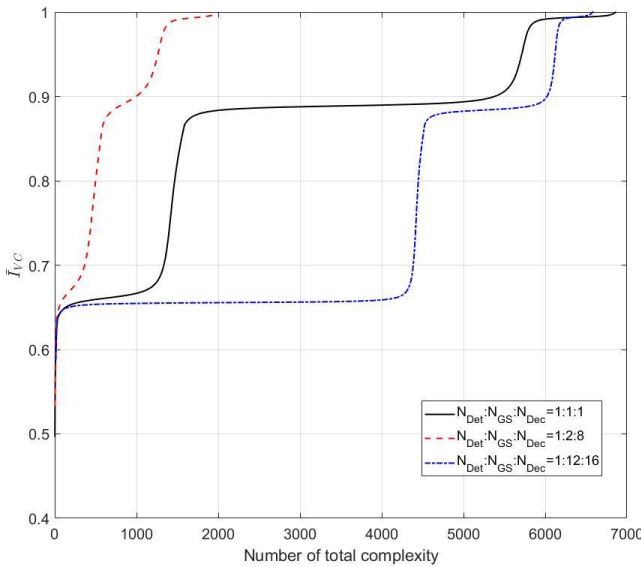


그림 2. Convergence speed with some ratio, where 4 x 64 channel, R=1/2 LDPC codes, N=4096, $E_b/N_0 = -17.7db$

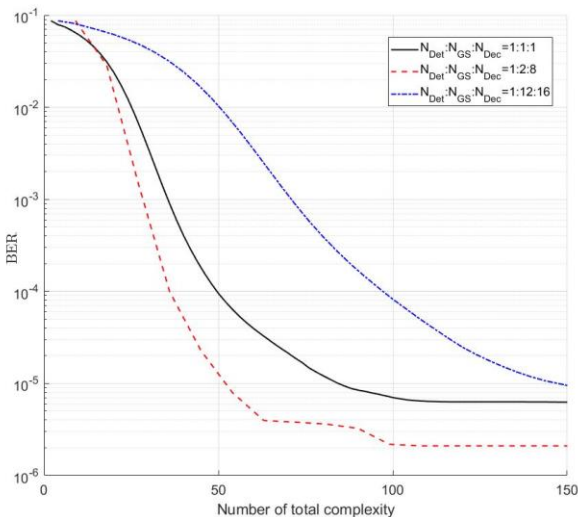


그림 3. BER performance vs Number of total iterations, where 4 x 64 channel, R=1/2 LDPC codes, N=4096, $E_b/N_0 = -17.7db$

본 논문에서는 LDPC Coded Extreme Massive MIMO System With Gauss Seidel-aided MMSE-PIC의 BER 성능 수렴속도 예측과 실제 BER Simulation 결과와 일치함을 확인할 수 있다. 그림 2에서 기존 설계법인 $N_{det}:N_{GS}:N_{dec} = 1:1:1$ 보다 $N_{det}:N_{GS}:N_{dec} = 1:2:8$ 의 BER 성능 수렴속도가 빠르다는 것을 예측할 수 있으며, $N_{det}:N_{GS}:N_{dec} = 1:12:16$ 은 $N_{det}:N_{GS}:N_{dec} = 1:1:1$ 보다 BER 성능 수렴속도가 느린 것을 예측할 수 있다. 그림 3에서는 그림 2에서의 BER 성능 수렴속도 예측과 실제 BER Simulation 결과와 일치함을 확인할 수 있다.

4. 결론

제안한 EXIT 분석법 및 설계법을 활용한다면, LDPC Coded Extreme Massive MIMO System With Gauss Seidel-aided MMSE-PIC의 BER 성능 수렴속도를 높일 수 있음을 확인하였다. 결과적으로, 본 논문에서 제안한 분석법 및 설계법을 활용한다면, 데이터의 고속 처리가 필수적인 차세대 통신시스템(6G)에 매우 중요한 역할을 할 것이다.

5. 사사문구

이 논문은 2024년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구임 (RS-2023-00216221, 지능형 재구성 안테나 기반 5G-Advanced 이동통신 서비스 커버리지 확대 기술 개발). “본 연구는 과학기술정보통신부 및 정보통신기획평가원의 대학 ICT 연구센터육성 지원사업의 연구결과로 수행되었음”(IITP-2024-RS-2022-00156353).

6. 참고 문헌

- [1] M. Zhang and S. Kim, "Evaluation of MMSE-Based Iterative Soft Detection Schemes for Coded Massive MIMO System," in *IEEE Access*, vol. 7, pp. 10166-10175, 2019.
- [2] T. J. Richardson, M. A. Shokrollahi and R. L. Urbanke, "Design of capacity-approaching irregular low-density parity-check codes," in *IEEE Transactions on Information Theory*, vol. 47, no. 2, pp. 619-637, Feb 2001.
- [3] S. ten Brink, "Convergence behavior of iteratively decoded parallel concatenated codes," in *IEEE Transactions on Communications*, vol. 49, no. 10, pp. 1727-1737, Oct. 2001.