

저밀도 패리티 체크 부호의 사후 처리 복호 기법을 위한 중단 기법에 대한 연구

*양필웅°, *전보환, *노종선, **박호성

*서울대학교 전기정보공학부, 뉴미디어통신공동연구소

**전남대학교 전자컴퓨터공학부

A stopping criterion for backtracking post-processing scheme for LDPC codes

*Pilwoong Yang°, *Bohwan Jun, *Jong-Seon No, and **Hosung Park

*Department of Electrical and Computer Engineering, Seoul National University

** School of Electronics and Computer Engineering, Chonnam National University

yangpw@ccl.snu.ac.kr, netjic@ccl.snu.ac.kr, jsno@snu.ac.kr, hpark1@jnu.ac.kr

요 약

본 논문에서는 LDPC 부호의 사후 처리 복호 방식으로 이용되는 backtracking 기법을 위한 중단 기법을 제안한다. 복호 실패를 선언하기 위해 허용된 최대 반복 횟수만큼의 복호를 수행 하는 기존의 방식에 비해 제안된 중단 기법은 높은 오류 탐지율과 함께 필요한 반복 횟수를 현저히 줄일 수 있었으며 이를 모의 실험을 통해 검증한다.

1. 서론

순방향 오류 정정(forward error correction, FEC) 부호로서의 저밀도 패리티 체크 (low-density parity-check, LDPC) 부호는 피드백 없이도 채널 한계 용량에 근접한 성능으로 다양한 통신 시스템, 저장 매체에 적용 되어 널리 사용되고 있다. 허나 LDPC 부호는 유한한 길이로 적용될 때 높은 신호 대 잡음비(SNR)에서 성능 향상 폭이 급격히 감소하는 오류 마루 현상을 보인다.

오류 마루 현상은 부호의 작은 최소 해밍 거리 (minimum Hamming distance) 또는 트래핑 집합 (trapping set)과 같은 부호 내의 특정한 구조에 의해 발생 하는 것으로 알려져 있다. 이러한 오류 마루 현상을 줄이기 위한 다양한 연구가 진행되어 왔으며, 최소 순환 길이를 늘리고 컴퓨터 검색을 통해 특정 트래핑 집합을 미리 제거하는 LDPC 부호의 설계 방법을 제안 하거나 첫 번째 복호 실패 후 사후 처리 복호를 통해 오류 마루를 제거하는 연구들이 이에 해당한다. 사후 처리 복호를 통해 오류 마루를 제거 하는 경우, 첫 번째 복호의 실패 후 얻은 정보를 이용하여 재 복호를 시도하므로 높은 성능을 얻을 수 있다는 장점이 있으나 한 번의 복호 실패를 판정 하기 위해 한계 반복 횟수 만큼의 시간 및 복잡도를 필요로 한다는 단점이 있다. 본 논문에서는 이를 위하여 사후 처리 복호 방법을 위한 첫 번째

복호 시 빠른 판정을 위한 중단 기법을 제안하고 이를 다른 중단 기법과 비교 분석 하고자 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2 장과 3 장에서는 각각 LDPC 부호의 사후 처리 복호기법을 소개하고 이를 위한 기존의 중단 기법과 새로운 중단 기법을 제안하도록 한다. 4 장에서는 제안한 중단 기법의 성능을 살펴보고 마지막으로 결론을 맺는다.

2. LDPC 부호의 사후처리 복호기법

오류 마루 현상을 줄이기 위한 다양한 LDPC 부호의 사후 처리 복호 기법이 제안 되어 왔으며, 본 논문에서는 backtracking 사후처리 복호기법을 위한 중단 기법을 제안하고자 한다. [1], [2]에 제안된 사후 처리 복호기법이 이에 해당하며, 의심스러운 변수 노드의 순서를 정한 뒤 순차적으로 값에 변형을 가한 후 반복적으로 복호를 시도해보는 사후 처리 방식을 따른다. Backtracking 사후처리 기법은 아래와 같은 복호 방식을 따른다.

- 1) 모든 변수 노드를 채널 값으로 초기화
- 2) 첫 번째 BP 복호를 수행, 매 반복 복호 때마다 불만족 체크 노드(C)를 저장
- 3) 복호에 성공했다면 종료, 실패 시 사후 처리 복호기법 시작
- 4) 첫번째 BP 복호의 수행 시 저장된 불만족 체크 노드 중 가장 적은 수의 체크 노드를

- 저장한 반복 시기로 돌아가, 해당 체크노드들에 연결된 변수 노드 $N(C)$ 를 저장
- 5) 변수 노드의 초기 채널 값, 정지 시의 복호 값 등 여러 정보를 종합하여 변수 노드 $N(C)$ 의 신뢰도를 파악
 - 6) 낮은 신뢰도의 변수 노드부터 변형을 가한 뒤 처음으로 돌아가 BP 복호기 수행
 - 7) 복호에 성공 시 종료, 실패 시 6)에서의 변형을 복구 하고 다음 신뢰도를 가진 변수 노드에 변형을 가한 후 재 복호를 수행

위의 과정 중 5)와 6)에 해당하는 변수 노드 $N(C)$ 의 신뢰도 파악 및 변수 노드의 변형은 각 논문에 따라 다르게 적용 된다. 허나 이러한 backtracking 방식은 2)와 4)에 나타낸 것과 같이 반복 복호 중 불만족 체크 노드를 기록 하여 이 중 가장 적은 수의 불만족 체크 노드를 선택 한다는 공통점이 있다.

3. 제안된 중단 기법

이전 단락에서 소개한 방식의 사후 처리 복호에서는 첫번째 복호에서 불만족 체크 노드의 수를 체크한 후, 복호 실패 판정 시 이 중 가장 적은 수의 불만족 체크 노드의 수를 기록했던 때의 체크 노드를 기준으로 사후 처리 복호가 진행된다.

일반적으로 복호 실패를 판정하기 위해서는 최대 허용 반복 복호 횟수에 도달할 때까지 모든 체크 노드를 동시에 만족시키지 못해야 한다. 따라서 수십 회의 불필요한 반복 횟수가 필요하며, 이로 인한 복호 시간 및 불필요한 복잡도가 요구 된다.

본 논문에서 제안하는 중단 기법은 최대한 빠른 시간에 복호의 실패를 감지하여 사후 처리 복호 기법으로 들어가도록 하며, backtracking 사후 처리 복호에서 필요로 하는 최소 개수의 불만족 체크 노드를 효과적으로 판단 하는 것을 목표로 한다. i 번째 반복 횟수 시기 때의 불만족 체크 노드의 개수를 $C(i)$ 라 할 때, 아래와 같은 상태를 만족할 때 첫번째 복호를 중단 하고 사후 처리 복호를 시도하도록 한다.

$$C(i) \leq C(i+1) \leq C(i+2) \leq \dots \leq C(i+t), C(i) \leq \tau$$

여기서 t 는 관찰하고자 하는 최대 반복 횟수 이다. 즉, 불만족 체크 노드의 수가 더 이상 감소 하지 않고 증가 하거나 혹은 정지 상태 일 때, 복호기가 복호를 실패했음을 선언하고 사후 처리 복호에 들어가도록 한다. 이 때 사후 처리 복호를 위한 불만족 체크 노드의 세트는 $C(i)$ 개의 불만족 체크 노드가 된다. 또한, $C(i)$ 개의 불만족 체크 노드의 수는 τ 로 제한되어, 사후처리복호에 들어가도 복호가 불가능한 불안정한 오류를 탐지해내거나 목표로 하는 트래핑점합의 크기를 결정하는 임계 값 역할을 한다.

4. 모의 실험

본 모의 실험에서는 제안한 중단 기법이 기존의 중단기법과 비교하여 얼마나 효율적인지 알아본다. 비교 대상이 되는 중단 기법은 불만족 체크 노드의 개수가 특정 개수 이하가 되면 중단 하는 기법[1], 또한 불만족 체크 노드의 개수가 수 회 반복 동안 변하지 않고 유지 될 때 중지 하는 기법[2]이다. 802.16e 표준의 2304 길이의 1/2, 3/4 부호를 예시로, 제대로 복호 될 수 있는 부호어를 잘못 감지 하는 부정확한 오류 탐지 비율, 정확한 오류 탐지 비율, 탐지 시의 평균 반복 횟수를 비교로 한다.

	부정확한 오류 탐지		
	[1]	[2]	Proposed
802.16e R=1/2	39.70%	0.47%	0.62%
802.16e R=3/4	26.62%	0.02%	0.03%
	정확한 오류 탐지		
	[1]	[2]	Proposed
802.16e R=1/2	95.87%	88.46%	99.00%
802.16e R=3/4	66.72%	76.06%	97.39%
	정확한 탐지 시 평균 반복 횟수		
	[1]	[2]	Proposed
802.16e R=1/2	6.88	9.46	7.59
802.16e R=3/4	6.42	10.11	5.60

제안된 부정확한 오류 탐지율이 높은 [1]의 방식에 비해 높은 탐지율을 가지며 [2]에 비해 정확한 오류 탐지를 보이면서도 필요한 평균 반복횟수를 줄일 수 있었다.

5. 결론

본 논문에서는 LDPC 부호의 backtracking 사후 처리 복호 방식에 적합한 중단 기법이 제안 되었다. 제안된 기법은 기존 기법에 비해 높은 오류 탐지율을 가지며 평균 반복 횟수를 유의미하게 줄일 수 있었다.

6. 참고문헌

- [1] J. Kang, Q. Huang, S. Lin, and K. A.-Ghaffar, "An iterative decoding algorithm with backtracking to lower the error-floors of LDPC codes," IEEE. Trans. on Comm., vol. 59, no. 1, pp. 64-73, Jan. 2011.
- [2] X. Zhang and S. Chen, "A two-stage decoding algorithm to lower the error-floors for LDPC codes," IEEE Comm. Lett., vol. 19, no. 4, pp.517-520, Feb. 2015.
- [3] T. Richardson and R. Urbanke, "The capacity of low-density parity-check codes under message-passing decoding," IEEE Trans. Inform. Theory, vol. 47, no. 2, pp. 599-618, Feb. 2001.
- [4] S. Lin and D. J. Costello, Jr., *Error Control Coding, 2nd Ed. NJ: Prentice Hall, 2004.*