

# 이진 소실 채널 복호를 이용한 신뢰기반 LDPC 반복 복호

\*김 상 호

성균관대학교 정보통신공학부  
e-mail : iamshkim@skku.edu

## Iterative Reliability-based Decoding of LDPC Codes with Low Complexity BEC Decoding

\*Sang-Hyo Kim

School of Information and Communication Engineering  
Sungkyunkwan University

### Abstract

In this paper, a new iterative decoding of LDPC codes is proposed. The decoding is based on the posteriori probability of each belief propagation (BP) decoding and an additional postprocessing, that is, erasure decoding of LDPC codes. It turned out that the new method consistently improves the decoding performance on various classes of LDPC codes. For example it removes the error floor of Margulis codes effectively.

### I. 서론

Fossorier는 신뢰도 정렬을 이용하여 신뢰 전파 복호의 성능을 향상시키는 기법을 제안하였다[1][2]. 이는 신뢰도 기반 반복 복호 기법 (iterative reliability-based decoding: IRD)으로 부를 수 있다. IRD는 기본적으로 신뢰 전파 복호기에 사후 처리기를 추가한 시스템으로 신뢰 전파 복호(belief propagation decoding)의 사후 로그 우도를 정렬한 후 경관정한 결과로부터 가우스 소거법을 이용, 해당 부호어를 찾아내는 방법이다. 이 기법은 신뢰 전파 복호의 준최적성을 보완하여 최대우도 복호에 근접하는 기법이 된다.

그러나, 가우스 소거법이 일반적인 부호어의 부호에 대해서 길이에 세제곱의 복잡도를 갖기 때문에 긴 길이의 부호에 대해서 복잡도의 과도한 증가의 문제점을 갖는다. 본 논문에서는 선형 복잡도를 갖는 사후 처리 기법을 도

입한 반복적 신뢰 기반 복호를 제안한다. 제안된 기법은 짧은 길이의 LDPC 부호에 대해서 부호화 이득을 개선시키고, 긴 길이의 부호에 대해서는 오류마루를 효과적으로 낮추는 것이 확인되었다.

### II. 본론

#### 2.1 새로운 신뢰도 기반 반복 복호 기법

신뢰 전파 알고리즘은 채널로부터 얻은 로그우도율(LLR)  $l$ 을 입력으로 갖는다.  $i$ 번째 신뢰 전파 복호의 출력을  $l^{(i)}$ 라 하자. LDPC 부호의 유한 길이 특성에 의해서 이는 정확한 LLR을 반영하지 못하므로 의사 LLR이라 부를 수 있다. 입력 LLR인  $l$ 을  $l^{(0)}$ 으로 표현한다.  $i$ 번째 신뢰 전파 복호 후에 출력되는 의사 LLR을  $l^{(i)}$ 로 표현한다.

표 1. 새로운 신뢰 기반 반복 복호 과정

- |   |
|---|
| <p>A. 신뢰전파 복호</p> <p>B. 신드롬 검사 중지 기법 적용</p> <p>C. 신뢰 기반 복호</p> <p>(a) <math>l_j^{(i)}</math>를 신뢰도 순으로 정렬</p> <p>(b) 채널 벡터 생성 (경관정 벡터에서 최대 <math>r</math>비트 반전)</p> <p>(c) BEC 복호로 부호어 집합 <math>\mathcal{C}</math> 생성</p> <p>(d) <math>\mathcal{C}</math> 중 <math>D(l^{(0)}, \hat{c}_m)</math>를 최소로 하는 부호어를 후보 부호어 <math>\hat{c}^{(i)}</math>로 선택</p> <p>D. 최대 우도 복호</p> <p>(a) 저장된 최소거리 부호와 비교 후 최소거리 부호 선택</p> <p>(c) <math>i</math>를 1만큼 증가하고 A로 이동</p> |
|---|

표 2. 새로운 BEC 복호기의 복호 과정

<p><b>A. 준비</b></p> <p>(a) <math>\mathbf{v}=(v_0, v_1, \dots, v_{N-1})</math>를 복호 결과를 위한 부호어 벡터라 한다. *가 소실을 의미할 때, <math>\mathbf{v}=(*, *, \dots, *)</math>로 초기화 한다.</p> <p>(b) 체크 노드에 0을 삽입한다. <math>k=0</math>으로 놓는다.</p> <p><b>B. 비트 도입</b></p> <p>(a) <math>v_{s_k} \neq *</math>인 동안 <math>k</math>를 증가시킨다.</p> <p>(b) <math>k=N</math>이면 복호 실패를 선언한다.</p> <p>(c) <math>b_{s_k}^{(i)}</math>를 도입한다. 즉, <math>v_{s_k} = b_{s_k}^{(i)}</math>로 놓고 신뢰 전파 복호를 시작한다.</p> <p><b>C. 신뢰 전파</b></p> <p>(a) <math>j</math>를 새로 도입/복원된 비트 인덱스라 한다.</p> <p>(b) 가지를 통해 <math>i \in V_j</math>인 <math>c_i</math>를 검사한다. 모든 가지가 제거 되었으면, C-(d)로 간다.</p> <p>(c) <math>v_j</math>의 값을 <math>c_i</math>에 더하고 가지를 제거한다. 만약 <math>c_i</math>의 가지가 모두 제거되었고, 누적된 값이 0이면 라벨을 붙이고 C-(b)로 이동한다. 남은 가지가 없는데 누적된 값이 1이면 복호 실패를 선언한다.</p> <p>(d) 라벨이 붙지 않는 노드의 수가 0이면 현재의 <math>\mathbf{v}</math>를 복호 결과로 출력한다.</p> <p>(e) 차수가 1인 체크 노드 <math>c'</math>을 찾는다. 만약 해당되는 체크 노드가 없으면 B-(a)로 이동한다.</p> <p>(f) <math>c'</math>에 누적된 값을 유일하게 연결된 <math>v'</math>로 넣음으로써 해당 비트를 복원한다. C-(a)로 이동한다.</p>
--

표 1은 제안되는 새로운 신뢰도 기반 반복 복호 방법의 간략한 순서도이다. 신뢰 전파 복호 결과를 신뢰도 순으로 정렬하고, 새로운 BEC 복호기를 이용하여 사후 처리를 수행하고 출력되는 부호어들에 대해 최대우도 부호어를 선택한다. 표 2는 사후 처리기인 BEC 복호기 동작의 순서도이다. 경관정된 입력을 정해진 신뢰도 순으로 도입한다. BEC 복호 이전에 미리 정해진  $r$ 에 대해서  $r$ 비트의 비트 반전을 통하여 BEC 복호기로 입력될 입력 벡터를 만든다.  $r$ 는 해당 알고리즘의 차수가 되며, 전체 복호 방식의 복잡도를 결정한다. 본 논문은 선형 복잡도를 갖는  $r=0$ 인 경우에 초점을 맞춘다.

매번 비트가 도입될 때마다 신뢰 전파 복호를 동작시킨다. 높은 신뢰도를 갖는 비트들의 신뢰 전파 결과는 이미 도입된 비트들의 신뢰도를 갖는다고 볼 수 있다. 신뢰 전파 복호가 정지집합(stopping set)을 만나서 멈추게 되면 다음의 신뢰도를 갖는 비트가 입력된다. 단, BEC 복호기 입장에서의 채널은 소실이 포함된 이진 대칭 채널이므로 이러한 이진 소실 채널의 신뢰 전파를 따르다 보면 복원되는 비트에 연결된 패리티 검사 결과에 모순이 생길 수 있게 된다. 이러한 경우는 복호 실패를 선언하고 다음 단계로 진행한다.

2.2 모의실험 결과

그림 1은 Tanner의 (155,64) [3]부호에 대한 성능을 비

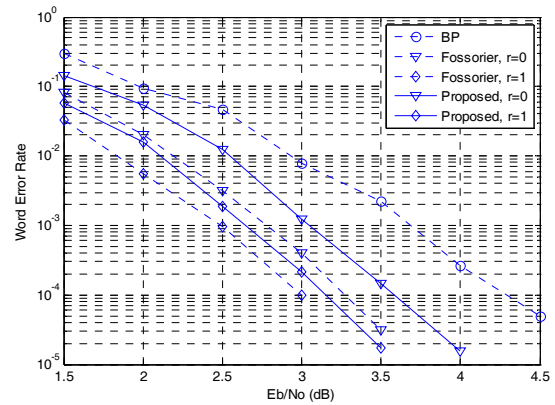


그림 1. Fossorier 알고리즘과 제안 알고리즘의 성능 비교: Tanner (155,64) 부호의 성능.

교한 결과이다.  $r$ 은 알고리즘에서 탐색 공간을 결정하는 차수이다. Fossorier의 기법과 비교하여 성능 열화를 보인다. 하지만, Fossorier의 기법은 가우스 소거법에 의한 길이에 세제곱에 비례하는 반면, 제안 알고리즘은 선형 복잡도를 갖기 때문에 짧은 길이 뿐 만 아니라, 긴 길이의 부호에 대해서도 실용적인 알고리즘이다. 새로이 제안된 알고리즘은 길이에 비해 비교적 높은 오류 마루를 갖는 Margulis의 (2640, 1320) 부호[4]에 대해서 2.4dB의  $E_b/N_0$ 에서 오류 마루의 부호어 오류율 10분의 1수준으로 낮추어 주는 것이 확인되었다.

III. 결론

본 논문에서는 LDPC 부호의 새로운 신뢰도 기반 반복 복호 알고리즘을 제안하였다. 해당 알고리즘은 부호의 길이에 선형의 복잡도를 가지며, Tanner (155, 64) 부호나 Margulis (2640,1320) 부호에 대해서 효과적으로 부호 이득을 높이거나, 오류마루를 낮춘다. Fossorier의 기법과 비교하여 좋은 성능-복잡도의 타협점이 된다.

IV. 참고문헌

[1] M.P.C. Fossorier, "Iterative reliability-based decoding of low-density parity check codes," IEEE J. Select. Areas Commun., vol. 19, pp. 908-917, May 2001.

[2] M.P.C. Fossorier and S. Lin "Soft-decision decoding of linear block codes based on ordered statistics," IEEE Trans. Inform. Theory, vol. 41, no. 5, May 1995.

[3] R.M. Tanner, "A (155,64,20) sparse graph ldpc code," in Recent Results Session of ISIT 2000, June 2000.

[4] D.J.C. Mackay and M.S. Postol, "Weakness of Margulis and Ramanujan-Margulis LDPC codes," ENTCS vol. 74 2000.