

## 비균일 계산을 이용한 창문 복호법의 계산량 개선

이선용, 노종선\*

서울대학교

sonyongyi@ccl.snu.ac.kr, \*jsno@snu.ac.kr

## Improve computational complexity of window decoding, by using non-uniform scheduling.

Lee Seon Yong, No Jong Seon\*

Seoul National Univ. Dept. of Electronics Engineering, INMC

Seoul National University, Seoul National University.

## 요약

본 논문은 SC-LDPC 부호에 쓰이는 창문 복호법(Window decoding)에 비균일한 계산을 부여하여 계산량을 줄이는 방법에 대해 고찰하였다. 계산량을 줄임으로 시간적으로 효율이 높아지고, 계산 복잡도가 낮아짐에 따라 에너지 효율면에서 이득을 볼 수 있게 된다. 본 논문에서는 창문 복호법에서 각 노드의 중요도에 따라 계산 순서와 계산량을 달리하는 방식으로 효율을 높이는 방법에 대해 제안하였다.

## I. 서론

무선정보통신의 목표는 샤는 채널용량에 근접하는 용량을 가지는 것과, 그에 따른 부복호의 계산량을 줄이는 것이다. 근래 복호성능의 향상에 따라, LDPC부호, Convolutional 부호, Polar 부호등의 부호의 경우 채널용량이 샤논이 제시한 용량에 거의 근접하게 되었다. 이에 따라 같은 채널 용량을 가지고 있어도 체계적으로 찾기 쉬운 부호인지, 더 적은 계산복잡도를 가지고 있는지가 연구에서 중요한 역할을 가지게 된다. 이 중 SC-LDPC부호가 샤논 용량에 근접하는 채널용량을 가지는 부호로 대두되었다. SC-LDPC 부호는 간단한 protograph에서 시작해 edge를 spreading 함으로서 이론상 무한한 길이를 가지게 하는 부호이다. 또한 간단한 protograph가 가지는 특성을 가지고 복제하기 때문에 girth 2나 4를 쉽게 피할 수 있어 체계적으로 좋은 부호를 찾기 좋은 부호이다. 이 SC-LDPC부호를 복호하는 방법으로 쓰이는 창문 복호법은 SC-LDPC의 복호에 중요한 부분을 차지하고 있다. 창문 복호는 한쪽 끝의 노드에서 시작해서 창문안에 포함되어 있는 노드들만 신뢰전파 방식을 이용해 복호를 진행하게 되며, 창문이 오른쪽으로 이동(sliding)함에 따라서 복호가 진파되는 특성을 가지고 있다. 창문 복호가 반대쪽 끝에 도착할 때까지 진행되므로 창문 복호의 계산량을 줄이는 것은 SC-LDPC의 복호에 직접적인 영향이 있다. 창문 복호가 가지는 특성상 하나의 창문에서의 계산량 감소는 곧 모든 노드에서의 계산량 감소로 직결되게 된다. 본 논문에서는 창문복호과정에서 노드마다 비균일한 계산을 적용해 계산복잡도를 줄이는 방법에 대해 제안한다. 본 논문에서는 뿐만 아니라 계산 복잡도를 줄임에 따라 머신러닝을 적용하기 조금 더 쉬워지기 때문에 머신러닝을 이용한 디코딩을 추가로 제안해 본다. 머신러닝은 근 몇 년 학계에서 가장 중요한 이슈로서 존재하고 있고, 머신러닝을 이용한 부호 복호에 관한 연구가 이루어지고 있다. SC-LDPC는 같은 구조가 계속해서 반복되는 특징상 머신러닝을 이용한 학습에 데이터로 쓰기에 좋은 특성을 가지고 있다. SC-LDPC의 창문복호 과정에서 하나의 과정들을 전부 하나의 데이터로서 이용하면

효율적인 복호가 가능할 것이다.

## II. 본론

본 논문에서는 창문 복호 과정에서 비균일 계산을 적용하는 방식에 대해 제안한다. 창문 복호는 신뢰 전파(Belief propagation) 복호기를 이용한다. SC-LDPC의 몇 개의 노드를 창문으로 감싸 그 창문 안에서 신뢰전파 복호를 통해 성공한 노드는 통과하고 실패한 노드는 넘어가는 방식의 복호를 이요한다. 이를 통해 이전의 노드에서 정보를 전달받아서 복호를 한방향으로 전파시켜나가는 방식이다(그림 1)

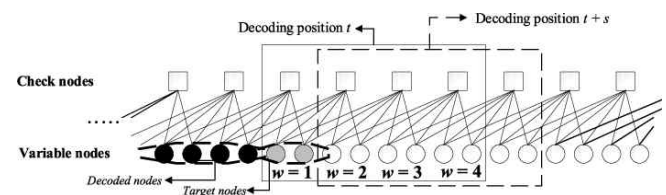


그림 1 창문 복호

창문 복호에서 계산량은 iterative decoding이 진행되는 과정에서 하나의 노드가 몇 번 갱신되었는가를 통해 나타낼 수 있다.

$$U_{avg} = \frac{1}{L} \sum_{t=1}^L U_t$$

$U_t$ 는 창문의 크기가 L일 때 t번째 노드에서 복호과정중 몇 번의 갱신이 일어났는가를 나타낸다. 즉,  $U_{avg}$ 는 하나의 창문에서 한 노드당 평균적으로 몇 번의 갱신이 일어났는가를 나타내고, 이를 통해 계산량을 정의한다. 신뢰 전파에서 Log-likelihood ratio는 다음 식을 통해 전파된다.

$$L_{v_k, c_j} = L_{ch}(v_k) + \sum L_{c_i, v_k},$$

$$L_{c_i, v_k} = 2 \tanh^{-1} \left( \prod \tanh \left( \frac{L_{v_i, c_j}}{2} \right) \right)$$

본래는 창문 안에 있는 모든 노드들이 각 iteration마다 업데이트 된다. 그러나 노드의 갱신을 매 iteration마다 하지 않고 조건을 걸어서 갱신하면 계산량을 줄이면서 더 높은 LLR을 가진 노드들을 전파할 수 있게 할 수 있다.

기존의 논문에서는 노드들을 갱신하는 방식으로 Estimated BER Improvement Based Non-Uniform decoding scheduling을 이용했다.

$$Z(k) = \frac{1}{1 + e^{|L_{out}(k)|}}$$

이를 통해 매 노드마다 노드의 에러확률이 얼마나 줄어드는지를 비교하여 복호를 진행했다. 본 논문에서는 매 iteration마다 노드의 에러확률을 비교하여 parallel 하게 노드를 업데이트 하는 대신 이전의 iteration과 비교하여 LLR의 변화가 큰 노드들만 업데이트하는 방법을 제시한다. Exponential의 역수 함수는 계산하기 어렵지만, 단순 LLR은 계산하기 더 쉽기 때문에 계산량을 줄일 수 있다. LLR 간의 변화비를  $\theta$ 라 두고  $\theta$ 의 값이 0.8 이하인 노드들은 업데이트 하지 않는 방식을 이용하면 계산량을 줄일 수 있다.

또한 단순한 신뢰전파 방식만을 이용하지 않고, Min-sum 복호 방식이나, offset 신뢰전파 방식을 적용하면 계산량이 줄고 노드의 갱신이 효과적인 복호 방식을 고안 할 수 있다.

양자화를 통한 노드의 비트 수 제한은 계산량 상승에 큰 영향을 준다. 각 노드의 양자화를 통해 비트수를 줄이고, 학습 파라미터  $\theta$ 를 신뢰전파에 포함시켜 준 뒤 창문 복호 매 과정을 하나의 epoch이라 생각하고 학습시키면 SC-LDPC 하나를 가지고 복호를 학습시키는 과정을 만들 수 있다.

### III. 결론

본 논문에서는 SC-LDPC의 복호과정에서 계산복잡도를 낮춰 성능을 개선시키는 방법을 제안하였다. 샤논의 채널용량에 거의 근접한 성능을 가지는 최근의 복호에 대해 계산복잡도를 낮추는 것은 좋은 성능향상을 보증한다. 복화 과정의 계산 순서와 우선순위를 바꾸는 것은 기존의 하드웨어를 바꾸지 않고도 적용 할 수 있기 때문에 범용성 또한 뛰어나다. 위와 같은 방식을 Min-sum 복호나, offset 신뢰 전파에 적용하면 더 좋은 성능을 가지는 복호방법도 제안 할수 있을 것이다.

### ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 2020년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 정보통신기술진흥센터의 지원을 받아 수행된 연구임 (R-20160229-002941, IoT 및 클라우드 컴퓨팅을 위한 경량 포스트 양자 암호 시스템 연구)

### 참 고 문 헌

- [1] SHANNON C.E. "A Mathematical Theory of communication," Bell system technical journal, Vol 27, pp.379-423 July. 1948.
- [2] Cover, Thomas M, and Joy A. Thomas. Elements of information theory. John Wiley & Sons, 2012
- [3] Johnson S.J. "Introducing Low-Density Parity-Check

Codes,"School of Electrical Engineering and Computer Science, The University of Newcastle Australia.

- [4] . Najeeb UI Hassan, Daniel J. Costello, Jr. "Non-Uniform Window Decoding Schedules for Spatially Coupled LDPC Codes", IEEE Transactions on communications, vol.65, No.2, Feb. 2017