



매클로린 급수 기반 근사화된 신뢰 전파 복호기를 사용한 극 부호의 성능

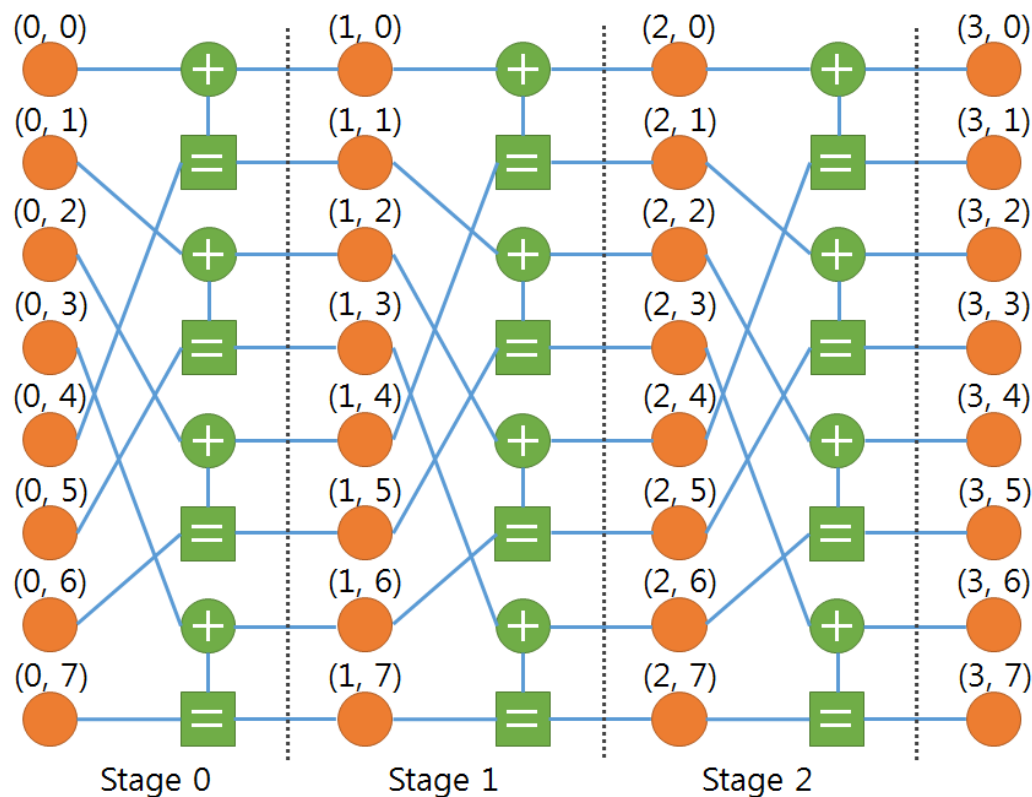
김정현, 송홍엽

연세대학교

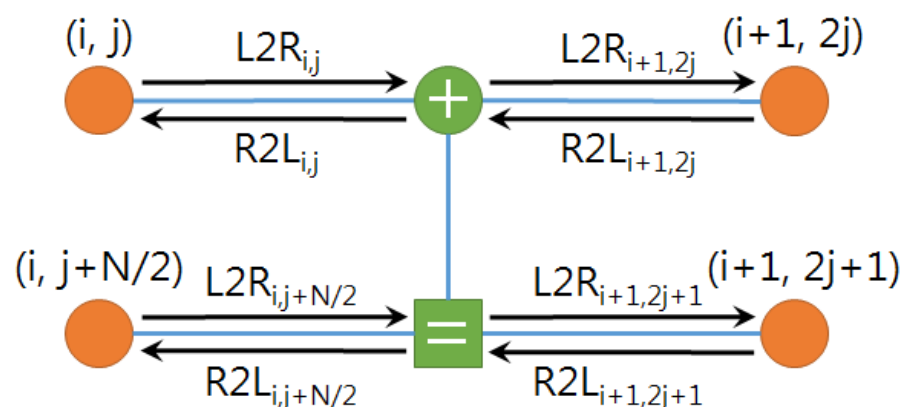
제26회 통신정보 합동학술대회



■ 극 부호의 팩터 그래프(factor graph) 표현



■ 신뢰 전파 복호기에서 메시지 업데이트 과정



■ 매클로린 급수(Maclaurin's Series) 기반 근사화

$$f(x, y) = \text{sgn}(x)\text{sgn}(y) \min(x, y) + \max(0, g(|x + y|)) - \max(0, g(|x - y|))$$

여기서 $g(z) = \log(1 + e^{-z})$.

매클로린 급수 표현에 의해

$$g(z) = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{g^{(n)}(0)}{n!} z^n.$$

위 식에서 일부 항만 선택하여 근사화
예를 들어, 4차까지 근사화한 경우

$$g(z) \approx \log(2) - \frac{1}{2}z + \frac{1}{8}z^2 - \frac{1}{192}z^4.$$



$$f_{prop}(x, y) = \text{sgn}(x)\text{sgn}(y) \min(x, y) + \max(0, g(|x + y|)) - \max(0, g(|x - y|)),$$

여기서 $g(z) = \log(2) - \frac{1}{2}z + \frac{1}{8}z^2 - \frac{1}{192}z^4$.

nN 개의 노드로 구성된 팩터 그래프에서 다음의 함수를 통해 반복 복호 수행 ($N = 2^n$)

$$\begin{aligned} R2L_{i,j} &= f\left(R2L_{i+1,2j}, R2L_{i+1,2j+1} + L2R_{i,j+\frac{N}{2}}\right), \\ R2L_{i,j+N/2} &= f\left(L2R_{i,j}, R2L_{i+1,2j} + L2R_{i+1,2j-1}\right), \\ L2R_{i+1,2j} &= f\left(L2R_{i,j}, R2L_{i+1,2j+1} + L2R_{i,j+N/2}\right), \\ L2R_{i,j} &= f\left(L2R_{i,j}, R2L_{i+1,2j} + L2R_{i,j+\frac{N}{2}}\right), \end{aligned}$$

여기서 $0 \leq i \leq n-1, 0 \leq j \leq N-1$,

$$\begin{aligned} f(x, y) &= \log\left(\frac{1+e^x e^y}{e^x + e^y}\right) \\ &= \text{sgn}(x)\text{sgn}(y) \min(x, y) \\ &\quad + \log(1 + e^{-|x+y|}) - \log(1 + e^{-|x-y|}). \end{aligned}$$

■ 근사화된 신뢰 전파 복호기의 예

■ Min-Sum 복호기

$$f_{MS}(x, y) = \text{sgn}(x)\text{sgn}(y) \min(x, y)$$

■ Normalized (Scaled) Min-Sum 복호기

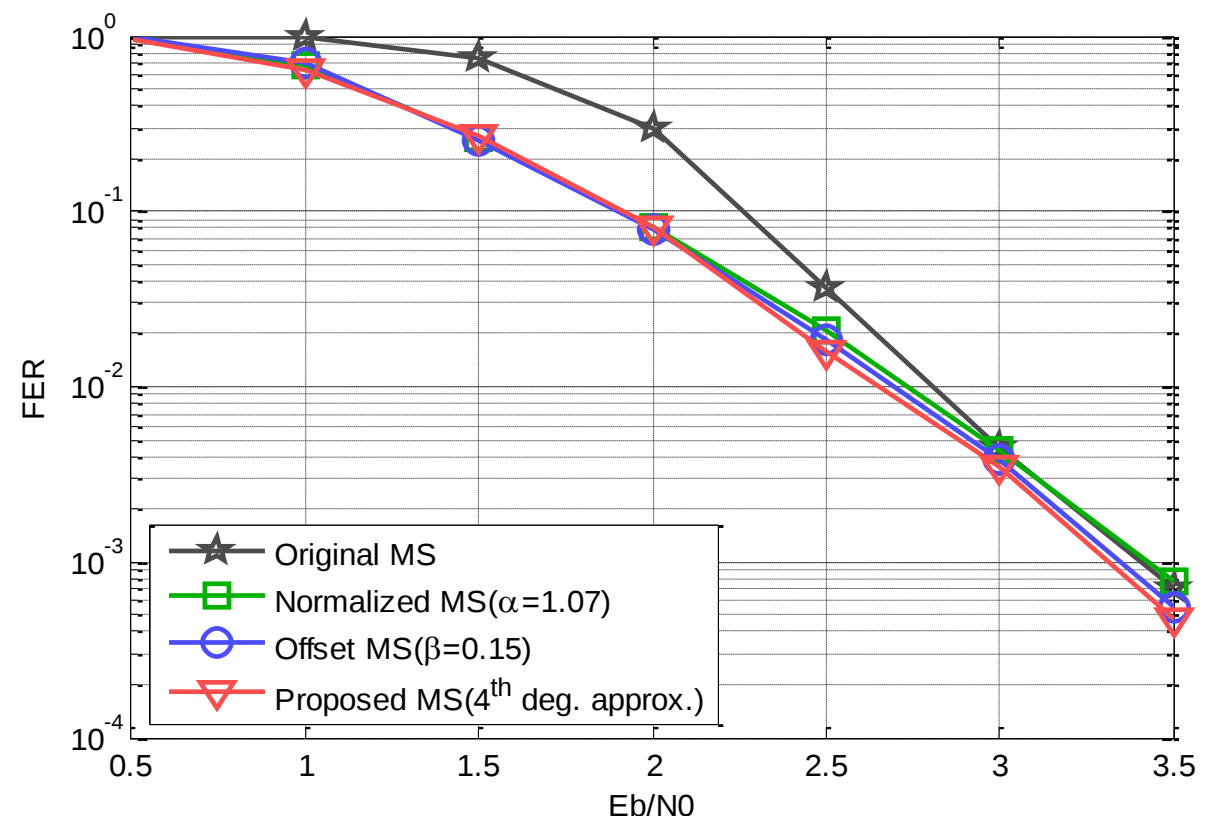
$$f_{nMS}(x, y) = \text{sgn}(x)\text{sgn}(y) \min(x, y) / \alpha$$

■ Offset Min-Sum 복호기

$$f_{oMS}(x, y) = \text{sgn}(x)\text{sgn}(y) \max(0, \min(x, y) - \beta)$$

■ 성능 비교 및 분석

- 기존의 MS 복호기는 성능 열화 발생
- 기존의 Normalized, Offset MS 복호기는 상황에 따른 파라미터 최적화 필요
- 제안된 근사화 방식은 최적화가 필요 없으며 가장 좋은 성능을 보임
- 실험 환경
 - 부호 길이: 1024, 부호율: 0.5, 반복횟수: 200
 - Normalized factor $\alpha = 1.07$, Offset factor $\beta = 0.15$
 - 제안된 방식: 매클로린 급수 4차 근사화



■ 향후 추가 연구 주제

- 연속 제거/연속 제거 리스트 복호기에 적용
- 신뢰 전파 복호 기법을 사용하는 다른 부호에 적용

