

# 계산 복잡도를 줄이기 위한 LDPC 부호의 새로운 복호 방법의 IEEE 802.16e 표준에 적용<sup>†</sup>

\*장민호, \*신범규, \*박우명, \*노종선, \*\*전인산

\*서울대학교 전기.컴퓨터공학부, \*\*한국전자통신연구원

{mhjang, thethi, ppakoo}@ccl.snu.ac.kr, \*jsno@snu.ac.kr, \*\*isjeon@etri.re.kr

## Application of New Decoding Algorithm to LDPC Codes in IEEE 802.16e Standards to Achieve Low Computational Complexity

\*Min-Ho Jang, \*Beomkyu Shin, \*Woo-Myoung Park, \*Jong-Seon No, and \*\*In San Jeon

\*School of EECS, Seoul National University, \*\*SoC Design Research Dept. ETRI

### 요 약

본 논문은 IEEE 802.16e 표준에서 제시한 효율적인 부호화가 가능한 low-density parity-check (LDPC) 부호에 대하여, 두 가지 대표적인 LDPC 부호의 복호 알고리즘을 기반으로 각각 체크 노드 분할을 이용한 변형된 새로운 복호 방법을 적용하여 수렴 속도 개선을 확인한다. 이는 적은 반복으로 동일한 복호 성능을 보장할 수 있기 때문에, 복호 과정에서 연산의 복잡도를 절반 가량 줄일 수 있는 장점을 갖는다. 또한 IEEE 802.16e 표준에서 제시된 LDPC 부호에 성능과 구현 측면에서 가장 적합한 체크 노드 분할 방법으로 비중복 분할 방법을 제안한다. 새로운 복호 알고리즘은 신뢰할 만한 정보의 복원을 보장하면서도 계산 복잡도를 줄일 수 있다는 의미에서 실제 무선 통신 시스템 환경의 복호기를 구현하는데 유용하게 이용될 수 있다.

### I. 서론

1960년대 Gallager [1]에 의하여 제안된 low-density parity-check (LDPC) 부호는 다양한 채널에 대하여 Shannon의 이론적인 한계에 근접하는 우수한 복호 성능을 보인다. 또한 많은 계산량을 필요로 하는 반복 복호의 구현이 최근 비약적인 하드웨어 기술의 발전에 힘입어 상대적으로 용이해지면서 LDPC 부호는 적어도 지난 십여 년간 오류정정부호 분야의 중요한 연구 주제로 주목 받았다. 실제로 LDPC 부호는 통신, 방송, 저장 매체 등 다양한 분야에서 표준으로 제안되어 사용되고 있다.

현재 LDPC 부호에 관련된 다양한 연구는 크게 효율적인 부호화가 가능한 부호의 설계 방법과 복잡도 감소를 위한 복호 방법으로 집약될 수 있다. LDPC 부호의 실용화에 가장 큰 걸림돌이었던 부호화 과정에서 복잡도가 큰 문제점을 해결하려는 노력의 일환으로, 효율적으로 부호화가 가능한 LDPC 부호를 설계하기 위하여 protograph 부호 [2]의 개념을 이용하여 유한 길이를 갖는 블록 형태로 LDPC 부호가 정의되었다. 최근 IEEE 802.16e 시스템 [3]에 채택된 LDPC 부호도 이러한 방식으로 효율적인 부호화가 가능하도록 설계되었다.

대표적인 LDPC 부호의 복호 방법으로 belief propagation (BP) 반복 복호 알고리즘 [4][5]과 min-sum 반복 복호 알고리즘 [6]이 있다. 이러한 반복 복호 과정은 Tanner [7] 그래프를 이용하여 도식적으로 이해할 수 있다. 하지만 반복 복호 방법에서 신뢰할 만한 정보를 복원하기 위해서는 계산 복잡도가 커지게 되므로 구현상 제한 요인이 될 수 있다. 그러므로 복호 과정에서 계산의

복잡도를 감소시킬 수 있다는 의미에서 성능의 수렴 속도를 개선하는 새로운 방법이 필요하다.

본 논문은 체크 노드 분할을 이용한 변형된 반복 복호 방법 [8]을 IEEE 802.16e 표준에 제시된 LDPC 부호에 적용하여 성능의 수렴 속도 개선을 확인한다. 또한 IEEE 802.16e 시스템에 제시된 LDPC 부호에 가장 적합한 체크 노드 분할 방법을 제안한다. 이러한 체크 노드 분할을 이용한 복호 방법은 복호기의 하드웨어 구현이 병렬 처리 방식으로 구현되기 어려운 시스템에서 효과적인 직렬 처리 방식으로 적용될 수 있다. LDPC 부호의 변형된 반복 복호 방법은 계산 복잡도를 줄일 수 있기 때문에 무선 통신 시스템에서 실제 복호기를 구현하는데 사용될 수 있다.

### II. 수렴 속도 개선을 위한 복호 방법

우선 수렴 속도 개선을 위한 변형된 반복 복호 방법을 소개하기에 앞서 알고리즘의 이해를 돕기 위하여 기존의 belief propagation (BP)와 min-sum approximation (MSA) 반복 복호의 개념을 간략하게 설명한다. LDPC 부호의 대표적인 두 가지 복호 방법과 관련된 보다 세부적인 내용은 [5]와 [6]을 참고한다.

반복 복호 방법은 LDPC 부호의 그래프를 구성하는 변수 노드와 체크 노드가 메시지를 반복적으로 교환하는 일련의 갱신 연산을 통하여 오류를 정정하는 알고리즘이다. 편의상 BP 복호 과정에서 모든 메시지는 log-likelihood ratios (LLRs) 값을 사용한다. 그러면 임의의 노드에 대하여, 각각의 출력 메시지는 그 메시지가 전달될 노드로부터 들어오는 하나의 선 (edge)을 제외한 모든 유입 메시지들의 합수로 나타낼 수 있다. 보다 구체적으로 변수 노드의 경우에 이 함수는 유입 메시지들의 합의 형태로 단순하게 표현되지만, 체크

<sup>†</sup> 본 연구는 교육인적자원부, 산업자원부, 노동부의 출연금으로 수행한 최우수실험실 지원사업과 정보통신부의 출연금으로 수행한 한국전자통신연구원 과제의 연구 결과입니다.