[7-12] Irregular LDPC 부호용 적응 정규화 UMP-BP 복호 알고리즘

김 용 준, 김 남 식, 박 현 철
한국정보통신대학교 공학부
{kyj8498, nskim, and hpark}@icu.ac.kr

Adaptive Normalized UMP-BP Decoding Algorithm for Irregular Low-Density Parity Check Codes

Ynngjun Kim, Namshik Kim ,and Hyuncheol Park
School of Engineering
Information and Communications University

요 약

본 논문에서는 irregular LDPC 부호에 대해서 적응 정규화 계수(Adaptive normalized factor)를 이용한 UMP-BP 복호 알고리즘을 제안한다. 이 알고리즘은 regular LDPC 부호에서 사용되는 modified UMP-BP 알고리즘[9]을 irregular LDPC 부호로 확장 적용한 것이다. 제안된 알고리즘의 복잡도는 BP 알고리즘보다 적으며 AWGN 채널의 high SNR 에서는 BP 알고리즘과 거의 같은 성능을 나타낸다.

I. 서 론

1962 년 Gallager 에 의해 처음 제안된 Low-density parity check codes (LDPC) 부호 [1]는 parity check matrix 의 원소들의 대부분이 ? 인 선형 블록 부호로서 당시의 기술력으로 구현이 불가능한 복잡도로 인해 오랫동안 잊혀져 왔다. 그러나 Mackay 와 Neal [2]이 이를 재발견하였고, Gallager 의 간단한 확률적(Probabilistic) 복호법을 이용하여 우수한 성능을 얻을 수 있음을 보였다. LDPC 부호는 이진 대칭 채널과 AWGN 채널에서 매우 우수한 성능을 얻을 수 있다. LDPC 부호는 Shannon 의 한계에 근접하는 성능을 보인다.[3]

LDPC 부호는 다음과 같은 특성을 가지는 패리티 검사 행렬 $\mathbf{H}$ 의 null 공간으로 정의되어진다. (1) 각 행은 ρ 개의 ? 로 이루어진다. (2) 각 열은 λ 개의 ? 로 이루어진다. (3) 임의의 두 열 사이에서 같은 위치에 있는 ? 의 개수를 g 라고 하면, g 는 1 보다 크지 않다. 즉 $g=0$ 또는 1 이다. (4) ρ 와 λ 는 코드의 길이와 $\mathbf{H}$ 의 행의 개수와 비교해서 작은 수이다. 이처럼 행과 열의 weight 가 일정하면 regular LDPC 부호라고 한다. Irregular LDPC 부호 [4]는 다수의 column weight 와 row weight 를 가지는 parity check matrix $\mathbf{H}$ 에 의해 정의된다. Tanner graph 에서 보면 비트 노드와 체크 노드는 다수의 degree 를 가진다. 일반적으로 regular LDPC 부호보다 irregular LDPC 부호의 성능이 더 좋다고 알려졌다.

LDPC 부호의 복호화 방식에는 확률값을 이용하는 방식과 이진수를 이용하는 방식으로 구분되어진다. Gallager 의 첫번째 복호 방식은 전형적인 이진수를 이용하는 방식이다. 이러한 이진수를 이용하는 방식은 낮은 복잡도를 가지는 장점이 있지만 성능이 확률값을 이용하는 방식에 비해 매우 낮다는 단점이 있다. Gallager 가 제안한 확률적 복호 방식이 확률값을 이용하는 방식의 전형적인 예로써 현재 주로 사용되는 Belief Propagation (BP) 알고리즘 [5]과 매우 흡사하다. 이러한 확률값을 이용하는 방식은 뛰어난 성능을 가지는 반면 복잡도가 매우 높다는 단점이 있다. 이러한 단점은 복호화 과정이 수신된 신호의 확률값을 반복적으로 여러 번 이용하는 형태로 구성되기 때문이다. 확률적 복호 방식은 처음 제안되었을 당시 구현에 어려움이 있어 많이 사용하지 않았다. 그러나 현재 BP 알고리즘이 LDPC 부호의 가장 우수한 복호화 방식으로 사용되어지고 있다. 또한 현재 성능의 열화는 줄이면서 복잡도를 개선한 새로운 알고리즘이 제안되었다. 그 중에 BP 알고리즘의 한 과정을 단순화하여 복잡도를 개선한 알고리즘을 Uniformly Most Powerful (UMP) BP-based 알고리즘 [6]이라 부른다.

이 방식은 단순화 과정에서 발생하는 오차 때문에 BP 알고리즘에 비해 성능의 열화는 필연적으로 발생한다. 위에서 언급한 방식과 같이 반복 복호화 방식은, 만일 첫번째 복호과정이 잘못되어지면 전체에 심각한 영향을 준다. 그러므로 UMP-BP 알고리즘의 첫번째 복호화 과정의 오차를 줄이기 위하여 [7]의 저자들은 정규화 계수를 이용하였다. 이 계수 값은 일정한 SNR 에서 근사값의 평균을 참값의 평균으로 나누어 구하였다. [9]에서는 minimum mean square error (MMSE)방법으로 더 정확한 정규화 계수를 구했고 성능의 열화도 적음을 보였다. 이 방법을 modified UMP-BP 알고리즘이라고 한다. 본 논문에서는 이 modified UMP-BP 알고리즘을 irregular LDPC 부호로 확장하는 방법을 기술한다. Irregular LDPC 부호의 첫번째 반복 복호과정에 대한 새로운 정규화 계수는 Monte Carlo 시뮬레이션과 선형 보간법을 사용해서 구한다. 그리고 마지막으로 BP, UMP-BP, 제안된 알고리즘의 성능을 비교한다.

II. BP, UMP-BP, Modified UMP-BP 알고리즘

II.a. BP 알고리즘 [5]

이 절에서는 BP (belief propagation) 알고리즘에 대해서 간단하게 기술한다. 먼저 BPSK 변조방식과 AWGN 채널을 가정하자. 부호어를 $\mathbf{c}$, 송신 신호를 $\mathbf{x}$, 수신 신호를 $\mathbf{y}$, 채널을 잡음을 $\mathbf{n}$ 이라 하면 $\mathbf{y}=\mathbf{x}+\mathbf{n}$ 을 만족한다. 여기