

터보부호의 효율적인 반복중단 알고리즘 구현에 관한 연구

*정대호, 이태욱, 김민기, 김환용
 원광대학교 전자공학과
 e-mail : jdh@wonkwang.ac.kr

Study on Implementation of Efficient Iterative Stopping Rules of Turbo Code

*Dae-Ho Jeong, Tai-Wook Lee, Min-Ki Kim, Hwan-Yong Kim
 Department of Electronic Engineering Wonkwang University

Abstract

In this paper, it proposes an efficient iterative stopping rules using absolute mean values for the LLR difference values between the first and second decoder in the present decoding process. It is verifying that the proposal algorithm can be reduced the average number of iterations compared to conventional scheme with a negligible degradation of the error performance.

I. 서론

터보부호는 반복복호 기법을 사용하여 비트 에러율 관점에서 샤논 한계에 근접하는 아주 우수한 오류정정 능력을 가지는 것으로 알려져 있다^[1].

터보부호의 복호기는 연판정값을 출력하는 SISO(Soft-input Soft-output) 방식을 사용하며 터보부호의 구조상 두 개의 복호기로 구성된다^[2]. 각 복호기가 생성하는 연판정값을 다른 복호기에 넘겨주어 반복복호를 수행한다. 이러한 반복복호 동작은 터보부호의 복호 과정에서 반복 횟수가 증가할수록 BER 성능은 점차 좋아지게 되지만 고정된 반복 횟수를 고려하면 다양한 채널 환경에서 SNR이 증가할 경우에는 무의미한 반복이 이루어져서 복호하는데 필요한 계산량과 지연 시간이 증가하게 된다^[2]. 따라서 무의미한 반복에 의한 계산량과 지연시간을 줄이기 위해서는 반복복호를 효율적으로 중단시킬 수 있는 효율적인 반복중단 기법이 필요하게 된다.

본 논문에서는 터보 복호기의 현재 복호 과정에서 첫 번째 복호기와 두 번째 복호기의 LLR(Log Likelihood Ratio)의 차이값에 대한 절대평균값을 중단조건으로 이용하여 BER 성능의 손실없이 모든 SNR 영역에서 평균 반복복호 횟수를 크게 감소시킬 수 있는 효율적인 반복중단 알고리즘을 제안한다.

II. 반복중단 알고리즘

2.1 외부정보 값에 대한 분산값을 이용하는 방법

외부정보 값에 대한 분산값을 이용하는 방법은 현재 복호 과정에서 터보 복호기의 외부정보 값에 대한 분산값을 구한 후에 그 값을 임의의 임계값과 비교하여 반복복호를 중단하는 것으로 중단조건은 식 (1)과 같다^[3]

$$\text{Var}(L_{e2}^{(i)}(d_k)) > K \cdot \text{Var}(L_{e2}^{(1)}(d_k)) \quad (1)$$

식 (1)에서 K 는 반복복호를 중단시키기 위한 임계값으로서 8~12사이의 값을 가진다. $\text{Var}(L_{e2}^{(1)}(d_k))$ 는 두 번째 복호기의 첫 번째 반복에서의 외부정보의 분산값을 나타내며, $\text{Var}(L_{e2}^{(i)}(d_k))$ 는 두 번째 복호기의 i 번째 반복에서의 외부정보의 분산값을 나타낸다.

2.2 SDR(Sign Difference Ratio)

SDR 알고리즘은 현재 복호 과정에서 복호기의 사전 정보 값인 $L_{e2}^{(i)}(d_k)$ 와 외부정보 값인 $L_{e2}^{(i)}(d_k)$ 의 부호가 변화하는 갯수를 비교하여 복호를 중단하는 것으로 중단조건은 식 (2)와 같다^[4].

$$D^{(i)} = \begin{cases} \geq p \times N, & \text{continue the iteration} \\ < p \times N, & \text{stop the iteration} \end{cases} \quad (2)$$

식 (2)에서 N 은 프레임 크기를 나타내며, p 는 터보 복호기의 사전정보 값과 외부정보 값의 부호변화율을 의미한다. 여기서, 반복복호를 중단하기 위한 임계값인 p 는 $0.001 \leq p \leq 0.01$ 사이의 값을 가진다.

p 가 작은 값일수록 평균 반복복호 횟수가 증가하는 단점을 가지며 프레임 크기가 증가하면 식 (2)에 나타난 부호변화율이 증가하게 되고, 임의의 프레임 크기에 대해서 SNR이 높아질수록 p 는 작아져야만 한다.

III. 제안된 반복중단 알고리즘

본 논문에서는 터보 복호기의 현재 복호과정에서 첫 번째 복호기와 두 번째 복호기의 LLR의 차이값에 대한 절대평균값을 중단조건으로 이용하여 BER 성능의 손실없이 모든 SNR 영역에서 평균 반복복호 횟수를 크게 감소시킬 수 있는 효율적인 반복중단 알고리즘을 제안한다. 터보 복호기의 첫 번째 복호기와 두 번째 복호기의 LLR 값을 구하고 각 프레임의 모든 비트에 대하여 현재 복호과정에서 LLR의 차이값을 구하면 식 (3)과 같다.

$$D(i) = |L_2^{(i)}(d_k) - L_1^{(i)}(d_k)| \quad (3)$$

여기서, $L_2^{(i)}(d_k)$ 는 두 번째 복호기의 LLR 값을 의미하고, $L_1^{(i)}(d_k)$ 는 첫 번째 복호기의 LLR 값을 의미한다. 식(3)에서 N 개의 정보비트에 대하여 평균값을 구하면 식 (4)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\bar{M}(i) = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N D(i) \quad (4)$$

최종적으로 식 (4)를 이용하여 반복복호를 중단할 수 있는 중단조건을 구하면 식(5)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\bar{M}(i) \geq TH \cdot \bar{M}(1) \quad (5)$$

여기서, i 는 반복복호 횟수이며 $\bar{M}(i)$ 는 i 번째 반복복호에서 LLR의 차이값에 대한 절대평균값을 나타낸다.

IV. 모의실험 및 결과

본 논문에서 구현된 반복 횟수 제어기는 각각의 터보 복호기의 LLR 계산부에서 출력된 LLR 값을 입력으로 받아서 메모리에 저장한 후에 LLR 값에 대한 차이값을 계산한다. 계산된 차이값에 대하여 절대값 연산을 수행한 후에 평균값 연산을 수행한다.

본 논문에서 구현된 반복 횟수 제어기의 내부 구성 블록은 연판정 출력값 저장부, 차이값 계산부, 절대값 계산부, 평균값 계산부, 반복 횟수 제어부로 구성되며 반복 횟수 제어부는 3개의 하부 기능 블록인 임계값 저장부, 비교부, 반복복호 중단신호 출력부로 구성하였다.

그림 1은 반복중단 알고리즘에 따른 평균 반복복호 횟수를 비교한 것이다. 그림 1에 나타난 바와 같이 SDR 알고리즘은 낮은 SNR 영역에서 초기 반복 횟수 동안에 사전정보 값의 부호와 외부정보 값의 부호가 불일치할 확률이 매우 높기 때문에 낮은 SNR 영역에서 반복복호를 중단하기 위한 중단조건인 부호변화율이 증가하게 되므로 상대적으로 반복 횟수가 증가하는 단

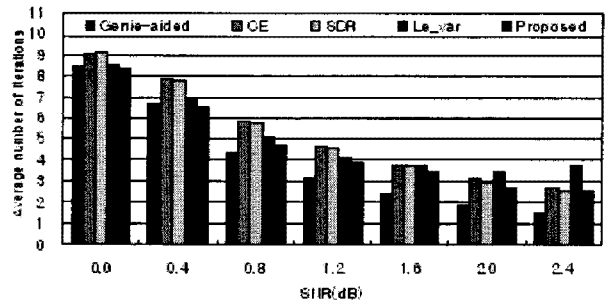


그림 1. 반복중단 알고리즘에 따른 반복 횟수의 비교

점을 가진다. 또한 외부정보 값에 대한 분산값을 이용한 방법은 높은 SNR 영역에서 평균 반복복호 횟수가 증가하게 되는 단점을 가진다. 모의실험 결과, 제안된 알고리즘의 평균 반복복호 횟수는 낮은 SNR 영역에서 SDR 알고리즘과 비교하여 최대 20.58% 정도의 감소효과를 나타냈으며, 높은 SNR 영역에서 외부정보 값에 대한 분산값을 이용한 방법과 비교하여 최대 28.74% 정도의 감소효과를 나타내었다.

IV. 결론

본 논문에서는 터보 복호기의 현재 복호 과정에서 첫 번째 복호기와 두 번째 복호기의 LLR의 차이값에 대한 절대평균값을 중단조건으로 이용하여 BER 성능의 손실없이 모든 SNR 영역에서 평균 반복복호 횟수를 크게 감소시킬 수 있는 효율적인 반복중단 알고리즘을 제안하였다. 제안된 알고리즘은 BER 성능의 손실없이 평균 반복복호 횟수면에서 기존의 알고리즘보다 감소함을 확인하였다.

참고문헌

- [1] C. Berrou, A. Glavieux, and P. Thitimajshima, "Near Shannon Limit Error Correcting Coding and Decoding : Turbo Codes," Proc. of the ICC, pp. 1064-1070, May 1993.
- [2] S. Pietrobon, "Implementation and Performance of a Turbo/MAP Decoder," Int. J. Satellite Comm., vol. 16, pp. 23-46, Jan-Feb. 1998.
- [3] B. H. Kim and H. S. Lee, "Reduction of the Number of Iterations in Turbo Decoding using Extrinsic Information," IEEE TENCON, 1999.
- [4] Y. Wu, B. D. Woerner and W. J. Ebel, "A Simple Stopping Criterion for Turbo Decoding," IEEE Communications letters, vol. 4, no. 8, pp. 258-260, Aug. 2000.