

효율적인 저전력 터보 복호기

배 성 일(裴 晟 日), 김 재 석(金 在 錫)
연세대학교 전자공학과 VLSI&CAD 연구실
전화 : (02) 361-4018 / 팩스 : (02) 312-4584

Efficient Low-Power Turbo Decoder

Sung Il Bae, Jae Seok Kim
VLSI&CAD Lab., Dept. of Electronic Eng., Yonsei University
E-mail : anet0727@asic.yonsei.ac.kr

Abstract

In this paper, we propose a new design of turbo decoder. It contains the simple additional unit which automatically decides the number of the iteration by detecting of the reliability value as threshold value. We investigate the relationship between the reliability value and the number of the iteration. We find the optimal threshold value without noticeable loss in performance. As a results of the simulation, it reduces the average number of the iteration compared with the conventional turbo decoder.

I. 서론

1993년, Berrou et al. 에 의해 소개된 터보 부호 (turbo codes)는 이전의 오류 정정 부호에 비해 비교적 간단한 구조와 뛰어난 BER 성능을 보여, 채널 부호에 큰 변혁을 가져왔다[1]. 이전까지 길쌈부호나 연접부호의 성능에만 만족을 해왔던 오류 정정 방식이 더 이상 최선이 아니라는 것으로 밝혀져, 연구자들의 연구방향을 새로이 제시하게 되었다. 이 터보 부호는 Shannon Limit에 근접하는 성능을 보여, 최근의 고속 데이터를 처리해야 하는 디지털 통신에의 적용이 가속화되고 있다. 터보 부호는 현재 차세대 이동통신인 IMT-2000의 데이터 통신의 부호 방식으로 제안되어 그 성능이

인정되었다.

터보 부호는 기본적으로 2개 이상의 RSC(Recursive Systematic Convolutional) 부호기를 이용하는 병렬연접 부호이다. 이 두 부호기는 인터리버에 의해 서로 순서가 뒤섞여진 입력을 받아 부호열을 출력한다. 복호에 있어서는, 이 두 개의 부호화된 정보와 Systematic한 정보를 이용하여 반복복호를 수행하여 정보를 복원한다. 복호방식에는 Bahl et al. 알고리즘을 응용한 MAP (Maximum A-Posteriori) 방식[2]과 Viterbi 알고리즘을 변경한 SOVA(Soft-Output Viterbi Algorithm) 방식[3]이 있다. 이 두 방식 모두 복호시 경관정값이 아닌 연관정값을 출력하여, 이 연관정값을 다음단의 복호기의 입력으로 인가하여 다시 복호를 수행하는 반복복호에 의해 성능이 개선된다. 일반적으로 반복회수에 따라 그 성능이 개선되지만, 10회 이상에서는 성능의 개선이 미비하고, 18회 이상에서는 출력되는 연관정 정보가 이전의 정보들과 연관성을 가지게 되어 그 성능이 포화된다고 알려졌다. 그림 1에서는 반복회수와 복호방식에 따른 터보 복호기의 성능을 보여주고 있다. MAP 방식이 SOVA 방식에 비해 1~1.5 dB 정도 저 좋은 성능을 가지고 있는 것을 알 수 있다. 그리고, 이러한 터보 부호는 복호방식과 더불어 인터리버의 종류 및 크기, 그리고 테일비트, 부호화율 등에 의해 그 성능이 차이를 보이는 것으로 알려져 있으나, 그 명확한 규명은 이루어지지 않았다.[4][5]

그러나, 이러한 뛰어난 BER 성능에 반해 일괄적으로 수행하여야 하는 반복복호의 회수에 의한 많은 연산량과 시간적 지연이 이동통신시스템의 채널부호방식

으로 쓰이는데 큰 걸림돌이 된다. 특히 많은 연산량은 큰 전력소모를 초래하게 되어 낮은 전력소모를 요구하는 이동통신단말기의 적용에 많은 어려움이 되고 있다.

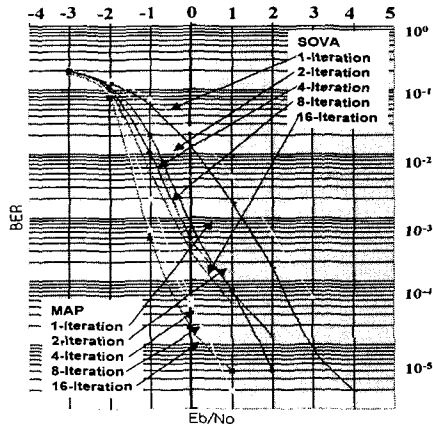


그림 1. 복호방식과 반복회수에 따른 터보 부호의 성능

Fig. 1. The performance of turbo codes corresponding to decoding method and the number of the iteration

본 논문에서는 복호기가 출력하는 중간값과 성능과의 관계를 조사하였다. 그리하여 성능을 가장 최적으로 유도할 수 있는, 각각의 복호방식에 가장 적합한, 중간값의 문턱값을 찾아서, 그것에 의해 반복복호의 회수를 결정하여 복호하는 터보 복호기를 제안하였다. 그리고, 일반적으로 반복회수가 동일한 전형적인 터보 복호기와와 성능을 비교하였다.

II. 터보 부호의 복호방식

터보 복호기는 기본적으로 반복복호를 한다. 이는 연판정 정보를 이용하여 반복을 할 때마다 이전 복호기의 출력값을 바탕으로 더 신뢰성 높은 정보를 도출하게 된다. (1)에서 보는 것처럼, 터보 복호기는 입력된 정보를 사용하여 LLR (Log-Likelihood Ratio)을 취하여 수신된 정보를 복호하게 된다. 개개의 복호기는 수신열 (u_k)로부터 임의의 시간 k 에서 수신정보 (d_k)가 '1'인 확률과 '0'인 확률과의 관계를 구하여, LLR이 0보다 크면, '1'로, 0보다 작으면, '0'으로 복호를 하게 된다. (2)에서, 이 LLR은 systematic한 정보인 L_c 와 이전 복호기에서 출력된 정보인 $L_e(d_k)$, 그리

고 현 복호기에서 연산되어진 $L_e(d_k)$ 으로 구성된다. L_c 는 채널의 상태에 따라 변하는 값이므로, 복호시 그 값의 변화가 거의 없다. 하지만, $L_e(d_k)$, $L_e(d_k)$ 은 복호를 반복할 때마다 그 절대값이 증가하게 되어, 그 크기가 곧 복호의 신뢰도를 말하게 된다. 그런데, 이 값들 역시 복호를 계속 진행하게 되면 어느 정도 값이 포화하게 된다.

$$L(d_k) = \frac{P(d_k=1 | u_k)}{P(d_k=0 | u_k)} \quad (1)$$

$$L(d_k) = L_c + L_e(d_k) + L_a(d_k) \quad (2)$$

이 포화값에는, 열악한 채널일 경우, 10회 이상의 많은 반복을 거친 후 도달 내지 접근할 수 있지만, 채널의 상황이 좋으면, 단 수번의 반복복호에 의해 도달하게 된다. 그림 2에서는 MAP방식에서 $L_e(d_k)$ 의 값을 반복회수와 채널의 상태에 따라 나타내었다. 열악한 채널 (SNR (Signal-to-Noise Ratio) 이 0 dB인 경우)의 경우, 30 정도의 값은 18회정도의 반복을 거친 후에 도달하게 되지만, 비교적 좋은 채널 (SNR이 3dB인 경우)에서는 2~4번의 반복만 거쳐도 그 값을 넘어서게 된다. 그러므로, 비교적 잡음이 적은 채널에서는 10회 이상의 반복은 성능에 아무런 영향을 주지 못한다.

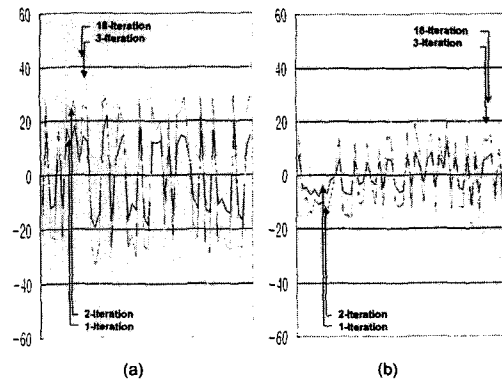


그림 2. 반복회수에 따른 신뢰값 (a) AWGN 3 dB (b) AWGN 0 dB

Fig. 2. Reliability value according to the number of the iteration (a) AWGN 3 dB (b) AWGN 0 dB

개개의 복호기가 출력하는 이 값은 곧 성능을 대변하는 신뢰값이므로, 이 신뢰값의 문턱값을 제한함으로써 원하는 성능을 만족하는, 작은 반복회수를 가진 복

호기를 제안하게 되었다. 다양한 반복회수로 반복을 시행하여, 복호기가 최적의 성능을 내는 문턱값을 찾았다. 이 값의 선택은 복호 방식에 따라 달라지는데, 그 값의 변화가 큰 값을 선택하였다. 그리하여 MAP 방식에서는 $L_e(d_k) \geq 30$ 을, SOVA 방식에서는 $L_e(d_k) \geq 130$ 을 선택하였다.

III. 반복회수 자동결정 복호기

제안된 복호기는 기본적으로 일반적인 터보 복호기와 동일한 구조를 가진다. 다만, 신뢰값을 탐지할 수 있는 측정모듈을 추가하면 된다. 이는 복호 방식에 따라 $L_e(d_k)$ 또는 $L_a(d_k)$ 을 선택 측정하면 된다. 일반적으로 두 개의 복호기가 복호를 끝내는 것을 한번의 복호라고 일컫는데, 제안된 구조에서는 좀더 효율적으로 복호를 수행하기 위해, 개개의 복호기의 출력을 모두 측정하여, 두 복호기 중 어느 하나라도 문턱값의 초과하면, 반복복호를 중단하게 된다. 이는 두 번째 복호기가 출력하는 값만을 측정하여 판단할 때보다 미비하나마 약간의 반복회수의 감소를 얻을 수 있다. 그림 3에서는 제안된 복호기의 구조를 나타내고 있다.

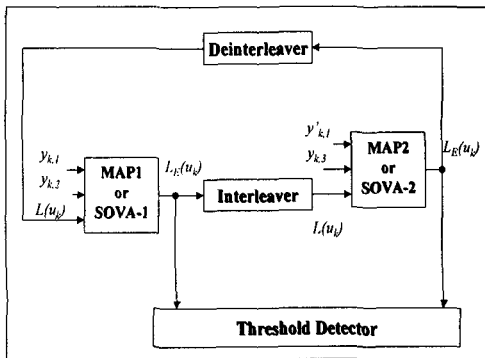


그림 3. 제안된 구조의 터보 복호기
Fig. 3. Block diagram of proposed turbo decoder

II장에서 도출된 문턱값을 적용하여 검증 실시하였다. MAP 방식과 SOVA 방식 모두 검증하였으며, 인터리버의 종류는 랜덤 인터리버, 프레임의 크기는 3069-bit, 부호율은 1/3, 구속장은 3, 그리고 생성다항식은 (3,5)₈를 사용하였다. 또한 MATLAB™으로 생성된 AWGN (Additive White Gaussian Noise) 채널 모델링 데이터를 적용하여, C-language 기반으로 제안된 터보 복호기를 검증하였다.

그림 4에서 보이는 것처럼 제안된 구조는 전형적인

터보 복호기와 성능면에서 손실이 거의 없다. 표 1에서는 제안된 구조와 일반적인 터보 복호기의 반복회수를 비교한 것이다. 검증 환경에서 제안된 구조는 일반적인 터보 복호기에 비해, 1 dB 이상의 비교적 좋은 채널환경에서는 1/4 이하의 반복회수를 보였으며, 전체적으로 절반 정도의 반복회수를 나타내었다.

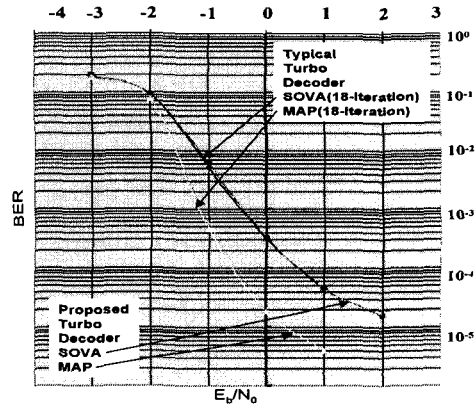


그림 4. 제안된 구조와 전형적인 터보 복호기와의 성능 비교

Fig. 4. Comparison of the performance between proposed and typical turbo decodes

SNR[dB]	Typical	Proposed	
		Maximum	Average
5	18	1	1.00
4	18	1	1.00
3	18	1	1.00
2	18	2	1.998
1	18	3	2.326
0	18	18	4.882
-1	18	18	17.097
-2	18	18	18.00
-3	18	18	18.00

표 1. 제안된 구조와 전형적인 터보 복호기와의 반복회수 비교

Table 1. Comparison of the number of the iteration between proposed and typical turbo decoders

VI. 결론 및 추후 연구

본 논문에서 제안된 터보 복호기는 채널 상황에 따

라 지능적으로 반복회수를 조정하여, 아무런 성능의 개선이 없는 무의미한 반복을 피하였다. 또한 채널이 열악한 경우에도 제한된 반복회수만을 반복하고, 추가된 모듈이 그리 큰 부분을 차지하지 않기 때문에 기존의 방식보다 전력소모는 크지 않으리라 예상이 된다. 이는 한번 반복에 많은 연산을 하여 전력소모가 극심한 터보 복호기에서 전력문제를 다소 해결할 수 있을 뿐만 아니라, 나아가 저전력소자를 필요로 하는 이동통신 단말기에 적합하다.

그러나, 제안된 구조는 채널 상황에 따라, 18회 모두 반복을 해야할 경우도 있다. IMT-2000의 데이터 통신의 채널 부호로 제안된 터보 부호는 높은 전송율을 지원하기 위해서 개개의 복호기의 처리 속도를 높여야 한다. 현재 MAP 방식과 SOVA 방식 등 터보 복호기의 기본적인 복호 속도의 개선을 연구하고 있다.

참고문헌(또는 References)

- [1] C. Berrou, A. Galviex, and P. Thitimajshima, "Near Shannon limit error-correcting coding and decoding : Turbo-Codes," Proc. ICC'93, Geneva, Switzerland, pp. 1064~1070, May 1993.
- [2] L. R. Bahl, J. Cocke, F. Jelinek, and J. Raviv, "Optimal decoding of linear codes for minimizing symbol error rate," IEEE Trans. Inform. Theory, Vol. IT-20, pp. 284~287, Mar. 1974.
- [3] J. Hågenauer and P. Hoher, "A Viterbi algorithm with soft-decision outputs and its applications," IEEE Int. Symp. Inform. Theory, pp. 131, Jan. 1990.
- [4] Perez, L.C., Seghers, J. and Costello, D. J., "A Distance Spectrum Interpretation of Turbo Codes", IEEE Trans. on Inform. Theory, Vol. IT-42, No. 6, pp. 1698~1709, 1996.
- [5] Yi-Pin Wang, R. Ramesh, Amer Hassan, havish Koorapaty, "On MAP Decoding for Tail-Biting Convolutional Codes," Proc. of the 1997 IEEE Intl Symp. on Inform. Theory, pp. 225, June 1997.