

# CDMA 채널 환경에서의 MAP 기반 터보 부호에 관한 연구

박노진, 강철호  
광운대학교 전자통신공학과

## A Study on Iterative MAP-Based Turbo Code over CDMA Channels

No Jin Park, Chul Ho Kang  
Kwangwoon University. Electronic Comm.  
parknjin@lycos.co.kr

### ABSTRACT

In the recent mobile communication systems, the performance of Turbo Code using the error correction coding depends on the interleaver influencing the free distance determination and the recursive decoding algorithms that is executed in the turbo decoder. However, performance depends on the interleaver depth that need a great many delay over the reception process. Moreover, Turbo Code has been known as the robust coding methods with the confidence over the fading channel. The International Telecommunication Union(ITU) has recently adopted as the standardization of the channel coding over the third generation mobile communications the same as IMT-2000. Therefore, in this paper, we proposed of that has the better performance than existing Turbo Decoder that has the parallel concatenated four-step structure using MAP algorithm. In the real-time voice and video service over the third generation mobile communications, the performance of the proposed method was analyzed by the reduced decoding delay using the variable decoding method by computer simulation over AWGN and fading channels.

### 요약

최근의 이동통신 시스템에서 오류 정정 부호화 방식으로 사용되는 Turbo Code의 성능은 부호기에 내재되어 부호의 자유 거리 결정에 큰 영향을 미치는 인터리버와 복호기에서 수행되는 반복 복호에 의한 것이다. 하지만 우수한 성능을 얻기 위해 수신과정에서 많은 지연시간이 요구되는데 이는 주로 인터리버의 크기에 의존하게 된다. 또한 Turbo Code는 페이딩 채널 상에서도 신뢰성 있는 강력한 코딩 기법으로 알려져, 최근 ITU 등에서 IMT-2000과 같은 차세대 이동 통신에서 채널 코드의 표준으로 채택되었다. 따라서 본 논문에서는 복잡도는 2배로 증가하나 성능을 개선시킨 터보 복호기를 제안하고, 차세대 무선 멀티미디어 통신에서 실시간 음성 및 비디오 서비스를 제공 시 복호 지연시간을 단축시키기 위해 가변 복호 방법을 이용하여 AWGN과 페이딩 채널 환경에서의 컴퓨터 모의 실험을 통해 성능 분석을 하였다.

### 1. 서론

터보 부호는 같은 모양의 길쌈 부호 2개 이상을 병렬로 연결하고, 전송 전에 부호 비트의 배열을 바꾸어 주기 위해 각각의 부호화기의 입력으로 들어가는 시퀀스를 인터리버를 통과하게 함으로서 부호화기에서 나오는 출력 시퀀스를 서로 다른 배열로 전송한다. 터보부호의 성능에 영향을 미치는 주요 요소로는 인터리버, 메모리, 펀처링(puncturing)의 유무, 노이즈 레벨과 반복 부호화 횟수 등이 있다<sup>[1][2]</sup>. 일반적으로 터보 부

호는 강력한 오류정정 능력을 갖는 코딩 기법임에도 불구하고 너무 긴 복호 지연시간으로 인해 성능에 영향을 초래한다. 본 논문에서는 반복 복호 횟수를 감소시키고 성능을 향상시킨 MAP 기반 병렬 구조의 4단 터보 복호기를 제안하고, 이를 CDMA 채널 환경의 컴퓨터 모의 실험을 통해 기존 방법과의 비교 및 성능 분석을 하였다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 터보 부호에 대해 알아보고, III장에서는 본 논문에서 사용한 반복 복호 알고리즘에 대해 유도한다. IV장에서는 제안한 터보 복호화기의 대해 기술하고, V장에 모의 실험을 통해 제안한 기법의 성능을 평가해보고, VI장에서 결론을 맺는다.

## II 터보 부호기(Turbo Encoder)

그림 1에 나타낸 것처럼 본 논문에서 사용한 터보 부호기는 구속장의 길이(constraint length)  $K=3$ (i.e., 메모리  $m=2$ ), the parity polynomial  $g_1(D)=1+D^2$  the feedback polynomial  $g_0(D)=1+D+D^2$ 인 부호어를 생성시키는 부호기이다. 프레임 길이  $L$ 을 갖는 각 입력 데이터  $x = \{x_0, x_1, \dots, x_{L-1}\}$  대하여 RSC1은 첫 번째 parity sequence  $y_1 = \{y_{1,0}, y_{1,1}, \dots, y_{1,L}\}$  RSC2는 두 번째 parity sequence  $y_2 = \{y_{2,0}, y_{2,1}, \dots, y_{2,L}\}$ 를 출력하므로 그림 1로부터 생성되는 부호어의 부호화율은  $1/3$ 이 된다.

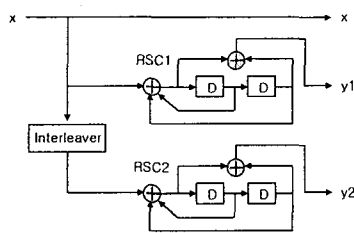


그림 1. 터보 부호기의 구조

## III. 반복 복호 알고리즘(MAP)

본 논문에서 사용된 MAP Algorithm은 길쌈 부호의 복호화 방법이었던 Viterbi Algorithm의

대안으로 제시되었다. 이는 선형 부호의 심볼 오류 확률을 최소화 할 수 있는 최적의 복호화 방법으로, 1974년 Bahl-CoCke-Jelinek-Raviv에 의해 발표된 심벌 단위의 BCJR Algorithm이 변형된 것이다. 이 절에서는 터보 코드의 반복 복호 알고리즘의 개념을 간략히 유도한다 [4][5][6][7]. 터보 부호의 복호화는 trellis를 기초로 하는 복호 알고리즘을 이용해서 각각 2개의 Markov process들에 대해서 독립적인 추정을 한다.  $d_i$ 가 전송 메시지 비트,  $y_i$ 는 수신신호라면 연 관성 복호화기에서의 각 비트에 대한 복호 출력값은 LLR (log-likelihood ratio) 값으로 구한다.

$$\Phi_i = \log \frac{P(d_i = 1|y)}{P(d_i = 0|y)} \quad (1)$$

통신 시스템 환경이 BPSK로 변조되고 플랫 페이딩 채널이면 수신된 신호는 식(2)와 같이 표현되나, 간략화 하면 식(3)과 같이 표현할 수 있다.

$$y = a\sqrt{E_s}(2d-1) + n \quad (2)$$

여기서  $a$ 는 페이딩 진폭이고  $(2d-1)$ 은 antipodal 형태의 변조된 심벌이고,  $E_s$ 는 심벌의 에너지,  $n$ 는 평균이 제로이며 분산이  $\sigma^2 = N_0/2$  인 가우시안 랜덤 변수이다. 만약  $a=1$ 이라면 BPSK로 변조되고 채널이 AWGN인 수신신호를 나타낸다.

$$y = a(2d-1) + n. \quad (3)$$

식(3)에서 잡음의 분산은  $\sigma^2 = N_0/2E_s$  이다. 한 비트의 수신 신호  $y_i$ 가 주어졌을 때 메시지 비트  $d_i$ 의 LLR은 다음과 같다.

$$L(d_i|y_i) = \log \frac{P(d_i = 1|y_i)}{P(d_i = 0|y_i)} \quad (4)$$

식(4)를 Bayes 이론을 이용하여 정리한다.

$$\begin{aligned} L(d_i|y_i) &= 4a \frac{E_s}{N_0} y_i + \log \frac{P(d_i = 1)}{P(d_i = 0)} \\ &= L_c y_i + z_i \end{aligned} \quad (5)$$

여기서  $L_c$ 는 채널의 신뢰도를 나타내고  $z_i$ 는 priori 값이다. 그러므로 전체 수신 시퀀스에 대한 메시지 비트  $d_k$ 의 LLR을 구하면 식(6)와 같고 이를 강 판정하여 전송한 메시지 비트를

추정한다.

$$\Phi_i = L_c y_i + z_i + \mu_i \quad (6)$$

$$\mu_i = \Phi_i - L_c y_i - z_i \quad (7)$$

식(6)에서  $L_c y_i$ 는 systematic 채널 정보이고  $z_i$ 는 이전 복호화기에서 보내진 priori 정보,  $\mu_i$ 는 외부 정보(extrinsic information)이다. 그림 2는 일반적으로 사용되는 터보 복호화기의 구조이다. 여기서 비트 오류(BER: bit error rate)를 최소로 하는 알고리즘을 MAP 알고리즘이라 하고, 그림 2에서 보듯 터보 부호의 복호기는 반복 복호를 하는 구조로 되어 있다.

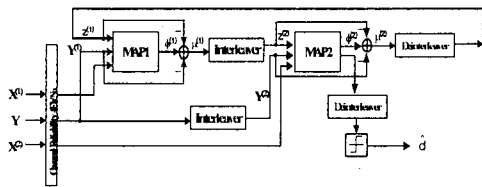


그림 2. 일반적인 터보 복호기

따라서 일정한 횟수의 반복 복호화 과정이 끝나면 최종 정보를 추정하게 되는데 두 번째 복호화기에서의 LLR 출력을 디인터리빙 한 후에 강 판정을 하여 전송한 메시지 비트  $\hat{d}$ 를 추정한다.

#### IV. 제안한 방법의 터보 복호기

터보 부호의 구조 및 복호 방법은 복호 지연과 성능을 결정하는 중요한 요소이다. 본 논문에서는 기존의 2단 복호화기와 비교하여 하드웨어의 복잡도는 2배로 증가되나 성능은 향상시키고 복호 지연은 감소시킨 4단 병렬 복호화기를 제안한다. 그림 3은 본 논문에서 제안한 병렬 구조의 터보 복호화기이다. 그림 3에서  $L_1^{(m)}$ 과  $L_2^{(m)}$ 는  $m$  번째 복호화가 진행된 후 하단 복호기 1과 상단 복호기 2의 LLR(log-likelihood ratio) 출력 값이다. 그리고  $L_3^{(m)}$ 는  $L_1^{(m)}$ 과  $L_2^{(m)}$ 값을 합한 LLR 값이다. 매 복호시마다 하단 복호기 1과 상단 복호기 2에서 출력되는 LLR 값은 서로 다른 값들의 분포를 가지므로, 각각의 LLR 출력 값을 강 판정(hard decision)한 시퀀스  $\hat{u}_1, \hat{u}_2$ 도 서로 다른 분포

를 가지므로 복호 횟수를 상당량 줄일 수 있는 방법을 사용하였다<sup>[3]</sup>.

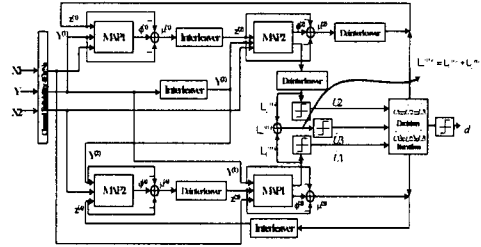


그림 3. 제안한 병렬 구조의 터보 복호기

제안한 4단 병렬 터보 복호 절차는 매 복호시마다  $\hat{u}_1$ 과  $\hat{u}_2, \hat{u}_3$ 를 서로 비교함으로써 오류 분포가 수렴하게 되며, 강 판정한 3개의 출력 값이 같으면 더 이상 복호를 진행하지 않고  $\hat{u}_3$ 를 판정하고, 그렇지 않으면 정해진 복호 횟수만큼 반복 복호를 진행하게 되므로 기존의 복호 지연 시간을 상당히 단축시킬 수 있다. 또한 일반적인 병렬 구조의 복호기를 이용하는 것 보다 제안한 방식을 이용하여 복호시 상단과 하단의 복호기들이 각각 분리 동작하면서 LLR 값을 출력한다. 따라서 더욱 신뢰성 있는 복호 과정이 진행되고 성능을 향상시킬 수 있음이 컴퓨터 모의 실험을 통해 확인할 수 있었다. 모의 실험을 통해 프레임 사이즈가 증가할수록 성능이 증가됨을 알 수 있었고, 전체적으로 4096 비트 이하의 프레임에서는 약 0.5~0.8dB 정도의 성능을 향상시킬 수 있음을 확인할 수 있었다.

#### V. 모의 실험

본 논문에서 사용한 복호화 알고리즘은 MAP를 사용하였고, 터보 부호화기는 동일한 2개의 RSC 부호화기를 사용하였다. BPSK 변조를 가정하였으며, 구속장의 길이 K=3, 구성 부호화기의 생성 다항식은  $(7, 5)_8$  부호율은 1/3을 사용하였다. CDMA 채널 환경에서의 성능 분석을 위해 제안한 복호화기를 위한 채널 모델은 AWGN과 플랫 페이딩 모델을 사용하였다. 반복 복호 횟수는 최대 5회를 적용하여 가변 복호 하도록 하였으며, 정보 시퀀스의 프레임 크기 L은 256, 512, 1024, 4096 비트인 경우에 대하여 모의 실험하였다. 그림 4과 그림 5은 제안한 방

식의 복호기와 기존의 유사한 터보 복호기들의 오차성능(BER)을 비교한 것인데, 성능에 커다란 변화가 있음을 알 수 있다. AWGN 채널 환경에서 각 프레임 길이 128, 256, 512비트에 대한 평균 이득은 약 0.4dB 정도의 성능 향상을 보였고, 1024, 4096비트는 약 0.8 dB 정도의 이득을 보여 프레임 사이즈가 증가할수록 제안한 복호화기의 성능 향상이 두드러지게 개선됨을 알 수 있다. 그리고 페이딩 채널 환경에서도 약 0.5~0.85 dB 정도의 꾸준한 성능 개선이 이루어지며, 프레임 사이즈가 증가될수록 점점 뚜렷한 성능 개선이 이루어짐을 알 수 있다.

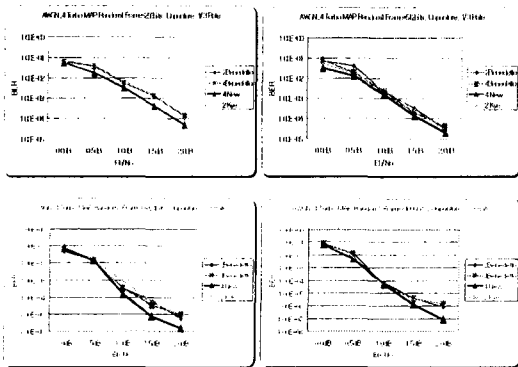


그림 4. AWGN 채널 환경에서 제안한 복호화기에 따른 성능 비교

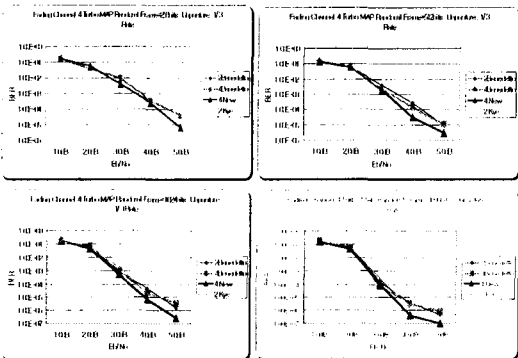


그림 5. 페이딩 채널 환경에서 제안한 복호화기에 따른 성능 비교

## VI. 결론

본 논문에서는 CDMA 채널 환경에서 사용되는 Turbo Code에 대해 성능을 개선하고 복호 지연을 감소시킨 4단 병렬 터보 복호화기를 제안하였다. 이를 통해 제안한 복호화기가 기존의

유사한 터보 복호화기와 비교하여 하드웨어의 복잡도는 2배로 증가하나 성능은 향상시키고, 복호 지연을 개선시켜 실시간 통신 및 신뢰성이 요구되는 통신 시스템에도 적용할 수 있도록 하였다.

## 참고 문헌

- [1] C. Berrou, A. Glavieux, P. Thitimajshima. "Near Shannon Limit Error-Correcting Coding and Decoding : Turbo Codes," in ICC, pp. 1064-1070, 1993.
- [2] P. Robertson, Improving decoder and code structure of parallel concatenated recursive systematic (turbo)codes, in *Proc. IEEE ICUPC*. pp. 183-187, 1994.
- [3] 강경우, 박노진, 강철호, "감소된 복호 지연을 갖는 SOVA 기반 터보 부호에 관한 연구," 2000년 제 13회 신호처리합동학술대회 논문집, Vol. 13, No. 1, 2000년 9월.
- [4] Matthew C. Valenti, Iterative detection and decoding for wireless communications, *Ph.D. Dissertation*, Virginia Polytechnic Institute and State Univ, Sept. 1998.
- [5] 계환원, 구정우, 송홍엽, "병렬구조 복호기에서 LLR의 합을 사용한 터보 부호의 성능 분석", 한국통신학회 논문지, 제 24권, 제 11A호, pp. 1678-1684, 1999.
- [6] L. R. Bahl *et al.*, Optimal Decoding of Linear Codes for Minimizing Symbol Error Rate, *IEEE Trans. Info. Theory*, vol. IT-20, Mar. pp. 248-87, 1974.
- [7] S. Benedetto, D.Divsalar and F.Pollara, Soft-Output Decoding Algorithm in Iterative Decoding of Turbo Codes, TDA progress rep. 42-124, Jet Propulsion Lab., Pasadena, CA, Feb. 15, pp. 63-86, 1995.