

3GPP 규격의 터보 복호기구현을 위한 SOVA 파라미터 최적화

김주민(金柱民), 고태환(高汰煥), 정덕진(鄭德鎭)
인하대학교 전자.전기.컴퓨터공학부
전화 : (032) 874-1663 / 팩스 : (032) 875-5882

Parameter Optimization of SOVA for the 3GPP complied Turbo code

Jumin Kim, Taewhan Ko, and Duckjin Chung
School of Electrical & Computer Engineering, Inha University
E-mail : joshua@pluto.emde.inha.ac.kr

Abstract

In order to design a low complexity and high performance SOVA decoder for Turbo Codes, we need to analyze the decoding performance with respect to several important design parameters and find out optimal values for them. Thus, we use a scaling factor of soft output and a update depth as the parameters and analyze their effect on the BER performance of the SOVA decoder. finally, we shows the optimal values of them for maximum decoding performance of SOVA decoder for 3GPP complied Turbo codes.

I. 서론

차세대 IMT 2000 시스템과 같은 고신뢰도의 통신을 보장하는 고속 지상 통신망에서는 자동차 이동 통신에서 144kbps, 개인이동통신에서 384kbps, 사무실환경에서 2Mbps이상의 성능을 가질것이다. 이를 위해서 IMT2000에 고속 멀티미디어 데이터 전송이 요구되는 부분에는 대부분 터보 코드가 채택되어 있다. 이러한 목적에 터보코드를 사용하기 위해서는 반복복호 알고리즘의 최적화가 필수적이다. 현재까지 터보코드의 복호에 관한 많은 연구가 진행되어 왔으며, 터보 코드의

복호를 위해서 사용되는 알고리즘은 MAP(Maximum a posteriori)방법과 SOVA(soft output viterbi algorithm)이다. 이중 SOVA는 MAP보다 비교적 낮은 복잡도를 가지기 때문에 하드웨어를 구현하는데 있어서 좀 더 용이하다.¹⁾

이러한 터보코드의 복호기 구현으로 주목받고 있는 연판정 출력 비터비 알고리즘(SOVA)를 이용한 고정능 터보 복호기의 구현을 위하여, SOVA복호기에서 복호성능을 증가시킬수 있는 파라미터로서 연판정 출력의 scaling은 0.3~0.5dB의 부호화 이득을 제공하는 것으로 알려져 있다.¹⁾ 그러나 이는 매 복호시에 연판정 출력의 통계치를 연산해야 하므로 실제 하드웨어 구현시 제약점이 된다. 또한 경판정후 고신뢰도로 정해진 스테이트로 부터의 신뢰도값을 갱신하는 두 단계를 이용하는 two-step SOVA의 경우에 신뢰도 갱신 길이는 추가 latency를 야기 시키고,²⁾ 하드웨어의 복잡도를 증가시키므로 이의 최적화 역시 필요하다. 따라서 본 논문에서는 AWGN(Additive White Gaussian Noise) 환경과 BPSK 채널을 가정하고, 제한길이 3 과 4인 경우, 여러 가지 생성다항식에 대하여 고정 scaling 값에 따른 SOVA 복호기의 BER 성능을 분석하고, 특히 3GPP 규격의 터보코드의 복호기 설계를 위하여, 이를 기준으로한 최적화된 고정 scaling 값을 제시할 것이며, BER성능과 신뢰도 갱신 길이와의 trade-off로 최적의 신뢰도 갱신길이를 제시하고자 한다.

II. 이론적 배경

터보 부호기

병렬연쇄부호기는 그림 1에 나타난 바와 같이 동일한 두 개의 회귀부호기를 인터리버를 이용하여 병렬로 동작시켜 심벌을 만드는 구조이다. 그림 1에 보인 터보 부호기에서 $v_{k,1}$ 는 메시지를, $v_{k,2}$ 는 첫 번째 패리티를, 그리고 $v_{k,3}$ 는 두 번째 패리티를 나타낸다.

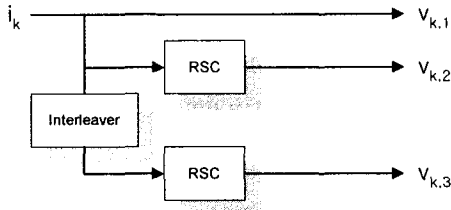


그림 1. 터보 부호화기 개략도

위와 같은 터보 부호는 시스티메틱 부호이므로 입력 시퀀스 i_k 는 $v_{k,1}$ 에 그대로 전달되고, 첫 번째 회귀 부호화기인 RSC에서 부호화 되어 $v_{k,2}$ 의 패리티를 만들어 낸다. 또한 부호간의 거리를 증가시켜 복호 성능의 증가를 가져올 수 있도록 인터리빙되어 또 다른 하나의 RSC에 입력으로 사용하므로써 $v_{k,3}$ 의 두 번째 패리티를 만들어 낸다. 이렇게 부호화된 심벌들은 잡음 환경의 채널을 통과하여 수신측에서는 잡음에 의해 변질된 신호를 받게 되며, 이를 복호하기 위해 연관정 입력 출력(Soft-Input Soft-output) 복호기를 2개 사용하여 반복복호를 수행하게 된다.³⁾

SOVA 복호기

SOVA 알고리즘은 최대 우호 시퀀스를 찾아 송신된 메시지를 복원한다. SOVA를 이용한 복호방법은 기존의 경관정 비터비복호의 방법은 그대로 적용하면서 복호된 비트에 대한 신뢰도 값을 계산하는 부가 첨가되어 그 출력으로서 경관정과 함께 신뢰도를 나타내는 연관정을 포함하게 된다. 그림 2에 보인바와 같이 송신된 코드는 잡음환경에서 변질되어 $y_{k,1}, y_{k,2}, y_{k,3}$ 로 수신단에 입력된다. 부가 백색 가우시안 노이즈(Additive white Gaussian noise) 환경을 가정하고 $1/N$ 코드인 경우 가지 메트릭은

$$BM_k^{(m)} = \sum_{i=1}^N x_{k,i}^{(m)} L_{c,y_{k,i}} + u_k^{(m)} L(u_k)_A \quad (1)$$

로 쓸 수 있다. 여기서 L_c 는 $4E_b/N_0$ 이며, $L(u_k)_A$ 는 복호기의 사전 확률(priory value)이며, $u_k^{(m)}$ 는 생존 시퀀스를 의미한다. 그런데 터보코드는 시스티메틱 코드이므

로 식(1)에서 수신된 메시지 관련 항은 두 번째 항의 항에서 분리해 낼 수 있다. 따라서 누적 경로 메트릭은

$$PM_k^{(m)} = PM_{k-1}^{(m)} + \sum_{i=2}^N x_{k,i}^{(m)} L_{c,y_{k,i}} + u_k^{(m)} (L_{c,y_{k,1}} + L(u_k)_A) \quad (2)$$

으로 표현할 수 있다. 터보 복호과정에 있어서 이전 복호에서 출력된 각 u_k 에 대한 외부정보는 다음단의 복호과정에서 priori 정보 $L(u_k)_A$ 로 사용된다.

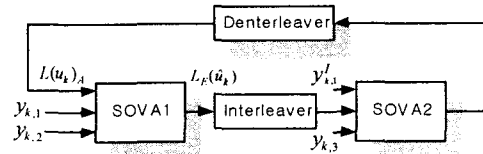


그림 2. SOVA 복호기를 이용한 터보 복호기

시점 k에서 경로 m이 생존하여 선택될 확률은

$$P_k^m = Ce^{PM_k^m/2} \quad (3)$$

이고, C는 상수이다. 여기서 P_k^m 을 경쟁경로 m'이 선택될 확률이고, 시점 k에서 경쟁경로의 누적 경로 메트릭이 $PM_k^{m'}$ 라고 가정하면, 시점 k에서 잘못된 경로를 선택할 확률은

$$\Psi_k^m = \frac{P_k^{m'}}{P_k^m + P_k^{m'}} \quad (4)$$

가 된다. 여기서 SOVA의 연관정값은

$$\Delta_k^m = \log \frac{1 - \Psi_k^m}{\Psi_k^m} = \frac{(PM_k^m - PM_k^{m'})}{2} \quad (5)$$

이다. 식(5)에 따르면 Δ_k^m 은 항상 양의 값을 가지며 이와 같은 likelihood 값이 크면 할수록 옳은 경로를 선택할 확률이 증가된다. 터보 복호에 있어서 likelihood 값은

$$L(\hat{u}_k) = L(u_k)_A + L_{c,y_{k,1}} + L(\hat{u}_k)_E \quad (6)$$

이다 여기서 $L(\hat{u}_k)_E$ 는 복호과정에서 나타나는 외부정보를 표시한다. 반복 복호에서 첫 번째 복호과정에서 $L(u_k)_A$ 는 0으로 초기화되며, 그 이후부터는 이전 복호과정으로부터 입력되는 외부정보로 대체되어 복호에 적용된다. 따라서 이러한 외부정보는 복호성능 향상에 중요한 역할을 하는 파라미터중 하나이다. 그런데 SOVA에서의 경관정을 포함한 likelihood는

$$L(\hat{u}_k) = \hat{u}_k \frac{(PM_k^m - PM_k^{m'})}{2} = \hat{u}_k \Delta_k^m \quad (7)$$

가 되므로 복호시에 다음단으로 출력되는 외부정보는 식 (6)으로부터

$$L(\hat{u}_k)_E = L(\hat{u}_k) - L(u_k)_A - L_{\mathcal{Y}_{k,1}} \quad (8)$$

가 된다.

더불어 SOVA의 likelihood를 계산하는데 있어 중요한 것은 신뢰도 값의 갱신이다. Hagenauer가 제안한⁴⁾ 신뢰도 갱신은 그림 3에서 보인바와 같이 시점 k에서 생존 시퀀스 u_j^m 의 j번째 ($j < k$) 비트가 경쟁 시퀀스 $u_j^{m'}$ 의 j번째 비트와 다른 경우에 log likelihood 값 L_j^m 은 그 값과 Δ_k^m 의 값중 최소값으로 갱신 된다. 즉

$$u_j^m \neq u_j^{m'} \Rightarrow L_j^m = \min(L_j^s, \Delta_k^m) \quad (9)$$

이 된다.

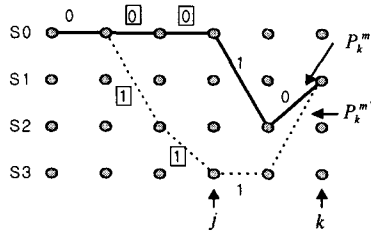


그림 3. likelihood 갱신 과정

III. 실험 및 결과

분석을 위하여 C 언어를 사용하여 터보 부호화기와 SOVA 복호기를 설계하였으며, 가변 제한길이, 가변 프레임길이, 가변 생성다항식, 평처링 선택, 인터리버 선택을 가능하게 하였다. Lutz Pepke등은 그의 논문에서 SOVA의 연판정을 다음과 같이 scaling 하므로써 SOVA의 낙관적인 판정을 보완하여 복호성능을 증가할수 있음을 증명하였다.¹⁾ 그가 제시한 SOVA의 연판정 값의 스케일링 요소(scaling factor)

$$s.f. = m_v \frac{2}{\sigma_v^2} \quad (10)$$

이다. 그런데 이를 SOVA에 적용하기 위해서는 매 복호시에 SOVA의 연판정 출력 v의 평균인 m_v 와 분산인 σ_v^2 을 계산하여 곱해야 하므로 하드웨어 구현시에 그 복잡도가 증대하게 될 것이다. 그러므로 하드웨어 구현에 복잡도를 크게 증대시키지 않으면서도 성능증가를 얻을 수 있는 고정 스케일링 요소 값을 도입하기 위해서 제한길이 K=3, 4 인 경우, (5,7), (7,5), 그리고 (13,15) 코드에 대하여, 스케일링 요소 값에 따른 성능 분석을 수행하였다. 시뮬레이션은 스케일링 요소 값의 하드웨어 구현에의 적용에 용이하도록 1, 1/2, 1/4로 설정하여 적용하였다. AWGN 환경에서 BPSK채널을 가정하였을 때 그림 4 와 그림 5에 보인바와 같이 제한길이가 3인 경우 (5,7), (7,5) 터보코드를 평처링을 적용하지 않았을 때 스케일링 요소 s.f.가 0.5에서 가장 우수한 성능을 보였다. (5,7), (7,5) code 모두에 있어서

s.f.=0.25인 경우와 s.f.=0.5인 경우, $E_b/N_0=3\text{dB}$ 에서 한 차수 이상의 BER성능 차이를 보였다.

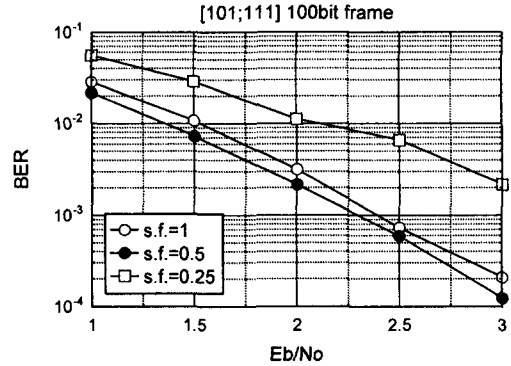


그림 4. (5,7) 1/3 turbo code에 있어서 메시지가 100 bit fram인 경우, s.f.(scaling factor)에 따른 성능곡선

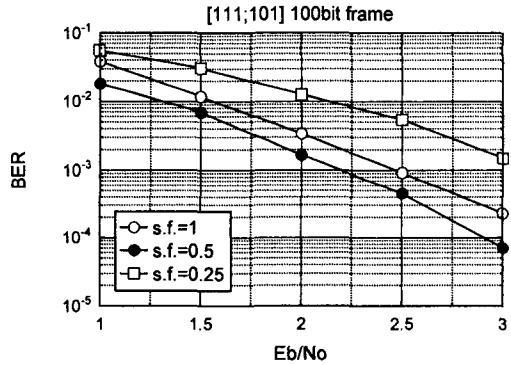


그림 5. (7,5) 1/3 turbo code에 있어서 메시지가 100 bit frame인 경우, s.f.(scaling factor)에 따른 성능곡선

그러나 생성다항식, 평처링여부에 따라 스케일링요소 값이 BER 성능에 미치는 영향이 다르므로 제한길이 4 인 경우에 스케일링 요소 값에 따른 BER성능 변화를 분석하였다. 그림 6 에 3GPP 규격의 (13,15) 터보코드에 대하여 평처링을 적용하지 않았을때의 100 bit frame에 대한 SOVA 복호기의 BER성능을 도시하였다. 그림 6에 보인바와 같이 $E_b/N_0=3\text{dB}$ 에서 s.f.=0.5인 경우 4.10×10^{-5} 의 BER을, s.f.=1과 s.f.=0.25인 경우 각각 2.98×10^{-4} , 6.20×10^{-4} 의 BER을 보임으로써 s.f.=0.5일 때 다른 경우보다 약 5배 이상의 성능 증가를 보였다. 그림 7에 3GPP 규격의 터보코드에 평처링을 적용하였을 경우 100bit frame에 대한 SOVA 복호기의 BER성능을 보여주었다. $E_b/N_0=3\text{dB}$ 에서 s.f.=0.5일 때 6.26×10^{-4} 의 BER을 보였으며, s.f.=1과 0.25일 때 각각 1.96×10^{-3} , 2.91×10^{-3} 의 BER을 보임으로써, 1/2 코드에서도 s.f.=0.5인 경우 가장 높은 BER성능을 보였다.

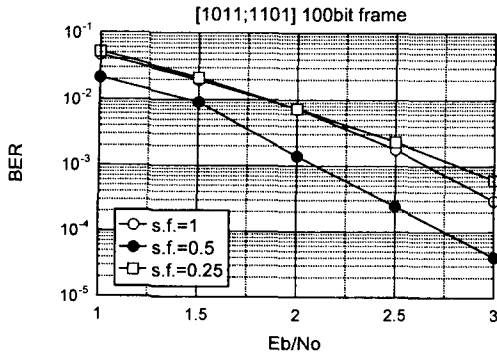


그림 6. (13,15) 1/3 turbo code에 있어서 메시지가 100 bit frame인 경우, s.f.(scaling factor)에 따른 성능곡선

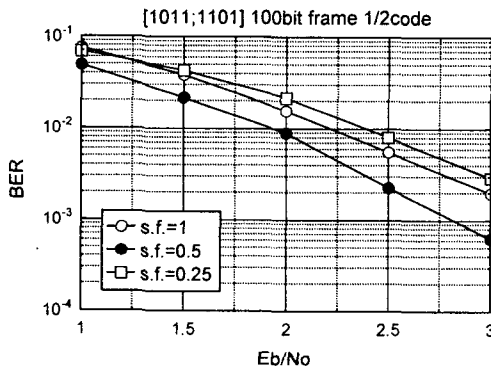


그림 7. (13,15) 1/2 turbo code에 있어서 메시지가 100 bit frame인 경우, s.f.(scaling factor)에 따른 성능곡선

이와 같이 3GPP규격의 터보 코드의 SOVA 복호기의 성능은 s.f를 0.5로 고정하였을 때 가장 높은 BER성능을 보여주었으며, 512 bit 프레임의 경우에서도 같은 결과를 보여주었다. 이 실험 결과로부터 3GPP규격의 SOVA 복호기의 연판정 출력에 0.5의 고정 스케일링으로 최적의 성능을 얻을 수 있음을 확인하였다.

마지막으로 신뢰도 갱신길이에 따른 성능을 분석하고자 한다. 신뢰도 갱신길이는 two-step SOVA에서 일정한 복호길이 후에 하나의 경로로 병합된 높은 신뢰도를 가진 state에서부터, 생존경로와 경쟁경로가 재병합될 때까지의 길이가 되어야 한다. 그런데, 갱신길이가 길어지면, 하드웨어의 복잡도도 높아지며, latency도 증가하므로 성능에 영향을 미치지 않을 적절한 길이를 찾아야 한다. 이를 위하여 3GPP 규격의 터보 코드에 있어서 신뢰도 갱신길이 delta에 따른 BER의 성능을 분석하였다. 그림 8에서 보인바와 같이 delta=5인 경우에는 delta=10, 20, 30 인 경우에 비하여 많은 성능저하가 관찰 되었다. 그리고 delta=10 이상인 경우 성능의 차이가 극히 미비하므로, 3GPP 규격의

8-state 터보 코드의 복호를 위한 SOVA의 신뢰도 갱신길이를 10으로 이식한다면, 하드웨어 복잡도를 줄이면서도 최적의 성능을 얻을 수 있을 것으로 사료된다.

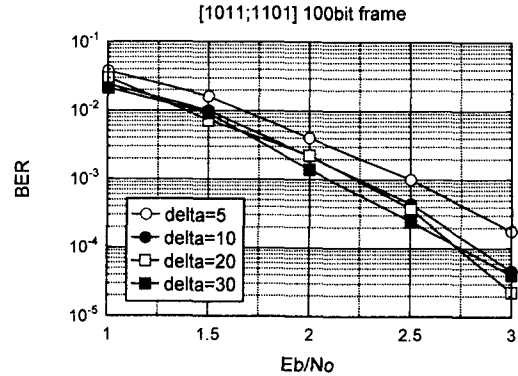


그림 8. 3GPP 규격의 터보코드의 SOVA복호기에 있어서 신뢰도 갱신길이(delta)에 따른 성능곡선

IV. 결론 및 추후 연구

본 연구의 시뮬레이션 결과로부터 제한길이 4인 3GPP 규격의 터보코드를 복호하는데 있어서 SOVA 복호기의 외부정보의 고정 스케일링 요소는 0.5로, 신뢰도 갱신길이를 10으로 정하여 설계한다면 적은 하드웨어 복잡도의 증가로 높은 성능을 얻을 수 있을 것으로 사료된다. 본 연구 결과는 차세대 IMT2000의 효율적 SOVA 복호기 모듈을 개발에 있어서 성능 최적화 및 하드웨어설계에 기반이 될 것이다. 본 연구는 2000년도 시스템 IC 2010사업의 지원으로 수행되었습

참고문헌

- [1] Lutz Papke, Patrick Robertson, "Improved Decoding with the SOVA in a Parallel Concatenated (Turbo-code) Scheme," Proceedings of the 1996 IEEE International Conference on Communications, Vol 1, pp 102-106, 1996
- [2] O. J. Joeressen, and H. Meyr, "A 40Mb/s Soft-Output Viterbi Decoder," IEEE Journal of Solid-state Circuits, Vol. 30, No. 7, 1995
- [3] Akihisa Ushirokawa et al., "Principles of Turbo Codes and Their Application to Mobil Communications", IEICE Tran. Fundamentals. vol. E81 A, No. 7, pp. 1320-1329, 1998
- [4] Joachim Hagenauer, and Peter Hoeher, "A Viterbi Algorithm with Soft-Decision Outputs and its Applications," Proceedings of IEEE Globecom Conference, Dallas TX, USA, pp. 1680-1686, 1989